

Trabalho 8

Monday, 10 October 2022 13:10

Medida de magnetizações com um
magnetômetro de anosta vibrante

• Objetivos

- Revisitar e solidificar a utilização do amplificador lock-in
- Medir o ciclo histerético de amostras ferromagnéticas pela técnica VSM
- Introdução ao estudo dos materiais magnéticos e suas propriedades

• Introdução

Como lecionado na UC de Eletromagnetismo II, a magnetização (\vec{M}) de um dado material com fatores controláveis — como o campo magnético aplicado (\vec{H}) ou a temperatura (T) — e o conhecimento experimental da sua dependência nesses fatores é imprescindível para o estudo e caracterização das suas propriedades magnéticas.

A magnetização é medida recorrendo a dispositivos cujo funcionamento combina efeitos magnéticos, associados à magnetização, com efeitos elétricos e/ou mecânicos, nos quais intervêm outras grandezas físicas diretamente mensuráveis.

Os métodos mais comuns dividem-se em 3

Os métodos mais comuns dividem-se em 3 categorias:

- medição de força exercida sobre uma amostra submetida a um campo magnético não-uniforme
- medição da indução magnética na vizinhança da amostra
- medição indireta de fenômenos que envolvem as propriedades magnéticas (por exemplo a resistividade elétrica ou a strain)

Todos os métodos usados na indução magnética envolvem a medida de tensão elétrica induzida numas várias bobinas de detecção por um fluxo magnético alterado devido a uma alteração da posição relativa da amostra e das espiras de detecção.

Recordando de Eletrromagnetismo,

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

podemos então definir \vec{H} como o campo magnético que um magnete disponibiliza à sua vizinhança enquanto \vec{B} descreve a densidade das linhas de campo que atravessam uma dada área S na vizinhança do magnete. Caso S esteja no interior de um material magnetizável, pode-se pensar em \vec{B} como o campo magnético total, resultante de soma do campo aplicado, \vec{H} , e da magnetização, \vec{M} .

• Técnica VSM - Vibrating Sample Magnetometer

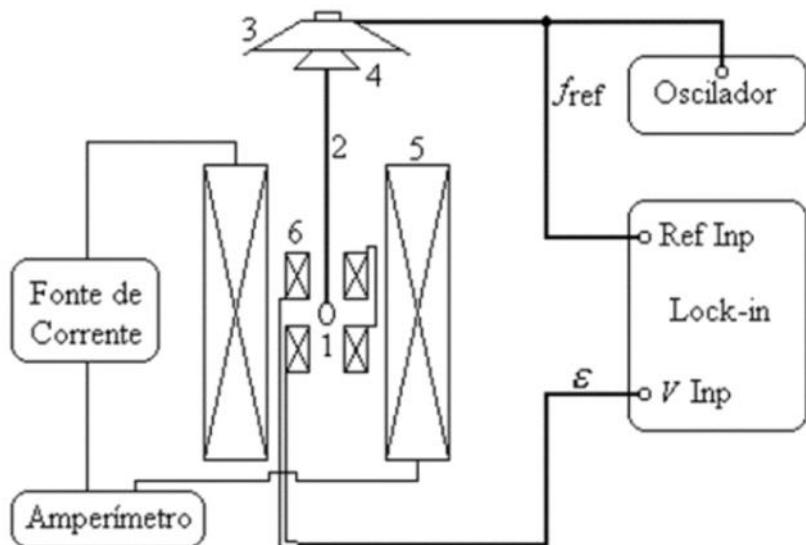


Figura 1: Diagrama bloco do magnetômetro VSM: 1 - amostra; 2 - barra porta-amostra; 3 - altifalante; 4 - estrutura de cartão; 5 - bobine de campo; 6 - bobines de detecção.

No figura 1 está o magnetômetro de amostra vibrante que vai ser utilizado neste trabalho. A amostra (1), presa na extremidade da barra (2), é feita vibrar com uma frequência de orden de 100 Hz através do altifalante (3) e a estrutura nele colada (4). O deslocamento da amostra é no eixo \vec{z} , comum à bobine de campo (5) e às bobinas de detecção (6), ligadas em oposição-série.

Definindo

$$\vec{H} = H \vec{u}_z$$

$$\vec{m} = \vec{V} M \vec{u}_z = m \vec{u}_z$$

A existêcia de M justifica-se pelo aperçimento duma indução magnética $\vec{B}_M(\vec{r})$, como visto na seguinte figura.

Caso visto na seguinte figura

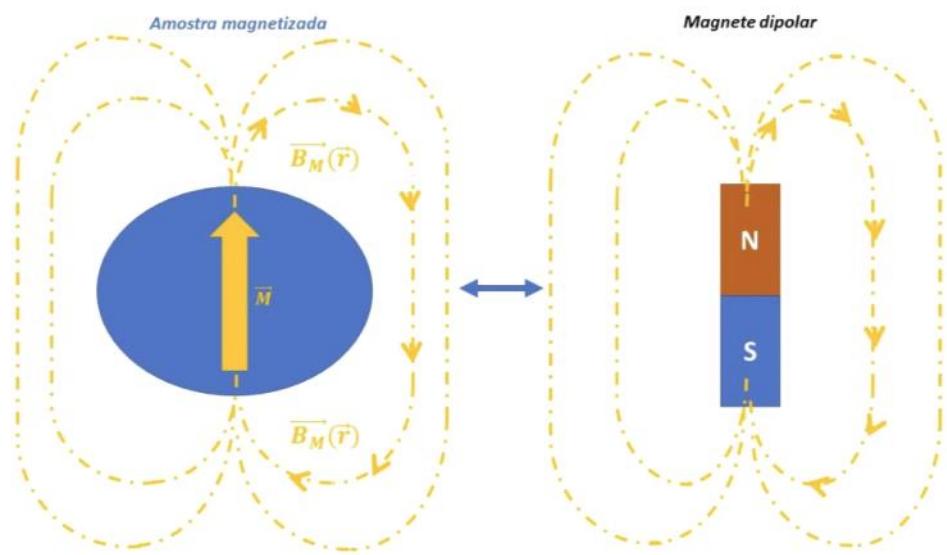


Figura 2: Representação esquemática do vector densidade de fluxo de campo magnético ou indução ($\vec{B}_M(\vec{r})$) gerado por uma amostra esférica magnetizada e equivalência com o vector de um magnete dipolar típico.

Caso B_M é proporcional ao momento magnético da amostra, o fluxo de \vec{B}_M através de cada bobina de detecção, considerando que estão centradas em $z \pm h$, pode ser escrito como

$$\Phi_M^{\pm} = \pm F(z \pm \frac{h}{2}) n$$

F é uma função geométrica que depende de $(z \pm \frac{h}{2})$, do número de espiras de cada bobina de detecção e de parâmetros de configuração geométrica das bobinas.

Considerando todas as bobinas em série,

$$\Phi_M(z) = \Phi_M^+(z) + \Phi_M^-(z) = [F(z + \frac{h}{2}) + F(z - \frac{h}{2})] n$$

$$K(z)$$

$$\Phi_M(z) = K(z) \cdot a$$

Assumindo que a amostra é centrada em $z=0$, a sua posição é dada por

$$z = A \cos(\omega t)$$

Assim, a f.e.m induzida é dada pela lei de Faraday - Henry,

$$E(t) = - \frac{d\Phi_M}{dt} = - K'(0) \frac{dz_m}{dt}$$

$$= [K'(0) A \omega m] \operatorname{sen}(\omega t)$$

Podemos então determinar a magnetização a partir da f.e.m.,

$$E(\omega) = K'(0) A \omega m$$

Neste trabalho, limitaremos a medir E , que permite estudar o comportamento histerético das amostras ferromagnéticas com base em aproximações.

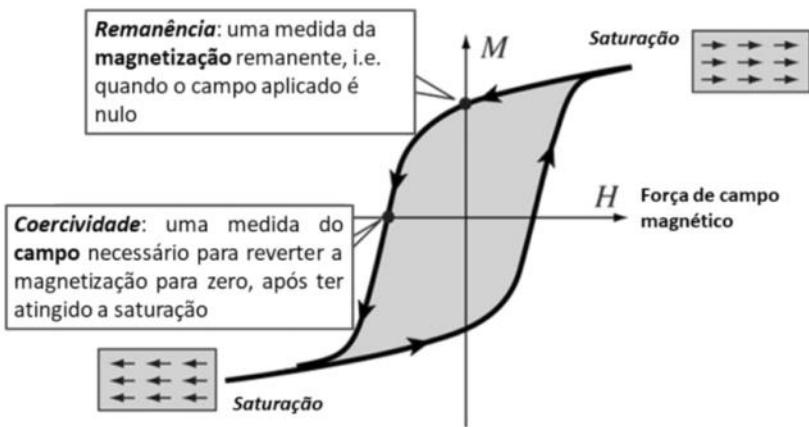


Figura 3: Representação esquemática de um ciclo histerético de uma amostra ferromagnética. Destaque para o significado das grandezas de magnetização remanente, magnetização de saturação e campo coercivo.

• Técnica Lock-in

Útil para medição de sinal com ruído baixa razão SNR, ou seja, pequena amplitude mascarada por ruído elétrico.

O lock-in funciona não só como instrumento de medida mas também como amplificador.

A técnica requer que o circuito experimental seja excitado com uma frequência fixa numa região relativamente "calma" do espectro de ruído.

Fornecem-se 2 sinais ao lock-in:

(i) um sinal periódico que corresponde V_{ref} , estável à frequência f_{ref} do sinal que interessava medir

(ii) o sinal V_i contendo, em geral, várias

(ii) O sinal V_i contendo, em geral, várias componentes oscilatórias a frequências arbitrárias f_i (ou ω_i) entre as quais se encontra o sinal que se pretende medir.

Pode-se subtrair os sinais de modo a estudar o sinal de ruído.

$$V_i = V_A - V_B$$

$$V_s = A \times V_i$$

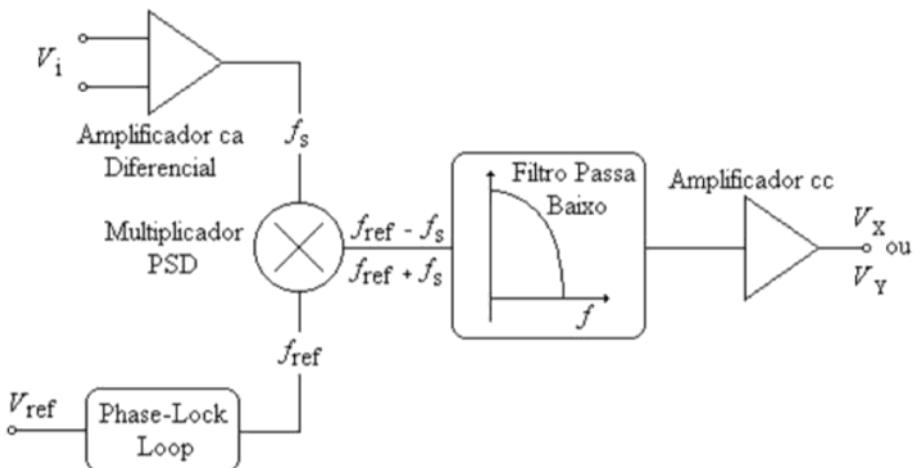


Figura 4: Diagrama de blocos simplificados da electrónica associada a uma das saídas V_x ou V_y do lock-in.

O sistema lock-in tem dois circuitos como o representado na figura 4, o circuito PSD que compara o sinal de entrada com o sinal de referência gerado no circuito PLL.

Os sinais em quadratura resultantes dos dois blocos PSD são filtrados por FPB. O sinal de saída pode ser convertido em grandeza Fasor:

$$R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \approx V_s$$

$$R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \approx V_s$$

$$\phi = \arctg \left(\frac{V_x}{V_y} \right)$$

• Procedimento

- Lock-in com circuitos indutivos acoplados

1. Montar os seguintes circuitos:

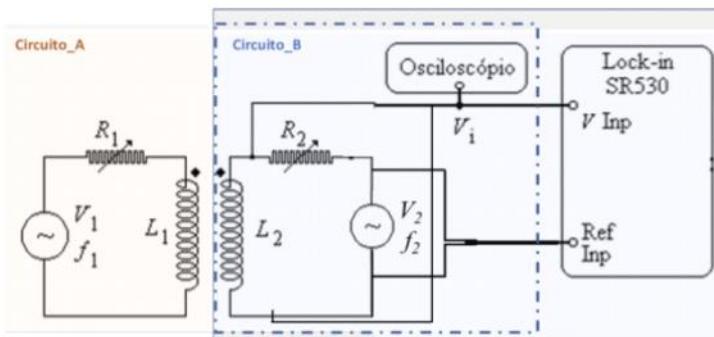
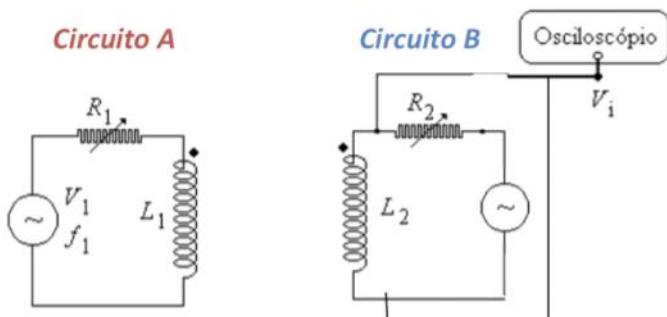


Figura 5: Circuitos RL acoplados para demonstração da técnica lock-in: circuito_A, circuito oscilante, à frequência f_1 ; circuito_B, circuito oscilante à frequência f_2 , e medida da tensão em R_2 ; circuito_final, circuito geral, com acoplamento electromagnético entre circuitos A e B.

2. Ligar os dois gerador, garantindo que $f_1 \neq f_2$, e aproximar as duas bobinas. Anotar o que fôr observado

O gerador $V_2(f_2)$ é como "um simulador"

O gerador $V_2(f_2)$ é como "um simulador" de um sinal a estudar e o $V_1(f_1)$ é como "um simulador" de ruído que se sobrepõe ao sinal de interesse.

3. Adicionar o lock-in ao circuito.

note: os geradores têm uma saída TTL, com designação "Sync Out" que pode ser usada como referência.

(a) Variação f_1 do circuito 1 e observar o resultado no osciloscópio. Observar simultaneamente o sinal mediado no lock-in, ajustando se necessário R_1 e R_2 .

(b) Registrar o que acontece quando f_1 se aproxima da freq.

(c) Estudar o efeito de alterações do acoplamento entre as duas bobinas.

- Medida do círculo histerético de um amostra

1. Montar o circuito da figura 1

2. Fixar a corrente I no seu valor e registrar o seu valor

nota: Para evitar efeitos de aquecimento na bobina de campo, é de

na bobina de campo, é de
evitar manter a corrente no valor
máximo durante muito tempo.

3. Ajustar a frequência ($f_{ref} \approx 120\text{ Hz}$)
e a amplitude da alimentação do alternador
de modo que E seja apreciável nas bobinas
de detecção.
4. Certificar que o lock-in consegue
identificar f_{ref} . Ajustar a fase ϕ_0 do lock-in
de modo a garantir a quadratura entre os
sinais. Selecionar a sensibilidade adequada
para realizar boas medidas. Selecionar o
modo de visualização das medidas (R, ϕ)
ou (V_x, V_y) .
5. Varier discretamente a corrente I ,
registando para cada valor de I , a saída
 V_x de E .
- nota : Para medir o ciclo histerético
completo:
- diminuir desde I_{max} a 0
 - com $I=0$, inverter a polaridade
de fonte de corrente
 - voltar a aumentar de 0
a I_{max} e repetir os passos
(a) e (b)
 - aumentar I de 0 a I_{max}

(e) terminar as medidas anulando I

6. Tentar ajustar uma função de Brillouin à curva histerética medida:

$$m_a \propto \text{Brillouin} (c \times (B - B_0))$$

sendo a e c constantes a determinar.

A função de Brillouin pode aproximar-se pela função de Langevin:

$$L(x) = \coth(x) - \frac{1}{x}$$

a partir desta aproximação, estimar a corrente máxima necessária para atingir a saturação na amostra.

• Registo no Laboratório

Montamos os circuitos A e B, conforme o protocolo,

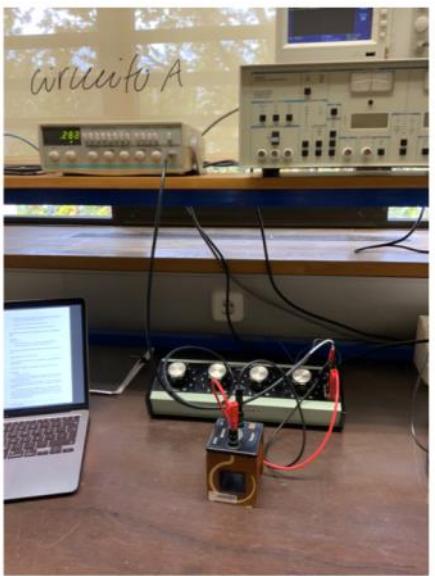


figura 1: circuito A

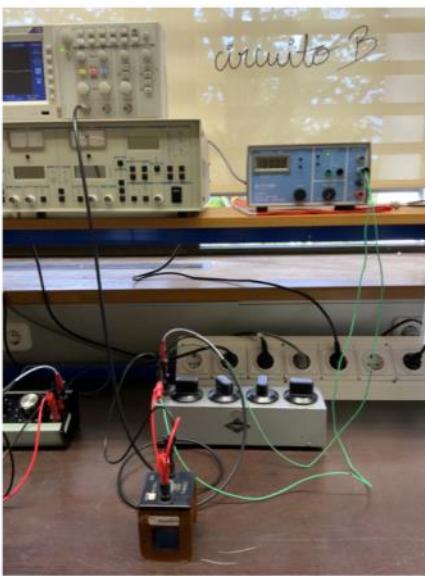
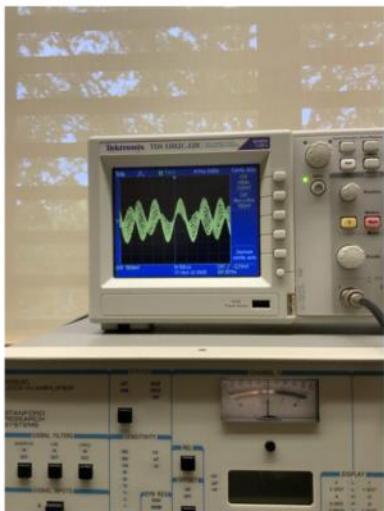
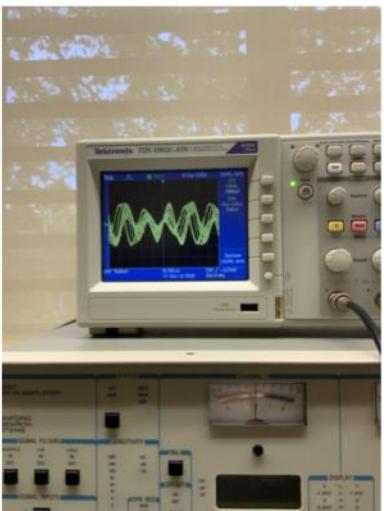
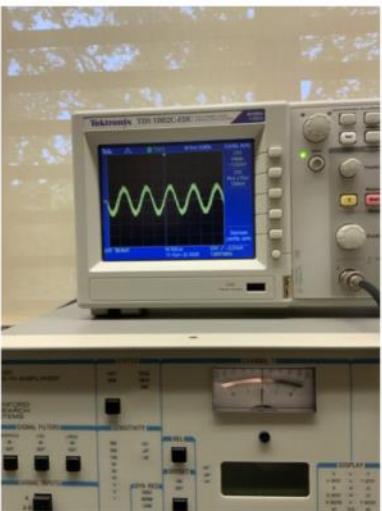


figura 2: circuito B

O sinal a ser medido é o que passa no circuito B, enquanto o sinal em A simula o ruído que interfere na medição.

No laboratório, ambos os sinais foram analisados individualmente e em conjunto no osciloscópio. Verificou-se que o sinal de A sobrepuja-se ao de B, dificultando a análise deste.

Mostrando o sinal do circuito B no osciloscópio e aproximando as bobinas, visualizou-se o seguinte:



figuras 3:

Em seguida, ligaram-se os circuitos ao lock-in, ajustou-se este para as definições necessárias

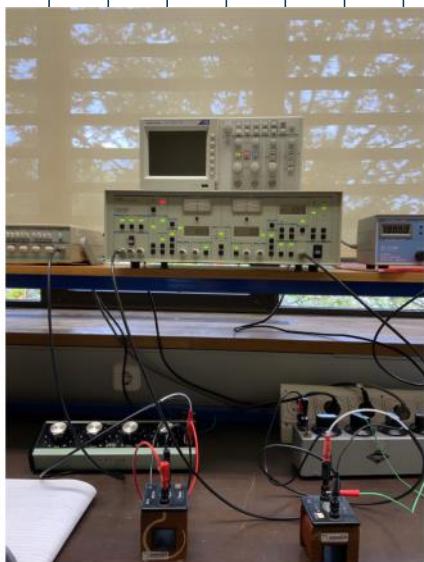


figura 4: montagem cl lock-in

Com o lock-in, manteve-se a frequência de fonte 2 constante enquanto se variou a de fonte 1 de 0 a f_2 .

notes:

- $0 < f_1 < f_2$: Muita interferência, distorcendo o sinal. No entanto, quando

• $f_1 \ll f_2$: Muita interferência, distorcendo o sinal. No entanto, quando ligado ao lock-in não se observam as mesmas distorções, medindo um sinal de acordo com o sinal produzido no gerador B.

• $f_1 \approx f_2$: O sinal aparentava estar estável, aproximando-se de um sinusóide pois o lock-in tinha dificuldade em filtrar corretamente o ruído. Visualizou-se um beatimento, que era de esperar,

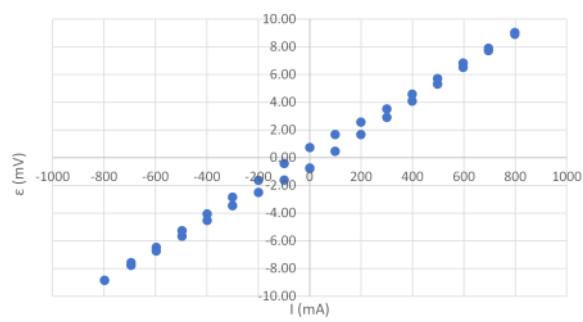
$$\cos(f_1 t) + \cos(f_2 t) = 2 \cos\left(\frac{f_1 + f_2}{2} t\right) \sin\left(\frac{f_1 - f_2}{2} t\right)$$

$$\approx 2 \cos(f_{\text{ref}} t) \cos(\delta t)$$

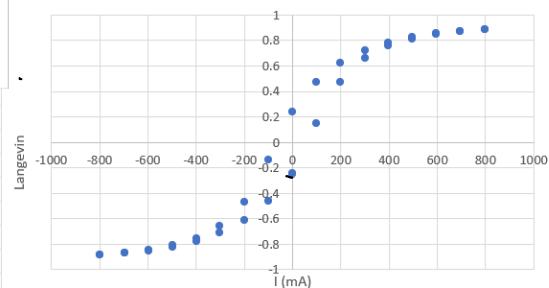
ou seja, a medição do lock-in oscila com frequência δ .

→ Para a medição do ciclo histerético com o magnetômetro VS1

obteve-se então os seguintes resultados,



gráficos relativos ao comportamento histerético



os valores de Langevin foram calculados assim,

$$L = \operatorname{cotg}(R) - \frac{1}{R}$$

e como é sabido, R depende de I segundo a lei de Ohm, pode-se então traçar o gráfico acima.

Verifica-se o comportamento histerético da amostra, tal como esperado.

→ Pessorância: quando $I=0 \Rightarrow E=2,37\text{ mV}$
ou seja, que quando o campo é nulo existe uma magnetização na amostra

Conclusões

- Foi possível implementar o Lock-in, em ambos os estudos, verificando a utilidade do seu uso

- Verificarse o ciclo histerético de una muestra
- Verificarse, también o fenómeno de resonancia.

Conclui-se, então, que o protocolo adoptado é adequado para os objetivos propostos.