T2B
G1 João Alberto Ramos

Indução magnética

18.5

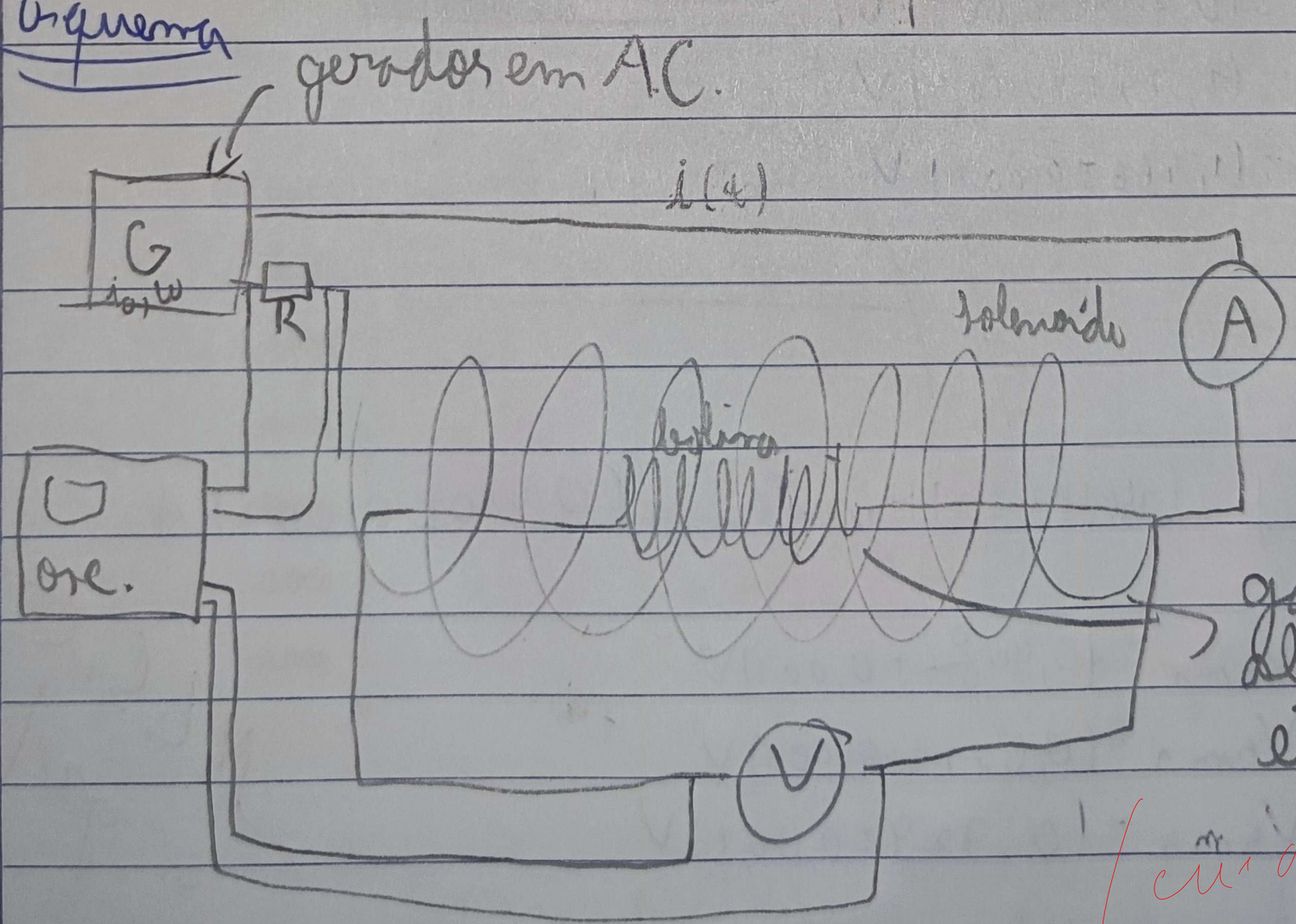
Objetivos

- Verificar a existência de indução magnética.
- Verificar a relação entre a amplitude da tensão induzida e os ~~para~~ parâmetros da experiência
- Calcular μ_0

Equações.

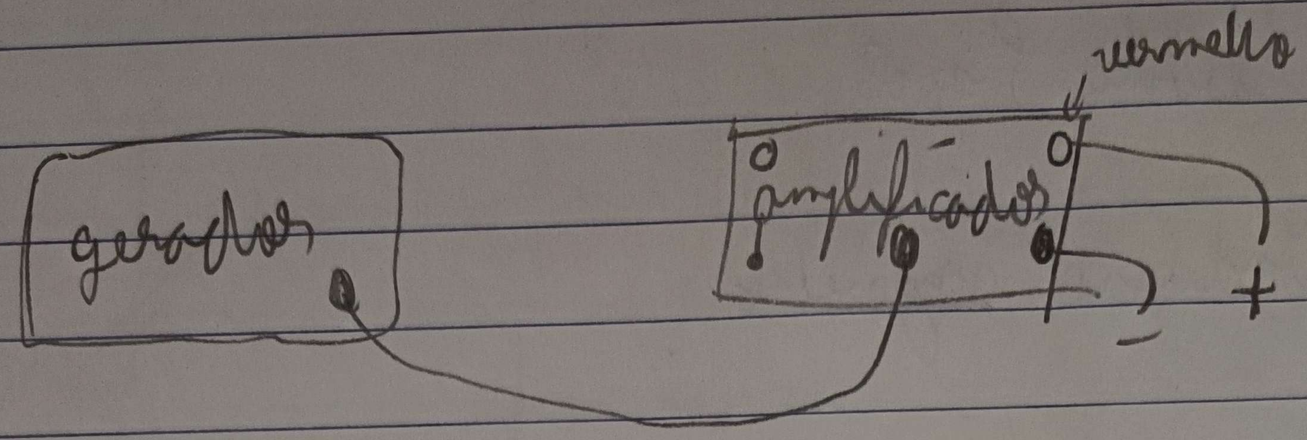
$$V_{E_0} = \mu_0 \frac{N_m S \cos \theta \omega i_0}{L}$$

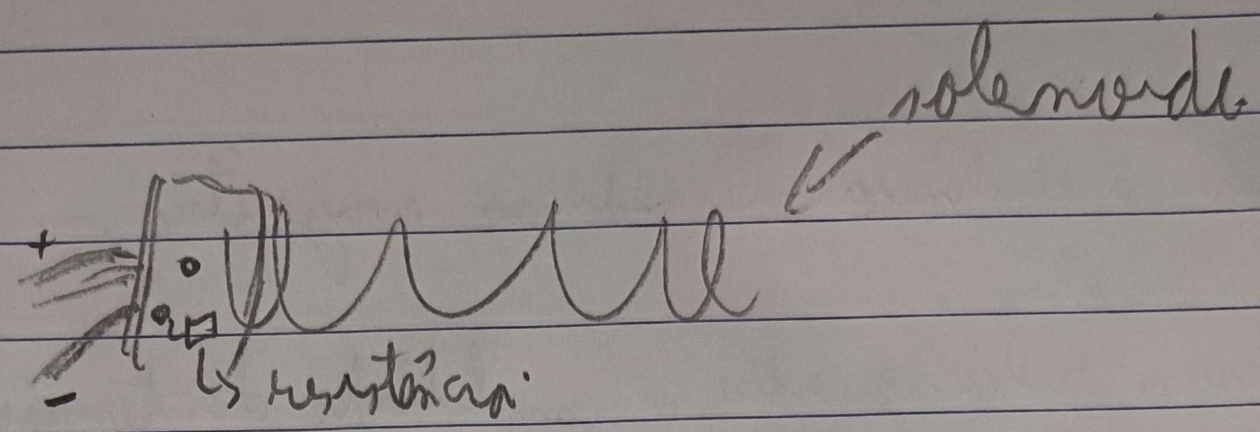
Esquema



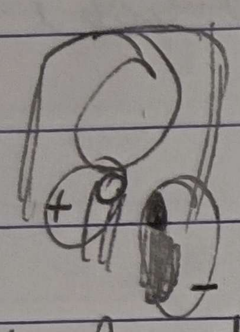
garantir que fica alinhado com os eixos

(cuidado! com suportes partidos)





de lado.



de frente

dados de V(m): $f = (1443 \pm 2)\,Hz$ $I_{rms} = (0,480 \pm 0,002)\,A$

bobinas: 1: $V_{rms} = (0,945 \pm 0,001)\,V$
4: $V_{rms} = (0,634 \pm 0,001)\,V$
5: $V_{rms} = (0,319 \pm 0,001)\,V$
7: $V_{rms} = (1,251 \pm 0,001)\,V$
8: $V_{rms} = (1,566 \pm 0,001)\,V$

dados de V(A): $f = (1443 \pm 2)\,Hz$ $I_{rms} = (0,480 \pm 0,002)\,A$

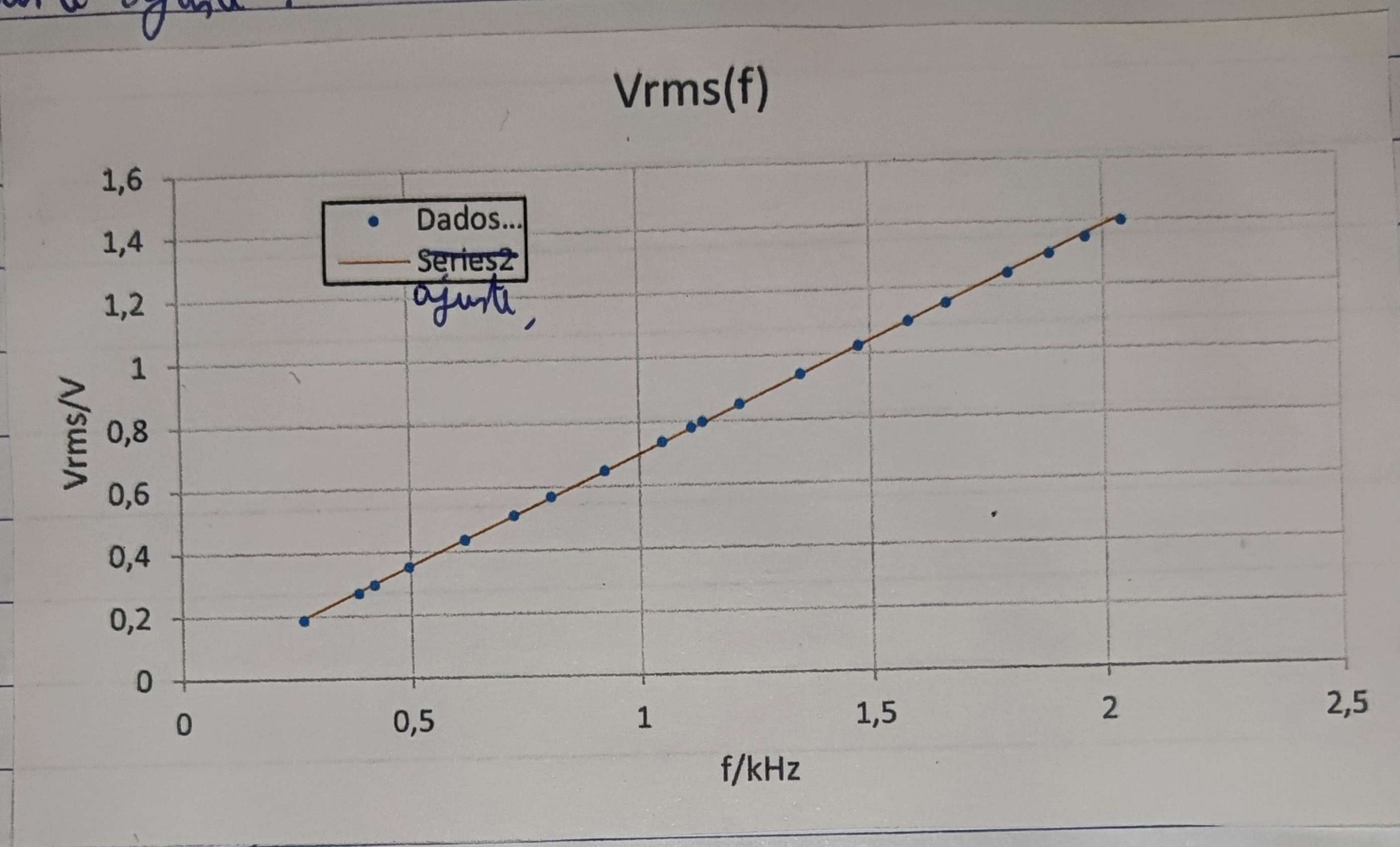
bobinas: 1: $V_{rms} = (0,946 \pm 0,001)\,V$
2: $V_{rms} = (0,621 \pm 0,001)\,V$
3: $V_{rms} = (0,729 \pm 0,001)\,V$

Não está no gráfico

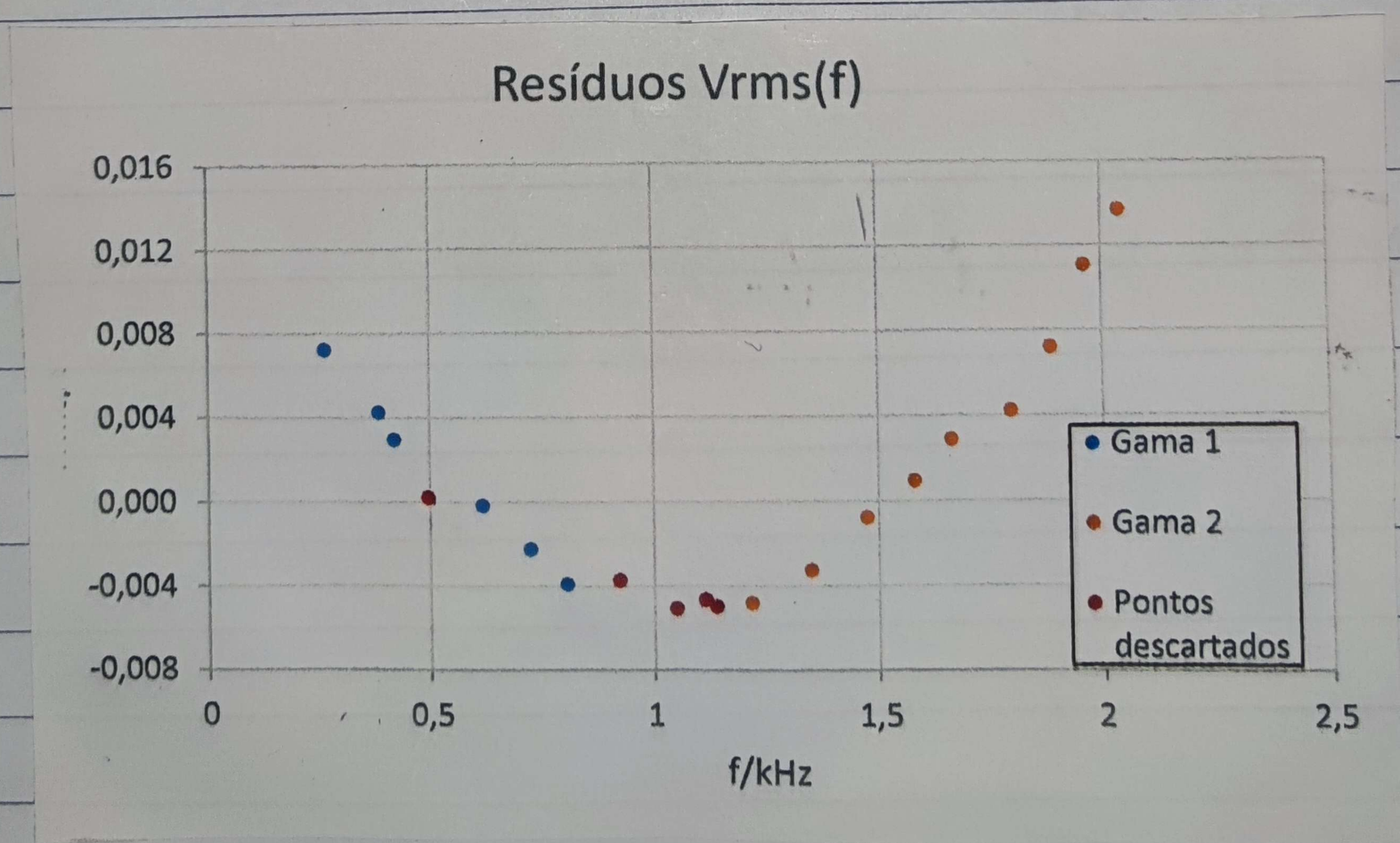
Análise:

Por questões de tempo, apenas foram retirados V_{rms} e I_{rms} através dos multímetros, não sendo possível ter obtido valores pelo osciloscópio.

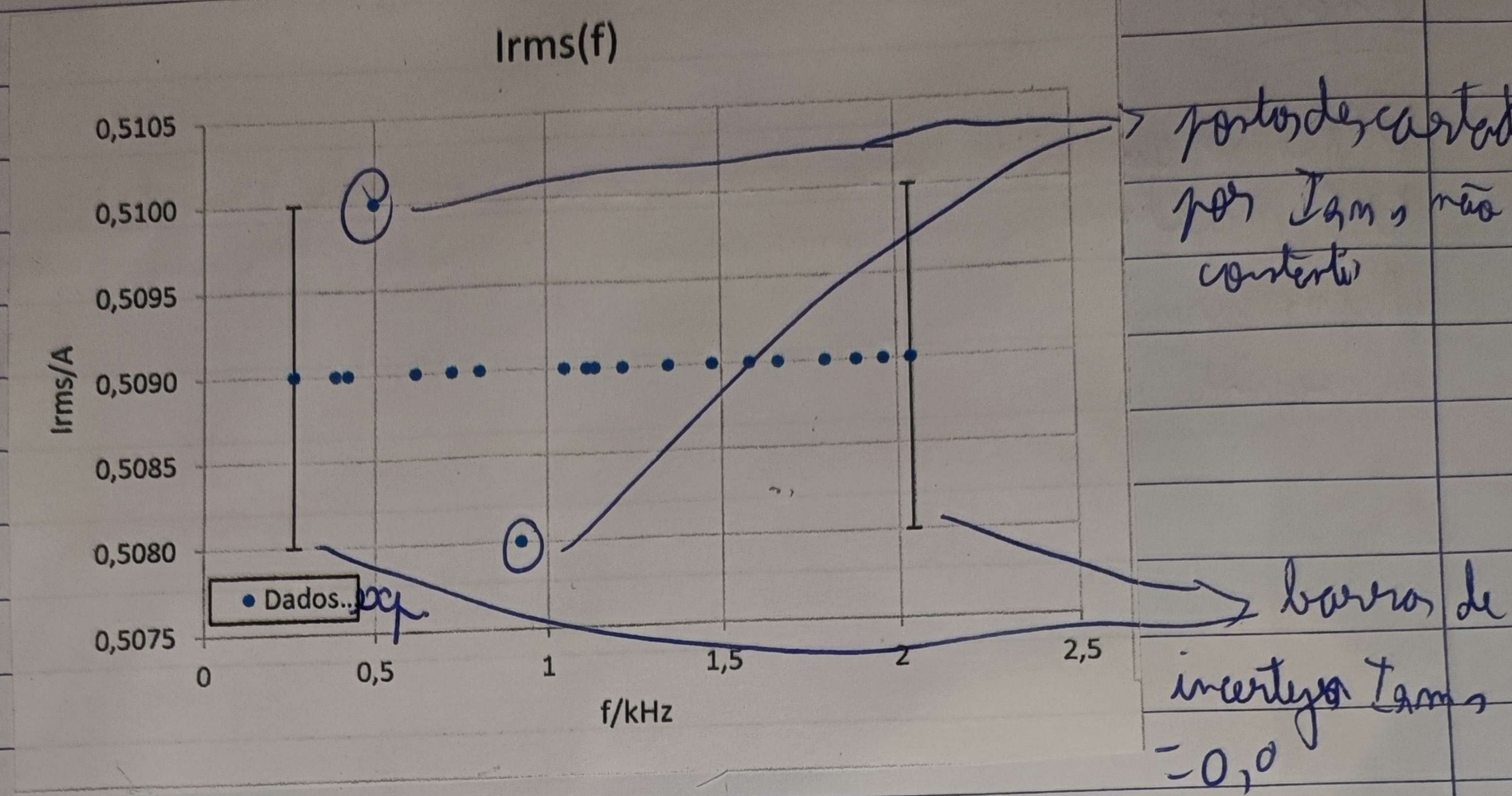
Após serem recolhidos os dados, obteve-se o seguinte gráfico com o seguinte ajuste.



m	0,686	0,013	y
σ_m	0,002	0,003	σ_y
r^2	0,9998	0,0045	σ_{yaj}



Como se pode ver, podem ser consideradas duas gamas.

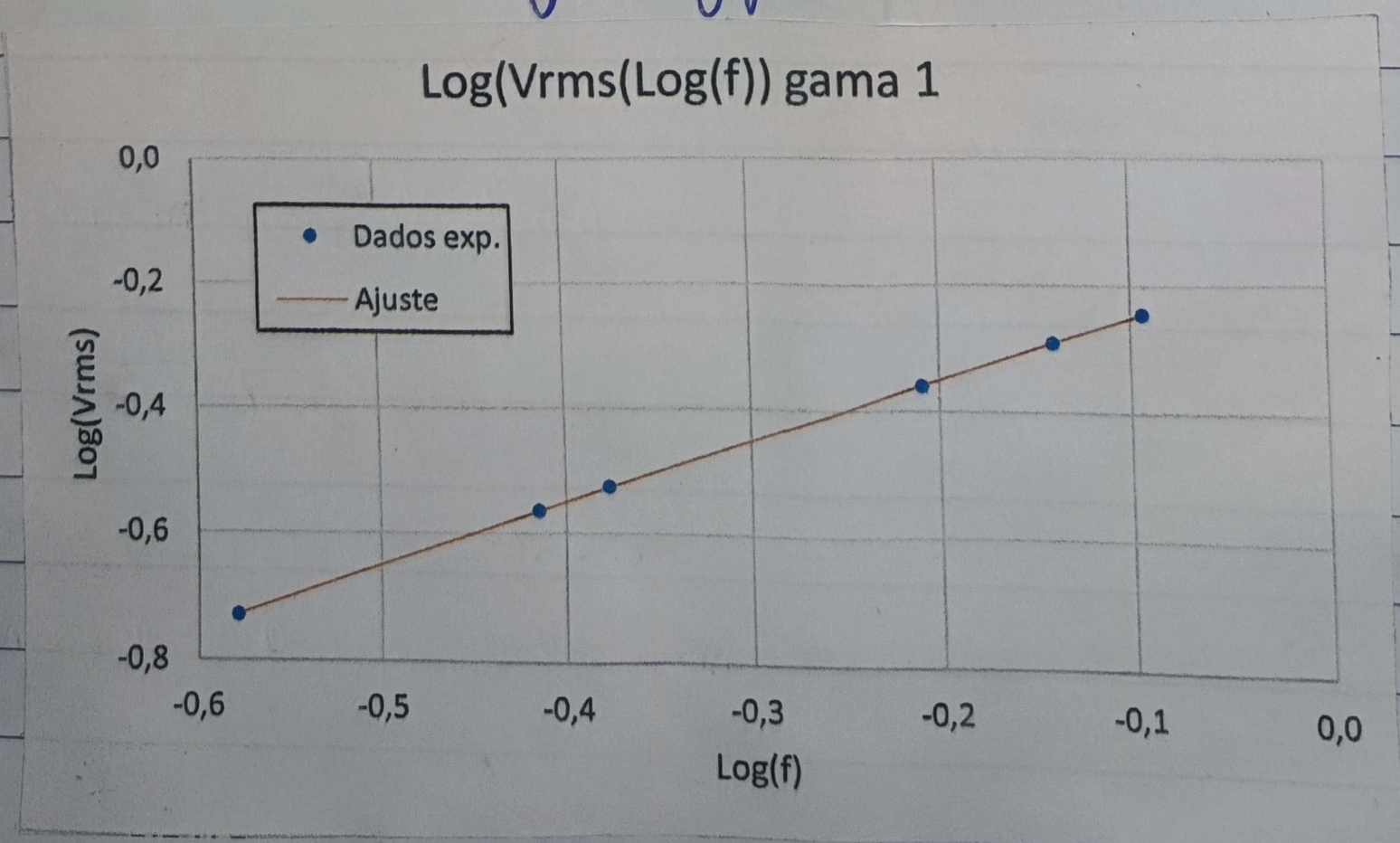


Os pontos descartados são q aqueles cuja corrente não foi possível manter constante e os pontos que não manifestavam tendência concordante com nenhuma das gamas.

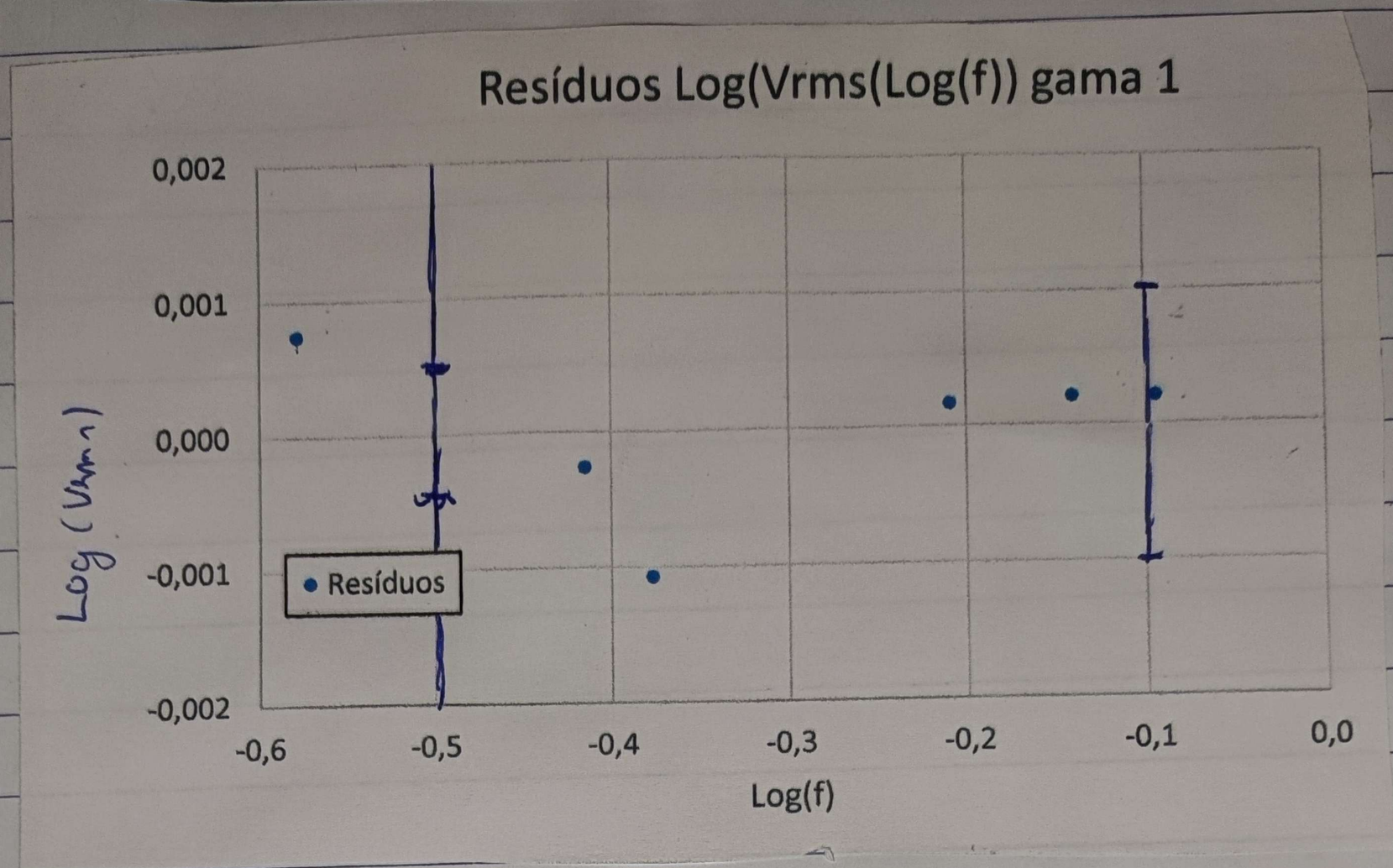
Gama 1

Verificação da dependência linear

Fazendo uma análise de log(V(log(f))) obteve-se



m	0,999	-0,1508	y
σ_m	0,002	0,0006	σ_y
r^2	0,999989	0,0007	σ_{yaj}



Barras de erro de log(Vrms) decrescentes, começam em 0,0005 e terminam em 0,001

Como se pode ver, o declive dá muito perto de 1, com

$m = (0,999 \pm 0,002)$ e $\gamma_m(\%) \simeq 0,2\%$ e um erro de $|0,999 - 1| \simeq 0,001$

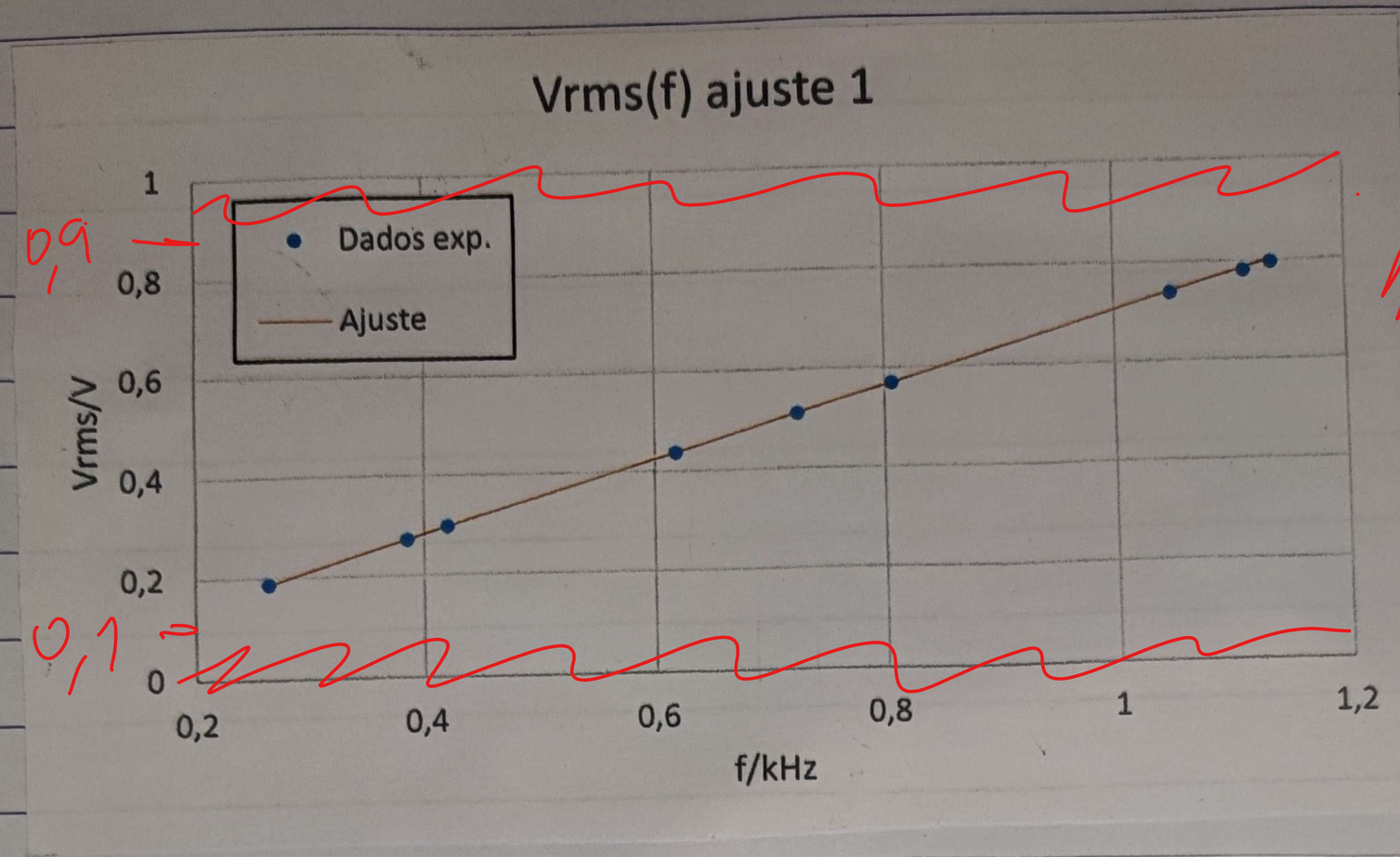
com $E_r(\%)$ de 0,1%

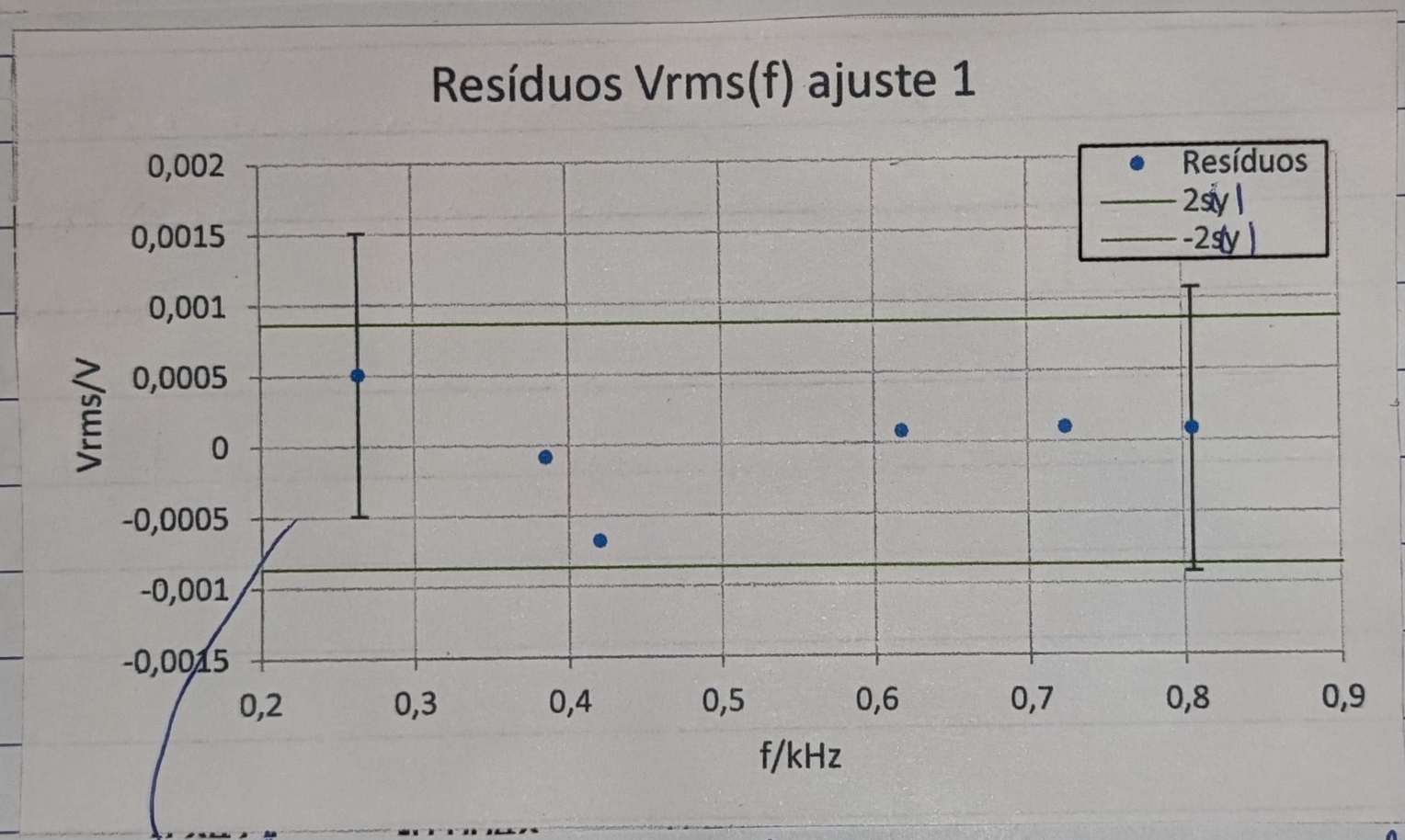
Está provada a dependência linear.

Determinação de μ_0

Fazendo a análise de V(f) para a gama 1 obteve-se:

m	0,7059	0,0006	y
σ_m	0,0009	0,0005	σ_y
r^2	0,9999933	0,000433	σ_{yaj}





barras de incerteza de $V_{rms} \simeq 0{,}001\,V$ ~~por~~ ~~verificação~~ de acordo com o ~~ano~~ voltímetro

Pela relação da equação $V_{rms} = \frac{2\pi N_m S \cos\theta I_{rms}}{L} f$

Temos que $m = \frac{2\pi}{L} N_m S \cos\theta I_{rms} \mu_0$

Com $\mu_0 = \frac{m L}{2\pi N_m S \cos\theta I_{rms}}$ $\qquad m = (0{,}7059 \pm 0{,}0009)\,V\,Hz^{-1}$

$L = (75{,}00 \pm 0{,}05)\,cm$ $\qquad N = \cancel{435}\ 364$, $m = 300$ e

$D = (4{,}140 \pm 0{,}005)\,cm$ $\qquad$ e $\theta = 0^\circ$ e $I_{rms} \simeq (0{,}409 \pm 0{,}001)\,A$

o que dá $\mu_0 = \cancel{9,42336 \times 10}\ 1,12674 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$

e $\left(\frac{u(\mu_0)}{\mu_0}\right)^2 = \left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(I_{rms})}{I_{rms}}\right)^2 + 4\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2$

$\Rightarrow \varepsilon_{rc}(\%) = \cancel{3,4}\ \cancel{0,74\%}\ 2,4\%$

e $u(\mu_0) = \cancel{4 \times 10^{-9}}\ 0,03 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$

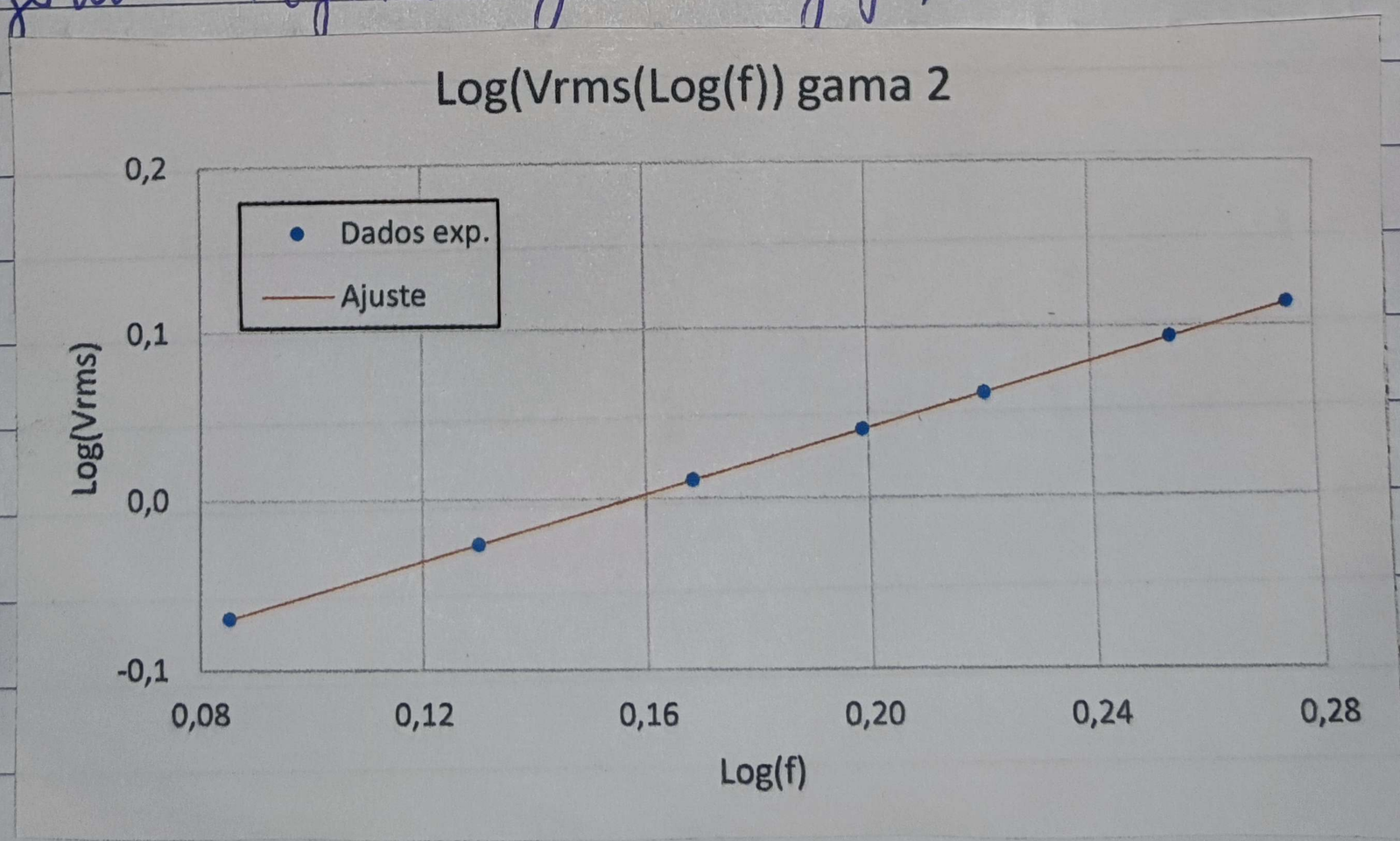
$\mu_0 = (1,13 \pm 0,03) \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$

Com um erro de $1,3 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$ e $E_r(\%) = \cancel{10,4\%}\ 10\%$ por defeito.

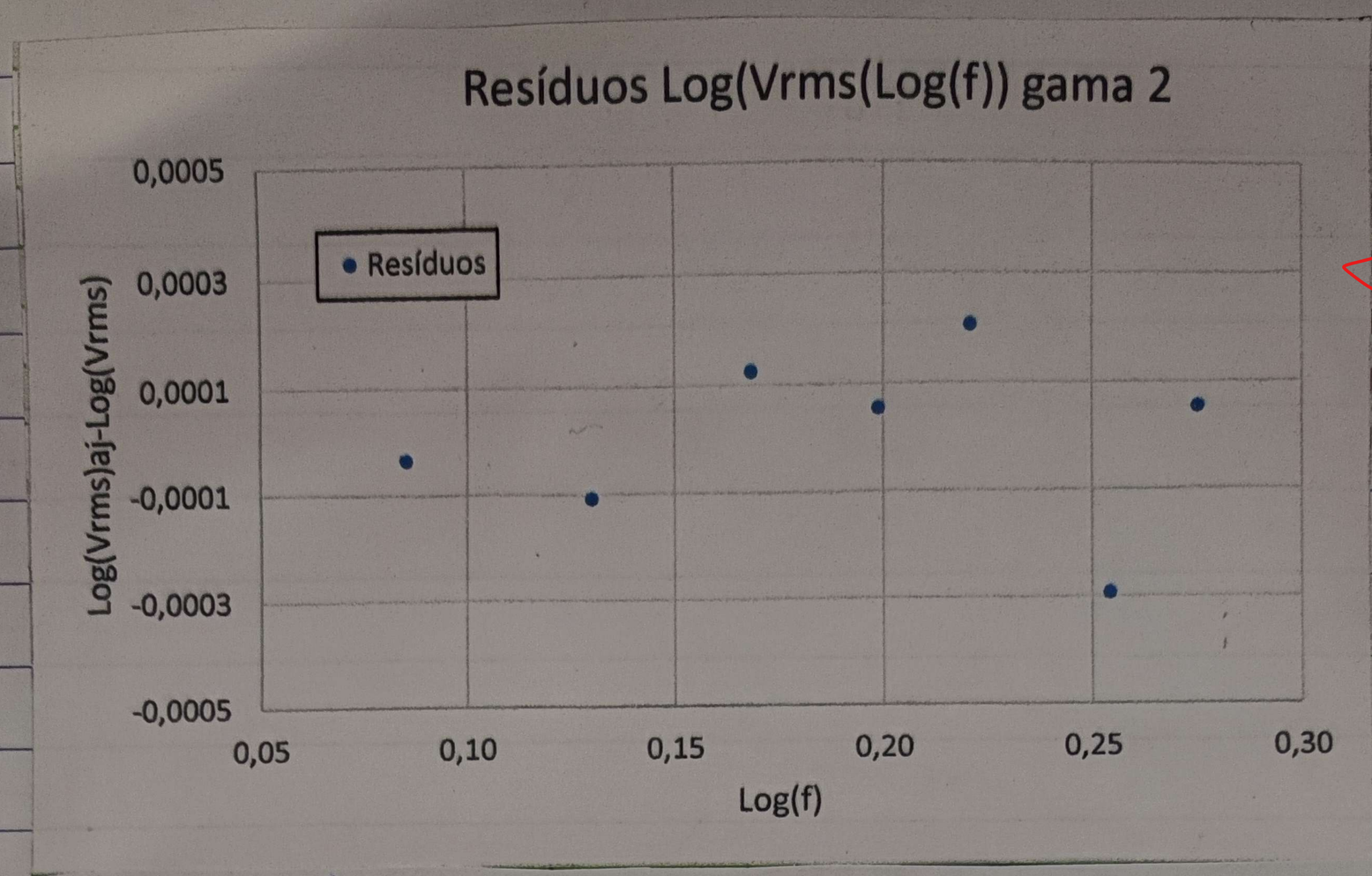
Gama 2

Verificação da dependência linear:

Fazendo um ajuste log(Vrms(log(f))) obteve-se.



m	0,963	-0,1916	y
σ(m)	0,001	0,0002	σ(y)
r^2	0,999994	0,0002	σ(y_aj)



mostrar aqui

Barras de erro de Vrms decrescentes, começam em 0,001V e terminam em 0,0008 V, são demasiado pequenas para colocar no gráfico e demasiado grandes para pôr nos resíduos

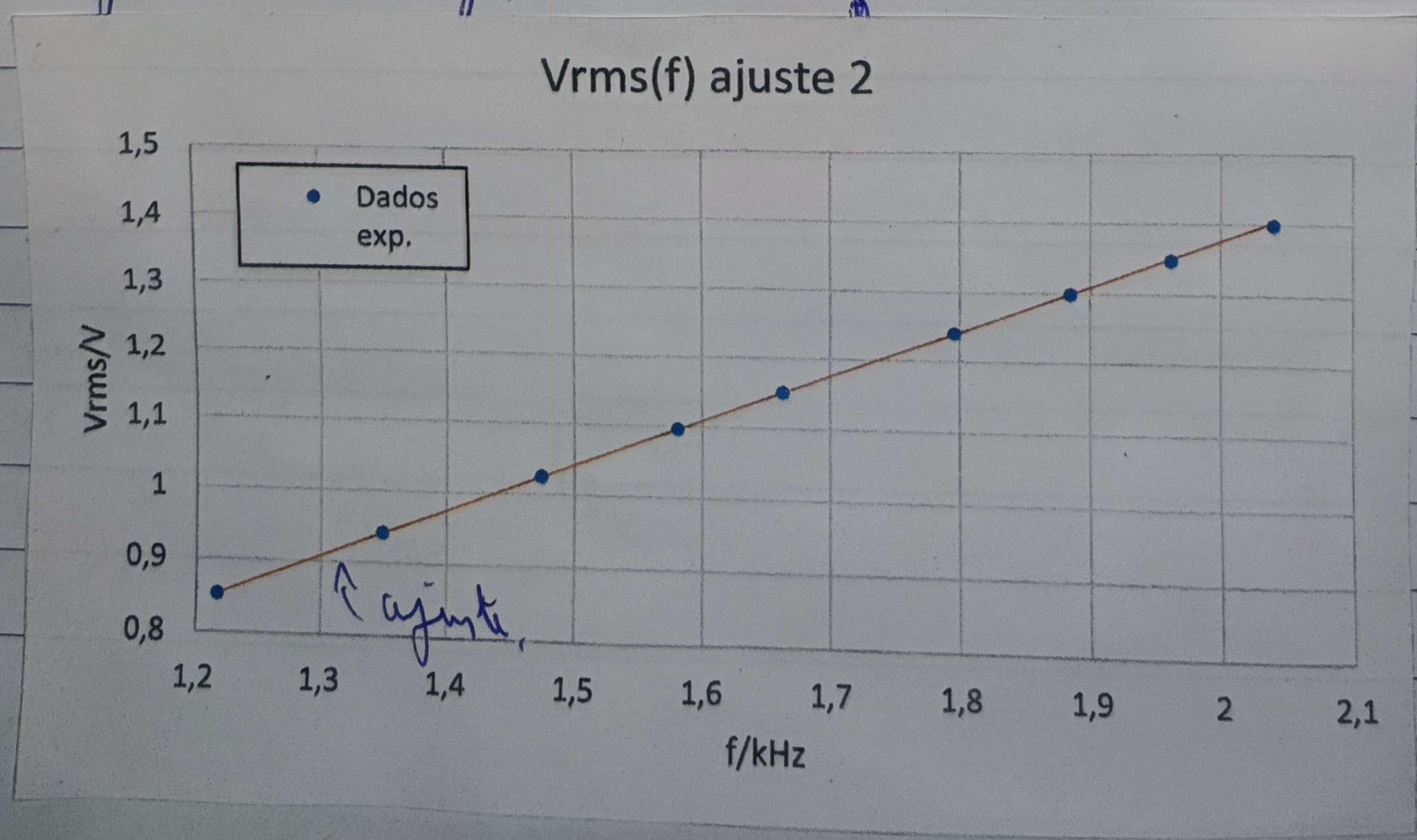
Assim, $m \simeq (0{,}963 \pm 0{,}001)$, o que é perto de 1.

a incerteza relativa dá $Inc(\%) \simeq 0{,}1\%$

e o erro dá $|0{,}963 - 1| = 0{,}037$ e $Er(\%) \simeq 3{,}7\%$ por defeito,

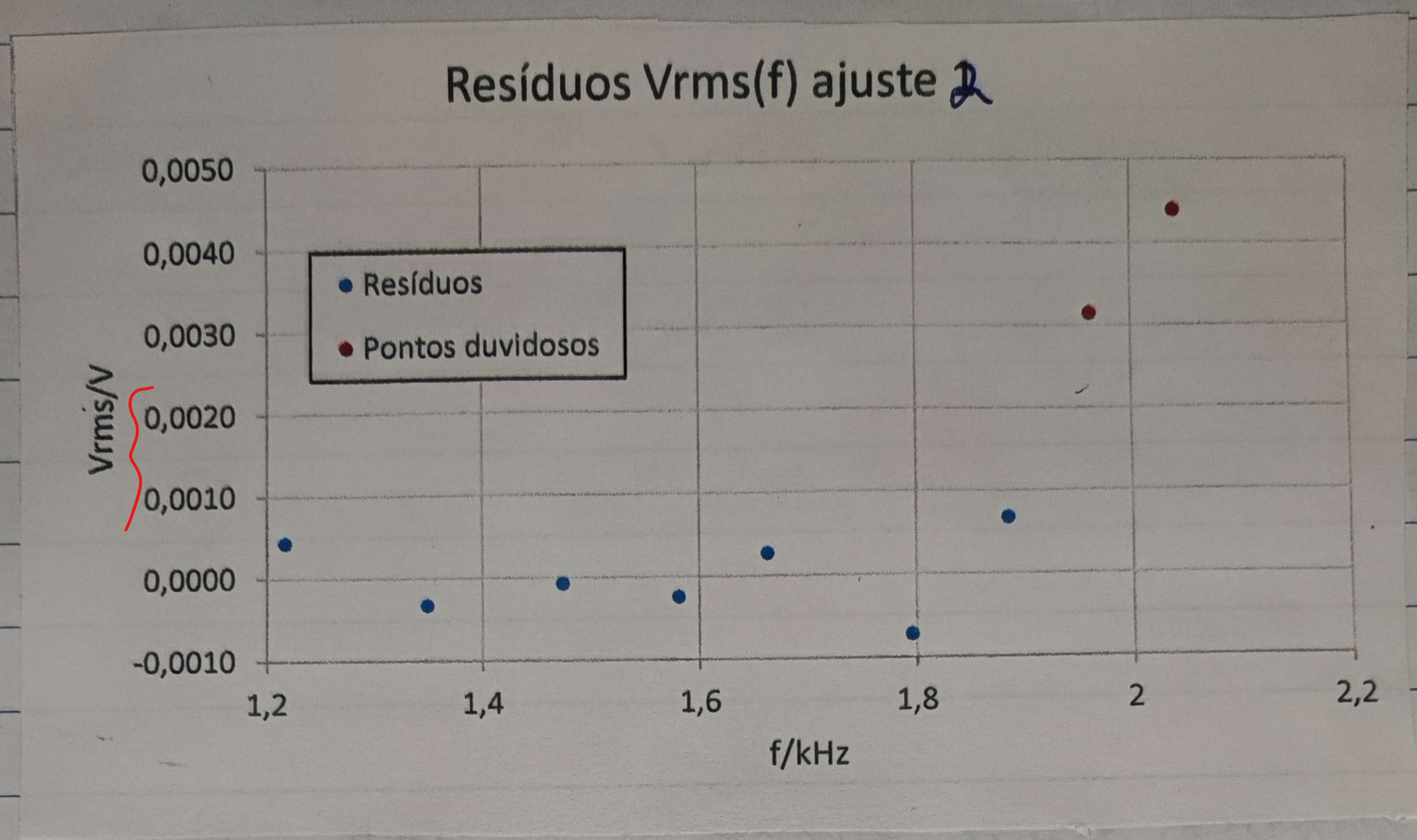
Determinação de μ_0

Fazendo o ajuste de Vrms(f) obtive-se:

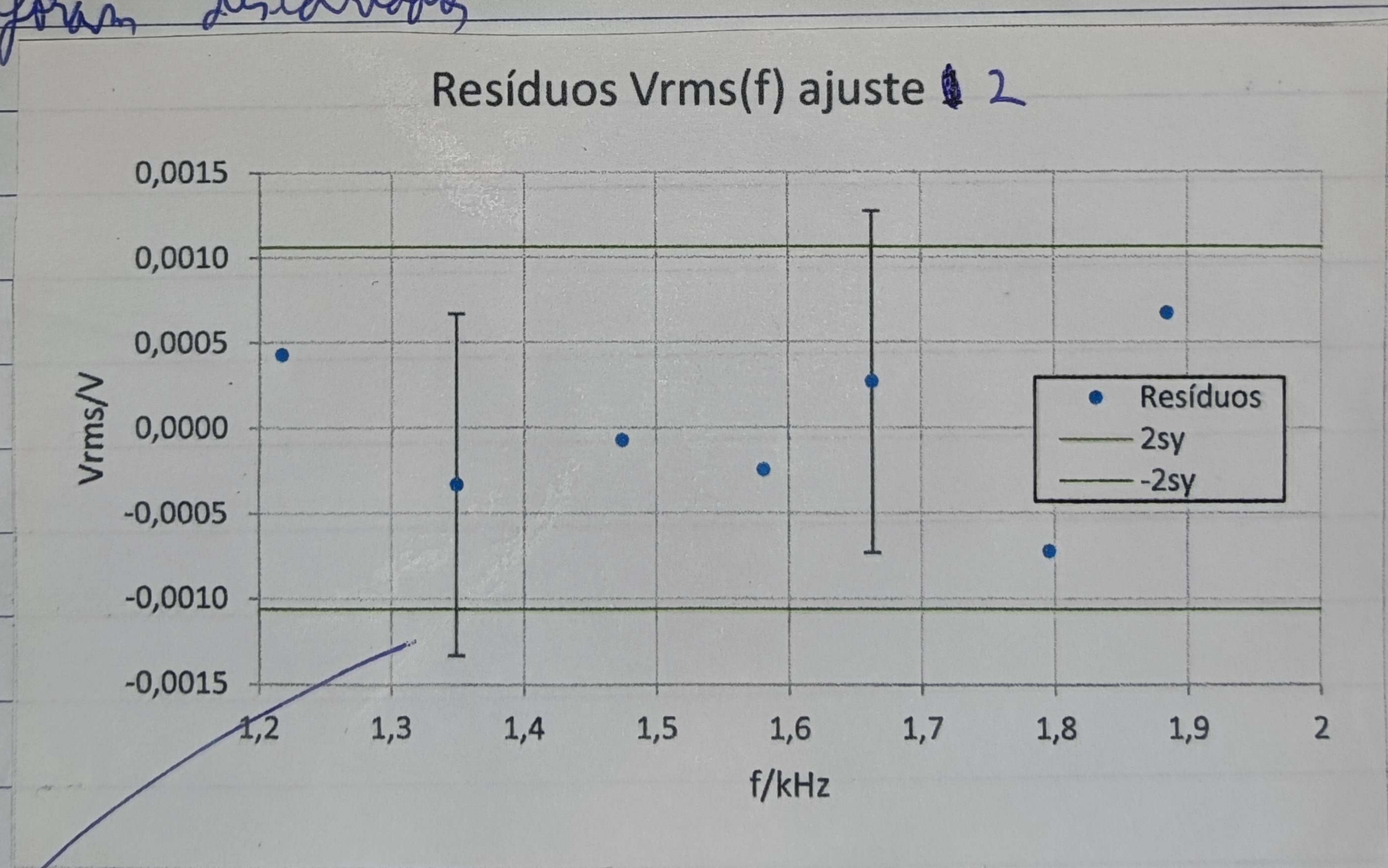


ajuste

m	0,6685	0,039	y
σ_m	0,0009	0,001	σ_y
r^2	0,999991	0,0005	σ_{yaj}



Os pontos duvidosos encontram-se claramente longe dos restantes, pelo que foram descartados



Barras de incerteza de V_{rms} = 0,001V de acordo com o voltímetro.

Temos então $m = (0,6689 \pm 0,0009)\,VkHz^{-1}$

e $\mu_0 = 1,0669 \times 10^{-6}\,Hm^{-1}$

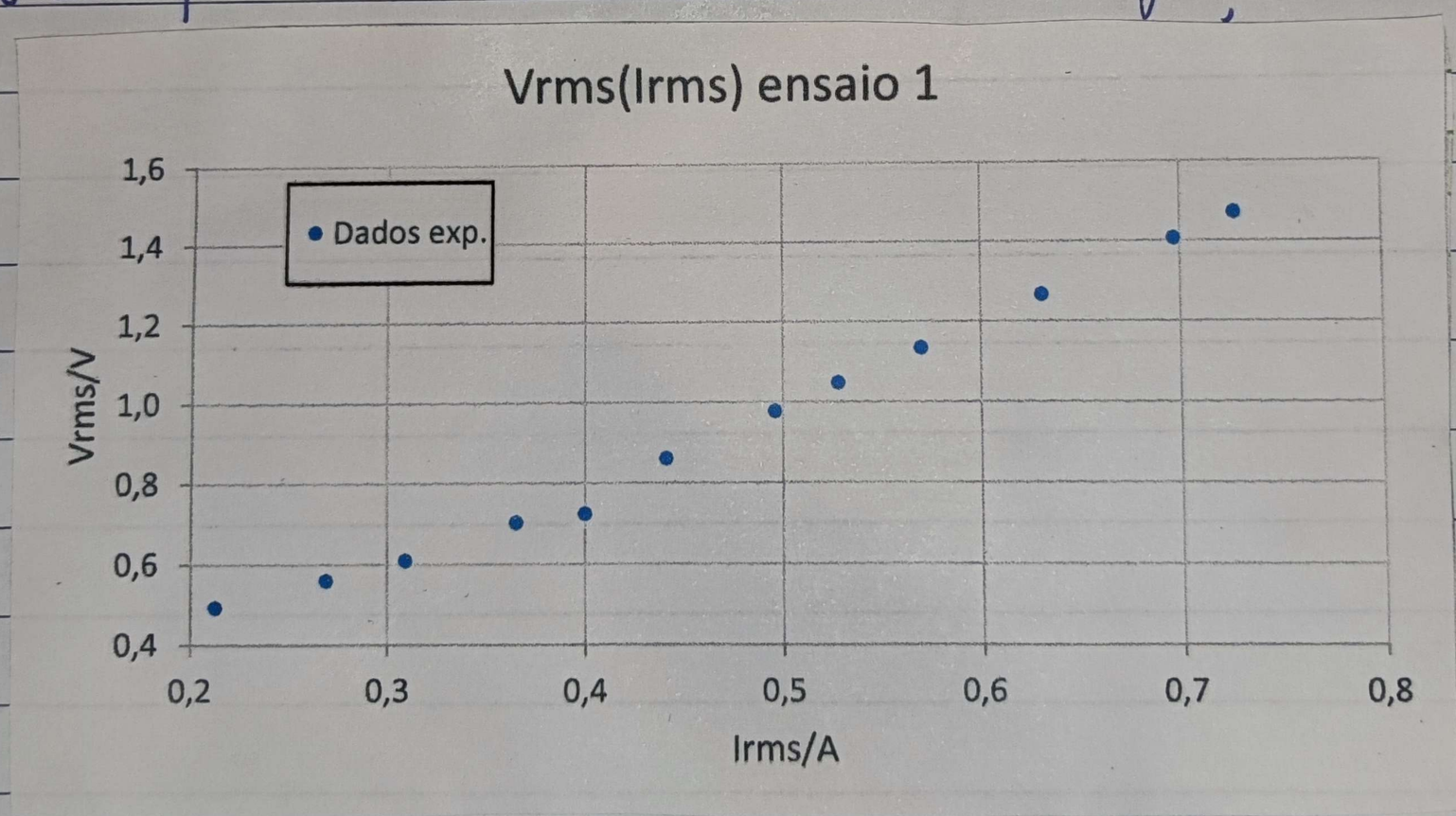
e $\frac{u(\mu_0)}{\mu_0} = 0,024 \Rightarrow u(\mu_0) = 0,02 \times 10^{-6}$

$\mu_0 = (1,07 \pm 0,02) \times 10^{-6}\,Hm^{-1}$ com $Inc(\%) = 2,4\%$

e $E_n = 1,87 \times 10^{-6}\,Hm^{-1}$ e $E_r(\%) = 15\%$

$V_{rms}(I_{rms})$

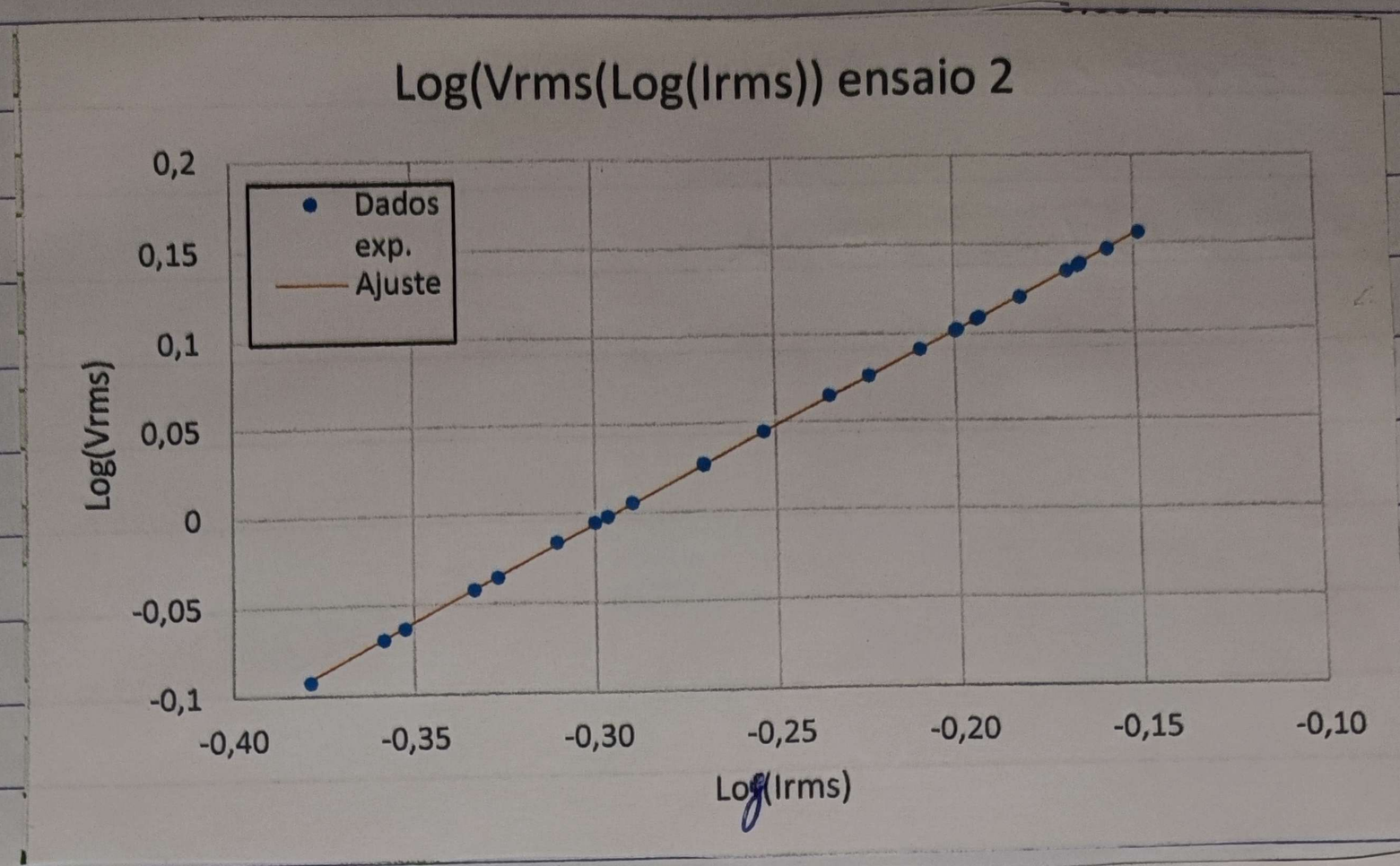
Fazendo um primeiro ensaio obteve-se o seguinte

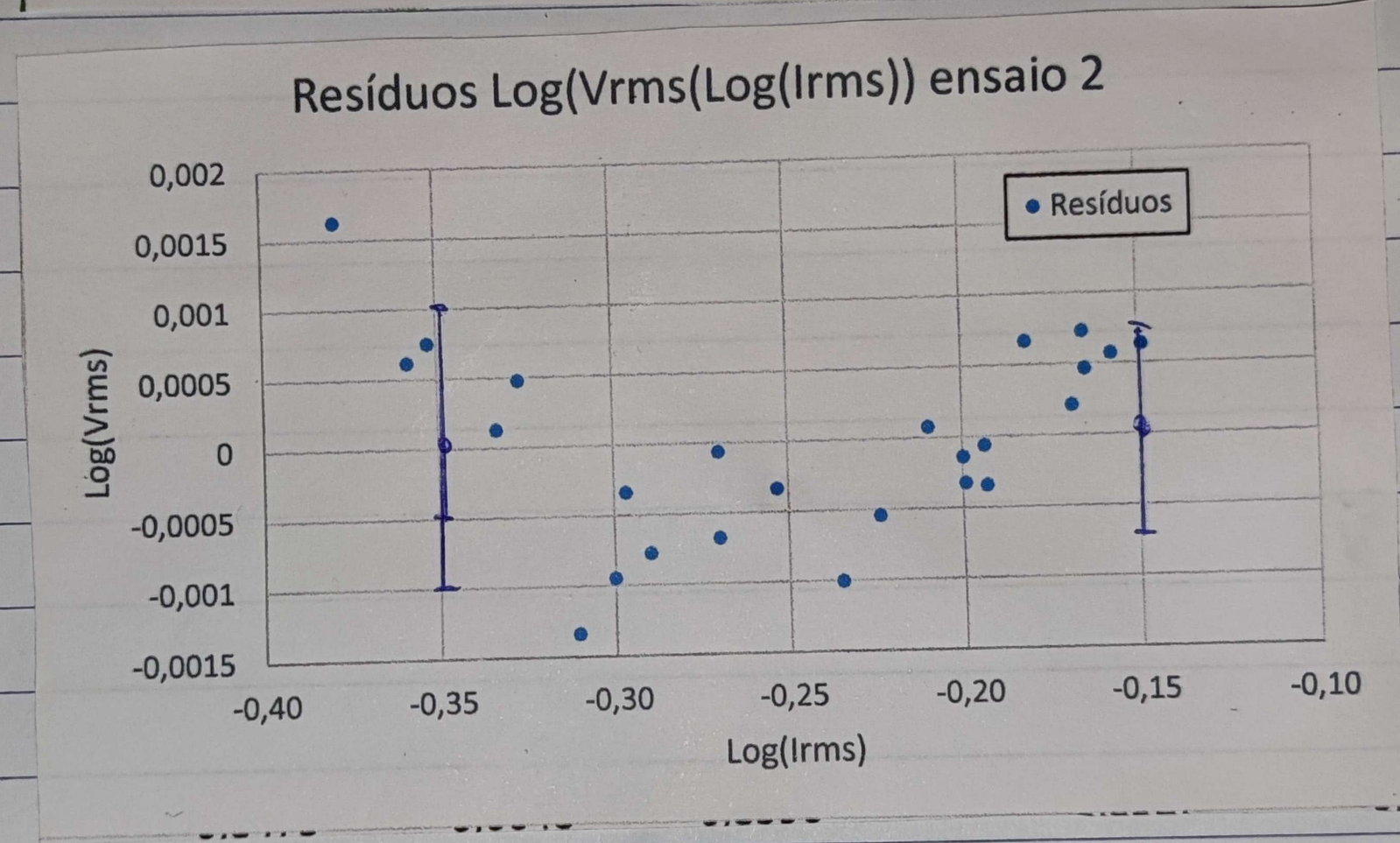


~~Nota~~: A partir daqui realizou-se outro ensaio restringindo a gama a $I_{rms} > 0,4\,A$, e obteve-se o seguinte para $\log(V_{rms}(\log(I_{rms})))$

m	1,077	0,3171	y
σ_m	0,002	0,0005	σ_y
r^2	0,99992	0,0007	σ_{yaj}

A partir ~~Durante~~ desta parte da experiência manteve-se $f = (1,443 \pm 0,001)\,kHz$ constante,





Barras de incerteza de V_{rms} decrescentes, começam em 0,001 V e terminam em 0,0007 V

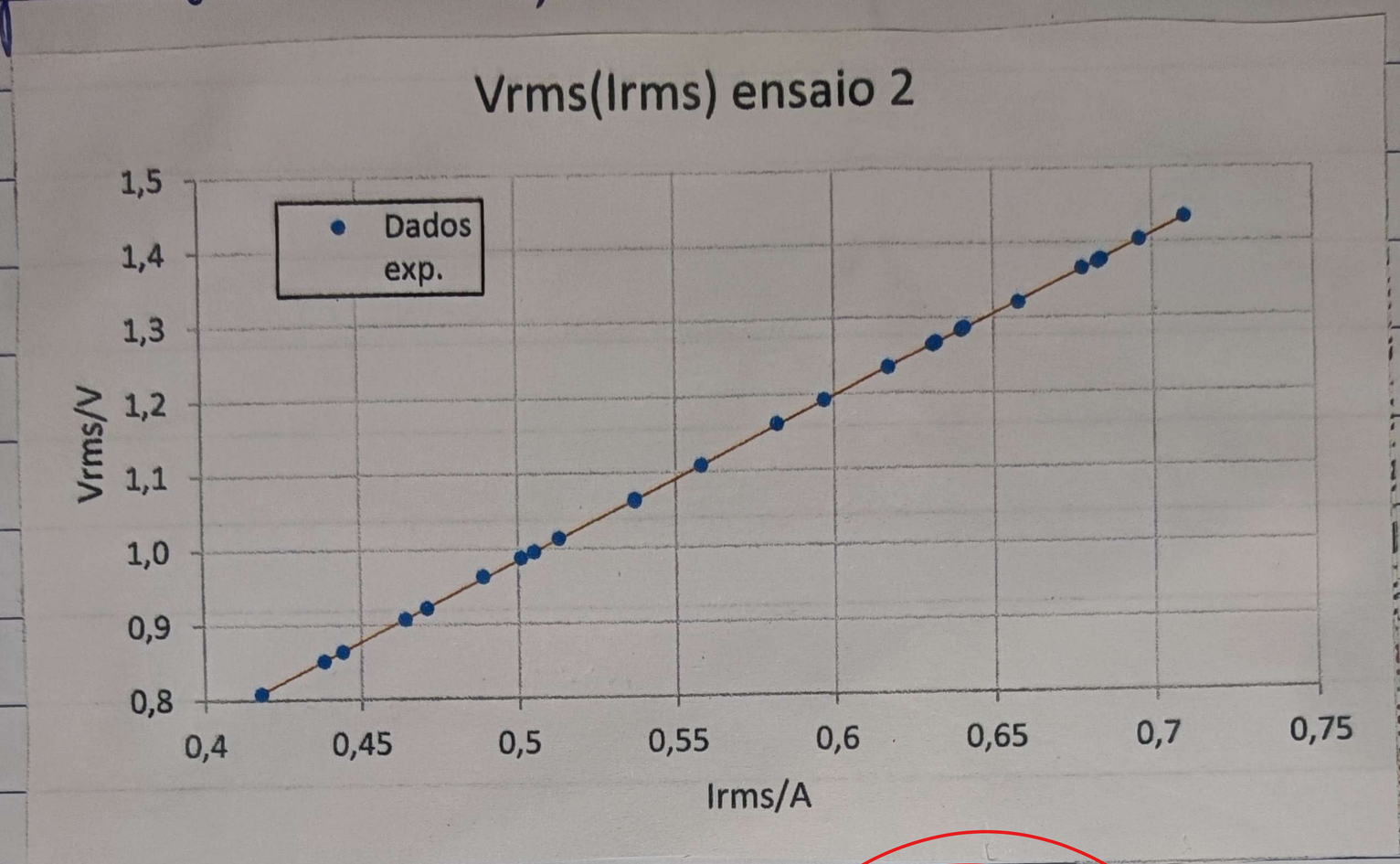
Apesar de os primeiros 5 pontos aparenterem apresentar uma tendência diferente, tal tendência não se verifica no gráfico $V_{rms}(I_{rms})$

Assim, temos $m = (1,077 \pm 0,002)$

Dado $\tau_{rc}(\%) = 0,2\%$ e $E_r = 0,077$ com $E_r(\%) \simeq 7,7\%$ por excesso

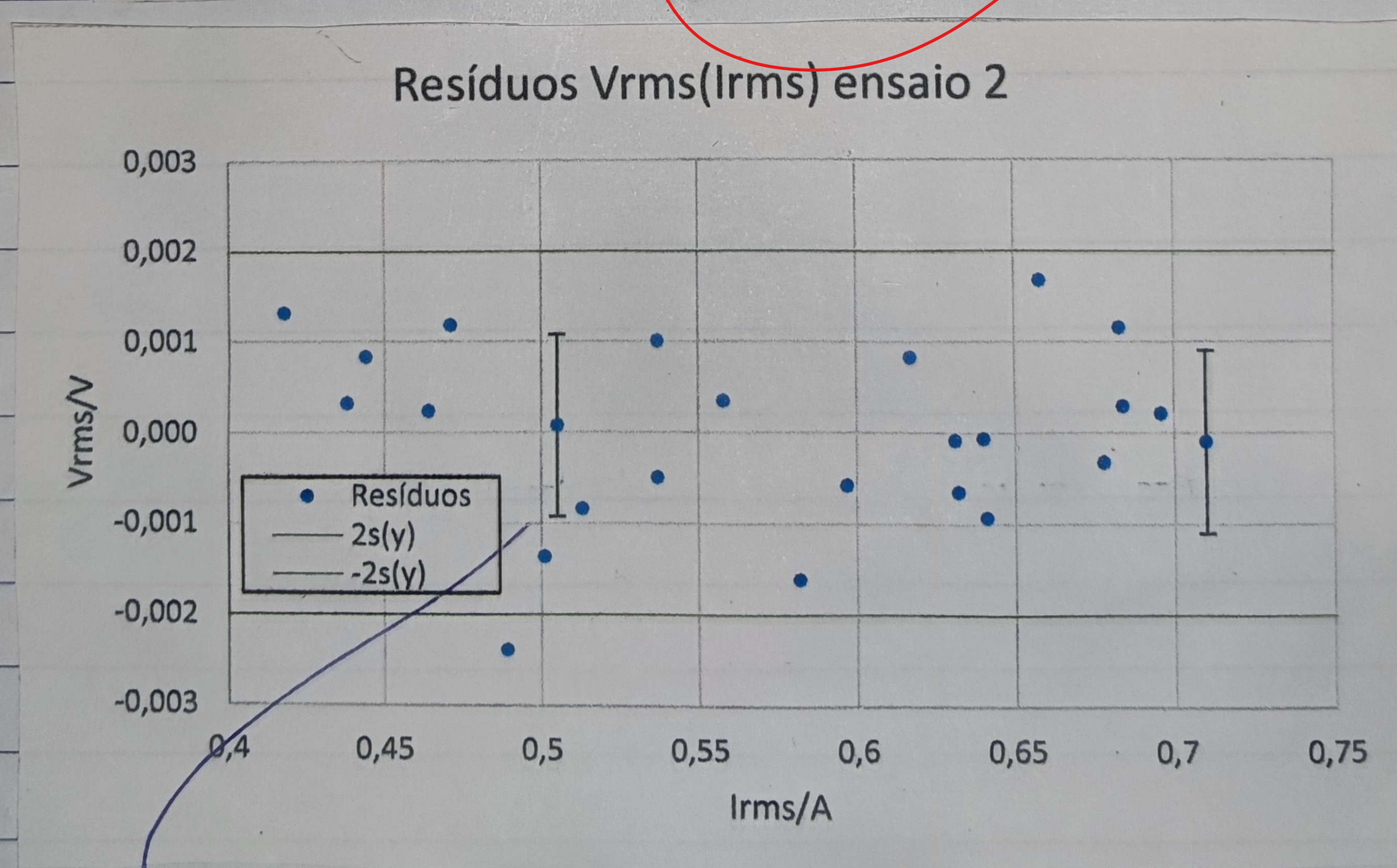
Verificar a dependência linear

Para o ajuste de Vrms(Irms) tem-se



m	2,135	-0,0830	y
σ_m	0,002	0,0013	σ_y
r^2	0,99997	0,0010	σ_{yaj}

alg. signif. errados



Barras de incerteza de V ≃ 0,001 V

Temos $m = (2,135 \pm 0,002)\ VA^{-1}$

e $\mu_0 = 1{,}2014 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$ com

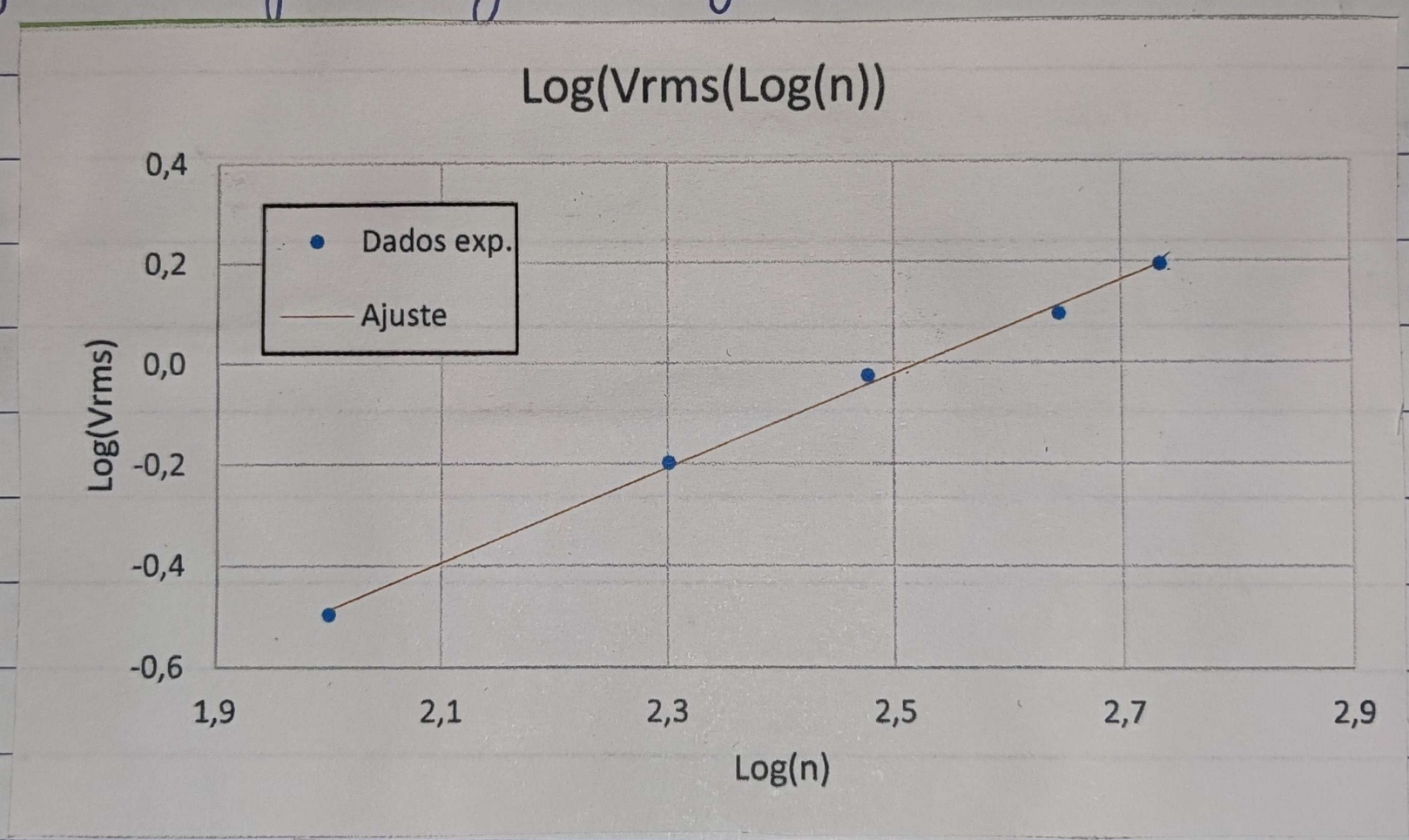
$$\frac{u(\mu_0)}{\mu_0} \simeq 0{,}024 \Rightarrow u(\mu_0) \simeq 0{,}03 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$$

$\mu_0 = (1{,}20 \pm 0{,}03) \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$ com $\mathcal{J}_{rc}(\%) \simeq 2{,}4\ \%$,

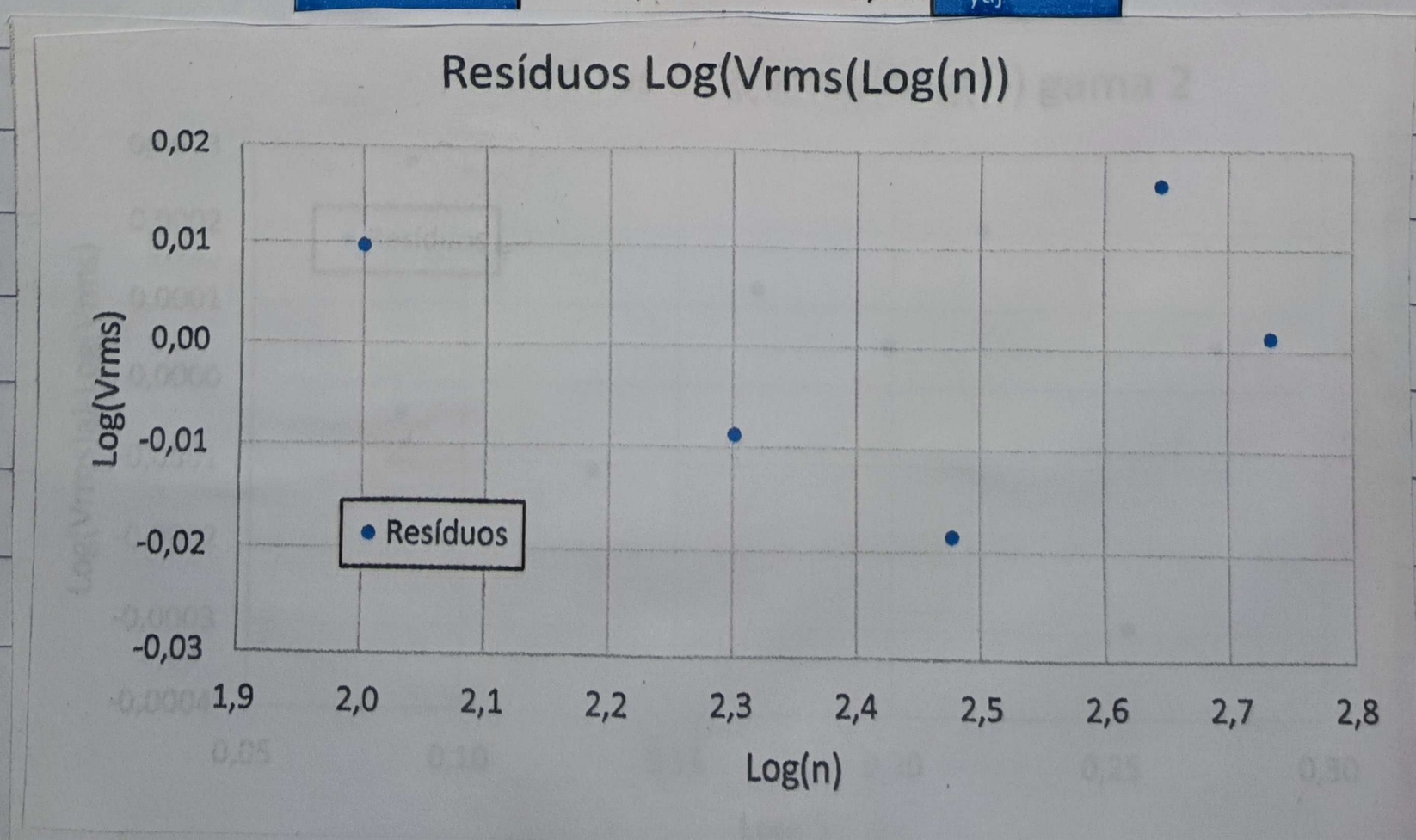
$E_r \simeq 0{,}96 \times 10^{-6}\ Hm^{-1}$ e $E_r(\%) \simeq 7{,}6\%$

$V_{rms}(n)$

Fazendo um ajuste $\log(V_{rms}(\log n))$ obtém-se:



m	0,93	-2,35	y
σ_m	0,03	0,07	σ_y
r^2	0,997	0,02	σ_{yaj}



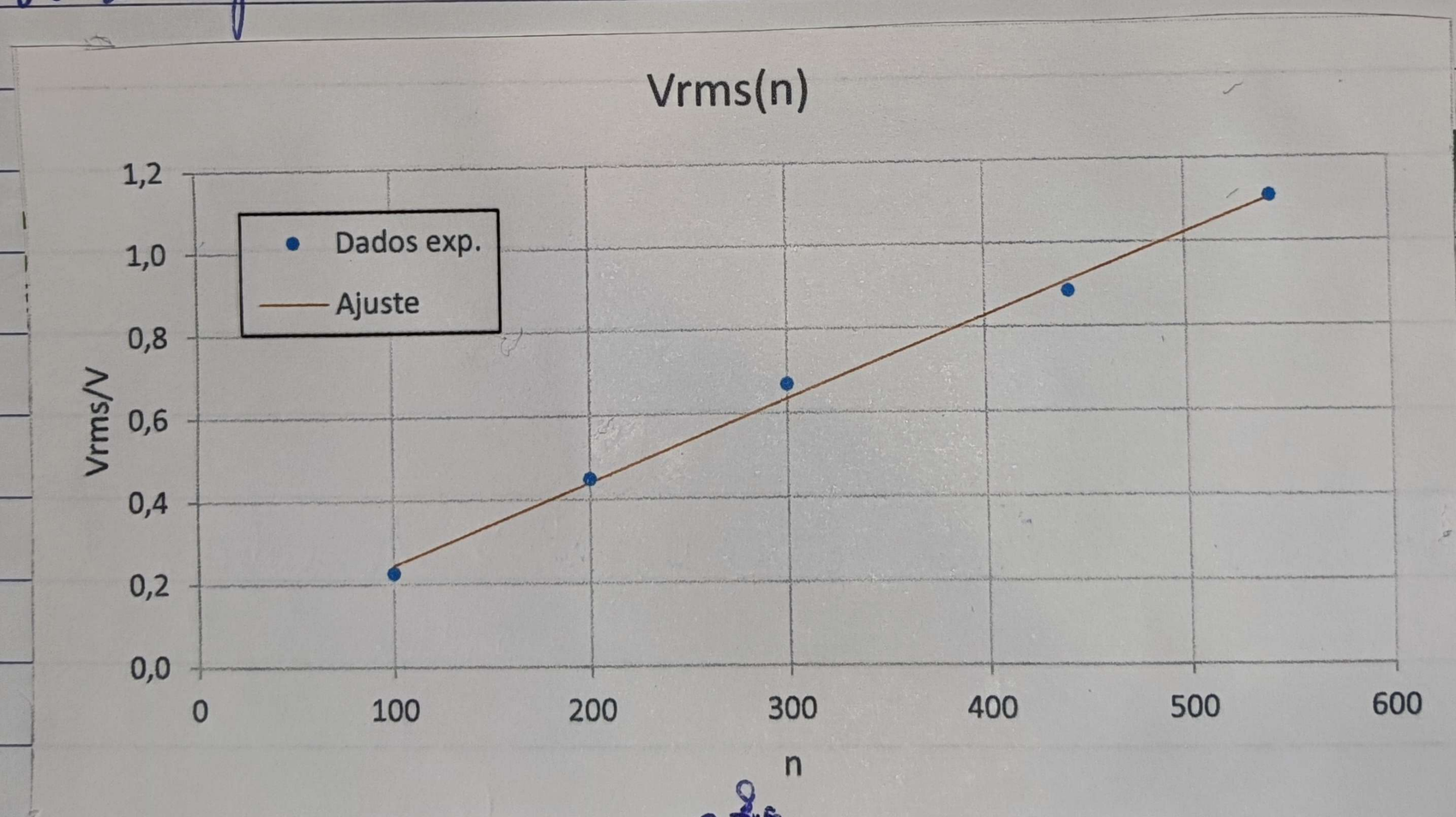
Barras de incerteza de Vrms decrescente, variam entre 0,003V e 0,0009V, não são visíveis no resíduo

Temos $m = (0,97 \pm 0,03)$ com $Tr(\%) \simeq 3\%$,

$E_r = 0,07$ e $E_r(\%) \simeq 7\%$ por defeito.

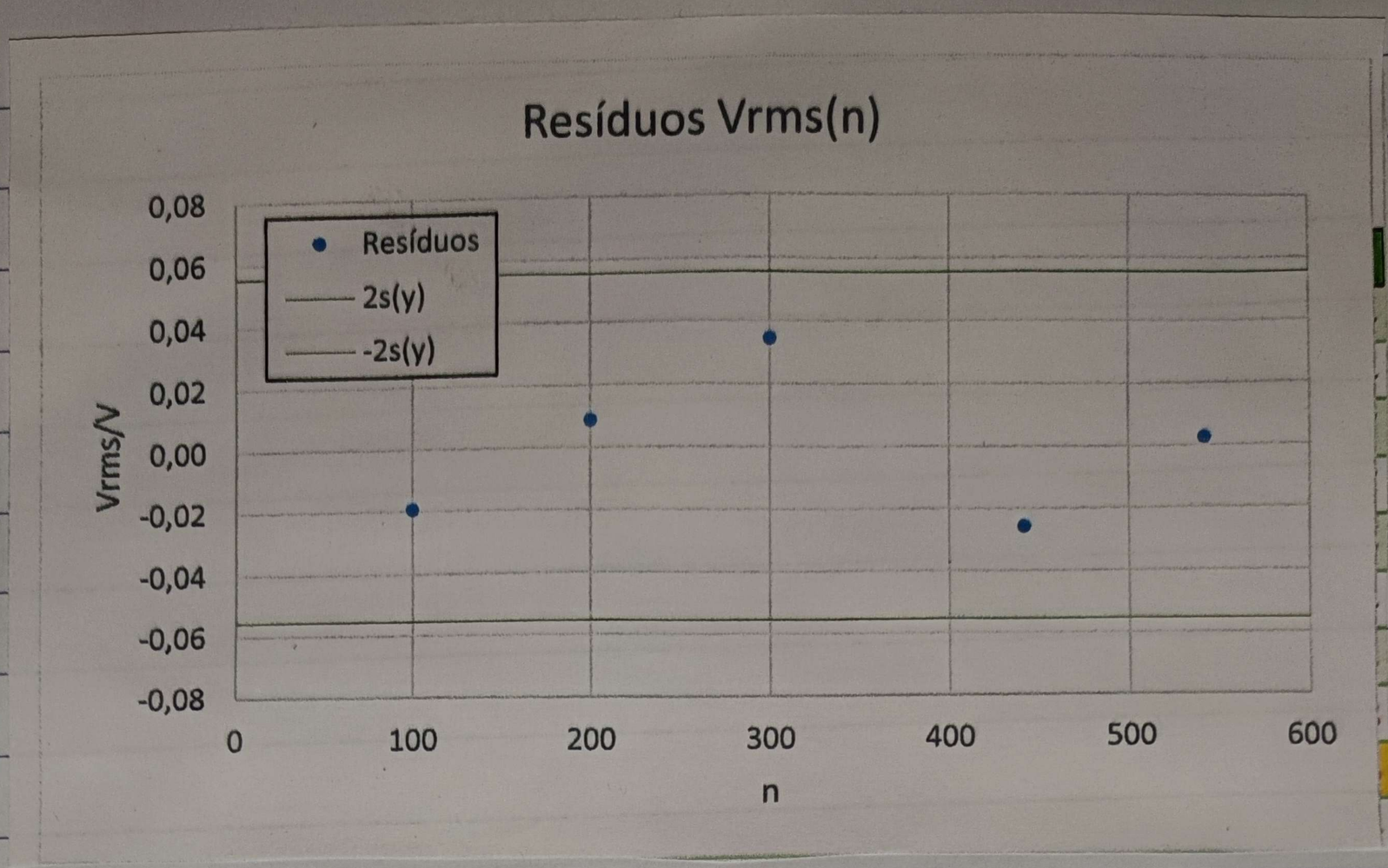
Verifica-se a dependência linear

Fazendo um ajuste de Vrms(n) obtem-se



m	0,00195 (2,75)	0,05	y
σ_m	0,00008	0,03	σ_y
r^2	0,995	0,03	σ_{yaj}

m	0,0028	0,07	y
σ_m	0,0001	0,04	σ_y
r^2	0,995	0,04	σ_{yaj}



As barras de erro de Vrms são de 0,001 V, não sendo visíveis nos resíduos

Temos $m = \cancel{(0,0009 \pm 0,001)\,V}$ e $(0,0028 \pm 0,0001)\,V$

$\mu_0 = 9,4706 \times 10^{-7}\ Hm^{-1}$

e $\frac{u(\mu_0)}{\mu_0} \simeq 0,043 \Rightarrow u(\mu_0) \simeq 0,4 \times 10^{-7}\ Hm^{-1}$

$\mu_0 = (9,5 \pm 0,4) \times 10^{-7}\ Hm^{-1}$ com $Inc(\%) \simeq 4,3\%$

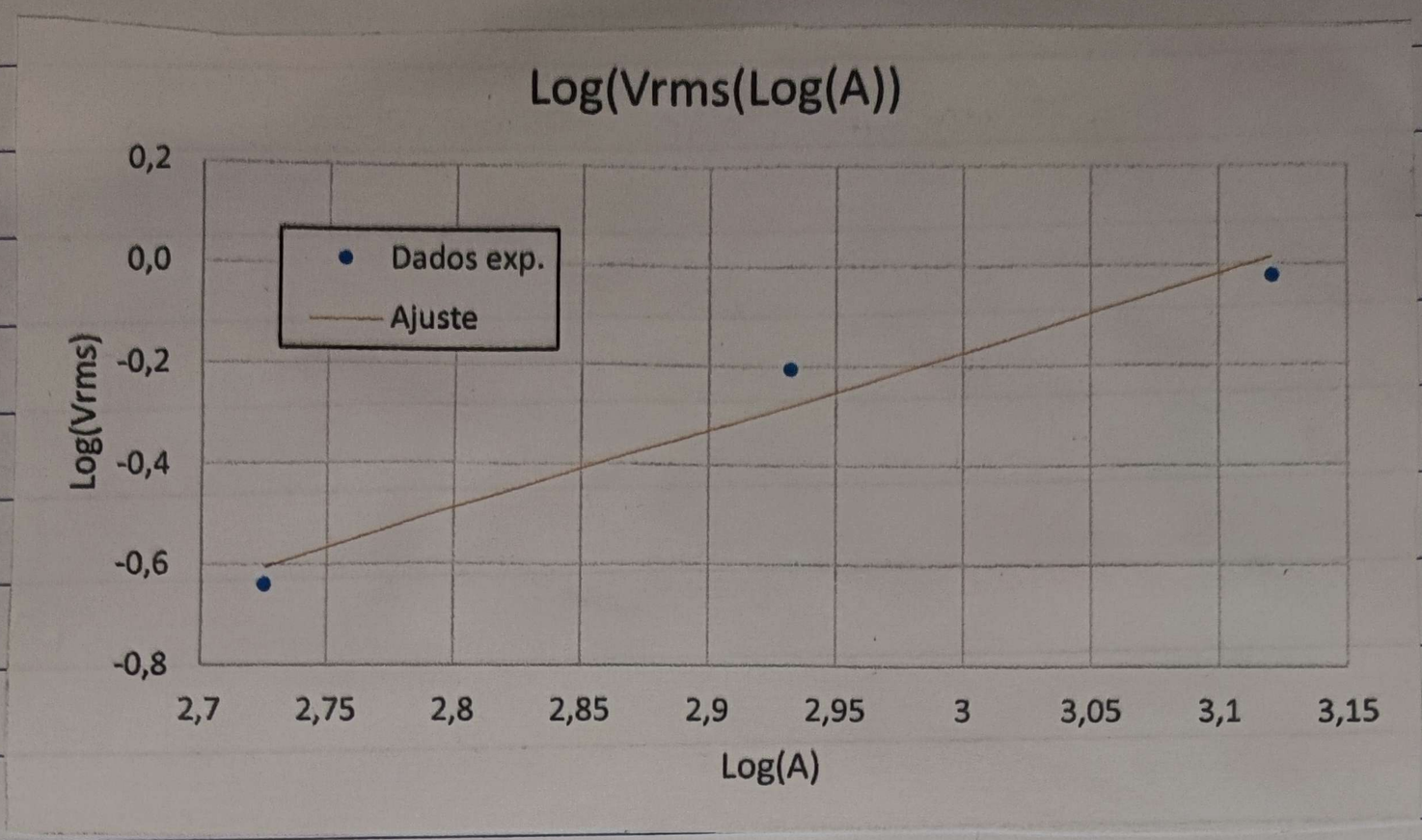
e $E_r = 3,1 \times 10^{-7}\ Hm^{-1}$ e $Er(\%) \simeq 24\%$ por defeito.

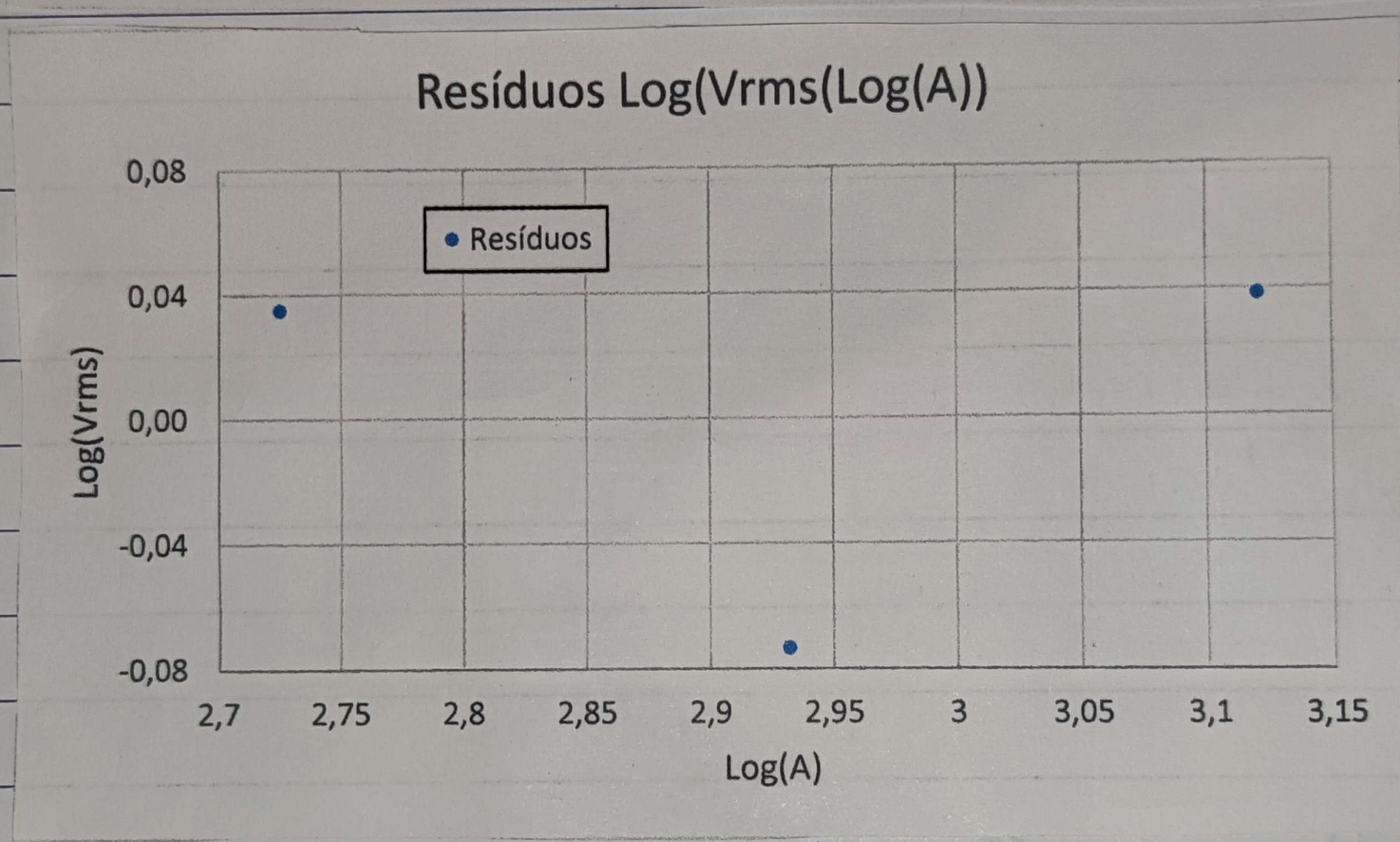
$3,1 \rightarrow$ Algo não correu bem!

$V_{rms}(A)$

Fazendo um ajuste log(Vrms, (log A)) obtive-se

m	1,6	-4,9	y
σ_m	0,3	0,9	σ_y
r^2	0,96	0,09	σ_{yaj}





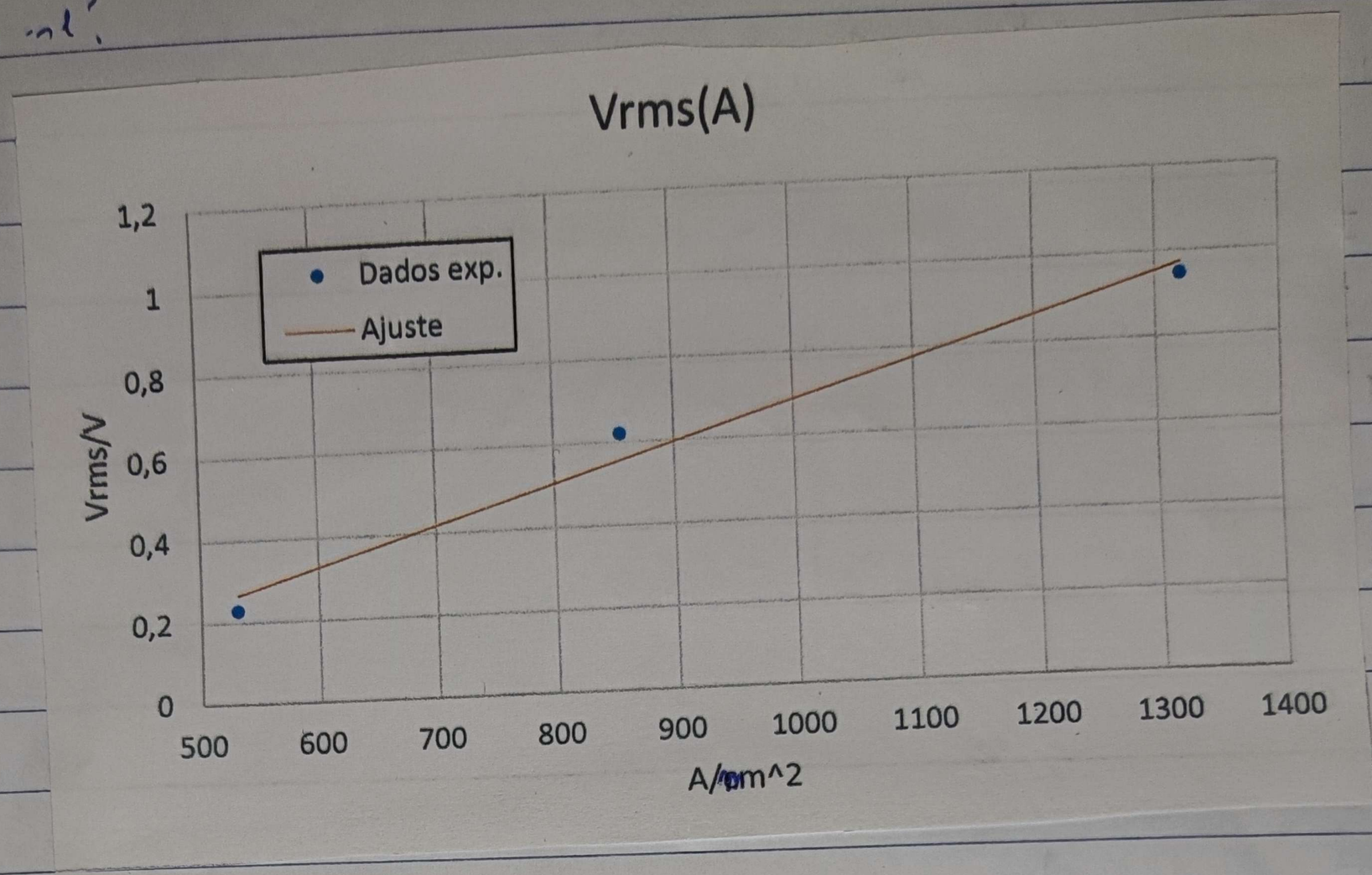
Barras de incerteza de log(Vrms) decrescentes, com a primeira a valer ≈ 0,004 e a última a valer ≈ 0,001; não são visíveis

Temos $m = (1,6 \pm 0,3)$ com $Inc(\%) \approx 18\%$,

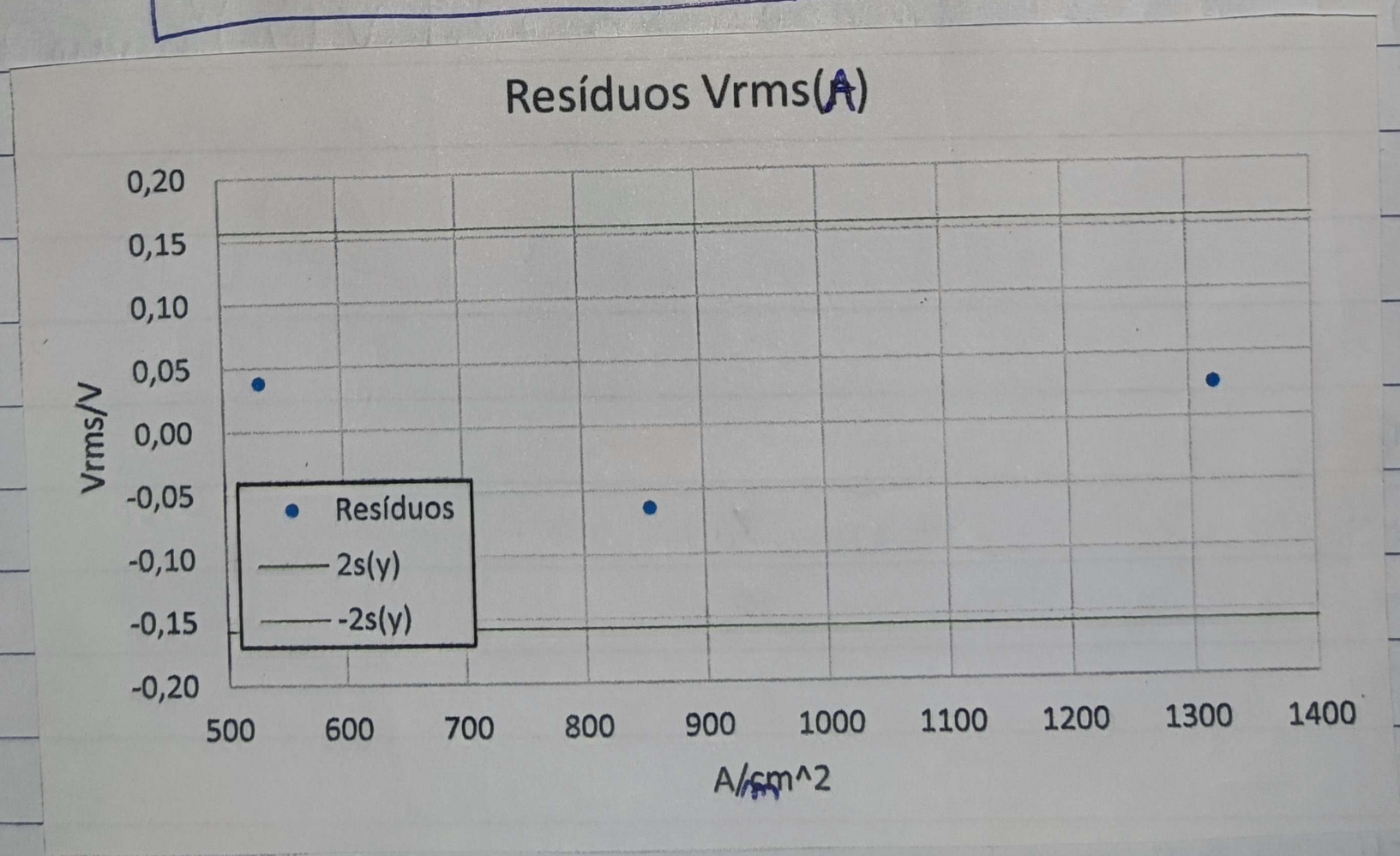
$Er \approx 0,6$ e $Er(\%) \approx 60\%$

O erro é bastante elevado, mas a incerteza também é. A quantidade de pontos é bastante reduzida

Não obstante, assumindo a dependência linear e fazendo um ajuste, obtém-se:



m	0,0004	-0,2	y
σ_m	0,0001	0,1	σ_y
r^2	0,976	0,08	$\sigma_{y_{ay}}$



Barras de incerteza de V_{rms}, ~~certas~~ constante $= 0{,}001\,V$ não vejam.

$m = (0{,}0009 \pm 0{,}0001)\ V\ mm^{-2}$ e

$\mu_0 = 1{,}3394 \times 10^{-6}\ H m^{-1}$ e

$\frac{u(\mu_0)}{\mu_0} = 0{,}039 \Rightarrow u(\mu_0) \simeq 0{,}05 \times 10^{-6}\ H m^{-1}$

$\mu_0 = (1{,}34 \pm 0{,}05) \times 10^{-6}\ H m^{-1}$ com $Inc(\%) \simeq 3{,}5\%$,

$E_r \simeq 0{,}83 \times 10^{-7}\ H m^{-1}$ e $E_r(\%) \simeq 6{,}6\%$

Resultados,

~~log(V(log f))~~ : log(log)

m	Inc(%)	E_r	$E_r(\%)$	V(f) ~~gama~~
(0,999±0,002)	0,2%	0,001	0,1%	V(f) gama 1
(0,963±0,001)	0,1%	0,037	3,7%	V(f) gama 2
(1,033±0,002)	0,2%	0,077	7,7%	V(I) ensaio 2
(0,93±0,03)	3%	0,07	7%	V(m)
(1,6±0,3)	19%	0,6	60%	V(A)

μ_0 (~~$H m^{-1} \times 10^{-6}$~~ $H m^{-1}$) % ime ? % erro ?

$(1{,}13 \pm 0{,}03) \times 10^{-6}$	2,4%	$1{,}31 \times 10^{-7}$	10%	V(f) gama 1
$(1{,}07 \pm 0{,}02) \times 10^{-6}$	2,4%	$1{,}87 \times 10^{-7}$	19%	V(f) gama 2
$(1{,}20 \pm 0{,}03) \times 10^{-6}$	2,4%	$0{,}96 \times 10^{-7}$	7,6%	V(I) ensaio 2 ⊛
$(\cancel{6{,}6}\ 4{,}3 \pm 0{,}\cancel{1}\ 4) \times 10^{-7}$	~~7,8~~ 4,3 %	$\cancel{0{,}0}\ 3{,}0 \times 10^{-7}$	~~4,7~~ 24%	V(m)
$(1{,}34 \pm 0{,}05) \times 10^{-6}$	3,5%	$0{,}83 \times 10^{-6}$	6,6%	V(A)

escolher ! ?

⊛ o melhor ? / V(I) > confiança

Conclusão

não concordo

Para a dependência linear, o melhor ajuste foi para ~~o~~ a primeira gama do gráfico de $V(f)$, com uma incerteza relativa de 0,2% e um erro de 0,1%. Excepto o ajuste em função da área, que teve uma incerteza de 19% e um erro de 60%, todos os outros ajustes demonstraram a dependência linear, tendo $Inc(\%) = 0,1\%$ e $Er(\%) = 3,7\%$ para $V(f)$ gama 2, $Inc(\%) = 0,2\%$ e $Er(\%) = 7,7\%$ para $V(I)$, e $Inc(\%) = 3\%$ e $Er(\%) = 3\%$ para $V(m)$

Para a determinação de μ_0, obteve-se $Inc(\%) = 2,4\%$ e $Er(\%) = 10\%$ para $V(f)$ gama 1, $Inc(\%) = 2,4\%$ e $Er(\%) = 15\%$ para $V(f)$ gama 2, $Inc(\%) = 2,4\%$ e $Er(\%) = 7,6\%$ para $V(I)$, $Inc(\%) = 4,3\%$ e $Er(\%) = 24\%$ para $V(m)$ e $Inc(\%) = 3,5\%$ e $Er(\%) = 6,6\%$ para $V(A)$.

Apesar de o resultado obtido através da área ser o mais exato, a dependência linear deste é ~~duvidosa~~ a questionável e apenas foram considerados 3 pontos. Logo, tomo como resultado final o obtido através da relação de V por I

$$\mu_0 = (1,20 \pm 0,03) \times 10^{-6}\ H\,m^{-1}$$

OK!

erros: excesso? defeito?

Os resultados não parecem muito bons. No ~~exato~~ entanto, após consultar outros trabalhos, verifiquei que os erros rondam os mesmos valores, assim, os resultados estão de acordo com os de outros colegas.

quantifique!