



TÉCNICO LISBOA

## LFEA-I - Logbook de Análise da Radiação Gama

102474 Salvador Torpes  
102633 Sofia Nunes  
102650 Estêvão Gomes  
102716 Pedro Curvo  
Grupo 1D 2022/2023

2 de junho de 2023

### Estudo de fontes conhecidas e calibração

De modo a começar a aquisição e análise de dados, recolheu-se durante 150 segundos os espectros do Cs-137 e do Co-60 através do detetor de cintilação, obtendo o espectro no MCA.

Através da análise no MCA, de modo a obter a calibração efetuou-se uma regressão do valor dos centróides dos picos obtidos em channels, com o valor das energias tabelados, em keV, de modo a obter a equivalência entre Chn e energia.

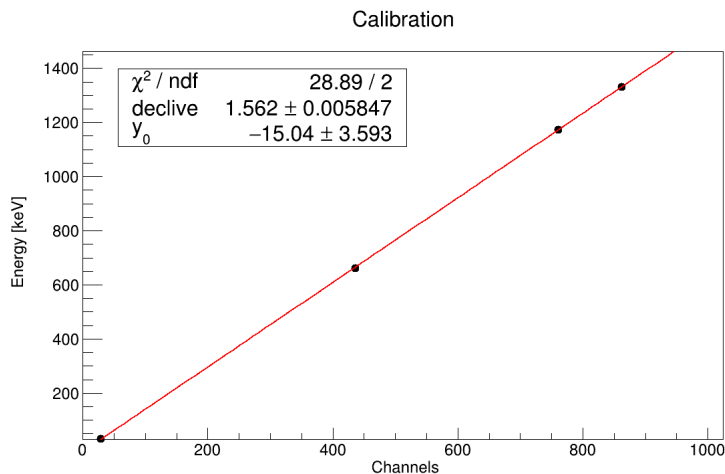


Figura 1: Ajuste de calibração

Após obter o ajuste, efetuou-se a mudança dos eixos para todos os gráficos, usando-se a partir de agora keV nas abcissas. Esta mudança de base nos eixos pode levar a erros de calibração, pois a incerteza nos channels do MCA é considerada 0, pelo que, para ajustes lineares onde  $dy = m dx$ , considerámos a incerteza no eixo das energias 0. Por um lado este é um valor que faz sentido, visto que não é correto considerar a incerteza de um bin maior do que o tamanho deste, pois perderíamos a ordenação dos acontecimentos. Por outro, calculando o ajuste em channels e mudando posteriormente para energias não perderíamos a incerteza associada ao ajuste. Deste modo, e após debater com o professor, consideramos que esta é uma discussão válida e em aberto, porém é de salientar que os ajustes, comparados, diferem cerca de 1% nos parâmetros.

Os espectros obtidos são apresentados de seguida. É importante referir que todos os sinais limpos ao longo do logbook foram obtidos usando Transformadas de Wavelets Discretas, mais especificamente, utilizando uma Coiflet Wavelet.

De seguida, antes de determinar os picos de retrodifusão e dos "joelhos" de Compton obtidos, é necessário calcular os valores teóricos através das relações:

$$E_r = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{m_e c^2}} \quad (1)$$

$$E_c = E_\gamma - E_r \quad (2)$$

Onde denotámos  $E_\gamma$  como a energia do fóton incidente,  $E_r$  como a energia de retrodifusão e  $E_c$  como a energia do "joelho" de Compton.

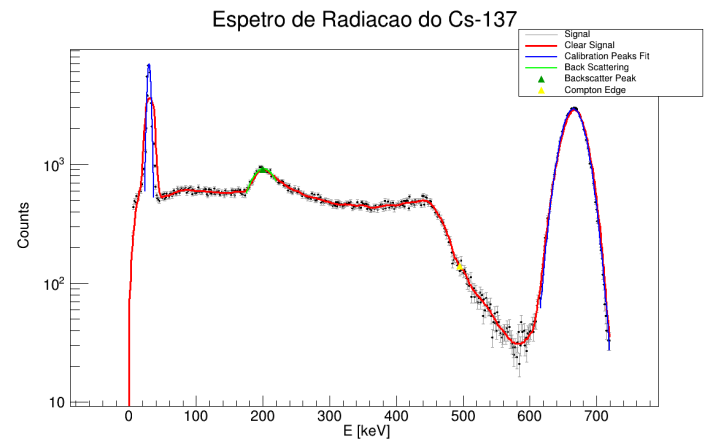


Figura 2: Espectro do Cs-137

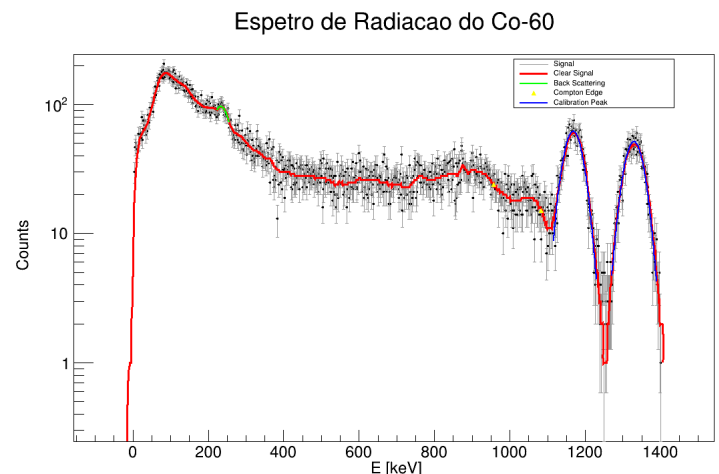


Figura 3: Espectro do Co-60

Como se verifica nos gráficos, apenas foi feito um ajuste gaussiano para o pico de retrodifusão, dado que o Joelho de Compton não tem um formato de gaussiana. Assim, neste último, ao invés de se obter a energia através do centróide, obteve-se o canal correspondente computacionalmente.

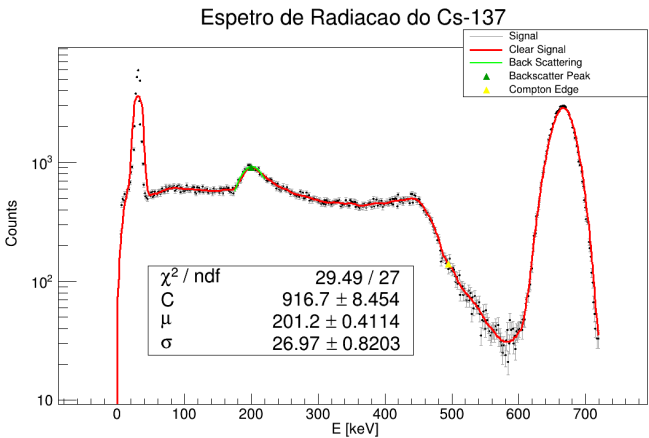


Figura 4: Espectro do Cs-137 com ajuste à energia de retrodifusão

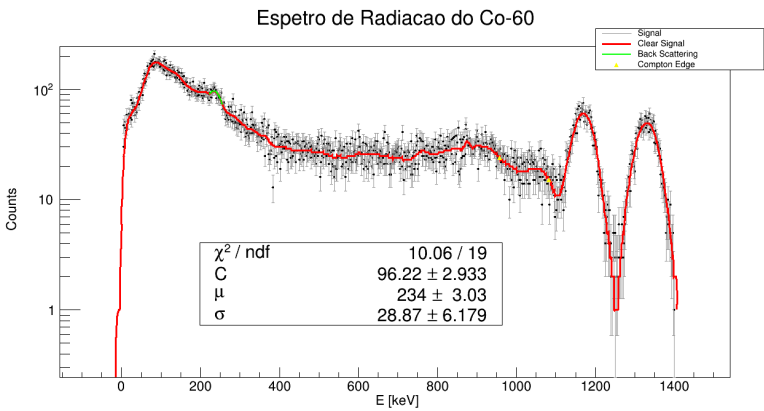


Figura 5: Espectro do Co-60 com ajuste à energia de retrodifusão

Através dos parâmetros ajustados, é possível perceber, através do  $\frac{\chi^2}{ndf}$ , que é da ordem de 1, que temos as barras de erro bem ajustadas, o que tem a ver com o ajuste da incerteza na calibração dos histogramas de channels para energia.

Nas tabelas seguintes apresentamos então as energias obtidas e esperados de retrodifusão dos raios  $\gamma$  e dos "joelhos" de Compton:

	Energia Obtida [keV]	Energia Teórica [keV]
Retrodifusão	201 ± 1	184
Joelho Compton	495 ± 5	478

Tabela 1: Energias obtidas e teóricas do Cs-137

Para o Co-60, é mais difícil perceber a diferença entre os picos de retrodifusão dos dois gamas, assim como a diferença nos "joelhos" de Compton. Os valores teóricos dos picos de retrodifusão estão muito próximos, pelo que obtivemos um único valor experimental e comparamos com a média dos teóricos. No entanto, os dois joelhos de Compton já têm uma maior diferença entre valores teóricos, pelo que foi possível obter um valor experimental para cada.

	Obtida [keV]		Teórica [keV]	
	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_1$	$\gamma_2$
Retrodifusão	234 ± 3		210	214
Joelho Compton	958 ± 5	1083 ± 7	963	1119

Tabela 2: Energias obtidas e teóricas do do Co-60

Para o Cs-137 obtivemos um erro relativo de 9,2% para a energia retrodifusão dos raios  $\gamma$  e um erro de 3,6% para o "joelho" de Compton. Confirma-se assim que, apesar da distribuição não apresentar o efeito de Compton ideal, esta encontra-se bastante próxima deste. Relativamente à fonte de Co-60, obtiveram-se os erros relativos de 10,4% para a energia de retrodifusão, 0,5% para o "joelho" de Compton relativo ao 1º  $\gamma$  e 3,2% relativamente ao 2º  $\gamma$ , pelo que se confirma que os valores obtidos estão próximos dos valores esperados. Em ambos os casos, verifica-se uma tendência para que o valor da energia de retrodifusão experimental seja superior ao teórico e que o valor do Joelho de Compton esteja abaixo do esperado. Podemos associar este fenómeno à existência de um erro sistemático nos canais de medição.

## Identificação da fonte desconhecida

Obteve-se o espectro da fonte desconhecida Vermelha 2 durante 150 segundos no MCA, a partir de onde guardamos os dados obtidos. Inicialmente, durante o laboratório, foi possível retirar dados para 9 picos. Ao conjunto de dados brutos obtidos para este espectro, subtraiu-se o espectro da radiação ambiente e fez-se um ajuste a cada um dos picos. Apesar de não termos a certeza acerca da distribuição de cada um dos picos de radiação ser ou não gaussiana, tanto na escala normal como na escala logarítmica estes picos aparentaram seguir a distribuição mencionada. Daí que tenha sido feito um ajuste gaussiano para cada um deles. Obtiveram-se os seguintes dados:

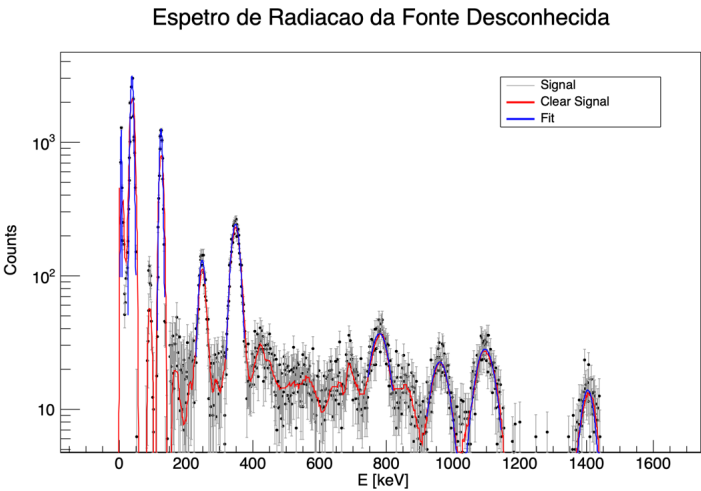


Figura 6: Espectro da fonte Vermelha 2 com ajustes nos picos de energia mais relevantes - sem a radiação ambiente

Inicialmente, pensámos que o pico mais energético do espectro (cerca de 1400 keV) poderia corresponder ao potássio ambiente. No entanto, mesmo depois de subtrair o espectro da radiação ambiente, este pico não desapareceu, pelo que concluímos que pertence ao espectro do elemento desconhecido.

Assim sendo, concluímos que o espectro que obtivemos para este elemento contém um total de 9 picos. De forma a poder procurar espectros de energia semelhantes ao do elemento desconhecido (figura 6), obtivemos os valores de energia para cada um dos picos presentes (as energias são os valores dos centróides dos ajustes das gaussianas a cada um dos picos):

Em seguida, recorremos ao website [nucleardata.nuclear.lu.se/toi](http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi) [3] para procurar isótopos radioativos que decaíssem com elevada probabilidade e tempo de semi-vida superior a 1 ano num intervalo de  $\pm 5$  KeV dos picos de energia do nosso espectro. Concluímos que o

nosso elemento desconhecido é o Európio Eu-152. Abaixo apresentamos uma tabela onde se encontram cada um dos picos detetados experimentalmente neste espectro, bem como o(s) valor(es) teórico(s) do pico do Eu-152 que acreditamos que lhe corresponda.

Raios-X	E. obtida [keV]	E. teórica [keV]	Intensidade
1	$6.4 \pm 2.6$	5.6	5.4%
		6.2	3.6%
		6.6	1.2%
2	$38.8 \pm 0.7$	39.5	21.1%
		40.2	38.3%
Raios- $\gamma$	E. obtida [keV]	E. teórica [keV]	Intensidade
3	$125.3 \pm 1.1$	125.3	28.6%
4	$246.5 \pm 1.1$	244.7	7.6%
5	$348.0 \pm 0.8$	344.3	26.5%
6	$781.3 \pm 1.6$	778.9	12.9%
7	$961.5 \pm 1.9$	964.8	14.6%
8	$1095.0 \pm 1.7$	1085.9	10.2%
		1089.7	13.6%
		1112.1	1.7%
9	$1407.0 \pm 2.6$	1408.0	21.0%

Tabela 3: Valores de energia obtidos e teóricos (já com a média) para os diferentes picos da Fonte Desconhecida

De modo a calcular os erros percentuais, efetuou-se uma média das energias teóricas ponderadas pela respetiva intensidade, de modo a obter o valor teórico mais correto de onde apareceria um pico "quase-gaussiano".

nº do pico	Incerteza na medição %	Erro %
1	40.6	8.5
2	1.8	3.0
3	0.9	0.0
4	0.4	0.7
5	0.2	1.1
6	0.2	0.3
7	0.2	0.3
8	0.2	0.5
9	0.2	0.1

Os erros percentuais são variam até 3% (exceto no 1º pico, onde a incerteza é dominante), o que mostra uma muito boa resolução dos picos e nos leva a dizer com confiança que a fonte desconhecida Vermelho-2 é o Európio-152.

## Identificação de fontes de radioatividade ambiente

Para estudar as fontes de radioatividade ambiente, obtivemos um espectro durante 20 minutos, sem colocar nenhuma fonte radioativa perto do detetor. O objetivo desta medição foi obter o espectro resultante das diversas fontes radioativas presentes no ambiente. Esta radiação encontra-se também presente em todos os outros espectros que obtivemos experimentalmente pelo que a temos de subtrair a cada um deles a radiação ambiente para podermos eliminar desses dados o erro sistemático resultante da mesma.

O espectro que obtivemos possui dois picos relevantes: o primeiro pico é de Raio-X e está associado à sucessiva interferência e perda de energia da radiação emitida pelos diferentes materiais do laboratório como as paredes, os dispositivos etc. Por outro lado, também identificamos um pico na zona da radiação  $\gamma$  com uma energia correspondente a  $1456 \pm 2$  keV que acreditamos corresponder ao pico teórico

do potássio K-40 de energia 1460.8 keV.

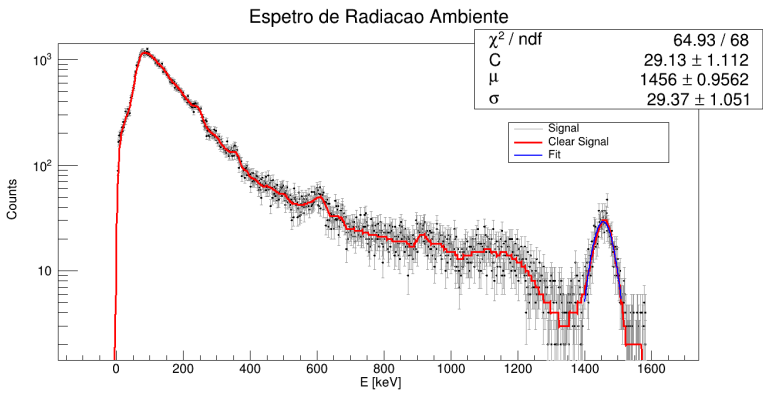


Figura 7: Espectro da Radiação Ambiente

## Atenuação da radiação gama na matéria

Para estudar o efeito da atenuação da radiação na matéria, colocámos, individualmente, duas placas de espessura diferente entre o detetor e a fonte emissora de radiação, Cs137. A espessura das placas encontra-se na tabela em seguimento:

Placa	Espessura Mássica [mg/cm <sup>2</sup> ]	Espessura [cm]
A	7200	0.08357
B	1800	0.15953

Inicialmente, retirámos os dados do MCA para cada uma das aquisições feitas. Os dados obtidos encontram-se no gráfico em seguimento:

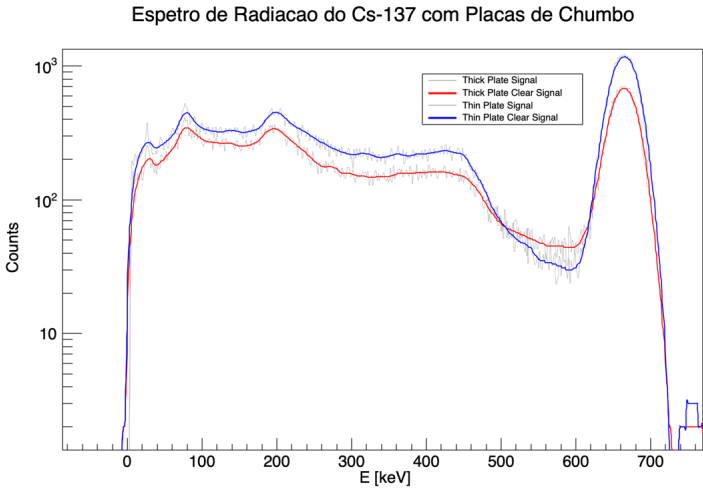


Figura 8: Espectro de radiação do Cs-137 com diferentes placas de Chumbo

De forma a obter o coeficiente de atenuação do chumbo foi utilizada a lei de Lambert-Beer [2]:

$$\log \left( \frac{I}{I_0} \right) = -\mu d \quad (3)$$

onde  $I_0$  e  $I$  são as intensidades antes e depois da absorção, respetivamente,  $\mu$  é o coeficiente de absorção em cm<sup>2</sup>/g e  $d$  é a espessura mássica do material em g/cm<sup>2</sup>.

Em seguida, foi realizado um fit com os centróides dos picos  $\gamma$  (de energia 661.7 keV) tendo sido obtido o valor de 0.1073 cm<sup>2</sup>/g para o coeficiente de absorção de radiação gama do chumbo. O coeficiente de absorção de radiação gama do chumbo varia com a energia da mesma.

Com base nos valores para o coeficiente de absorção consultados em [4], fez-se uma interpolação do valor deste coeficiente para a energia referenciada acima. Obteve-se 0.1137 cm<sup>2</sup>/g para o valor teórico, chegando a um erro de aproximadamente 5.6%.

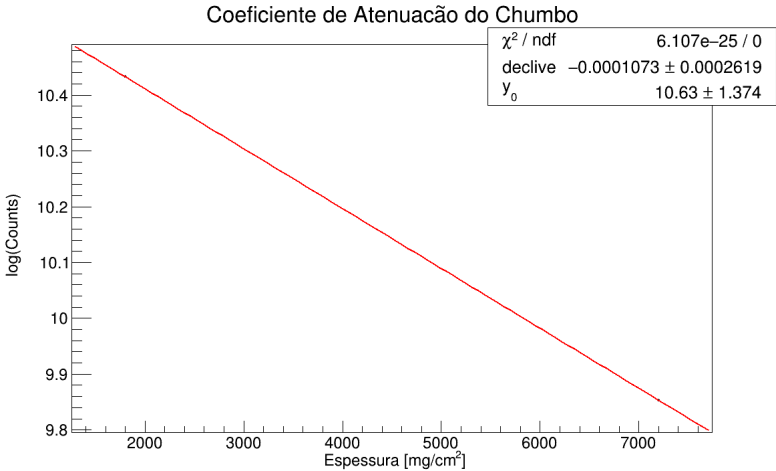


Figura 9: Coeficiente de Atenuação do Chumbo

### Estudo das características do detector

O estudo da resolução em energia mede a capacidade do detector em distinguir dois valores de energia próximos. Assim, a resolução em energia, pode ser definida como:

$$R = \frac{\Delta E}{E} = \frac{FWHM}{E} \tag{4}$$

Para a obtenção da resolução em energia do detector usámos assim a energia e FWHM de todos os picos obtidos. Dado que a largura à meia altura é obtida como uma diferença entre canais, esta foi convertida para valores de energia através da multiplicação pelo declive da reta de calibração.

Picos	Centróide [keV]	FWHM [keV]	R
Cs - Raios X	29.28	5.42	0.1851
Cs - $\gamma$	665.87	42.00	0.0631
Co - $\gamma_1$	1172.57	50.64	0.0432
Co - $\gamma_2$	1330.72	57.51	0.0432

Tabela 4: Valores da resolução de energia para os picos medidos

Analisando os valores obtidos, verifica-se que quanto maior a energia do pico, melhor é a resolução (menor valor de R). A resolução é tanto maior (menor valor de R) quanto menos for FWHM do pico e quanto maior for a energia do pico a estudar. No entanto, dada a natureza do funcionamento do detector, estas duas grandezas variam simultaneamente: os picos mais energéticos resultam de eletrões mais energéticos que sofreram mais interferência dentro do detector, daí que este picos sejam mais largos, ou seja, existem eletrões que têm energia na vizinhança da energia fixa do pico e por isso para altas energias, FWHM aumenta. Para confirmar que as altas energias que maximizam a resolução do detector fizemos um gráfico da resolução em função da energia. Sabemos que a emissão de raios X e  $\gamma$  seguem distribuições de Poisson, pelo que  $FWHM = 2.355\sqrt{N}$ . Utilizando também a relação  $N = \frac{E}{w}$ , onde  $w$  representa a energia necessária para a produção de cada foto-eletrão, obtemos a expressão

$$R = \frac{2.335}{w} \times \frac{1}{\sqrt{E}} \tag{5}$$

Concluimos assim que a resolução varia proporcionalmente com  $\frac{1}{\sqrt{E}}$ , pelo que fizemos uma curva de ajuste do tipo  $R = \frac{a}{\sqrt{E}} + b$ . Obteve-se o seguinte gráfico:

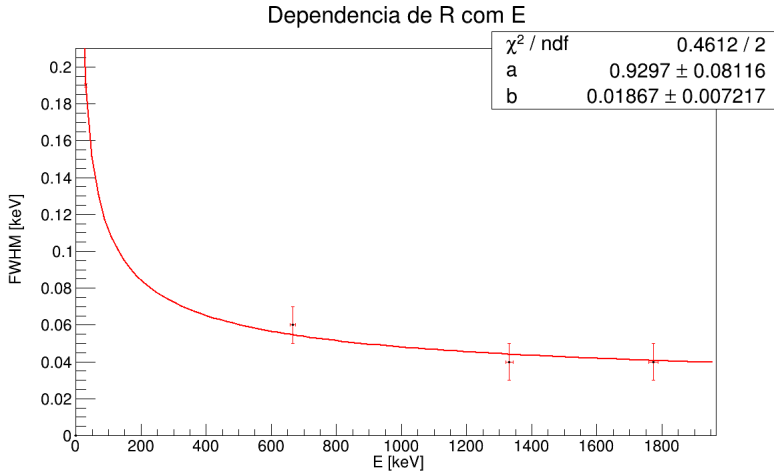


Figura 10: Dependência da resolução com a energia

A curva de ajuste é dada por  $R = \frac{0.9297}{\sqrt{E}} + 0.0187$  e ajusta-se bem aos dados, pelo que se confirma que R varia com  $\frac{1}{\sqrt{E}}$ . Analisando as diferenças entre os valores observados e os valores teóricos, podemos obter as incertezas relativas:

Picos	$R_{obs}$	$R_{teórico}$	Incerteza Relativa
Cs - Raios X	0.1851	0.1905	2.83%
Cs - $\gamma$	0.0631	0.0547	15.36%
Co - $\gamma_1$	0.0432	0.0459	5.88%
Co - $\gamma_2$	0.0432	0.0442	2.26%

Tabela 5: Valores da incerteza da resolução de energia

Na calibração obtivemos uma ordenada na origem, a qual evidencia a possibilidade da existência de erros sistemáticos, os quais podem ter diversas fontes. Alguns possíveis fatores são a saturação do detector, a deposição de alguma da energia das partículas fora do detector, variações de temperatura e a possibilidade de o material continuar a emitir radiação após a passagem da partícula. Para além disso, a relação entre os canais do MCA e a energia deixa de ser linear para valores mais elevados, pelo que a calibração pode deixar de ser apropriada.

### Referências

- [1] Pedro Assis. “Guia de laboratório - Espectroscopia da Radiação Gama e atenuação na matéria”. Em: (2022). URL: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395938/G7-Gamma\\_v09.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395938/G7-Gamma_v09.pdf).
- [2] Pedro Assis. “Manual de apoio - Espectroscopia da Radiação Gama e atenuação na matéria”. Em: (2022). URL: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395956/gama\\_apoio.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970943312395956/gama_apoio.pdf).
- [3] Tabela de Nucleótidos. URL: <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/>. (Acedido: 03-06-2023).
- [4] X-Ray Mass Attenuation Coefficients. URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>. (Acedido: 03-06-2023).