

~~Desafio~~

# 2012 Física Experimental 3

## Aula 4: Lei de Faraday

Prof. Eloisa Szanto  
eloisa@dfn.if.usp.br

Ramal: 7111

Pelletron

Prof. Henrique  
Barbosa  
hbarbosa@if.usp.br

Ramal: 6647

Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin  
nelson.carlin@dfn.if.usp.br

Ramal: 6820

Pelletron

Prof. Paulo Artaxo  
artaxo@if.usp.br

Ramal: 7016

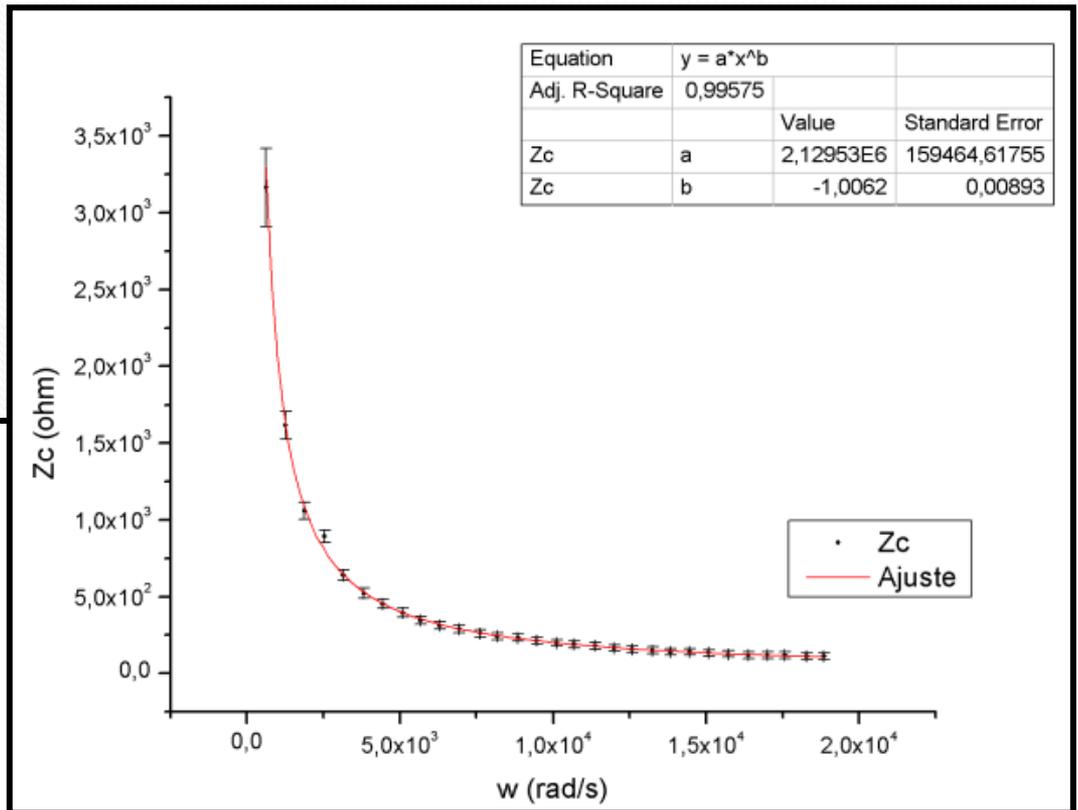
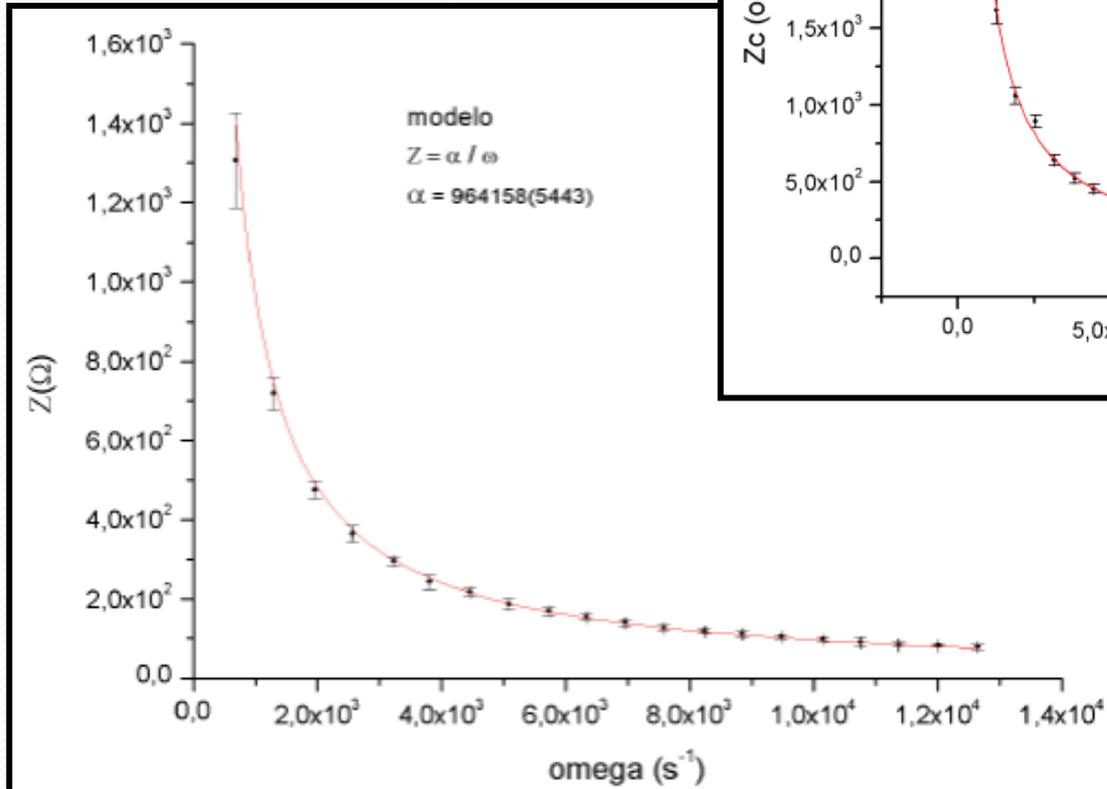
Basilio, sala 101

# Tarefas 1: Capacitor

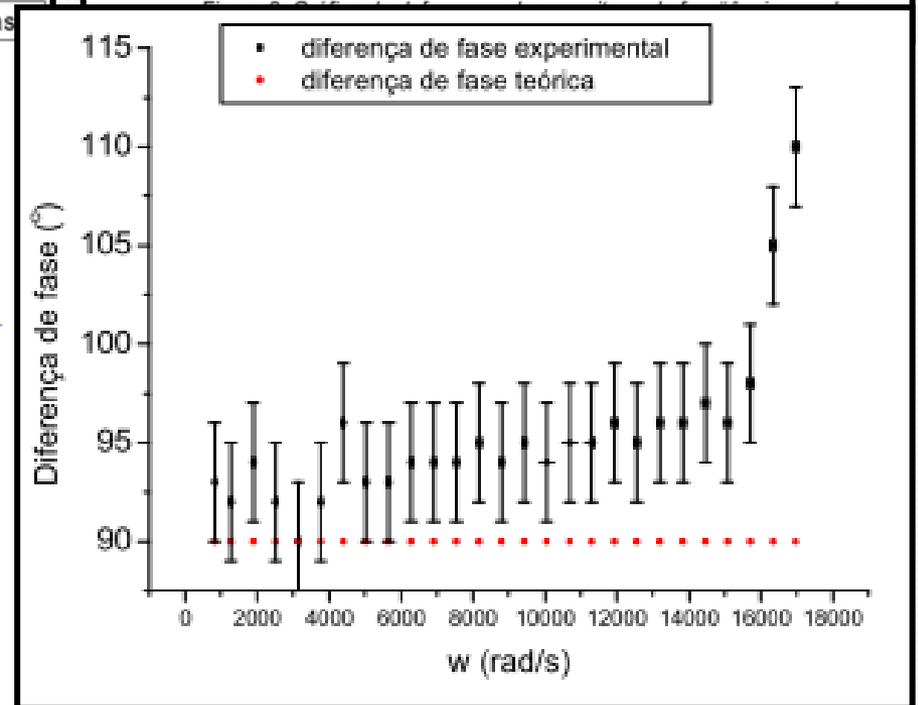
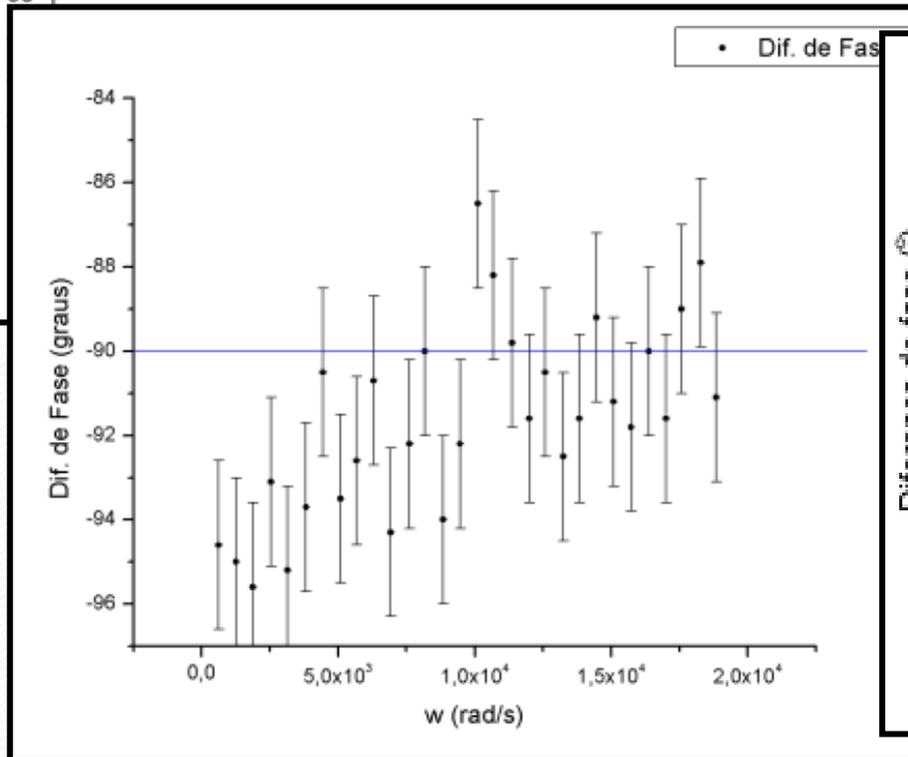
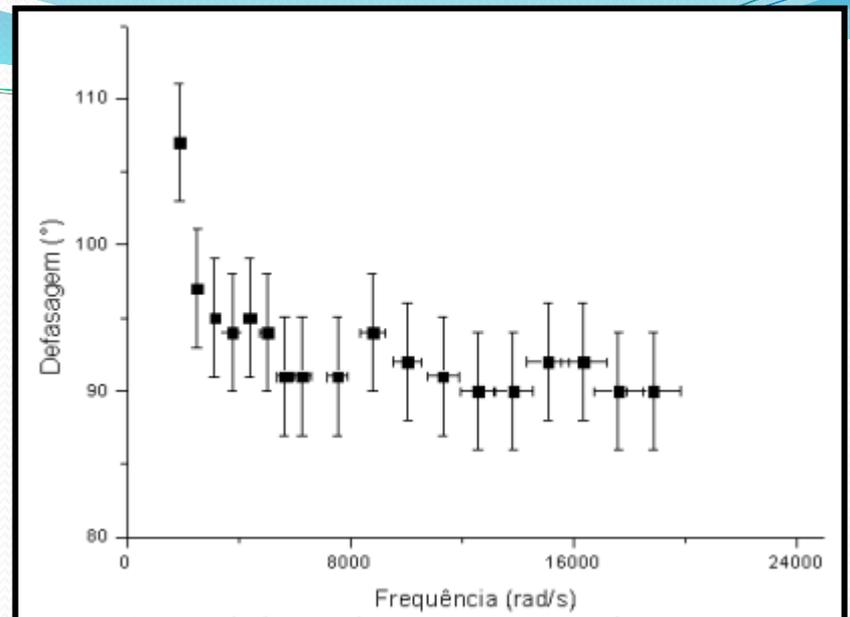
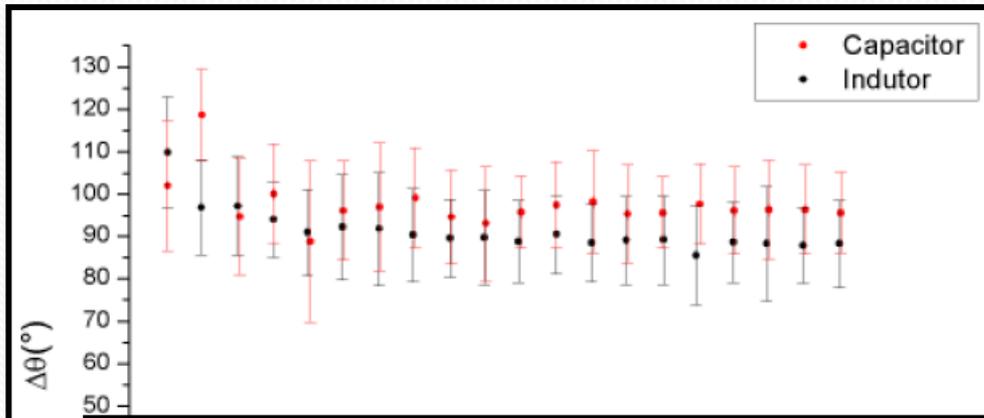
- Medir a impedância do capacitor em função da frequência
  - Fazer um gráfico da impedância por frequência verificar se a relação teórica prevista é obedecida
  - obter o valor da capacitância e comparar com os valores dos colegas
- Medir a diferença de fase entre a corrente e a tensão no capacitor e comparar com o valor previsto teoricamente.
  - Fazer um gráfico da fase por frequência verificar se a relação teórica prevista é obedecida
  - Comparar também com os valores de seus colegas

# Z Capacitor

$$Z_C = \frac{1}{\omega C}$$



# Fase Capacitor



# Resultados da Sala

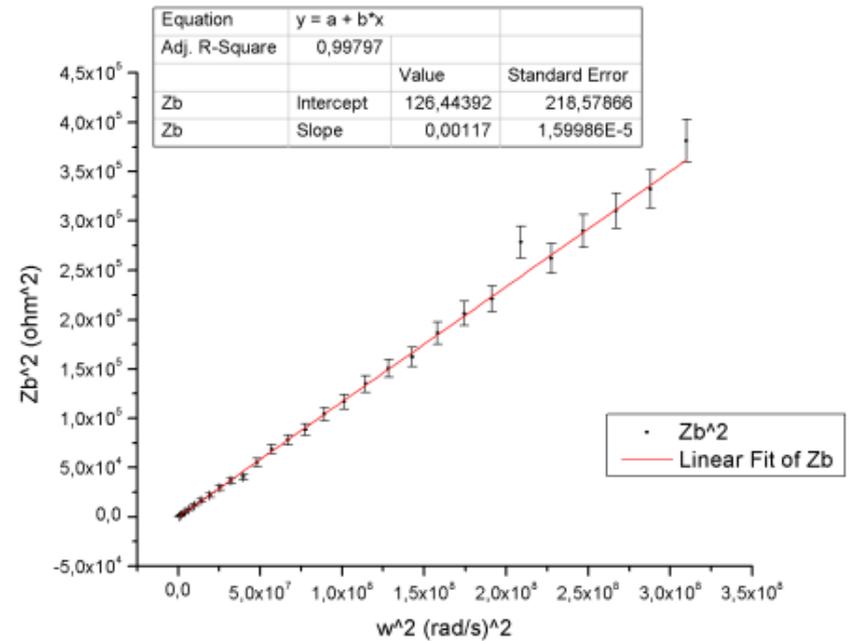
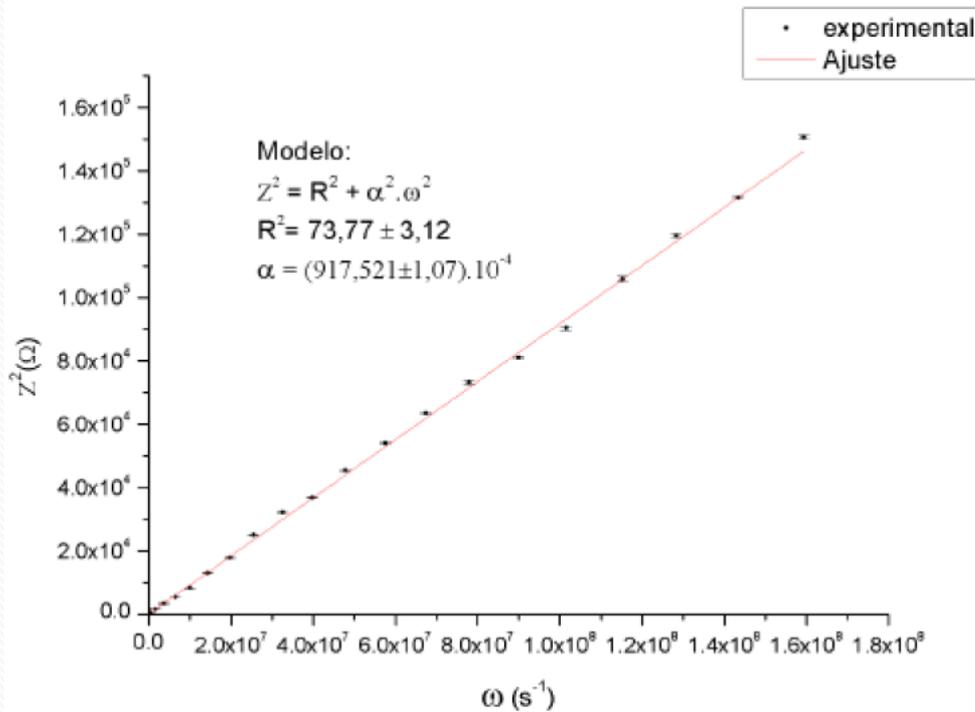
|    | C<br>$\mu\text{F}$            | Nominal<br>$\mu\text{F}$ |     | C<br>$\mu\text{F}$ | Nominal<br>$\mu\text{F}$ |
|----|-------------------------------|--------------------------|-----|--------------------|--------------------------|
| H1 | 4.98 (4)                      | 0.47                     | H12 | 1.077 (1)          | 1                        |
| H2 | 0.48 (5)                      | 0.47                     | H13 | 0.500 (4)          | 0.470 (5)                |
| H3 | 0.507 (1)                     | 0.529 (53)               | H14 | 1.06 (5)           | 1.00 (5)                 |
| H4 | 93.0 (4)                      | 75.0 (1)                 | H15 | 0.99 (82)          |                          |
| H5 | 0.49 (2)                      | 0.47                     | H16 |                    |                          |
| H6 | 1.1 (1)                       |                          | H17 |                    |                          |
| H7 | 0.50 (3)                      | 0.47 (5)                 | H18 | 0.60(5)            | 0.47 (5)                 |
| H8 | 0.60 (5)                      | 0.47 (5)                 | H19 | 1.037 (5)          |                          |
| H9 | 0.552974<br>(3638200)E<br>-17 |                          |     |                    |                          |

# Tarefas 2: Indutor

- Medir a impedância da bobina fornecida (250, 500 ou 1000 espiras) em função da frequência
  - Fazer um gráfico da impedância por frequência verificar se a relação teórica prevista é obedecida
  - obter o valor da indutância e comparar com os valores dos colegas e com o valor nominal
- Medir a diferença de fase entre a corrente e a tensão no indutor e comparar com o valor previsto teoricamente
  - Fazer um gráfico da fase por frequência verificar se a relação teórica prevista é obedecida
  - Compare com os valores obtidos por seus colegas

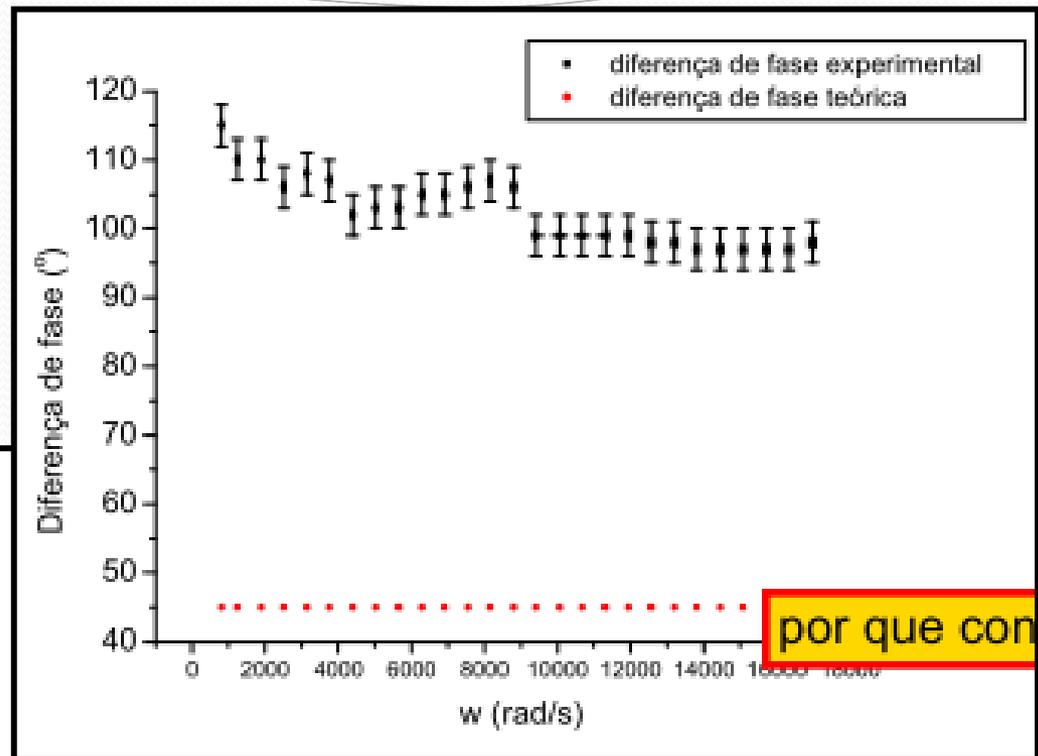
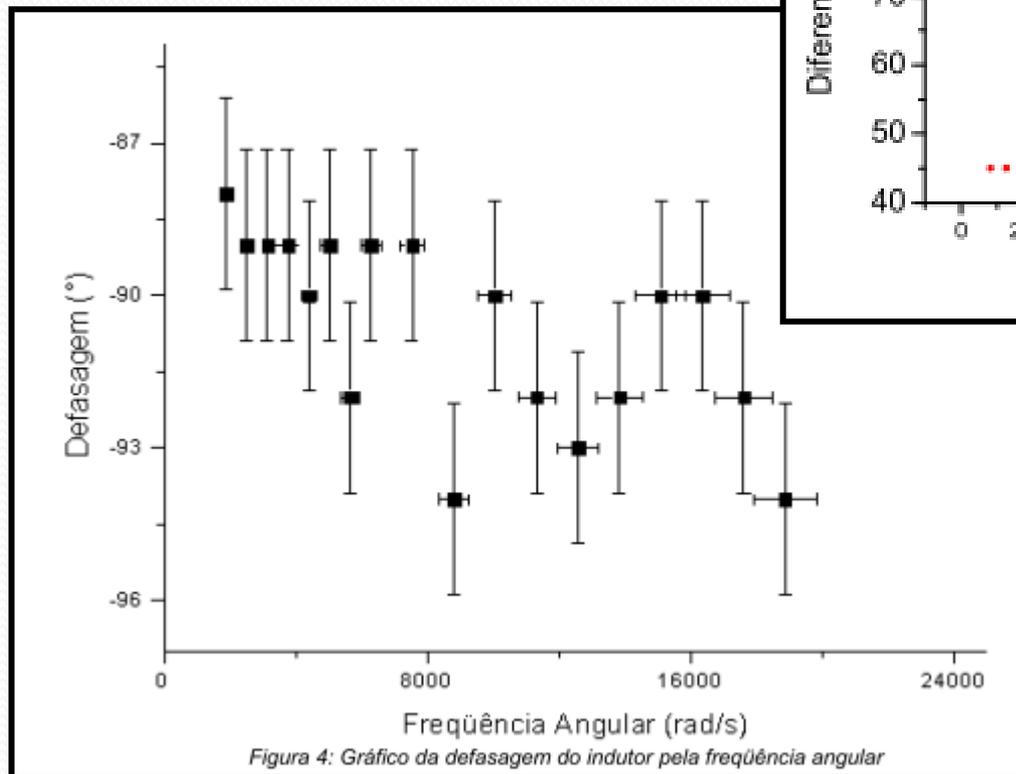
# Z indutor

$$Z_B = \sqrt{R_B^2 + \omega^2 L^2}$$



# Fase Indutor

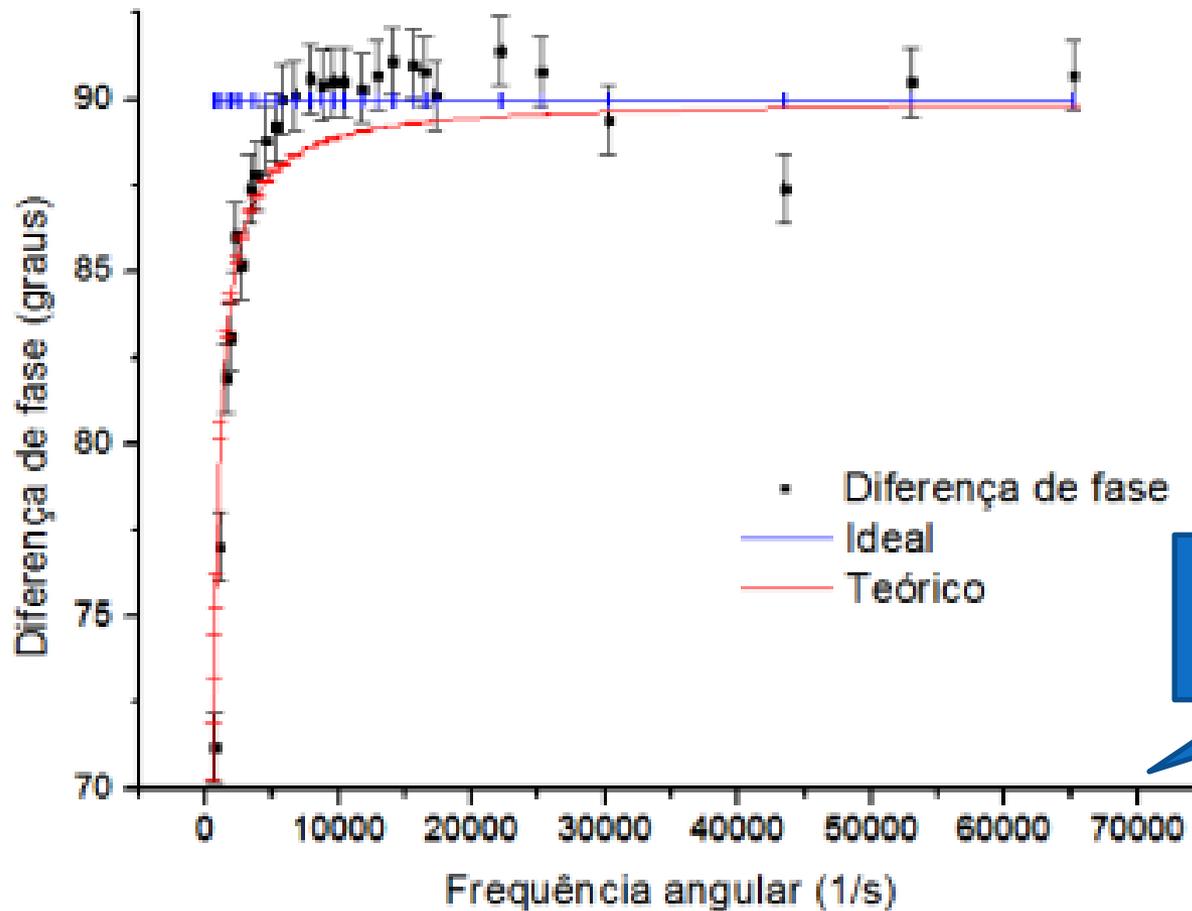
$$\varphi = \arctan\left(\frac{\omega L}{R_b}\right)$$



# Fase do Indutor, o que era esperado?

$$\Phi = \arctg\left(\frac{\omega L}{R_B}\right).$$

NÃO esquecer que  $f$  e  $\omega$  são diferentes ( $2\pi$ ) !!



Faltou colocar em escala log...

# Resultados da Sala

|    | L<br>mH         | Nominal<br>mH |     | L<br>mH   | Nominal<br>mH |
|----|-----------------|---------------|-----|-----------|---------------|
| H1 | 2.9 (2)         | 10.0 (3)      | H12 | 17 (2)    | 10 (3)        |
| H2 | 30.97 (4)       | 29.9 5%       | H13 | 10.05 (6) | 10.0 (1)      |
| H3 | 9.94 (59)       |               | H14 | 10.4 (5)  | 10 (3)        |
| H4 |                 |               | H15 | 33.9 (34) | 34.0 (1)      |
| H5 | 31.3 (4)        | 34            | H16 |           |               |
| H6 | 33.8 (1)        | 34            | H17 |           |               |
| H7 | 2.53 (14)       | 2.6 (3)       | H18 | 38.6 (2)  | 34 (3)        |
| H8 | 38.6 (2)        | 34 (3)        | H19 | 30 (8)    |               |
| H9 | 1.80584<br>(19) | 2.5 (3)       |     |           |               |

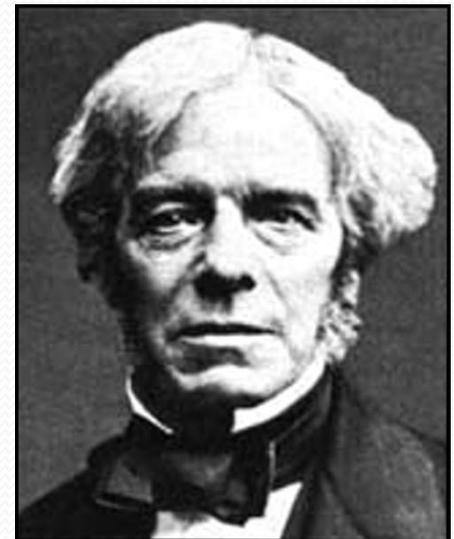
# Tarefas 3: para pensar

- Além do que foi medido e com as diferenças de fase medidas calcule:
  - A potência média transferida ao resistor, por ciclo.
    - $V^2/R$
  - A potência média transferida ao capacitor, por ciclo.
    - **NULA**
  - A potência média transferida ao indutor, por ciclo.
    - **$V^2/RL$ , SENDO QUE V NO INDUTOR AUMENTA COM A FREQUENCIA**

# Calendário

- 30/10 - ultima discussão da experiência 3
- 6 /11 - APRESENTACAO #2 da eletiva
- 9 - Entrega do relatório da experiência 3
- 13 - acompanhamento da eletiva
- 20 - acompanhamento da eletiva
- 27 - APRESENTACAO #3 (final)

# Faraday e Maxwell



**1791-1867**

# O potencial elétrico

- Definição de potencial: para um deslocamento qualquer  $d\mathbf{r}$  na posição, a variação  $dV$  no potencial é dada por:

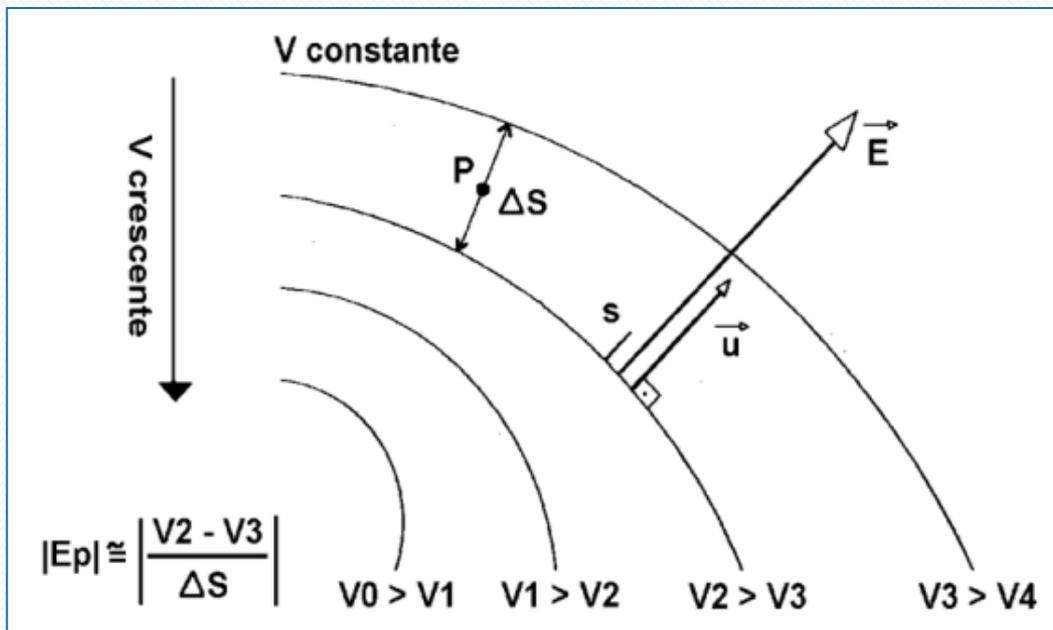
$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \cos \theta$$

$\theta$  é o ângulo entre o vetor campo elétrico  $\mathbf{E}$  e o vetor deslocamento  $d\mathbf{r}$

- A máxima variação  $dV$  no potencial ocorre quando  $d\mathbf{r}$  e  $\mathbf{E}$  são paralelos
- Quando  $d\mathbf{r}$  e  $\mathbf{E}$  são perpendiculares entre si,  $dV=0$ , que significa que  $\mathbf{E}$  é perpendicular às superfícies equipotenciais.

# O campo elétrico

- $\mathbf{u}$  é um versor perpendicular à equipotencial e  $s$  é a coordenada na direção do sentido de  $\mathbf{u}$ :

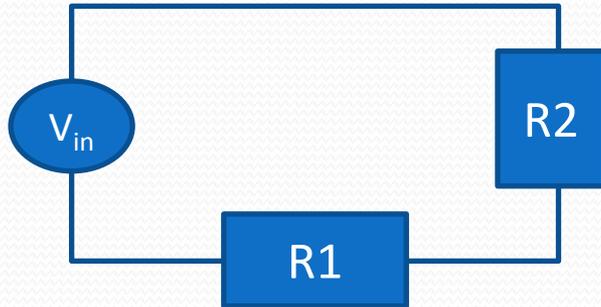


$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

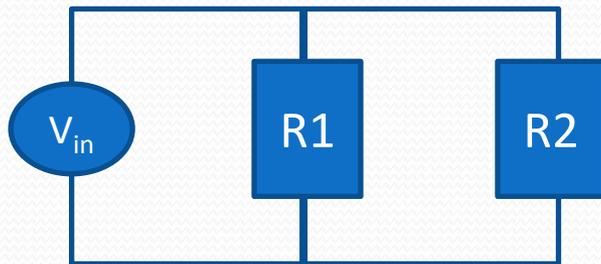
$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V$$

# Circuitos simples (1)



$$i = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{in}$$

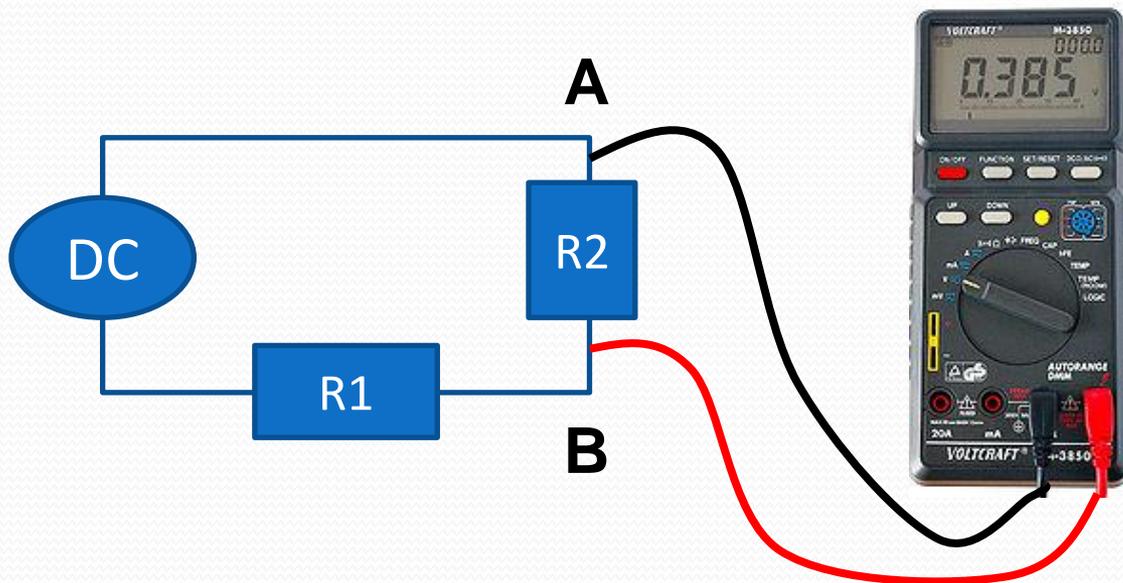


$$V_{in} = V_1 = V_2$$

$$i_1 = \frac{V_{in}}{R_1}$$

# O que um voltímetro mede???

- Voltímetros (e osciloscópios) são, em geral, dispositivos ôhmicos de alta resistência.
  - medem a integral de linha do campo **elétrico através de si próprios**
  - se o campo é conservativo (a medida independe do caminho) e essa integral é a mesma que a integral através do elemento do circuito



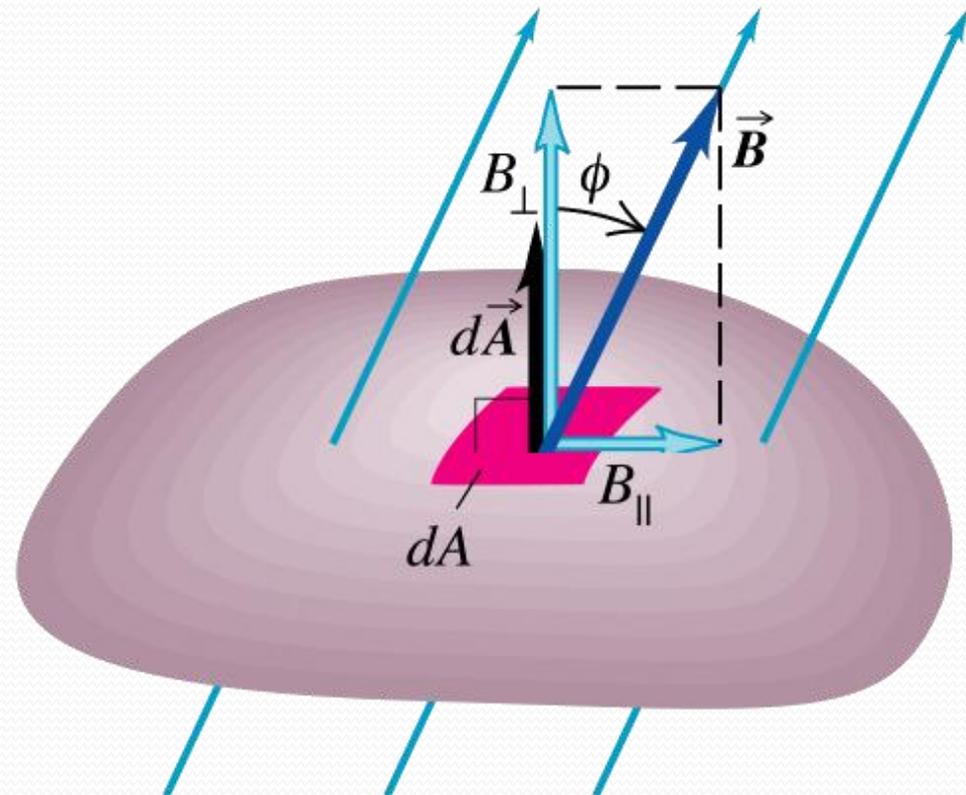
$$\int_{A\widehat{R}_2B} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_{A\widehat{Mult}B} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

# Lei de Faraday

- Quando o fluxo do campo magnético está variando, aparece uma força eletromotriz induzida.

$$\mathcal{E} = - \left( \frac{d\Phi_B}{dt} \right)$$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot \vec{n} da$$
$$\vec{n} da = d\vec{A}$$



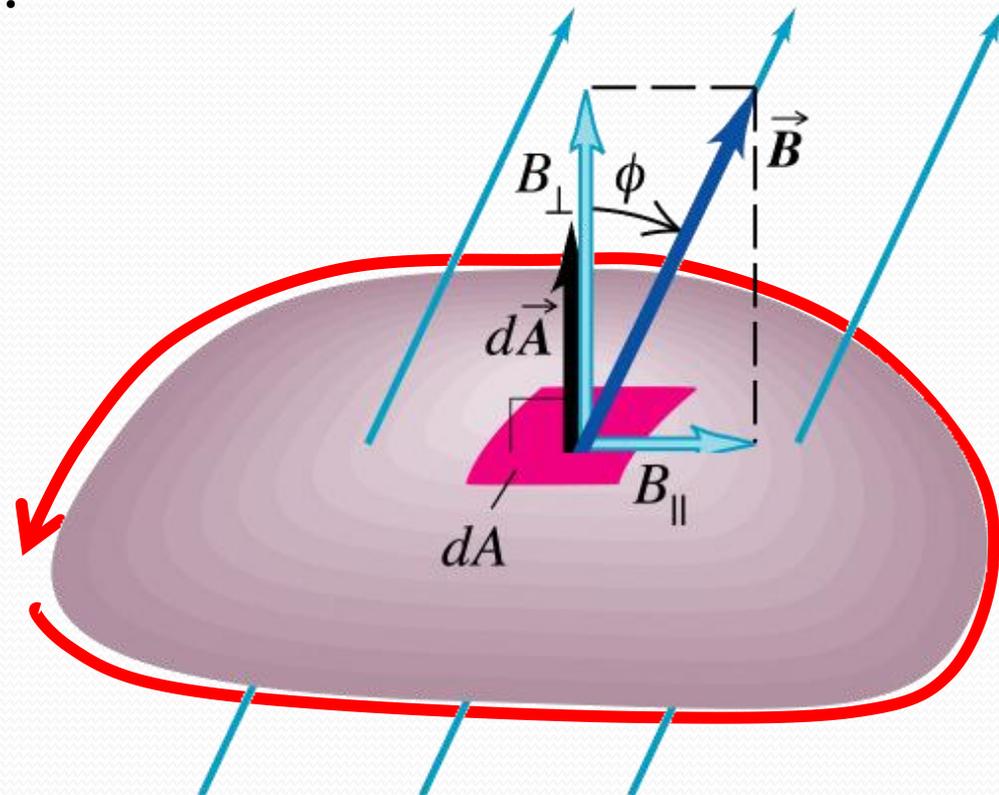
# Lei de Faraday

- Ou seja, a integral do campo elétrico em um circuito fechado não é mais nulo!

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \left( \frac{d\Phi_B}{dt} \right)$$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot \vec{n} da$$

$$\vec{n} da = d\vec{A}$$



# Equações de Maxwell

And God Said

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

and then there was light.

diferencial

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q / \epsilon_0$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

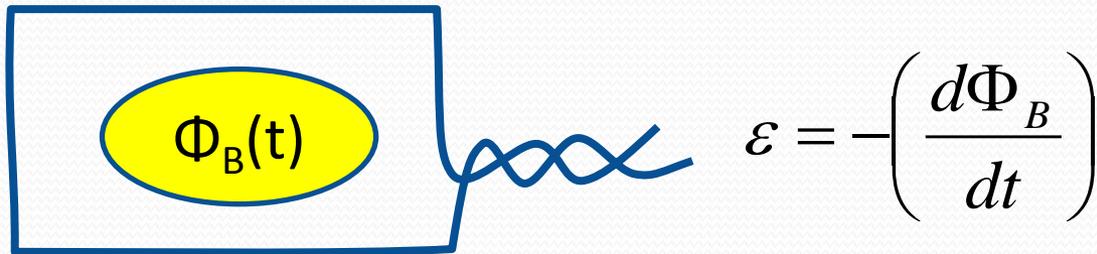
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -d\Phi_B / dt$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 d\Phi_E / dt$$

integral

As equações não são simétricas porque não existe carga magnética!

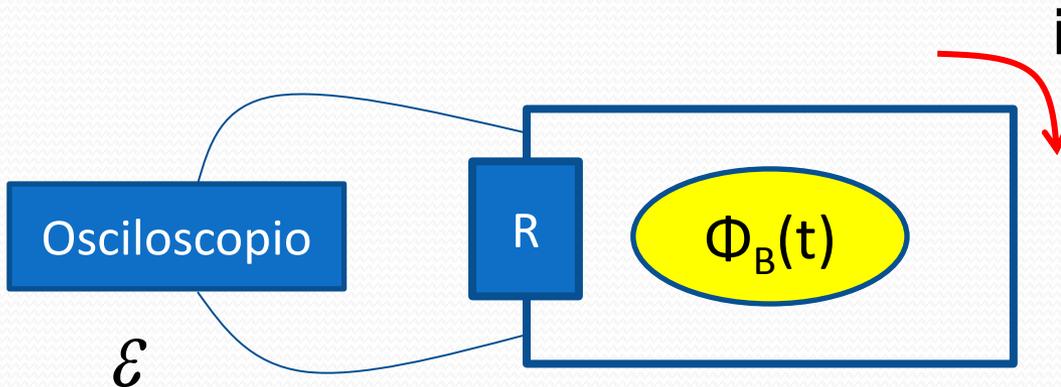
# Circuito simples (2)



$$\mathcal{E} = - \left( \frac{d\Phi_B}{dt} \right)$$

$$i = 0$$

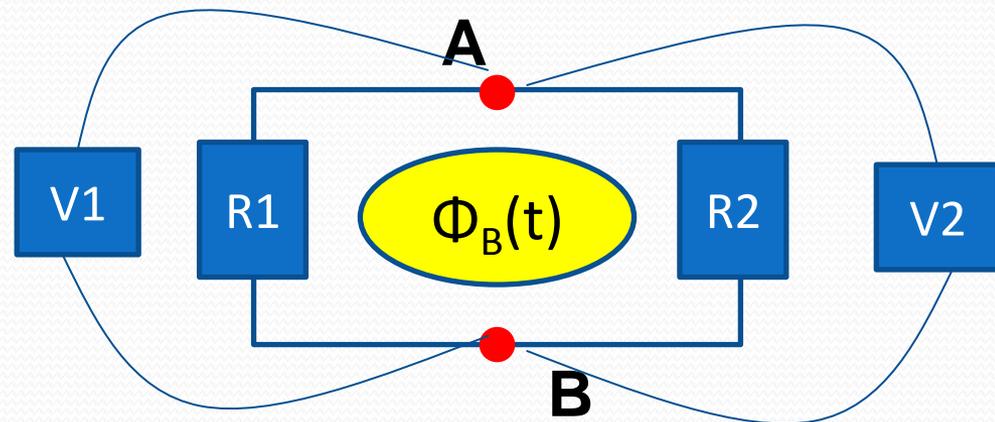
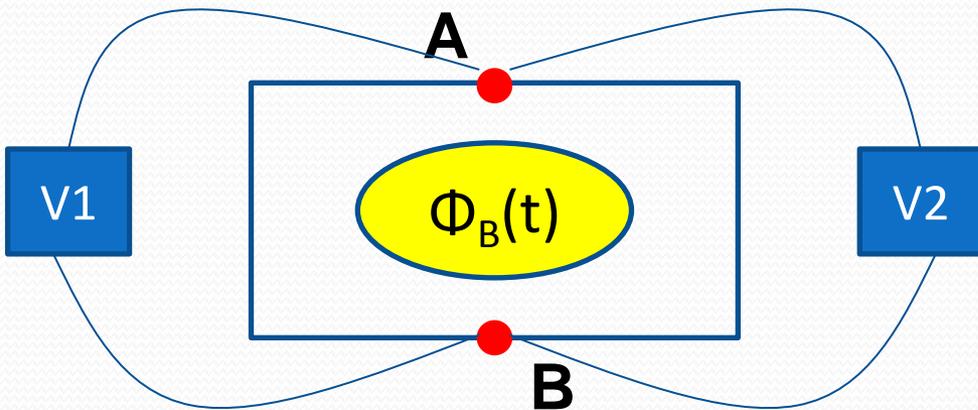
Pois o circuito  
está aberto...



$$i = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

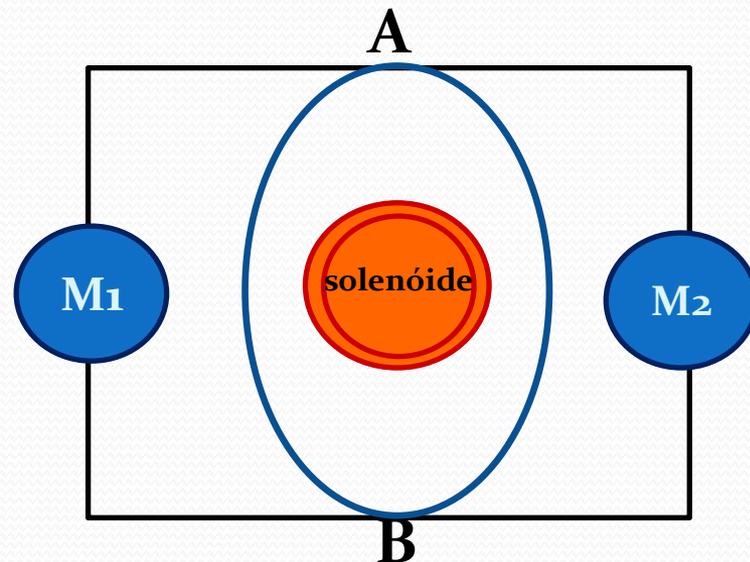
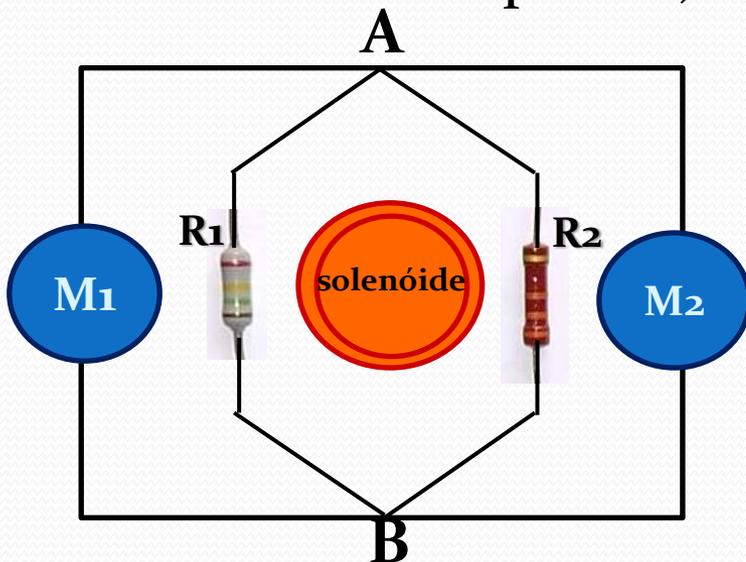
# Pergunta:

- Qual a tensão medida entre A e B por cada um dos voltímetros abaixo?
  - Com o fluxo desligado e com ele ligado?



# FEM numa espira por corrente num solenóide

- Vamos montar o experimento para estudar isso:
- O solenóide é percorrido por uma corrente variável no tempo do tipo senoidal.
- Em volta dele (poderia ser dentro também) é colocada:
  - uma espira simples, ou
  - uma espira com 2 resistências diferentes diametralmente opostas,  $R_1$  e  $R_2$ .

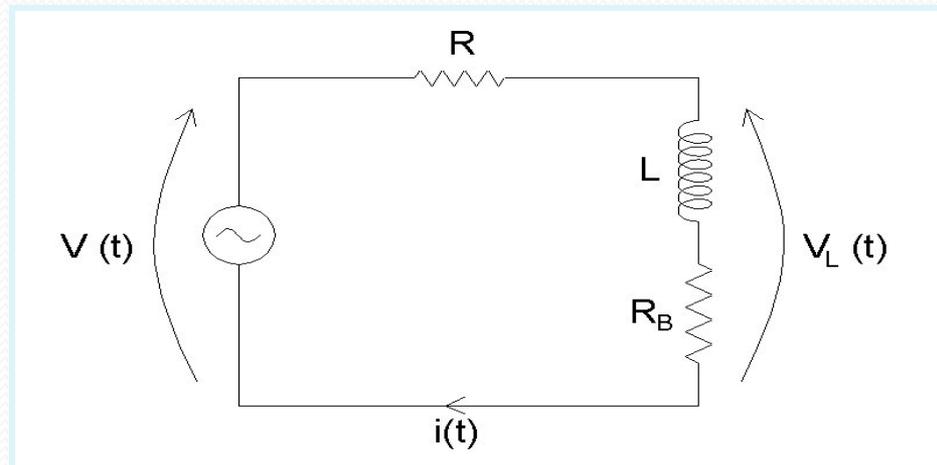


# Montagem

- Solenóide em série com um resistor de  $10\Omega$  (para medir a corrente).
  - O solenóide está envolvido por uma espira que tem:
    - Apenas o próprio fio
    - 2 resistências, uma de 470 ohms e outra de 1000 ohms,
  - O solenóide é alimentado por um gerador de áudio (com o casador de impedância) com uma onda senoidal de  $f \sim 3\text{kHz}$ , amplitude máxima e acoplado a um transformador de ( $\sim 12$ , 14 ou 16 V) para aumentar a tensão de pico:
  - a ligação do transformador no gerador é tal que aumenta a tensão aplicada ao solenóide por um fator que depende de como ele foi construído: transformador levantador

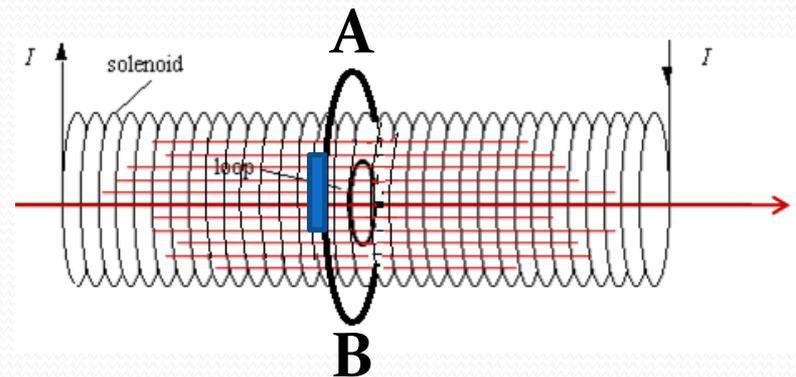
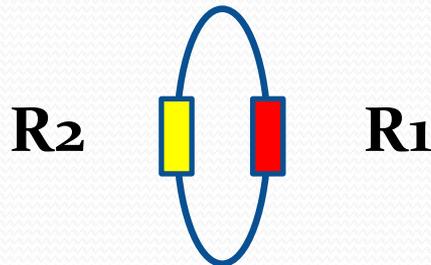
# Montagem

- Meça a voltagem no gerador na saída do conjunto gerador de áudio + transformador levantador
  - ajuste a frequência
  - verifique que a tensão não está saturando ( isso ocorre p/ alguns geradores com o botão de amplitude no máximo)
- Meça a corrente no resistor
- Verifique que está com as pontas de prova especiais que têm o fio terra comprido



# Montagem

- Agora ligue as duas pontas de prova nos pontos A e B da espira:
  - As 2 pontas no ponto A
  - Os 2 terras no ponto B
- Coloque uma terceira ponta sobre o terra do casador de impedância e ligue essa ponta no trigger externo do osciloscópio:
  - Dessa maneira é possível diminuir o ruído



# Tarefas da semana (1)

- Qual a forma e a frequência das tensões observadas em cada canal?
- Qual o valor de pico dessas tensões?
- Qual a diferença de fase entre as tensões medidas sobre  $R_1$  e sobre  $R_2$ ?
  - Compare com os valores de seus colegas
- **Que valores você esperaria obter e porque?**
  - Tente explicar o que observou com argumentos baseados no cálculo do campo elétrico e na Lei de Faraday.