

Seletor de Velocidades,

Parte 2 – Campo Elétrico, Cuba

Aula 4

Prof. Henrique Barbosa

Edifício Basílio Jafet - Sala 100

Tel. 3091-6647

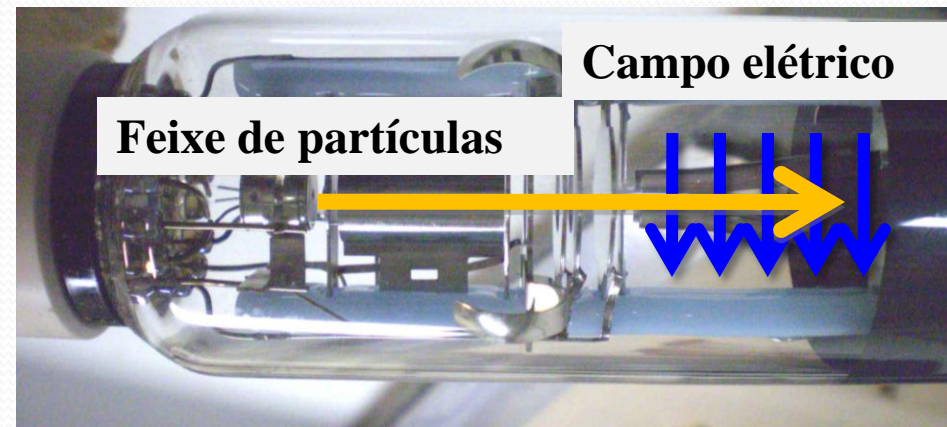
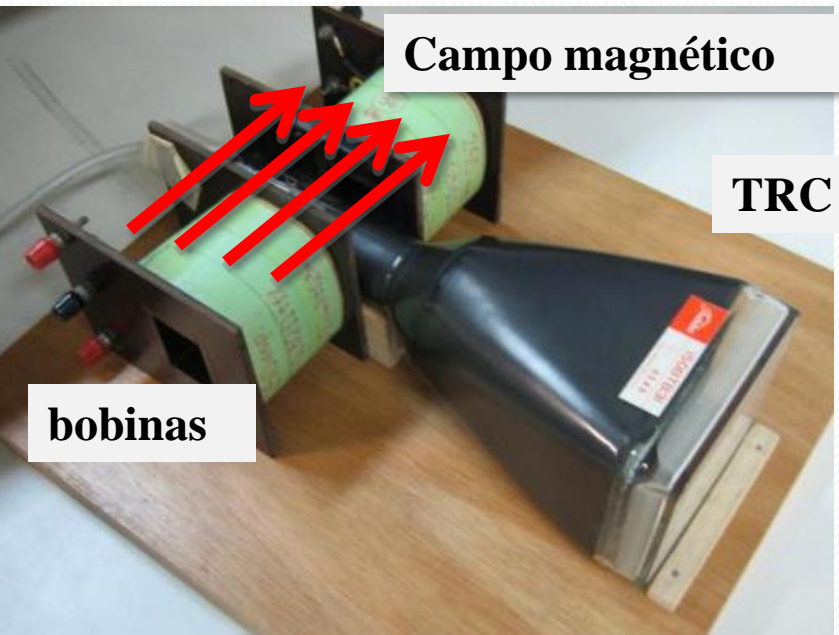
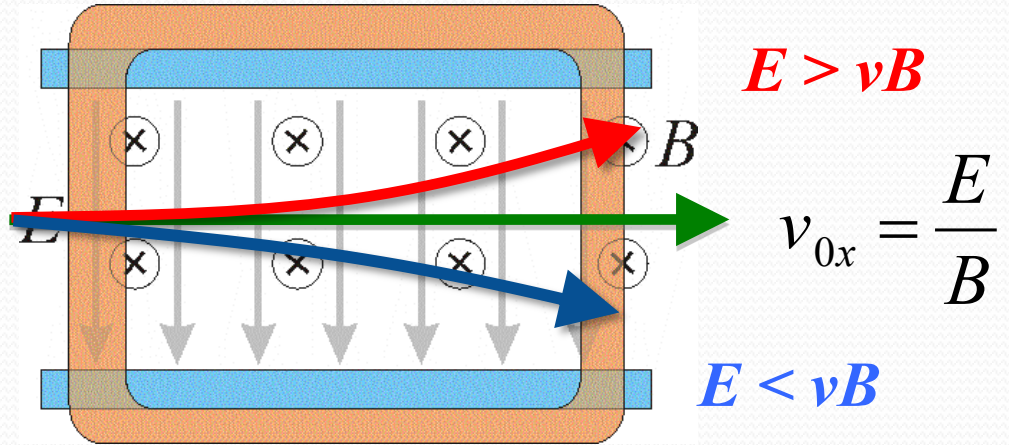
hbarbosa@if.usp.br

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

O Seletor de Velocidades



$$q < 0$$



Exp. 2 – Seletor de Velocidades

PROGRAMAÇÃO

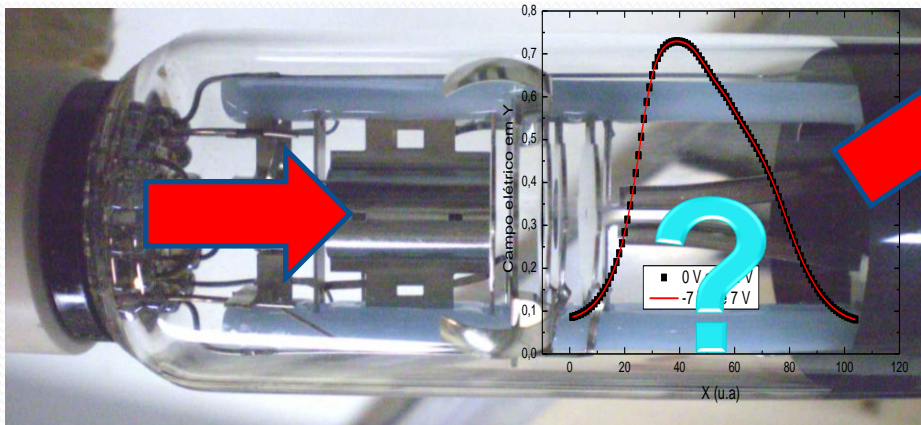
- Semana 1
 - Colocar o TRC para funcionar e tentar entender o que acontece
- Semana 2
 - Mapear o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 3
 - Simular o campo elétrico e estudar a deflexão no campo elétrico
- Semana 4
 - Mapear e simular o campo magnético das bobinas
- Semana 5
 - Estudar a deflexão do feixe em função da corrente nas bobinas e da tensão de aceleração
- Semana 6
 - Calibrar e obter a resolução do seletor de velocidades

TAREFAS SEMANA PASSADA



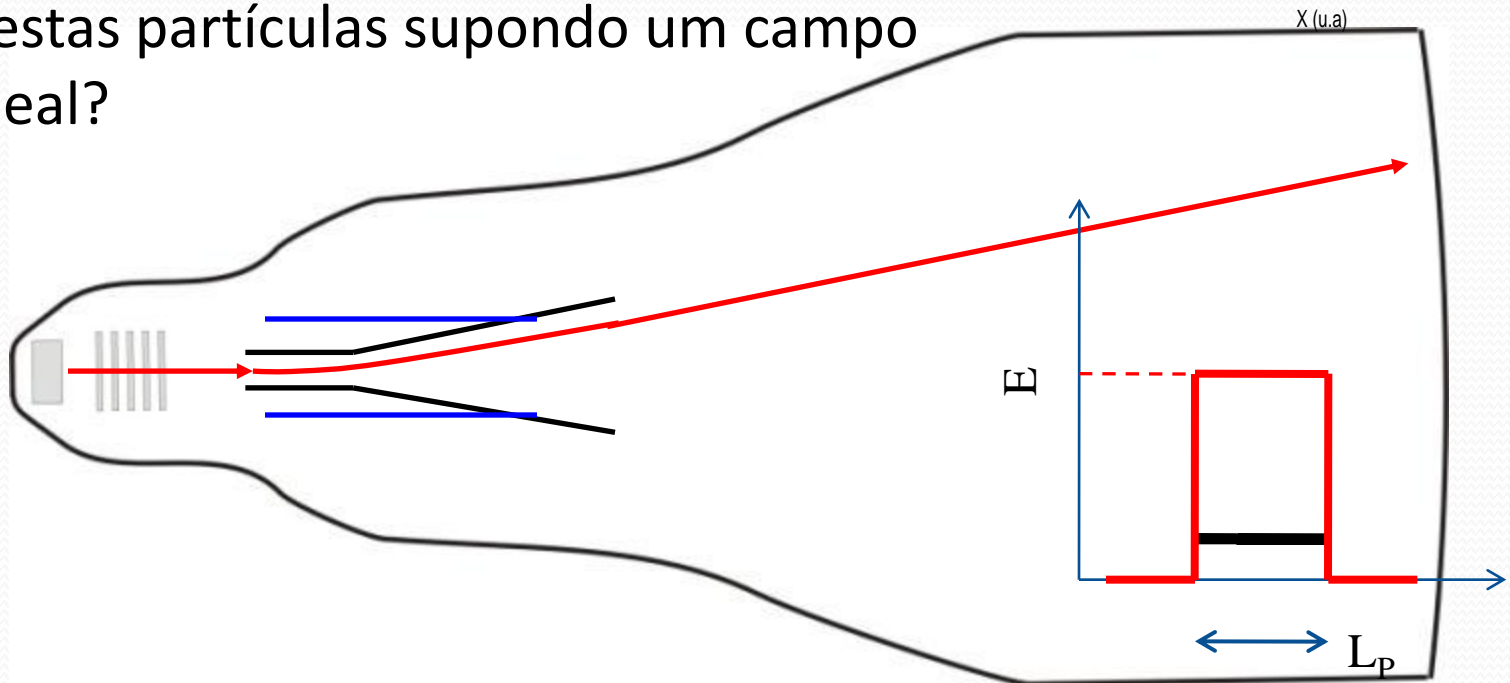
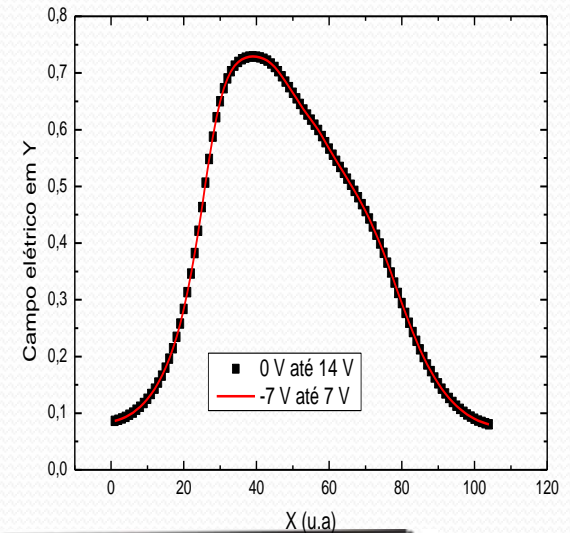
Será que...

- Nós conseguimos entender o campo entre as placas?
 - Simulações para resolver a equação de Laplace para o sistema estudado.
- Colocando um elétron neste campo, nós conseguimos entender o movimento, dado a tensão de aceleração e a tensão entre as placas?



Movimento em campo elétrico

- Problema real
 - Efeitos de borda, campo não uniforme
- Tentativa teórica
 - Solução do problema ideal
 - Podemos descrever o movimento destas partículas supondo um campo ideal?



Movimento em um campo uniforme

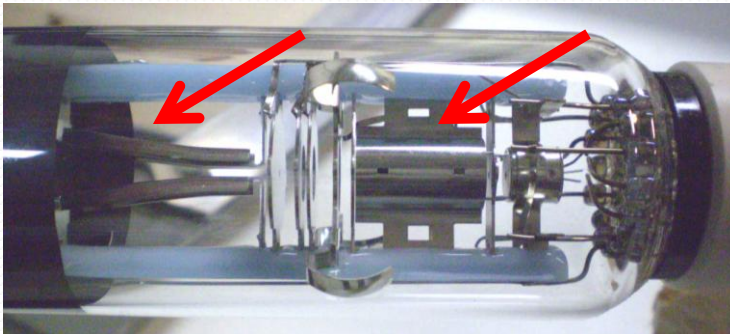
- Em uma situação com um sistema ideal, temos:

$$h = A' \frac{V_P}{V_{AC}}$$

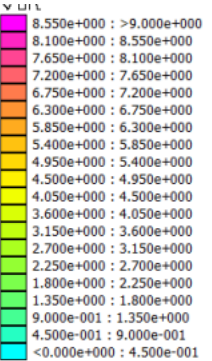
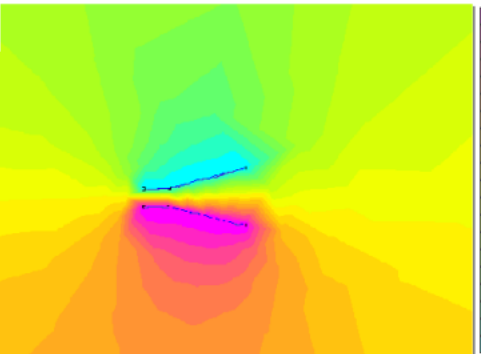
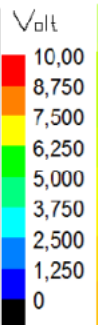
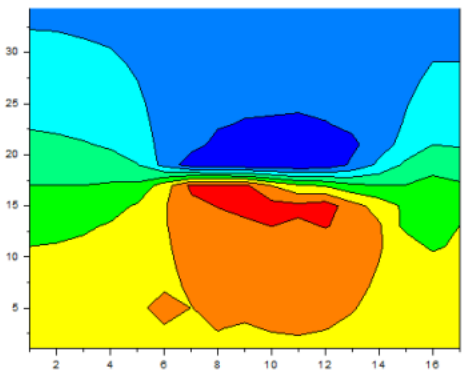
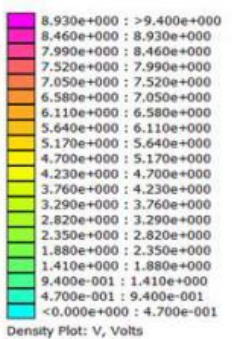
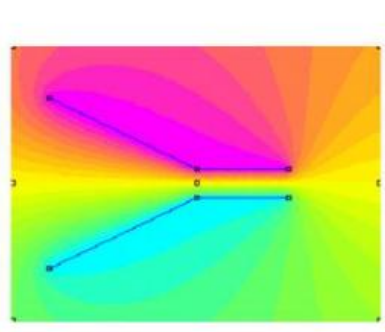
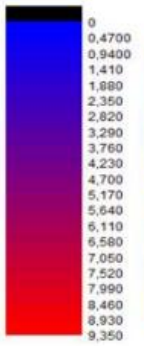
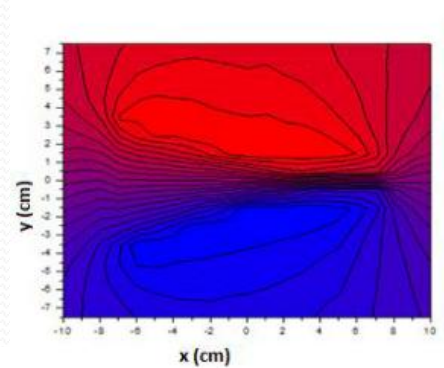
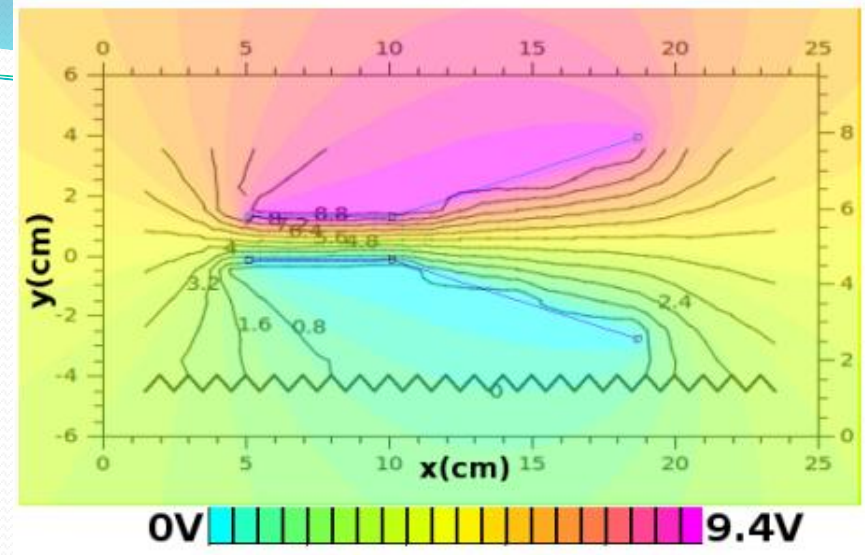
- O deslocamento é proporcional à tensão entre as placas e inversamente proporcional à tensão de aceleração dos elétrons
- Será que esta hipótese é verdadeira? Será que podemos **simplificar** o problema de campo não uniforme para um problema ideal?

Atividades da Semana

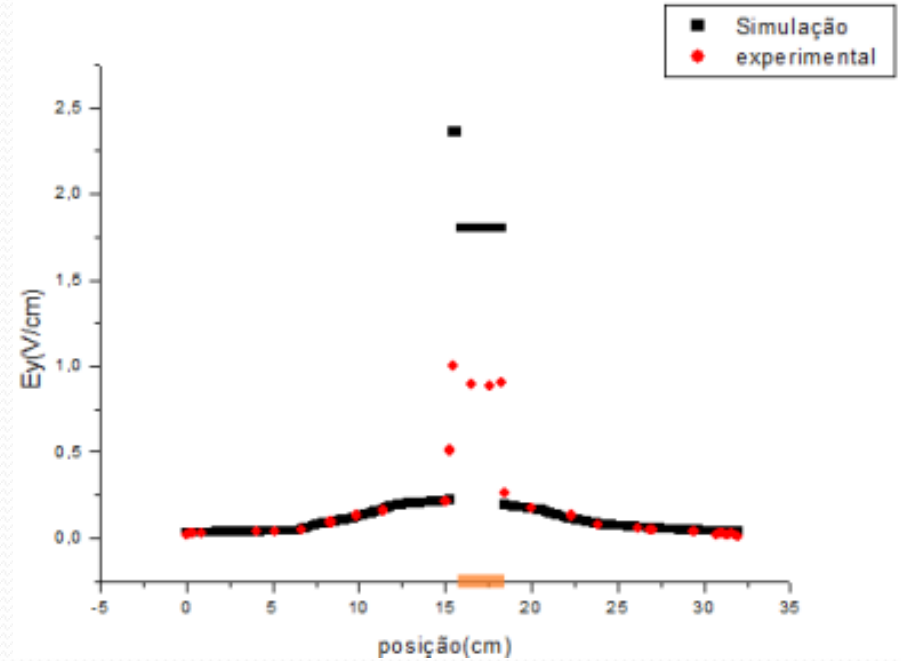
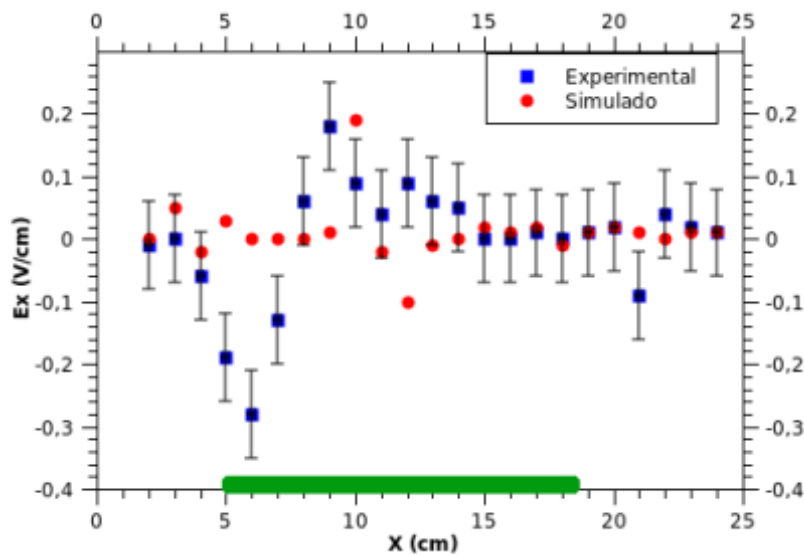
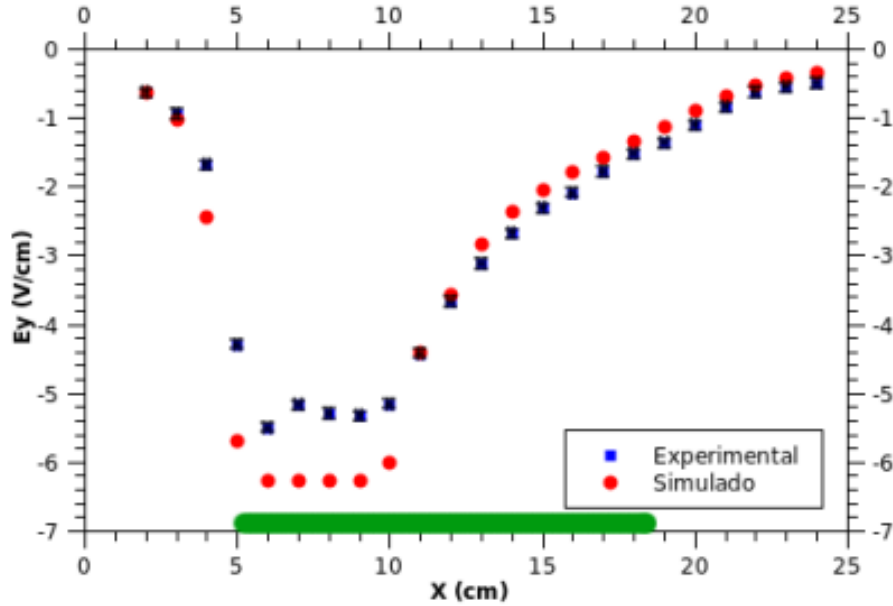
- Simular as placas no FEMM e comparar com os dados da semana passada
 - Gráfico de E_y ao longo do eixo de simetria
 - Gráfico de E_x ao longo do eixo de simetria
 - Mapa 2D do potencial na cuba



FEMM - V

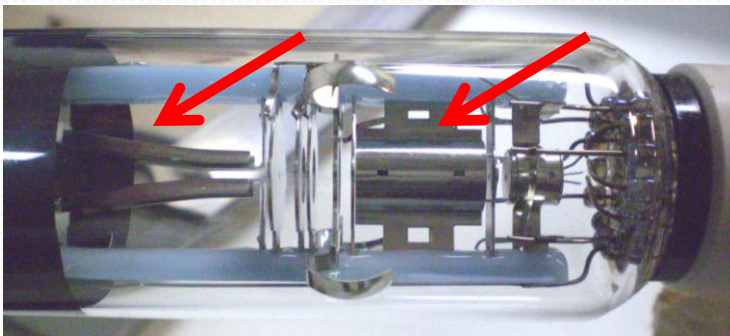


FEMM – E_y e E_x

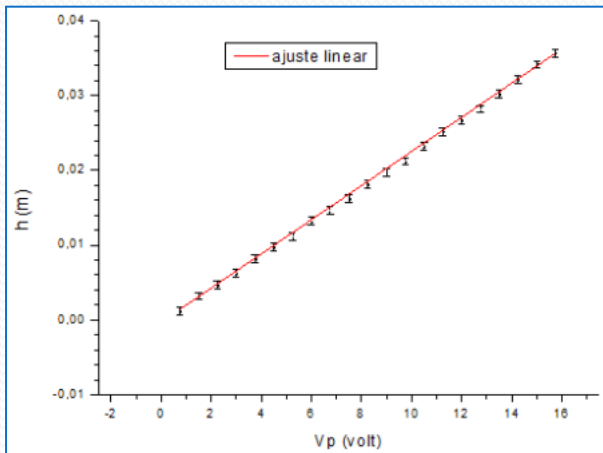
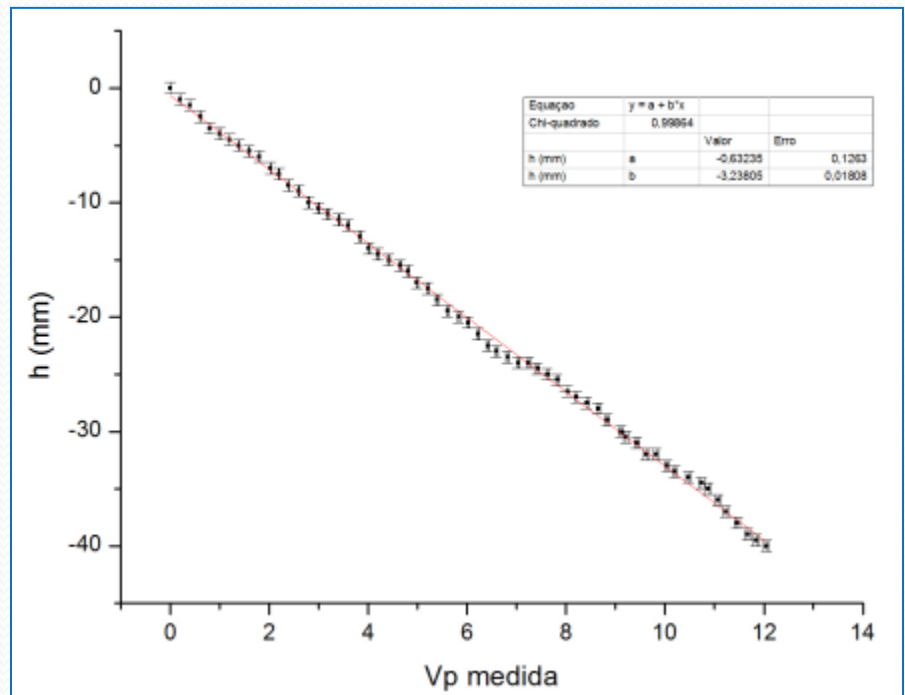
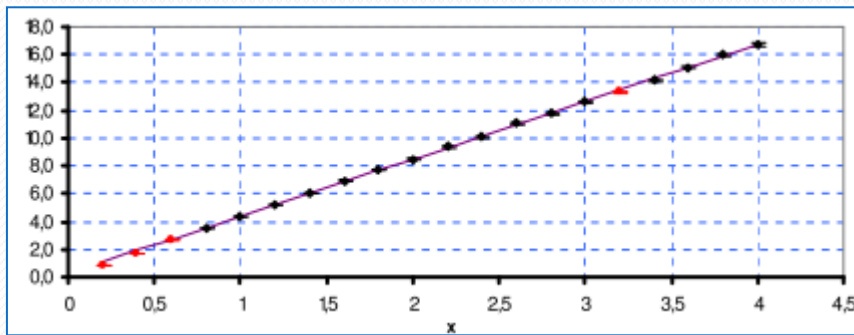
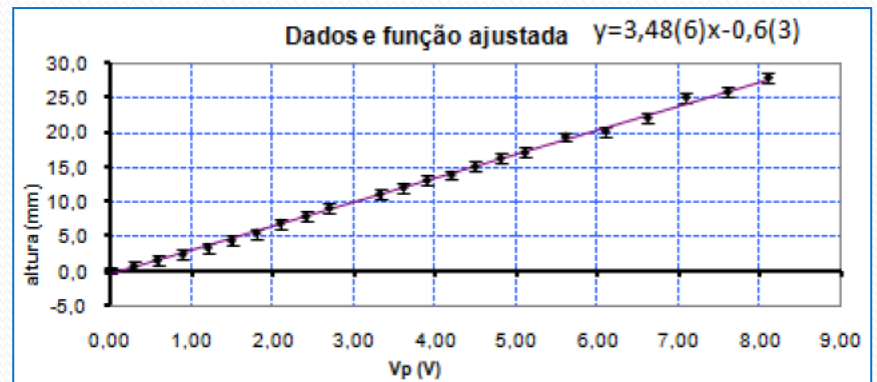
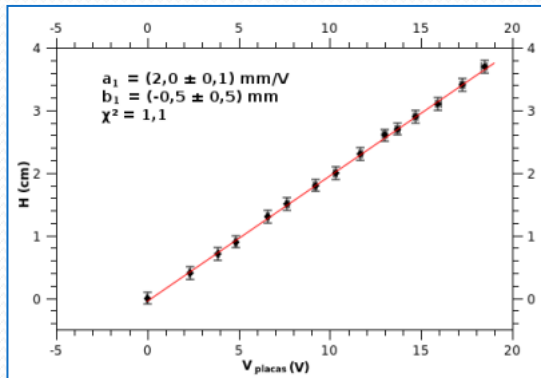


Atividades da Semana

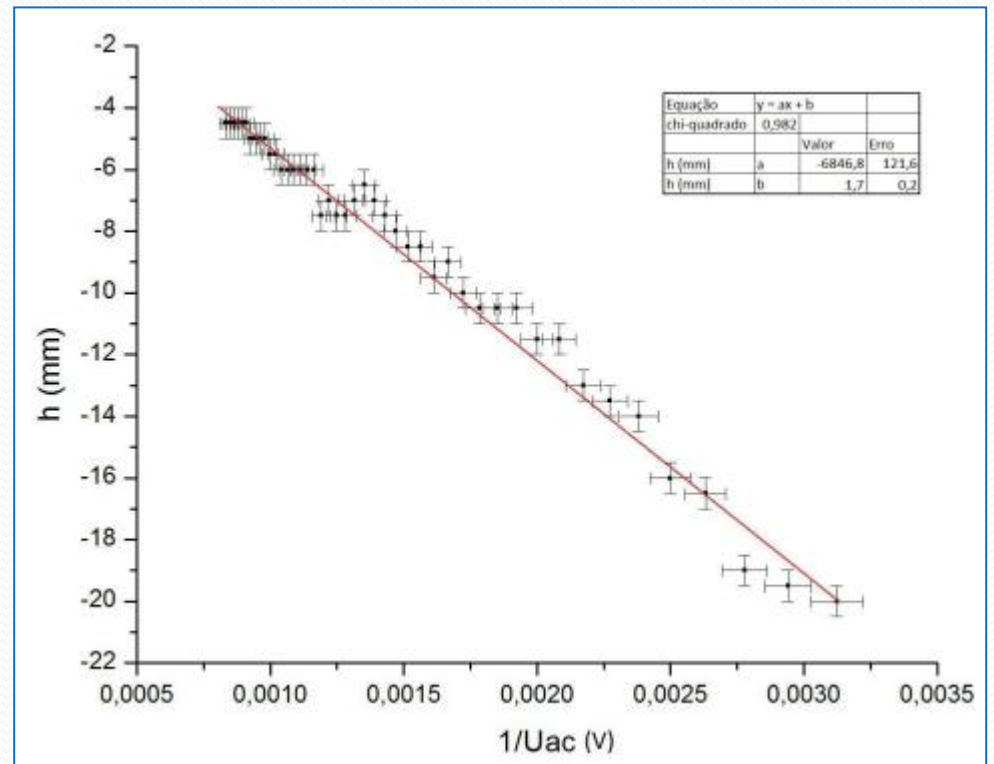
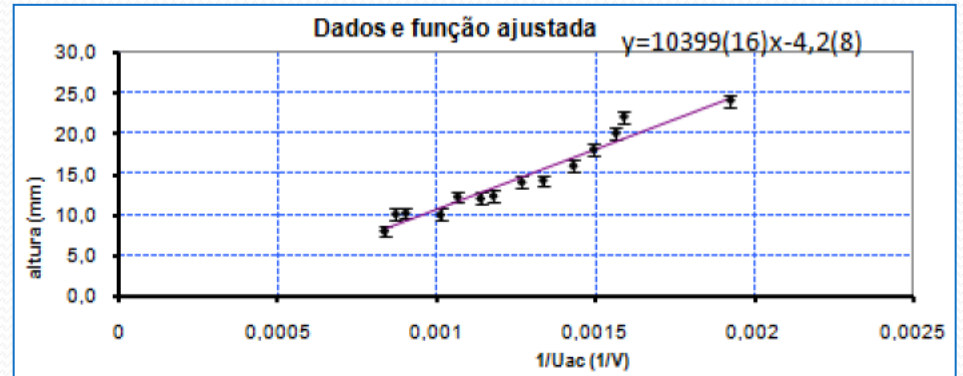
- Estudar como a deflexão (H , deslocamento do feixe) depende da tensão entre as placas (V_P) e da tensão de aceleração (V_{AC})
 - Fazer gráfico de H em função de V_P para V_{AC} fixo
 - Fazer gráfico de H em função de V_{AC} para V_P fixo
 - Tomar cuidado de escolher a variável fixa de modo a poder **aproveitar toda a tela do osciloscópio**
 - Se for compatível obtenha, experimentalmente, o valor da constante A' .



H x Vp



H x Vac



Vac x Vp para h=fixo

Com os pontos obtidos mantendo $H = (2.0 \pm 0.1)cm$ ajustou-se a seguinte curva (Figura 6):

$$V_{ac} = \frac{A}{H} \cdot V_{placas} \quad (5)$$

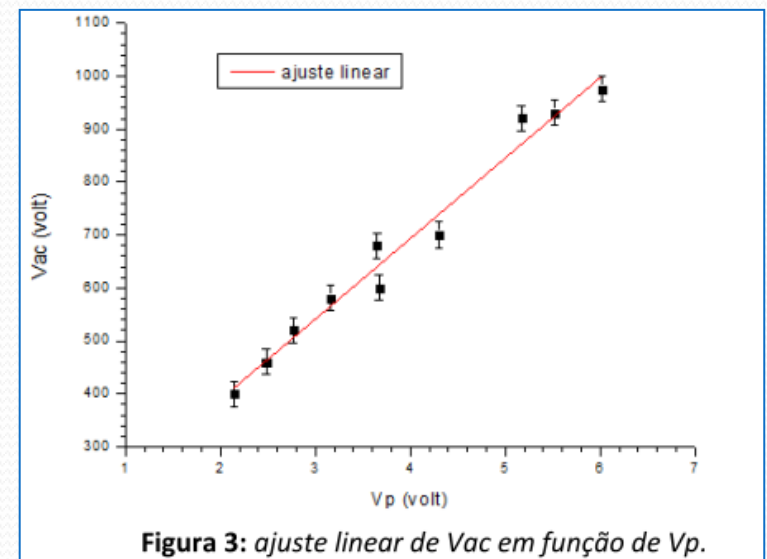
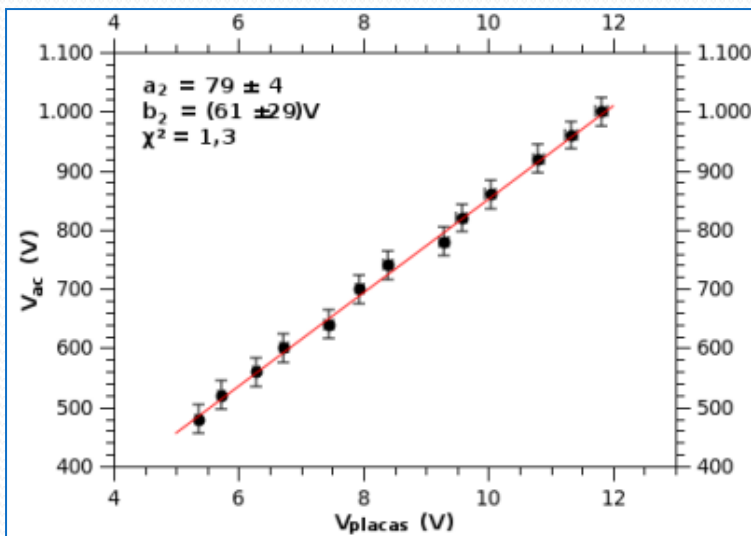
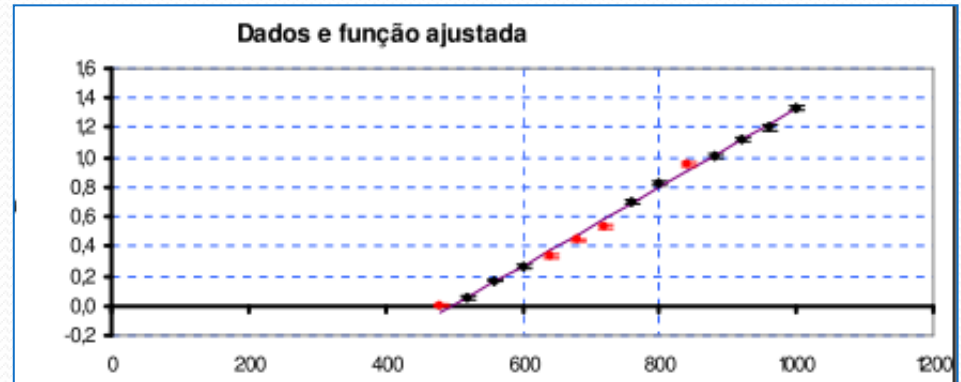


Figura 3: ajuste linear de V_{ac} em função de V_p .

Quem é a constante A'?

- Sabemos que

$$h = \frac{qEL_P}{mv_{0x}^2} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) = A \frac{E}{v_{0x}^2}$$

- Mas também sabemos que (ver aula passada)
 - $E = V_P/d$
 - $mv_{0x}^2/2 = qV_{AC}$
- Podemos então escrever que

$$h = \frac{L_P V_P}{2dV_{AC}} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) = A' \frac{V_P}{V_{AC}}$$

Quem é a constante A'?

- Ou seja

$$A' = \frac{L_P}{2d} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right)$$

- Experimentalmente, medimos o valor da constante A'.
- Ela não depende do tipo de partícula que passa pelo TRC. Depende apenas de como ele foi construído!

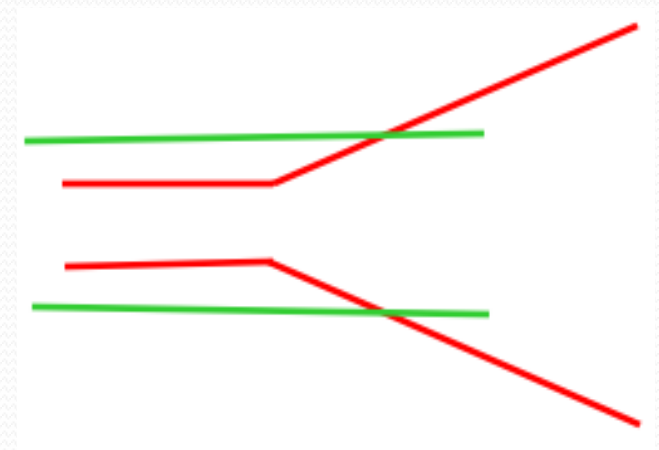
| A' (cm) | | |
|-------------------|-------------------|------------|
| H x Vp | H x Vac | Vp x Vac |
| 180 (8) | | 158 (11) |
| 200 (7) | 205 (9) | |
| 159.6 (9) | | 152.0 (82) |
| 228.3 (76) | 226.7 (68) | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

176 ± 5(prop) ± 13(méd) cm

Quem era a constante A' ?

- Ou seja

$$A' = \frac{L_P}{2d} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right)$$



- Contudo, quais são as dimensões das placas equivalentes (L_p) e a distância (d) entre elas?
- Temos duas variáveis e apenas uma medida. Como resolver esta ambigüidade?

Quem é L_p e d ?

- Vamos lembrar alguns conceitos sobre movimento, em especial impulso de uma força

$$\vec{I} = \Delta\vec{p} = \int_0^t \vec{F}(t) dt$$

- No nosso caso ideal, a força é constante com módulo dado por qE . Nesta situação:

$$\vec{I} = \int_0^t \vec{F}(t) dt = \int_0^t q\vec{E} dt = q\vec{E}t = q\vec{E} \frac{L_P}{v_{0x}}$$

Quem é L_p e d ?

- Lembrando que o deslocamento na tela do TRC vale:

$$h = \frac{qEL_P}{mv_{0x}^2} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right)$$

- E sabendo que o impulso, na direção y , tem módulo $I=qEL_P/v_{0x}$, e sabendo que o momento inicial da partícula vale $p = mv_{0x}$, temos:

$$h = \frac{I}{p} \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS} \right) = Cte \frac{\Delta p}{p}$$

Quem é L_p e d ?

- Ou seja, o deslocamento está diretamente relacionado ao impulso fornecido pelo campo elétrico

$$h = Cte \frac{\Delta p}{p}$$

- Podemos utilizar esta informação para fazer uma boa escolha para o comprimento efetivo das placas.
 - Onde se dá o impulso que altera o deslocamento da partícula?

Quem é L_p e d ?

- No caso ideal temos que:

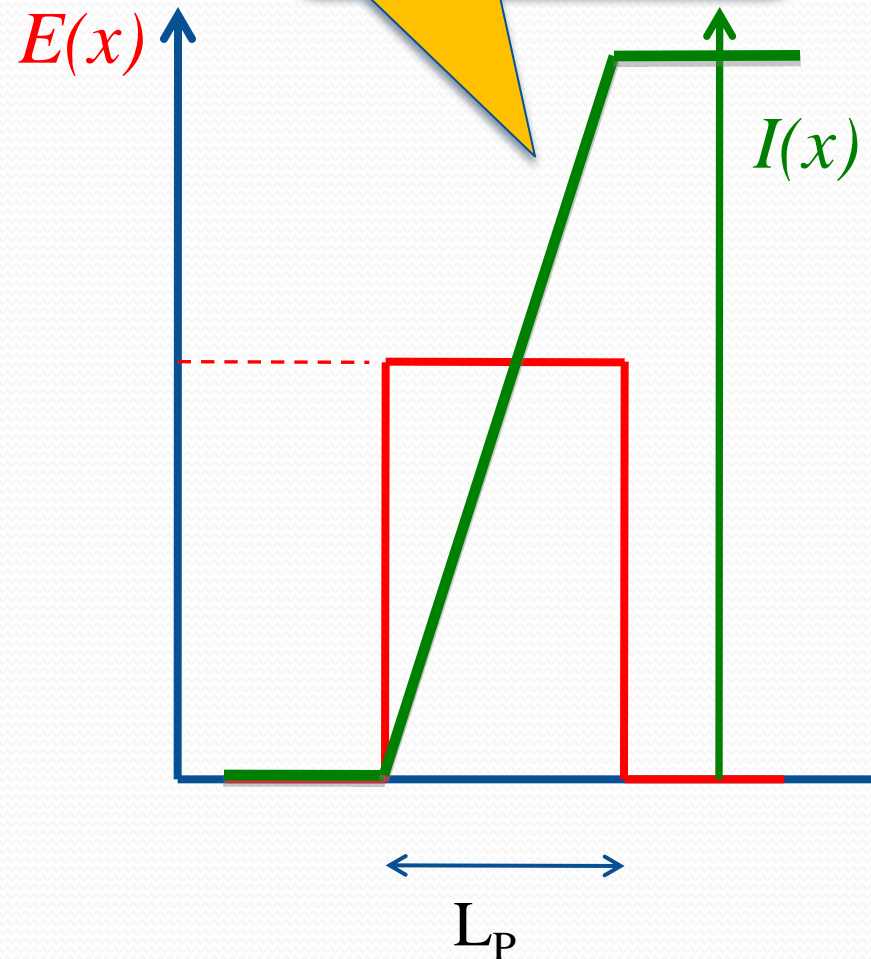
$$\vec{I} = q\vec{E}t$$

- v_{0x} é constante, por isso:

$$v_{0x} = \frac{x}{t} \Rightarrow t = \frac{x}{v_{0x}}$$

- Temos:

$$\vec{I} = \frac{q\vec{E}}{v_{0x}} x$$



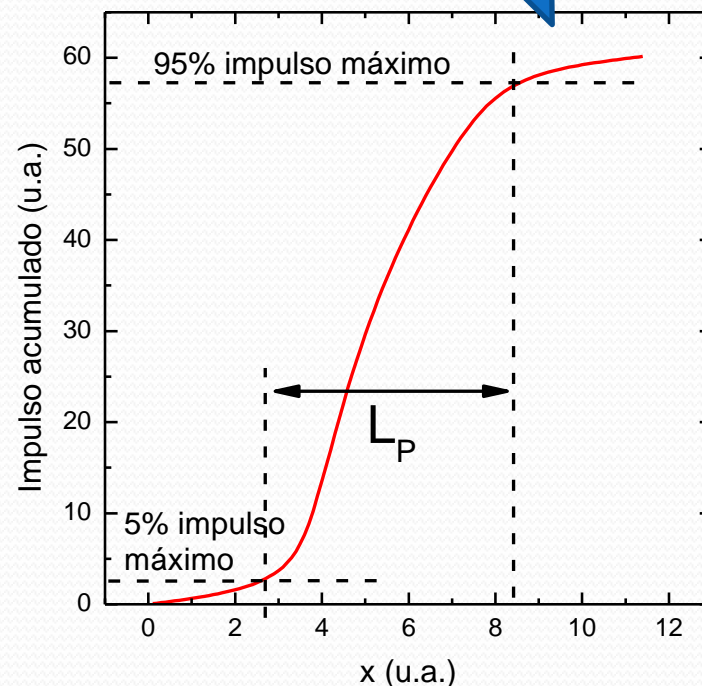
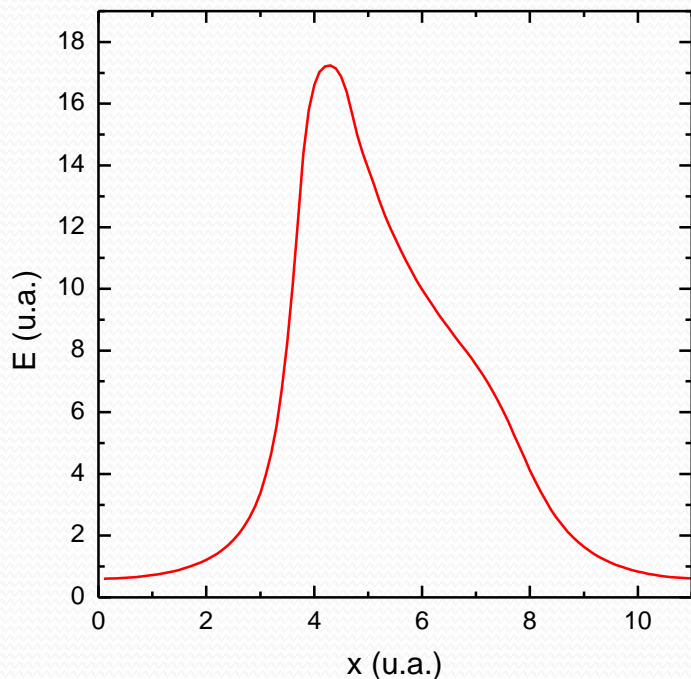
Quem é L_p e d ?

- Calculando o impulso acumulado

$$\vec{I}(x) = \int_0^t \vec{F}(t) dt = \int_0^x \frac{q\vec{E}}{v_{0x}} dx$$

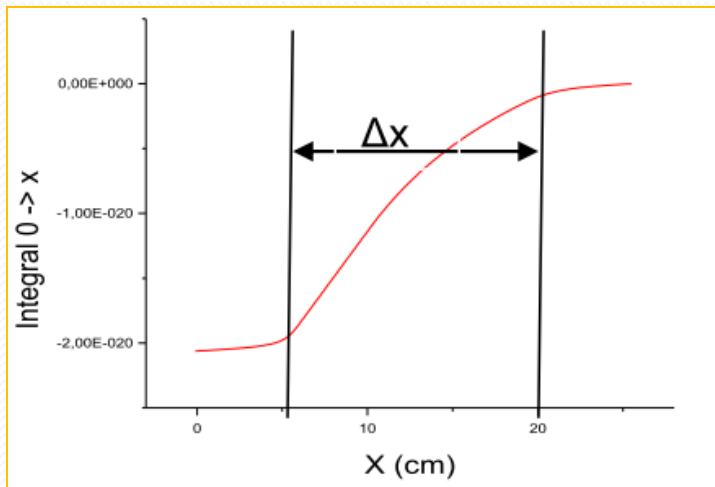
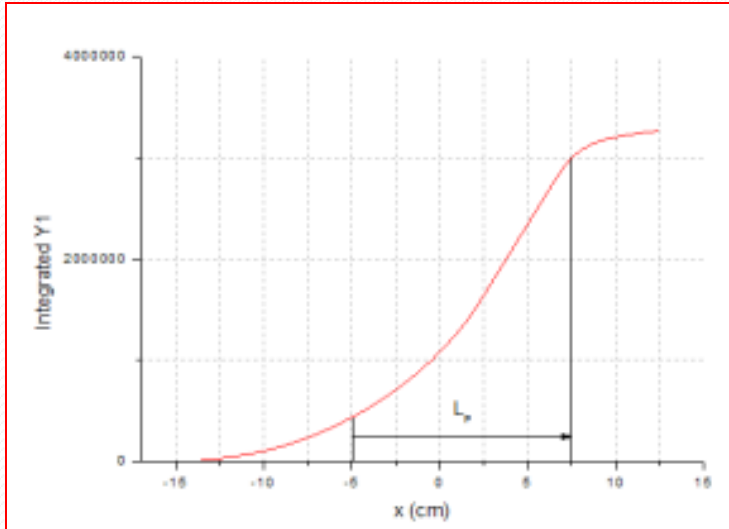
Usar o campo simulado

Calcular L_p a partir deste gráfico



IMPORTANT!

Alguns grupo já fizeram isso!!!

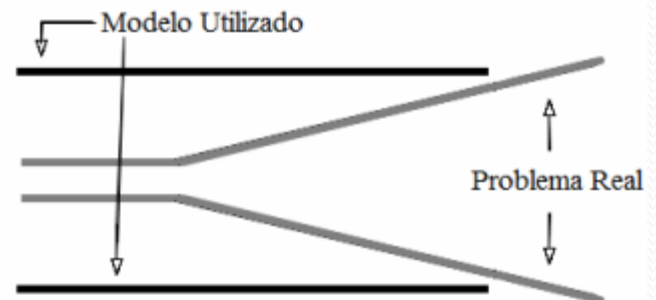


| L_p (mm) | d (mm) |
|------------|---------------------|
| 25.2 (15) | 1.81 (26) |
| 28.6 (3) | 2.02 (8) 1.784 (56) |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| 24.68 (??) | 1.7 (??) |

Atividades desta semana (1)

- Da simulação do campo, fazer o gráfico de impulso acumulado em função do comprimento.
 - Determinar o comprimento efetivo das placas (LP)
 - Usar como limites 5% e 95% do impulso máximo acumulado como limites
 - Dica: use o Excel e faça a integral como a soma de pequenos retângulos
- Determinar a distância efetiva (d) entre as placas e a distância da D_{PS} a partir dos resultados acima.
- Comparar o comprimento e distância com os valores geométricos do TRC (ver no site)

Atenção: onde o capacitor ideal esta localizado? Alinhado pela esquerda ou pela direita? Isso faz diferença? Como resolver?



Exp. 2 – Seletor de Velocidades

PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
 - Colocar o TRC para funcionar e tentar entender o que acontece
- Semana 2
 - Mapear o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 3
 - Simular o campo elétrico e estudar a deflexão no campo elétrico
- Semana 4
 - Mapear e simular o campo magnético das bobinas
- Semana 5
 - Estudar a deflexão do feixe em função da corrente nas bobinas e da tensão de aceleração
- Semana 6
 - Calibrar e obter a resolução do seletor de velocidades

Objeto de estudo

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade inicial da partícula incidente

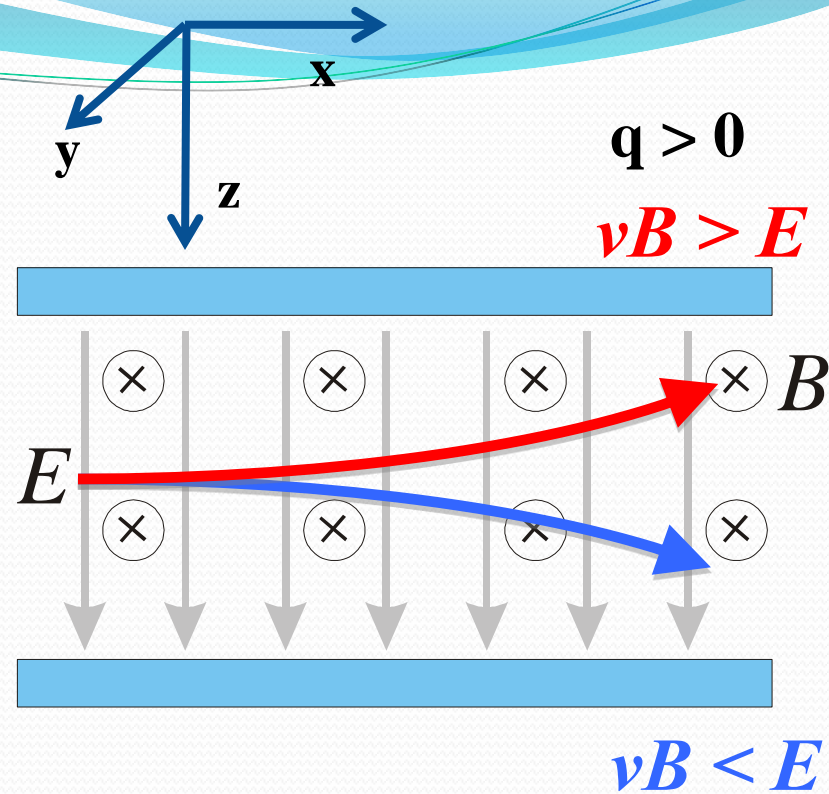
$$\vec{v}_0 = v_0 \hat{i}$$

$$\vec{B} = -B \hat{j}$$

$$\vec{E} = E \hat{k}$$

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q(E - vB) \hat{k}$$



Aceleração apenas na direção k .
Sentido depende das intensidades de E , v e B

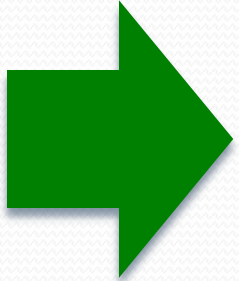
Metodologia a ser adotada

- Isolar o campo elétrico
 - Como gerar o campo elétrico
 - Estudar o campo elétrico gerado
 - Do que depende o campo? Qual a intensidade em cada ponto do espaço e como a geometria do problema altera este campo?
- Entender como é o movimento de partículas dentro deste campo elétrico?
 - Como gerar estas partículas?
 - Podemos descrever o movimento destas partículas teoricamente? Quais os compromissos adotados e as limitações teóricas e experimentais?



Metodologia a ser adotada

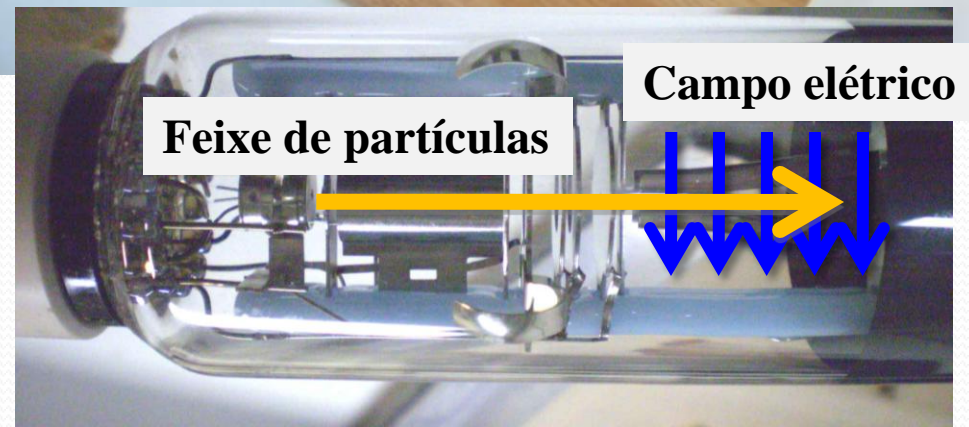
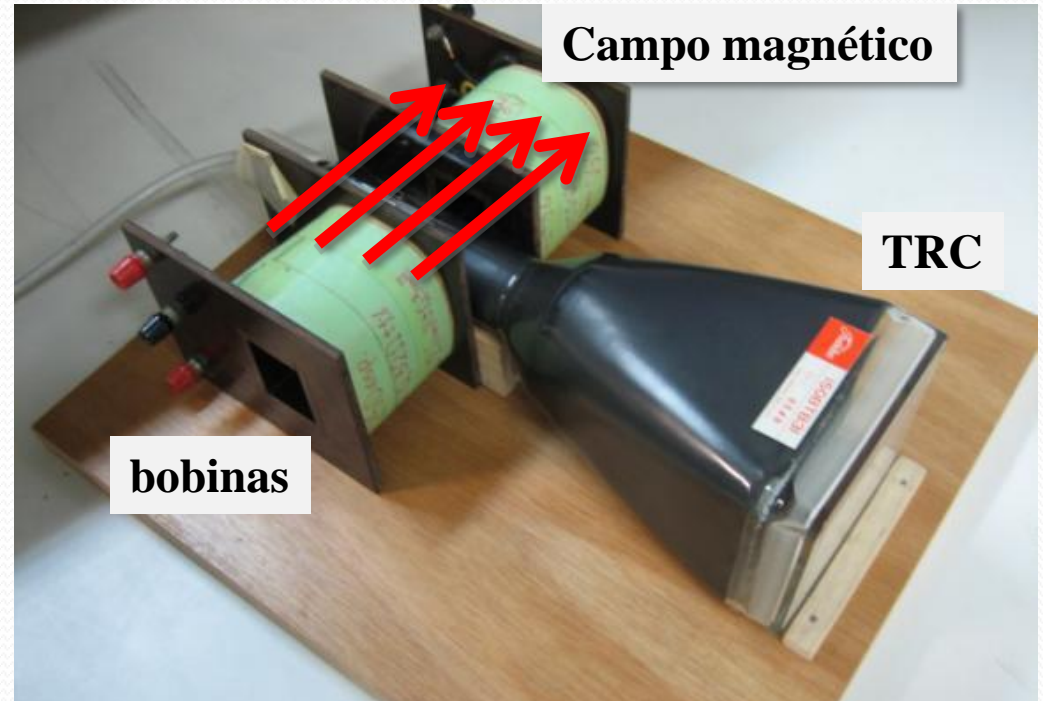
- Isolar o campo magnético
 - Como gerar o campo magnético?
 - Como estudar este campo? Como medi-lo?
 - Do que depende este campo? Podemos entendê-lo teoricamente?
- Como é o movimento destas partículas dentro deste campo magnético?
 - Podemos descrever este movimento teoricamente? Como fazer um experimento para testar as hipóteses teóricas?
 - Quais as limitações e aproximações adotadas



Nosso acelerador de partículas

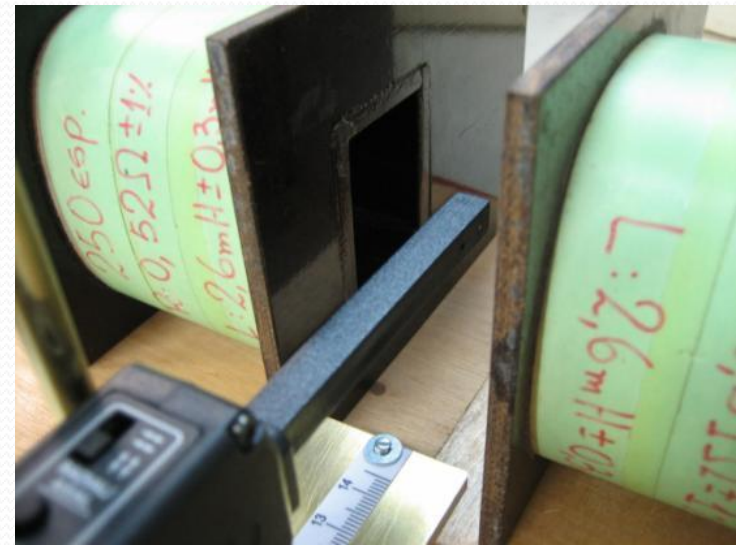
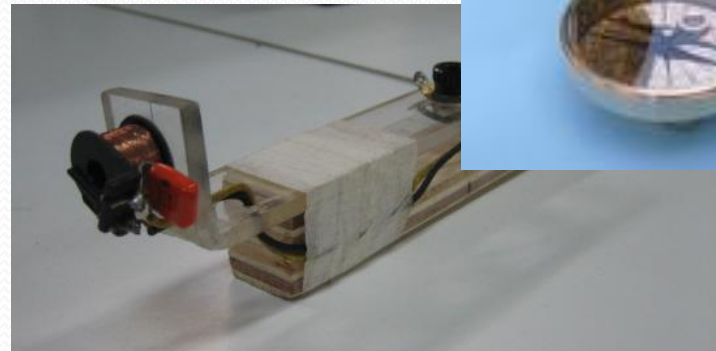
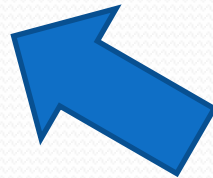
- TRC
 - Produz feixe de elétrons acelerados e propicia campo elétrico
 - Tela é o detector de partículas
- Bobinas
 - Campo magnético

Como medir o campo magnético ??



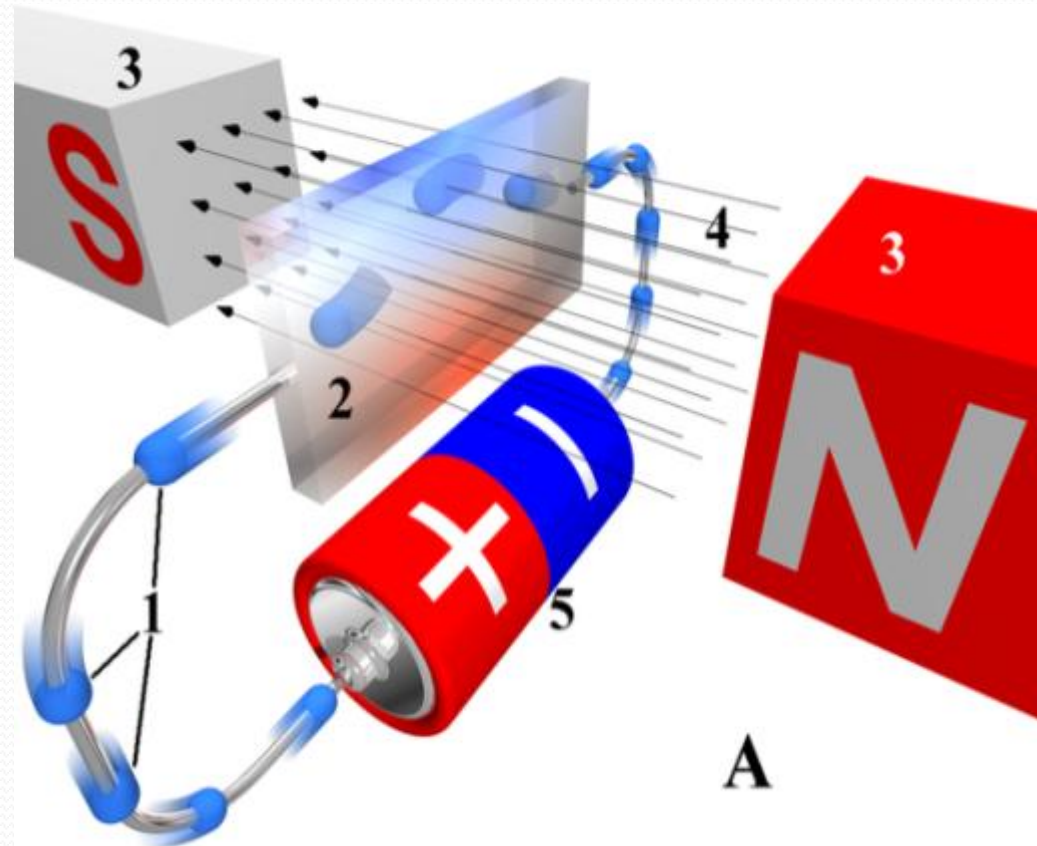
Como medir campos magnéticos?

- Muitas técnicas
 - Bússola
 - Somente direção do campo
 - Bobinas sondas
 - Campos com fluxo variável
 - Medidor por efeito Hall
 - Campos estáticos diversos
 - TRC
 - Movimento de elétrons no campo



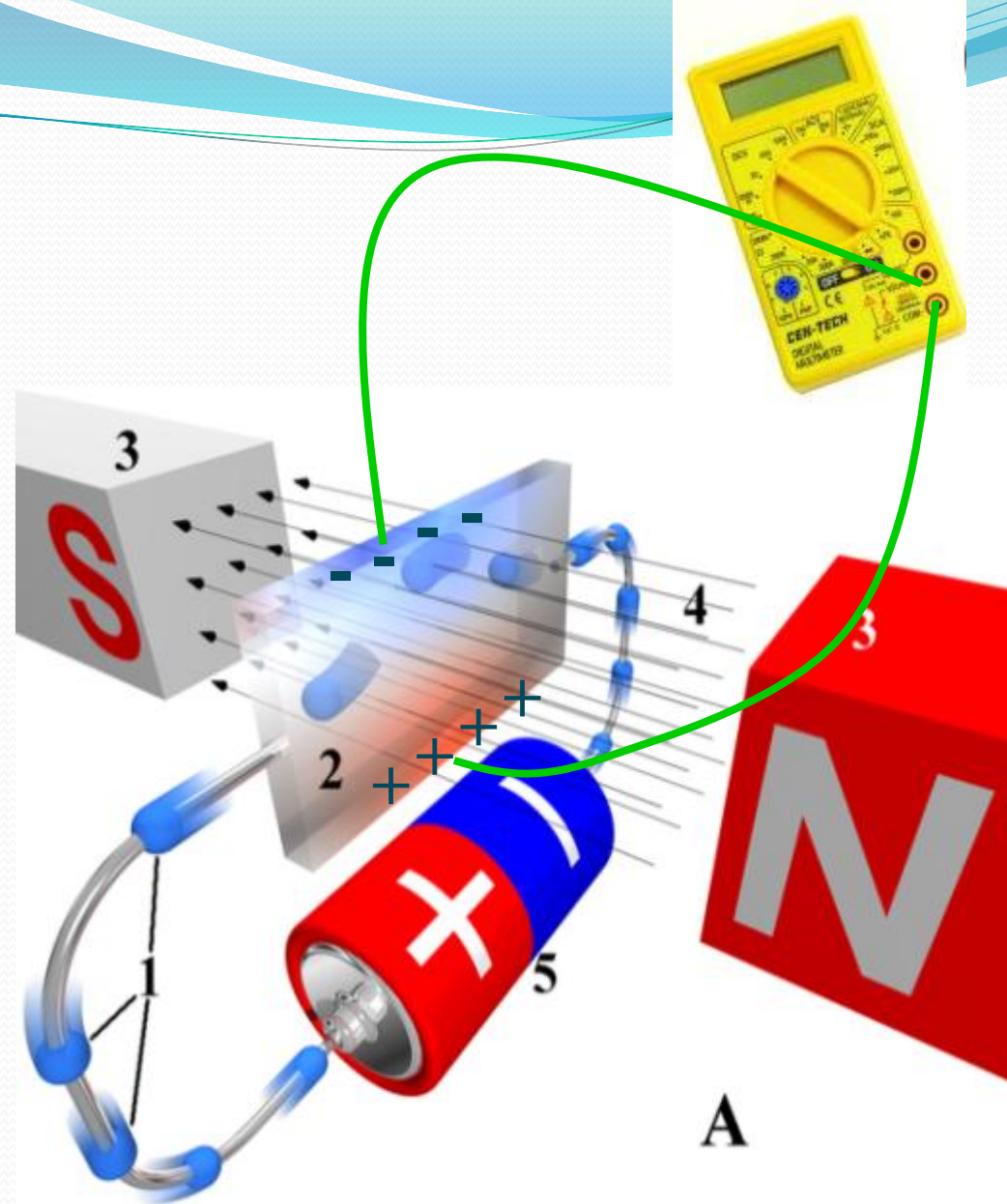
O efeito Hall

- Quando uma corrente em um condutor é inserida em um campo magnético uma força atua sobre os portadores de carga modificando a sua distribuição dentro do condutor.



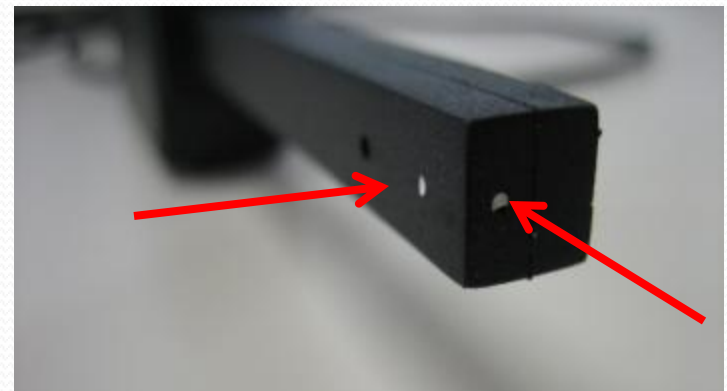
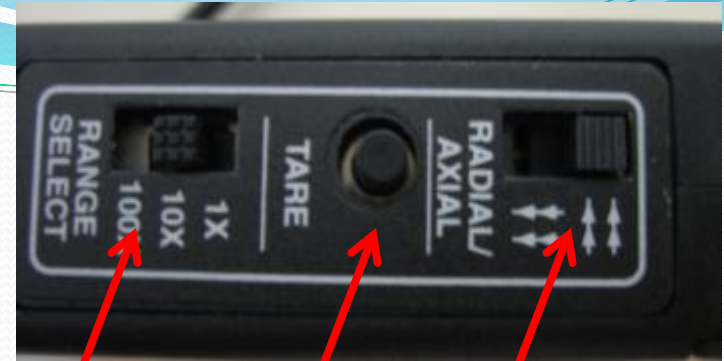
O efeito Hall

- Esta mudança de distribuição de cargas no condutor cria uma diferença de potencial entre as superfícies do mesmo
- A diferença de potencial é proporcional ao campo magnético



O Sensor Hall

- DataStudio
- Ponta de prova
 - Dois sensores
 - Selecionados por chave
 - Note que o sensor mede a componente transversal do campo magnético.
 - Escolha o sensor de acordo com a medida que se quer efetuar
 - Possibilidade de selecionar sensibilidade
 - Similar a escala do voltímetro
 - Ajustar o DataStudio de acordo!
 - Botão de calibração (Tare)



Algumas peculiaridades do sensor Hall do lab



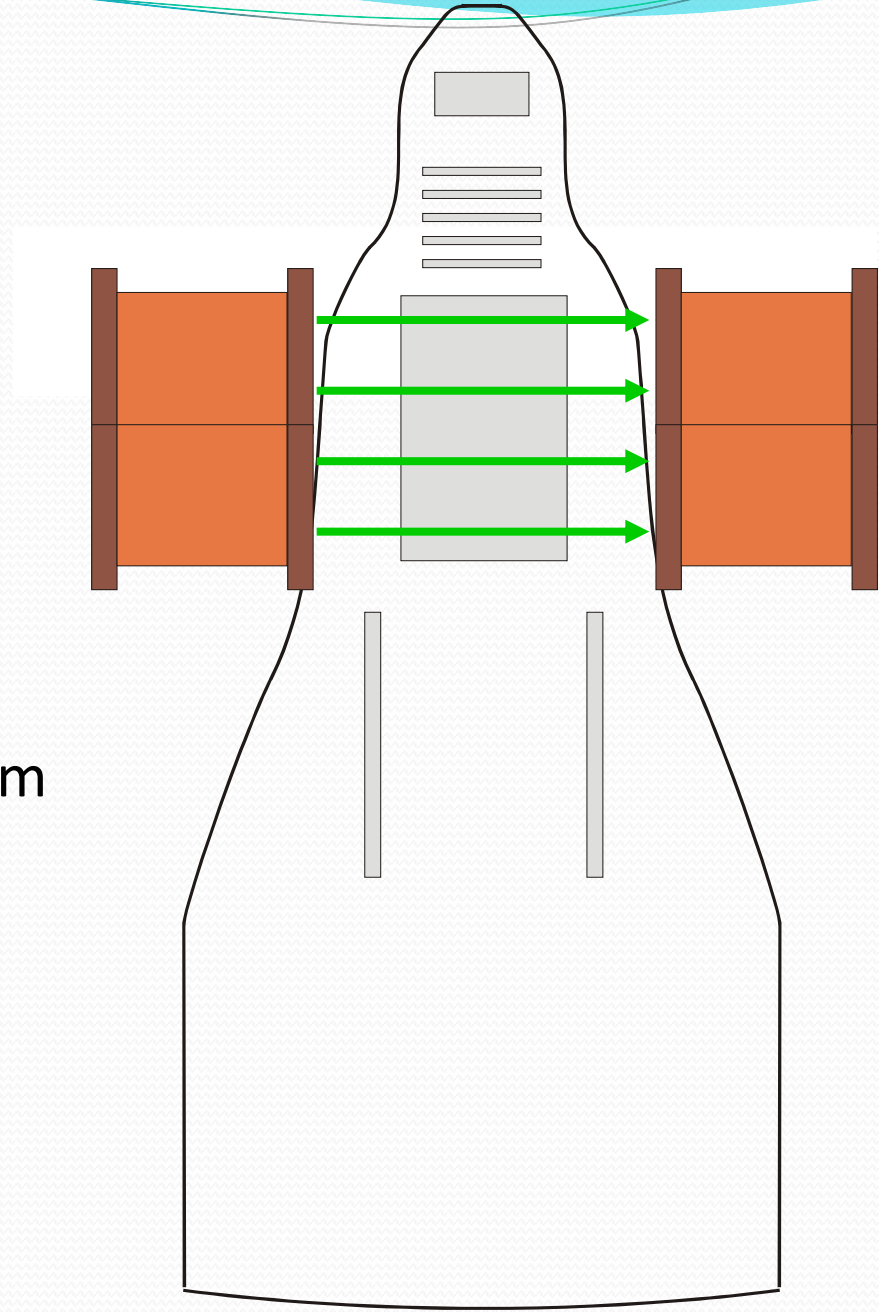
Table 1
Magnetic Sensor Specification Chart

| Range | Gain | Resolution | Accuracy | Calibration Factor |
|------------------|------|-------------|-----------|--------------------|
| ± 1000 gauss | 1X | 0.5 gauss | 100 gauss | 100 gauss/volt |
| ± 100 gauss | 10X | 0.05 gauss | 10 gauss | 10 gauss/volt |
| ± 10 gauss | 100X | 0.050 gauss | 1 gauss | 1 gauss/volt |

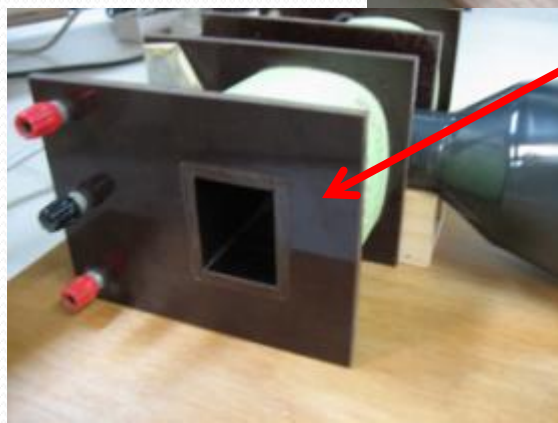
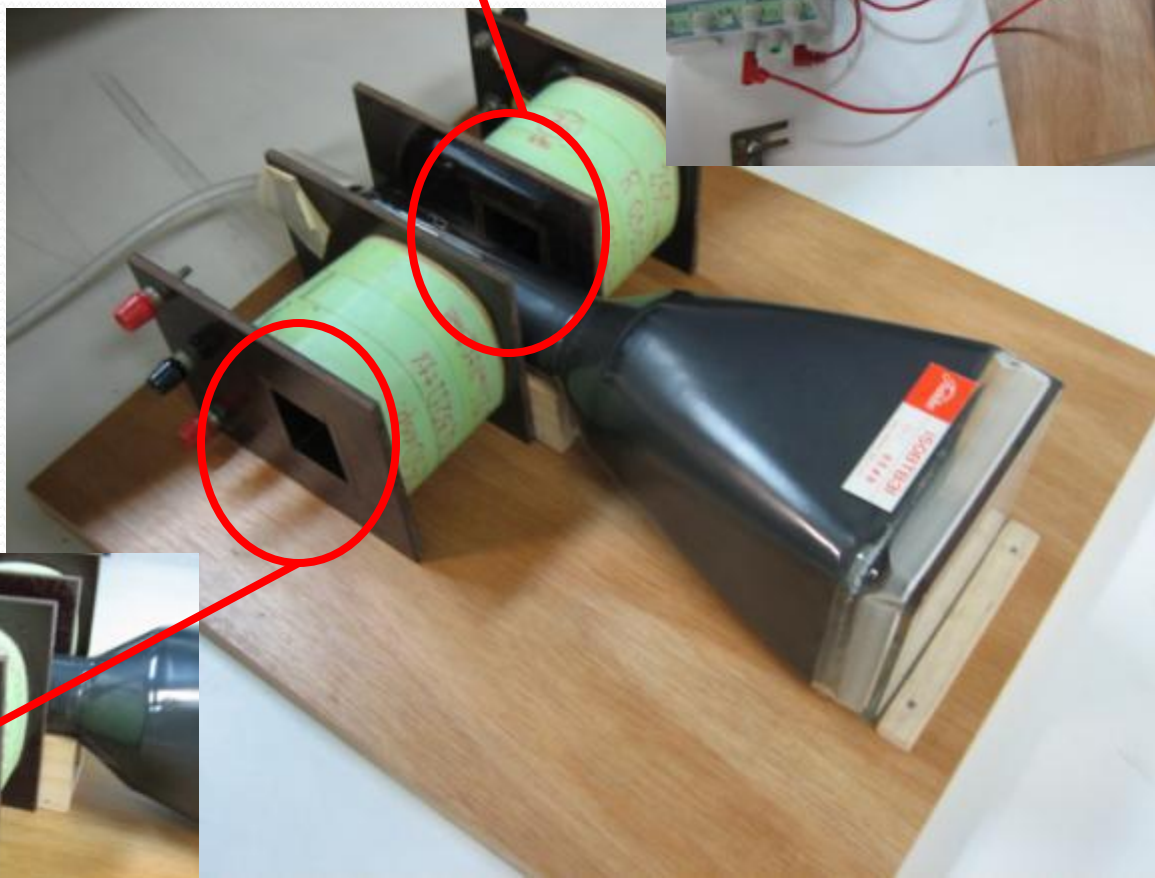
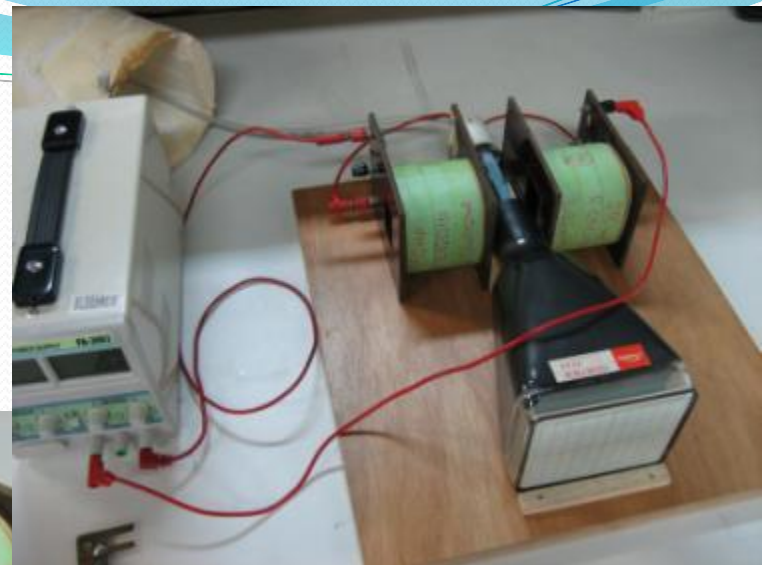
Note: The Hall Effect sensing elements used in the CI-6520A are temperature compensated. However when measuring very low magnetic field levels (± 10 gauss scale) some temperature dependent variation may be observed in the output. It is on the order of a few gauss. For the best results when using the 100X (± 10 gauss) scale the sensor should be connected to the interface for 5 to 15 minutes before data is collected. This will allow the sensing element to come to thermal equilibrium and will yield more stable results.

O nosso seletor de velocidades

- Tubo de raios catódicos para a parte de campo elétrico
- E o campo magnético?
 - Duas bobinas ligadas em série

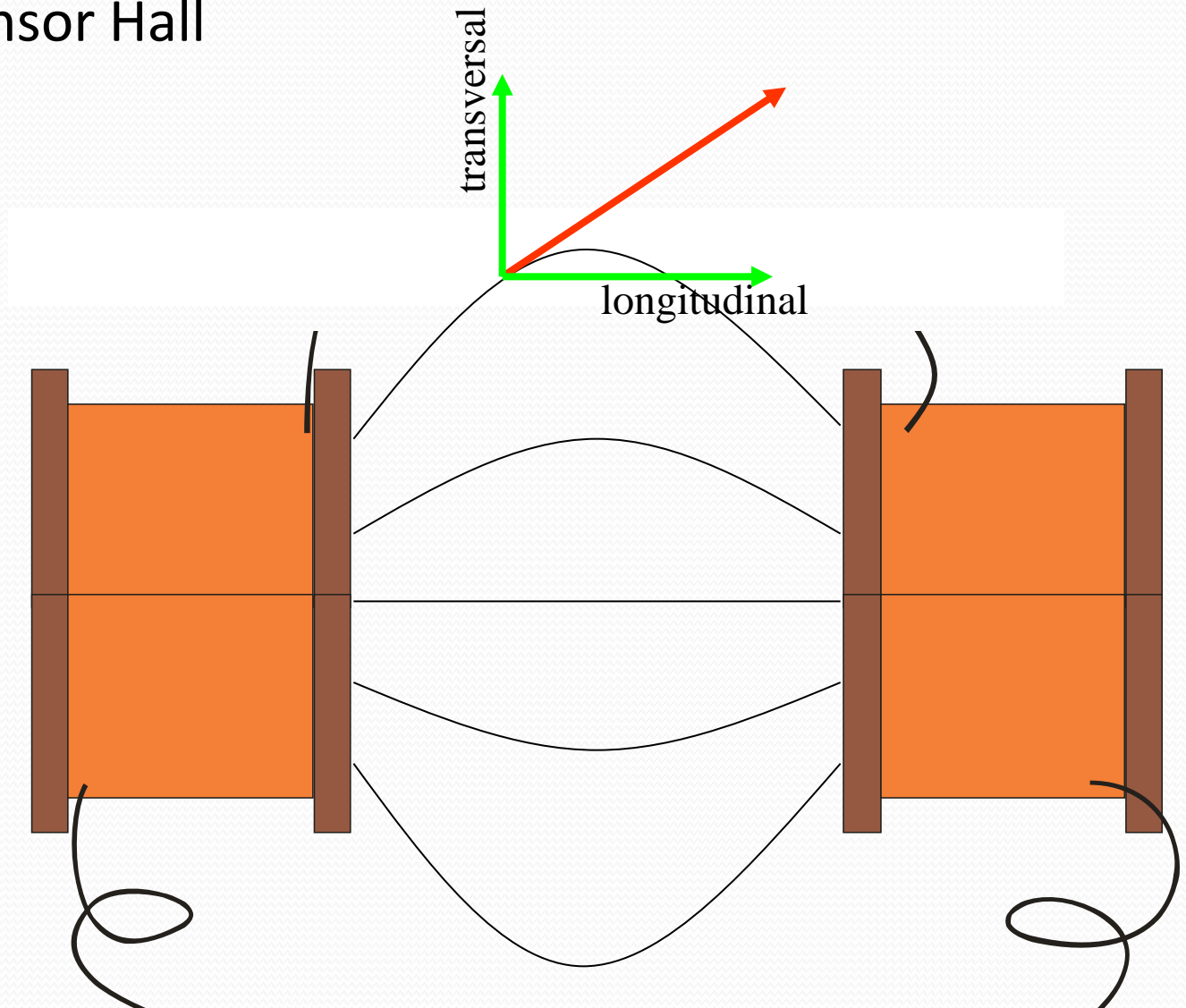


Na prática



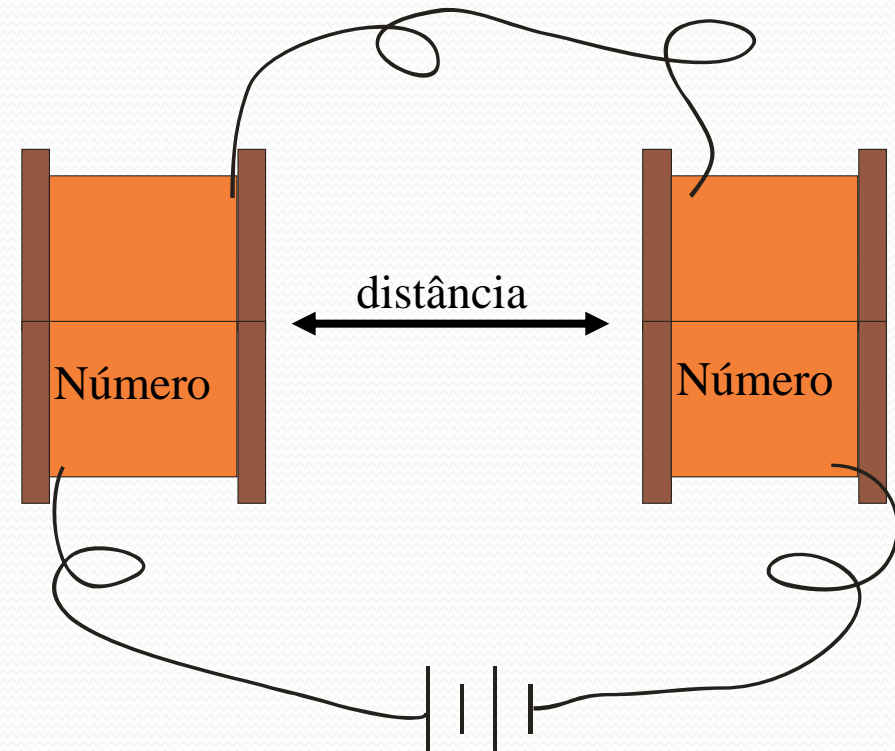
Campo longitudinal e transversal

- Chave no sensor Hall

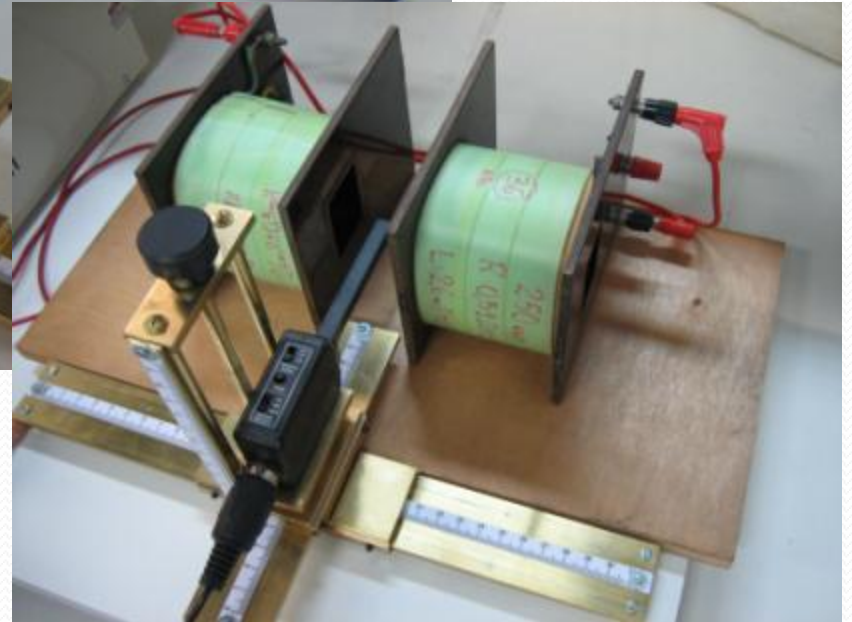
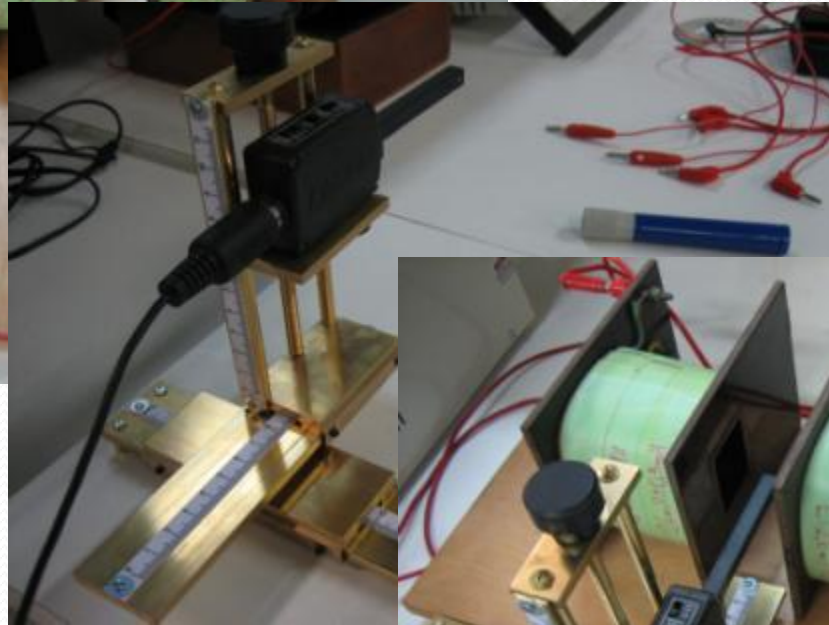
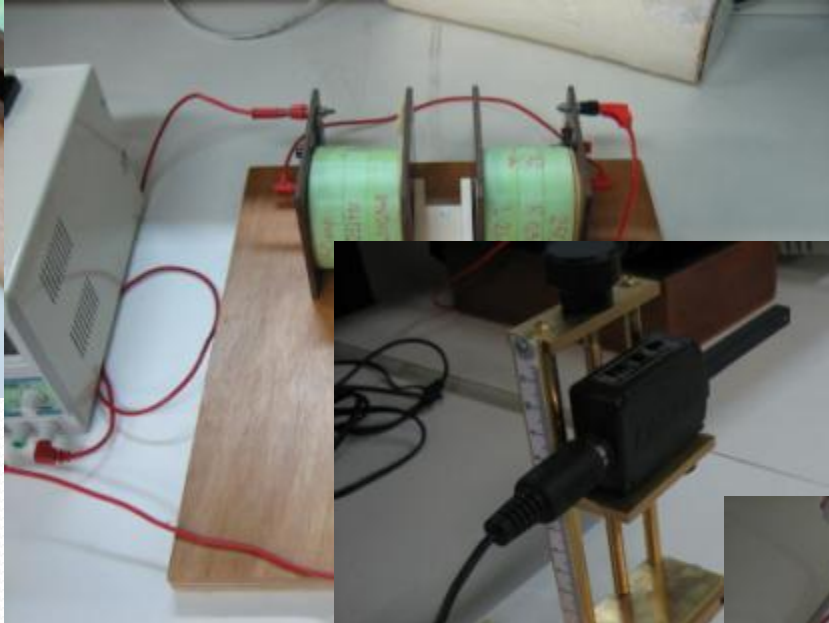
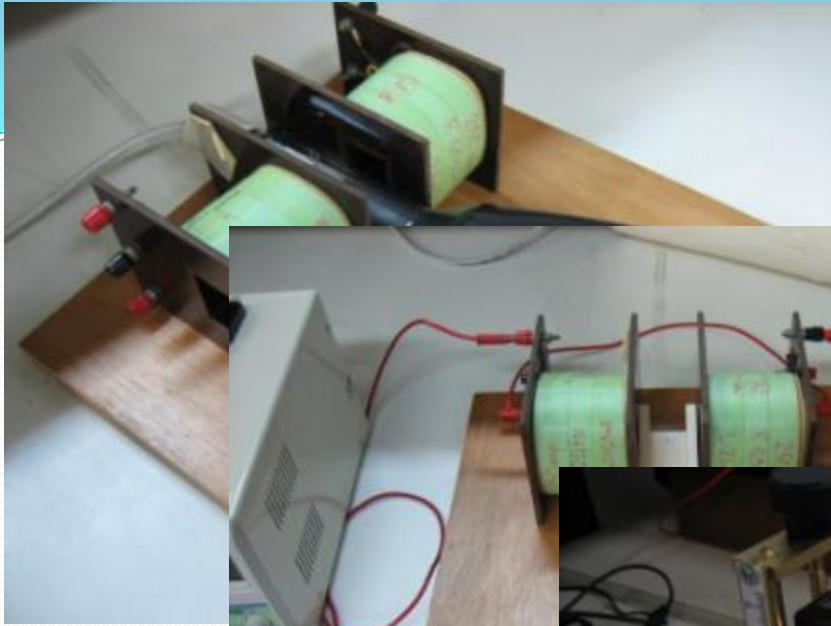


Arranjo experimental

- Montar as bobinas conforme mostra a figura abaixo
- Anotar o número das bobinas e a distância entre elas
 - Utilizar o suporte do TRC como referência
- Fiquem atentos com as ligações. Queremos que os campos se somem
- Procedimento
 - Com as bobinas desligadas.
 - Zerar (tara) o medidor Hall
 - Aplicar corrente à bobina
 - Não exceder 2 A

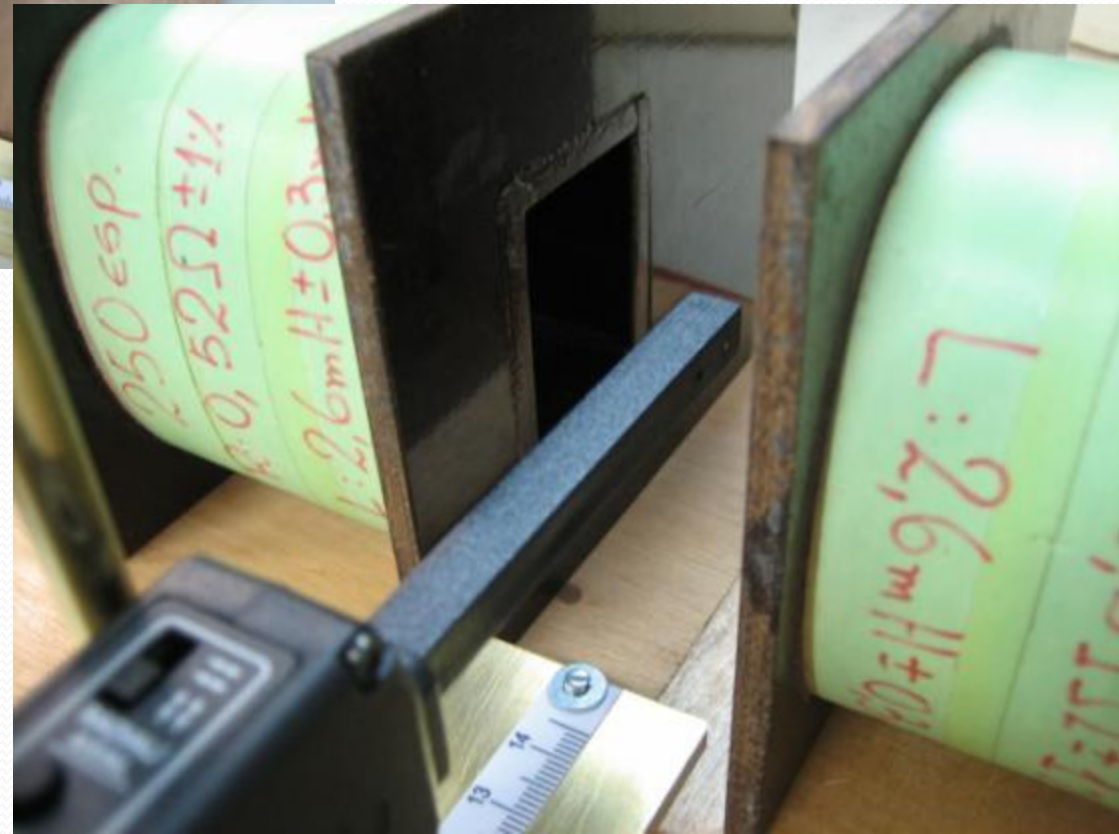
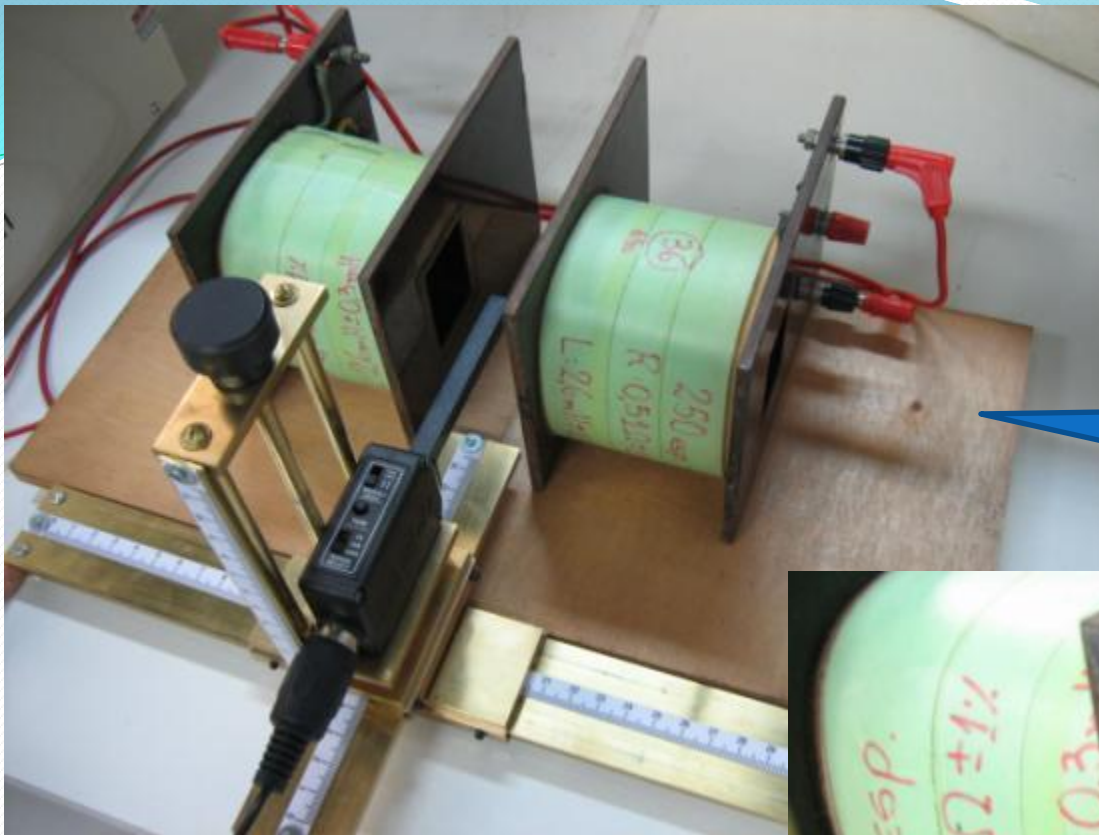


Na prática...



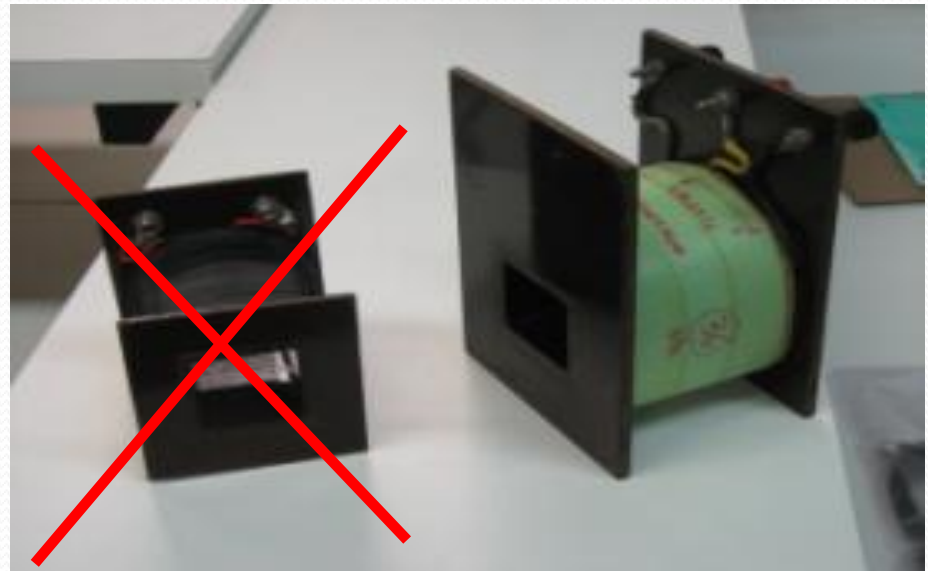
Na prática...

Suporte de madeira
para poder
centralizar o medidor
Hall



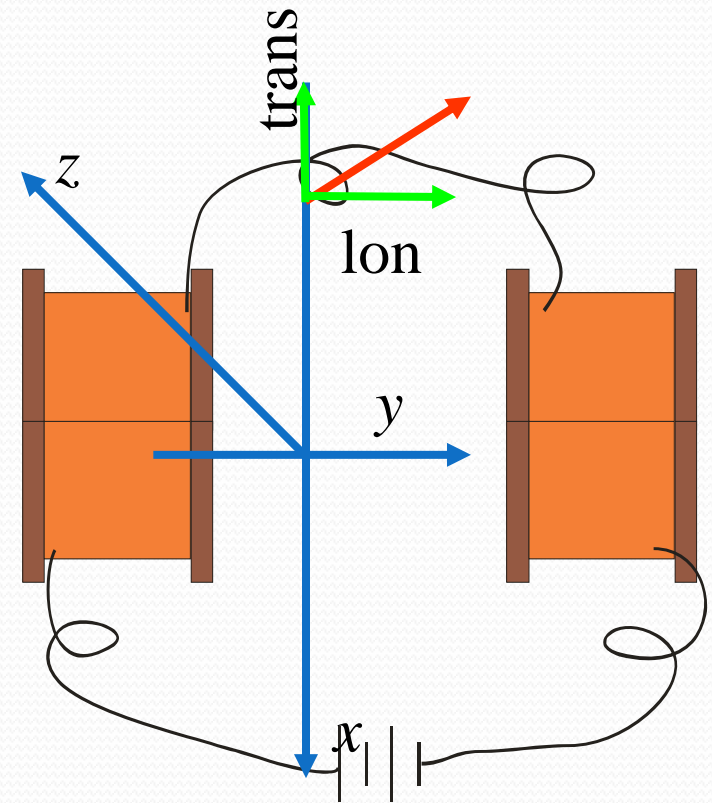
Cuidado experimental

- Parear bobinas
 - Temos 3 tipos de bobinas
 - 100, 250 e 500 espiras
 - Usar o mesmo tipo pois senão o campo não será simétrico
- Anotar o numero da bobina utilizada
- Usar bobinas grandes



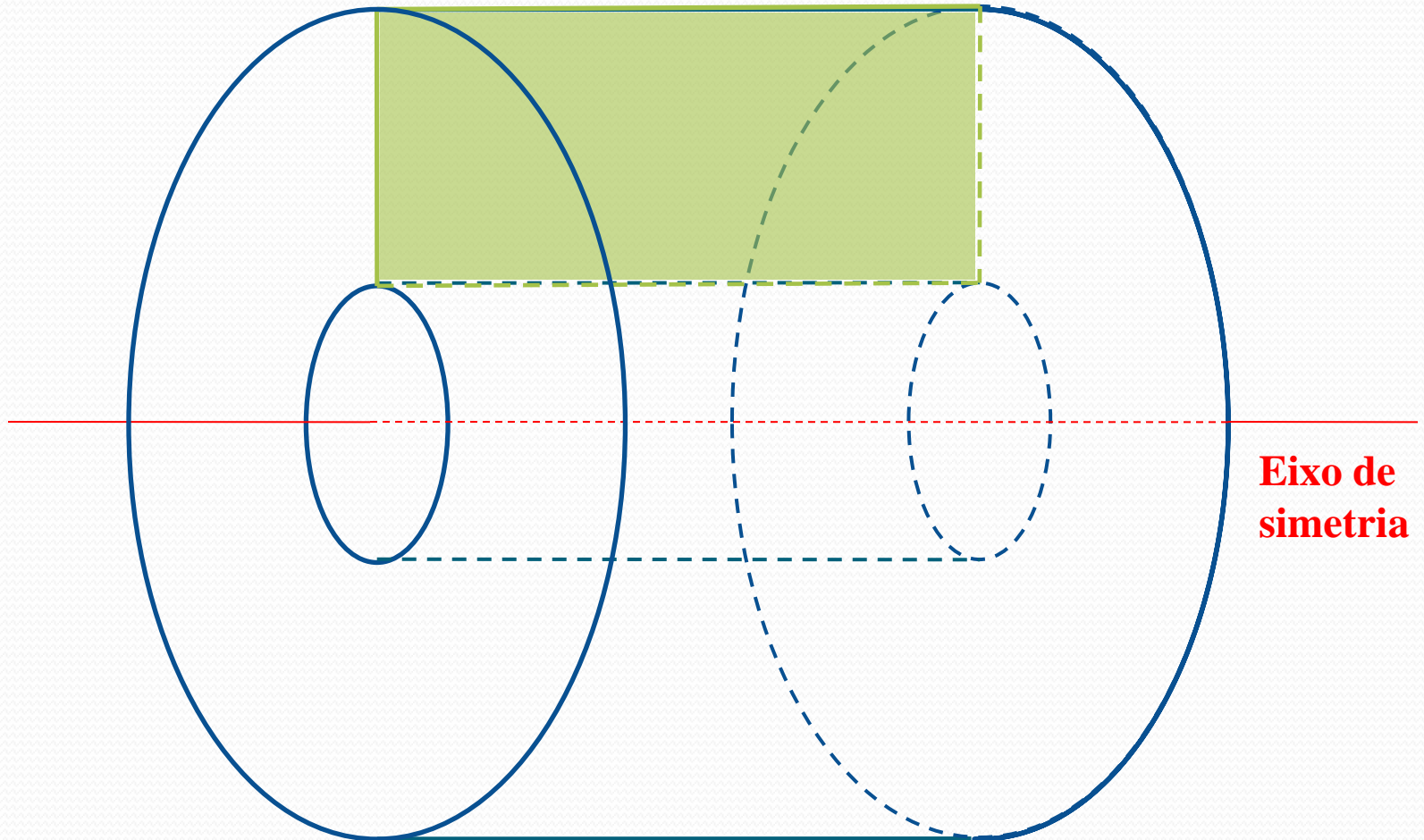
Atividades da semana (2)

- Fazer 1 gráfico de B_{lon} ao longo do eixo x para três valores de corrente nas bobinas.
 - Argumente fisicamente porque não é preciso medir o campo transversal e nem o campo nos outros eixos
- Fazer 1 gráfico de B_{lon}/i ao longo do eixo x para as três correntes medidas
 - O resultado obtido é razoável? O que você esperaria? Discuta a linearidade entre campo e corrente. O resultado obtido é compatível com o esperado teoricamente?
 - Veja as equações que relacionam campo magnético com corrente elétrica
- QUEM QUISE SE ADIANTAR:
 - Simule o problema completo no FEMM e compare aos dados obtidos

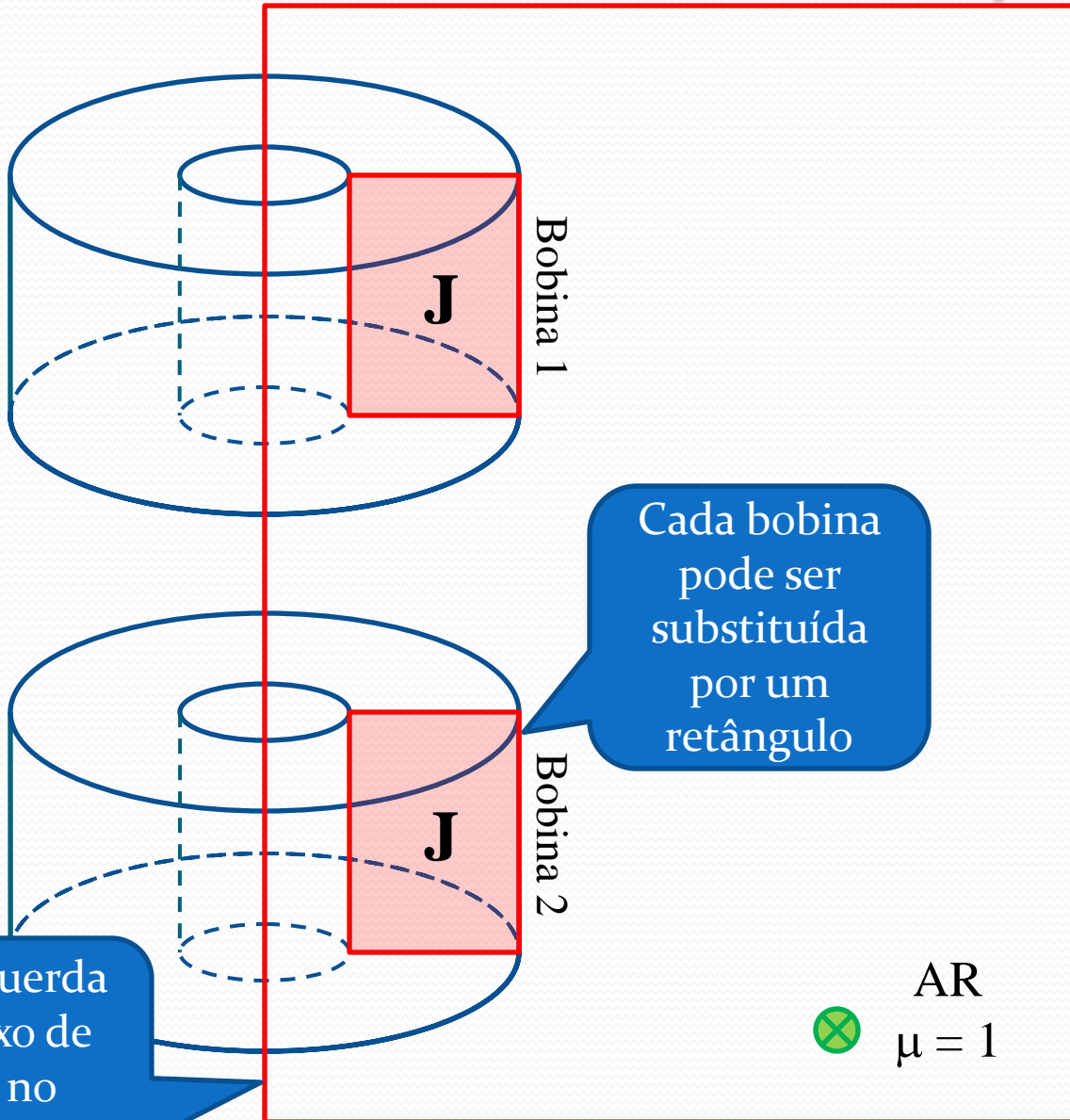


Ver tutorial no meu site, o vídeo no site do LabFlex e exemplos no site do programa

FEMM – Só resolve problemas com simetria... Neste caso: rotação



FEMM – Geometria do problema



J é a densidade de corrente em cada bobina

$$J = \frac{Ni}{A}$$

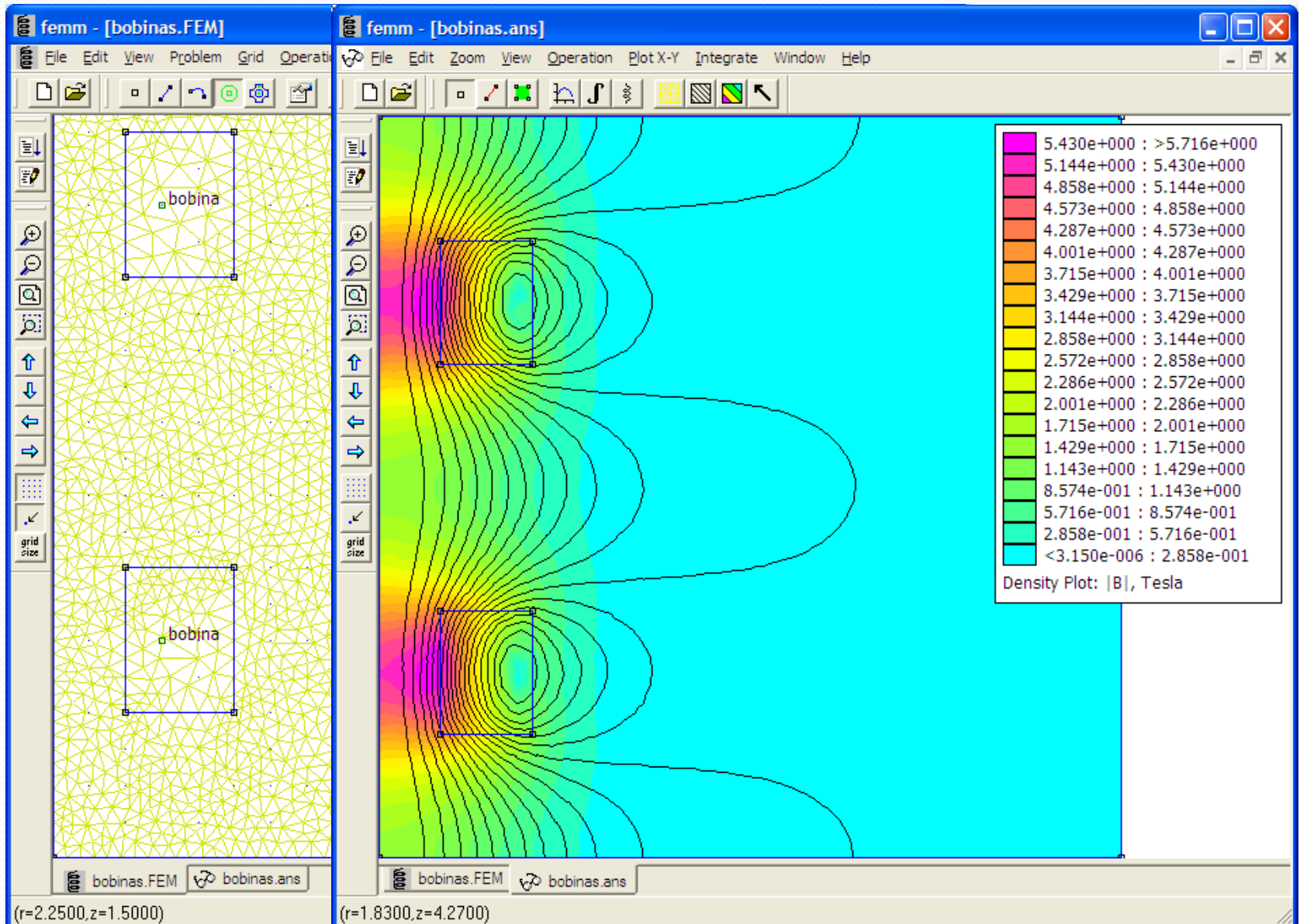
Cada bobina pode ser substituída por um retângulo

Lateral esquerda da tela (eixo de simetria no FEMM)

AR
 $\mu = 1$

Em vermelho é a geometria a ser desenhada no FEMM.

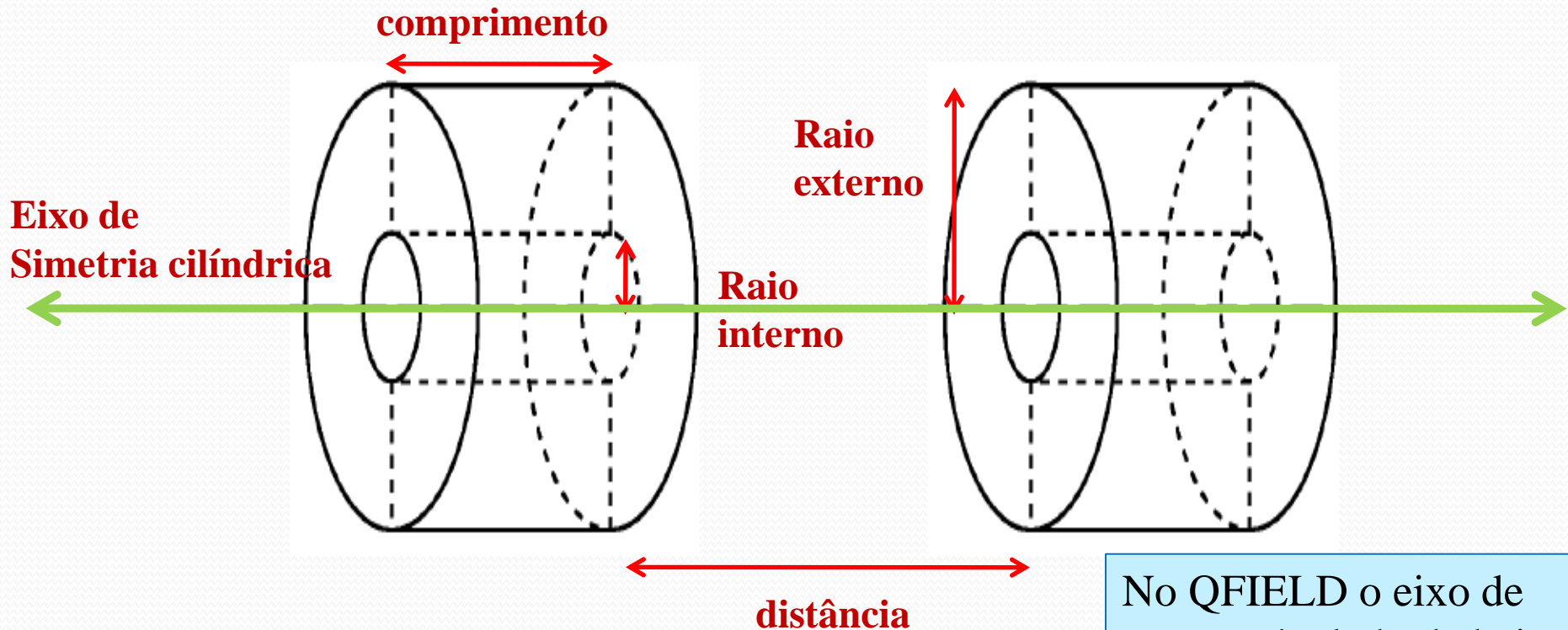
FEMM...



FEMM – Cuidados...

OBS importante:

- As dimensões são da área que passa corrente e não dos suportes, etc.
- Definir o problema como “Axissymmetric”



No QFIELD o eixo de rotação é o lado de baixo da tela !!!