

- Objetivo:
- Verificar $P \propto \frac{1}{d^2}$, em que P é a potência luminosa da e d é a distância do detector à fonte;
 - Determinar o coef. de absorção de filtros;
 - Interpretar gamas de fiabilidade da Lei VS apurado exp;

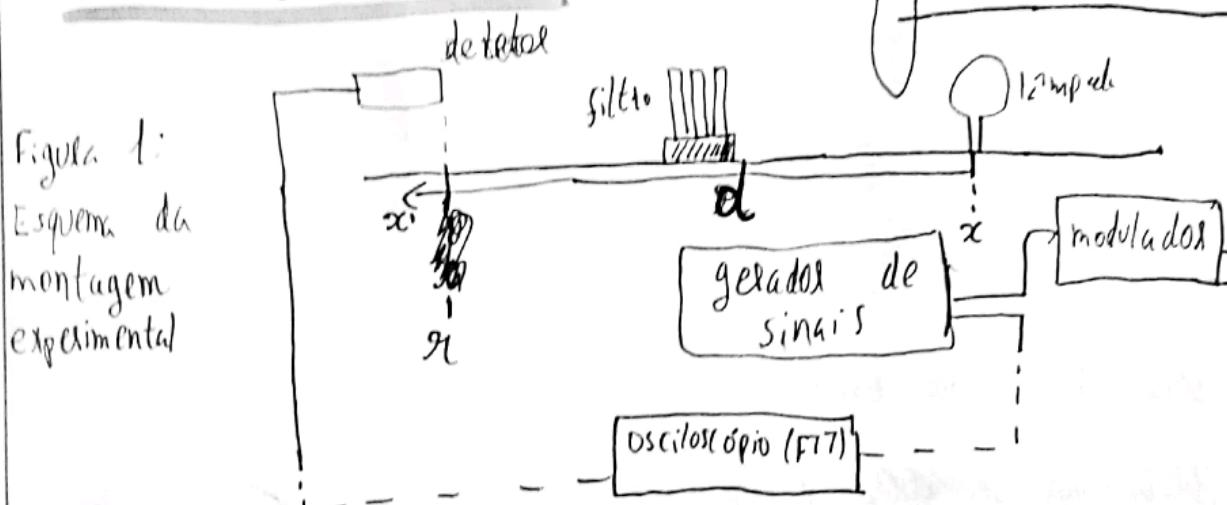
→ Equações: (1) $V(d) = k \downarrow \text{intensidade medida} \propto d^{-2}$

~~NOVOS VALORES~~ (2) $\log(V(d)) = \log(K') - 2\log(d)$

(3) $V(z) = V_0 e^{-\alpha z}$

$f = 135 \text{ Hz}$

→ IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO:



- (A) • Escolher freq. moduladora: 100Hz - 200 Hz; 135 Hz

- Determinar gama de interesses de distâncias; pequenos

- Observar o sinal em AC e DC, para $d \approx 20 \text{ cm}$;

- (B) • Variar d e registar os valores de V e do dif. de fase
 $\rightarrow >5$ valores de d para permitir assimetria

- Coloca o suporte de filtros em frente do detector

- Registar V e δ ;

- Determinar o ~~coef.~~ coef. de absorção através de (1) e
 \rightarrow um gr. linear.

10
→ posição da lâmpada: $x = (8,00 \pm 0,05) \text{ cm}$

(A) DADOS EXPERIMENTAIS:

- Registram-se os valores de r_l , V e $\Delta\theta$ dis. de fave, variando r na gama $r \in [25,0; 125,0] \text{ cm}$.
- $V(r)$ é constante e tal que: $V(r) = 0,05 \text{ cm}$.

$r (\text{cm})$	$V (\text{mV})$	$u(V) (\text{mV})$	$\Delta\theta (\text{°})$
25.00	888	1	17.4
28.00	672	1	18.4
31.50	492	1	19.2
35.00	380	1	19.8
39.50	288	1	20.6
44.50	216	1	20.7
50.00	174	1	21.3
56.00	134	1	21.6
63.00	105	1	21.7
70.50	82.4	0.1	22.1
79.0	64.0	0.1	22.1
88.50	49.2	0.1	22.7
99.00	39.6	0.1	22.6
111.00	31.0	0.1	23.2
125.00	24.6	0.1	23.3

Tabela 1: dados experimentais de r , V e $\Delta\theta$

~~Verificamos se a equação é válida para diferentes distâncias entre fave e lâmpada~~

- Definimos d como: $d = r_l - x_l$

~~Verificamos se a equação é válida~~

- Aplicando a eq. (2), obtemos uma forma de verificar se a eq. (1), que lhe é equivalente, se verifica experimentalmente.

→ para isso, basta trazar o gráfico de $\log(V)$ em função de $\log(d)$ e verificar se a reta de ajuste a esse gráfico é linear e tem declive da forma -2 .

m	-1.862	-1.475	b
Δm	0.009	0.004	Δb
r^2	0.9997	0.009	s_y

Tabela 2: parâmetros do ajuste linear de $\log(V)$ em função de $\log(d)$

Tomando como referência o valor -2 da eq. teórica:

$$\gamma_{\text{inhóspita}} \approx 0,4\% \quad \Rightarrow \quad \gamma_{\text{elétrico}} \approx 7\%$$

→ o desvio obtido não é satisfatório. Para averiguar se isto se deve à um erro sistemático ou aleatório, decidimos fazer um ajuste linear de V em função de $\frac{1}{d^2}$.

m	0.0258	0.017	b
Δm	0.0003	0.004	Δb
r^2	0.998	0.01	s_y

Tabela 3: parâmetros do ajuste linear de V em função de $\frac{1}{d^2}$

→ Da tabela obtém-se $K' = (0,0258 \pm 0,0093) V \text{ m}^2$. Traçando o gráfico na escala logarítmica, é possível detectar pontos que ~~exceptuam~~ se afastam do ajuste.

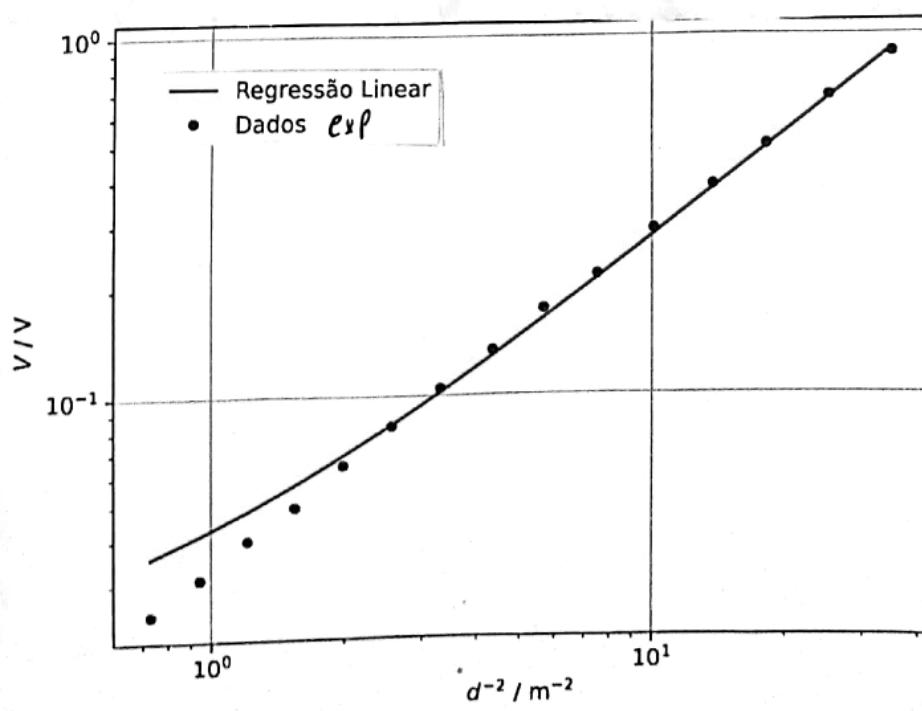


Gráfico 1: Reta de ajuste linear de $V(d^{-2})$ em sobreposta aos dados experimentais, vistos na escala logarítmica

- os pontos que mais se afastam da tendência linear são os obtidos para valores grandes de d .
Tragamos o gráfico de resíduos:

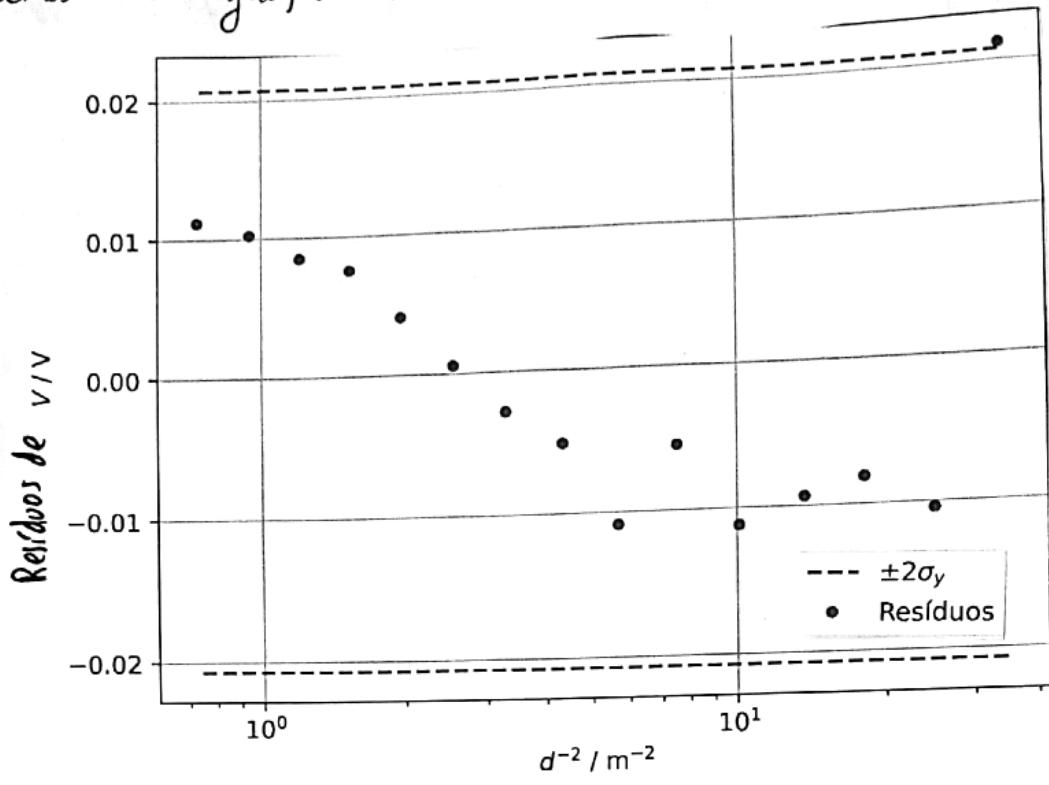


Gráfico 2: Resíduos de V em função de d^{-2} .

→ Nota-se uma tendência: os dados obtidos para d grande descem de forma quase linear até que chegamos a uma distribuição que aparenta ser aleatória para d pequeno, mas em torno de $-0,01$ em vez de em torno de 0.

∴ existe um efeito sistemático que influencia grandemente os resultados para valores maiores de d .

Vamos agora ter em conta que não foram tomados todos os cuidados ao medir a posição do sensor, contrariamente à da lâmpada. O suporte e o sensor poderiam estar desalinhados, por exemplo.

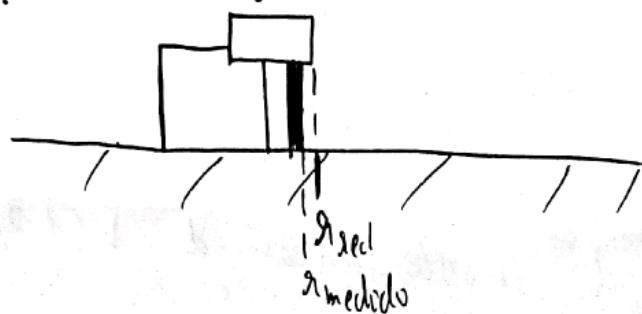


Figura 2: Representação da hipótese de efeito sistemático.

Supomos que ϵ é um erro sistemático, na medição de r , que implica um erro ϵ na medição de d .

Adaptarmos então a nossa expressão, tendo em conta que ϵ está na ordem de 10^0 cm :

$$(3) V(d) = \frac{k'}{(d+\epsilon)^2}$$

$$\epsilon \ll d \rightarrow V(d) = \frac{1}{d^2} \left(1 + \frac{\epsilon}{d} \right)^{-2} \approx \frac{k'}{d^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{\epsilon}{d}\right)^2}$$

fazendo expansão de $V(d)$ em série de Taylor em torno de ~~$\epsilon=0$~~ , temos:

$$V(d) \approx \frac{k'}{d^2} \left(1 - \frac{2\epsilon}{d} \right)$$

Este termo justifica que existe a tendência ~~mais~~ no gráfico 2: há um termo em d^{-3} não contabilizado

~~usar os valores experimentais de V(r) para ajustar~~

Podemos usar o valor experimental de k' para estimar ϵ , mesmo este sendo obtido de um ajuste feito.

Então ajustamos $\frac{Vd^2}{k'}$ em função de d^{-1} , e

temos o declive $m = -2\epsilon$, com $v(\epsilon) = -\frac{v(m)}{2}$

m	-0.062	1.33	b
Δm	0.004	0.01	Δb
r^2	0.95	0.05	s_y

Tabela 4: parâmetros do ajuste linear de $\frac{Vd^2}{k'}$ em função de d^{-1} .

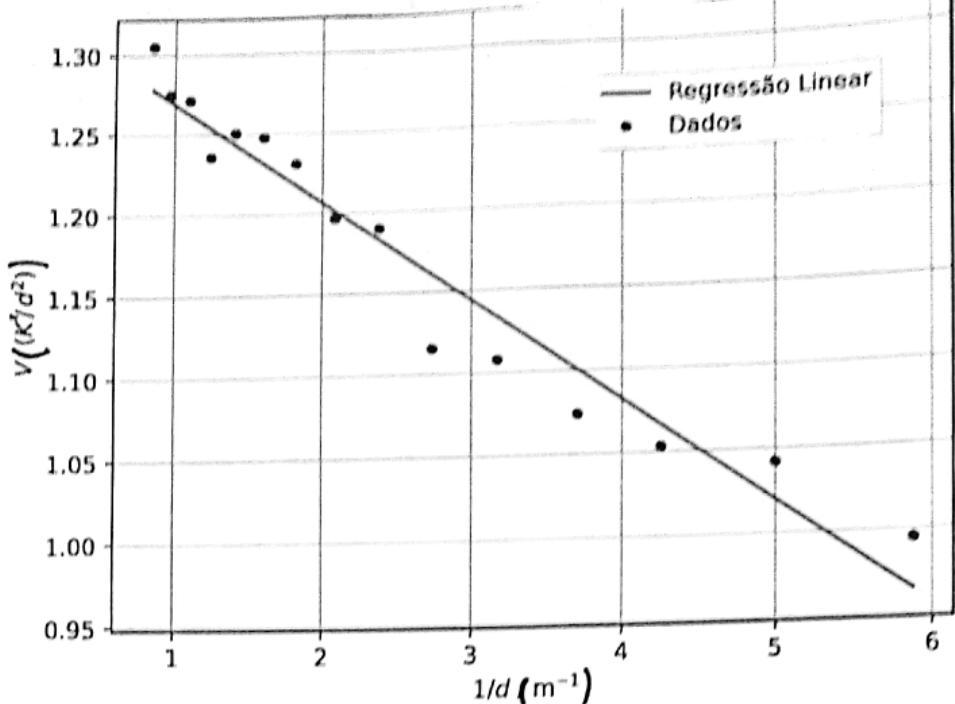


Gráfico 3: sobreposição dos dados experimentais com o ajuste linear de $\frac{Vd^2}{K^t}$ ($\frac{1}{d}$).

→ isto só nos dê uma estimativa de E , pois estaremos a usar um valor errado de K^t . ~~erronea~~

→ $E = (3,1 \pm 0,4) \text{ cm}$

Chamando K à constante obtida após aplicar esta colheita ao gráfico (e logaritmos), obtemos:

m	-2.002	-1.456	b
Δm	0.008	0.003	Δb
r^2	0.9998	0.007	s_y

Tabela 5: Parâmetros do ~~segundo~~ ajuste linear de $\log(V)$ em função de $\log(d+E)$.

%. incerteza $\approx 0,4\%$. > %. Ello = 0,1%. ^{c. completa o declive com -2}

Logo a dependência de V em d^{-2} é ~~comprovada~~ ^{verificada} com certa consistência

Tragámos o gráfico dos dados colligidos:

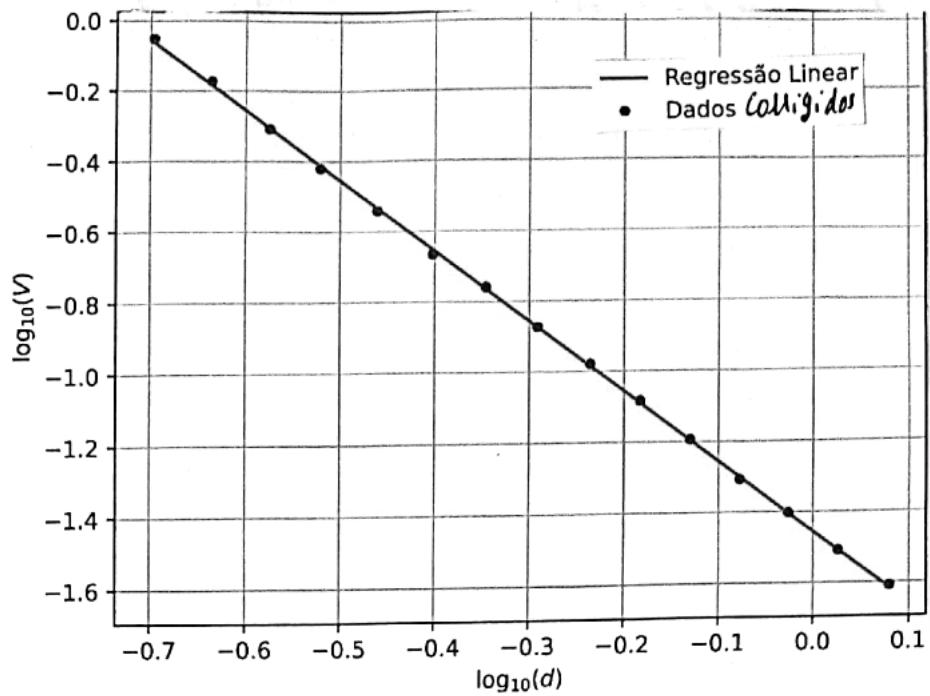


Gráfico 4: sobreposição dos dados experimentais sujeitos à colisão e com o ajuste linear de $\log(V)$ em função de $\log(d+E)$

→ nenhum dos pontos foge de forma significativa da reta, mas para melhor verificar os resultados, verificámos o gráfico de resíduos:

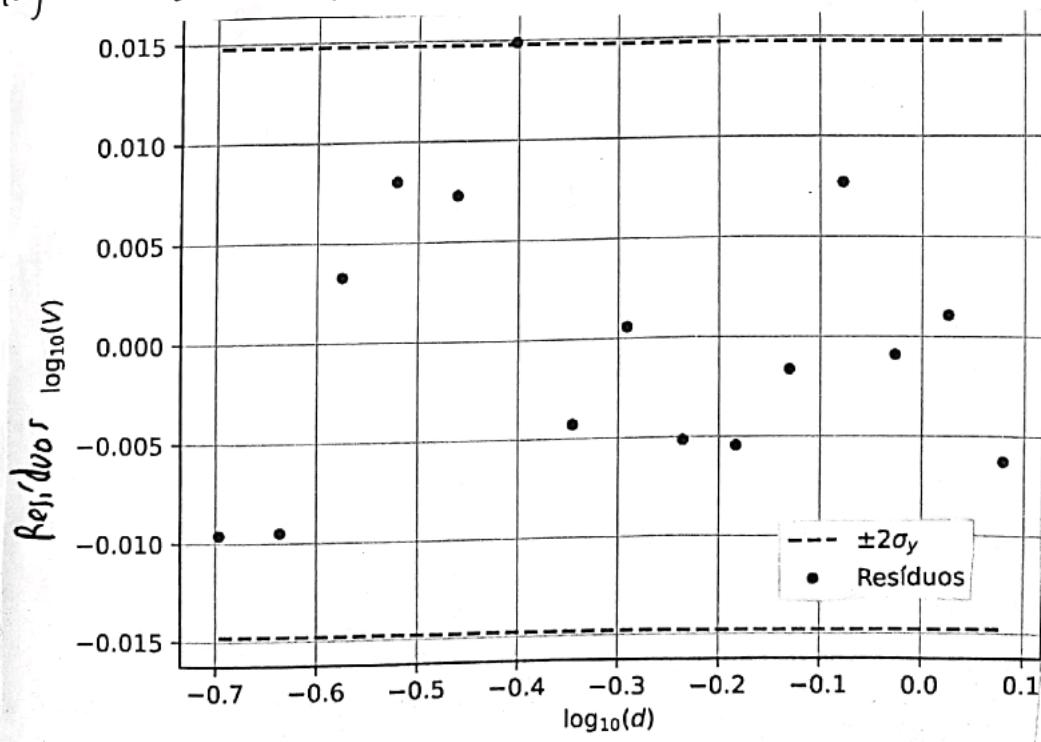


Gráfico 5: resíduos de $\log(V)$ em função de $\log(d)$

→ aleatoriamente distribuídos

~~→ não existem intercorrências entre os resíduos devido à natureza de constante~~

Podemos determinar o valor de K (colhido) a partir do ~~termo~~ termo independente do ajuste:

$$U^2(K) = \frac{2K}{25} U^2(3) \Rightarrow U^2(K) = 10 \cdot U^2(3) \cdot e^3$$

Daqui, vem: $K = (0,035 \pm 0,002) \text{ V} \cdot \text{m}^2$

③ DADOS EXPERIMENTAIS

→ mantivemos $g = 52,5 \text{ cm}$ e colocámos um pano plato sobre a calha para evita reflexões

Ordem dos filtros: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$

(na medida) (não se retiram os filtros após colocados)

Nº do Filtro	Espessuras medidas (mm)					Espessura média (mm)	Incerteza (mm)
1	4.26	4.25	4.26	4.29	4.32	4.28	
2	4.69	4.65	4.59	4.53	4.58	4.61	
3	4.45	4.38	4.40	4.45	4.48	4.43	
4	4.41	4.39	4.30	4.25	4.27	4.32	
5	3.95	3.98	3.96	4.05	4.00	3.99	0.01

Tabela 6: Características dos 5 filtros usados

V (mV)	Espessura total (mm)	$\Delta\theta (\text{ }^\circ)$
69.2	4.28	21.1
25.4	8.89	20.4
9.76	13.32	19.7
4.48	17.64	16.2
2.64	21.63	30

Tabela 7: Registo dos dados experimentais de V , espessura total e fase, $\Delta\theta$.

Tomando o logaritmo ^{refletido} da eq. (3), podemos fazer um

ajuste linear para determinar o coeficiente de absorção α :

$$(3) \Rightarrow \ln V = \ln V_0 - \alpha(Z) \rightarrow \text{neste caso, espessura total}$$

Fizemos então um aj. linear de V em função da espessura total dos filtros:

m	-1.9E+02	-2.0	b
Δm	1E+01	0.1	Δb
r^2	0.992	0.1	s_y

Tabela 8: Parâmetros do ajuste linear de $\ln(V)$ em função da espessura total Z .

Daqui vem $\alpha = -m \pm \Delta m = (1,9 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ m}^{-1}$, e podemos traçar os gráficos:

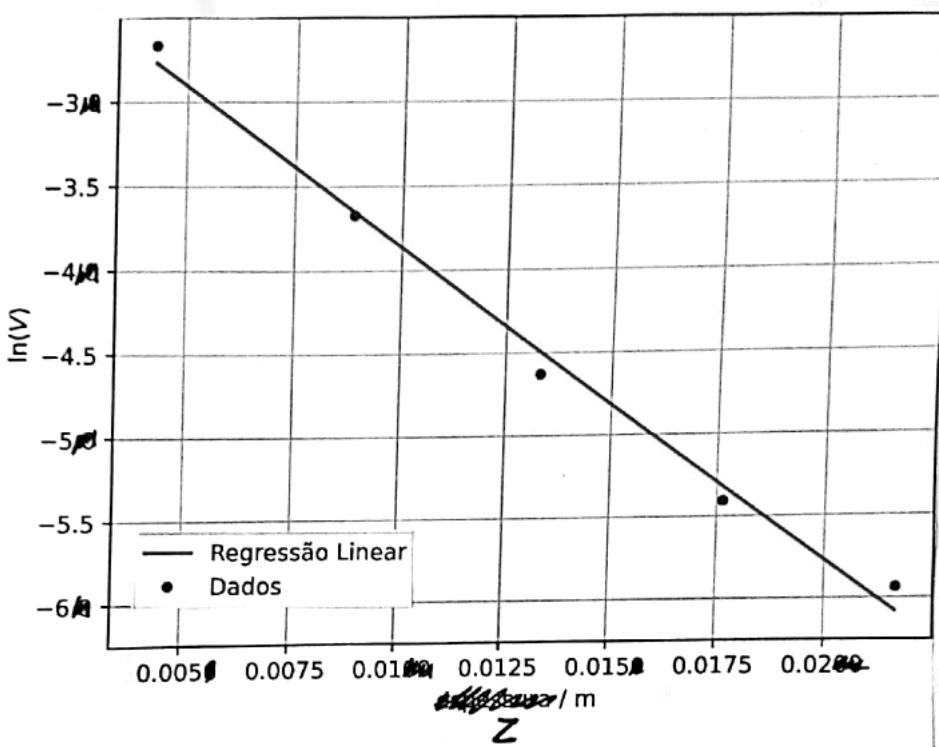


Gráfico 6: Sobreposição dos dados experimentais ao ajuste linear de $\ln(V)$ em função de Z .

Nenhum dos pontos foge claramente à tendência linear, pelo que trazemos o gráfico de resíduos:

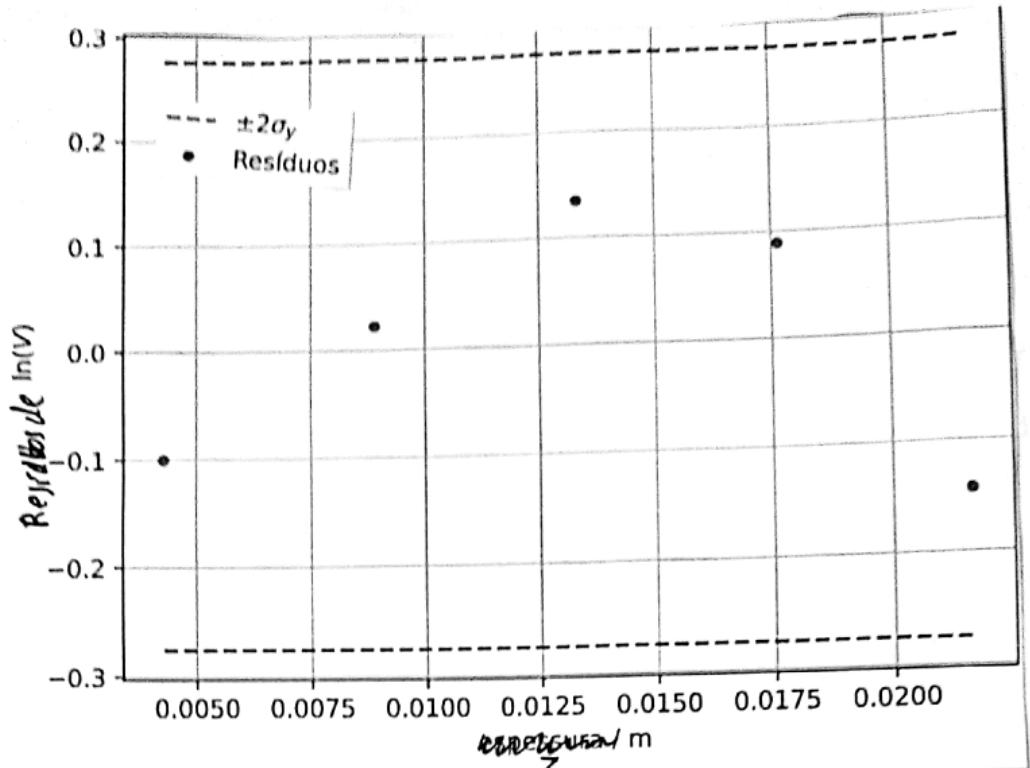


Gráfico 7: Resíduos de $\ln(V)$ em função de Z .

• Parece existir uma tendência nestes resíduos; contudo, como temos apenas 5 pontos, é impossível afirmar a sua existência com certez, e não encontrámos nenhuma razão para ele existir, na teoria.

• Assim, consideramos os resíduos ir alectrios e o ajuste confiável ~~para os resíduos restantes dentro de~~ ~~de~~ $\pm 2\sigma_y$.

⇒ DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

• Determinámos a dependência de V em $\frac{1}{d^2}$ com erro de apenas 0,1%, inferior à incerteza relativa de 0,4% (declive: $(-2,002 \pm 0,008)$)

• Determinámos o coeficiente de absorção de fótons $\alpha = (1,9 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ m}^{-1}$, com %.incerteza = 5%.

~~Verificámos que pelas distâncias grandes as leis a isto podem ser aplicadas devido ao facto de colisões faltarem e absorção de radiação no ar e outros efeitos sucedentes~~

para grandes valores de d . Vimos forma de melhorar a nossa montagem experimental para todos os abertos que deixassem passar CO_2 na sopa. E no caso de querermos ser muito rigorosos teríamos de fazer esta diferença num círculo de 10cm .

- Verificámos as leis pretendidas em ① para uma gama experimental de $d \in [25,00; 125,00]\text{cm}$, e notámos que eram necessários mais pontos para valores pequenos de r (perto de $25,00\text{cm}$), pois V decresce com o quadrado de d , ou seja, a cada ponto pequenos aumentos em r (e consequentemente em d) têm pouco efeito em V .

Resumindo: