

Tomás Nogueira, Beatriz Castro, Margarida Cruz, Jocic Alberto Simões
TIA: Passagens aéreas em diários

T2A: Ressonâncias acústicas em tubos

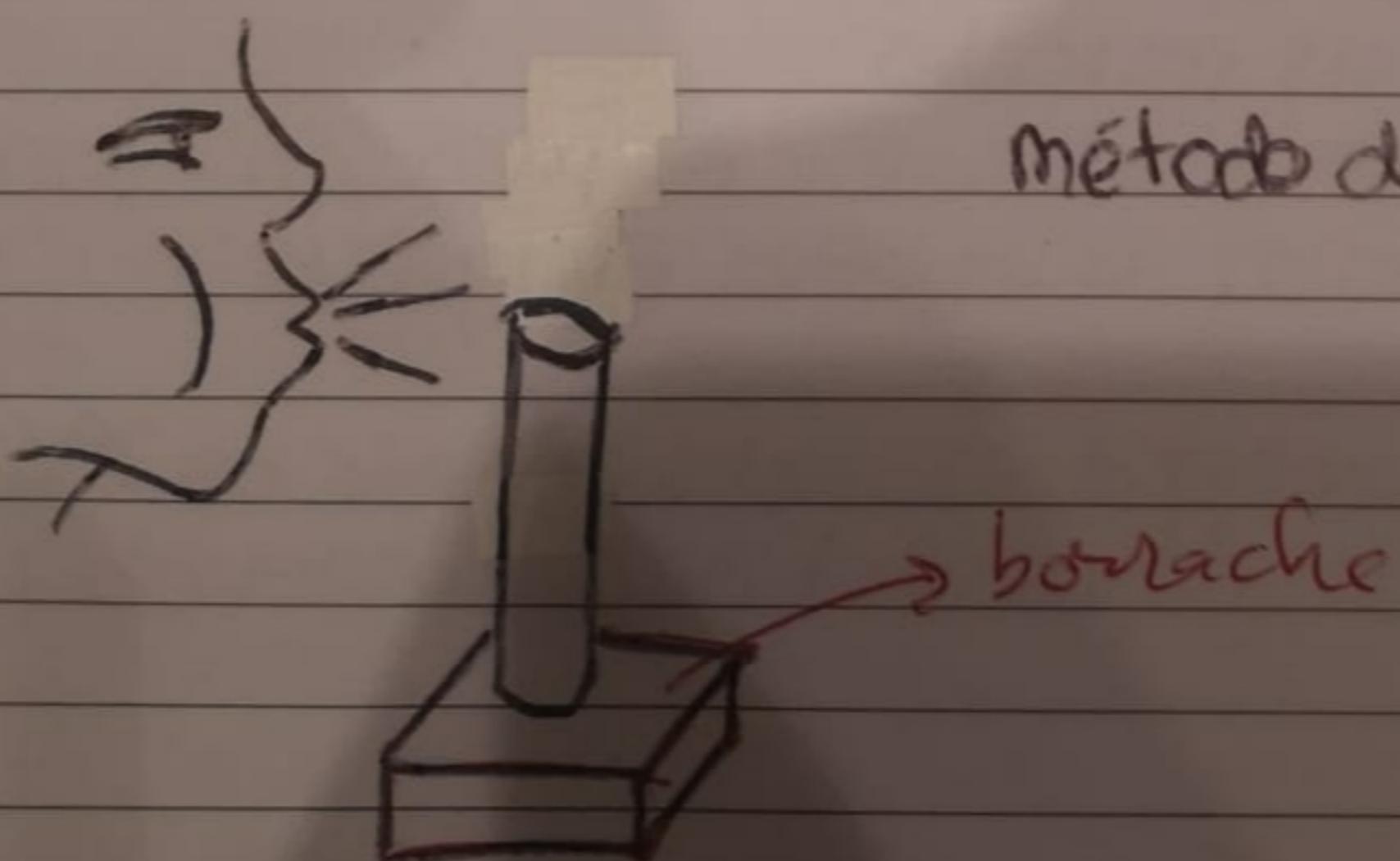
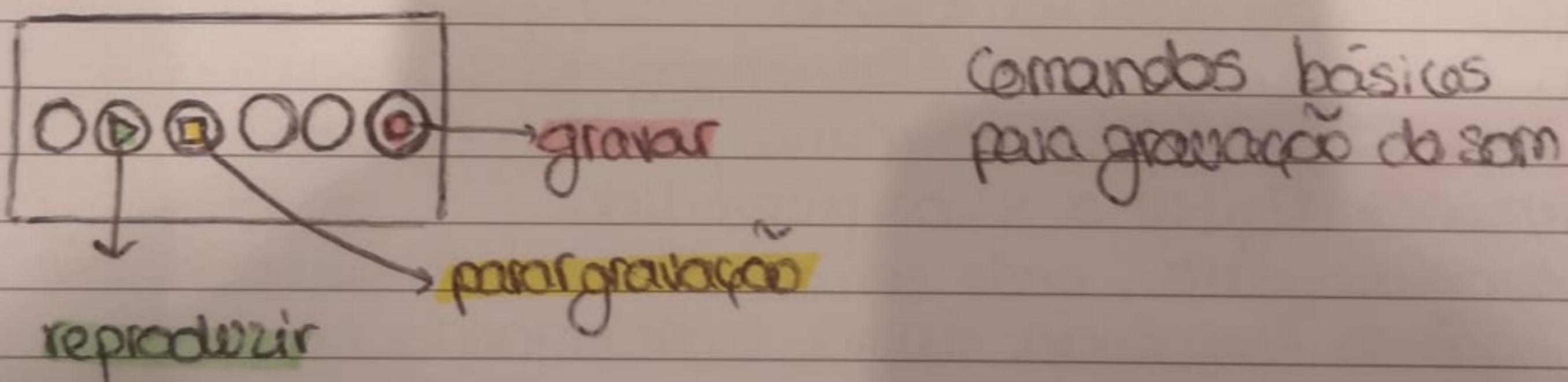
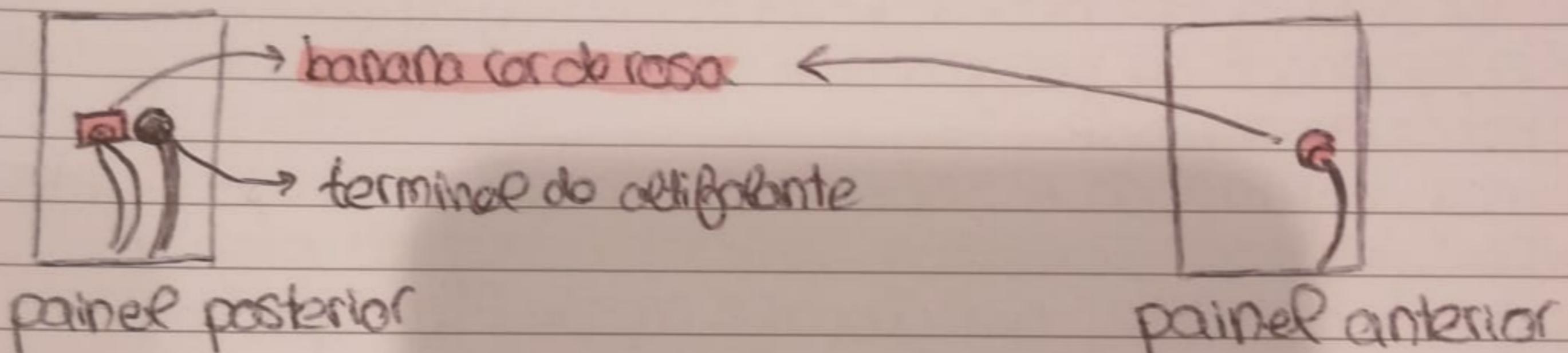
PLG Grupot

Objetivos

- Observar espetros de frequência de sessonâncias acústicas em tubos fechados (numa e nas duas extremidades)
 - Determinar a velocidade de propagação do som no ar

Ressonância de tubos fechados numa extremidade

Esquema



Plano de ação

Antes de iniciar o registo de dados, experimentar o programa, fazendo algumas gravações com o microfone e a respetiva análise espectral

Procedimento

- Para cada tubo, registar a temperatura T, em Kelvin, e o valor da pressão de vapor de água pVH₂O , em milímetros de mercurio
- Calcular o valor de referência para a velocidade do som no ar
$$v = 331,4 + 0,607(T - 273,15) + 0,08\text{ pVH}_2\text{O}$$
- Ligar a gravação no programa e soprar no tubo, tapando a outra extremidade
- Terminar a gravação e selecionar a secção correspondente à melhor produção de som
- No menu de análise, selecionar a opção Plot Spectrum (desenhar espetro da frequência)
 - ↳ aumentar o tamanho da janela para uma boa visualização da sequência de picos no espetro
 - ↳ para reduzir a gama de frequências da representação do espetro, escolher no menu, tracks (faixas), resample, digitar o valor pretendido
- Após obter o espetro, pode ser escolhida uma visualização em função da frequência numa representação linear ou logarítmica
 - ↳ logarítmica, melhor para identificar ressonâncias a baixa frequência
 - ↳ linear é melhor para os restantes
- Deslocar o cursor de modo a assinalar os picos ; na parte inferior da janela é indicada a respetiva frequência

Só deve ser considerada a contagem dos picos a partir do 2º (contando a partir da menor frequência) pico observado

Verificou se o diâmetro é o mesmo para todos os tubos

Equações

$$V = 331,4 + 0,607(T - 273,15) + 0,08 \rho v H_2O$$

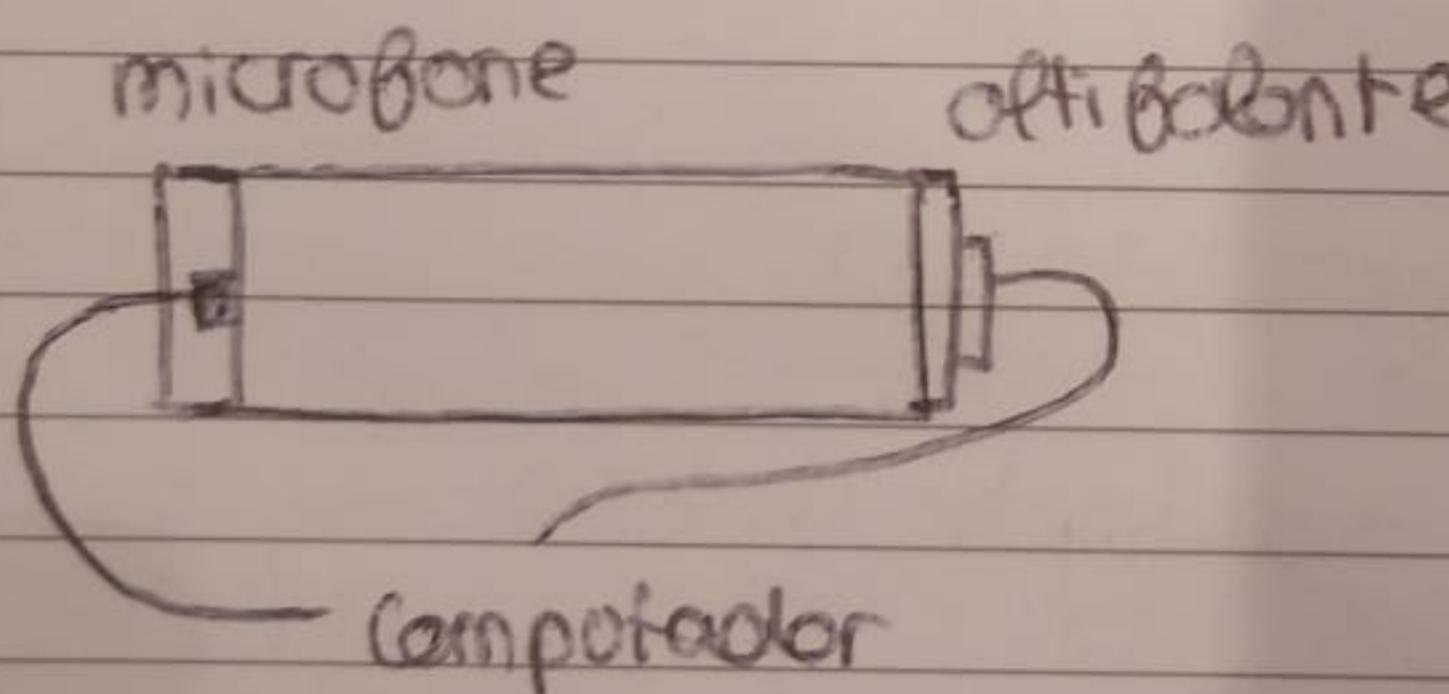
$$f = \frac{v}{2(f + \Delta y)} n + \frac{v}{4(\rho + \Delta y)} \quad \Delta y = 0,305 \text{ D}$$

$$y = m x + b$$

$$m = \frac{v}{2(\rho + 0,305)}$$

Ressonância de tubos fechados nas duas extremidades

Esquema



ST

Procedimento

- No menu de geração, criar um ruído branco com algumas dezenas de segundos de duração
- Fazendo um clique no botão de gravação do programa, este vai gravar o sinal do microfone, enquanto o altifalante reproduz o ruído branco no interior do tubo
↳ O volume da saída não deve ser muito alto
- Terminar a gravação e selecionar a seção correspondente à melhor produção do som pelo tubo
- Selecionar "desenhar o spetro de frequência"
↳ ajustar a janela e selecionar o número de pontos utilizados para a análise
- Identificar a frequência dos picos de ressonância

O conjunto altifalante-microfone tem uma ressonância própria perto de 1 kHz; este pico é facilmente visível e não deve ser confundido com a ressonância da coluna de ar

Equações

$$f = \frac{v(2n+1)}{4} \frac{1}{D + \Delta y}$$

$$\Delta y = 0,305 D$$

D → diâmetro do tubo

*ML San Fr
w gráficos*

Falta o registo da temperatura ambiente durante a experiência.

Análise

Tubo fechado numa extremidade

Temperatura $T = (23,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$

pressão de vapor da água $P_{\text{H}_2\text{O}} = 22,34 \text{ mmHg}$

V referência $\approx 347 \text{ m/s}$

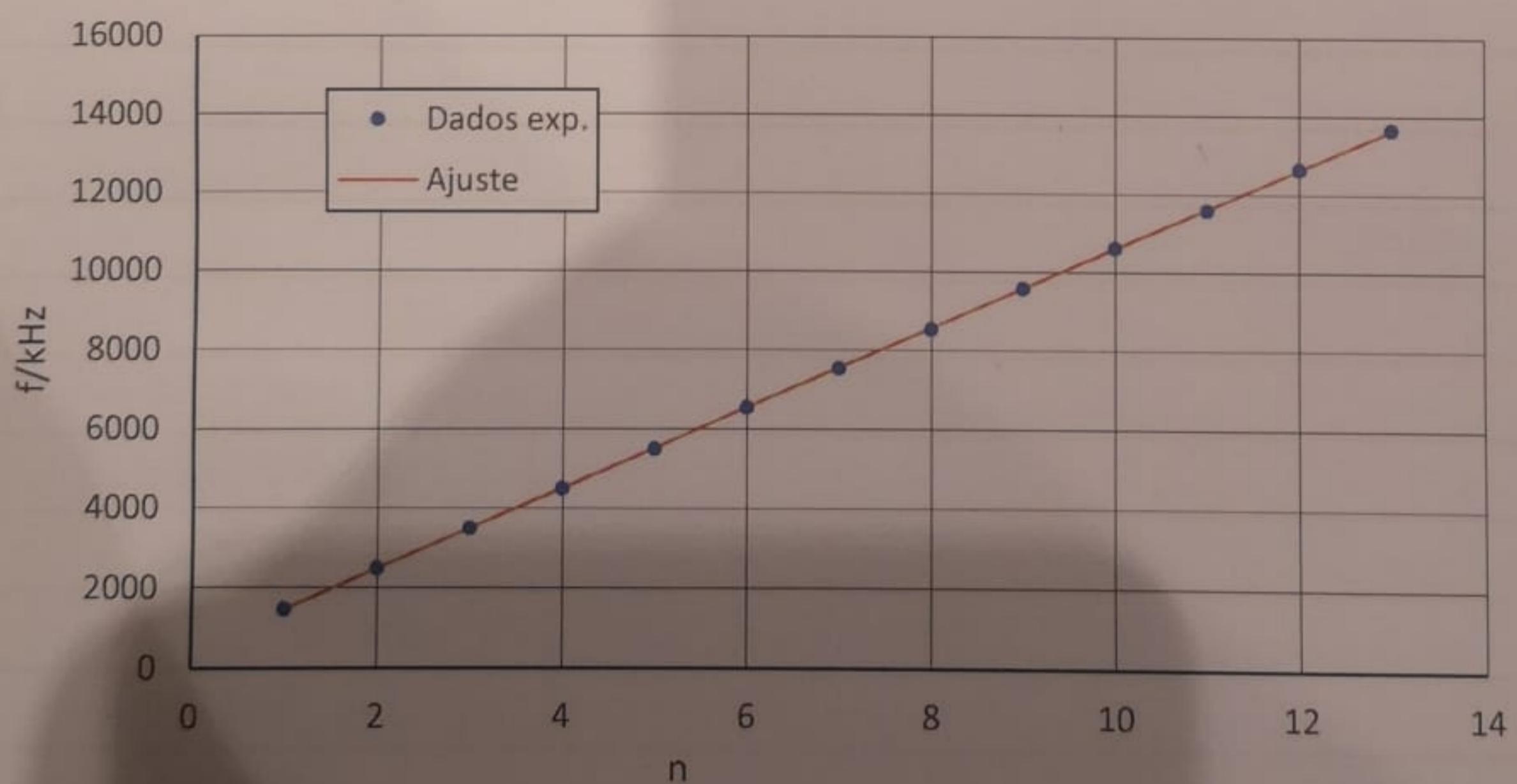
Não é possível determinar v (referência), pois não sabemos a incerteza da expressão nem a incerteza de $P_{\text{H}_2\text{O}}$

$$l = (17,00 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$D = (1,02 \pm 0,02) \text{ mm} \Rightarrow \Delta y = (0,31 \pm 0,01) \text{ mm}$$

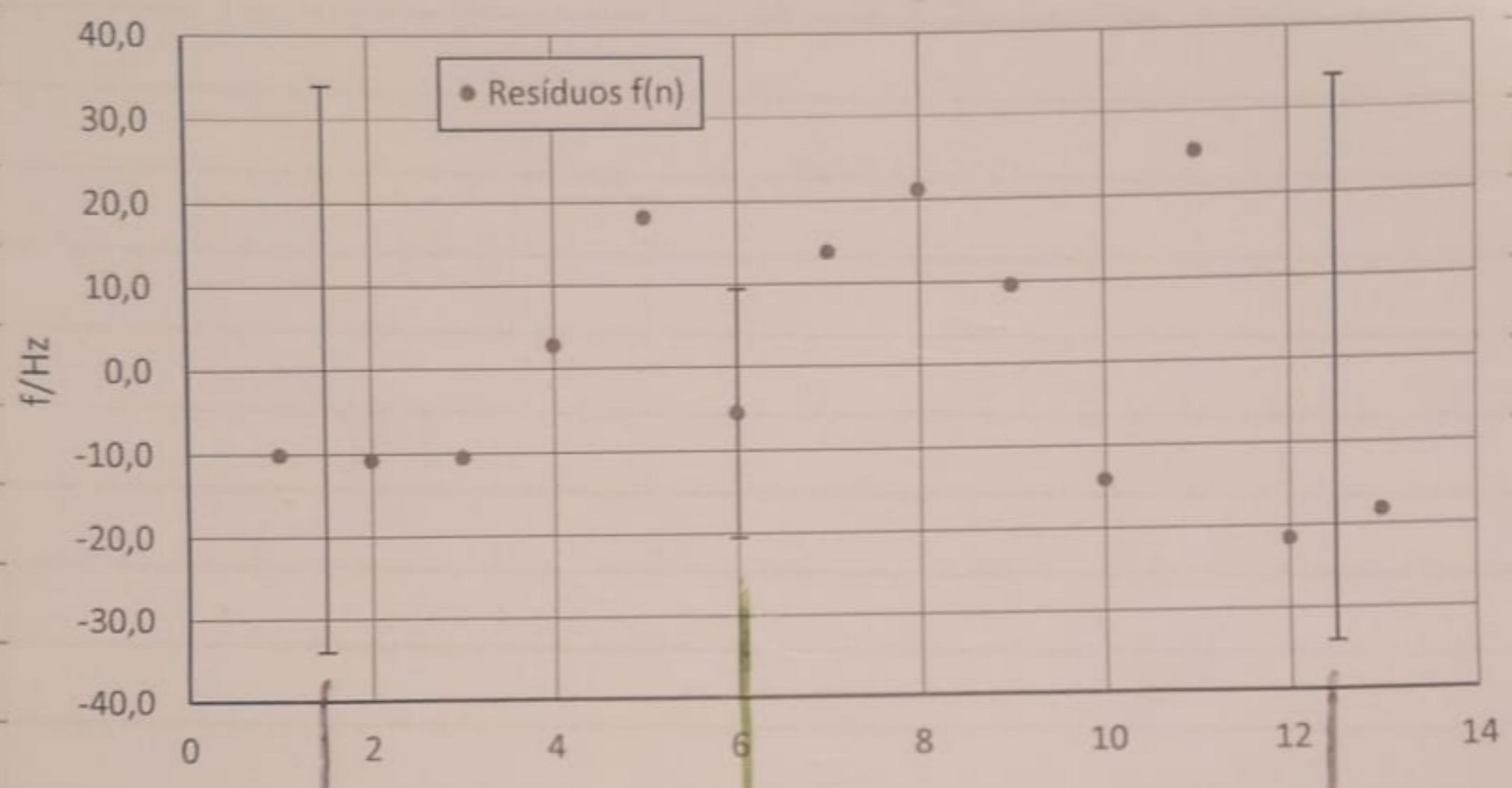
Determinando as frequências de ressonância para cada modo normal, obtém-se o seguinte gráfico

$f(n)$ extremidade aberta



m	1013	4×10^2	y
σ_m	1	1×10^1	σ_y
r^2	0,99998	2×10^{-1}	σ_{yaj}

Resíduos extremidade aberta

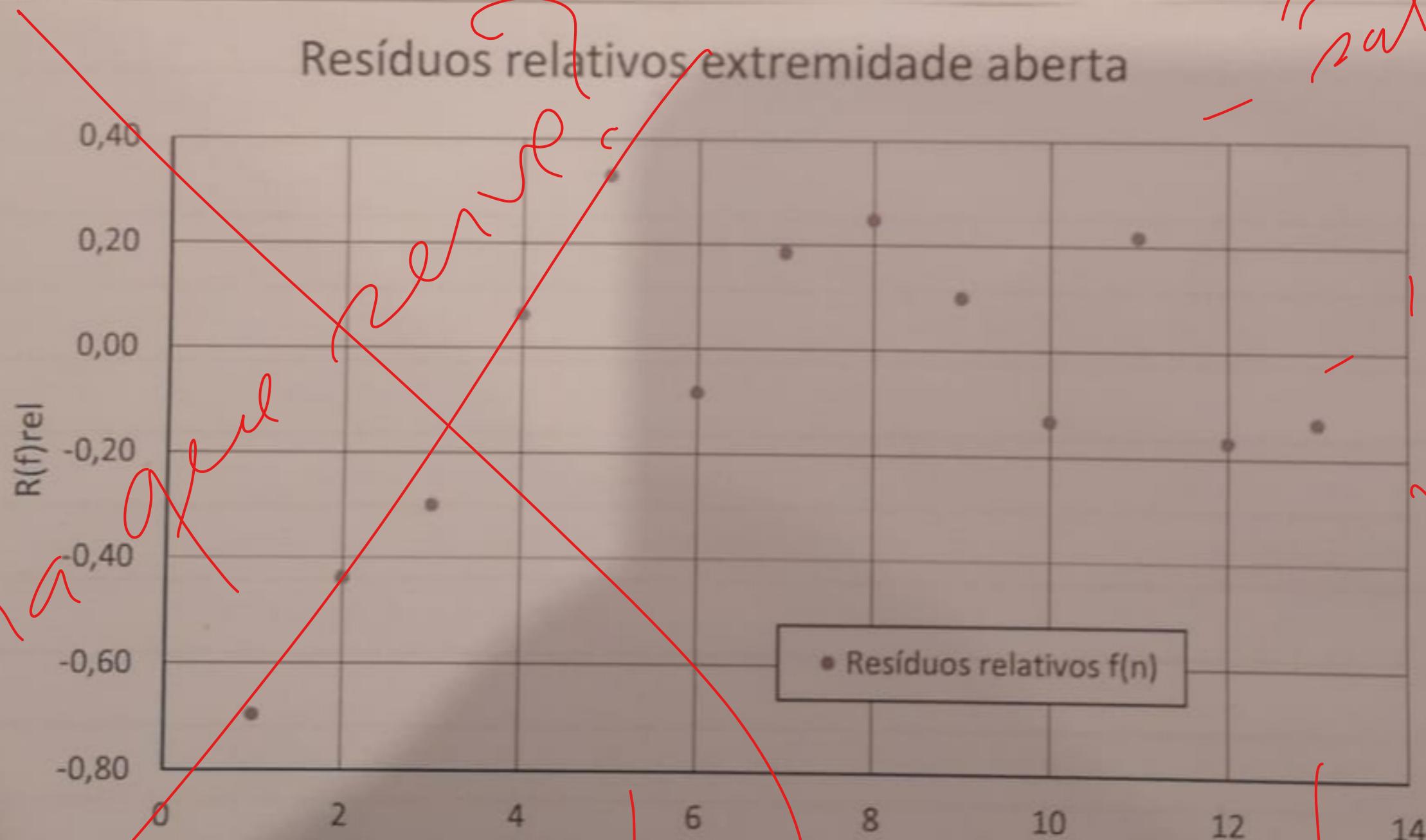


borda de incerteza do frequêncio

$$\pm \sigma(\beta) = 15 \text{ Hz}$$

barra de erro do ajuste, $\pm 2 \text{ Oy}$

Resíduos relativos extremidade aberta



Assim, de $\beta = \frac{v}{2(p+\Delta y)} n + \frac{v}{4(p+\Delta y)}$, podemos obter v e p a partir do declive do ajuste, a partir da ordenada de origem

$$\text{declive} = v = 2m(l + \Delta y) \approx 345,36445$$

$$A = l + \Delta y \quad u^2(A) = u^2(l) + u^2(\Delta y)$$

$$\Rightarrow u(A) = 5,04 \times 10^{-14} \text{ m}$$

$$v = 2mA \Rightarrow \frac{u^2(v)}{v^2} = \frac{u^2(m)}{m^2} + \frac{u^2(A)}{A^2}$$

$$\Rightarrow \frac{u(v)}{v} \approx 0,3\%$$

$$\Rightarrow u(v) \approx 1 \text{ m/s}$$

$$v = (345 \pm 1) \text{ m/s} \quad \text{incerteza (\%)} = 0,3\%$$

$$\epsilon = |345 - 347| = 2 \text{ m/s} \quad (\text{por defeito})$$

$$\text{Erelativo} = \frac{2}{347} \times 100 = 0,6\%$$

$$\text{ordenada na origem: } v = 2lb(l + \Delta y) = 2bA = 305,438 \text{ m/s}$$

$$\frac{u^2(v)}{v^2} = \frac{u^2(b)}{b^2} + \frac{u^2(A)}{A^2}$$

$$\Rightarrow \frac{u(v)}{v} \approx 2,21\%$$

$$\Rightarrow u(v) = 7 \text{ m/s}$$

$$v = (306 \pm 7) \text{ m/s} \quad \text{incerteza (\%)} = 2\%$$

$$\epsilon = |306 - 347| = 41 \text{ m/s} \quad (\text{por defeito})$$

$$\text{Erelativo} = \frac{41}{347} \times 100 \approx 12\%$$

↳ consideravelmente pior que o Erel obtido acima

Tubo fechado nas duas extremidades

$$T = (23,8 \pm 0,1)^\circ\text{C}$$

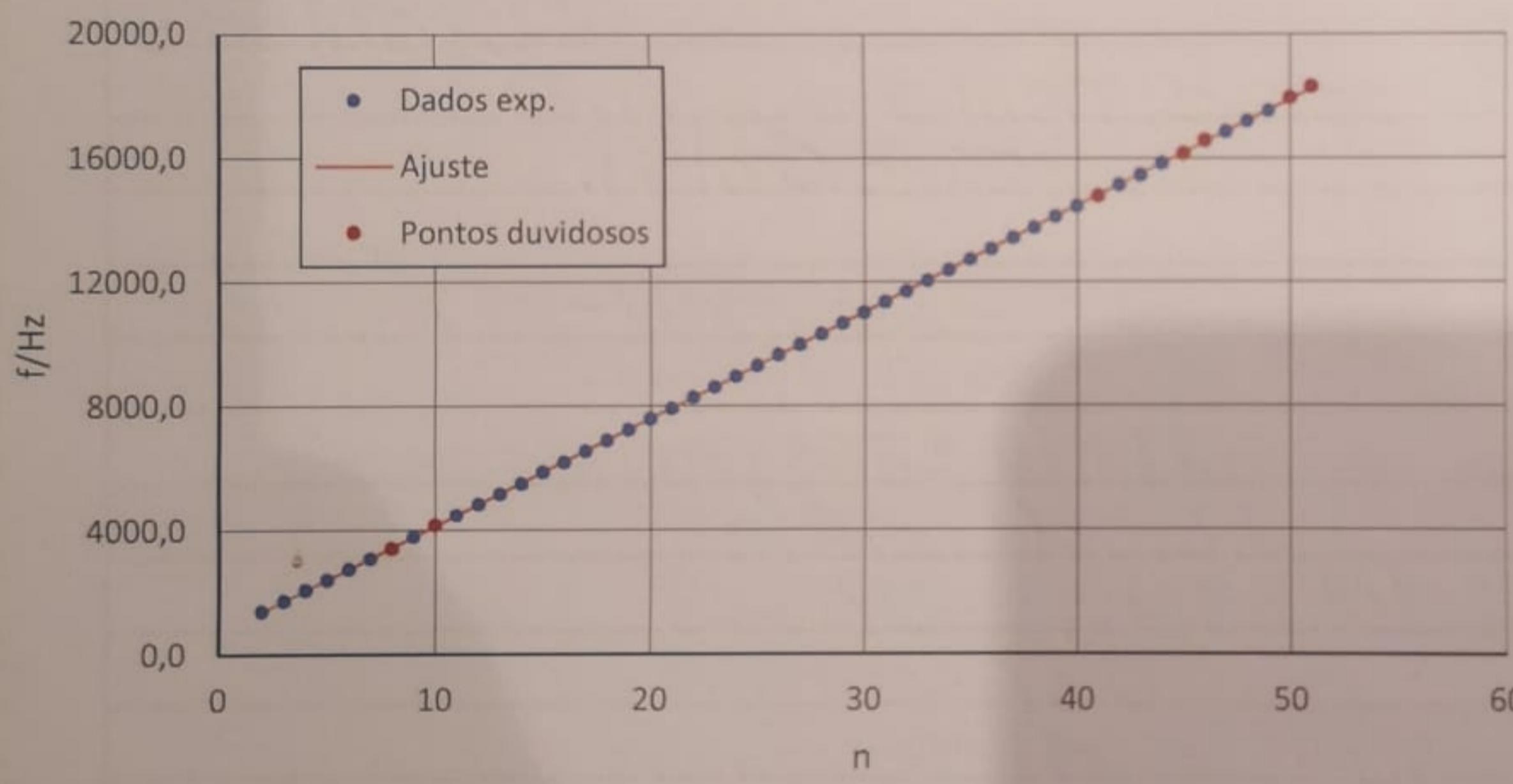
$$P_{\text{vH}_2\text{O}} = 22,34 \text{ mm Hg}$$

$$V_{\text{teórica}} = 347 \text{ ml s}$$

$$P = (50,00 \pm 0,05) \text{ cm}$$

Determinar as frequências de ressonância, e fazendo o ajuste, obtivemos o seguinte gráfico

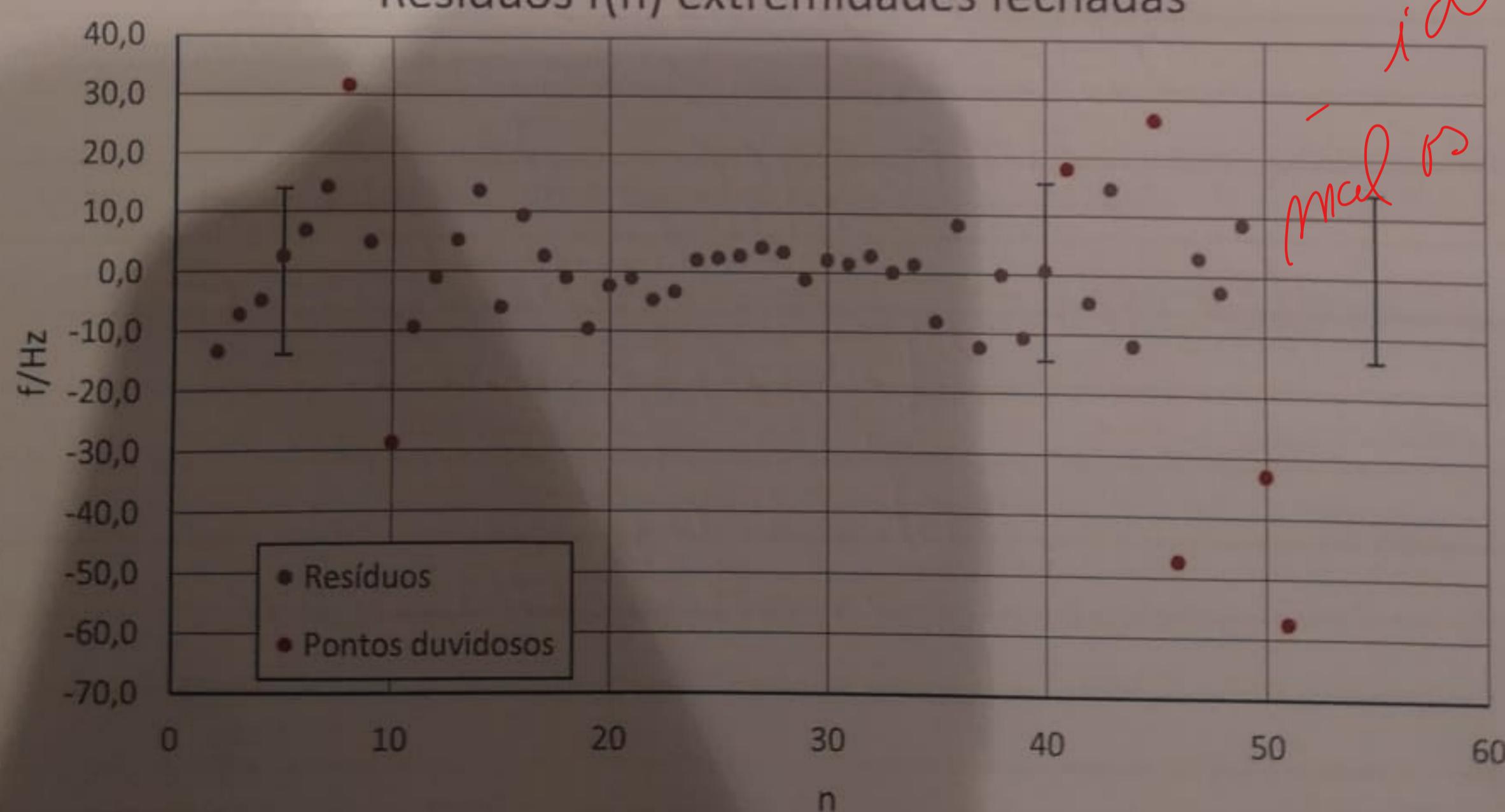
$f(n)$ extremidades fechadas



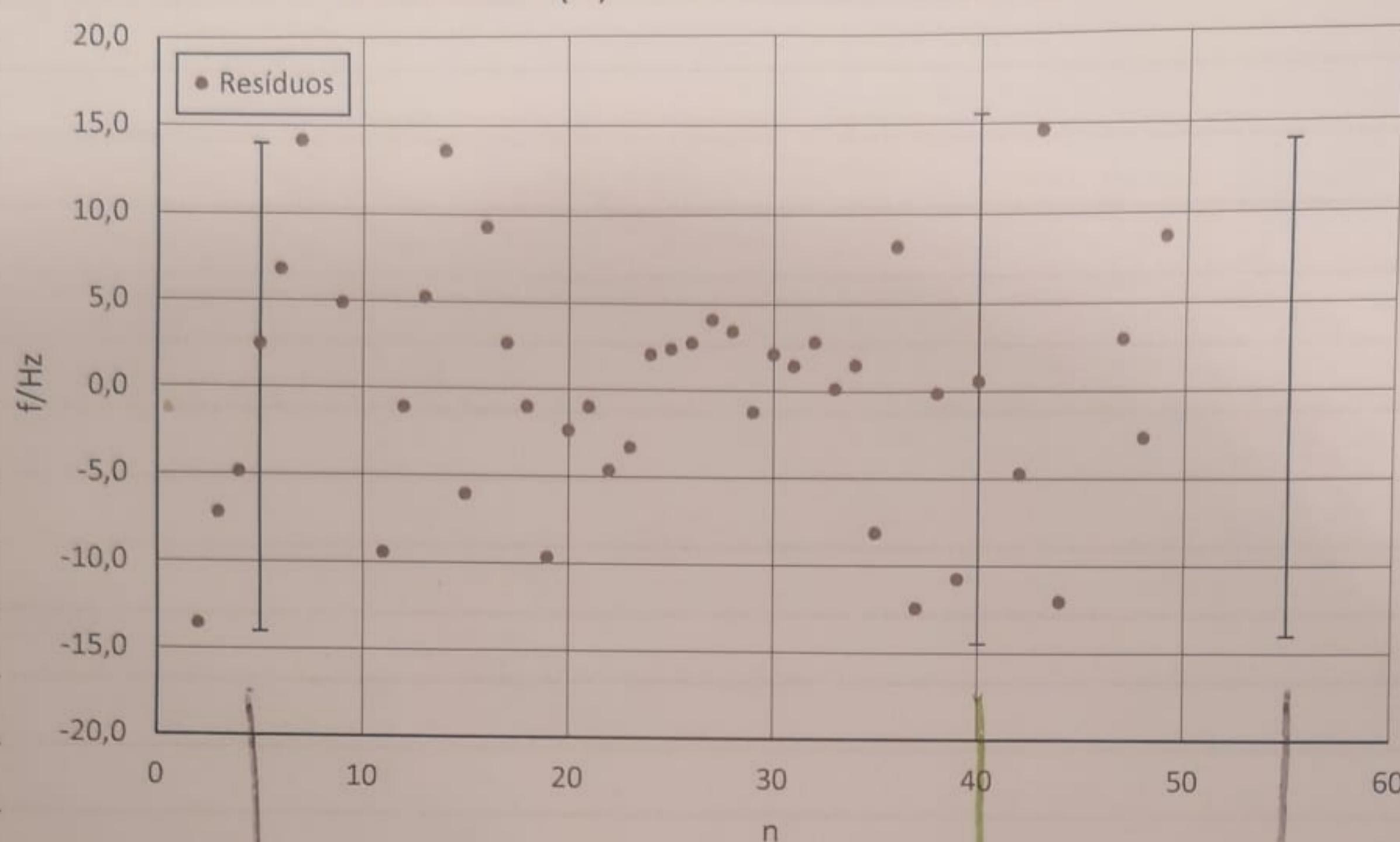
m	344,3	y
σ_m	0,1	$2\sigma_y$
r^2	0,999998	$7\sigma_{yaj}$

Identificam-se
duvidoso
mais

Resíduos $f(n)$ extremidades fechadas



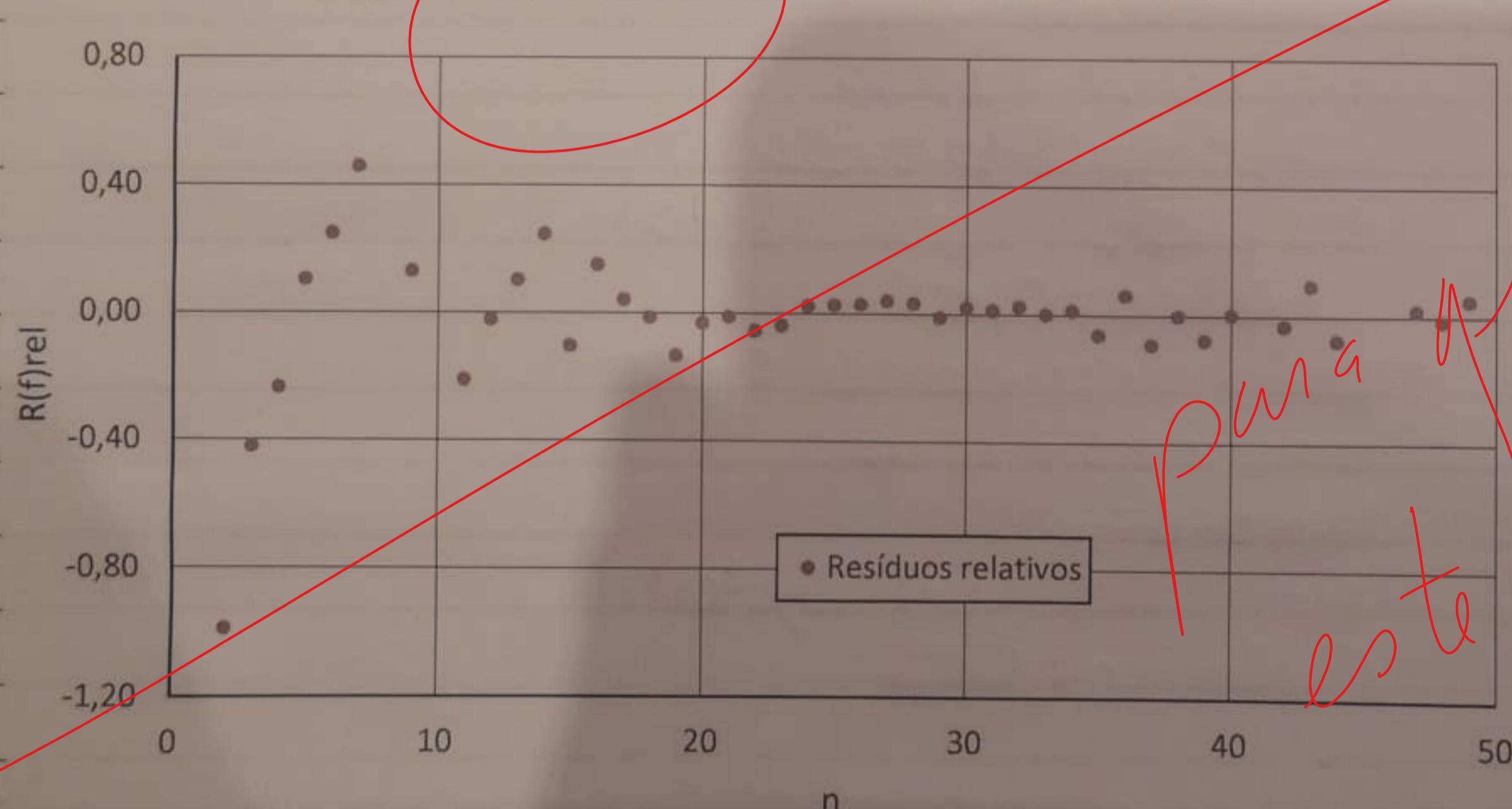
Resíduos $f(n)$ extremidades fechadas



barras de incerteza de β , $\pm U(\beta) = 15 \text{ Hz}$

barras de erro do ajuste $\pm 2\sigma(y)$

Resíduos relativos extremidades fechadas



declive

$$v = 2 \text{ ampl} \approx 344,3096 \text{ m/s}$$

$$\frac{U(v)}{v} \approx 0,104\% \Rightarrow U(v) \approx 0,4 \text{ m/s}$$

$$v = (344,3 \pm 0,4) \text{ m/s}$$

Incerteza (%) = 0,1%

$$\epsilon = |344,3 - 347| = 3 \text{ m/s} \quad (\text{por defeito})$$

Erelativo ≈ 0,86%.

Peda ordenada na origem

$$v = qbP \approx 337,4036 \text{ m/s}$$

$$\frac{\Delta(v)}{v} \approx 0,71\% \Rightarrow v(v) = 2 \text{ m/s}$$

$$v = (337 \pm 2) \text{ m/s}$$

Incerteza (%) = 0,71%

$\epsilon = 10 \text{ m/s}$ (por defeito)

Erelativo ≈ 3%.

↳ erro relativo maior do que o obtido com o método acima

em tabela
↓ ↓ ↓

tubo aberto → $v_{\text{teórica}} \approx 347 \text{ m/s}$

→ por declive

$$v = (345 \pm 1) \text{ m/s}$$

Incerteza (%) = 0,3%

$\epsilon = 2 \text{ m/s}$ (por defeito)

Erelativo = 0,6%

→ peda ordenada na origem

$$v = (306 \pm 7) \text{ m/s}$$

Incerteza = 2%

$\epsilon = 4 \text{ m/s}$ (por defeito)

Erelativo = 12%

\checkmark tabelado

tubo fechado → $v_{\text{teórica}} \approx 347 \text{ m/s}$

→ por declive

$$v = (344,3 \pm 0,4) \text{ m/s}$$

Incerteza (%) = 0,1%

$\epsilon = 3 \text{ m/s}$ (por defeito)

Erelativo = 0,86%

→ peda ordenada na origem

$$v = (337 \pm 2) \text{ m/s}$$

Incerteza (%) = 0,7%

$\epsilon = 10 \text{ m/s}$ (por defeito)

Erelativo = 3%

Só fizemos 1 tubo fechado e manifestamente insuficiente

Identificar Resultado Final

Conclusão e discussão

→ juízo de valor?

Usando o tubo com uma extremidade fechada, obteve-se um resultado com uma incerteza relativa de 0,3%, e um erro relativo de 0,6%, pelo método do declive. Pelo método da ordenada na origem, obteve-se uma incerteza de 0,1% e um erro de 1,2%.

Usando o tubo fechado nas duas extremidades, obteve-se um resultado com uma incerteza de 0,1%, e um erro de 0,86%, pelo método do declive. Pelo método da ordenada na origem, foi obtida uma incerteza de 0,7% e um erro de 3%.

Em ambos os casos, é evidente que o resultado obtido pelo declive é consideravelmente melhor do que aquele determinado pela ordenada na origem.

|| óbvio! ||

Relativamente aos resultados obtidos em ambos os tubos, podemos afirmar que o obtido com o tubo fechado é ligeiramente mais preciso do que o resultado obtido com o tubo aberto, apesar de possuir um erro maior, que pode ser explicado devido a vários fatores, como a variação da temperatura, ou da pressão do vapor de água dentro dos tubos, ou ao facto de não ter sido considerada uma correção à expressão no caso do tubo fechado em ambos os extremidades.

→ não a registaram?

Como resultado final consideramos aquela que foi obtida através do declive do ajuste da experiência com o tubo fechado.

$$v = (344,3 \pm 0,4) \text{ m/s}$$

Nota: Apesar de termos repetido a experiência para outros tubos de extremidade aberta, os dados obtidos no Autocollimator foram perdidos no processo de transformação do ficheiro para o computador pessoal.

Desta forma, não foi possível realizar a análise desses dados.

Isso deve constar no Registo / Análise