

T8 - Medida da magnetização com um magnetômetro de amarra vibrante

10-11-2021

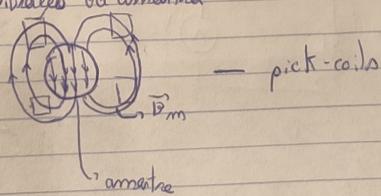
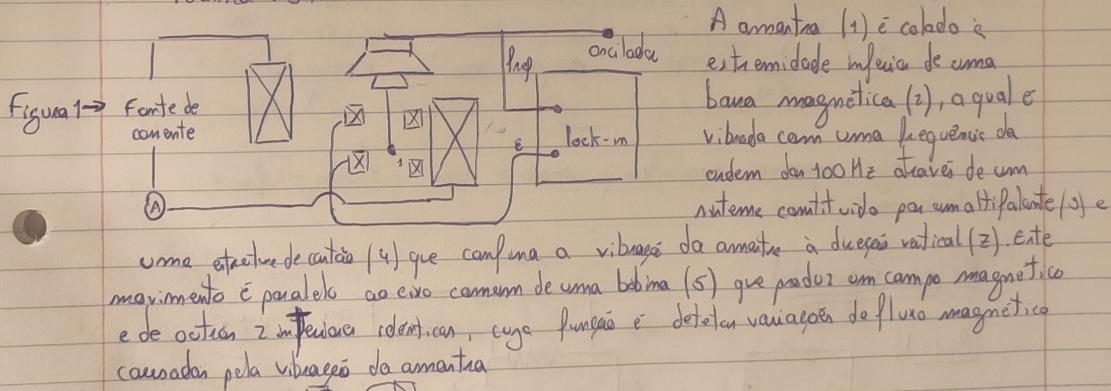
Objetivos

- solidificar a utilização de amplificadores lock-in
- Medir o ciclo histerético de armaduras ferromagnéticas à temperatura ambiente pela técnica VSM

Introdução Teórica

O estudo da dependência da magnetização (M - momento magnético por unidade de volume) de um dado material com fatores controláveis (como campo magnético aplicado) é bastante importante para o conhecimento das suas propriedades magnéticas. A técnica adotada, envolve a medida da tensão elétrica numa ou várias bobinas de detecção (pick-up coils) por uma variação de fluxo magnético, provocado pela alteração da posição relativa da amarra ou das espiras.

→ Técnica VSM



o sinal lock-in que resulta de filtragem apresenta duas ondas em quadratura

$$V_x \approx \frac{1}{2} V_s \cos \phi$$

$$(V_s = A_{(ganh)} \times V_i)$$

$$V_y \approx \frac{1}{2} V_s \sin \phi$$

ϕ = diferença de fase entre o sinal e a referência

O sinal do lock-in pode ser representado em grandezas fasor:

$$R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = V_s \quad \text{e} \quad \phi = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$$

Poderemos relacionar o sinal a medida com as medições de lock-in:

$$E(t; \omega_{ref}) \approx V_s \cos(\omega_{ref}t - \phi_0) + V_y \sin(\omega_{ref}t + \phi_0) \quad (\phi_0 \text{ constante no lock-in})$$

Respostas às perguntas da preparação:

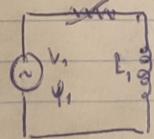
1) ~~Qual é~~ Uma vez que o circuito A corresponde a um circ. RL:

$$V_L(n) = \frac{L_n}{R+L_n} V_m(n) \quad n = j\omega \text{ para } V_m \text{ é sinusoidal}$$

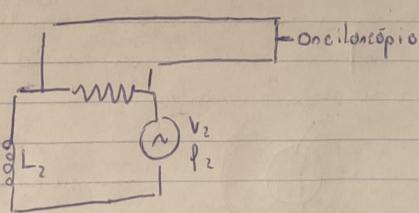
ou seja, esperamos medir V_m a menos de uma diferença de fase e constante de multiplicador.

Método Experimental

[Parte 1]



A



B

Montar A (varian f_1) e desligar o circuito. Montar B e repetir

Ligar os dois circuitos e apresentar e afastar as bobinas ($f_1 \neq f_2$)

→ mostra o que acontece no encilhamento e lock-in
Regutar o que acontece quando:

- $f_1 = f_{lock}$
- obter um acoplamento das bobinas

[Parte 1] - Medida do ciclo histerético de uma amarra ferromagnética com o magnetômetro VSM

• Manter figura 1

• fixar I na valva max (I_{max}) e ajustar f_{lock} e amplitude de alimentação do alternador de modo a obter um nível de operação na bobina de detecção.

• Ajustar g_o do lock-in, selecionar a sensibilidade adequada e o modo de visualização (V_x, V_y)

• Verifica discretamente a corrente I , registrando (I, V_x, V_y)

Para medir o ciclo histerético completo:

$$I_{max} \rightarrow I = 0 \rightarrow \text{inverte polaridade} \rightarrow I = (-)I_{max}$$

$$\rightarrow I = 0 \rightarrow \text{inverte polaridade} \rightarrow I = I_{max}$$

11-11-2021

$$V_{L_1} = 1.03V, \text{ para } R = 115\Omega, f = 2000\text{Hz} \quad | \quad L_1 = 37.5\text{mH}$$

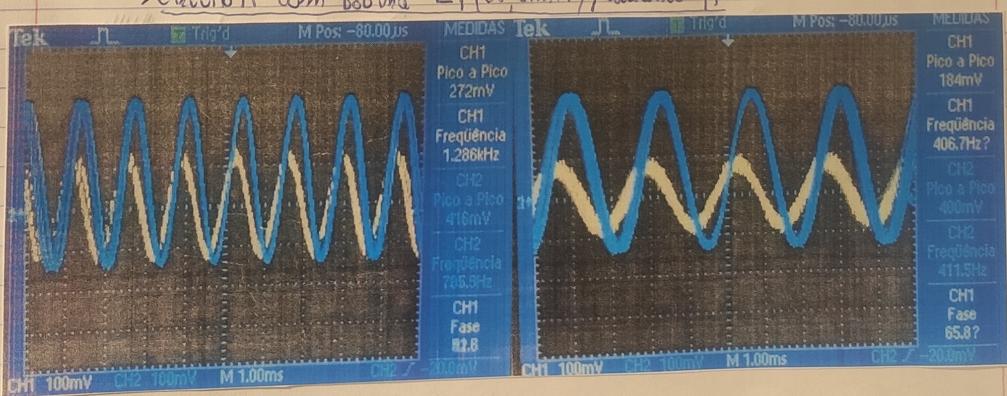
$$V_{im} = 94.5\text{mV} \quad | \quad L_2 = 24\text{mH}$$

Resultados e Análise

16-11-2021

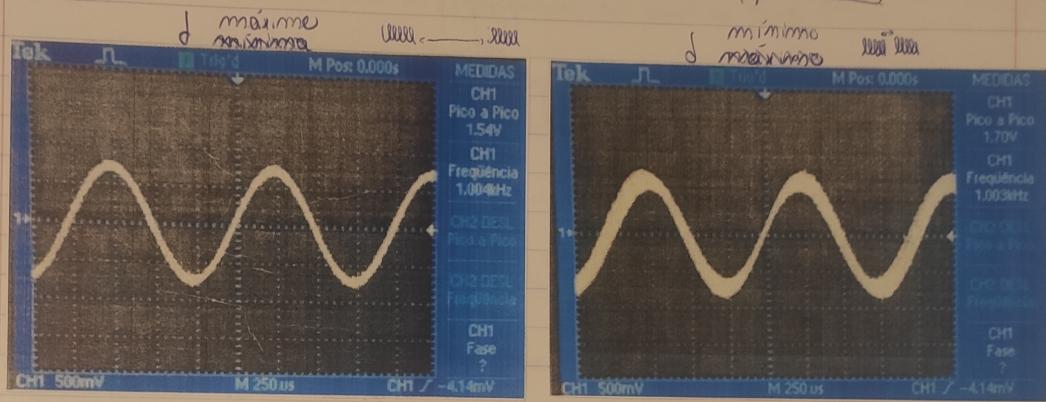
[1] Demonstração da técnica lock-in com circuitos indutivos

→ Circuito A com bobina L_1 (37.5mH), variando f_s

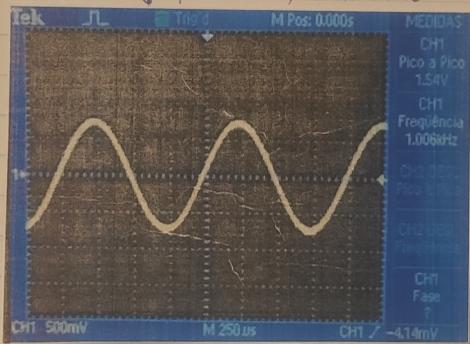


Observa-se que a diminuição da frequência leva à diminuição da amplitude e ao aumento da diferença de fase, como era de esperar.

→ Circuito A+B, variando a posição relativa das bobinas (δ constante)



Bobinas perpendiculars, d mínimo



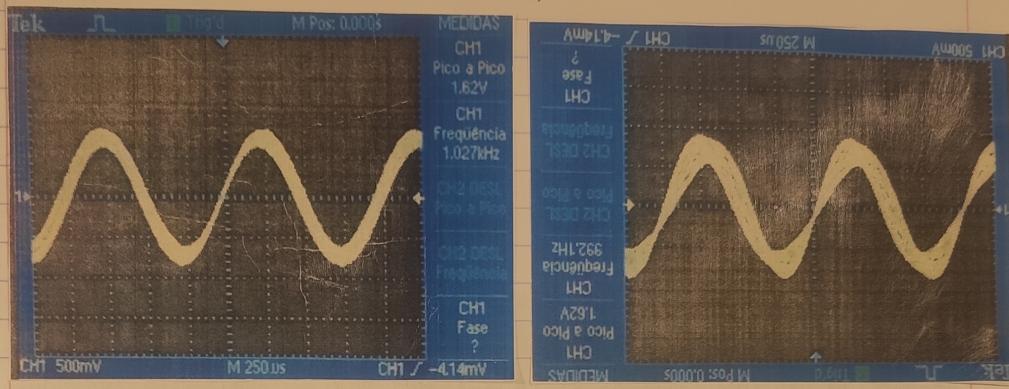
Quando para d máximo, não se nota qualquer tipo de interferência.
Para d mínimo (paralelo), nota-se a interferência máxima, havendo oscilações nas curvas das ondas.

~~Quando se encontram perpendiculars (para d máximo), não se observa qualquer tipo de interferência.~~

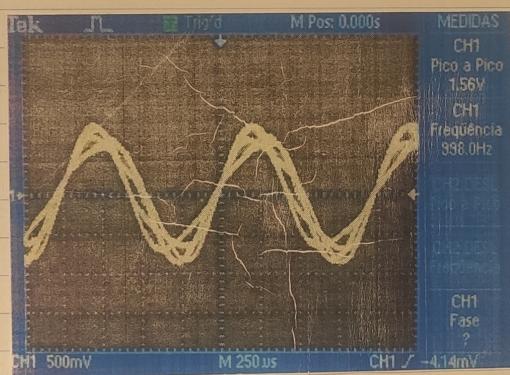
As interações entre as bobinas foram como esperado, ou seja, vultas interferências resultam de induções muito provocadas por campos magnéticos. Assim, como as induções diminuem com a distância e é máxima para os eixos das bobinas paralelos, conclui-se que o obtido faz sentido.

→ Circuito A+B com Lock-in

• Bobina L_1 (f_1 constante) variando f_2



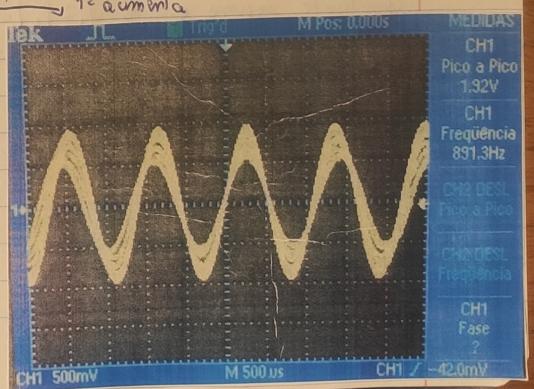
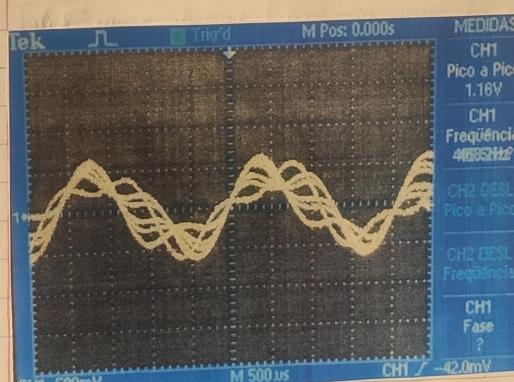
→ f_2 aumenta



→ f_2 aumenta

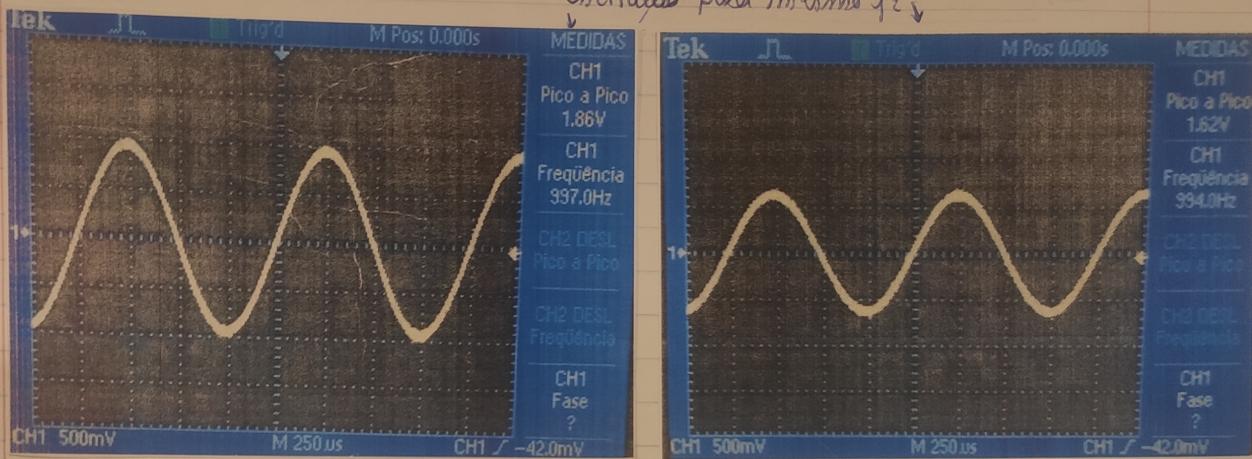
• Bobina L_2 variando f_2 (f_1 constante)

→ f_2 aumenta



inicialmente existem várias ondas sinusoidais de diferentes amplitudes sobrepostas, que com o aumento da frequência se começam a desfazer

f_2 aumenta



Quando $f_2 \ll f_1$, a onde está definida é ao aumentar f_2 ela rega as suas características iniciais. Para $f_2 \gg f_1$ a posição de equilíbrio do sinal permanece a oscilar.

- Vários a posição relativa das bobinas (mesmo circuito)

Notamos que ao variar a distância entre bobinas e o ângulo entre os eixos exix, o Lock-in sempre ~~sempre~~ manteve os mesmos valores (R constante como de esperar).

• ~~varia~~

• ~~varia~~

- Comportamento do Lock-In com a variação de f_2

Ao variarmos f_2 , notamos que no Lock-in o valor de R se mantém constante, mesmo quando $f_1 \neq f_2$ (o que não deve acontecer) variando apenas $\pm 2\text{mT}$.

[2] Medida do ciclo histerético de uma amarra ferromagnética

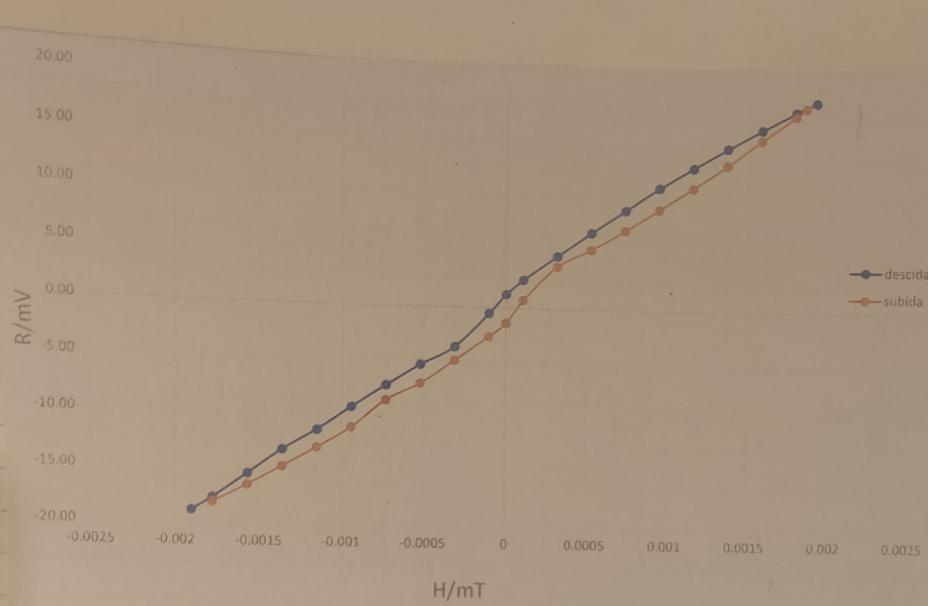
A bobina tem $N = 100$ e dimensão $d = (6,00 \pm 0,05) \text{ cm}$

Dados obtidos:

Gerador I/A $\mu=0.01$	V/V $\mu=0.01$	Lock-in sensibilidade=20mV			Valores calculados	
		$V_x/\text{mV } \mu=0.01$	$V_y/\text{mV } \mu=0.01$	f_{ref}	$\mu=0.1$	R/mV
0.91	31.00	-12.67	14.24	119.7	19.06	-48.339
0.85	29.19	-12.10	13.59	119.7	18.196	-48.31939
0.75	25.84	-11.00	12.37	119.7	16.55	-48.35496
0.65	22.45	-9.89	11.11	119.7	14.87	-48.32487
0.55	19.06	-8.70	9.76	119.7	13.07	-48.2864
0.45	15.58	-7.49	8.35	119.7	11.22	-48.1077
0.35	12.12	-6.09	6.84	119.7	9.16	-48.3197
0.25	8.68	-4.68	5.25	119.7	7.03	-48.28528
0.15	5.27	-3.21	3.62	119.7	4.84	-48.4353
0.05	1.81	-1.72	1.95	119.7	2.60	-48.58605
0.00	31.00	-0.82	0.95	119.7	1.25	-49.20062
-0.05	1.77	1.35	-1.49	119.7	-0.51	-47.82216
-0.15	5.16	2.41	-2.69	119.7	-3.61	-48.1425
-0.25	8.48	3.53	-3.96	119.7	-5.30	-48.28574
-0.35	11.81	4.84	-5.41	119.7	-7.26	-48.18293
-0.45	15.19	6.16	-6.94	119.7	-9.28	-48.40748
-0.55	18.59	7.50	-8.64	119.7	-11.44	-49.0402
-0.65	22.04	8.86	-9.94	119.7	-13.32	-48.28785
-0.75	25.47	10.36	-11.61	119.7	-15.56	-48.25638
-0.85	28.97	11.82	-13.27	119.7	-17.77	-48.30756
-0.91	31.00	12.63	-14.13	119.7	-18.95	-48.20829
-0.85	29.55	12.13	-13.54	119.7	-18.18	-48.14398
-0.75	26.21	11.08	-12.33	119.7	-16.58	-48.05646
-0.65	22.76	9.88	-11.08	119.7	-14.85	-48.27672
-0.55	19.33	8.71	-9.75	119.7	-13.07	-48.22452
-0.45	15.79	7.44	-8.32	119.7	-11.16	-48.19594
-0.35	12.27	5.75	-6.44	119.7	-8.63	-48.2397
-0.25	8.78	4.73	-5.22	119.7	-7.04	-47.81932
-0.15	5.32	3.25	-3.60	119.7	-4.85	-47.92498
-0.05	1.82	1.76	-1.93	119.7	-2.61	-47.63778
0.00	31.00	0.93	-1.01	119.7	-1.37	-47.36137
0.05	1.81	-1.49	1.68	119.7	0.75	-48.43003
0.15	5.27	-2.58	2.90	119.7	3.88	-48.34194
0.25	8.66	-3.63	4.13	119.7	5.50	-48.68664
0.35	12.08	-4.87	5.48	119.7	7.33	-48.37295
0.45	15.52	-6.20	6.94	119.7	9.31	-48.2233
0.55	19.00	-7.54	8.41	119.7	11.30	-48.12213
0.65	22.42	-8.92	9.96	119.7	13.37	-48.15294
0.75	25.91	-10.46	11.60	119.7	15.62	-47.95826
0.85	29.60	-11.88	13.27	119.7	17.81	-48.16343
0.88	31.00	-12.41	13.79	119.7	18.55	-48.01508

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

Utilizando $H = B = \frac{\mu_0 N I}{d}$ vêm as gráficas:

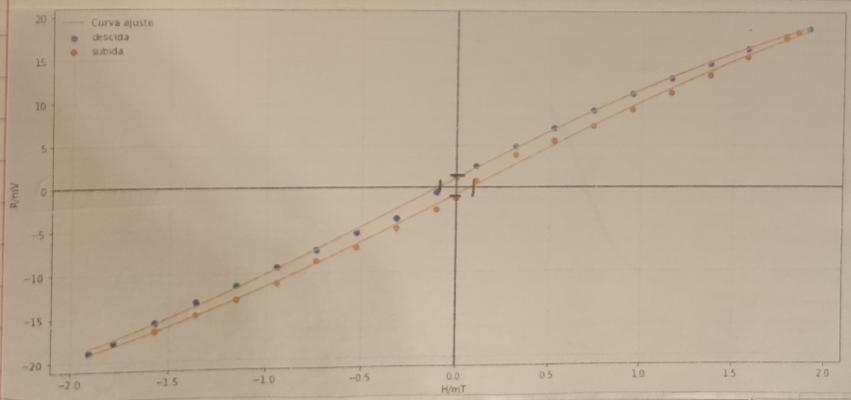


→ Banda de
Pura moço
Vini veia

Fazendo um ajuste à curva teórica (função de Brillouin aproximada à função de Langevin):

$$V = a \times \left[\frac{1}{\tanh(c(H-B_0))} - \frac{1}{c(H-B_0)} \right] + y_0$$

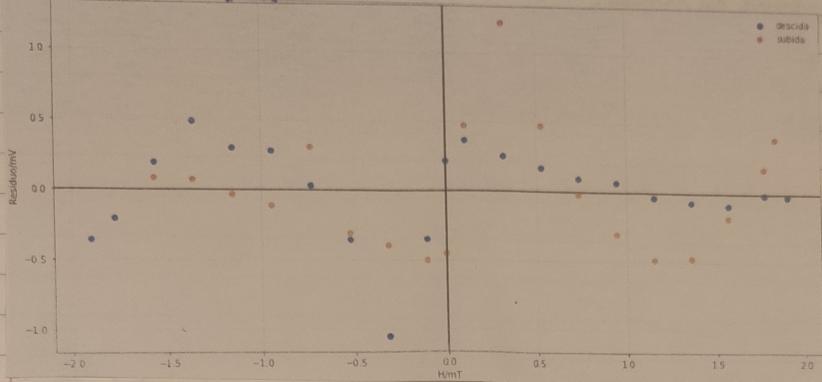
Vem:



parametros descida		
Valor	μ	$\mu/\%$
B/mT	-0.2	0.06
a	41.2	0.8
c	0.84	0.08
y_0/mV	-1.19	0.6
		50

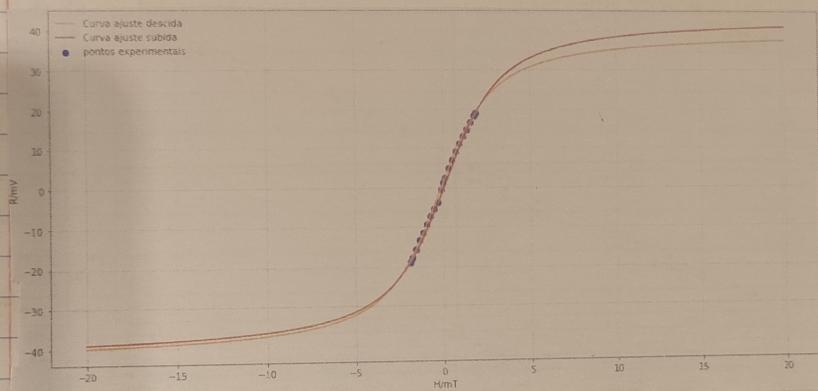
parametros subida		
Valor	μ	$\mu/\%$
B/mT	0.2	0.1
a	43	7
c	0.8	0.1
y_0/mV	1.1	0.8
		73

Resíduos do Ajuste



Resíduos não apresentam tendências paralelas e estão bem distribuídos. Devido-se realizar a análise nem eliminando os dois pontos mais afastados visto cada valor influencia o seguinte no ciclo histerético.

Calculando os valores do ajuste para um domínio maior vemos:



Ao analisar o gráfico notamos que a saturação ocorre por volta de 10 mT, o que é considerado bastante superior ao alcançado em laboratório. De maneira a alcançarmos a saturação num nível de intensidade menor, teríamos de usar diferentes bobinas ou, de modo a contrariar o efeito Joule no bobina, utilizar um interior de refrigeração.

estimam

Ao analisar a curva de ajuste podemos tirar de lá os valores de M_c e H_c de remanência e H de coercividade (intersecção com os eixos). Vem:

	Descida	Subida
H_c	-0.091	0.081
M_c	1.03	-0.92

Na realidade trata-se do valor de ΔV para $M = M_c$.

Perguntas da preparação para responder:

- 2) A principal semelhança é num ambas encritas RL , apenas diferindo nas características das suas componentes.
- 3) Tal como observou, quando as duas bobinas estão próximas ocorre indutância mutua, e tal como eu descrevi, observa-se no osciloscópio uma interferência provocada por L_1 , do circuito A.
- 4) Assegurou que o lock-in usa o sinal V_A como referência para extrair o sinal de medida dividido de maneira a não fique restar apenas os componentes DC.

Perguntas da análise para responder:

- 4) A base deve ter menor magnetização de mancha da bobina de deteção menor detecta nenhuma eventual magnetização remanescente do material em estudo.
- 5) Disse que as bobinas devem estar em operação para os campos gerados por elas se anulem.
- 6) o lock-in compõe um nível de entrada com um de referência, utilizando um multiplicador PSD sensível à fase ~~desconhecido~~, havendo $\Delta\phi$ entre o nível de entrada e o de referência.

Conclusão

No primeiro ponto foram estudadas circuitos indutivos e a importância do lock-in. Observou que quando duas bobinas se aproximam de maneira das suas camadas interfeirem mutuamente, a diferença de potencial mantém-se constante com deslocamento nas distâncias e valores. No segundo de maneira interferências matemáticas e o sinal pretendido, retornando valores com poucas flutuações.

Na segunda parte, foi possível observar o comportamento histerético de M em função de H ($M \propto V, M \propto I$)

Calculou-se $H_c = -0,091\text{mT}$ e $H_c = 0,081\text{mT}$ e ΔV nas bobinas quando $M = M_r$,
~~em~~ $V_R = 1,03\text{ mV}$ e $V_A = 0,92\text{ mV}$ após um ajuste tecnicamente à fumegó de Langevin

Também foi possível medir que $H_{sat} \approx 10\text{mT}$, o que é tecnicamente o valor
de H máximo calculado ($H = 1,903\text{mT}$) sendo impossível obter este regime com ~~estas~~ estas
condições experimentais.