Não deve apresentar todas as tentativas de ajuste, apenas as que considera boas, justificando

3B - Indução Magnética

PL5, Grupo 3, Miguel Freitas Neto — 19/4/2023

14

- Objetivos

- Verificar a existência de indução magnética
- Calcular o valor da permeabilidade magnética do vazio, μ_0.

incompleto!

- associar eq. a verificar (*)

- ~~Introdução Teórica~~

não em logbook!

A indução magnética é um fenómeno que ocorre quando o fluxo magnético através de uma espira varia, fruto de variações da área da espira ou do campo magnético ou da orientação da espira, originando uma tensão, força eletromotriz induzida. Matematicamente, temos:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$, $\mathcal{E} \equiv$ força eletromotriz induzida; $\phi_B \equiv$ fluxo do campo B

Esta lei de Faraday, a partir da lei de Lenz (sinal "−") corroboram empiricamente os resultados que se obtêm.

A lei de Biot-Savart é:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\iint \frac{I\,d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$, $\mu_0 \equiv$ permitividade do vácuo

A lei de Ampère:

$$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc}$$, $C \equiv$ circuito amperiano; $I_{enc} \equiv$ corrente que atravessa C

O campo no solenoide é: $B = \begin{cases} \frac{\mu_0 n I}{L}, & \text{dentro do solenoide} \\ 0, & \text{fora do solenoide} \end{cases}$

- Experiência

  - Equipamento

    - Bobina
      Solenoide
    - Osciloscópio Tektronix TDS 1002C-EDU
    - resistência
    - gerador de sinais
    - Amplificador
    - Voltímetro
    - Amperímetro

→ incompleto

- Procedimento Experimental

eixo da bobina comum com o eixo do solenoide

- Procedeu-se à seguinte montagem experimental:

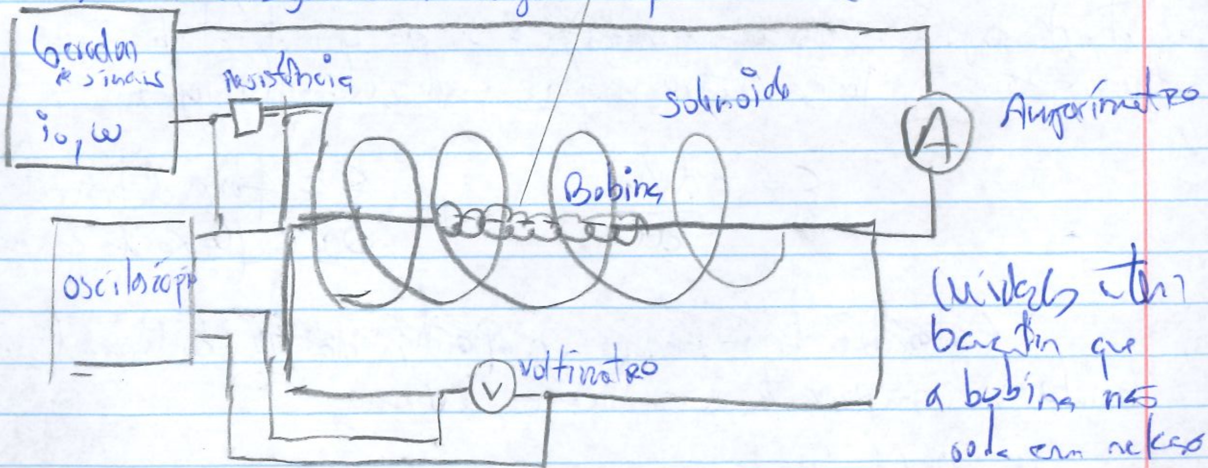


Figura 1: Montagem Experimental

Cuidado tem de garantir que a bobina não ande em relação ao eixo comum com o solenoide

- Garantiu que no osciloscópio se observa num canal o sinal de tensão na resistência R, e no outro canal a tensão induzida na bobina

- Verificou que a diferença é de $\pi/2$, independentemente da variação do número de espiras da bobina e da sua dimensão

(*)

- Para verificar a relação $\boxed{V_{E_0} = \mu_0 \frac{N n S \cos\theta\, \omega\, i_0}{L}}$, deve-se efetuar as seguintes variações e medições:

  - V_{E_0} em função de ω
  - V_{E_0} em função de i_0
  - V_{E_0} em função de n
  - V_{E_0} em função de S
  - V_{E_0} em função de $\cos\theta$

- Para cada um dos estudos realizados, deve-se calcular, através de uma análise gráfica o valor de μ_0 ($\mu_{0REF} = 4\pi \times 10^{-7}\ Hm^{-1}$)

- Criticar os resultados obtidos com o valor de referência

Mal feito?
– vê gráficos?
– atenção ao que a prof. diz

- Resultados obtidos

Na execução da experiência, uma vez que a impossibilidade de executar todas as atividades, os resultados obtidos para a variação de todos os parâmetros ω, i_0, n, N, θ foram obtidos numa PL diferente daquela a que os primeiros dados foram retirados. OK

Não obstante, todos esses dados retirados numa segunda aula foram permitidos sob a autorização da professora Manuela.

Além disso, o grupo com o qual se obteve estes dados é formado pelo João Franco, Simão

~~Variação da w~~

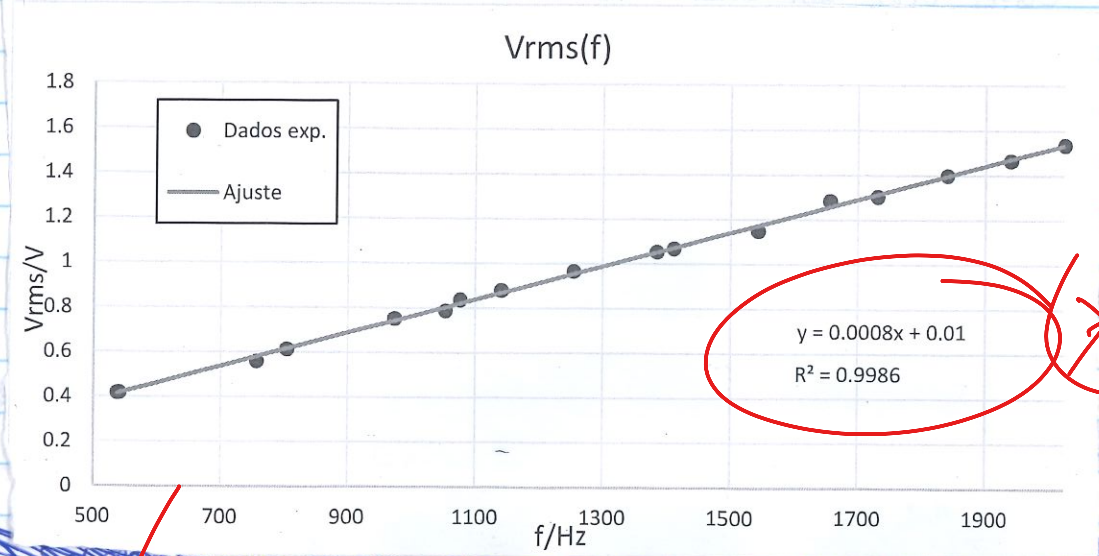
~~Nas análises, obtivemos os seguintes resultados~~

- Análise de dados

A nossa análise de dados vai consistir nas subdivisões desta secção ~~em outras~~ nas diversas variações dos parâmetros que foram feitos: w, i₀, h, N, θ (ro·ↄ).

- Variação de w

Nesta etapa, obtivemos 2 conjuntos de dados: 1 relativamente à primeira aula, e o outro conjunto de dados na segunda aula.
Na primeira aula, temos:



(**)

m	0.000753	0.009277	b
σ_m	7.57E-06	0.010242	σ_b
R^2	0.998386	0.014275	σ_y

{ alg? signif. (**) errados!

— escala V_{rms} mal escolhida

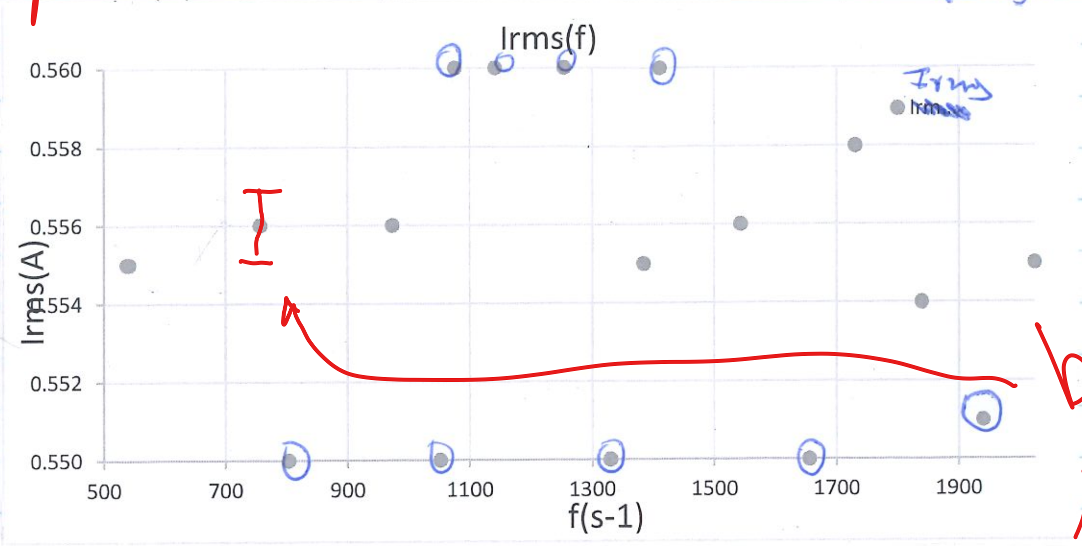
— mal formatado

TODOS os gráficos estão mal formatados

Para comprovar a ~~...~~ veracidade destes dados, temos o seguinte gráfico registado para $I_{rms}(f)$, onde I_{rms} corresponde ao valor da corrente lido no voltímetro:

poucos pontos aproveitáveis

O : Pontos Descartados



barra de inc. exp?

Note-se que, apesar de muitos pontos retirados, para esta análise só vamos considerar os dados ~ 0,555 A, isto é, os dados onde a corrente elétrica assume o seguinte intervalo de valores:

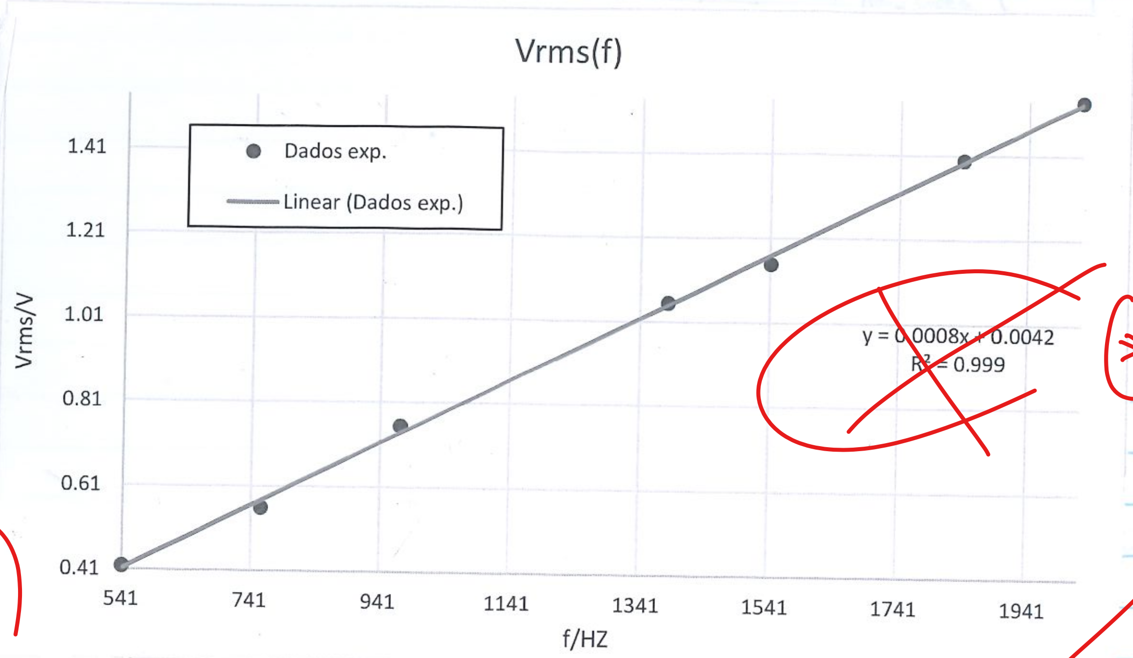
$$I_{rms} \in [0,554 ; 0,556], \quad u(I_{rms}) = 0,001 \text{ A}$$

Para ter uma visão mais clara, vamos tentar de analisar a seguinte gama:

f	V_{rms}	$u(V_{rms})$
541	0,4191	0,0001
757	0,5593	0,0001
972	0,7546	0,0001
1384	1,0552	0,0001
1543	1,1489	0,0001
1840	1,3990	0,0001
2024	1,5368	0,0001

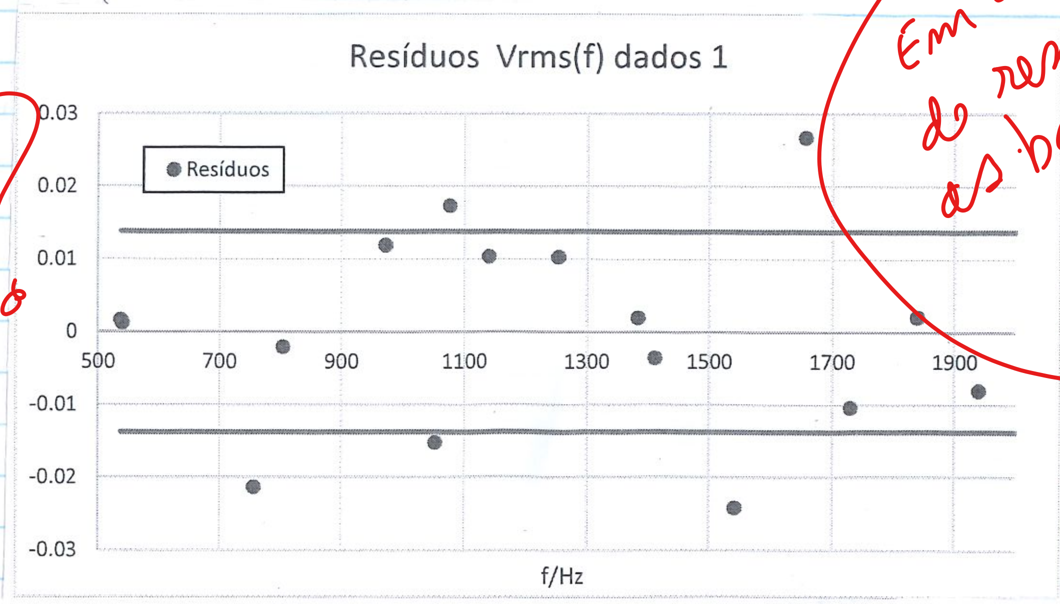
Obtemos então o seguinte gráfico ~~V~~ $V_{1,rms}(f)$:

m	b
0.000755	0.004219
1.08E-05	0.015037
σ_m	σ_b
0.99898	0.014719
R^2	σ_y



(**)

Com este gráfico, é possível traçar o gráfico de resíduos:



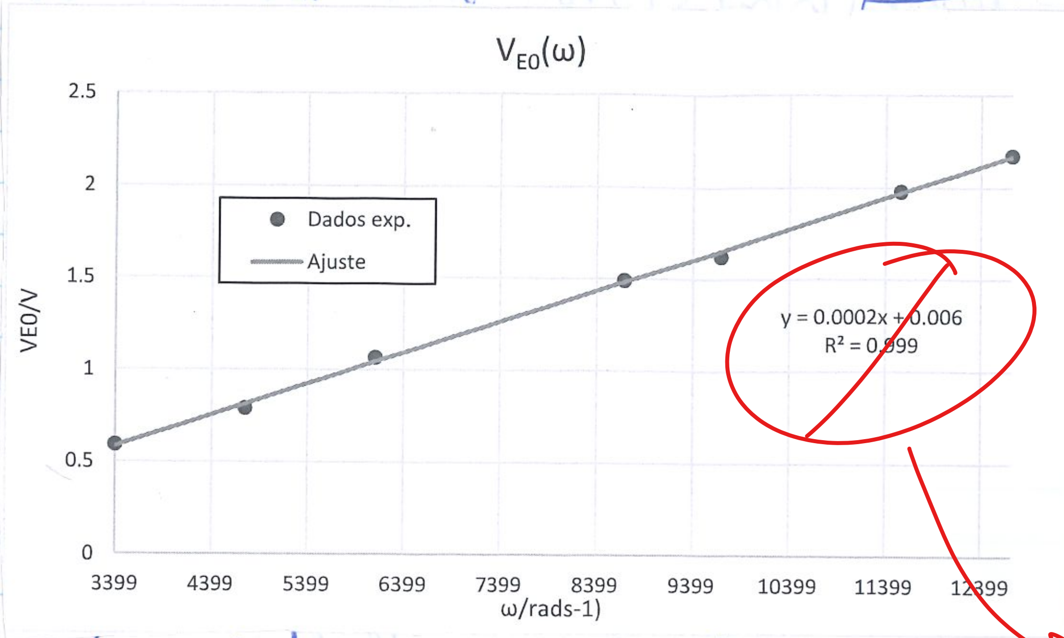
?

Em todos os gráf. dos resíduos faltam as barras de inc exp!

A gama experimental que utilizamos para analisar os resíduos corresponde a $\sigma_y \simeq 0,01172$ V. (**)

Os pontos a vermelho como indicado na legenda correspondem a pontos duvidosos obtidos, após termos escolhido a gama para analisar.

Com todos estes dados obtidos com sucesso, é possível traçar o gráfico necessário para confirmar a relação $V_{E_0} = \mu_0 \, nNS\cos\theta \, i_0 \, \omega$:



m	b
0.00017	0.005966
σm 2.43E-06	σb 0.021265
r2 0.99898	σy 0.020816

(✱)

Neste modo, torna-se possível calcular μ_0:

Dados: $n = 300$; $N = 364$

$L = (75,00 \pm 0,05)\,cm \rightarrow L = (0,7500 \pm 0,0005)\,m$

$D = (41,00 \pm 0,05)\,mm \rightarrow S = \frac{\pi D^2}{4} = 1320,25\,mm^2 = 1,32\times10^{-3}\,m^2$

$\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$

$i_{rms} = (0,555 \pm 0,001)\,A \rightarrow i_0 = i_{rms}\sqrt{2} \rightarrow i_0 = (0,785 \pm 0,001)\,A$

$$\text{declive} = \frac{\mu_0 \, nNS\cos\theta \, i_0}{L}$$

$$\Leftrightarrow \mu_0 = \frac{\text{declive} \cdot L}{nNS\cos\theta \, i_0}$$

Numericamente, temos:

$$\mu_0 = \frac{0,00017 \cdot 0,75}{300 \cdot 364 \cdot 1,32\times10^{-3} \cdot 0,785} \Leftrightarrow \mu_0 = 1,13\times10^{-6}\,Hm^{-1}$$

declive ≡ an

A incerteza de μ_0 é:

$$u(\mu_0) = \sqrt{\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right)^2 u^2(m) + \left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right)^2 u^2(L) + \left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right)^2 u^2(i_0) + \left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right)^2 u^2(S)}$$

Dados:

$u(m) = 2,43\times10^{-6}$ HA

$u(L) = 0,05$ cm $= 0,05\times10^{-2}$ m $= 5\times10^{-4}$ m

$u(i_0) = 0,001$ A

$$u(S) = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial D}\right)^2 u^2(D)} = \left(\frac{\partial S}{\partial D}\right) u(D) = \frac{\pi D}{2} u(D) = \frac{\pi \cdot 41,0\times10^{-3} \cdot 0,05\times10^{-3}}{2}$$
$$= 3,22\times10^{-6}\ m^2$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = \frac{L}{NNS\cos\theta i_0} = 6,62\times10^{-3}\ m^{-1}A^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = \frac{declive}{NNS\cos\theta i_0} = 1,60\times10^{-6}\ Hm^{-2}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = \frac{-declive \cdot L}{NNS\cos\theta\, i_0^2} = -1,44\times10^{-6}\ Hm^{-1}A^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = \frac{-declive \cdot L}{NNS^2\cos\theta\, i_0} = -8,5\times10^{-4}\ Hm^{-1}$$

Logo: $u(\mu_0) = 1,6398\times10^{-8}\ Hm^{-1} \approx 0,02\times10^{-6}\ Hm^{-1}$

Assim: $\mu_0 = (1,13 \pm 0,02)\times10^{-6}\ Hm^{-1}$

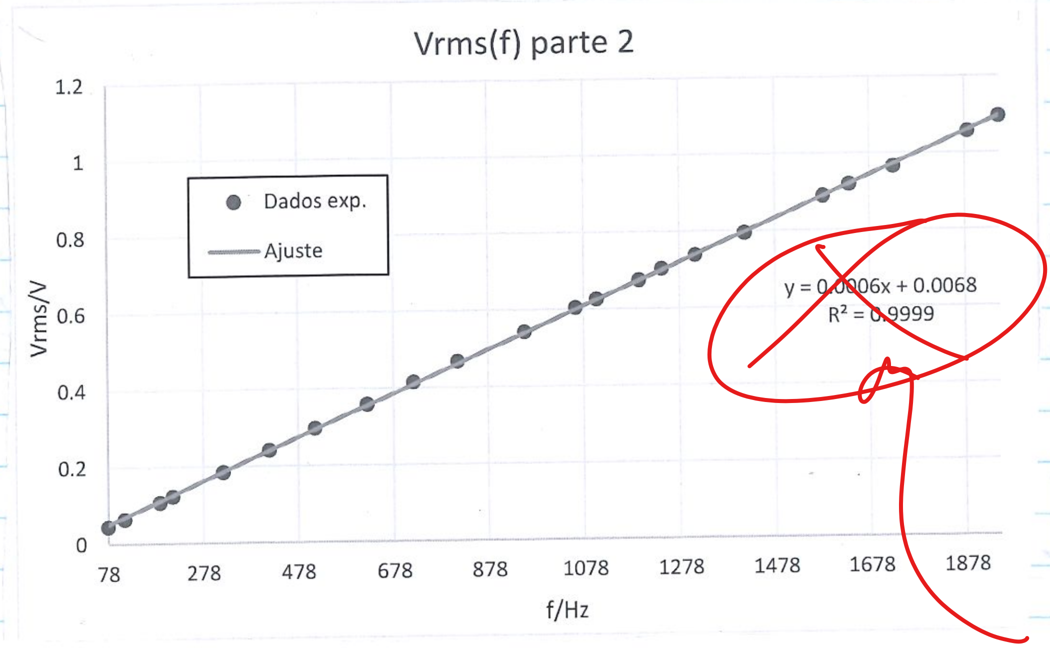
Calcular o erro: $V_{teórico} = 4\pi\times10^{-7}\ Hm^{-1}$

$$e_r(\%) = \left|\frac{V_{medido} - V_{teórico}}{V_{teórico}}\right| \times 100 \approx 10,1\%$$

O erro relativo calculado nesta parte era esperado que fosse elevado, ou seja, > 5%, pois, de todos os valores obtidos que retirámos, apenas parte da gama experimental é que foi considerada. Como consequência, obtivemos poucos pontos.

Contudo, tendo em conta que o valor da corrente não foi mantido a uma constante a menos da incerteza do aparelho (amperímetro), a experiência foi concluída com relativo sucesso.

Na segunda parte (segunda aula), temos:

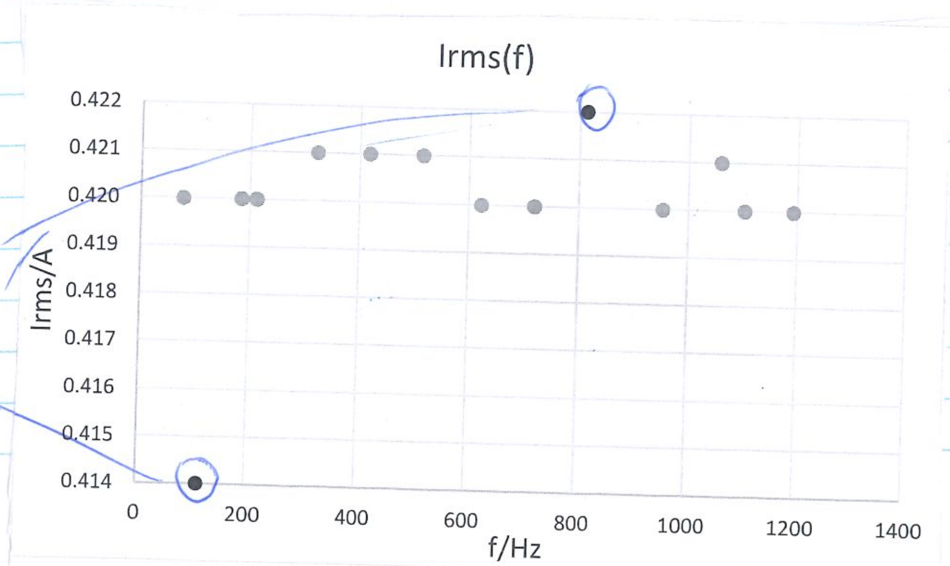


m	0.000558	0.006786	b
σ_m	1.51E-06	0.001693	σ_b
r2	0.999854	0.004137	σ_y

(**)

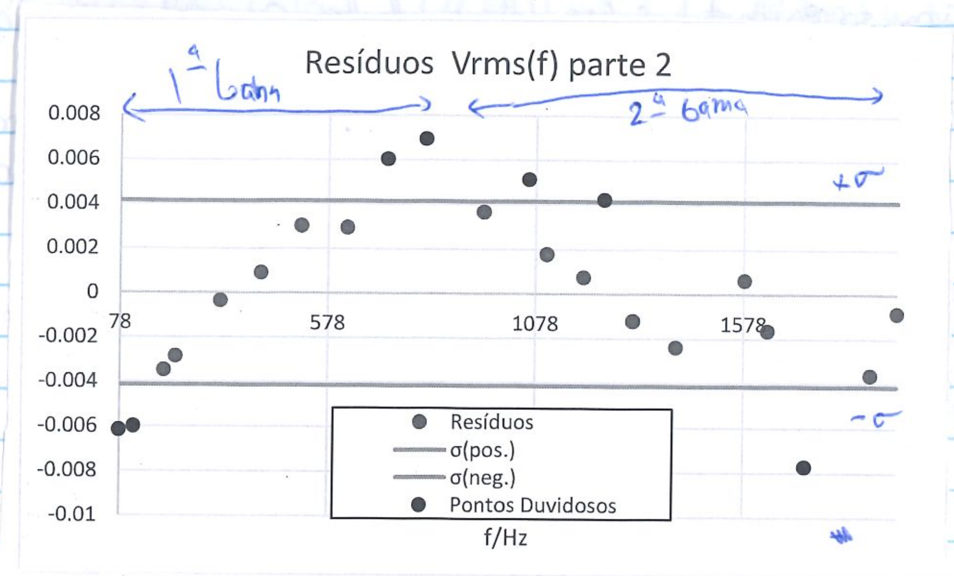
Neste caso, em quase todos os pontos que retirámos a corrente é ~ 0,420 A, logo:

Pontos Descartados



Nota: Temos dois pontos fora da gama que nos estão representados no gráfico e, que, portanto, serão descartados

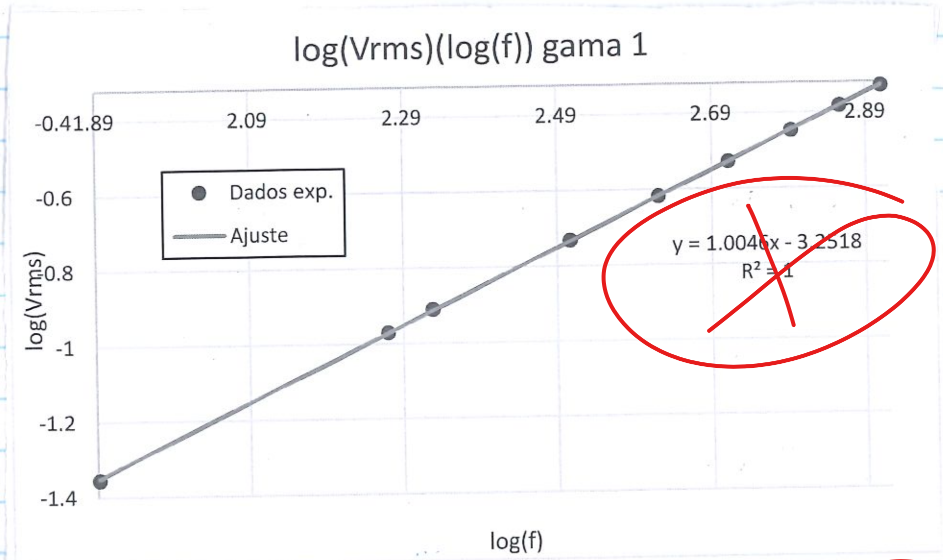
Para estudar as gamas a analisar, traçamos o gráfico dos resíduos:



Observamos que, olhando para o gráfico de resíduos temos 2 gamas. A nossa análise vai consistir em cada uma das gamas, excluindo desde já, os valores obtidos para a corrente elétrica fora do intervalo mencionado anteriormente.

1ª gama

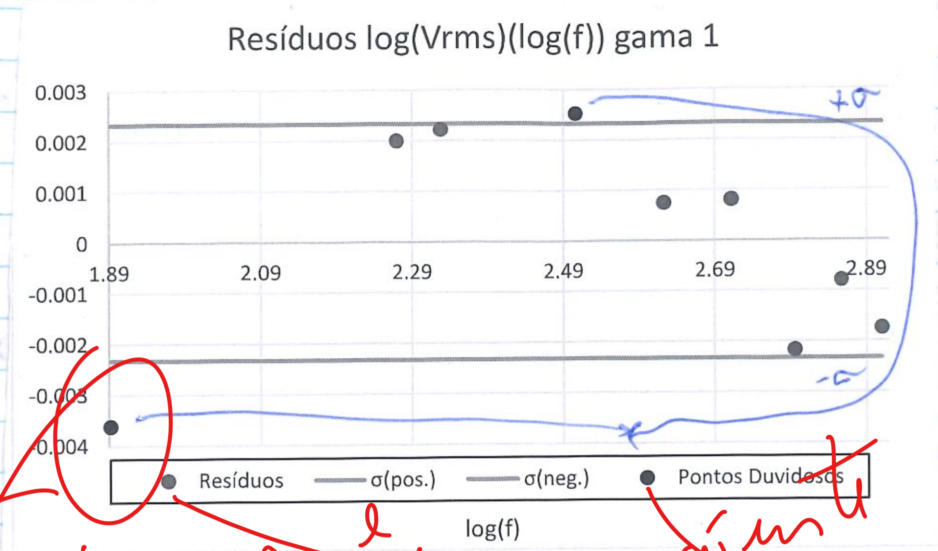
O gráfico log(Vrms)(log(f)) é:



m	1.004614	-3.25179	b
σm	0.002484	0.006367	σb
r²	0.999957	0.002328	σy

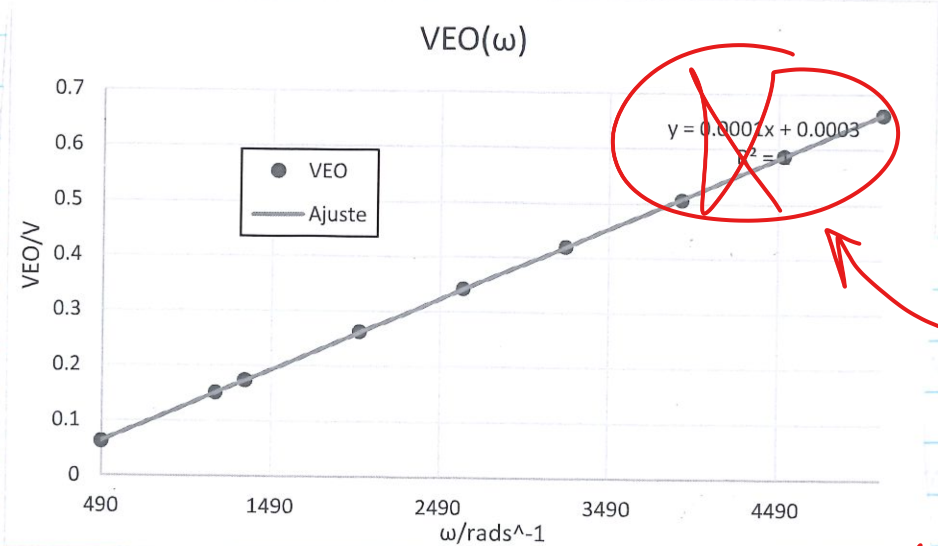
X X

Como o declive é aproximadamente 2, está comprovado o regime linear que era suposto obter.
O gráfico dos resíduos é:



retirar e refazer ajuste → não se distinguem

Traçamos o gráfico $V_{E0}(\omega)$ para obter µo:



m	0.00013	0.000253	b
σm	2.26E-07	0.000703	σb
r²	0.999979	0.001024	σy

Determinar μ_0

Dados:

$N = 364$

$m = 300$

$D = (41,00 \pm 0,05)\ mm \rightarrow S = \frac{\pi D^2}{4} = 1,32 \times 10^{-3}\ m^2$

$\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 0$

$i_{ms} = (0,420 \pm 0,001)\ A \rightarrow i_0 = i_{ms}\sqrt{2} \rightarrow i_0 = (0,594 \pm 0,001)\ A$

$L = (75,00 \pm 0,05)\ cm \rightarrow L = (0,7500 \pm 0,0005)\ m$

$$m = \frac{\mu_0\, 4NS \cos\theta\, i_0}{L}$$

$$\Rightarrow \mu_0 = \frac{m L}{mNS\cos\theta\, i_0} \rightarrow \mu_0 = 1,14 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$$

forma da eq. de propagação a usar: a relativa! (não porquê?)

A incerteza é:

$u(m) = 2,26 \times 10^{-4}\ HA$

$u(L) = 5 \times 10^{-4}\ m$

$u(i_0) = 0,001\ A$

$u(S) = 3,22 \times 10^{-6}\ m^2$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = 8,75 \times 10^{-3}\ m^{-1} A^{-1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = 4 \times 10^{-5}\ Hm^{-2}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = -1,92 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}A^{-1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = 8,6 \times 10^{-4}\ Hm^{-1}$

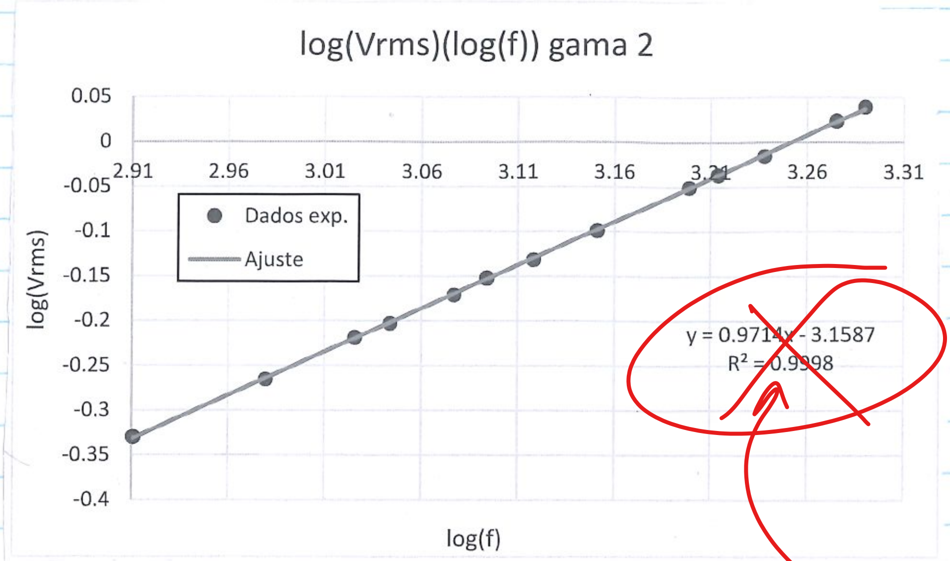
Assim $u(\mu_0) = 6,35 \times 10^{-9}\ Hm^{-1}$

Assim: $\mu_0 = (1,14 \pm 0,01) \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$

Cálculo do erro

$$e_r(\%) = \left| \frac{1,14 \times 10^{-6} - 4\pi \times 10^{-7}}{4\pi \times 10^{-7}} \right| \times 100 = 9,\cancel{3}\%$$

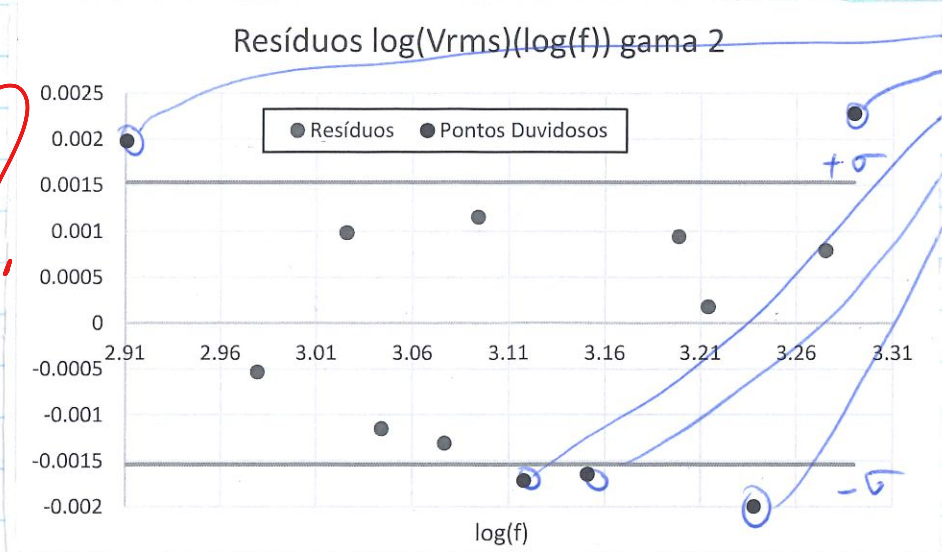
Gama 2



m	0.97136601	-3.15874	b
σm	0.00379782	0.011873	σb
r2	0.99983188	0.001536	σy

(**)

Comprova-se assim o regime linear, pois o declive do ajuste é, aproximadamente, 1.
O gráfico de resíduos é:

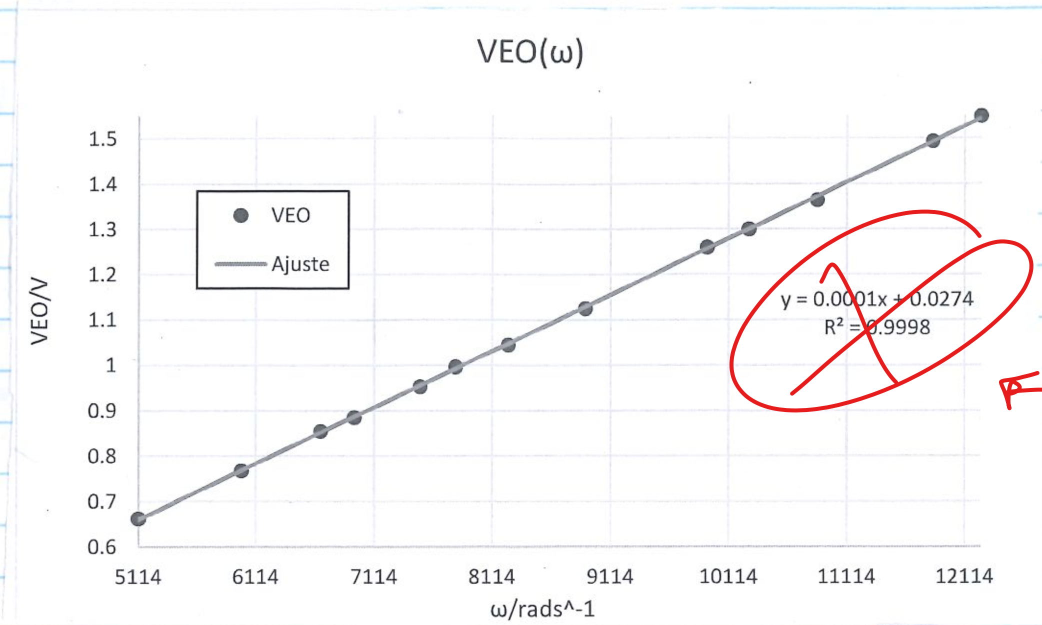


Pontos Duvidosos

porquê?

porquê repetir análise V(ω) se já fez V(f)?

Para determinarmos μ_0, temos o seguinte gráfico:



m	0.000124	0.027357	b
σ_m	4.59E-07	0.004093	σ_b
r^2	0.999848	0.003589	σ_y

Determinar μ_0

$$m = \frac{\mu_0 4 N S \cos\theta \, i_0}{L} \Rightarrow \mu_0 = \frac{mL}{4NS\cos\theta \, i_0}$$

$$\Rightarrow \mu_0 = 1{,}09 \times 10^{-6} \ Hm^{-1}$$

As incertezas é:

$u(m) = 4{,}59 \times 10^{-7}$ HA

$u(L) = 5 \times 10^{-4}$ m

$u(i_0) = 0{,}001$ A

$u(S) = 3{,}22 \times 10^{-6}$ m^2

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = 8{,}75 \times 10^{-3}$ $m^{-1}A^{-1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = 1{,}248 \times 10^{-6}$ Hm^{-2}

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = -1{,}83 \times 10^{-5}$ $Hm^{-1}A^{-1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = -8{,}2 \times 10^{-4}$ Hm^{-1}

Assim: $u(\mu_0) = 5{,}19 \times 10^{-9}$ Hm^{-1}

$\mu_0 = (1{,}09 \pm 0{,}01) \times 10^{-6}$ Hm^{-1}

Cálculo do erro

$$er(\%) = \frac{\left|1{,}09\times10^{-6} - 4\pi\times10^{-7}\right|}{4\pi\times10^{-7}} \times 100 = 13{,}\cancel{3}\%$$

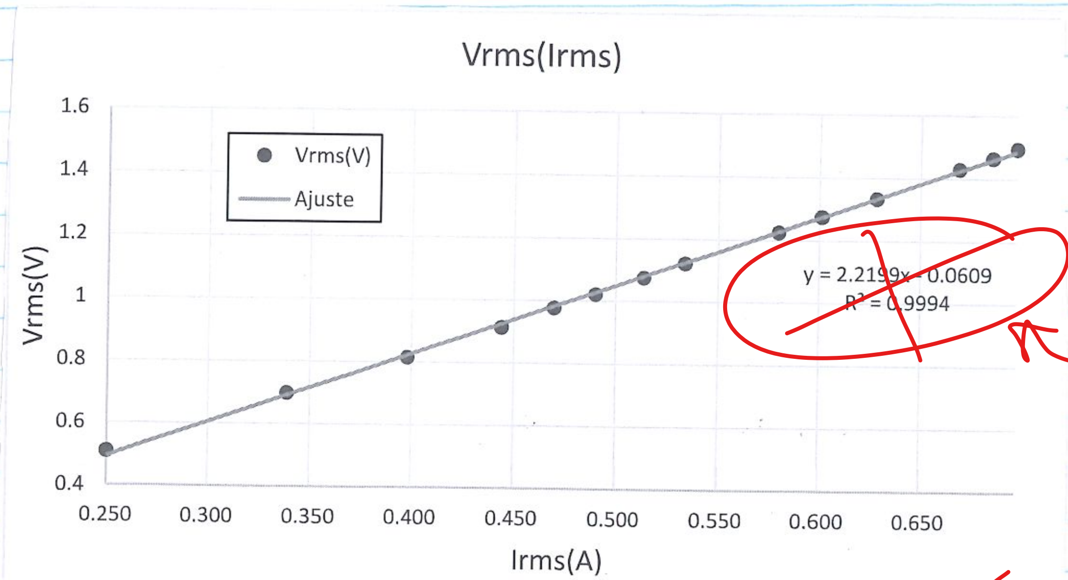
Assim, conclui-se que há presença de erros sistemáticos que afetaram a experiência.

Variação de i0

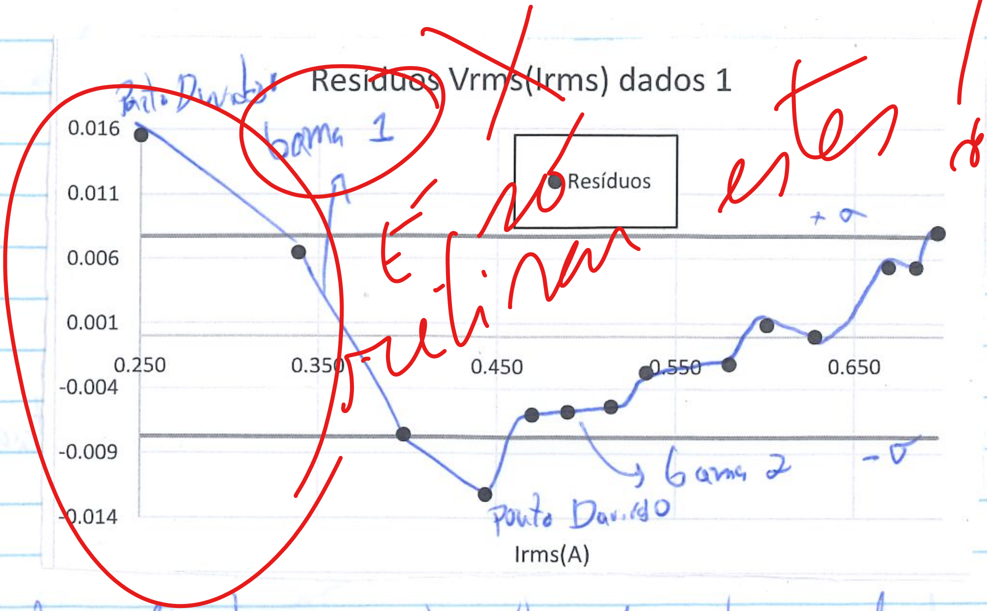
Esta secção será dividida em 3 conjuntos de dados obtidos.

1º Conjunto de dados

Obtivemos o seguinte gráfico Vrms (Irms):

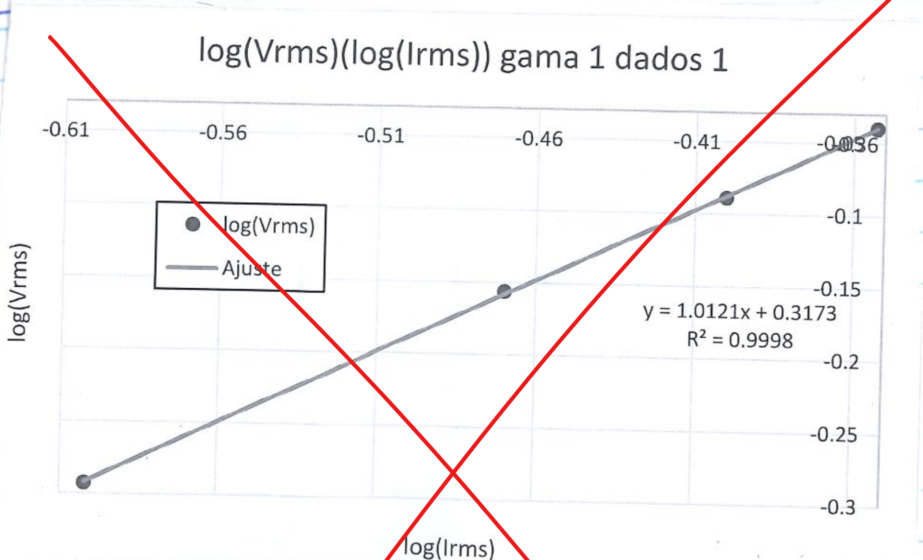


m	2.219931	-0.0609	b
σm	0.016044	0.008616	σb
r2	0.999374	0.007736	σy

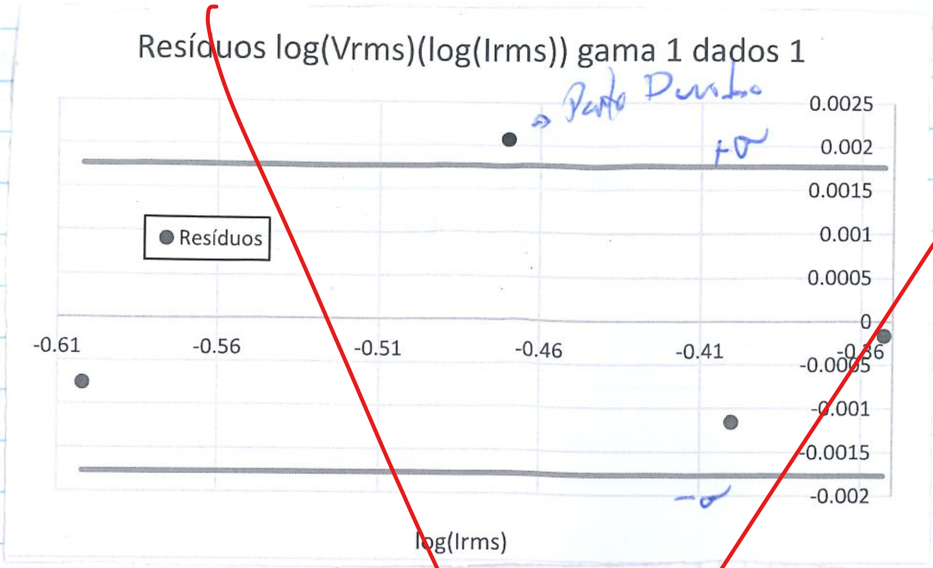


A partir da observação do gráfico de resíduos, concluímos que é possível dividir em duas gamas, cuja primeira gama termina e começa num ponto duvidoso, à semelhança da segunda gama.

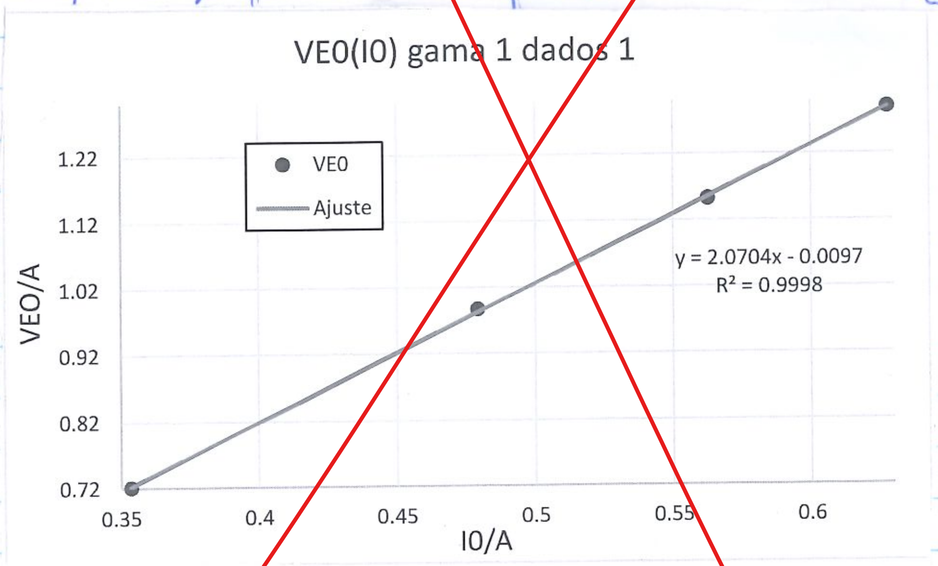
Gama 1



m	1.012093	0.3173244	b
σ_m	0.009398	0.0043768	σ_b
r^2	0.999828	0.0017665	σ_y



Temos agora o gráfico mais importante da nossa análise $V_{E0}(I_0)$:



m	2.070371	-0.009652	b
σ_m	0.018985	0.0098006	σ_b
r^2	0.999832	0.0038928	σ_y

Neste caso, temos:

$$declive = \frac{\mu_0 N n S \cos\theta\, \omega}{L} \rightarrow \mu_0 = \frac{declive \cdot L}{N n S \cos\theta\, \omega}$$

Dados:

$N = 365$ $\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$; $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 1527 = 9594$ rad s^{-1}

$n = 300$

$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 4{,}1^2}{4} = 1{,}32 \times 10^{-3}\ m^2$ $L = 0{,}75\ m$

declive $= 2{,}07$ H rad s^{-1}

$$\mu_0 = 1{,}12 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$$

Calcular $u(\mu_0)$:

$$u(m) = 0{,}04899\ H\,rad\,s^{-1}$$

$$u(L) = 5 \times 10^{-4}\ m$$

$$u(S) = 3{,}22 \times 10^{-6}\ m^2$$

$$u(\omega) = \left(\frac{d\omega}{df}\right) u(f) = 2\pi \cdot \cancel{0{,}0025} = 2\pi\ rad\,s^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = \frac{L}{NnS\cos\theta\omega} = 5{,}40 \times 10^{-7}\ m^{-1}\,rad^{-1}\,s^{+1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = \frac{m}{NnS\cos\theta\omega} = 1{,}50 \times 10^{-6}\ Hm^{-2}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = -\frac{mL}{NnS^2\cos\theta\omega} = -8{,}5 \times 10^{-4}\ Hm^{-3}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial \omega}\right) = \frac{-mL}{NnS^2\cos\theta\omega^2} = -1{,}17 \times 10^{-10}\ Hs\,m^{-1}\,rad^{-1}$$

Portanto, pela propagação de incertezas, temos:

$$u(\mu_0) = 1{,}07 \times 10^{-8}\ Hm^{-1}$$

Assim: $\mu_0 = (1{,}12 \pm 0{,}01) \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$

Cálculo do erro

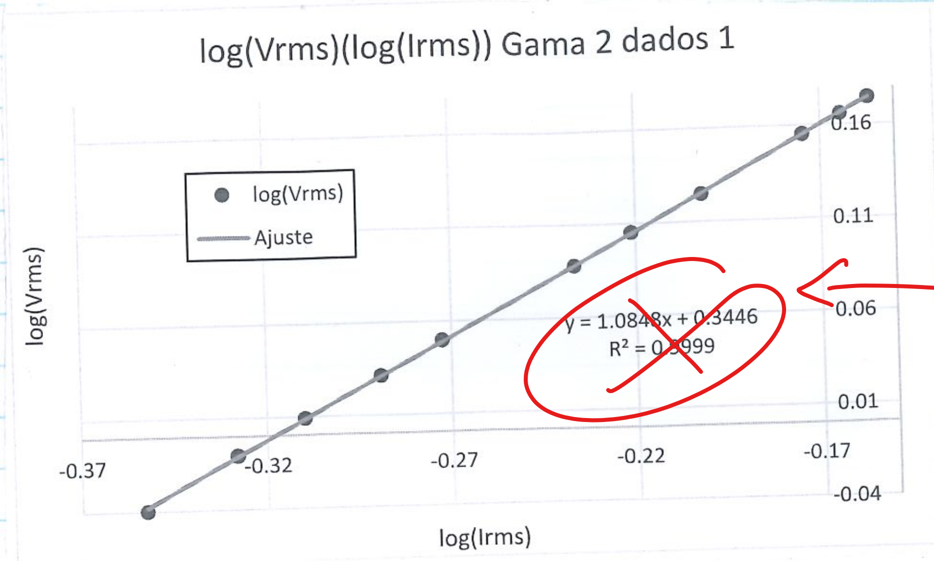
$$e_r(\%) = \frac{|V_m - V_t|}{V_t} \times 100 = \frac{|1{,}12 \times 10^{-6} - 4\pi \times 10^{-7}|}{4\pi \times 10^{-7}} \times 100 = 10{,}9\%$$

~~erro obtido [illegible]~~

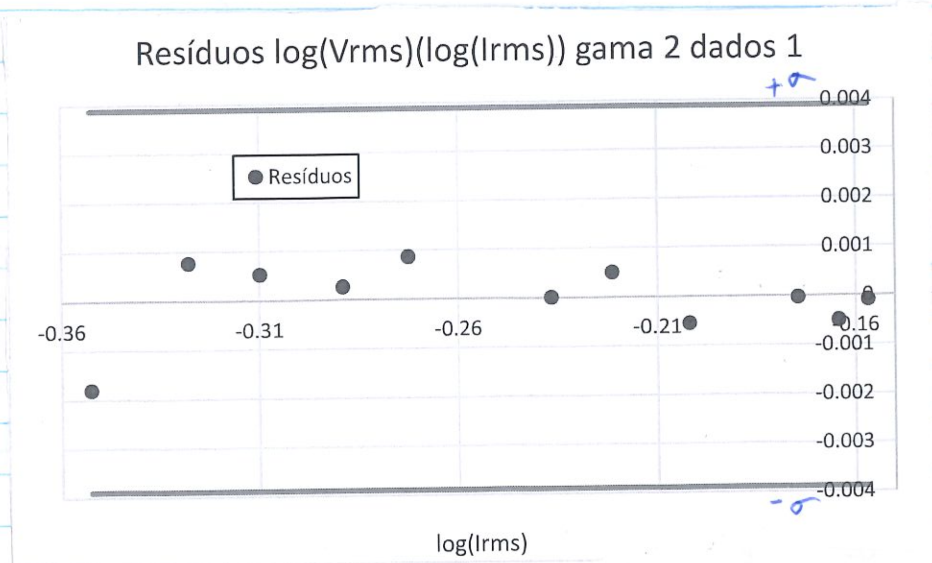
~~[illegible]~~

Gama 2

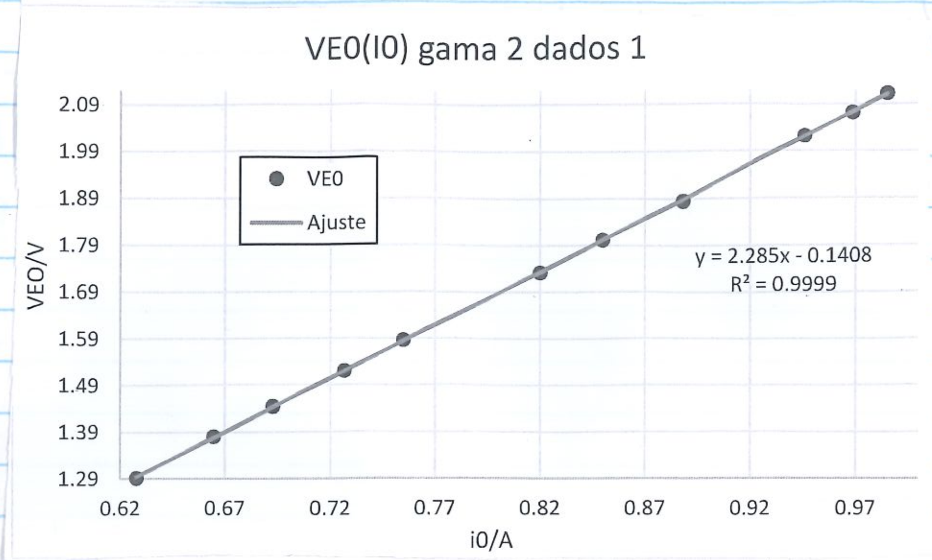
Obtivemos os seguintes dados experimentais:



m	1.084821	0.344616	b
σ_m	0.003696	0.000941	σ_b
r^2	0.999896	0.000802	σ_y



O gráfico $V_{EO}(I_0)$ é:



m	2.284979	-0.14076	b
σm	0.005431	0.004455	σb
r²	0.999949	0.002174	σy

(##)

À partida, comprova-se a relação de linearidade.

Cálculo de μ_0:

$$\mu_0 = \frac{mL}{NnS\cos\theta\,\omega} \Leftrightarrow \mu_0 = 1{,}24\times10^{-6}\ Hm^{-1}$$

Cálculo de $u(\mu_0)$:

$u(m) = 5{,}43\times10^{-3}$ $H\,rad\,s^{-1}$

$u(L) = 5\times10^{-3}$ m

$u(S) = 3{,}22\times10^{-6}$ m^2

$u(\omega) = 2\pi$ $rad\,s^{-1}$

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial m}\right) = 5{,}42\times10^{-2}$ $m^{-1}rad^{-1}s^{+1}$

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial L}\right) = 1{,}65\times10^{-6}$ Hm^{-2}

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial S}\right) = -8{,}3\times10^{-4}$ Hm^{-3}

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial\omega}\right) = -9{,}291\times10^{-10}$ $Hs\,m^{-1}rad^{-1}$

Assim:

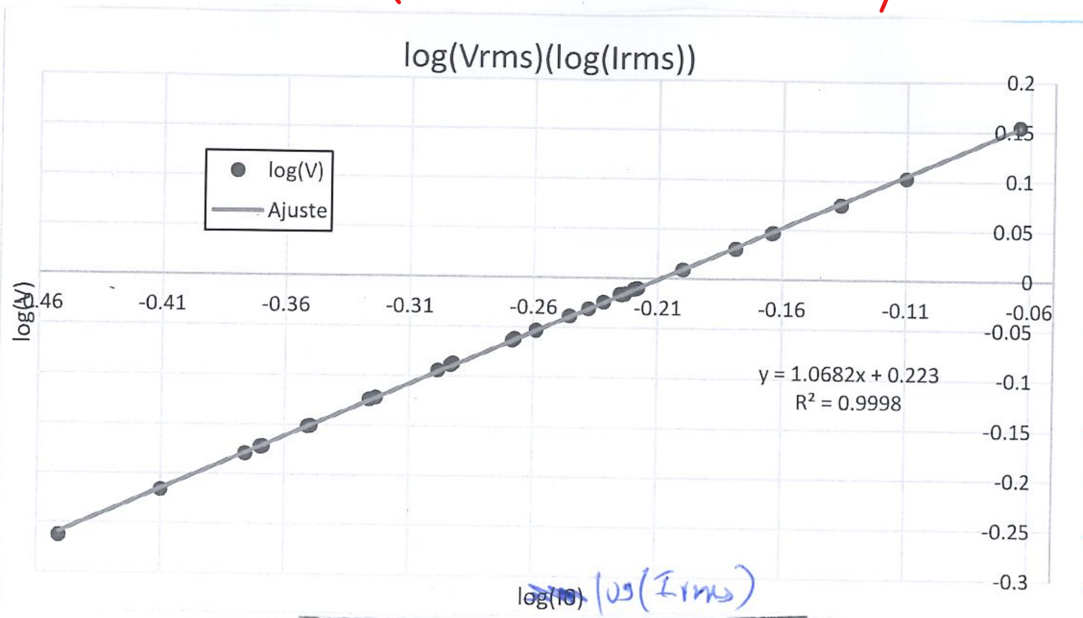
$u(\mu_0) = 4{,}36\times10^{-9}$ Hm^{-1}

Logo: $\mu_0 = (1,240 \pm 0,004) \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$

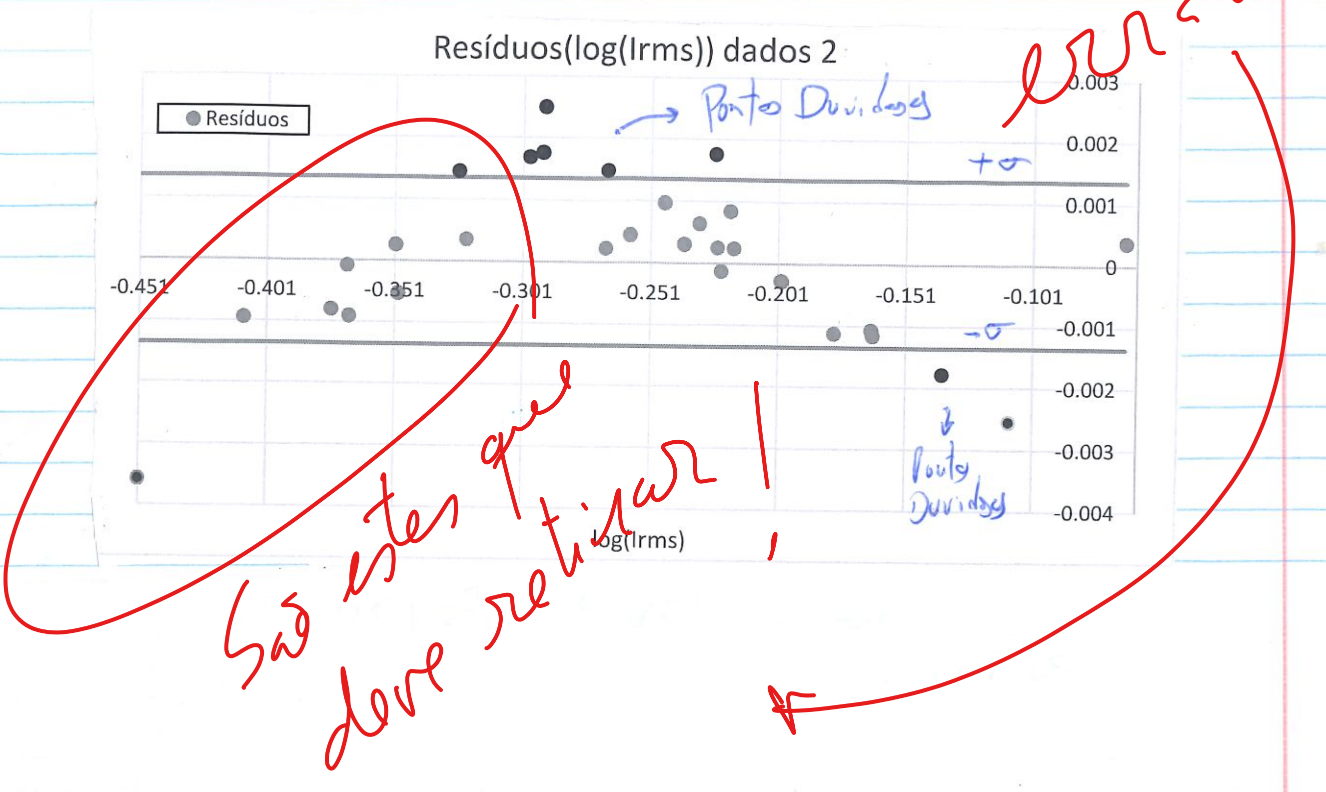
Cálculo do erro

$$e_r(\%) = \frac{|V_m - V_t|}{V_t} \times 100 = 1,32\% \sim 1,3\%$$

2.º Conjunto de dados (2.º ensaio, certo?) obs. ≈s às anteriores



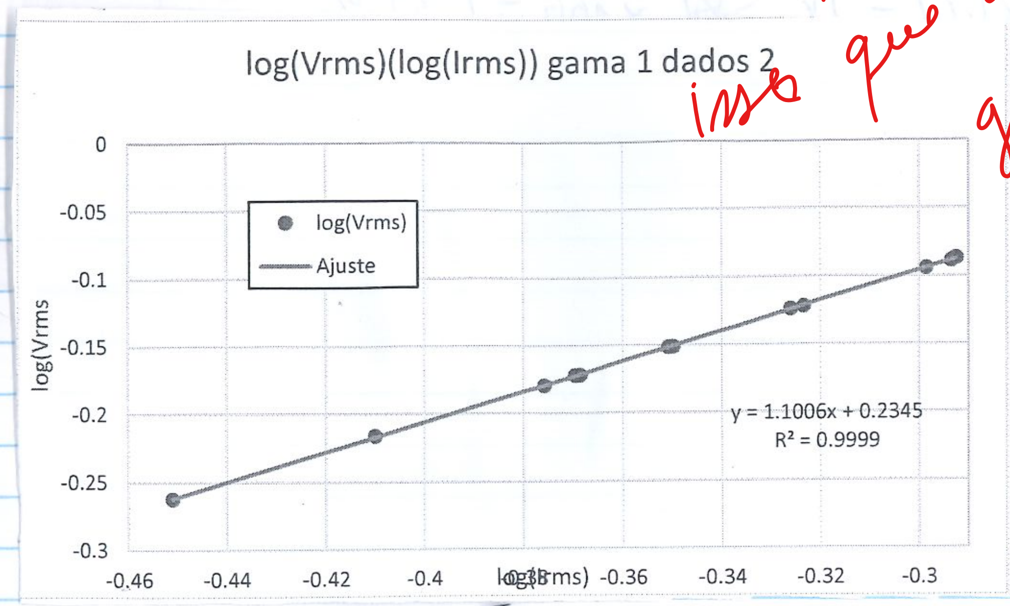
m	1.068249	0.223035	b
σm	0.002778	0.000768	σb
r²	0.999811	0.001354	σy



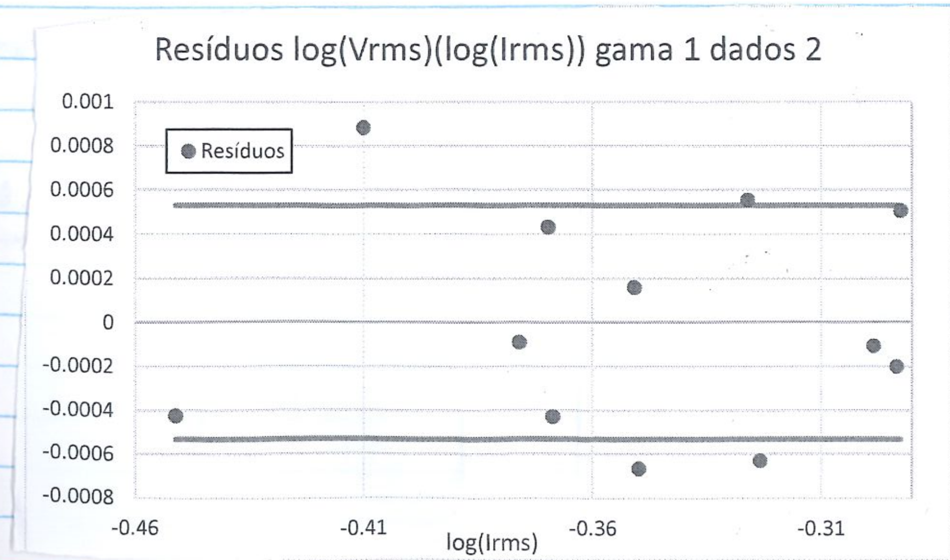
Verificamos assim, que existem duas gamas, que podem ser analisadas.

quais? Não é isso que diz no gráfico anterior!

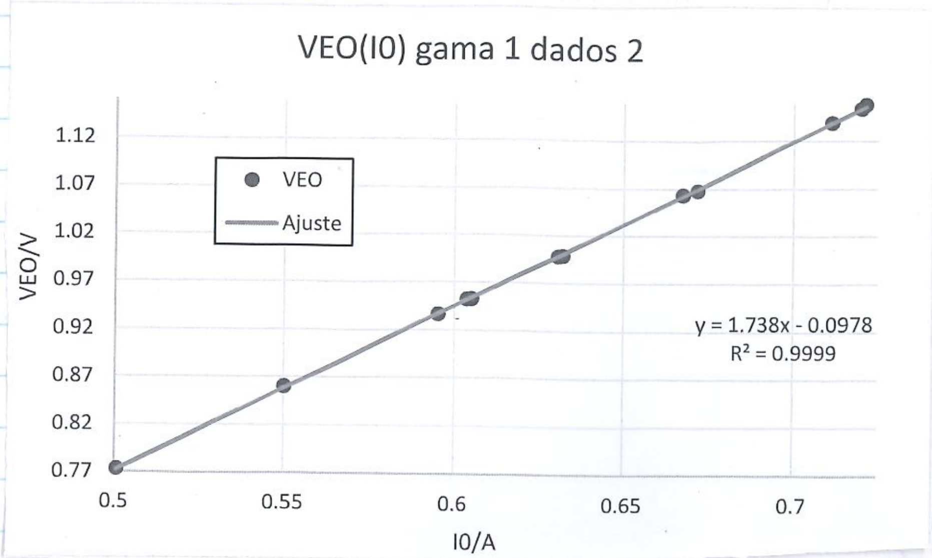
Gama 1



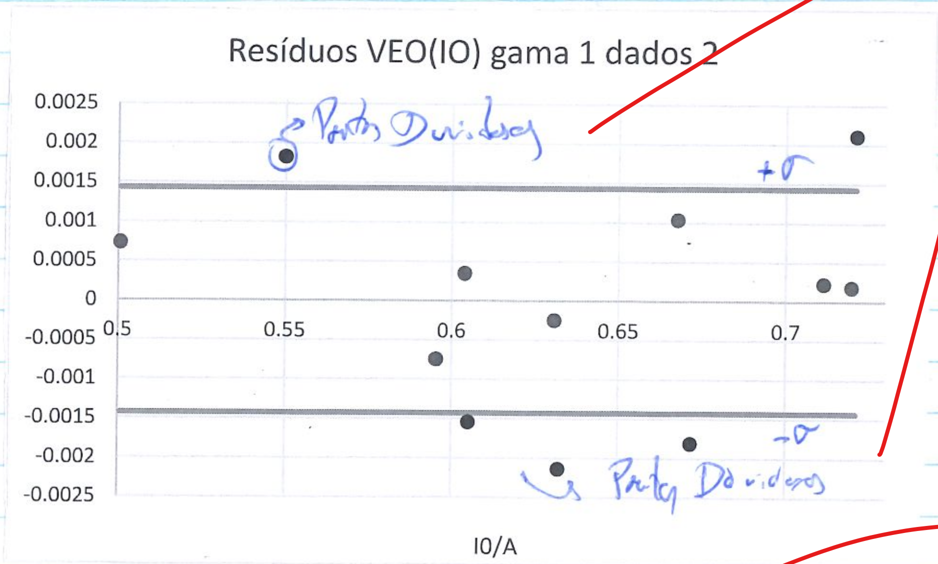
m	1.100624	0.234472	b
σm	0.003317	0.001173	σb
r2	0.999909	0.000531	σy



O gráfico VEO(IO) é:



m	1.738002	-0.09783	b
σ_m	0.006299	0.004016	σ_b
r^2	0.999869	0.00143	σ_y



mal calculado!

- qual o critério usado neste trabalho para considerar dados como duvidosos?

Cálculo de μ_0

$$\mu_0 = \frac{mL}{N n S \cos\omega t} = 1{,}28\times10^{-6}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$$

Dados:

$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 1151 = 7231{,}9\ \mathrm{rad\,s^{-1}}$

$m = 1{,}738\ \mathrm{H\,rad\,s^{-1}}$

$L = 0{,}75\ \mathrm{m}$

$N = 366$

$n = 500$

$S = 1{,}32\times10^{-3}\ \mathrm{m^2}$

Cálculo de $u(\mu_0)$:

$u(r_m) = 6,32 \times 10^{-3}$ Hrads^{-1}

$u(L) = 5 \times 10^{-4}$ m

$u(S) = 3,22 \times 10^{-6}$ m^2

$u(w) = 2\pi$ rads^{-1}

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial r_m}\right) = 7,79 \times 10^{-7}$ $m^{-1} rad^{-1} s^{+1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = 1,67 \times 10^{-6}$ Hm^{-2}

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = -9,4 \times 10^{-4}$ Hm^{-3}

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial w}\right) = -1,73 \times 10^{-10}$ $Hsm^{-1}rad^{-1}$

Logo:

$u(\mu_0) = 5,62 \times 10^{-9}$ Hm^{-1}

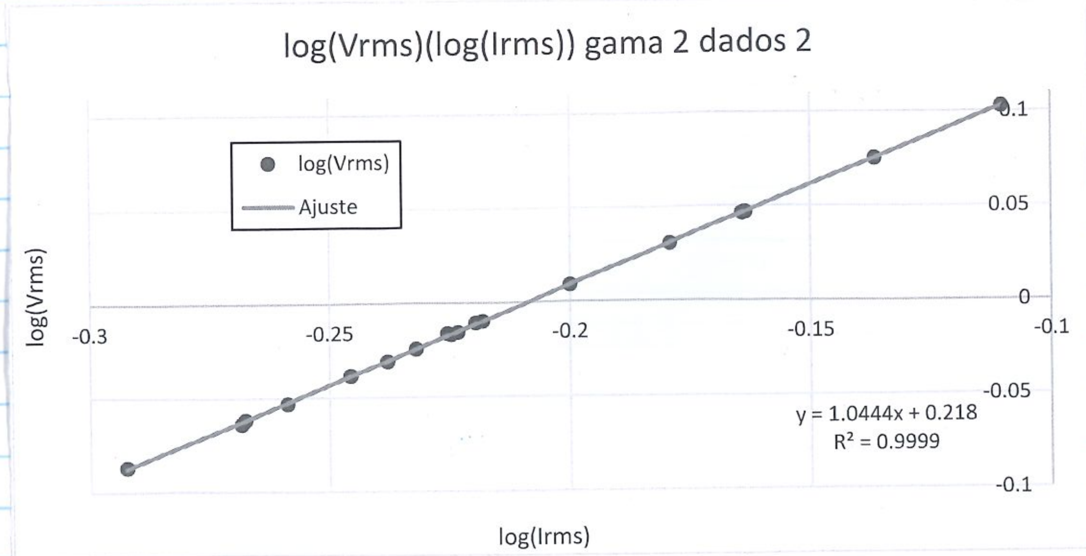
Assim:

$\mu_0 = (1,25 \pm 0,01) \times 10^{-6}$ Hm^{-1}

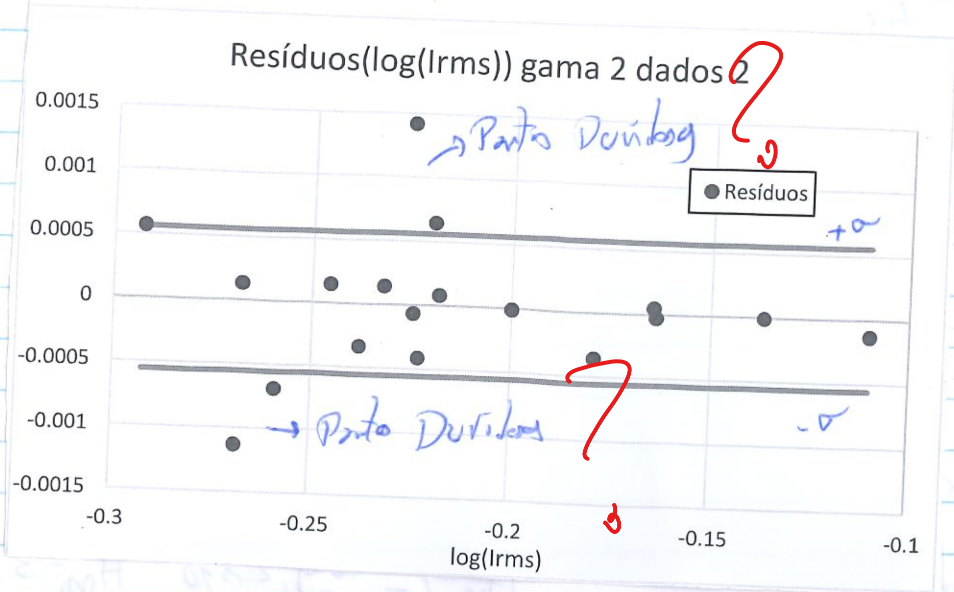
Cálculo do erro

$$er(\%) = \left|\frac{1,25 \times 10^{-6} - 4\pi \times 10^{-7}}{4\pi \times 10^{-7}}\right| \times 100 = 0,53\%$$

Gama 2

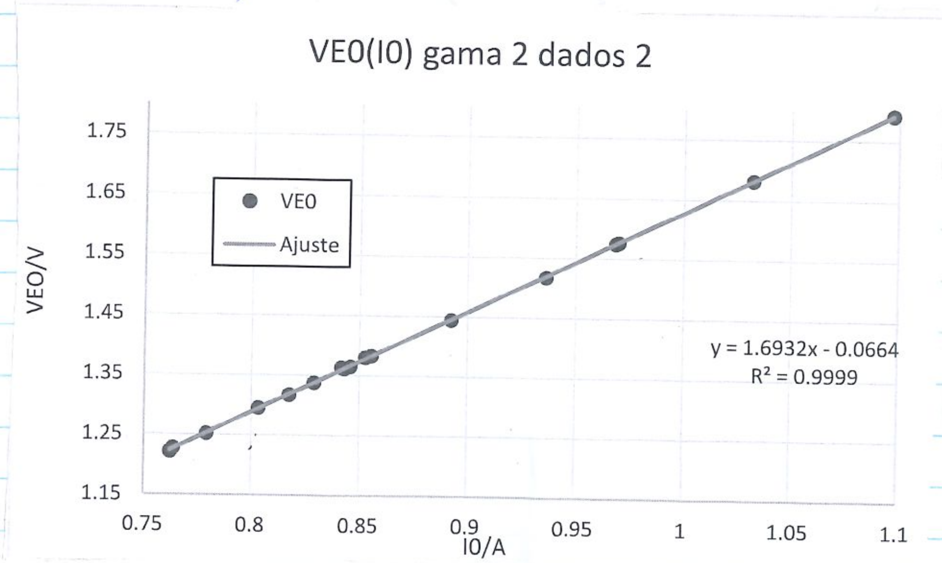


m	1.04439	0.217971	b
σm	0.002815	0.000619	σb
r²	0.999884	0.000559	σy

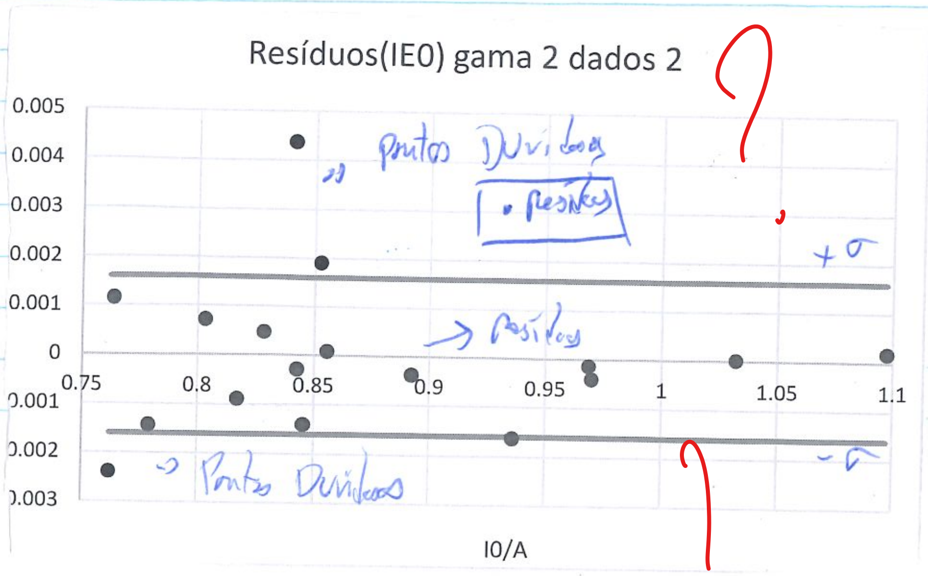


quais? porquê?

O gráfico $V_{E0}(I_0)$ é:



m	1.693179	-0.06637	b
σ_m	0.004202	0.003701	σ_b
r^2	0.999908	0.0016	σ_y



Cálculo de μ_0

$$\mu_0 = \frac{mL}{nNS\cos\theta\,\omega} = 1,22\times10^{-6}\ Hm^{-1}$$

Cálculo de $u(\mu_0)$:

$u(m) = 4,20\times10^{-3}\ H\times rad\,s^{-1}$

$u(L) = 5\times10^{-4}\ m$

$u(S) = 3,22\times10^{-6}\ m^2$

$u(\omega) = 2\pi\ rad\,s^{-1}$

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial m}\right) = 1,19\times10^{-7}\ m^{-1}rad^{-1}s^{+1}$

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial L}\right) = 1,42\times10^{-6}\ Hm^{-2}$

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial S}\right) = -9,2\times10^{-5}\ Hm^{-3}$

$\left(\frac{\partial\mu_0}{\partial \omega}\right) = -1,68\times10^{-10}\ Hs\,m^{-1}rad^{-1}$

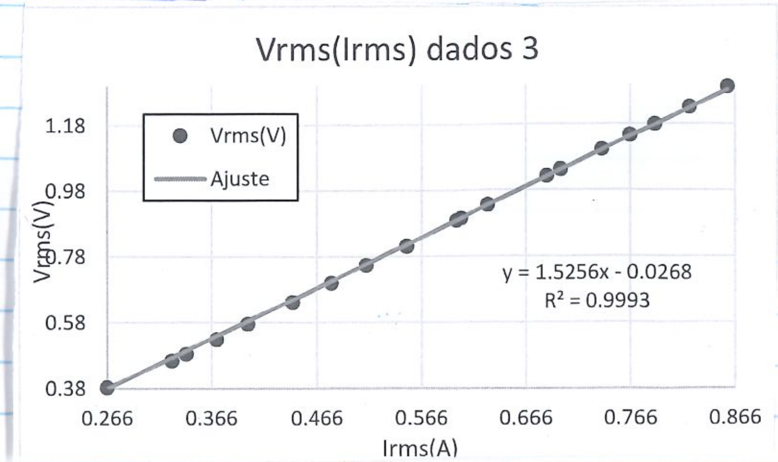
Assim: $u(\mu_0) = 4,43\times10^{-9}\ Hm^{-1}$

Logo: $\mu_0 = \cancel{1,22\ldots}\ (1,220 \pm 0,004)\times10^{-6}\ Hm^{-1}$

Cálculo do erro

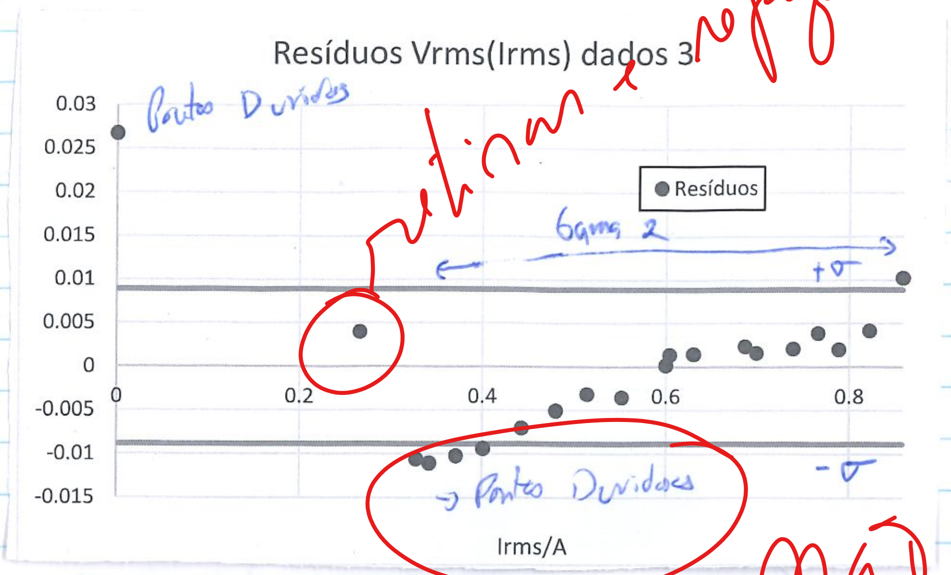
$$e_r(\%) = \frac{|V_m - V_T|}{V_T}\times100 = 2,92\ \% \approx 3\%$$

3º Conjunto de dados



m	1.525564	-0.02678	b
σm	0.009303	0.00544	σb
r^2	0.999331	0.008867	σy

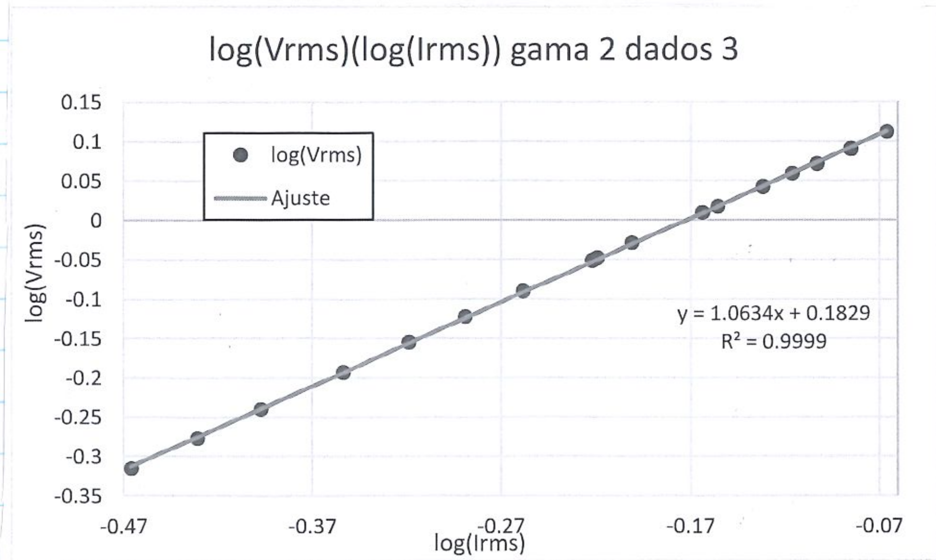
retirar e refazer ajuste



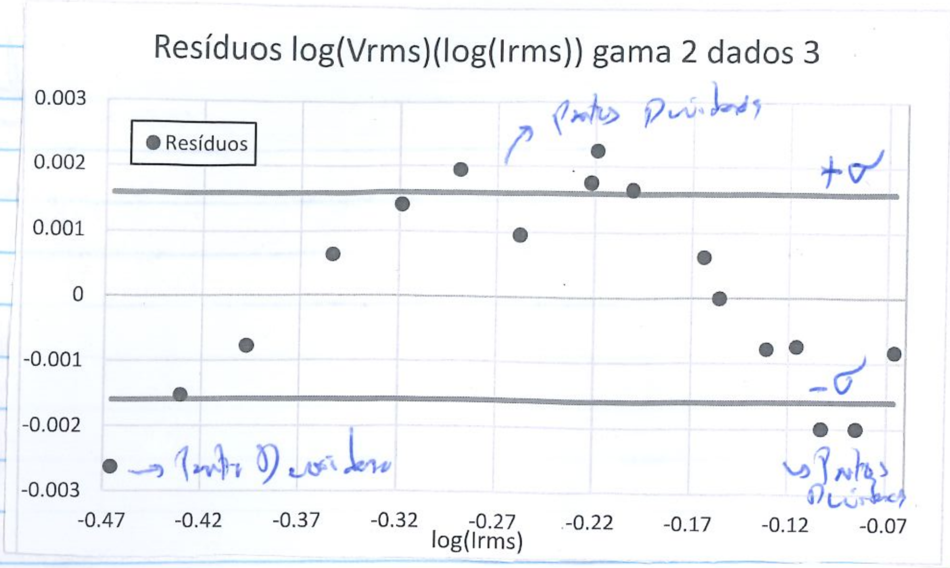
NÃO!

Notamos que neste caso em particular poderíamos considerar 2 gamas experimentais.
Por motivos óbvios, apenas uma gama será abordada na análise, uma vez que a outra gama apenas tem 3 pontos.

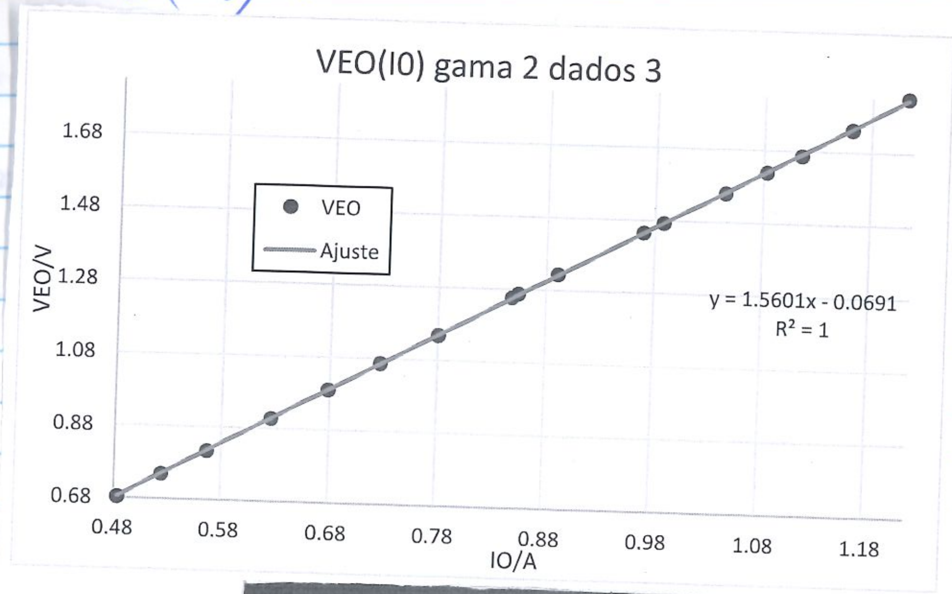
Gama 2



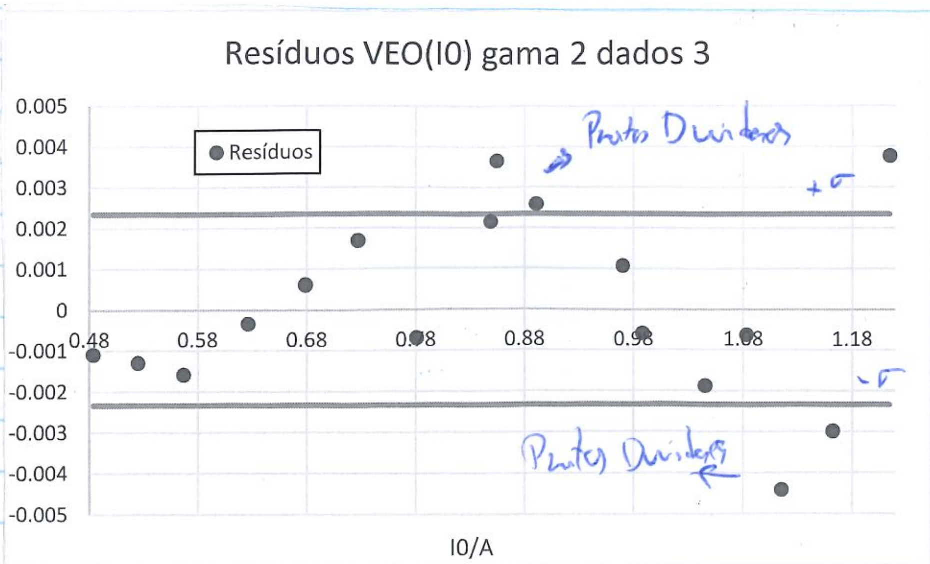
m	1.063441	0.182921	**b**
σm	0.003186	0.000839	**σb**
r^2	0.999865	0.001589	**σy**



O gráfico $V_{EO}(I_0)$ é:



m	1.560076	-0.06911	b
σm	0.002539	0.002248	σb
r^2	0.99996	0.002338	σy



Mas!

Determinação de μ_0

Dados:

$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 1067 = 6704,16\ rad\,s^{-1}$

$m = 1,5604\ H\,rad\,s^{-1}$

$L = 0,75\ m$

$N = 369$

$n = 300$

$S = 1,32 \times 10^{-3}\ m^2$

$\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$

$$\mu_0 = \frac{mL}{NnS\cos\theta\,\omega} = 1,22 \times 10^{-6}\ H\,m^{-1}$$

Cálculo da incerteza de μ_0

$u(m) = 2,89 \times 10^{-3}\ H\,rad\,s^{-1}$

$u(L) = 5 \times 10^{-4}\ m$

$u(S) = 3,22 \times 10^{-6}\ m^2$

$u(\omega) = 2\pi\ rad\,s^{-1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = 7,76 \times 10^{-7}\ m^{-1}rad^{-1}s^{+1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = 1,61 \times 10^{-6}\ H\,m^{-2}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = -9,1 \times 10^{-4}\ H\,m^{-3}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial \omega}\right) = -1,81 \times 10^{-10}\ H\,s^{+1}\,m^{-1}\,\alpha^{-1}$

Logo: $u(\mu_0) = 3,796 \times 10^{-9}\ H\,m^{-1}$

Assim: $\mu_0 = (1,220 \pm 0,004)\ H\,m^{-1}$

Cálculo do erro

$$er(\%) = \frac{|V_m - x_t|}{x_t} \times 100 = 2,92\%$$ $\approx 3\%$

Variação de n

Nesta etapa da experiência foram retirados dois conjuntos de dados, de modo a aumentar a certeza e reprodutibilidade dos resultados.

Conjunto de dados 1

Parâmetros fixados:

$f = 1067\ Hz \rightarrow f = (1,067 \pm 0,001)\ kHz \rightarrow \omega = 2\pi f$

$\rightarrow \omega = (6704,159 \pm 0,006)\ rad\,s^{-1}$

$i_{rms} = (0,820 \pm 0,001)\ A$ → Devido à flutuação dos valores lidos no multímetro, considera-se o seguinte intervalo de correntes viável para a nossa análise.

$\searrow i_0 = (1,116 \pm 0,001)\ A$

$\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$

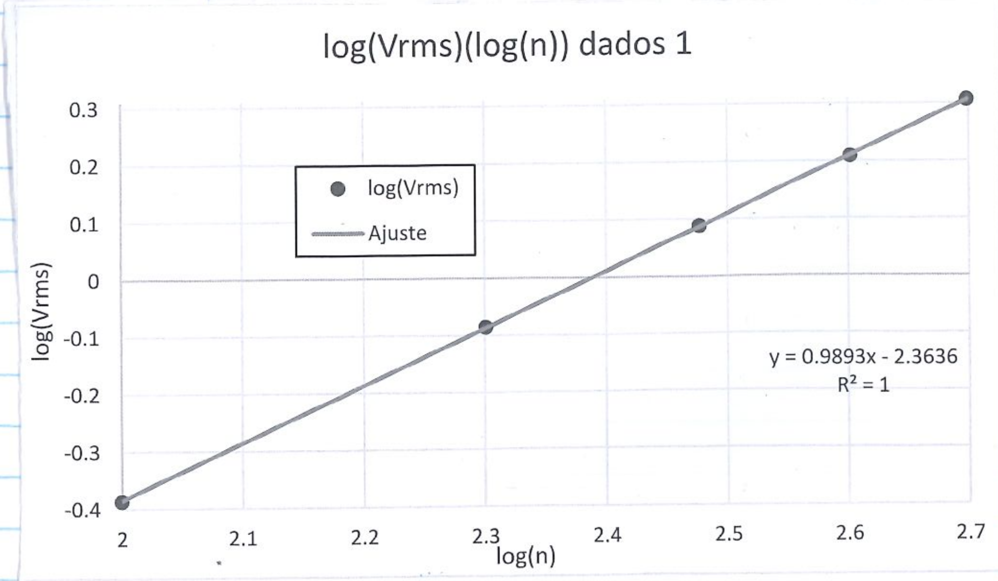
$L = (0,750 \pm 0,005)\ m$

$I_{rms} \in [0,819 ; 0,820]\ A$

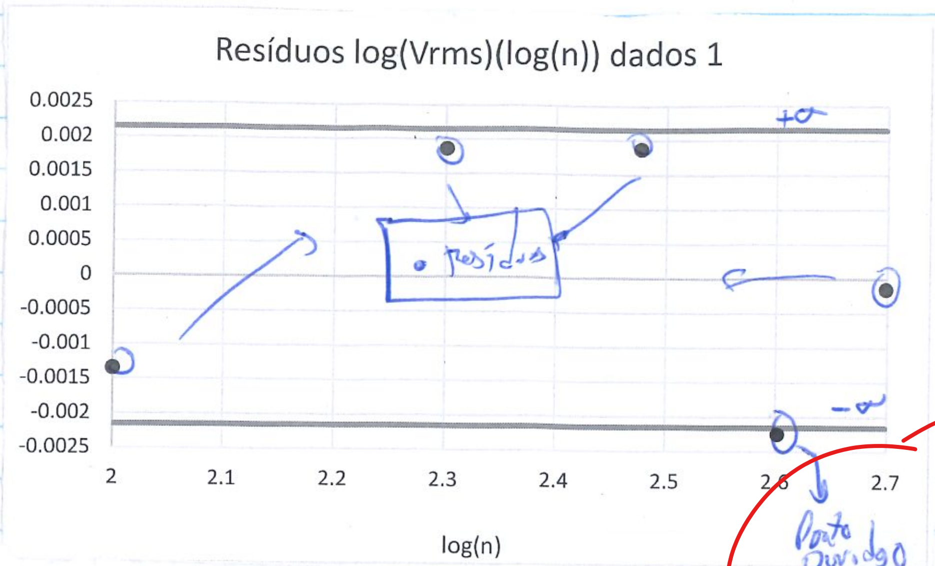
$D = (49,00 \pm 0,05)\ mm \rightarrow S = (1,920 \pm 0,004) \times 10^{-3}\ m^2$

$N = 344$

Experimentalmente, obtivemos:

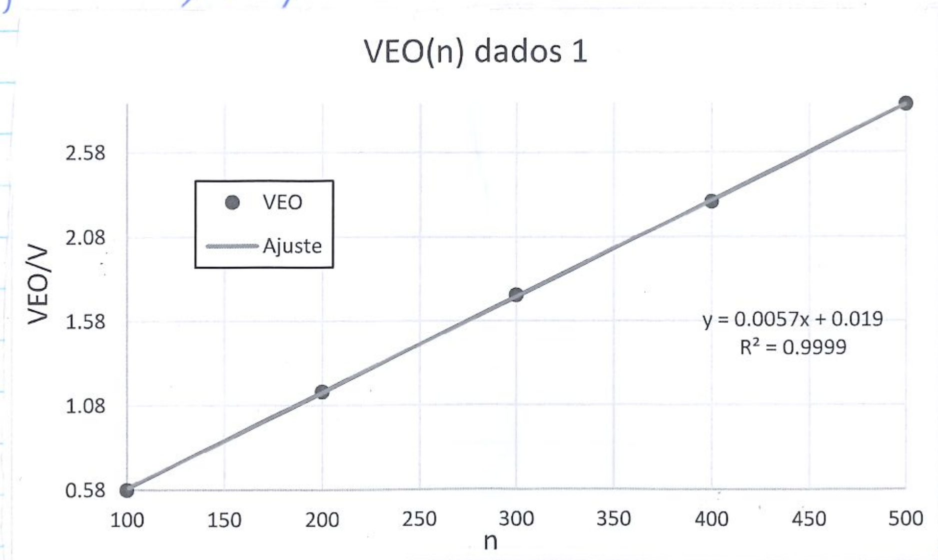


m	0.989328	-2.36357	b
σ_m	0.003898	0.009466	σ_b
r^2	0.999953	0.002152	σ_y

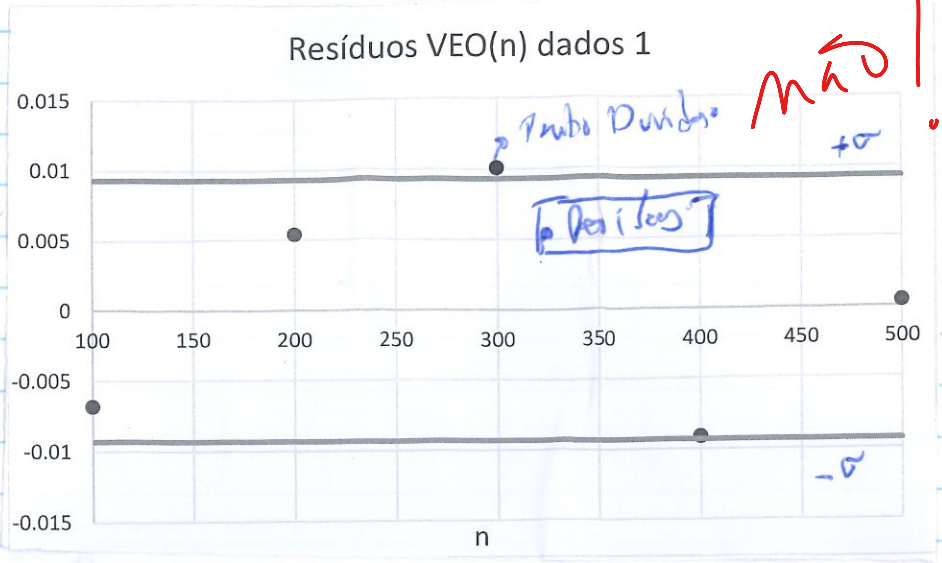


não!

A dependência linear é observada, já que m = declive ≅ 1.
Além disso, no gráfico de resíduos não se verificou nenhuma tendência para a escolha de gama experimental, logo, todos os pontos foram contabilizados.
O gráfico V(EO)(n) será:



m	0.005689	0.019021	b
σ_m	2.95E-05	0.00977	σ_b
r^2	0.99992	0.009315	σ_y



Determinação de μ_0

$$m = \mu_0 \frac{N S \omega i_0 \cos\theta}{L} \Leftrightarrow \mu_0 = \frac{m L}{N S \omega i_0 \cos\theta}$$

$$\Leftrightarrow \mu_0 = 1{,}19 \times 10^{-6}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$$

Determinação de $u(\mu_0)$

$u(m) = 2{,}95 \times 10^{-5}\ \mathrm{H\,A\,rad\,s^{-1}}$

$u(L) = 5 \times 10^{-4}\ \mathrm{m}$

$u(S) = 2{,}22 \times 10^{-6}\ \mathrm{m^2}$

$u(\omega) = 2\pi\ \mathrm{rad\,s^{-1}}$

$u(i_0) = 0{,}001\ \mathrm{A}$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = \frac{L}{N S \omega i_0 \cos\theta} = 2 \times 10^{-4}\ \mathrm{s\,m\,rad\,A^{-1}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = 1{,}58 \times 10^{-6}\ \mathrm{H\,m^{-2}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = -\frac{m L}{N S^2 \omega i_0 \cos\theta} = -8{,}9 \times 10^{-4}\ \mathrm{H\,m^{-3}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial \omega}\right) = \frac{-m L}{N S \omega^2 i_0 \cos\theta} = -1{,}77 \times 10^{-10}\ \mathrm{H\,s\,m^{-1}\,rad^{-1}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = -\frac{m L}{N S \omega i_0^2 \cos\theta} = -1{,}06 \times 10^{-6}\ \mathrm{H\,A^{-1}\,m^{-1}}$$

$u(\mu_0) = 6{,}78 \times 10^{-9}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$

Logo: $\mu_0 = (1{,}19 \pm 0{,}01) \times 10^{-6}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$

Determinação do erro

$e_\delta(\%) = 5,\cancel{3}\cancel{4}\%$

Conjunto de dados 2

Parâmetros fixados:

$i_{rms} = (0,572 \pm 0,001)A \rightarrow i_0 = (0,809 \pm 0,001)A$

$\omega = (10235,71 \pm 6,28)\, rad\,s^{-1}$

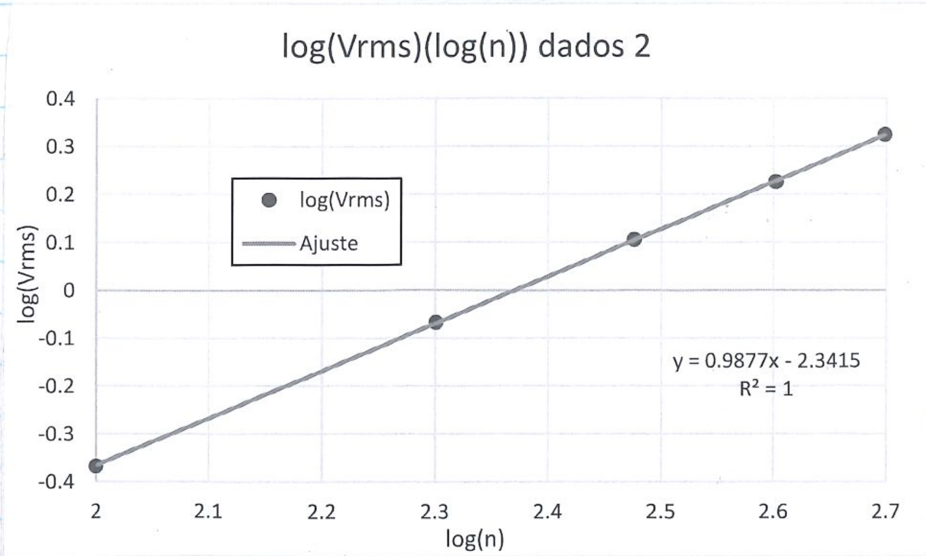
$\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$

$L = (0,1500 \pm 0,0005)m$

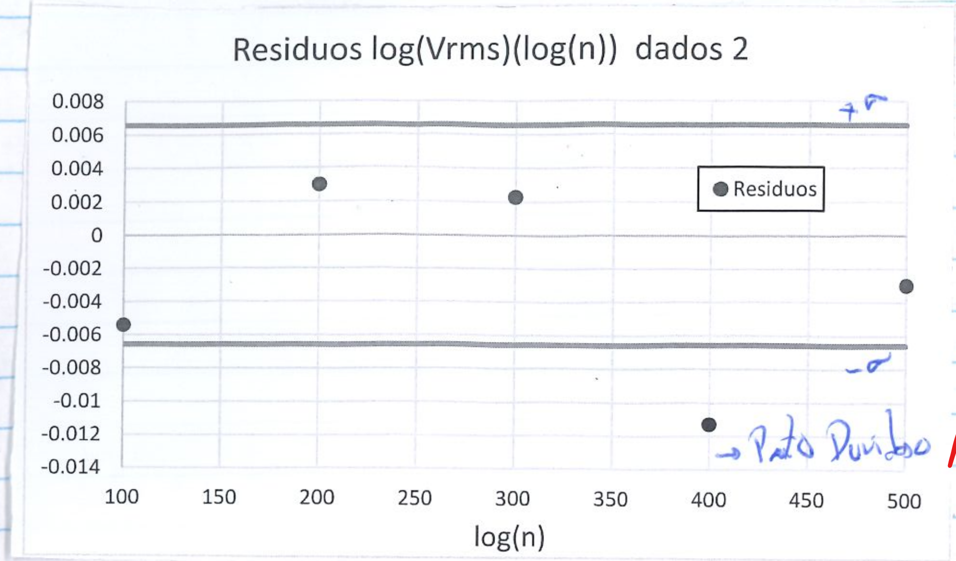
$S = (1,320 \pm 0,003) \times 10^{-3}\, m^2$

$N = 364$

Assim, o gráfico obtido experimentalmente é:



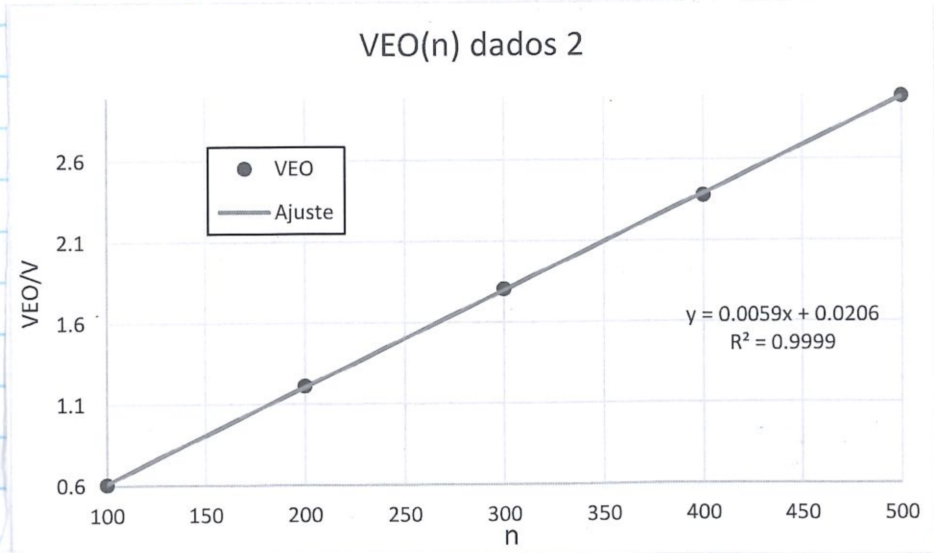
m	0.987672	-2.34148	b
σ_m	0.003714	0.00902	σ_b
r^2	0.999958	0.00205	σ_y



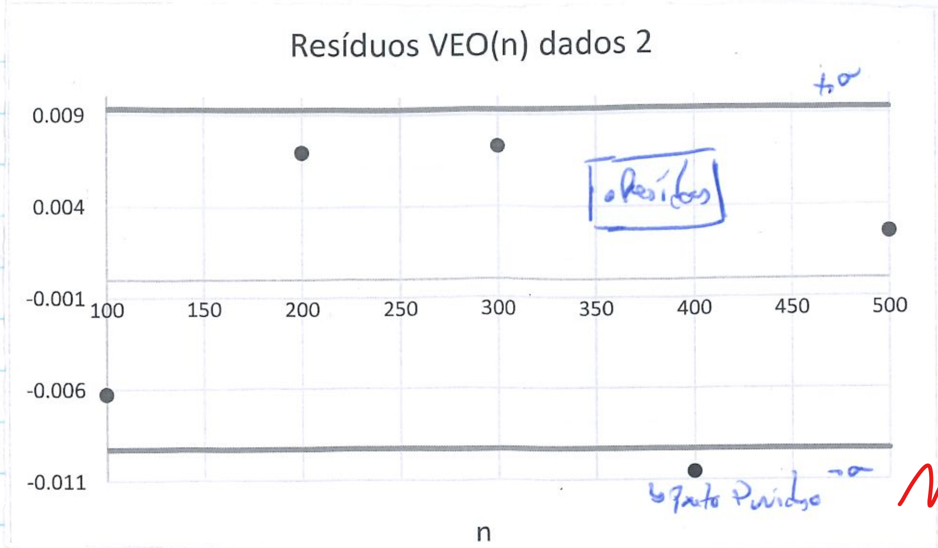
Mau!

Confirma-se, então, que há uma dependência linear. Como não se verifica ~~...~~ nenhum padrão no gráfico de resíduos, todos os pontos serão usados na gama experimental.

Obtemos, então, o seguinte gráfico:



m	0.005926	0.020605	b
σ_m	2.94E-05	0.00975	σ_b
r^2	0.999926	0.009297	σ_y



não!

Determinação de μ_0

$$\mu_0 = \frac{mL}{NS\omega i_0 \cos\theta} \rightarrow \mu_0 = 1,12 \times 10^{-6}\ H m^{-1}$$

Determinação de $u(\mu_0)$

$u(m) = 2,94 \times 10^{-5}\ H A rad s^{-1}$

$u(L) = 5 \times 10^{-4}\ m$

$u(S) = 3,22 \times 10^{-6}\ m^2$

$u(\omega) = 2\pi\ rad s^{-1}$

$u(i_0) = 0,001 A$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = 1,8 \times 10^{-5}\ s m^{-1} rad^{-1} A^{-1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = 1,49 \times 10^{-6}\ H m^{-2}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = -8,9 \times 10^{-4}\ H m^{-3}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial \omega}\right) = -1,09 \times 10^{-10}\ H s m^{-1} rad^{-1}$

$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = -1,38 \times 10^{-6}\ H A^{-1} m^{-1}$

Logo: $u(\mu_0) = 6,18 \times 10^{-9}\ H m^{-1}$

Assim: $\mu_0 = (1,12 \pm 0,07) \times 10^{-6}\ H m^{-1}$

Determinação do erro

$$er(\%) = \frac{|1,12 \times 10^{-6} - 4\pi \times 10^{-7}|}{4\pi \times 10^{-7}} \times 100 = 10,9\% \approx 11\%$$

Variação de S

Vamos considerar dois conjuntos de dados, à semelhança do que fizemos anteriormente.

Conjunto de dados 1

Parâmetros fixados:

$L = (0{,}7500 \pm 0{,}0005)\,m$

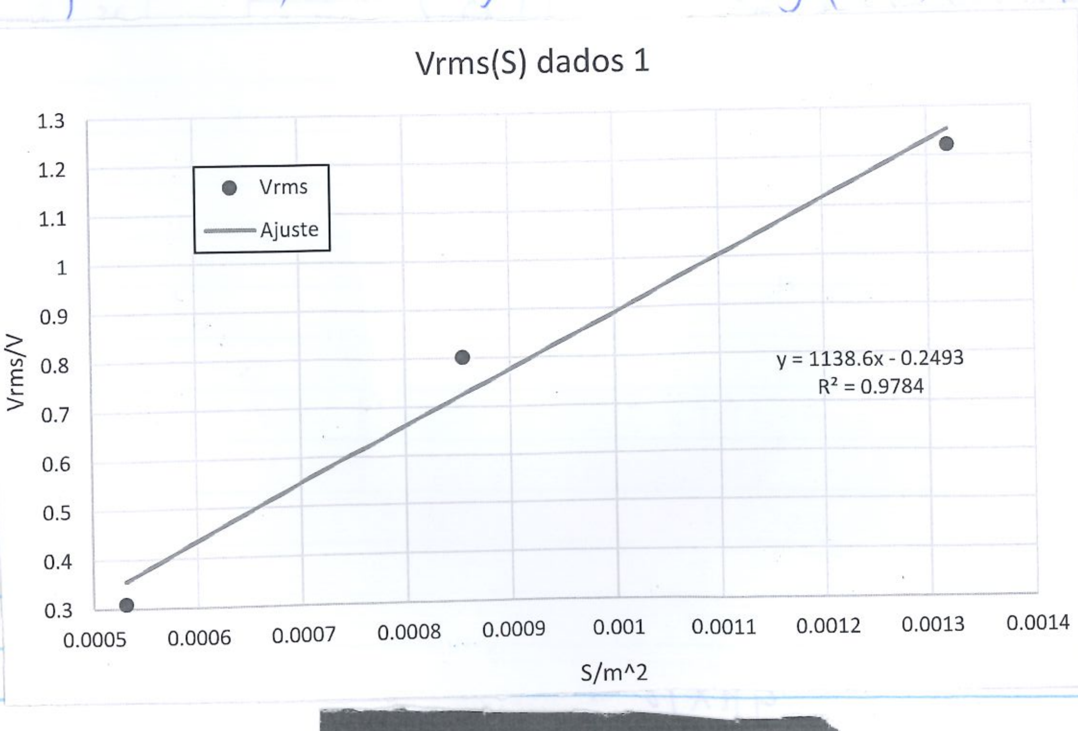
$i_{rms} = (0{,}820 \pm 0{,}001)\,A \rightarrow i_0 = (1{,}160 \pm 0{,}001)\,A$

$f = (1064 \pm 1)\,Hz \rightarrow \omega = (6658{,}309 \pm 6{,}283)\,rad\,s^{-1}$

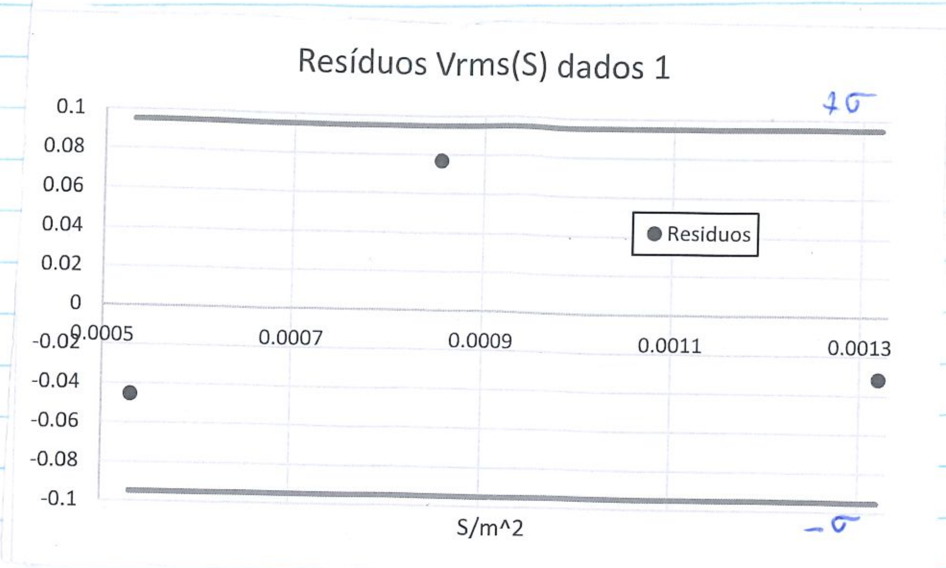
$n = 300$

$\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$

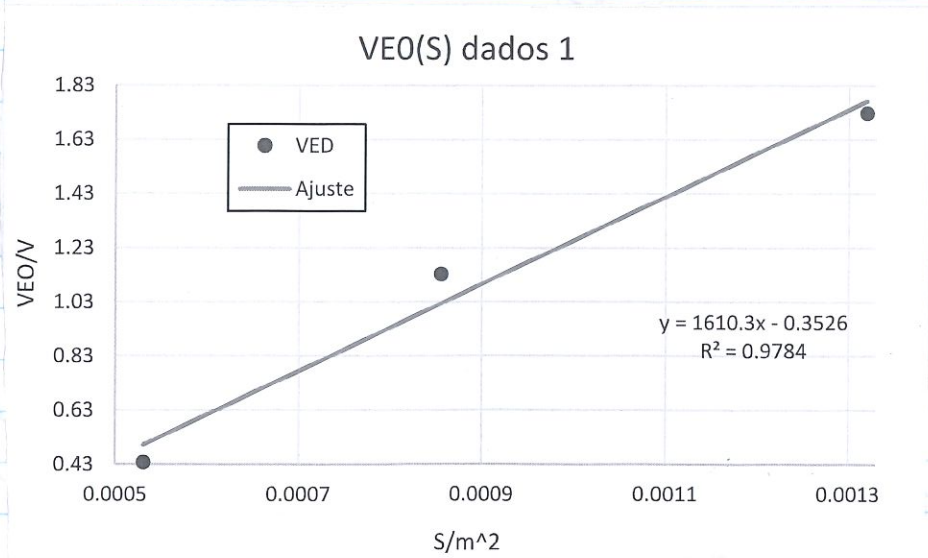
Experimentalmente, temos o seguinte gráfico $V_{rms}(S)$:



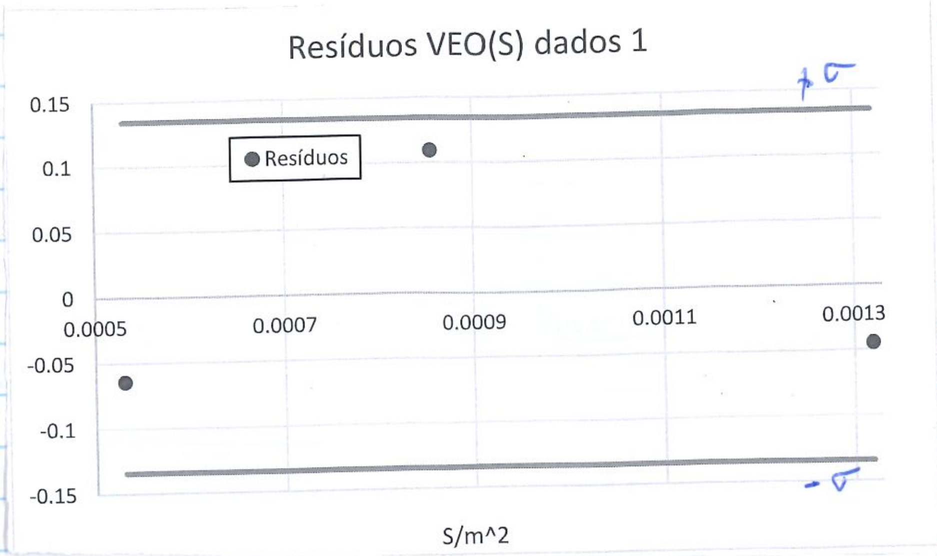
m	1138.648	-0.24931	b
σ_m	169.2411	0.162227	σ_b
r^2	0.978386	0.094958	σ_y



Dada a ~~q~~ quantidade ~~para~~ de parâmetros a variar que temos no nosso gráfico, seria de esperar este tipo de resposta.
Assim, não se verifica dependência linear. Contudo, podemos, de igual forma, estimar o valor de μ_0:



m	1610.291	-0.35258	b
σ_m	239.3431	0.229424	σb
r^2	0.978386	0.134291	σ_y



Determinação de μ_0

$$\mu_0 = \frac{mL}{N n \omega i_0} \Leftrightarrow \mu_0 = 1{,}43\times10^{-6}\ Hm^{-1}$$

Determinar $u(\mu_0)$

$u(m) = 239{,}34\ Hm^{-2} rad s^{-1}$

$u(L) = 5\times10^{-4}\ m$

$u(i_0) = 0{,}001\ A$

$u(\omega) = 2\pi\ rad s^{-1}$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = \frac{L}{N n \omega i_0} = 8{,}89\times10^{-10}\ m s rad^{-1} A^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = \frac{m}{N n \omega i_0} = 1{,}91\times10^{-6}\ Hm^{-2} A^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = -\frac{mL}{N n \omega i_0^2} = -1{,}23\times10^{-6}\ Hm^{-1} A^{-2}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial \omega}\right) = -\frac{mL}{N n \omega^2 i_0} = -2{,}15\times10^{-10}\ H s m^{-1} A^{-1} rad^{-1}$$

$u(\mu_0) = 2{,}13\times10^{-7}\ Hm^{-1} \rightarrow \mu_0 = (1{,}43 \pm 0{,}21)\times10^{-6}\ Hm^{-1}$

Determinação do erro

$$e_r(\%) = \left|\frac{1{,}43\times10^{-6} - 4\pi\times10^{-7}}{4\pi\times10^{-7}}\right| \times 100 = 13{,}8\%$$

Conjunto de dados 2

Fixam-se os seguintes parâmetros:

$l = (0,7500 \pm 0,0005)$ m

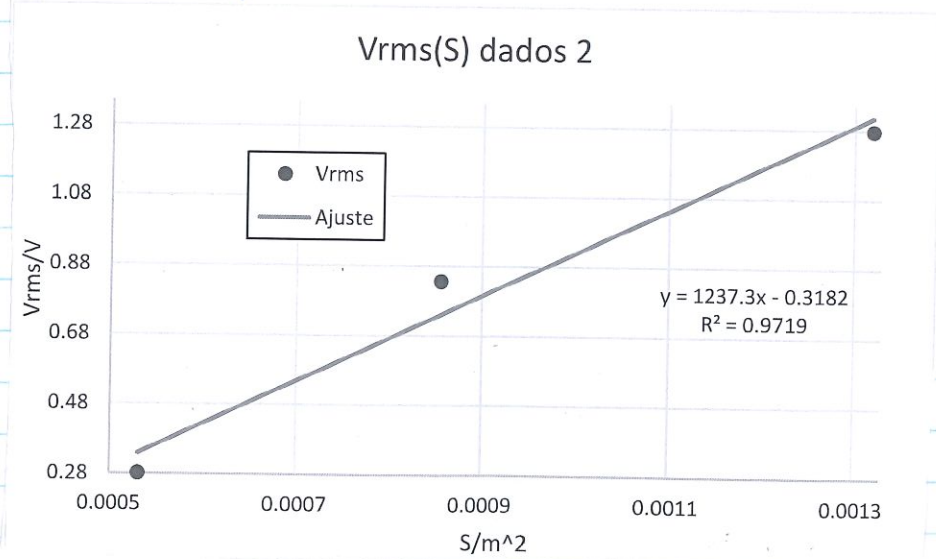
$i_{rms} = (0,572 \pm 0,001)$ A $\rightarrow$ $i_0 = (0,809 \pm 0,001)$ A

$f = (1628 \pm 1)$ Hz $\rightarrow$ $\omega = (10229,03 \pm 6,28)$ rad s^{-1}

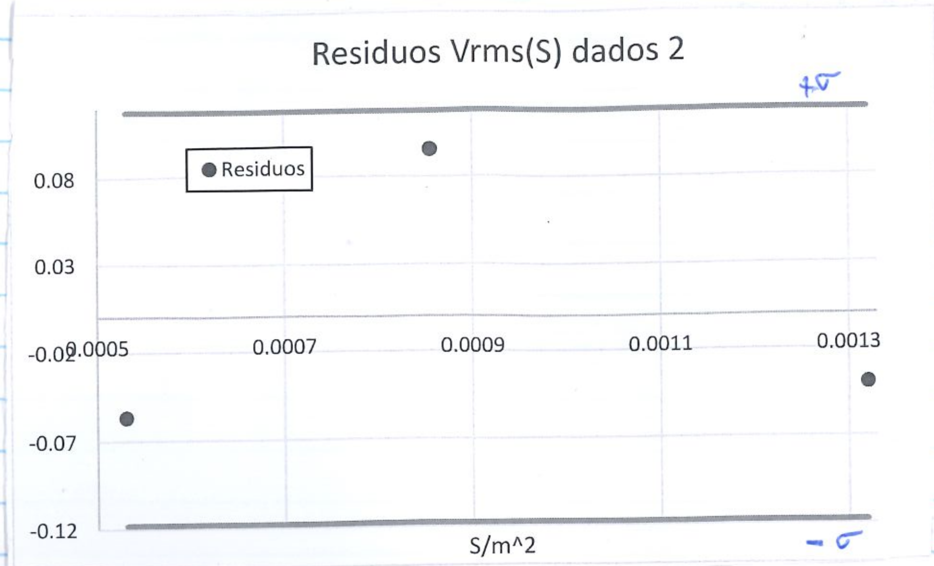
$N = 300$

$\theta = 0 \rightarrow \cos\theta = 1$

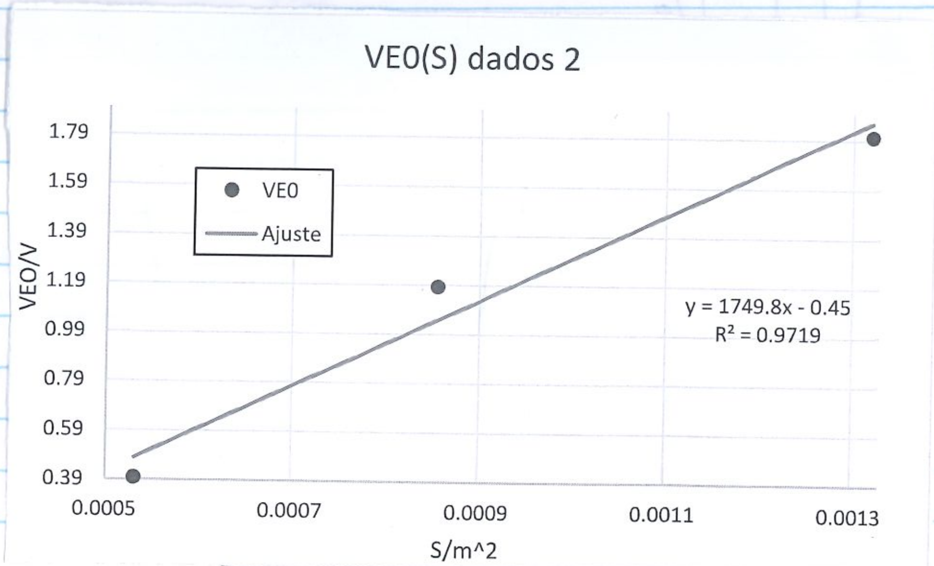
Experimentalmente, obtivemos:



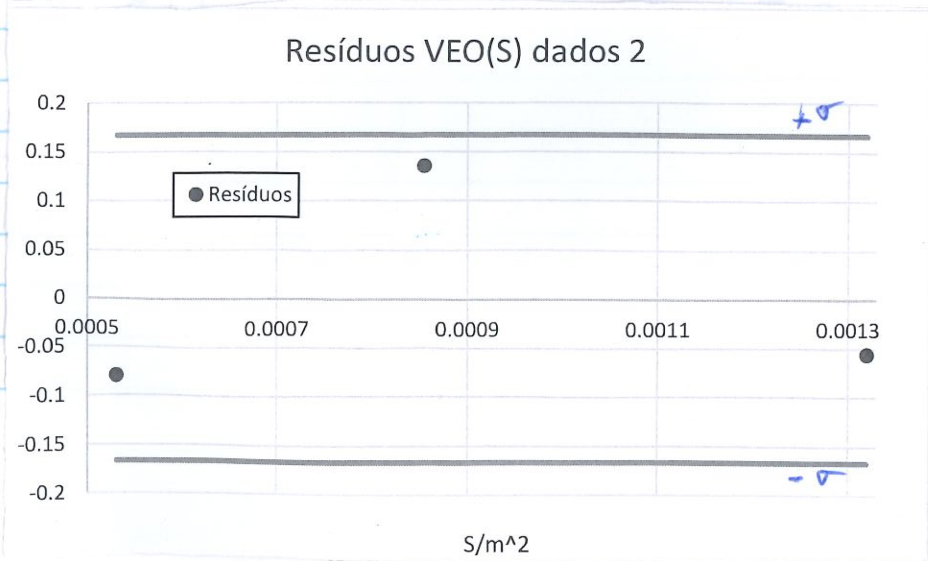
m	1237.303	-0.31818	b
σ_m	210.2531	0.20154	σb
r^2	0.971935	0.117969	σ_y



Temos assim, o seguinte gráfico $V_{EO}(S)$:



m	1749.8105	-0.44997	**b**
σ_m	297.34279	0.28502	**σb**
r^2	0.9719347	0.166833	**σ_y**



Determinação de μ_0

$$\mu_0 = \frac{mL}{nNwi_0} \Leftrightarrow \mu_0 = \frac{799{,}81 \cdot 0{,}75}{300 \cdot 364 \cdot 10229{,}03 \cdot 0{,}809}$$

$$\Leftrightarrow \mu_0 = 1{,}45 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$$

Determinação de $u(\mu_0)$

$$u(m) = 297{,}34\ Hm^{-2} rad\, s^{-1}$$

$$u(L) = 5 \times 10^{-1}\ m$$

$$u(i_0) = 0{,}001\ A$$

$$u(w) = 2\pi\ rad\, s^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = \frac{L}{Nnwi_0} = 8{,}30 \times 10^{-10}\ m\, s\, rad\, A^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = \frac{m}{NMwi_0} = 1{,}94 \times 10^{-6}\ Hm^{-2} A^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = \frac{-mL}{N n i_0^2 w} = -1{,}80 \times 10^{-6}\ Hm^{-1} A^{-2}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial w}\right) = \frac{-mL}{N n i_0 w^2} = -7{,}42 \times 10^{-10}\ Hs\, m^{-1} A^{-1} rad^{-1}$$

$$u(\mu_0) = 2{,}468 \times 10^{-7}\ Hm^{-1}$$

Logo: $\mu_0 = (1{,}45 \pm 0{,}25) \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$

Determinação do erro

$$e_r(\%) = \left|\frac{V_m - V_T}{V_T}\right| \times 100 = 15{,}\cancel{4}\ \%$$

~~X~~ Variação de θ

~~Parâmetros fixos:~~

~~$L = (0{,}2500 \pm 0{,}0005)$ m~~

conjunto de dados 1

Parâmetros fixos

$f = (1063 \pm 1)$ Hz $\rightarrow \omega = (6679{,}03 \pm 6{,}28)$ rad s^{-1}

$i_{rms} = (0{,}820 \pm 0{,}001)$ A $\rightarrow i_0 = (1{,}160 \pm 0{,}001)$ A

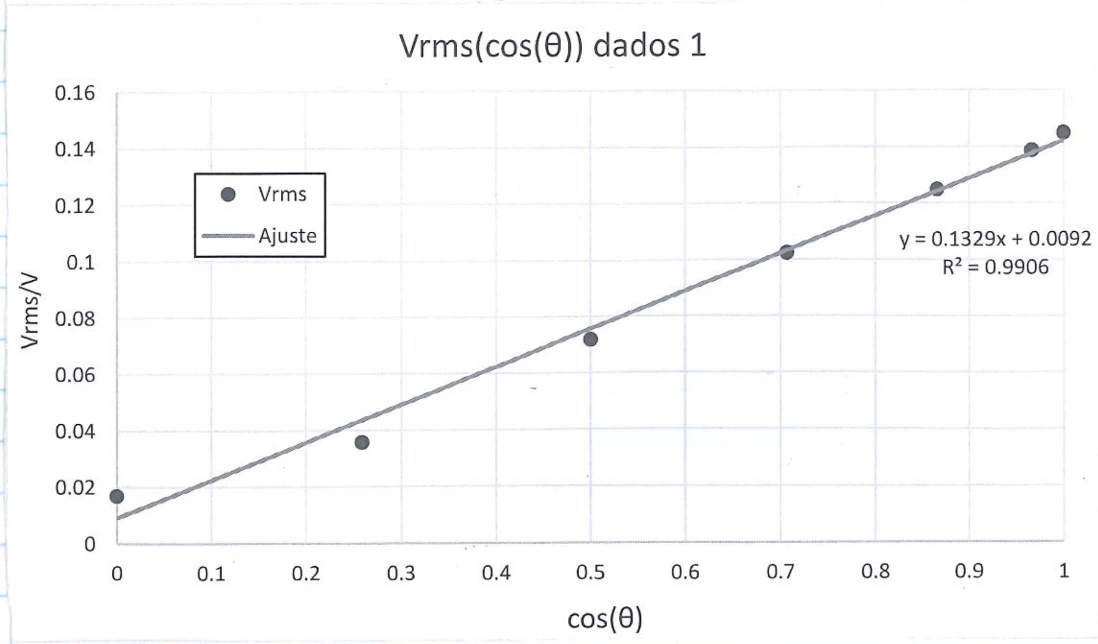
$L = (0{,}7500 \pm 0{,}0005)$ m

$S = (5{,}30 \pm 0{,}01) \times 10^{-4}$ m^2

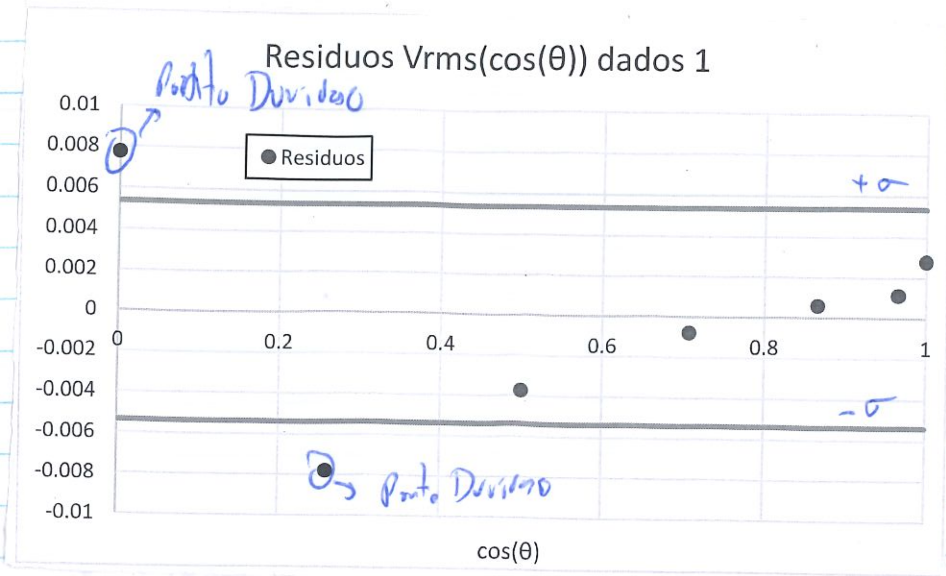
$N = 369$

$m = 100$

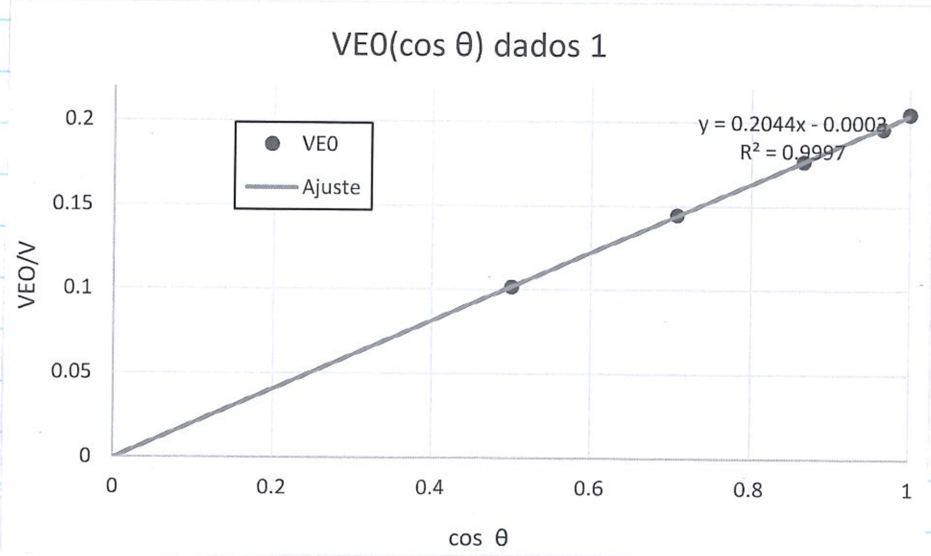
obteve-se, experimentalmente:



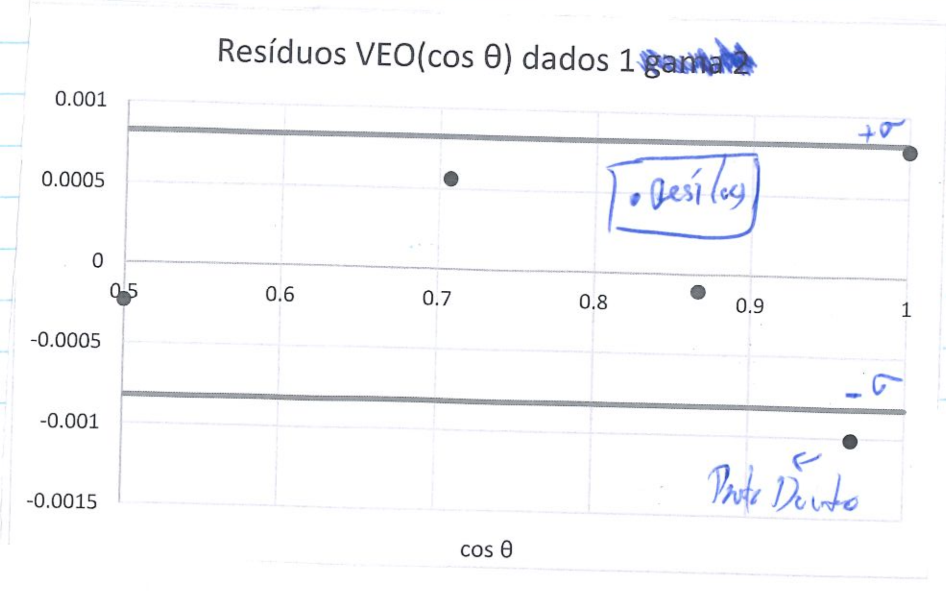
m	0.132932	0.009168	b
σ_m	0.005787	0.004092	σ_b
r2	0.990612	0.005371	σ_y



Nota-se que no gráfico de resíduos, podemos distinguir duas gamas, já apenas 1 vai. O gráfico que nos permite determinar γ é o gráfico $V_{E0}(\cos\theta)$, logo é [illegible].



m	0.204433	-0.0003	b
σ_m	0.001994	0.001652	σ_b
r^2	0.999715	0.000823	σ_y



Determinação de μ_0

Neste caso, o declive é dado:

$$m = \mu_0 \frac{N n S w i_0}{L}$$

$$\Rightarrow \mu_0 = \frac{mL}{N n S w i_0}$$

Numericamente, vem:

$$\mu_0 = \frac{0,2043 \cdot 0,75}{364 \cdot 100 \cdot 5,30\times10^{-4} \cdot 6679,03 \cdot 1,100}$$

$$\Leftrightarrow \mu_0 = 1,07\times10^{-6}\ Hm^{-1}$$

Determinação de $u(\mu_0)$

$u(m) = 1,994\times10^{-3}\ HA\,rad\,s^{-1}$

$u(L) = 0,0005\ m$

$u(S) = 0,01\times10^{-4}\ m^2 = 1\times10^{-6}\ m^2$

$u(i_0) = 0,001\ A$

$u(w) = 2\pi\ rad\,s^{-1}$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = \frac{L}{N n S w i_0} = 5,02\times10^{-6}\ s\,m^{-1}\,rad^{-1}\,A^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = \frac{m}{N n S w i_0} = 1,37\times10^{-6}\ Hm^{-2}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = \frac{-mL}{N n S^2 w i_0} = -1,99\times10^{-3}\ Hm^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = \frac{-mL}{N n S w i_0^2} = -8,84\times10^{-2}\ HA^{-2}m^{-1}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial w}\right) = \frac{-mL}{N n S w^2 i_0} = -1,54\times10^{-10}\ Hs\,m^{-1}\,rad^{-1}$$

Assim, temos que: $u(\mu_0) = 1,03\times10^{-8}\ Hm^{-1}$

Assim:

$$\mu_0 = (1,070 \pm 0,007)\times10^{-6}\ Hm^{-1}$$

Cálculo do erro

$$er(\mu_0) = \frac{\left|1{,}03\times10^{-6} - 4\pi\times10^{-7}\right|}{4\pi\times10^{-7}} \times 100 = 18{,}\cancel{0}\%$$

Conjunto de dados 2

Parâmetros fixos

$f = (1628 \pm 1)\ Hz \rightarrow \omega = (10229{,}03 \pm 6{,}28)\ rad\,s^{-1}$

$i_{rms} = (0{,}572 \pm 0{,}001)\ A \rightarrow i_0 = (0{,}809 \pm 0{,}001)\ A$

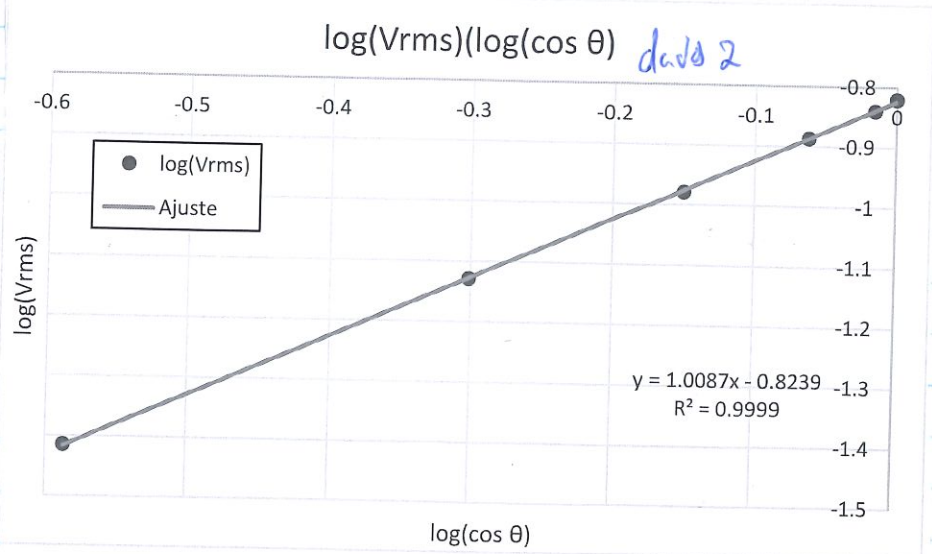
$L = (0{,}7500 \pm 0{,}0005)\ m$

$S = (5{,}30 \pm 0{,}01)\times10^{-4}\ m$

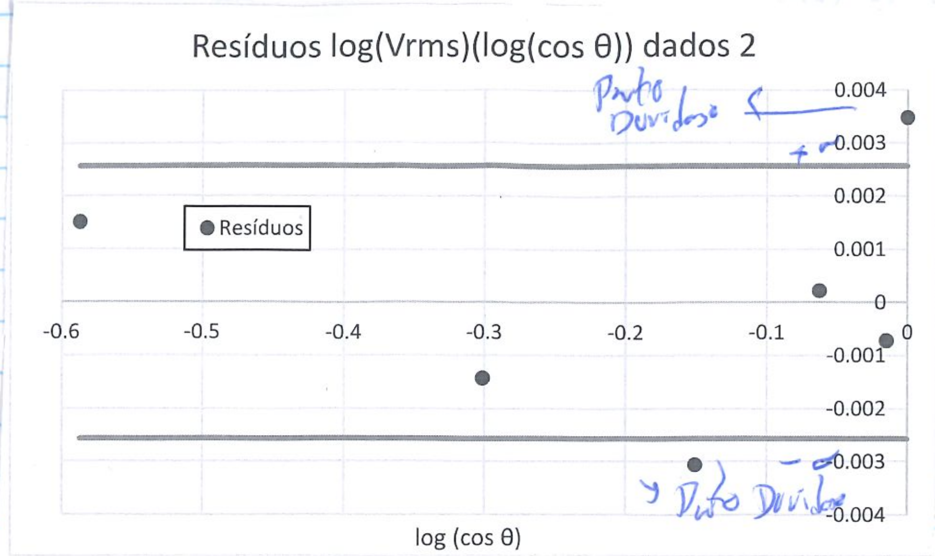
$N = 369$

$n = 100$

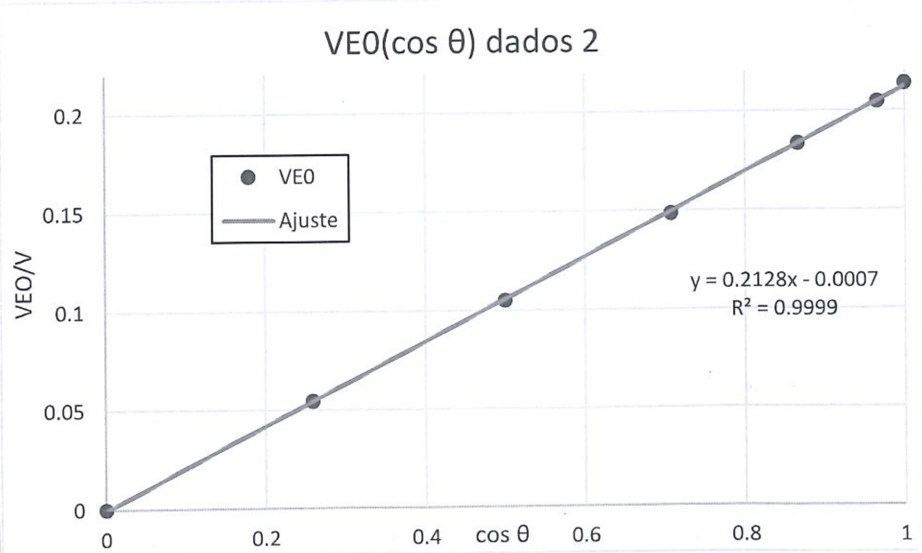
Assim, traçamos o seguinte gráfico:



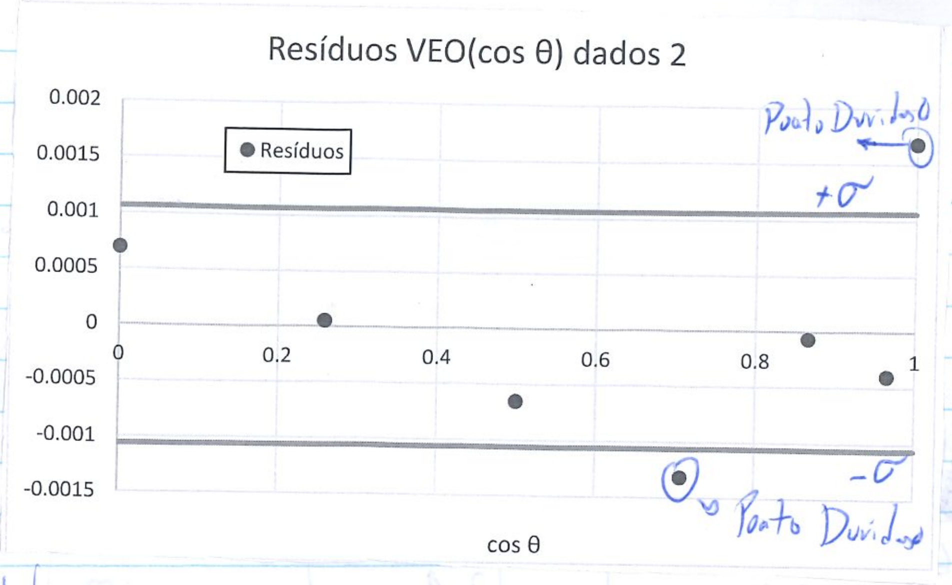
m	1.008726	-0.82393	b
σ_m	0.005087	0.001411	σ_b
r^2	0.999898	0.002565	σ_y



Analisando o gráfico de resíduos, verificamos que temos dois pontos possíveis. Contudo, dada a pouca quantidade de pontos que dessa seleção resultaria, utilizaremos todos os pontos.
Portanto, o gráfico V_{E0} $(\cos\theta)$ é:



m	0.212839	-0.00069	b
σ_m	0.001143	0.000809	σ_b
r^2	0.999856	0.001061	σ_y



Cálculo de μ_0

$$\mu_0 = \frac{m L}{N n S \omega i_0} \quad \mu_0 = 9{,}997 \times 10^{-2}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$$

Cálculo do $u(\mu_0)$

$u(m) = 1{,}993 \times 10^{-3}\ \mathrm{H\,A\,rad\,s^{-1}}$

$u(L) = 0{,}0005\ \mathrm{m}$

$u(S) = 1 \times 10^{-6}\ \mathrm{m^2}$

$u(i_0) = 0{,}001\ \mathrm{A}$

$u(\omega) = 2\ \mathrm{rad\,s^{-1}}$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial m}\right) = \frac{L}{N n S \omega i_0} = 2{,}80 \times 10^{-6}\ \mathrm{s\,m^{-1}\,rad^{-1}\,A^{-1}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial L}\right) = \frac{m}{N n S \omega i_0} = 1{,}33 \times 10^{-6}\ \mathrm{H\,m^{-2}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial S}\right) = \frac{-m L}{N n S^2 \omega i_0} = -1{,}88 \times 10^{-3}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial i_0}\right) = \frac{-m L}{N n S \omega i_0^2} = -1{,}29 \times 10^{-6}\ \mathrm{H\,A^{-2}\,m^{-1}}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_0}{\partial \omega}\right) = \frac{-m L}{N n S \omega^2 i_0} = -9{,}77 \times 10^{-11}\ \mathrm{H\,s\,m^{-1}\,rad^{-1}}$$

Assim, temos que:

$$u(\mu_0) = 7{,}146 \times 10^{-9}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$$

Logo:

$$\mu_0 = (9{,}997 \pm 0{,}071) \times 10^{-7}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$$

Cálculo do erro

$V_T \equiv$ Valor teórico

$e_r(\%) = \frac{|V_m - V_T|}{V_T} \times 100 = 20,4\%$

$V_M \equiv$ valor medido

São estes os resultados finais?

% u(μ) é que interessa

Resumindo, obtivemos os seguintes resultados para μ_0, na seguinte tabela:

Unidades SI: Hm^{-1}

μ_0	$u(\mu_0)$	$e_{relativo}(\%)$	
$1,13 \times 10^{-6}$	$0,02 \times 10^{-6}$	10,1	Variação l_w
$1,14 \times 10^{-6}$	$0,04 \times 10^{-6}$	9,3	
$1,12 \times 10^{-6}$	$1,07 \times 10^{-8}$	10,9	Variação de i_0
$1,24 \times 10^{-6}$	$4,36 \times 10^{-9}$	1,32	
$1,25 \times 10^{-6}$	$5,62 \times 10^{-9}$	0,53	
$1,22 \times 10^{-6}$	$0,004 \times 10^{-6}$	2,92	
$1,22 \times 10^{-6}$	$0,004 \times 10^{-6}$	2,92	
$1,19 \times 10^{-6}$	$0,01 \times 10^{-6}$	5,30	Variação de n
$1,12 \times 10^{-6}$	$0,01 \times 10^{-6}$	10,9	
$1,43 \times 10^{-6}$	$0,27 \times 10^{-6}$	13,8	Variação de S
$1,45 \times 10^{-6}$	$0,25 \times 10^{-6}$	15,4	
$1,03 \times 10^{-6}$	$0,007 \times 10^{-6}$	18,04	Variação de θ
$9,997 \times 10^{-7}$	$0,071 \times 10^{-7}$	20,4	

Tabela mal apresentada e com falta de informação

Era de esperar que os resultados fossem mais exatos para a variação da corrente elétrica, pois a elaboração teórica é menos ~~[illegible]~~ sofisticada.

Na variação dos últimos 3 parâmetros, a falta de exatidão no valor obtido de μ_0 em relação ao valor tabelado, reflete o cuidado que se deveria ter na execução da experiência.

Não obstante, apesar da repetibilidade (2 vezes) desses parâmetros, os erros foram aproximadamente semelhantes, o que pode indicar a presença de erros ~~[illegible]~~ sistemáticos.

Conclusão

Em todos os ~~[illegible]~~ gráficos que obtivemos $\log(V_{[illegible]})/\log(p)$, $p \equiv$ parâmetro, observámos uma dependência linear, dado o declive ser, aproximadamente, 1.

Quanto aos valores de μ_0, o que apresentou menor exatidão, 20,4%, na variação de θ. Isto deve-se ao facto de a escala que utilizámos na variação deste parâmetro não ser precisa ($90°/6_0 = 15°$, no entanto nem sempre se verificou o espaçamento).

O valor com maior exatidão de μ_0 foi para a variação de i_0 (como esperado), na ordem de 0,53%.

Contudo para os dados onde a ~~[illegible]~~ exatidão de μ_0 foi baixa, foram feitas 2 amostras de dados para inferir a presença de fatores externos condicionadores da experiência.

O ~~[illegible]~~ μ_0 de todos os ajustes que será considerado como resultado final é:

$$\mu_0 = (1,25 \pm 0,01) \times 10^{-6}\ \mathrm{H\,m^{-1}}$$

$$\%E_r = 0,5\cancel{3}\%$$, $E_r \equiv$ erro relativo percentual

$$Inc(\%) = 0,8\%$$, $Inc \equiv$ Incerteza relativa percentual