

Física Experimental C  
Relatório de atenuação de raios gamas

# Relatório do Experimento

**Turma 02 - Grupo 5**

**Engenharia Química - 1º Módulo Acadêmico do 1º Quadrimestre**

Ana Beatriz Bertoli Gara - 11806472 (anagara@usp.br)

Gabriel Cunha Gonçalves - 11806531 (biel200364@usp.br)

Natalia Samara Verei - 11806490 (nathyve@usp.br)

São Paulo

25/01/ 2022

## Resumo

Este experimento visa estudar a atenuação de raios  $\gamma$  de forma a obter o coeficiente de atenuação do céσιο a partir da utilização do alumínio como absorvedor. A importância destes resultados obtidos está na coleta de informações para a escolha de materiais para a produção de equipamentos. Neste caso, por exemplo, temos dados que nos permitem identificar a espessura de alumínio que deve ser utilizada para que possamos reduzir a emissão de raios gama por parte do céσιο, calculada com base na estrutura do arranjo experimental formada por um detector cintilador e por uma fotomultiplicadora, que apesar de ter uma precisão bastante razoável para a coleta de dados, apresenta algumas limitações relacionadas à regulagem da voltagem, observação de resultados e à incidência dos fótons. Os principais resultados obtidos foram o coeficiente de atenuação de aproximadamente  $0,133 \text{ cm}^{-1}$  e a meia espessura de aproximadamente 5,21 cm. Esses valores divergem levemente dos tabelados, o que já era esperado, uma vez que durante a experiência foi realizado procedimentos com base na observação, como o ajuste da gaussiana à curva, o que acarreta uma grande imprecisão nas medidas, sendo previsto uma diferença entre as medidas.

## Introdução

O objetivo do experimento de atenuação de raios gamas pode ser dividido em três grandes escopos, sendo o primeiro relativo à calibração do espectro de raios  $\gamma$  que foi adquirido por meio da fotomultiplicador e do detector cintilador, o segundo relacionado à medição da atenuação da radiação  $\gamma$ , a partir da utilização de absorvedores, através da observação de curvas e por fim, analisar a existência de regularidades dos raios  $\gamma$  com a matéria.

O coeficiente de atenuação linear ( $\mu$ ) que será obtido a partir da realização do experimento reflete a quantidade de fótons que interagem com um determinado material por unidade de comprimento, ou seja, esse parâmetro indica a probabilidade de que o fóton sofra interferência de absorvedor. Este coeficiente depende da energia, do fóton incidente e do número atômico do material atenuador. Dessa forma, este parâmetro pode ser utilizado para estudar a absorção e a distribuição energética de determinados materiais, além de outras formas de perdas energéticas, servindo como excelente insumo para a escolha de materiais para o desenvolvimento de equipamentos. Um exemplo de utilização é a escolha do contêiner de chumbo para coleta de rejeitos nucleares, uma vez que ele atenua a liberação de raios  $\gamma$ , reduzindo o risco de acidentes.

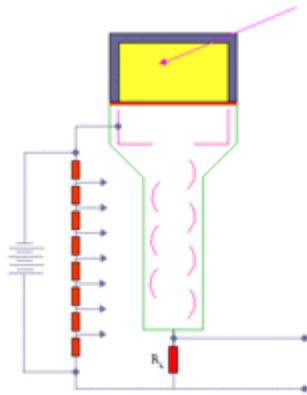
## Desenvolvimento

### Método:

Para a realização do experimento, foi utilizado um arranjo composto de duas principais estruturas, o detector cintilador e a fotomultiplicadora, acoplados. Em resumo, o arranjo experimental é formado por uma grade focalizadora, um fotocátodo, dínodos, um ânodo, um fóton de alta energia, fótons de baixa energia e uma trilha de ionização. Abaixo seguem

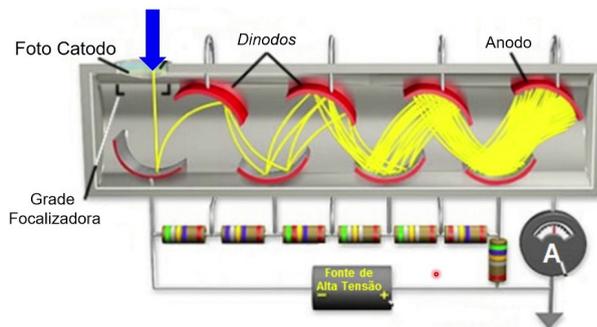
imagens com os respectivos nomes de cada uma das porções que compõem a estrutura utilizada.

*Detector cintilador*

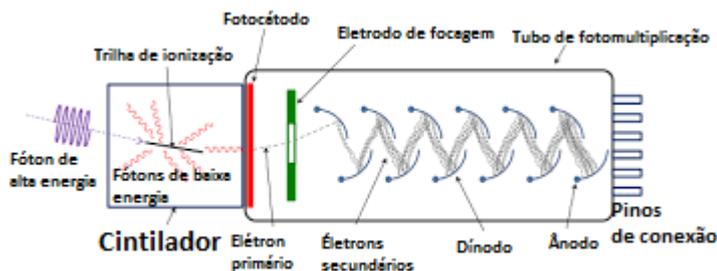


*Fotomultiplicadora*

**Fotomultiplicadora**



*Fotomultiplicadora e detector cintilador acoplados*



Algumas das dificuldades encontradas que podem ser citadas são a regulação da voltagem, uma vez que esta deve ser feita manualmente e de forma fracionada até o atingimento do limite de estabilidade, estando suscetível a erros. Além desta, podemos citar que a incidência dos fótons interfere diretamente na forma como eles atingiram o ânodo, de forma que uma pequena divergência na posição de incidência inicial pode causar uma variação dos valores presentes no espectro de raios  $\gamma$ . Também é uma limitação o fato que os dados são coletados com base na observação, de forma que pode ocorrer uma variância entre eles, dependendo de quem analisá-los. Vale citar ainda que os equipamentos utilizados possuem precisões especificadas pelos fabricantes que podem divergir também dos valores reais devido a limitação de algumas casas decimais.

Para realizar a análise de dados do experimento, utilizou-se o software Origin®, que possibilitou encontrar os valores dos centróides dos picos, por meio do ajuste de uma curva gaussiana na curva, e em posse desses valores é possível obter a calibração das condições de medida do equipamento. Além disso, o software também foi utilizado para o cálculo do coeficiente de atenuação linear total ( $\mu$ ) pela aplicação da fórmula:  $I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ .

## Resultados e discussão:

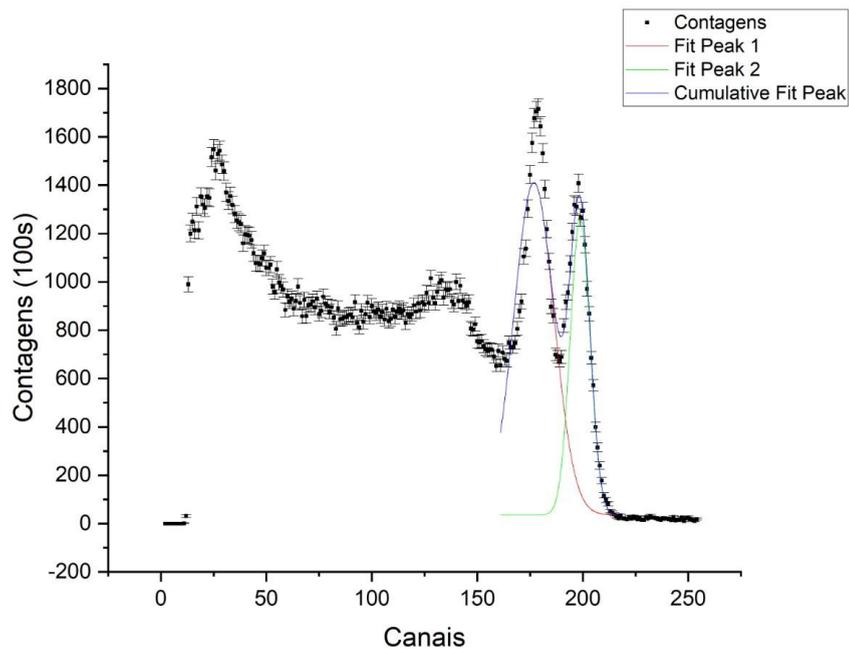
### Parte 1: Calibração do Espectro

Para a realização da calibração do espectro foi necessário encontrar o centróide ( $x_c$ ) dos picos das curvas do Cobalto e Césio para traçar a reta de calibração ( $E=mK + c$ ), assim:

#### A1)

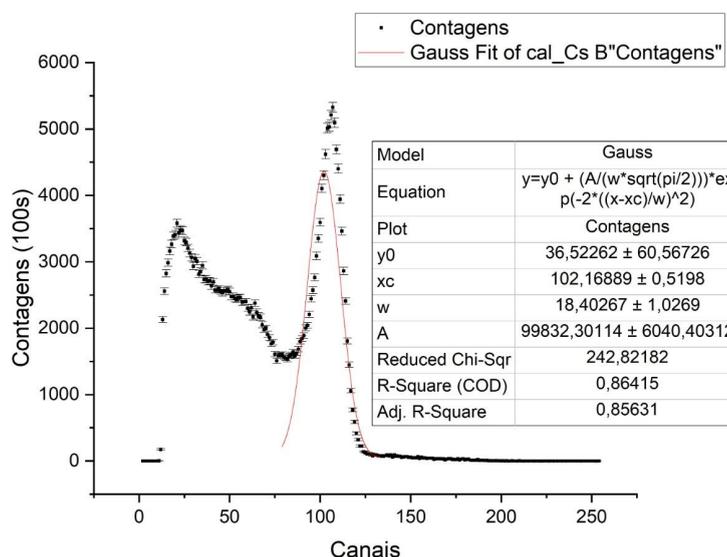
Nessa primeira etapa foi encontrado o centróide da curva do cobalto, para isso, aplica-se uma tensão de aproximadamente 661V à fotomultiplicadora do detector, além disso, foi configurado para contagens de 100s.

Após a plotagem dos dados no Origin, ajusta-se uma curva gaussiana para os dois picos do cobalto, e os dados gerados são registrados, obtendo o seguinte resultado:



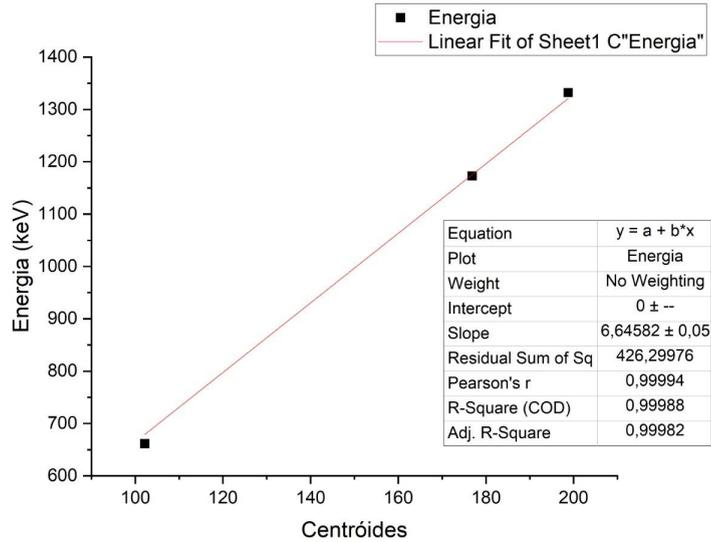
Modelo	Gauss	
Equação	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2})) * \exp(-2*((x-xc)/w)^2)$	
Curva	Pico 1	Pico 2
y0 (contagens)	35,61737 ± 11,77268	35,61737 ± 11,77268
xc (centróide)	176,86461 ± 0,41443	198,77084 ± 0,3314
w	18,96871 ± 1,05209	9,37212 ± 0,54562
área	32705,68829 ± 1395,4316	14350,85848 ± 1047,41461
Qui-quadrado reduzido	20,63287	
Coefficiente de determinação	0,97093	
Coefficiente de determinação ajustado	0,96744	

**A2)** Repete-se o mesmo procedimento feito para o cobalto, mas agora para o Césio, aplicando-se a mesma tensão de 661 V à fotomultiplicadora do detector, e o mesmo número de contagens. O resultado obtido foi:



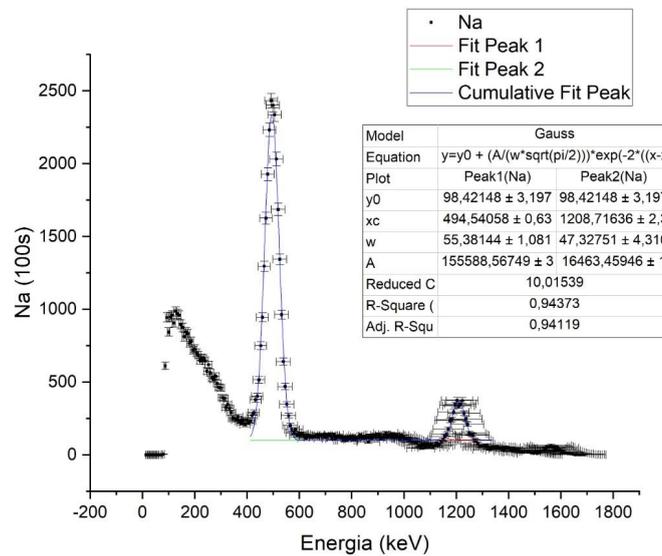
Modelo	Gauss
Equação	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2})) * \exp(-2*((x-xc)/w)^2)$
Curva	Ajuste da Gaussiana
y0 (contagens)	36,52262 ± 60,56726
xc (centróide)	102,16889 ± 0,5198
w	18,40267 ± 1,0269
área	99832,30114 ± 6040,40312
Qui-quadrado reduzido	242,82182
Coefficiente de determinação	0,86415
Coefficiente de determinação ajustado	0,85631

**A3)** Com os dados obtidos dos centróides do cobalto e do césio foi possível traçar a reta de calibração, sendo com o valor da inclinação da reta, que transforma o valor do canal em energia, que será utilizado para calibrar o equipamento. O valor encontrado para a inclinação foi de  $6,65 \pm 0,05$  keV/canal



Em seguida foi realizado a medição de um isótopo radioativo ( $\text{Na}^{22}$ ), para comparar com os valores fornecidos, assim analisar a calibração obtida, para tal fim foi transformado o valor do canal em energia, por esse motivo foi necessário realizar propagação de erro para encontrar a incerteza associado ao valor da energia:  $E = b \cdot C$ , em que  $b$  é o valor da inclinação da reta de calibração e  $C$  é o valor do canal, supondo que a incerteza associada a  $C$  é nula, por propagação de erro resulta:  $\sigma_E^2 = (\partial x / \partial b)^2 \cdot \sigma_b^2 \leftrightarrow \sigma_E = C \cdot \sigma_b$ .

O resultado obtido foi:



Modelo	Gauss	
Equação	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{\pi/2})) * \exp(-2*((x-xc)/w)^2)$	
Curva	Pico 1	Pico 2
y0 (contagens)	98,42148 ± 3,197	98,42148 ± 3,197
xc (centróide)	494,54058 ± 0,63	1208,71636 ± 2,3
w	55,38144 ± 1,081	47,32751 ± 4,310
área	155588,56749 ± 3	16463,45946 ± 1
Qui-quadrado reduzido	10,01539	
Coefficiente de determinação	0,94373	
Coefficiente de determinação ajustado	0,94119	

Os valores fornecidos para o isótopo de sódio são de: 1275 keV e 511 keV, analisando os dados obtidos no experimento, tem-se que para o primeiro pico, e considerando a incerteza associada, o intervalo de compatibilidade é de:

$494,5 + 0,6 = 495,1$  keV e  $494,5 - 0,6 = 493,9$  keV, assim é possível notar que o valor de 511 keV não é compatível com o valor obtido experimentalmente considerando apenas um sigma, sendo necessário mais sigmas para que o valor fosse compatível. Já para o pico 2, tem-se que o intervalo de compatibilidade é:  $1209 + 2 = 1211$  keV e  $1209 - 2 = 1207$  keV, também concluímos que não é compatível com o valor de 1275 keV, pois esse valor não está contido no intervalo.

Embora ambos os valores não foram compatíveis, é possível notar que não são tão divergentes, e apresentam uma proximidade, e uma possível justificativa para essa diferença existente é o ajuste da gaussiana à curva, que como foi feita apenas com base na observação, gera uma imprecisão na medida.

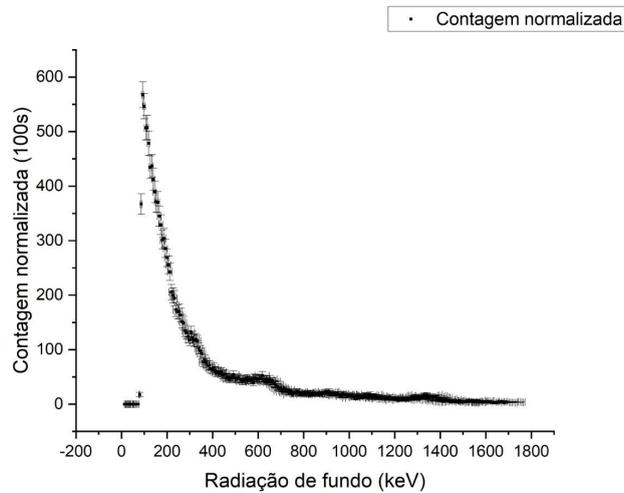
## Parte 2: Atenuação de raios gama

O objetivo dessa etapa do experimento é encontrar o coeficiente de atenuação e a meia espessura para o material escolhido.

Para o desenvolvimento desse processo foi escolhido como material atenuador o alumínio, e o elemento o qual se deseja estudar a atenuação foi o Césio.

**B1)** Essa etapa consiste em identificar a radiação de fundo, para que seja subtraída do valor obtido na radiação de Césio, e assim possamos obter o valor apenas da radiação de Césio sem a interferência da radiação de fundo.

Na radiação de fundo também é necessário fazer propagação de incerteza, pois assim como na parte A transforma o valor do canal em energia, logo utiliza a mesma equação para a incerteza:  $\sigma_E = C \cdot \sigma_b$ .



O gráfico mostra a radiação de fundo que estava presente na sala, as medições do espectro da radiação foram realizadas durante 600 s para obter uma precisão melhor, sendo esse resultado normalizado que será subtraído do espectro de Césio.

O material escolhido para a investigação do coeficiente de atenuação foi o alumínio.

Placa de Al	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Média (cm)	$\pm\sigma$ (cm)
A	0,910	0,902	0,906	0,906	0,0023
B	0,584	0,570	0,572	0,575	0,0044
C	0,574	0,572	0,580	0,575	0,0024
D	0,562	0,568	0,570	0,567	0,0024
E	0,246	0,246	0,240	0,244	0,002
F	0,902	0,900	0,898	0,900	0,0012
G	0,248	0,246	0,250	0,248	0,0012
H	0,478	0,484	0,472	0,478	0,0035
I	0,582	0,584	0,574	0,580	0,0031
J	0,572	0,570	0,654	0,599	0,0277
K	0,480	0,482	0,482	0,481	0,0007
L	0,242	0,250	0,234	0,242	0,0046
M	0,200	0,198	0,190	0,196	0,0031

Calculam a média e o desvio padrão das espessuras de cada uma das placas absorvedoras.

Os arquivos dos feixes de radiação gama atenuados indicam quantas placas foram utilizadas na atenuação:

$Xx_nYy$  onde

$Xx$  - elemento radioativo utilizado;

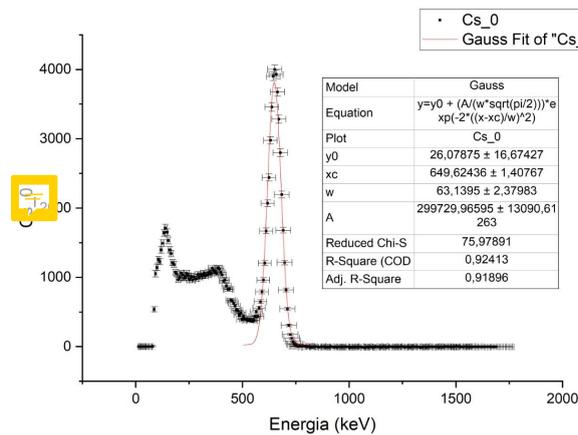
$n$  - número de placas utilizadas para atenuar o feixe;

$Yy$  - material absorvedor utilizado.

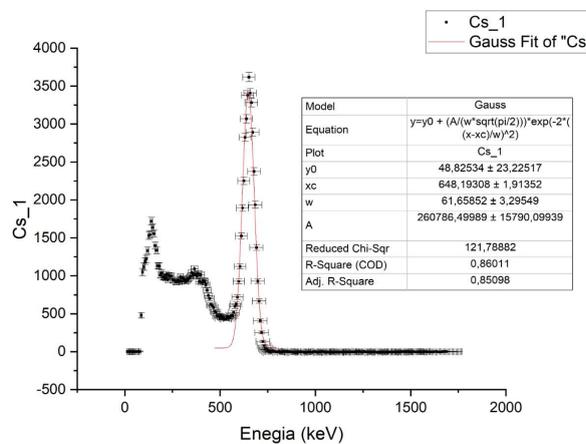
A espessura total que está absorvendo o feixe será a soma da espessura de cada placa individual em sequência. Por exemplo, caso  $n$  seja igual a 4, a espessura total a ser considerada será a soma das médias das placas A+B+C+D, juntamente com seu

**B2)** Nessa etapa foi medido o espectro de raios gama da fonte escolhida, que no caso foi o Césio, o espectro foi medido em 14 situações diferentes: na primeira sem o material atenuador (alumínio) e nas outras acrescentando uma placa de alumínio, ou seja, na segunda imagem contém 1 placa de alumínio, na terceira 2 placas de alumínio, e assim sucessivamente até conter 13 placas de alumínio. O resultado é mostrado **abaixo:**

**Figura 1 - Espectro obtido sem material atenuador**



**Figura 2 - Espectro obtido com a presença de 1 placa de alumínio**



**Figura 3 - Espectro obtido com a presença de 2 placas de alumínio**

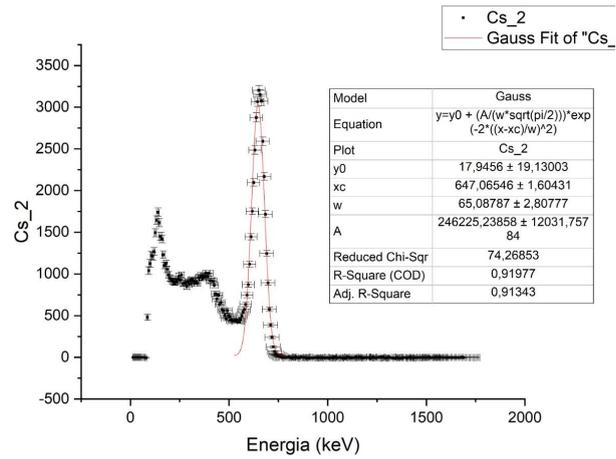


Figura 4 - Espectro obtido com a presença de 3 placas de alumínio

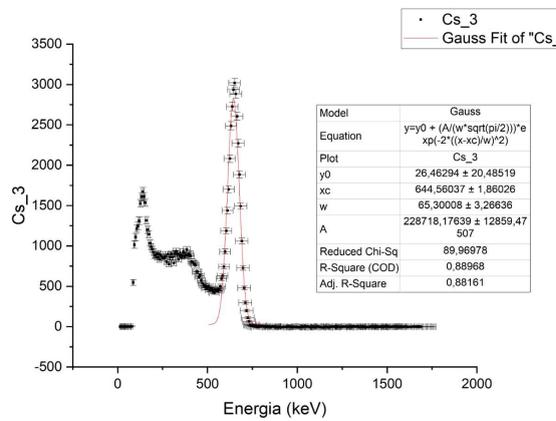


Figura 5 - Espectro obtido com a presença de 4 placas de alumínio

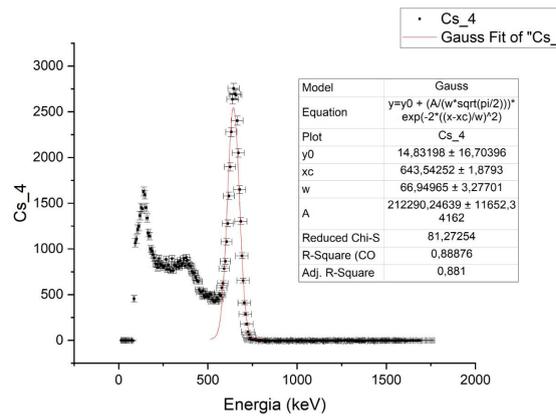


Figura 6 - Espectro obtido com a presença de 5 placas de alumínio

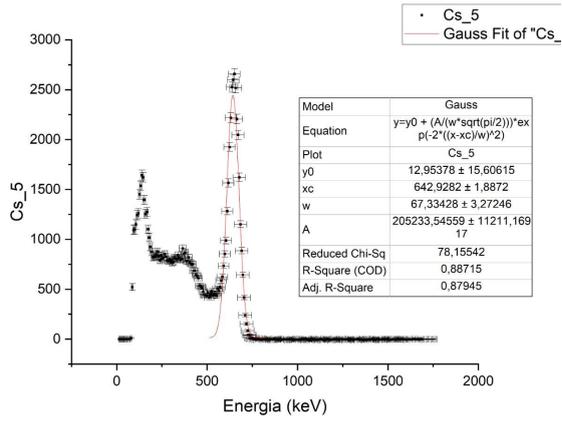


Figura 7 - Espectro obtido com a presença de 6 placas de alumínio

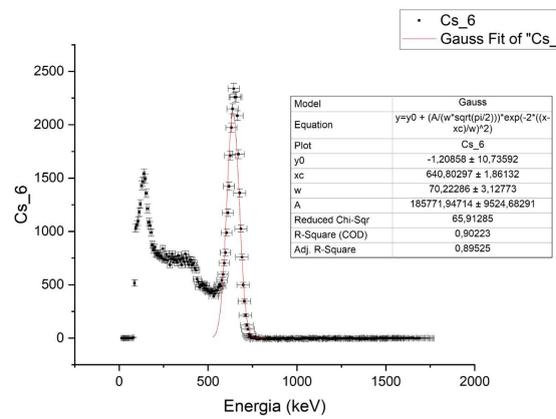


Figura 8 - Espectro obtido com a presença de 7 placas de alumínio

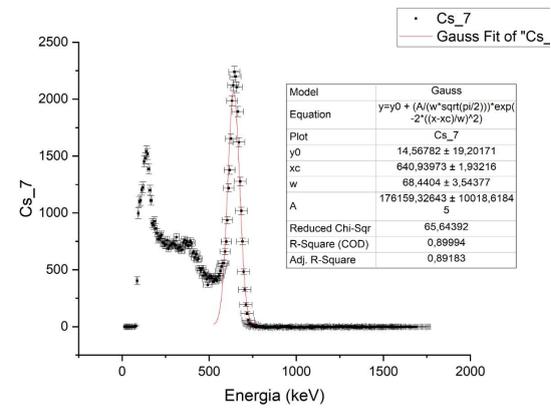


Figura 9 - Espectro obtido com a presença de 8 placas de alumínio

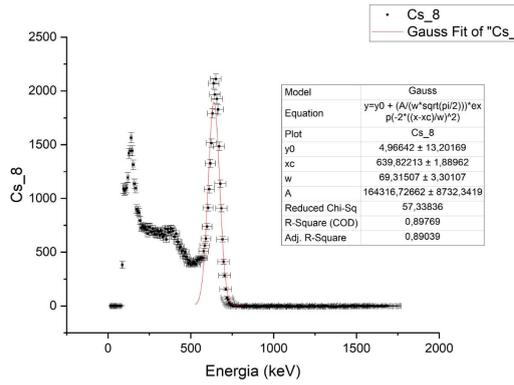


Figura 10 - Espectro obtido com a presença de 9 placas de alumínio

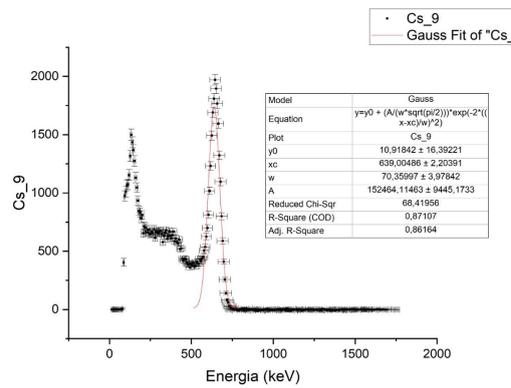


Figura 11 - Espectro obtido com a presença de 10 placas de alumínio

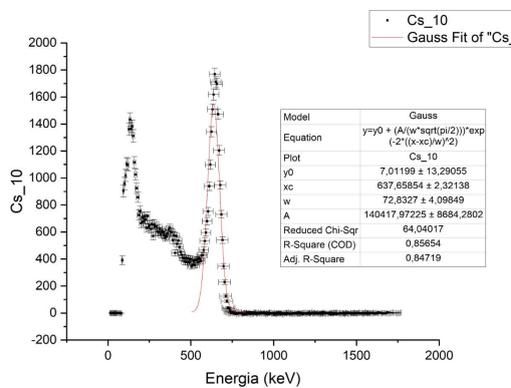


Figura 12 - Espectro obtido com a presença de 11 placas de alumínio

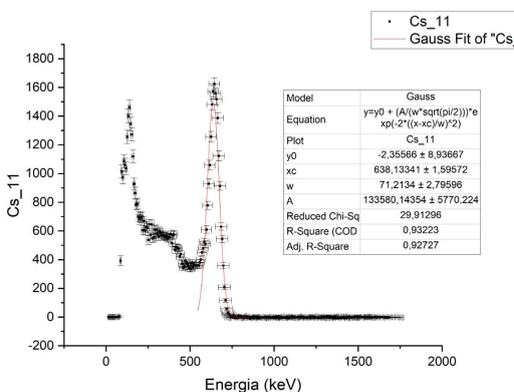


Figura 13 - Espectro obtido com a presença de 12 placas de alumínio

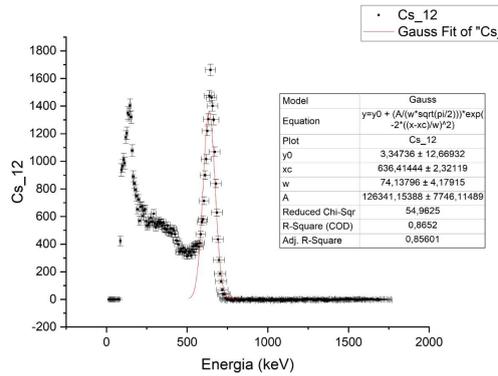
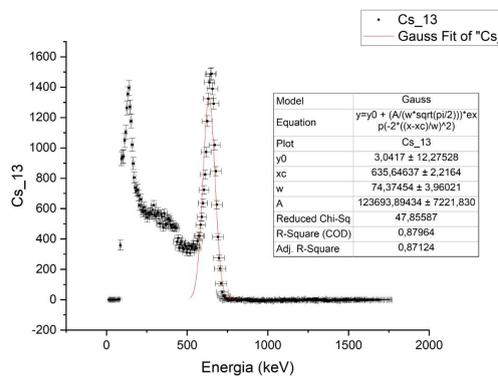
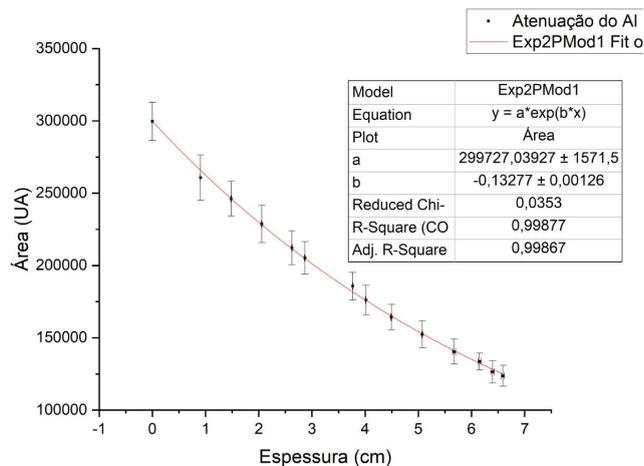


Figura 14 - Espectro obtido com a presença de 13 placas de alumínio



O gráfico a seguir mostra a atenuação dos picos de radiação em função da espessura do alumínio, sendo possível notar que quanto maior a espessura a intensidade vai reduzindo. Esse decaimento obedece a função exponencial:  $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ , em que  $\mu$  é o coeficiente de atenuação do material.



Modelo	Exp2PMod1
Equação	$y = a \cdot \exp(b \cdot x)$
Curva	Área
a	299727,03929 ± 1571,5
b	-0,13277 ± 0,00126
Qui-quadrado reduzido	0,0353
Coefficiente de determinação	0,99877
Coefficiente de determinação ajustado	0,99867

**B3)** Com os valores fornecidos pelo software podemos encontrar o valor do coeficiente de atenuação, bem como a meia espessura do material.

- Coeficiente de atenuação: é dado pelo  $\mu$  da equação mostrada na etapa B2, e analisando os dados fornecidos pelo software, é possível notar que o  $\mu = -b$ , assim o coeficiente de atenuação é igual a:  $\mu = (0,133 \pm 0,001) \text{ cm}^{-1}$ .
- Meia espessura: é dada pela equação:  $d_{1/2} = \ln(2)/\mu = 5,212 \text{ cm} = 52,12 \text{ mm}$   
A incerteza associada é dada por propagação de incertezas:  $\sigma_{1/2} = \sigma_{\mu} \cdot (d_{1/2}/\mu)$

assim,  $\sigma_{1/2} = 0,04 \text{ cm}$ , logo a meia espessura é:  $d_{1/2} = (5,21 \pm 0,04) \text{ cm}$

Para comparar o valor obtido com o valor real, utilizamos os dados presentes no NIST. Considerando o valor da energia do césio como 0,6617 MeV e usando a tabela disponível, realizamos a interpolação entre os seguintes valores:

Energia (MeV)	$\mu/\rho(\text{cm}^2/\text{g})$
0,6	0,03717
0,8	0,03014

A partir disso encontramos que  $\mu/\rho$  para 0,6617 MeV é 0,07922  $\text{cm}^2/\text{g}$  e multiplicando este valor pela densidade do alumínio que é de 2,697  $\text{g}/\text{cm}^3$ , obtemos que  $\mu = 0,213656 \text{ cm}^{-1}$ . Para encontrar o valor de  $d_{1/2}$  basta fazer  $\ln(2)/\mu$  e obtemos que  $d_{1/2} = 3,24 \text{ cm}$ , valor incompatível com o calculado por nós.

## Conclusão

De uma forma geral, o experimento foi bem sucedido, em todas as etapas, desde a montagem dos gráficos de espectroscopia para calibração, passando pela etapa de detecção de intensidade de radiação emitida pelo césio sob atenuação de diferentes camadas de alumínio, até a estimação do coeficiente de atenuação do mesmo, os resultados obtidos, apesar de alguns não-compatíveis, foram muito próximos dos valores tabelados. Essa discrepância se dá, possivelmente, pelo range adotado durante o ajuste da gaussiana para os diferentes gráficos.

## Referências bibliográficas

DETECTOR A CINTILAÇÃO. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Detector\\_a\\_cintila%C3%A7%C3%A3o&oldid=59337074](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Detector_a_cintila%C3%A7%C3%A3o&oldid=59337074)>. Acesso em: 25 jan. 2022.

NUNES, Luiz Antônio de Oliveira. Aplicação do Efeito fotoelétrico: A Fotomultiplicadora. Youtube, 9 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2foa7Pr2NtM>>. Acesso em: 25 jan. 2022

ATENUAÇÃO. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Atenua%C3%A7%C3%A3o&oldid=58964364>>. Acesso em: 25 jan. 2022.