

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Relatório de Atenuação de raios gama

Lucas Nimirio Maia Feng

Nº 11915950

lucasfeng@usp.br

Vitor Chinaglia

Nº 11912363

vitorchng@usp.br

Patrick Marques de Barros Costa Nº 11257550

patrickmarques@usp.br

Curso de Engenharia da Computação da Escola Politécnica da USP

21/01/2022

1. Resumo:

Para essa experiência, o efeito fotoelétrico foi estudado. Com um tubo fotomultiplicador, constituído de diversos eletrodos envolvidos em um tubo de vidro com gás rarefeito, uma fóton de alta energia é emitido para o cintilador e é gerado um fotoelétron na placa metálica abaixo dele, que é acelerado para cada um dos eletrodos. Conforme ocorre a colisão do fotoelétron com átomos do gás rarefeito este é ionizado, gerando mais elétrons. Ao chegar no último eletrodo, os elétrons adicionais resultam em uma tensão proporcional à energia da partícula incidida sobre o cintilador.

Para que o experimento funcione, é necessário calibrar corretamente a tensão aplicada aos eletrodos para evitar saturação, caso esta ocorra a saída para de variar impedindo as medições corretas.

Para a calibração, foi utilizado o software Origin, que auxiliou no ajuste de curvas gaussianas aos dados fornecidos.

Na primeira etapa a calibração ocorreu conforme o esperado, já durante a segunda etapa, foram medidas as curvas de atenuação dos raios gama utilizando o césio como fonte e o alumínio como atenuador. Foi necessário primeiramente medir e normalizar a radiação de fundo, que foi então subtraída dos resultados seguintes para não causar interferência.

E com isso foi possível obter um valor próximo do coeficiente de atenuação do alumínio esperado mas o valor da meia espessura divergiu drasticamente.

2. Introdução:

A experiência estudada tem como objetivo a calibração do espectro de raios γ obtidos pelo detector cintilador e fotomultiplicadora, serão medidas as curvas de atenuação de raios γ com a energia de fótons diferentes usando o absorvedor de alumínio (Al, $Z=13$, $\rho=2,697\text{g/cm}^3$), a partir dos resultados serão observadas as regularidades da radiação gama com a matéria conforme a lei de atenuação exponencial, o decréscimo do coeficiente de atenuação com o aumento da energia dos raios γ e da obtenção do valor de meia espessura a partir dos gráficos de atenuação e comparação com os valores tabelados.

3. **Desenvolvimento:**

3.1. Método:

O aparato experimental utiliza tubos de fotomultiplicadoras, tubos de vidro com eletrodos e um material fotossensível na extremidade, plaquinhas de acrílico com materiais radioativos inseridos e uma fonte de alimentação para o tubo fotomultiplicador.

Um osciloscópio é usado para manter o patamar de saturação próximo de 10V e um conversor analógico-digital de 256 canais coleta o sinal de tensão, com amplificadores de ganho para aumentar a sua resolução. Para o tratamento de dados do experimento foi utilizado o software Origin.

O cálculo dos valores de calibração foi feito a partir da medição dos valores de pico de energia obtidos para o Cobalto e o Césio na experiência e foram disponibilizados como dados nos arquivos "cal_Co.csv", "cal-Cs.csv", "Teste_Na.csv".

No Origin, foi feito um tratamento desses dados através de um ajuste do gráfico com curvas gaussianas.

3.2. Resultados e Discussão:

A1

A curva obtida pelo software Origin a partir dos dados do espectro de raios γ do cobalto é dada abaixo, assim como os respectivos picos e gaussianas aplicadas aos mesmos.

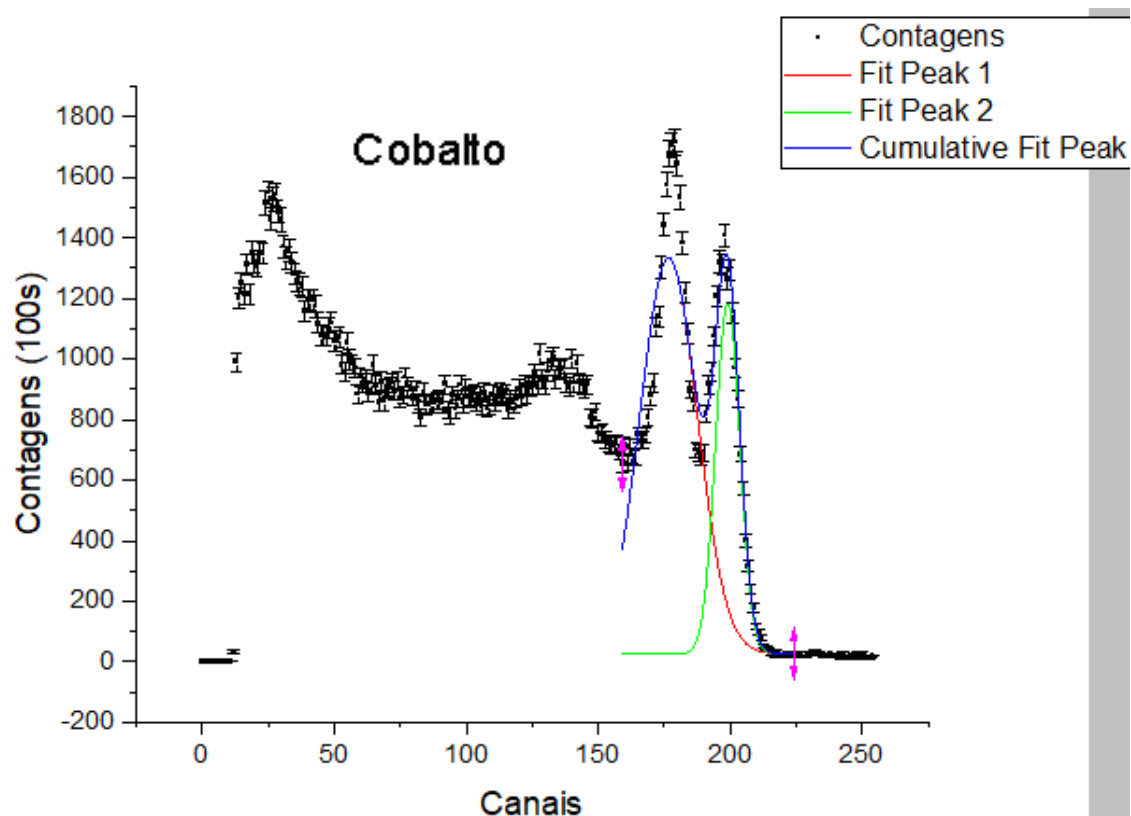


Figura 1: Espectro de raios γ do Cobalto

	A	B	C
1	Model	Gauss	
2	Equation	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-x_c)/w)^2)$	
3	Plot	Peak1(B)	Peak2(B)
4	y0	26,73812 $\pm$ 7,27845	26,73812 $\pm$ 7,27845
5	Centroide	176,65418 $\pm$ 0,52525	199,01985 $\pm$ 0,36203
6	Largura	21,6288 $\pm$ 1,37637	9,18022 $\pm$ 0,61006
7	Área	35457,49678 $\pm$ 1723,79037	13314,2282 $\pm$ 1238,26349
8	Reduced Chi-Sqr	23,57887	
9	R ²	0,96717	
10	R ² ajustado	0,96383	

Figura 2: Tabela de informações das curvas Gaussianas do espectro de raios γ do Cobalto

A partir do gráfico e da tabela obtivemos os valores de picos de energia (centróides) atingidos nos valores de 176,654, com erro de 0,525, e de 199,020, com erro de 0,362.

A2

Analogamente para o Césio:

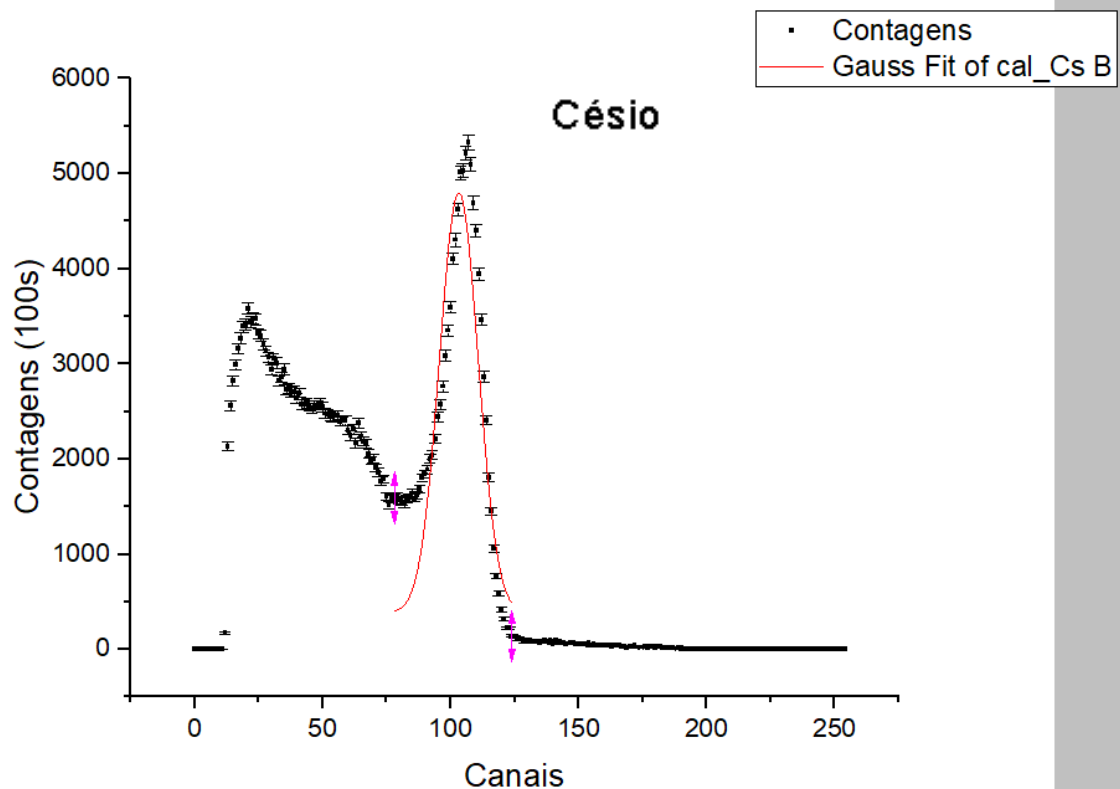


Figura 3: Espectro de raios γ do Césio

	A	B
1	Model	Gauss
2	Equation	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-x_c)/w)^2)$
3	Plot	B
4	y0	$386,81241 \pm 174,40641$
5	Centroide	$103,21884 \pm 0,57691$
6	Largura	$15,06925 \pm 1,52949$
7	Área	$83318,31768 \pm 9522,15878$
8	Reduced Chi-Sqr	310,23525
9	R-Square (COD)	0,78522
10	Adj. R-Square	0,77023

Figura 4: Tabela de informações das curvas Gaussianas do espectro de raios γ do Césio

Para o Césio, o valor do centróide encontrado foi de 103,219, com erro de 0,577.

A3

Com os valores arredondados dos centróides do Cobalto e do Césio , seus erros, e a energia de seus raios γ foi obtida a seguinte tabela:

Centróide	Erro - Centróide	Energia [KeV]
103,219	$\pm 0,577$	661,7
176,654	$\pm 0,525$	1137
199,020	$\pm 0,362$	1332

Figura 5: Tabela com os valores dos centróides ajustados, os respectivos erros e energia dos respectivos raios gama do Cs e Co.

Com um ajuste linear entre os valores de centróide e os valores de energia esperados, obtém-se os resultados:

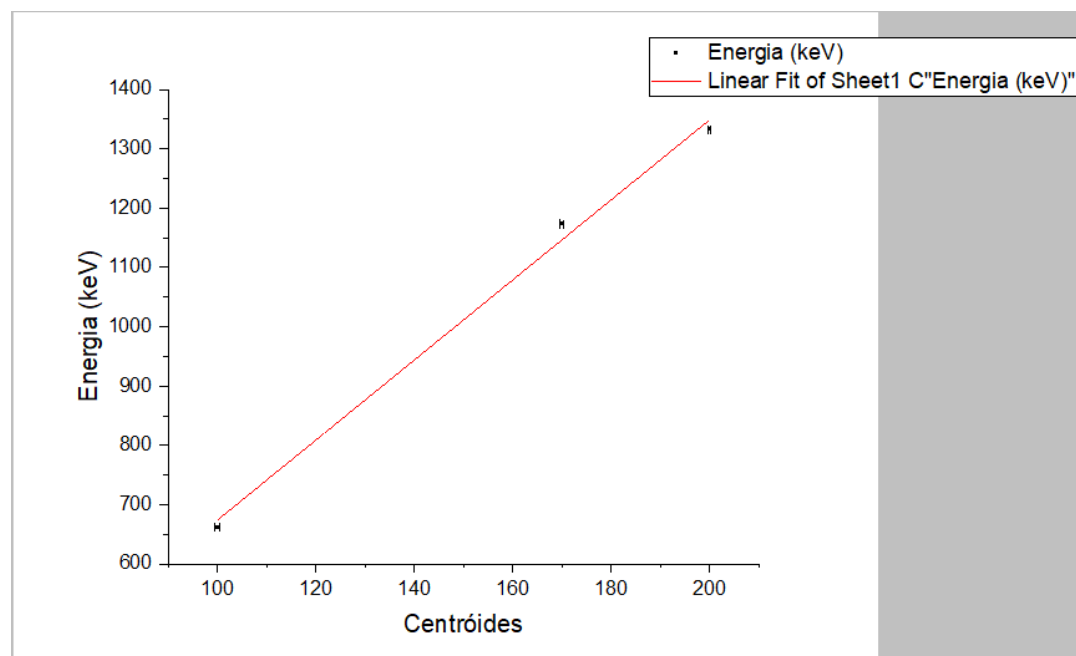


Figura 6: Gráfico da reta de calibração do equipamento

	A	B
1	Equation	$y = a + b \cdot x$
2	Plot	Energia (keV)
3	Weight	No Weighting
4	Intercept	$0 \pm --$
5	Slope	$6,74246 \pm 0,08524$
6	Residual Sum of Squares	1146,65299
7	Pearson's r	0,99984
8	R-Square (COD)	0,99968
9	Adj. R-Square	0,99952

Figura 7: Informações sobre a reta de calibração

A reta de calibração mostra que é preciso multiplicar a energia por $6,74 \pm 0,08$ para se aproximar dos valores reais.

Após obter a reta de calibração foi feito o gráfico do espectro de raios γ do Sódio (Na) para comparação:

Sódio

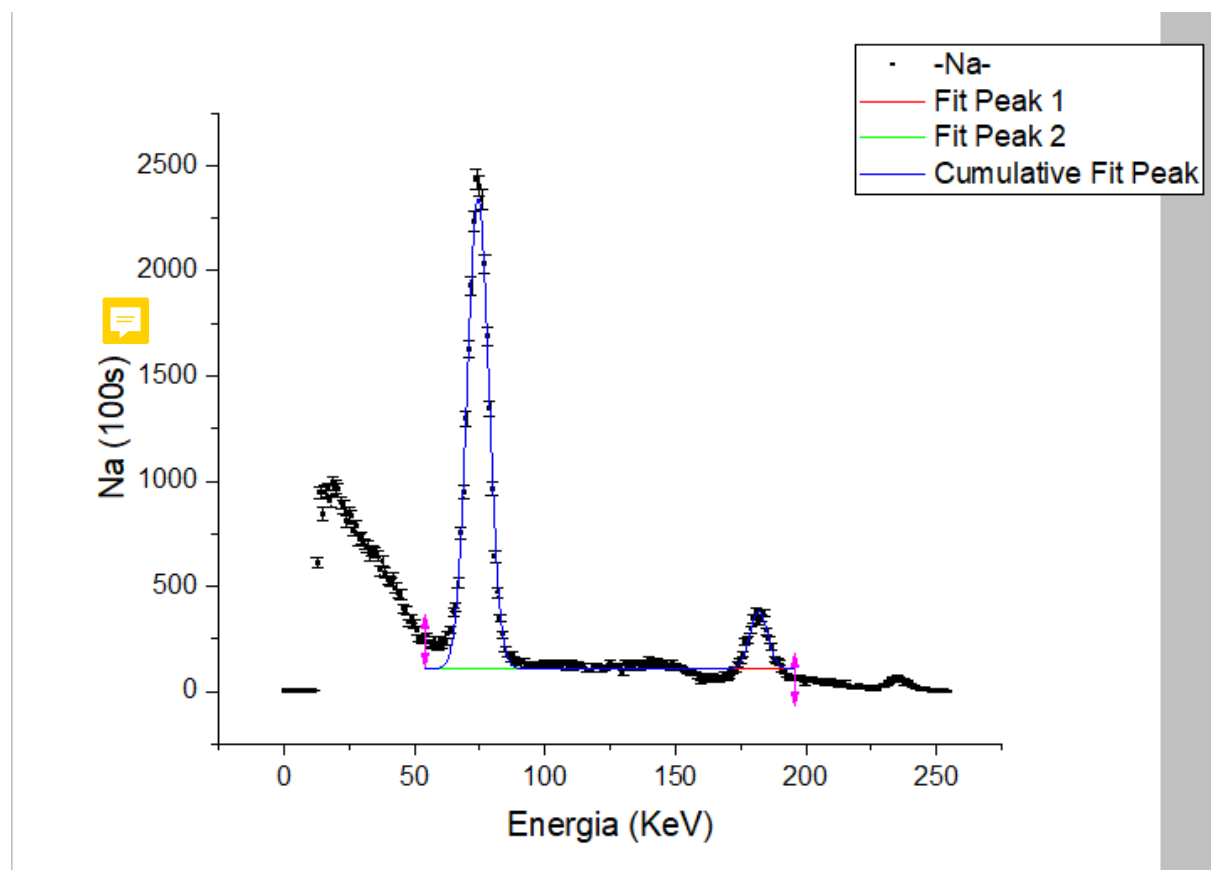


Figura 8: Espectro de raios γ do Sódio

	A	B	C
1	Model	Gauss	
2	Equation	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2}))*\exp(-2*((x-x_c)/w)^2)$	
3	Plot	Peak1(B)	Peak2(B)
4	y0	107,91635 ± 3,5953	107,91635 ± 3,5953
5	Centróide	74,41472 ± 0,10528	181,90186 ± 0,39068
6	Largura	8,28715 ± 0,17888	6,79811 ± 0,72504
7	Área	23211,34551 ± 562,03886	2303,55132 ± 239,58902
8	Reduced Chi-Sqr	11,97859	
9	R-Square (COD)	0,93061	
10	Adj. R-Square	0,92755	

Figura 9: Tabela de informações das Gaussianas do espectro de raios Gama do Sódio (Na)

Multiplicando os centróides por 6,74, conforme a calibração obtivemos os valores de 501 keV e 1226 keV , os resultados esperados eram de 511 keV e 1275 keV, portando o resultado da calibração foi satisfatório.

B1

Mantendo a escala encontrada no item A3, foi construído o gráfico da radiação de fundo. Usando uma propagação de erros é simples: para o eixo x, foi multiplicado o coeficiente angular com o canal associado e para o eixo y, por ser uma distribuição de poisson, a incerteza é obtida pela raiz quadrada do valor associado. Dessa forma foi obtido o gráfico:

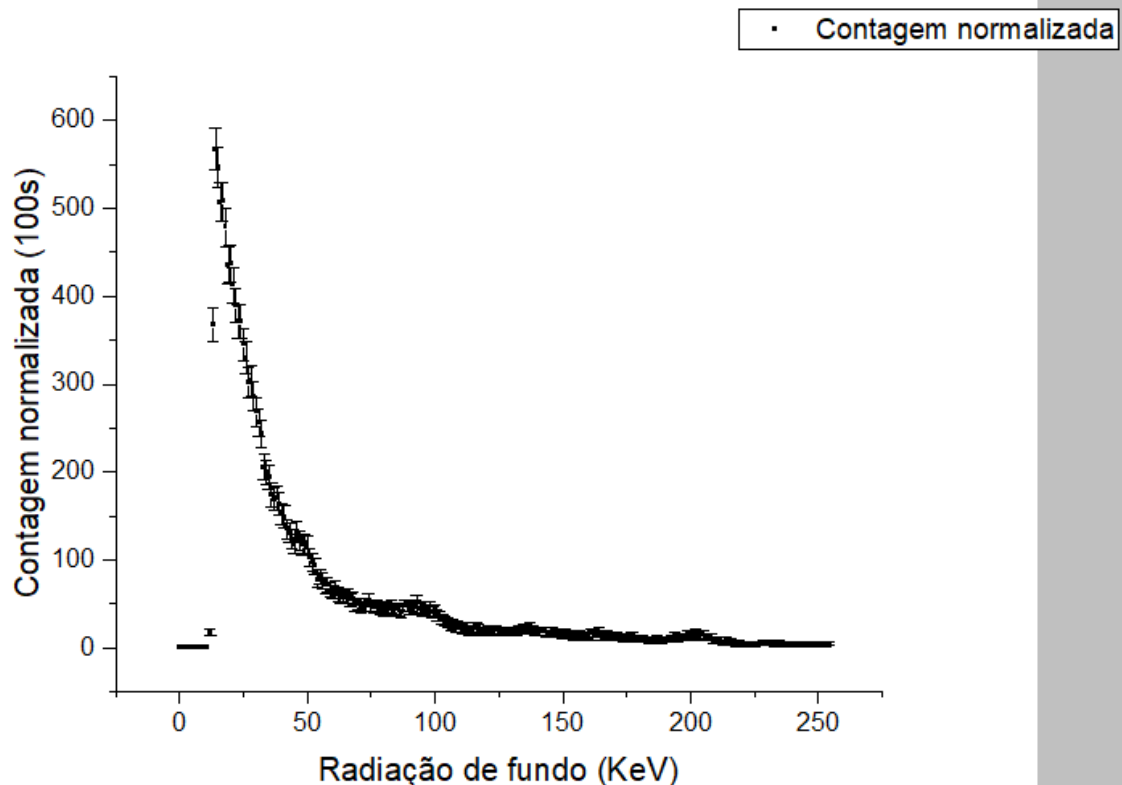


Figura 10: Espectro de Radiação de fundo

O elemento radioativo escolhido foi o Césio (Cs), e o elemento atenuador foi o Alumínio.

A partir das medidas fornecidas, foi obtido um valor médio para cada placa, e um erro associado.

Pela média ser resultado de três medidas, é necessário calcular o desvio padrão amostral.

Para cada placa tem-se que $\sigma_{med} = desvpad$ das três medidas e para a soma das placas propaga-se as incertezas de cada placa:

$$\sigma_{med} = \sqrt{\sum \sigma_{med i}^2}$$

Completando na tabela de espessuras:

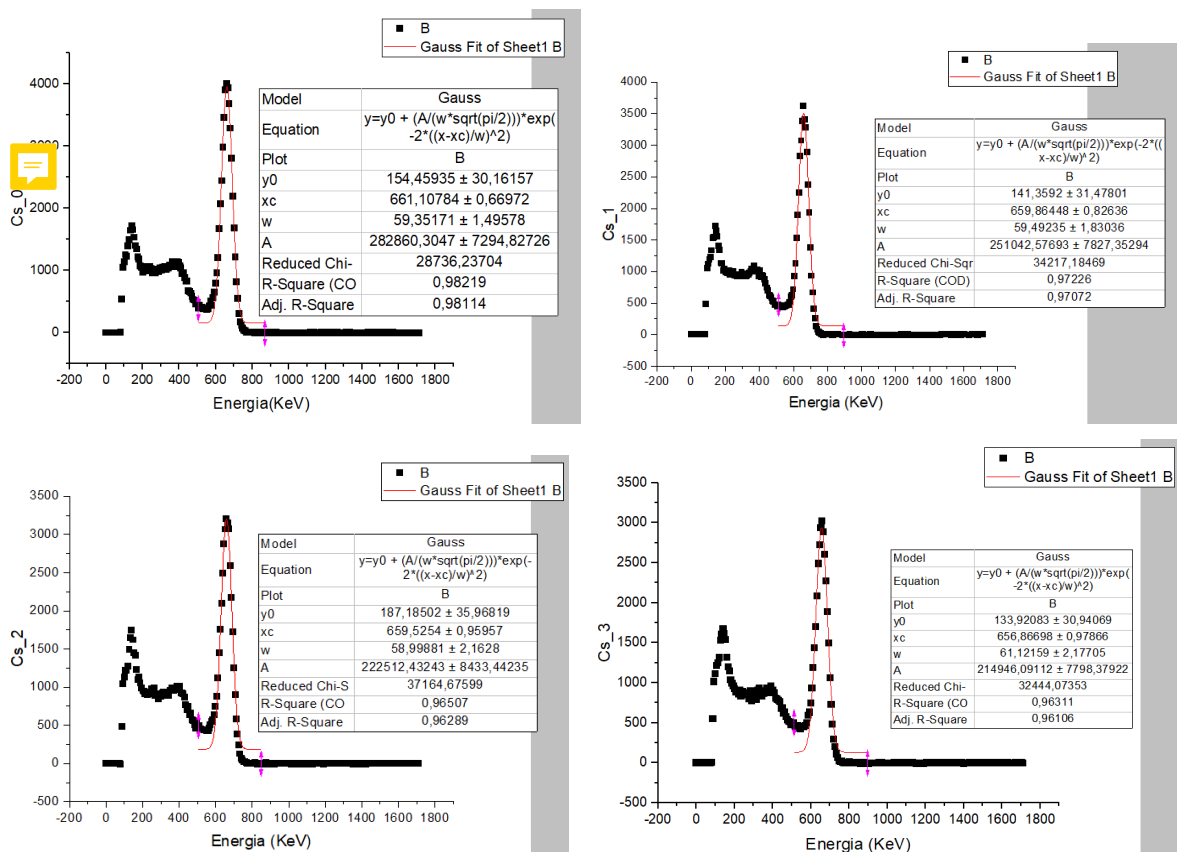
Placa de Al	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Média (cm)	±σ (cm)	Espessura Cumulativa (cm)	±σ cumulativa (cm)
A	0,910	0,902	0,906	0,906	0,004	0,906	0,004
B	0,584	0,570	0,572	0,575	0,008	1,481	0,012
C	0,574	0,572	0,580	0,575	0,004	2,057	0,016
D	0,562	0,568	0,570	0,567	0,004	2,623	0,020
E	0,246	0,246	0,240	0,244	0,003	2,867	0,023
F	0,902	0,900	0,898	0,900	0,002	3,767	0,025
G	0,248	0,246	0,250	0,248	0,002	4,015	0,027
H	0,478	0,484	0,472	0,478	0,006	4,493	0,033
I	0,582	0,584	0,574	0,580	0,005	5,073	0,039
J	0,572	0,570	0,654	0,599	0,048	5,672	0,087
K	0,480	0,482	0,482	0,481	0,001	6,153	0,088
L	0,242	0,250	0,234	0,242	0,008	6,395	0,096
M	0,200	0,198	0,190	0,196	0,005	6,591	0,101

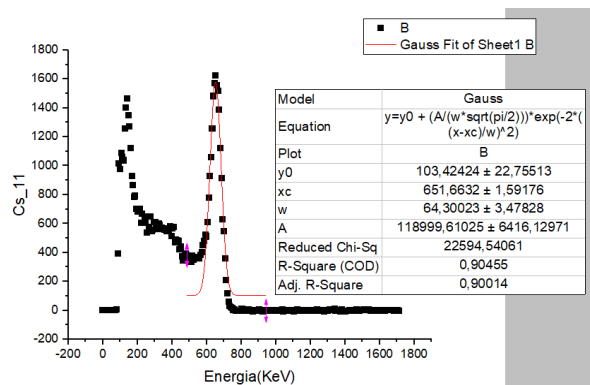
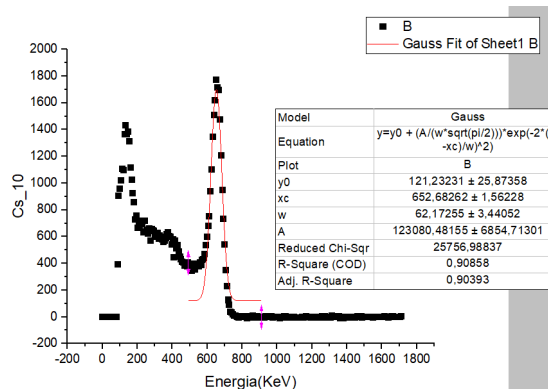
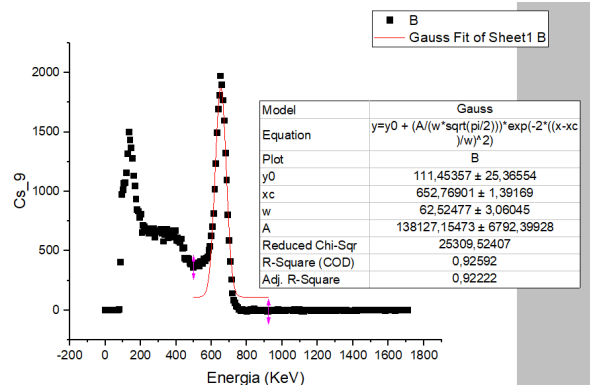
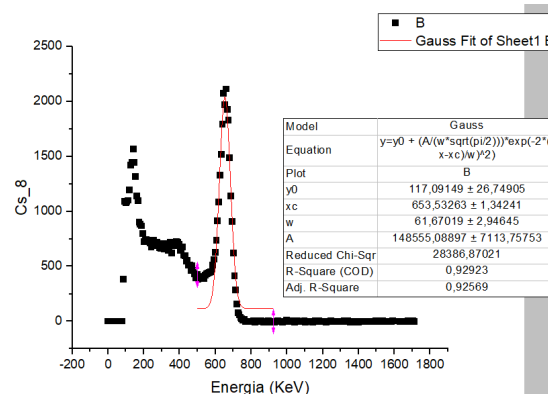
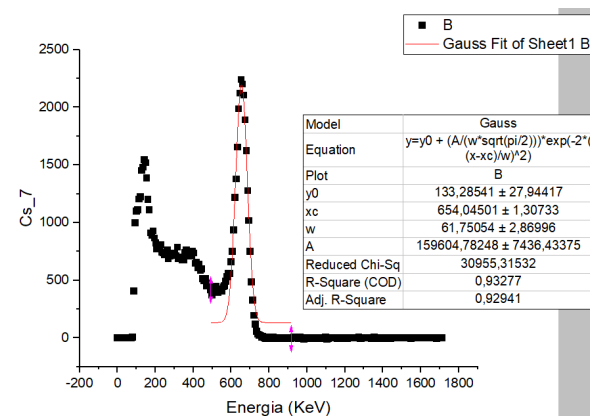
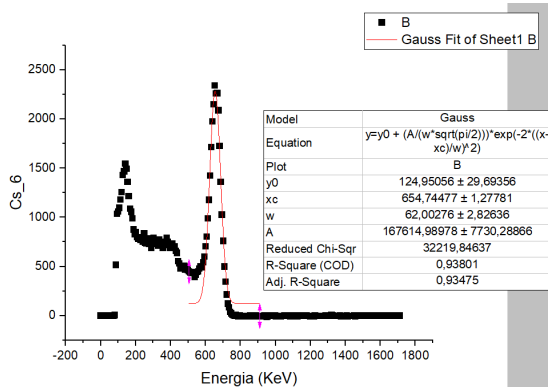
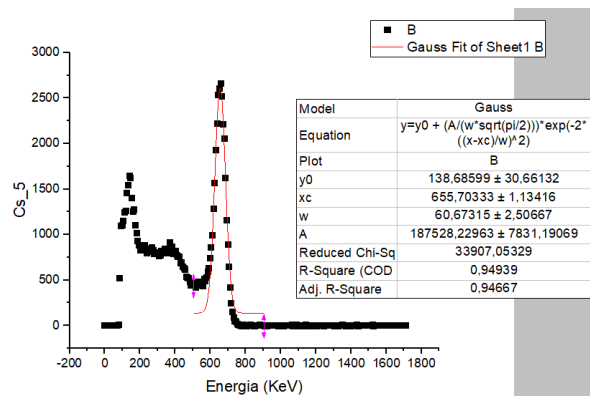
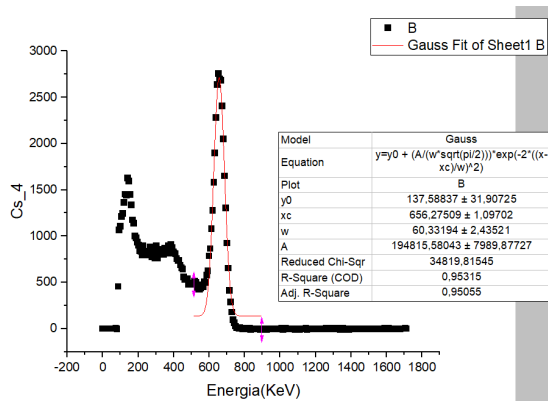
Figura 11: Tabela de espessuras e seus erros

B2

Foi escolhido o Césio (Cs) como elemento radioativo.

Para cada medição fornecida de contagens por nível de energia, um gráfico foi feito mostrando o número de contagens subtraído da radiação de fundo totalizando 14 curvas, uma sem atenuante e 13 adicionando uma placa de Alumínio por vez. Estas podem ser vistas abaixo:





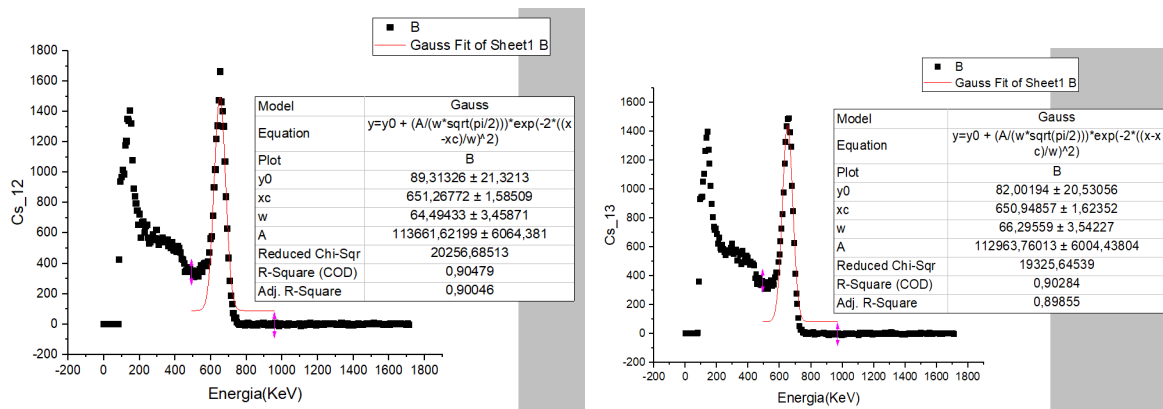


Figura 12: Gráficos obtidos a partir das medições com atenuações variadas

A partir das Gaussianas obtidas é possível encontrar a intensidade associada à emissão, em unidade arbitrária, a partir da área de pico do gráfico. Relacionado essa intensidade à espessura do material de absorção foram obtidos os resultados:

	A(X)	B(xEr±)	C(Y)	D(yEr±)
Long Name	Espessura(cm)	±σ esp (cm)	Intensidade	±σ int
Units				
Comments				
F(x)=				
1	0	0	282860,305	7294,827
2	0,906	0,004	251042,577	7827,353
3	1,481	0,012	222512,432	8433,442
4	2,057	0,016	214946,091	7798,379
5	2,623	0,02	194815,58	7989,877
6	2,867	0,023	187528,23	7831,19
7	3,767	0,025	167614,99	7730,288
8	4,015	0,027	159604,782	7436,434
9	4,493	0,033	148555,089	7113,758
10	5,073	0,039	138127,155	6792,399
11	5,672	0,087	123080,482	6854,713
12	6,153	0,088	118999,61	6416,13
13	6,395	0,096	113661,622	6064,381
14	6,591	0,101	112963,76	6004,438

Figura 13: Tabela com valores de intensidades atenuadas e espessuras do atenuador

Pela teoria, a curva resultante deve seguir uma exponencial decrescente:

$$I(x) = I_0 * \exp(-x\mu)$$

μ : coeficiente de atenuação do material absorvedor.

I_0 é uma intensidade de referência.

x : espessura do material.

Aproximando uma exponencial nos dados da tabela pelo Origin:

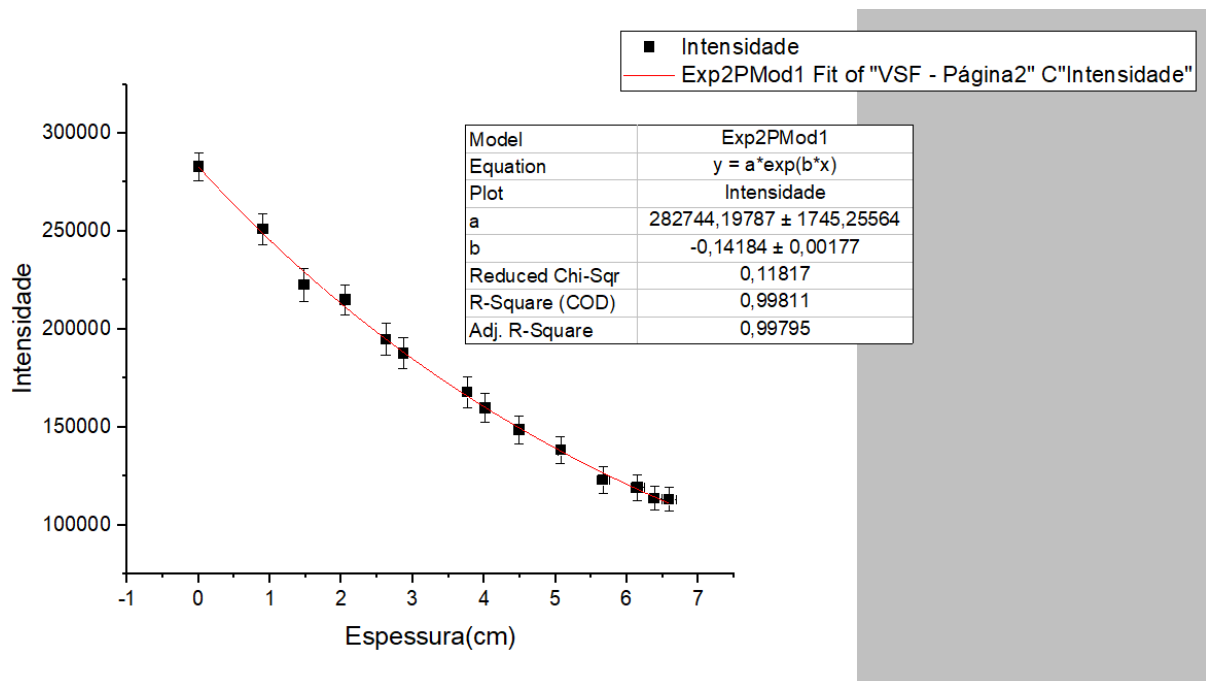


Figura 14: Gráfico de Intensidade por Espessura do Alumínio

A partir da aproximação é possível observar que $\mu = 0,142 \pm 0,002$ cm.

B3

O valor tabelado de μ é:

6.0E-01 7.802E-02 2.851E-02
 8.0E-01 6.841E-02 2.778E-02

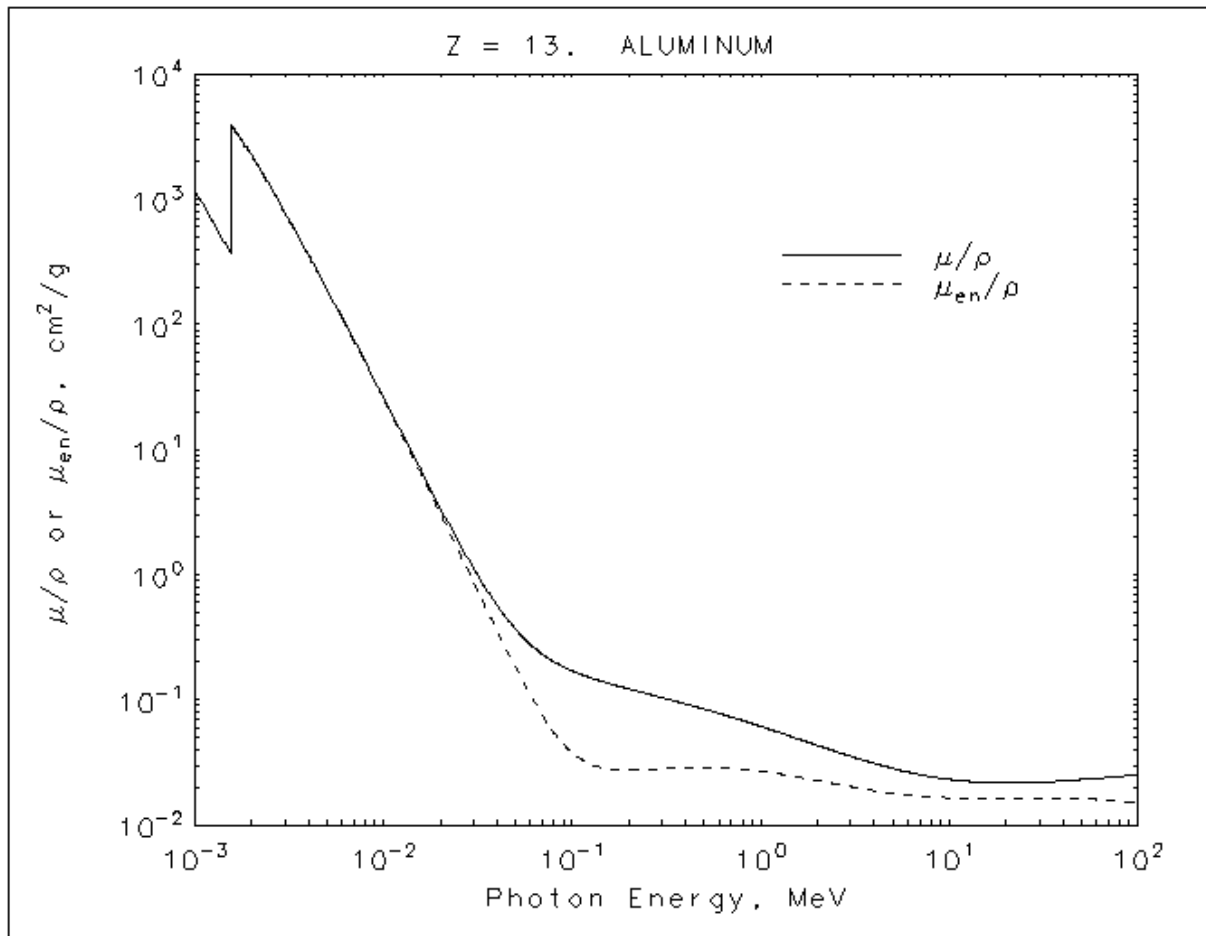


Figura 15 - Coeficientes de absorção tabelado para o Alumínio

Realizando uma regressão linear conforme a Figura 16 obtemos $(\mu/\rho) = 0,0749$ para 662 keV e $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$, já pelo gráfico da Figura 14 o resultado foi $(\mu/\rho) = 0,0526$.

Para a meia espessura o valor tabelado é de 34,2 mm e o valor obtido é de aproximadamente 5 cm.

No caso de μ o valor obtido foi de 0,142 e o esperado foi de 0,202.

Calculando $0,142 / 0,202 = 0,702$ é possível verificar uma divergência considerável.

Já no caso da espessura os resultados diferem em ordens de grandeza

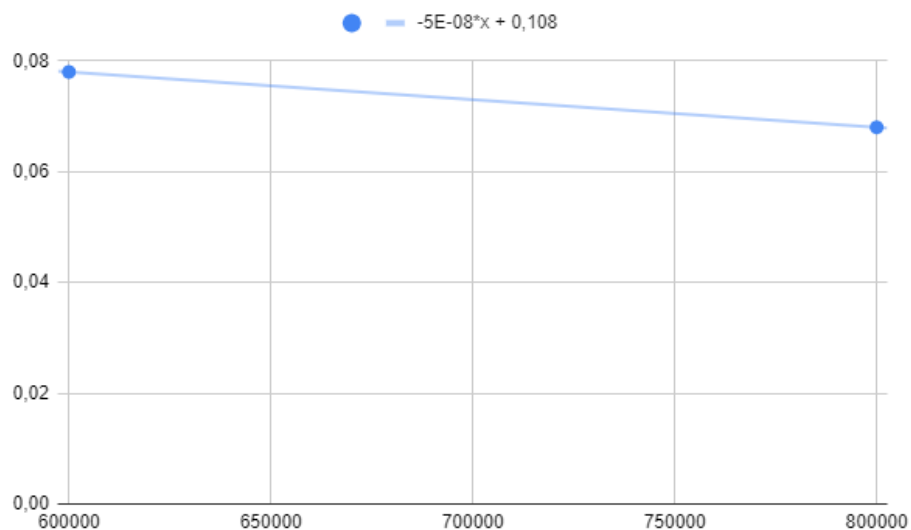


Figura 16: Regressão linear dos valores tabelados de μ/ρ em função da Energia(eV)

4. Conclusão:

Os resultados quanto a calibragem e comparação do espectro de raios do Sódio condizem com os resultados esperados.

Mas observam-se também divergências, entre os valores obtidos e os esperados do coeficiente de atenuação houve uma certa divergência e no caso da meia espessura do material de absorção, ocorreu uma grande divergência.

Um pouco dessas divergências poderiam ser causadas pelo intervalo da curva gaussiana no Origin, que varia seus parâmetros com base nos ajustes do gráfico, mas para a grande diferença nos resultados da espessura o grupo não encontrou uma boa explicação.

5. **Referências:**

http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/modelo-de-relatorio-raios.pdf
http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/apresentacao---interacao-da.pdf
http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/dicas-de-utilizacao-dos.pdf
http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/roteiro-raios-gama-v1.pdf
http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/apostila-interacao-da-radiao.pdf
http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/calibracao-raios-gama.mp4
http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/atenuacao-raios-gama.mp4
http://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2022/apresentacao---interacao-da.mp4
<https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z13.html>