



Física Experimental III

Notas de aula: www.dfn.if.usp.br/~suaide

LabFlex: www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

Aula 8

Prof. Alexandre Suaide

Ramal: 7072

Ed. Oscar Sala (Pelletron), sala 246

Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Em uma situação com um sistema ideal, temos:

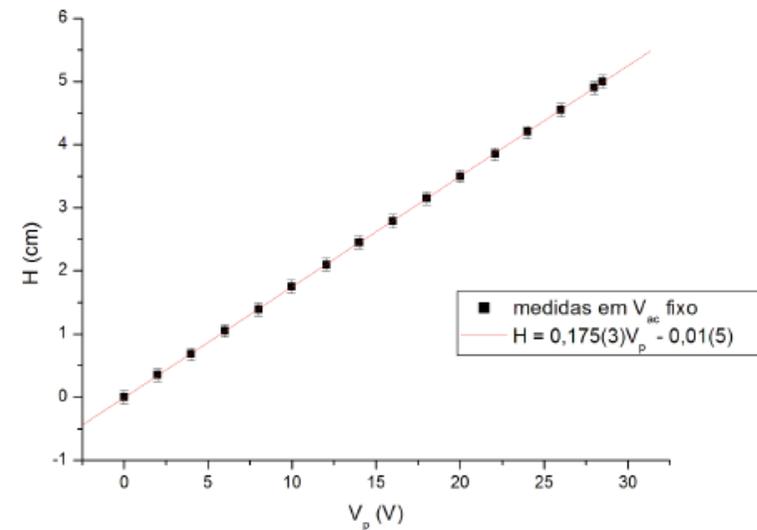
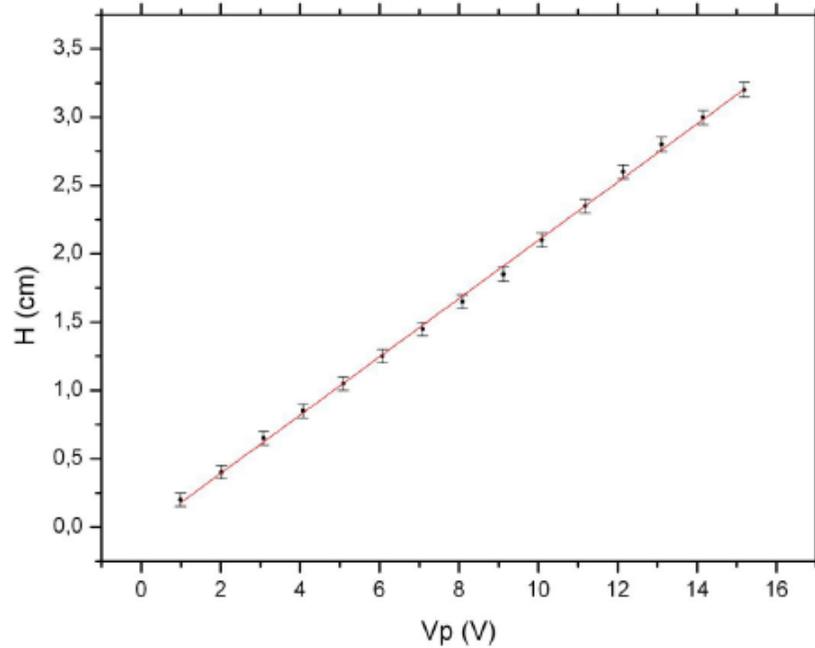
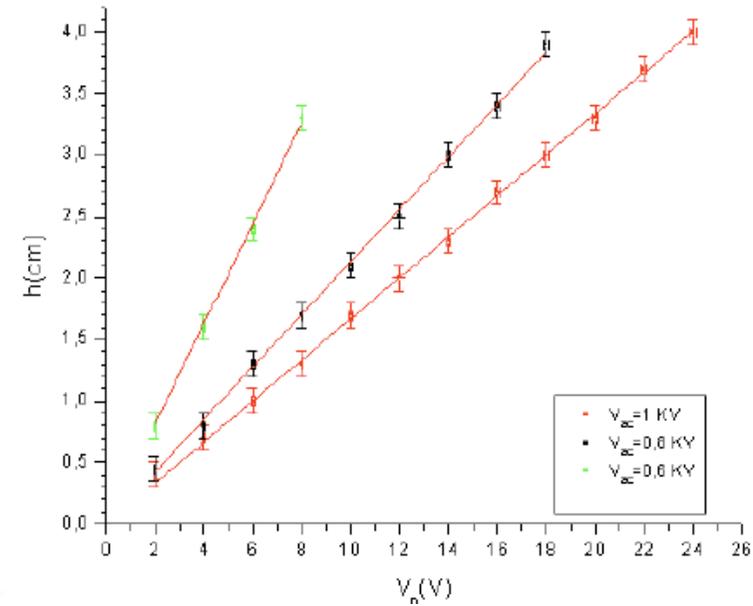
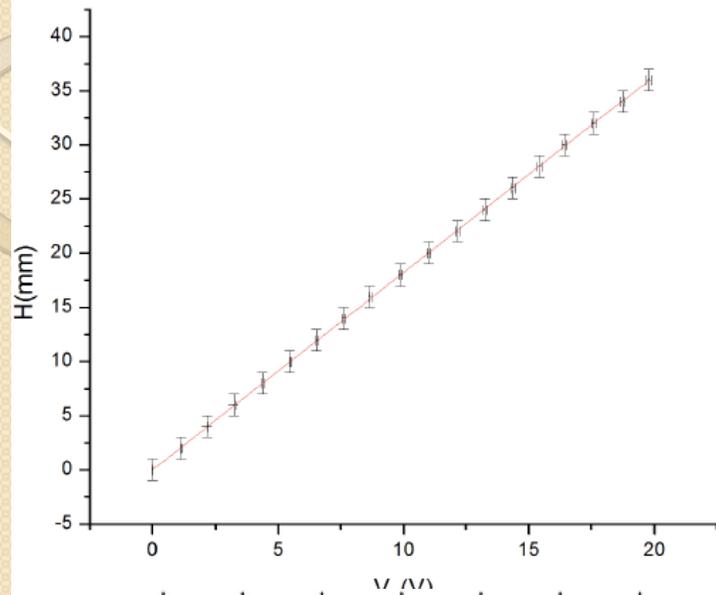
$$h = A' \frac{V_P}{V_{AC}}$$

- 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?

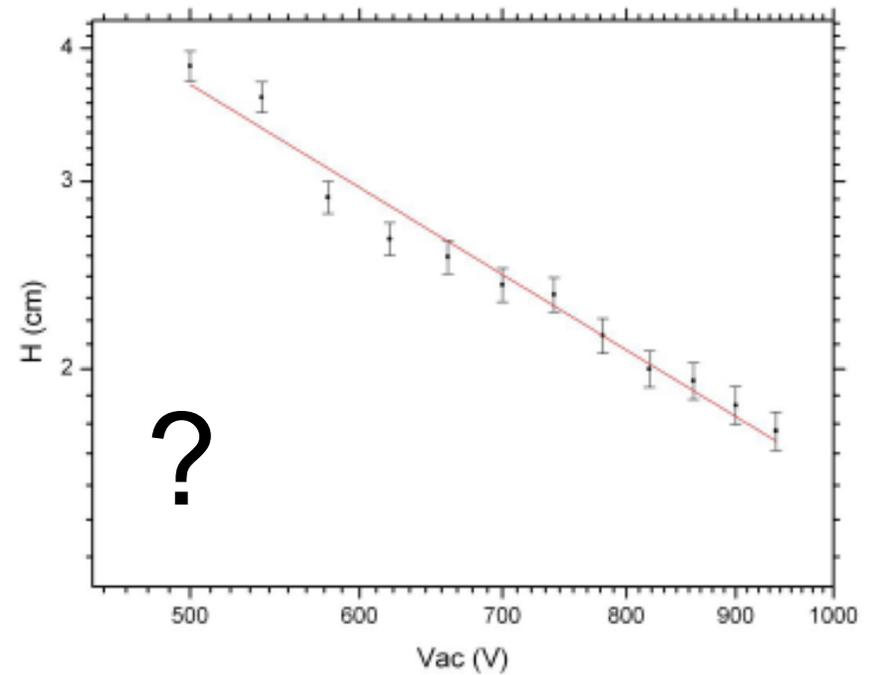
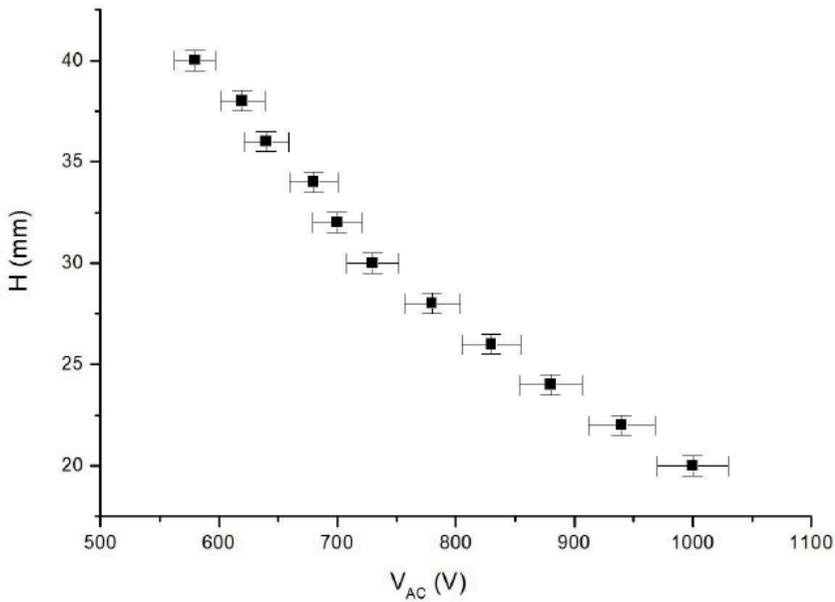
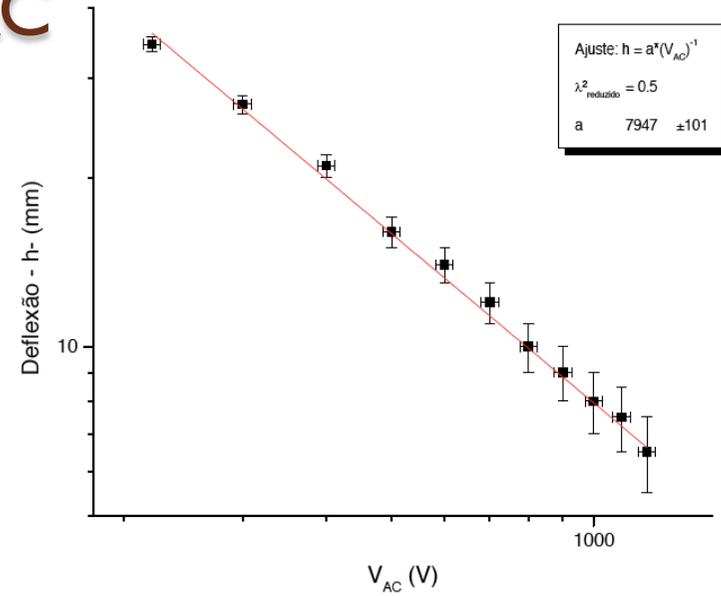
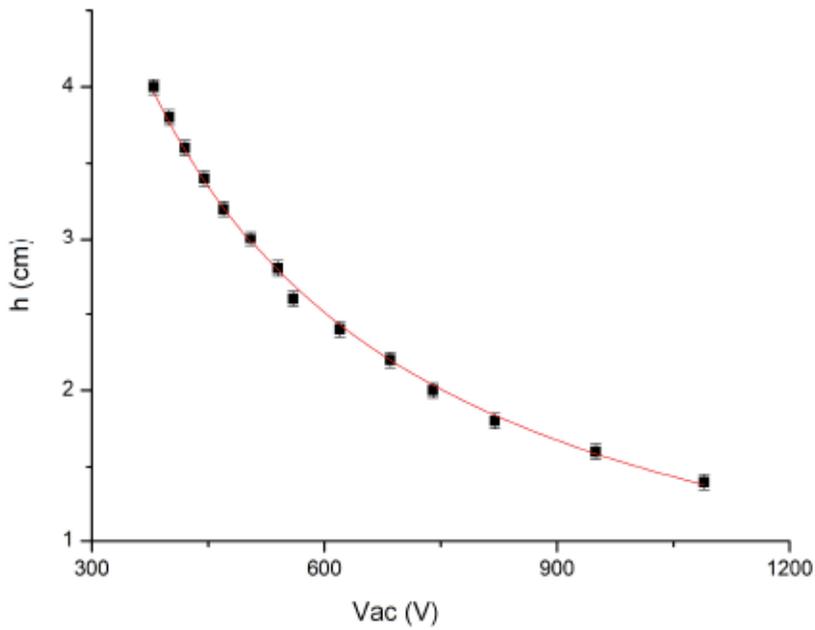
O Campo magnético local

- Porque o feixe, mesmo sem tensão entre as placas, não atinge a tela em $(0,0)$?
 - Deslocamento do feixe tanto em x como em y .
 - Campo magnético não é paralelo à bancada
 - Alinhamento do TRC com o campo local
 - Como fazer esse alinhamento?
 - Após alinhar, o deslocamento do feixe em função de V_P ocorre só em y ? Porque?

Resultados: h vs. V_p

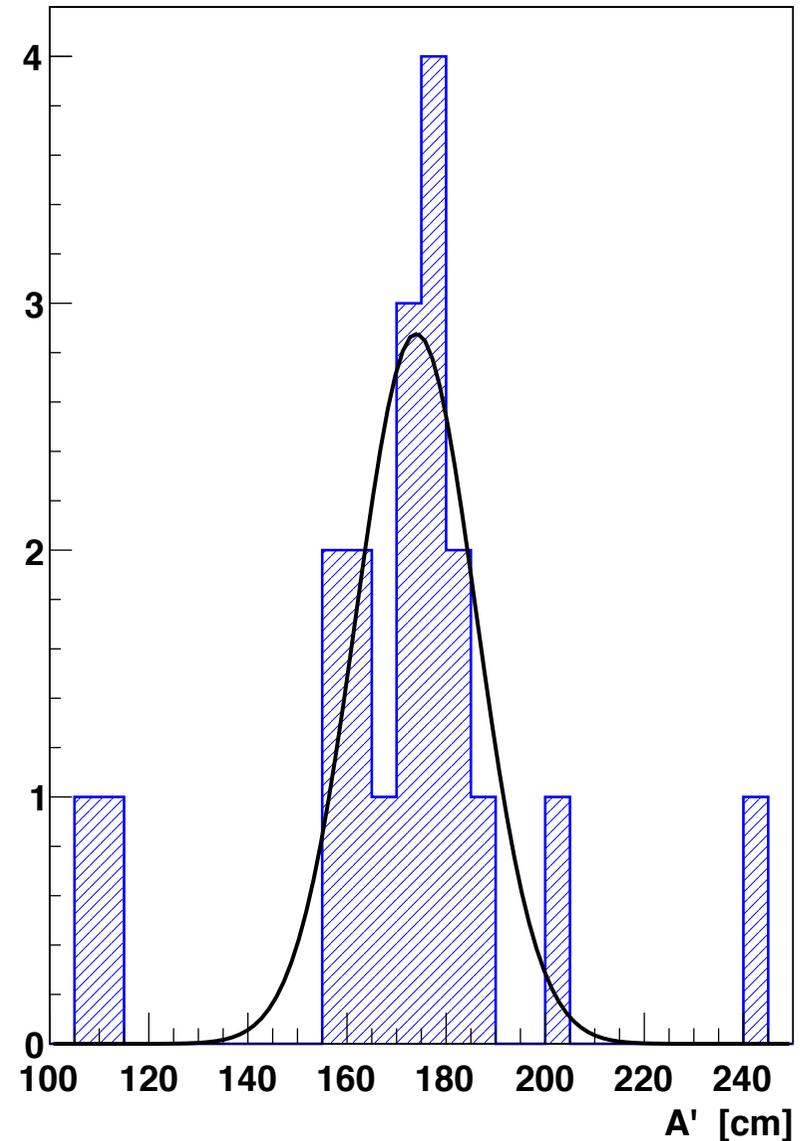


Resultados: h vs. V_{AC}



Comparação dos resultados

A' [cm] medida 1	A' [cm] medida 2
177 ± 7	243 ± 1
1,65 ± 0,06	
163-244	
158 ± 5	171 ± 11
175 ± 2	179 ± 4
170 ± 6	
177 ± 7	185 ± 48
173 ± 9	
184,8	
164 ± 6	158 ± 2
105 ± 7	112 ± 1
167 ± 5	181 ± 1
204 ± 20	180 ± 11



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)

$$E = V_P/d$$

$$1/2mv_{0x}^2 = qV_{AC}$$

- 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

Quem é 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), distância entre elas (d) e a distância à tela (D_{PS})?
- Tenho três variáveis e apenas uma medida. Como eu resolvo esta ambigüidade?

Desfazendo a ambigüidade

- Para desfazer a ambigüidade precisamos de três equações:
 - Equação para A'
 - Relaciona A' com L_P , d e D_{PS} .
 - Distância placa à tela
 - Define $L_P + D_{PS}$
- Falta ainda uma equação para resolver o problema.

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 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 escolha educada 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:

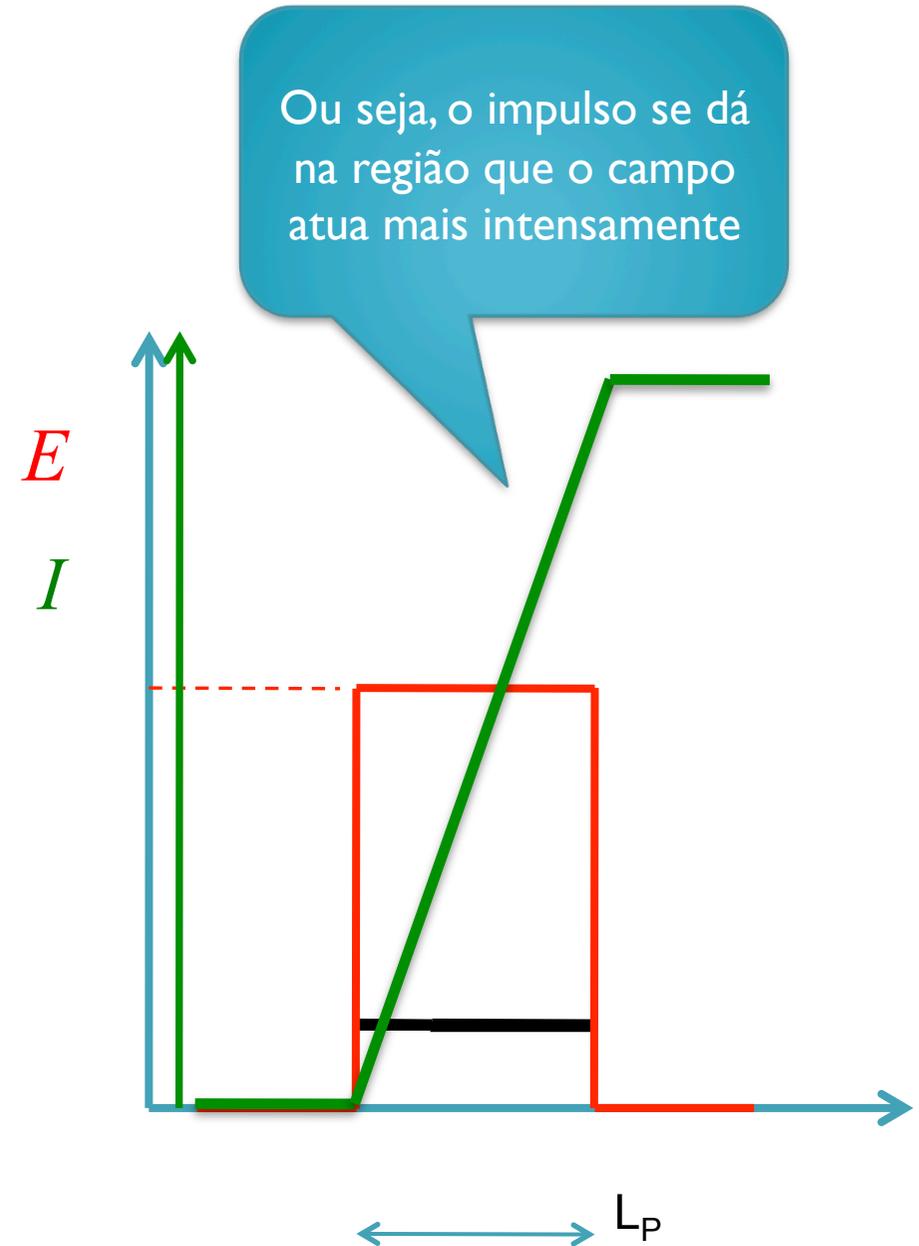
$$\vec{I} = q\vec{E}t$$

- Como:

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

- Temos:

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



IMPORTANT!

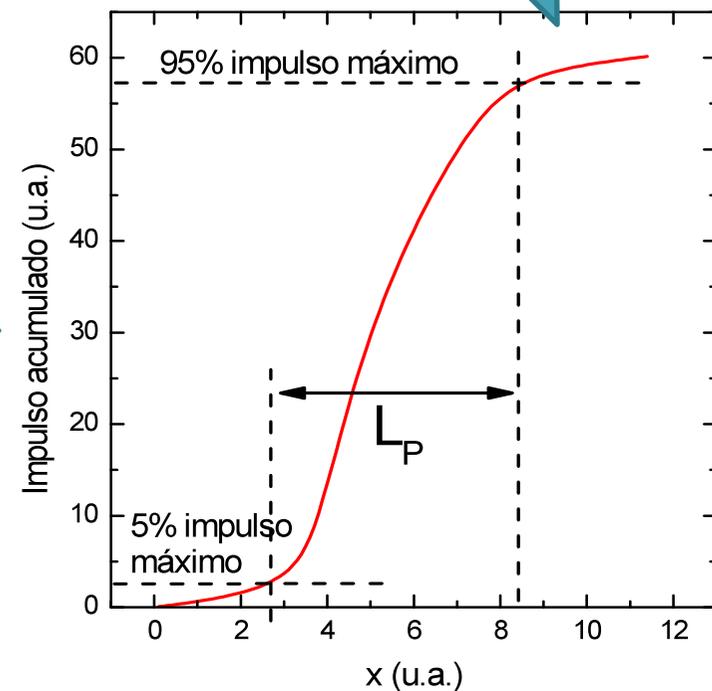
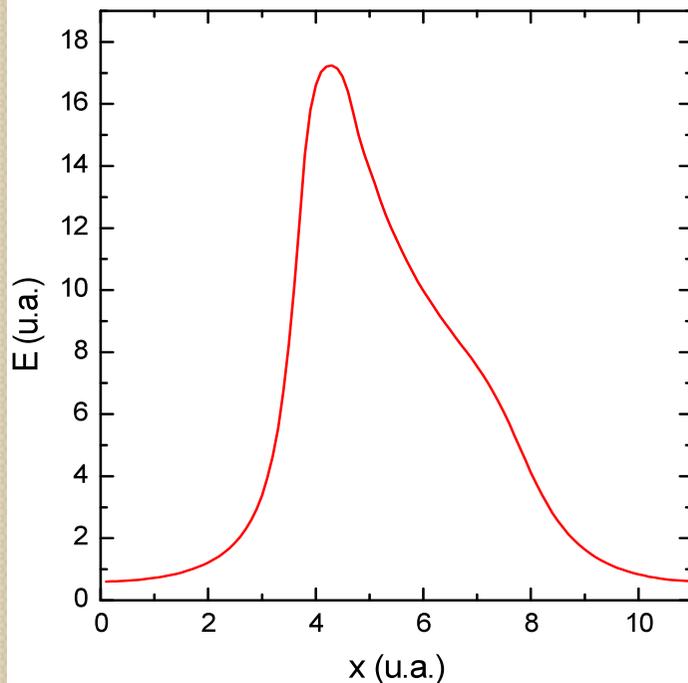
Quem é L_P e d ?

- 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

Calculo L_P a partir deste gráfico



Assim...

- Para desfazer a ambigüidade precisamos de três equações:
 - Equação para A'
 - Relaciona A' com L_P , d e D_{PS} .
 - Distância placa à tela
 - Define $L_P + D_{PS}$
 - Impulso acumulado
 - estabelece L_P

O Feixe duplo

- Em tensões de aceleração baixas e deslocamentos perto das bordas pode-se observar dois feixes.
 - Alguns TRC's são mais evidentes que outros

dois feixes, que parecia aumentar quanto maior era a deflexão H . A distância dH foi definida como sendo a distância entre o centro dos dois feixes. Os dados obtidos estão relacionados na figura 4

$V_p(X)$	H	DH
10,4	3,25	0
11,81	3,75	0,02
12,73	4,03	0,05
14,37	4,55	0,09
15,35	4,83	0,1
16,75	5,35	0,12

Figura 4: Dados referentes à separação entre os feixes



Algumas explicações

Não sabemos exatamente porque este efeito ocorre, mas como é sabido, a tendência natural dos elétrons do feixe é de se afastarem porque possuem o mesmo sinal de carga; e que é a função dos astigmatismos refocalizarem o feixe, “compactando” os elétrons novamente.

Porém, com uma tensão de aceleração baixa, os elétrons movem-se mais “devagar”, e com um deflexão grande, os elétrons têm de percorrer também uma maior distância.

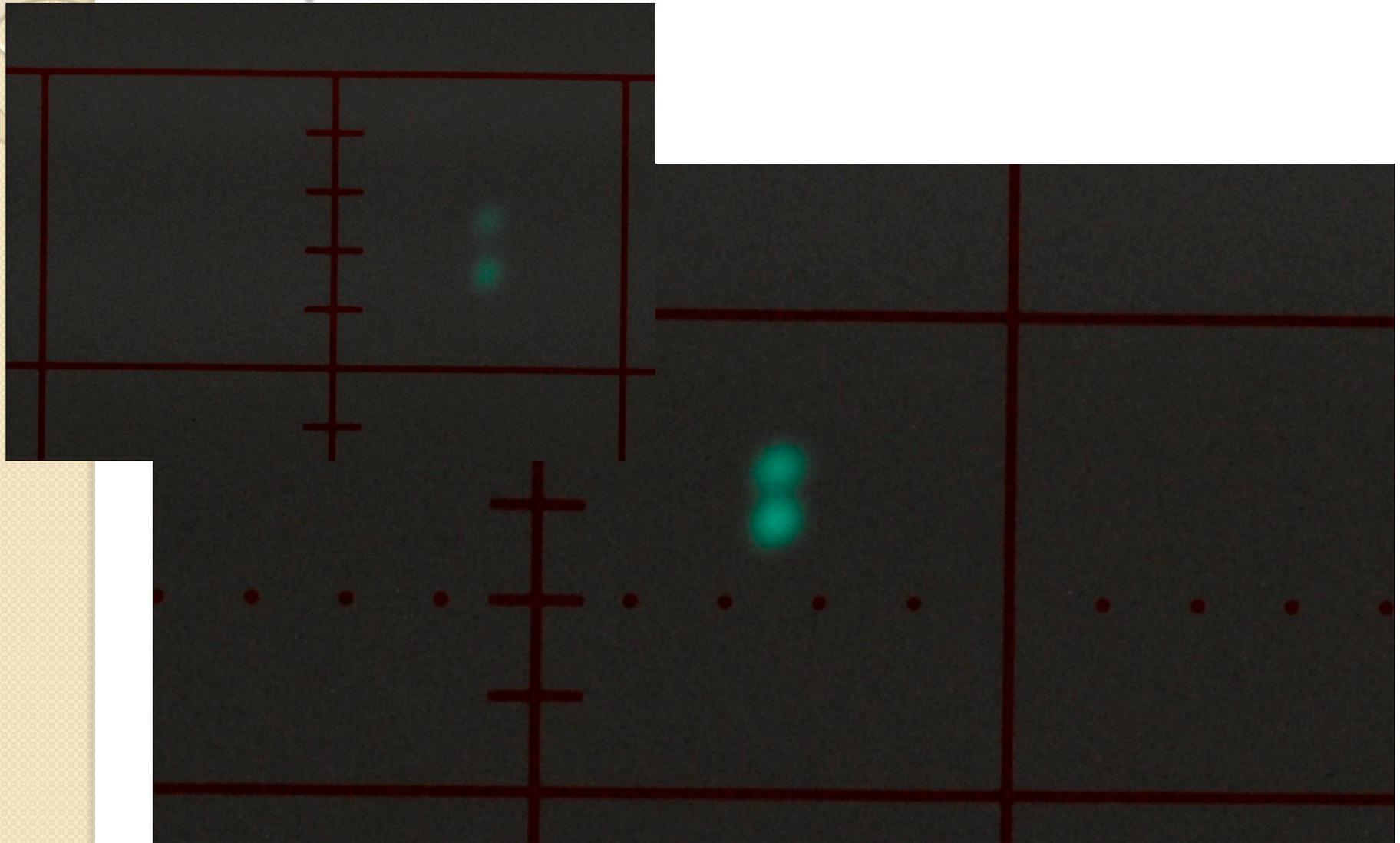
No caso considerado, os elétrons percorrem uma maior distância a uma baixa velocidade, ou seja, gastando mais tempo. Assim, acreditamos que esse tempo maior para percorrer o mesmo caminho é suficiente para os elétrons se afastarem novamente e o feixe aparecer na tela dividido em dois.

Numa tentativa de explicar o fenômeno, chegamos a propor que seria influência do campo magnético não uniforme local sobre o spin do elétron. No entanto, para que separações dessa ordem de grandeza fossem observadas, a taxa de variação da componente vertical do campo magnético local com a altura deveria ser superior a 6000T/m , um valor que, decididamente não é razoável. Ainda carecemos de explicação para o fenômeno.

O fenômeno da divisão de 2 feixes(chamado de astigmatismo),obtido nas condições de $V_{ac}=450\text{ V}$ de $h=4\text{ cm}$, não foi obtido no TRC do experimento, mas a partir de um segundo TRC colocado nas mesmas condições experimentais, com exceção de estar numa outra bancada.

Segundo uma patente confiável de um invento que corrige esse fenômeno,os elétrons sujeitos ao campo magnético(no experimento dele devido a yoke,e ao nosso devido ao B local),os elétrons podem ser defletidos de forma um pouco diferente dependendo da posição deles dentro do feixe de elétrons.Assim, eles podem estar desfocados mesmo depois da passagem nas lentes de foco.

O que é observado?



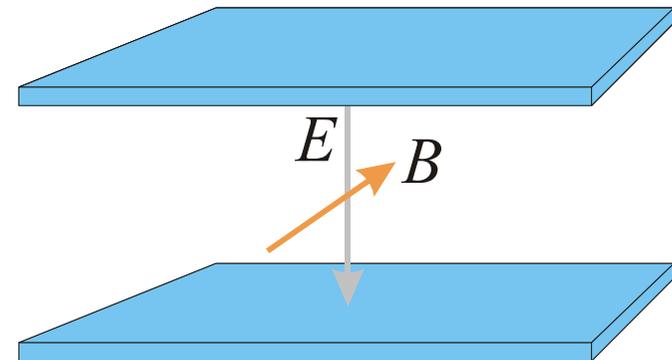
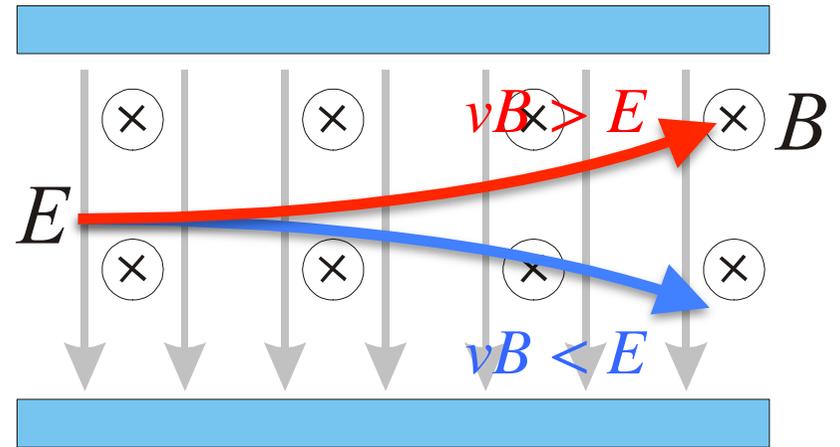
Objeto de estudo: o Filtro de Wien

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

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

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

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



Metodologia a ser adotada

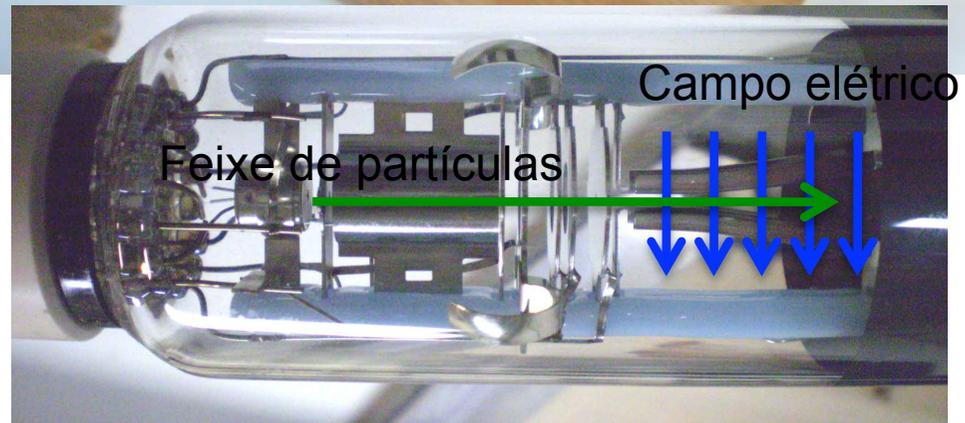
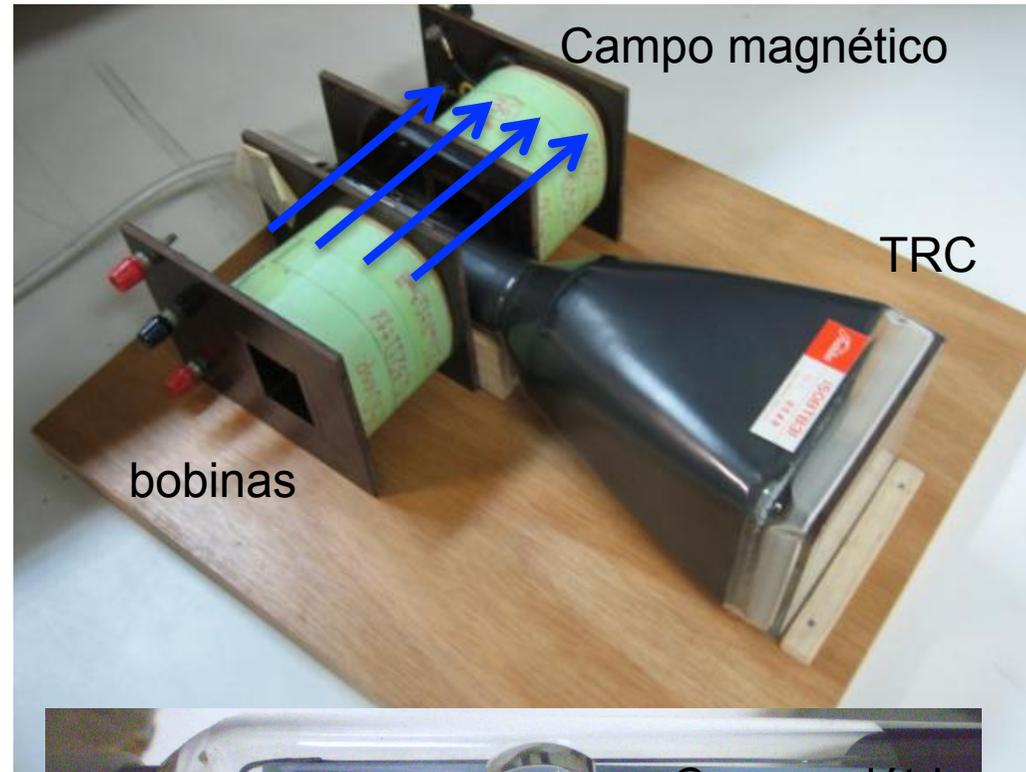
- Isolar o campo elétrico
 - Como gerar o campo elétrico
 - Estudar o campo elétrico gerado
 - Do que depende o campo? Qual a intensidade em cada ponto do espaço e como a geometria do problema altera este campo?
- Entender como é o movimento de partículas dentro deste campo elétrico?
 - Como gerar estas 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

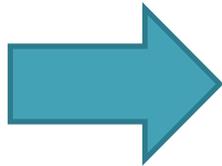
Nosso acelerador de partículas

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



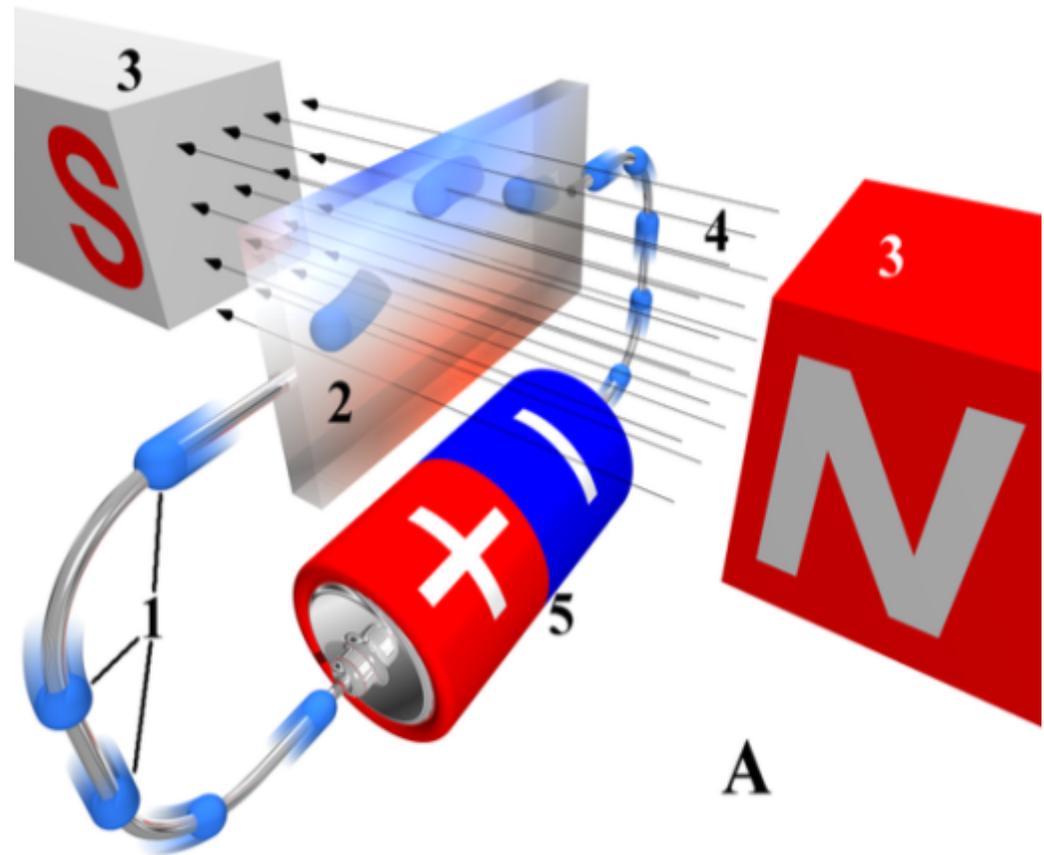
Como medir campos magnéticos?

- 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



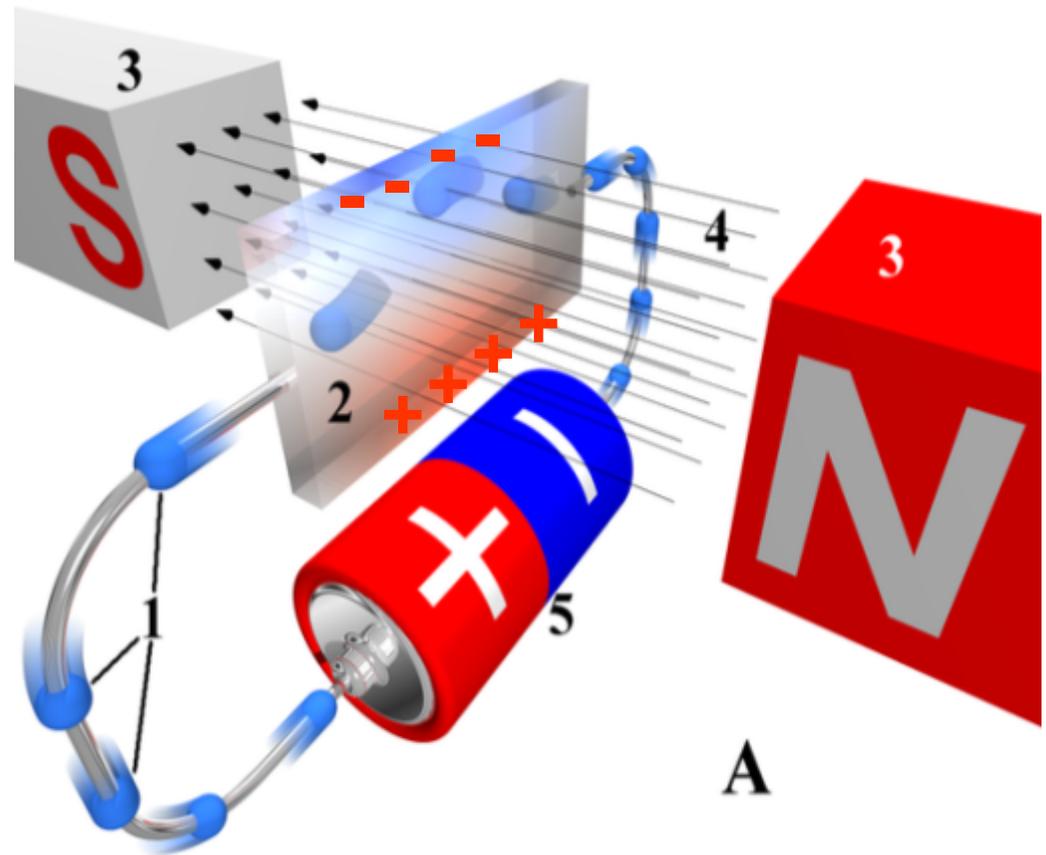
O efeito Hall

- 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.



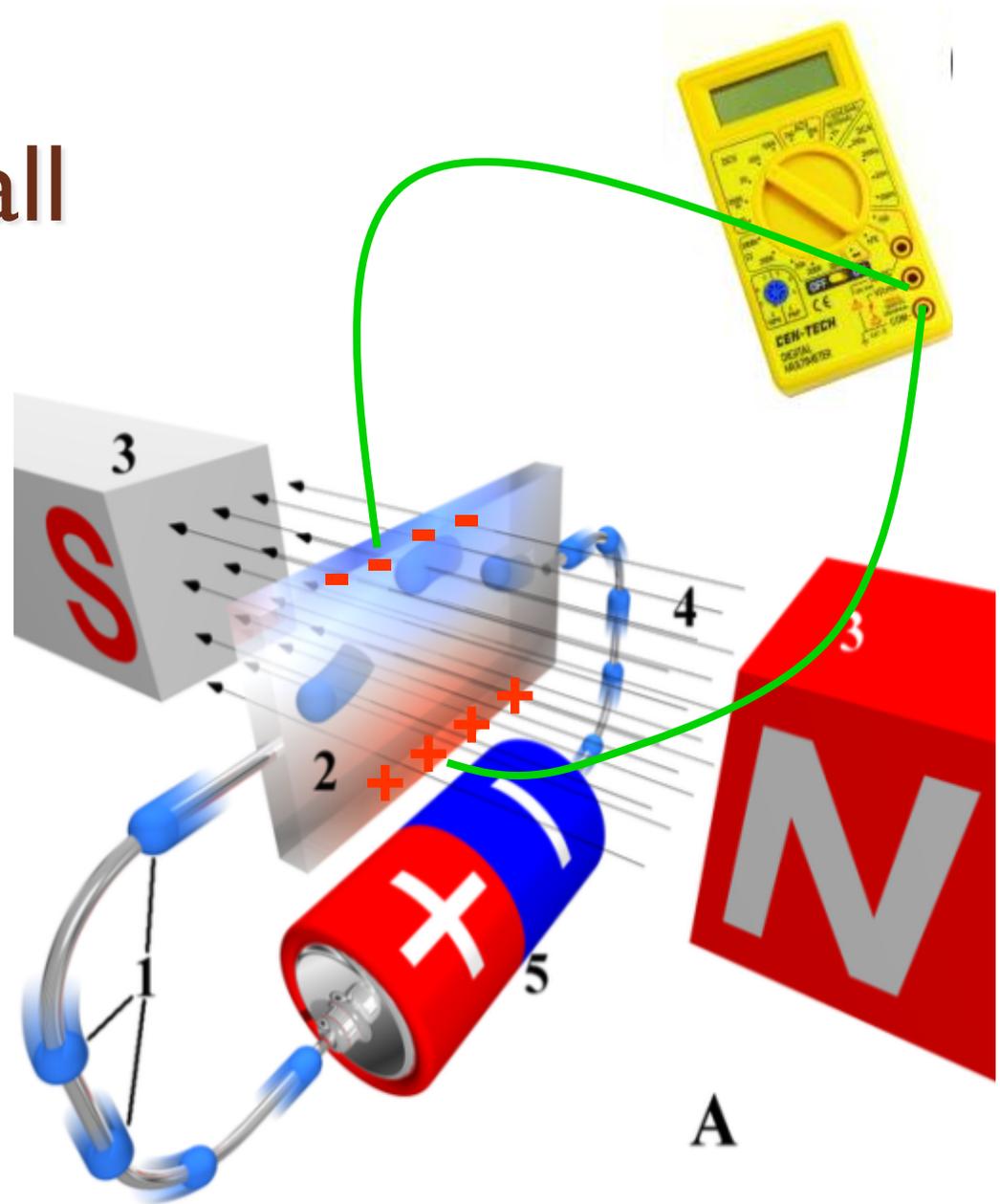
O efeito Hall

- Esta mudança de distribuição de cargas no condutor cria uma diferença de potencial entre as superfícies do mesmo



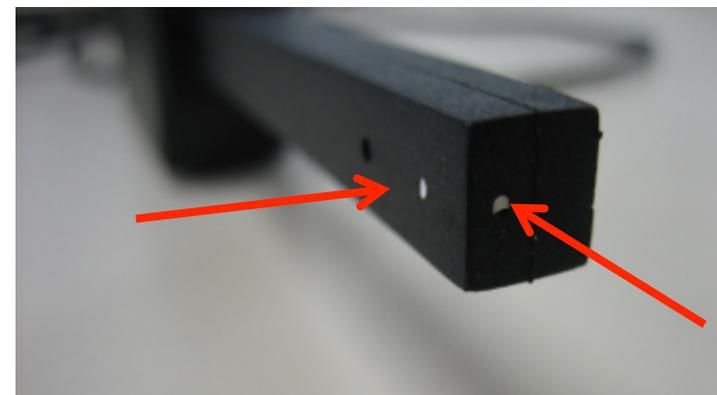
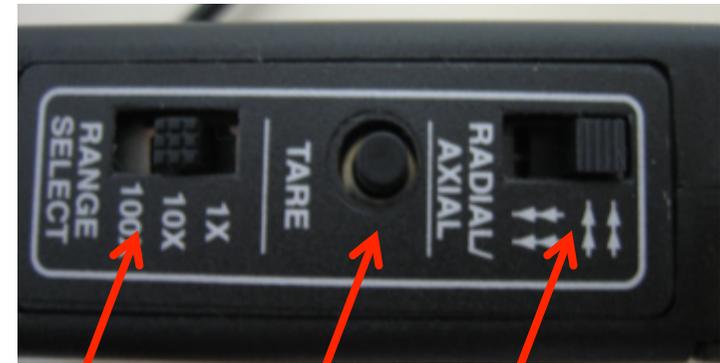
O efeito Hall

- A medida desta diferença de potencial é proporcional ao campo magnético



O Sensor Hall de Lab III

- 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
 - Botão de calibração (Tare)



Algumas peculiaridades do sensor Hall do laboratório



Table 1
Magnetic Sensor Specification Chart

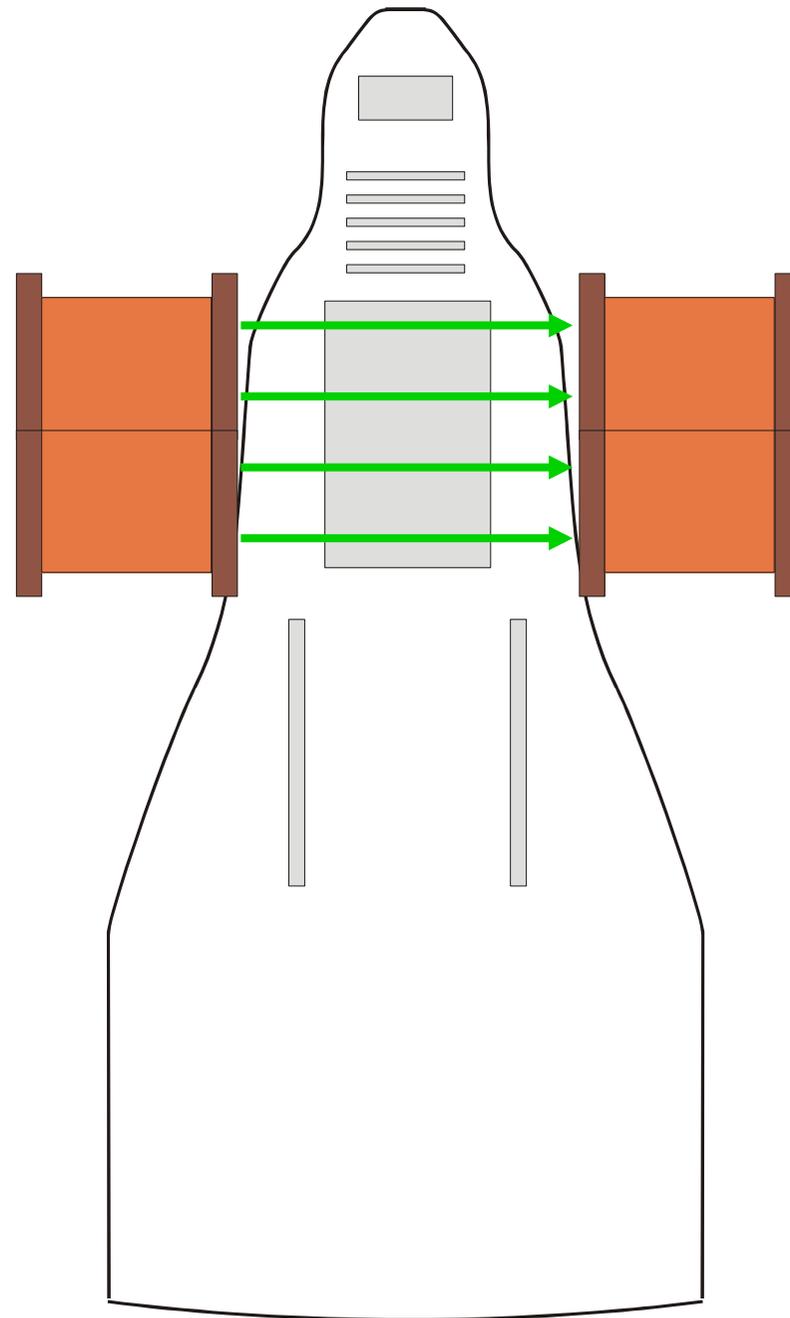
Range	Gain	Resolution	Accuracy	Calibration Factor
± 1000 gauss	1X	0.5 gauss	100 gauss	100 gauss/volt
± 100 gauss	10X	0.05 gauss	10 gauss	10 gauss/volt
± 10 gauss	100X	0.050 gauss	1 gauss	1 gauss/volt

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.

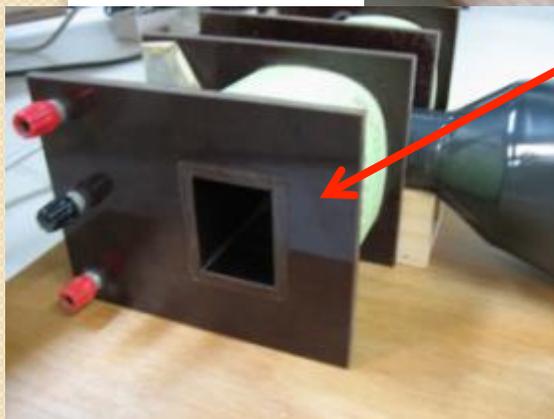
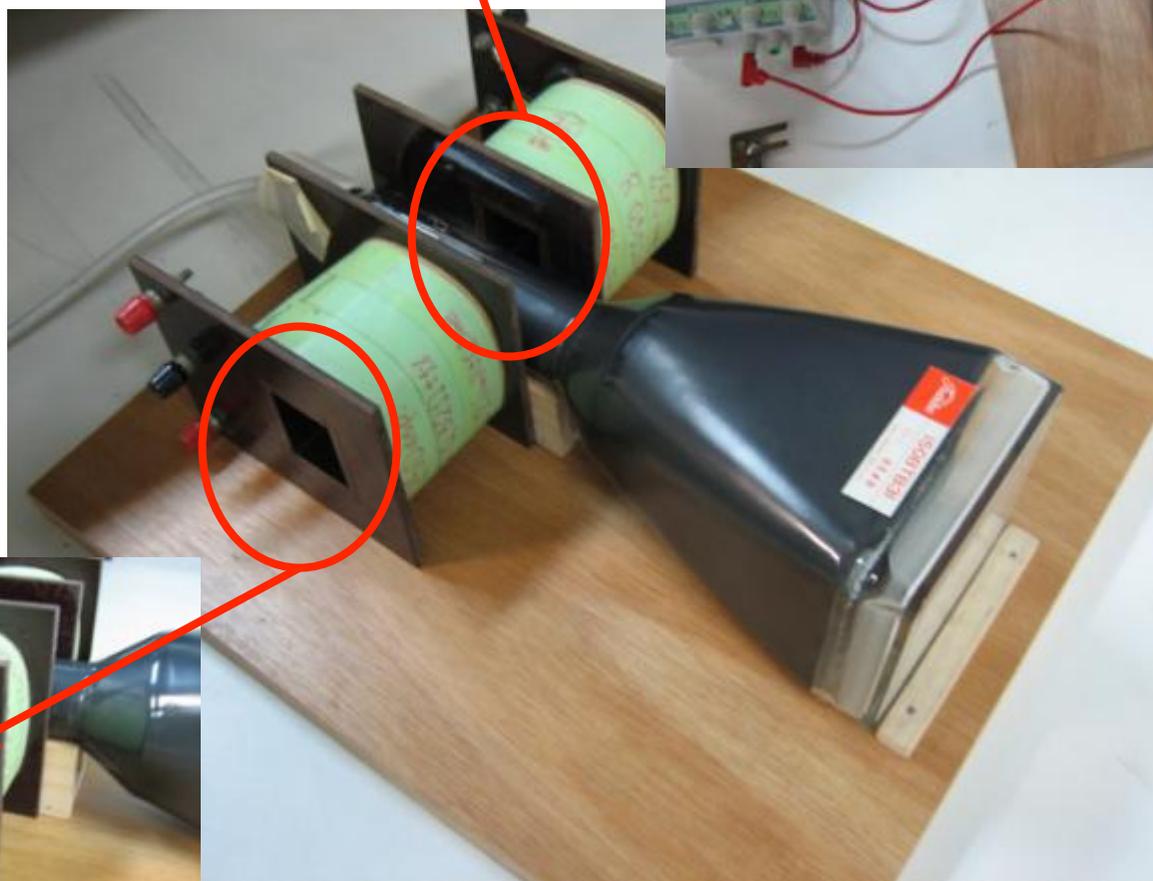
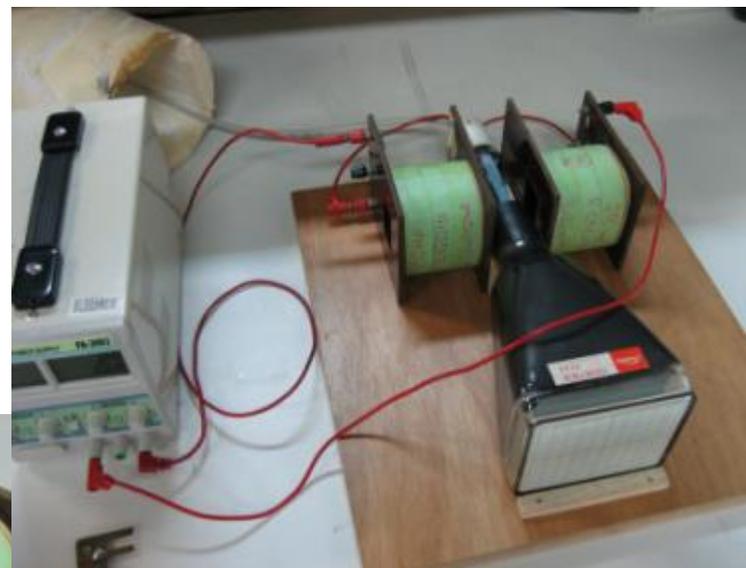
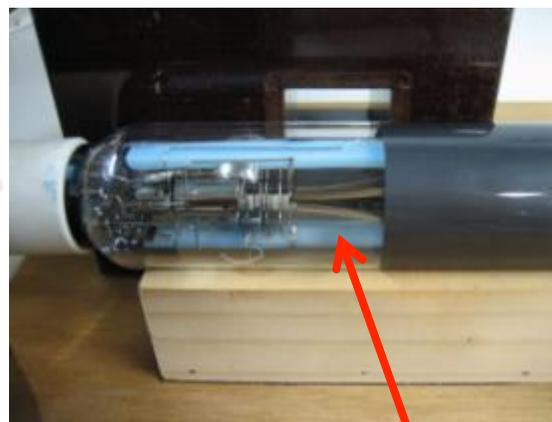
This will allow the sensing element to come to thermal equilibrium and will yield more stable results.

O nosso seletor de velocidades

- Tubo de raios catódicos para a parte de campo elétrico
 - Duas bobinas ligadas em série



Na prática...



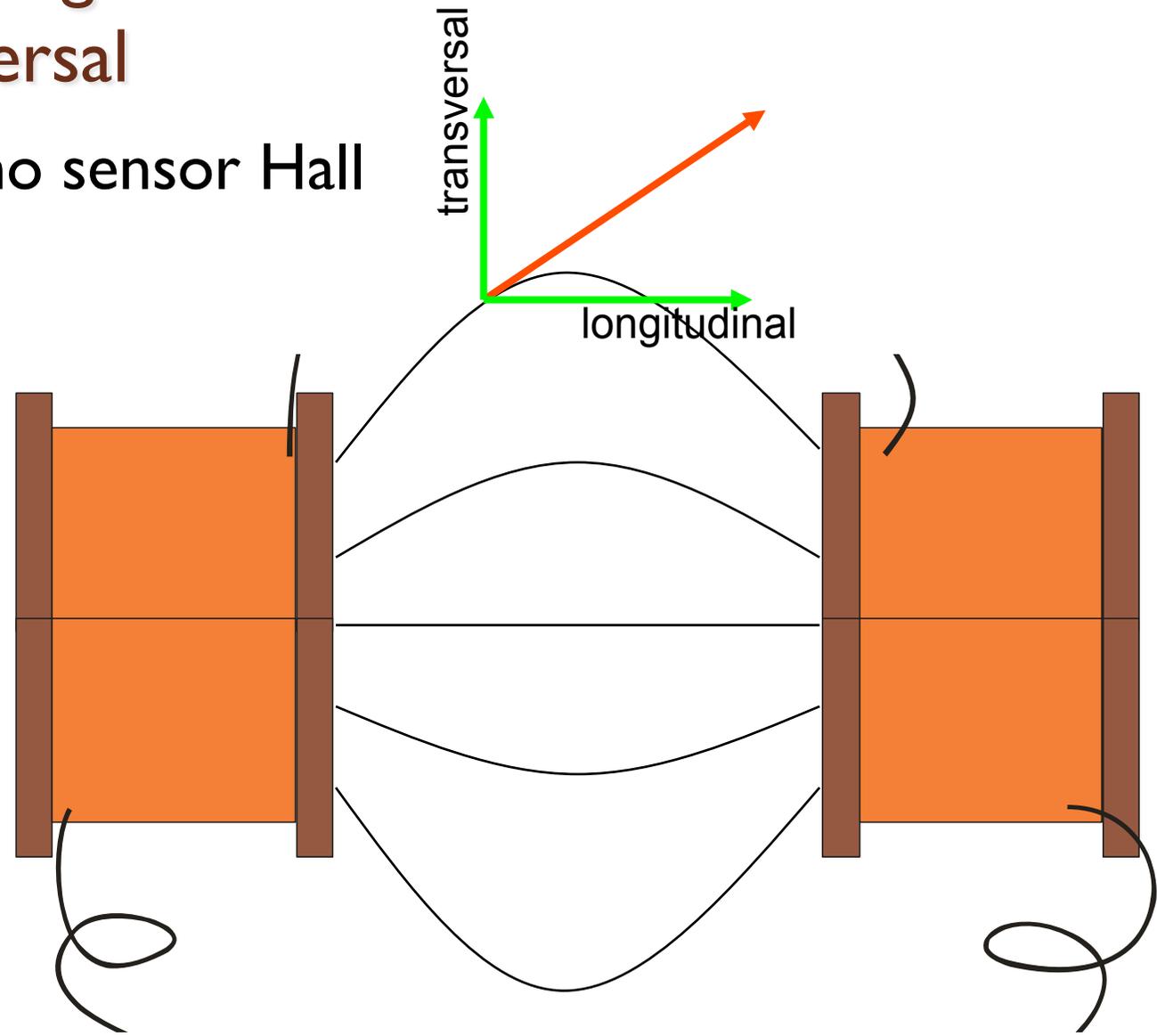


Objetivos experimentais da semana

- Montar as bobinas que serão utilizadas para o mapeamento do campo magnético
- Mapear o campo magnético:
 - O campo é um vetor no espaço.
 - Preciso medir todas as componentes ou posso usar argumentos físicos e me concentrar em apenas uma delas?

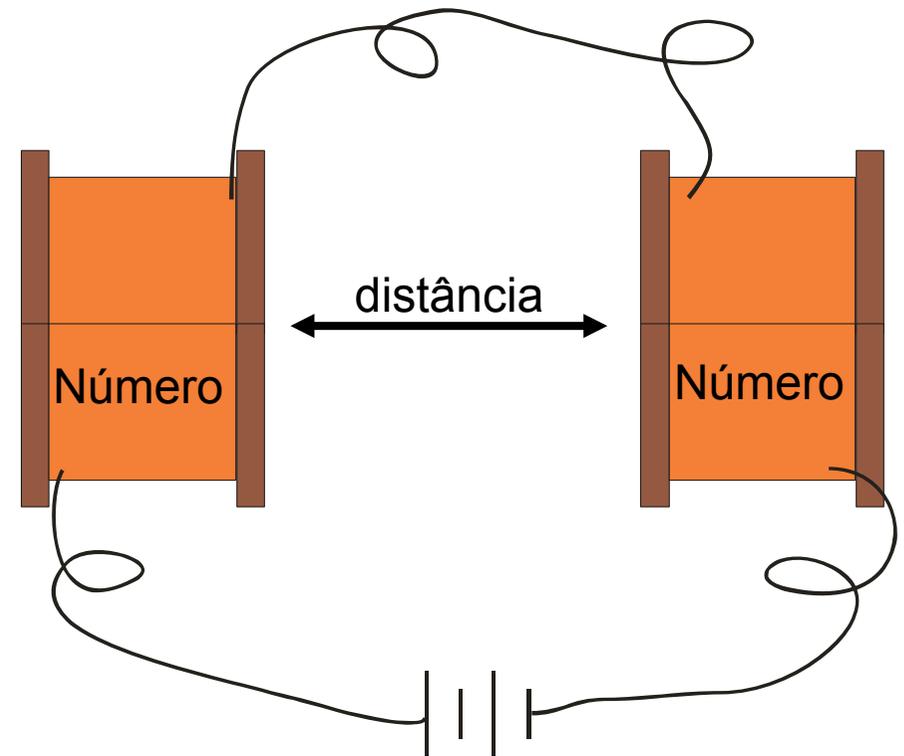
Campo longitudinal e transversal

- Chave no sensor Hall

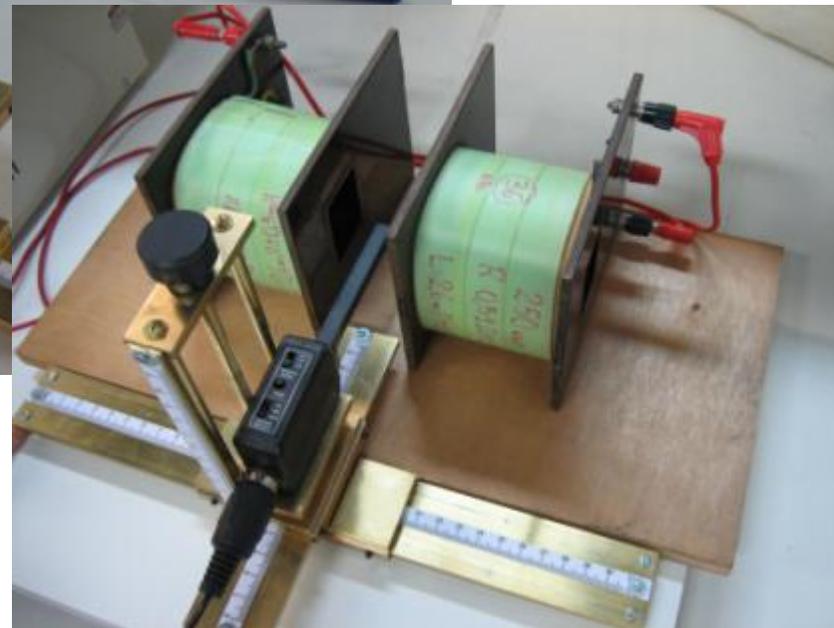
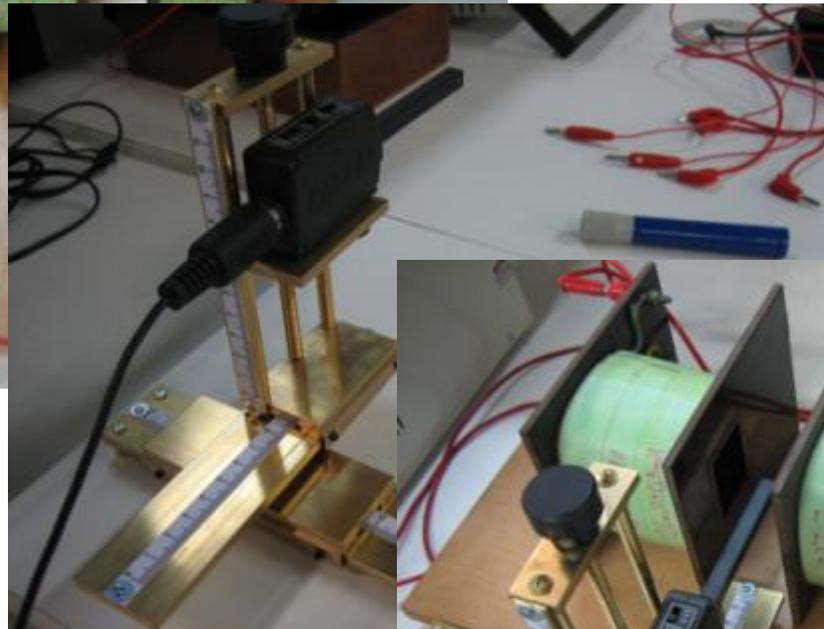
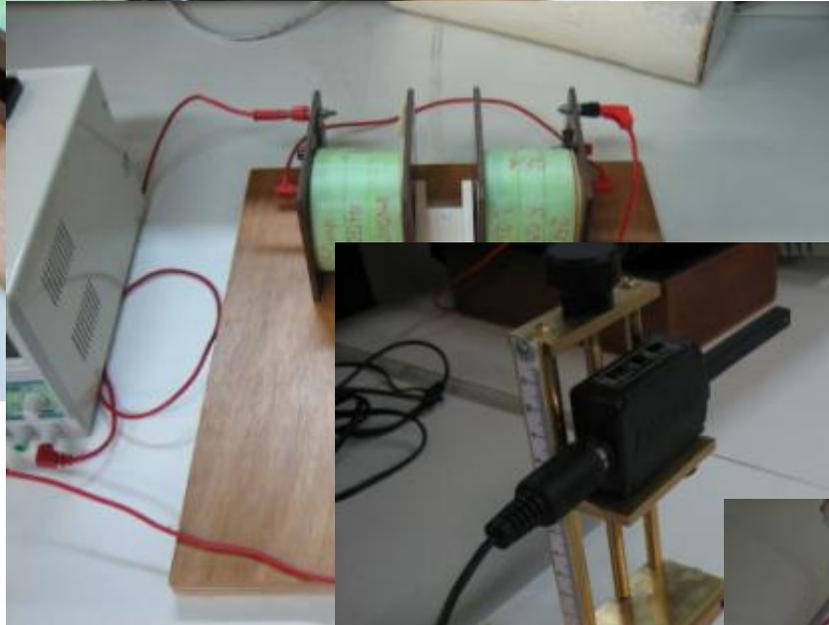
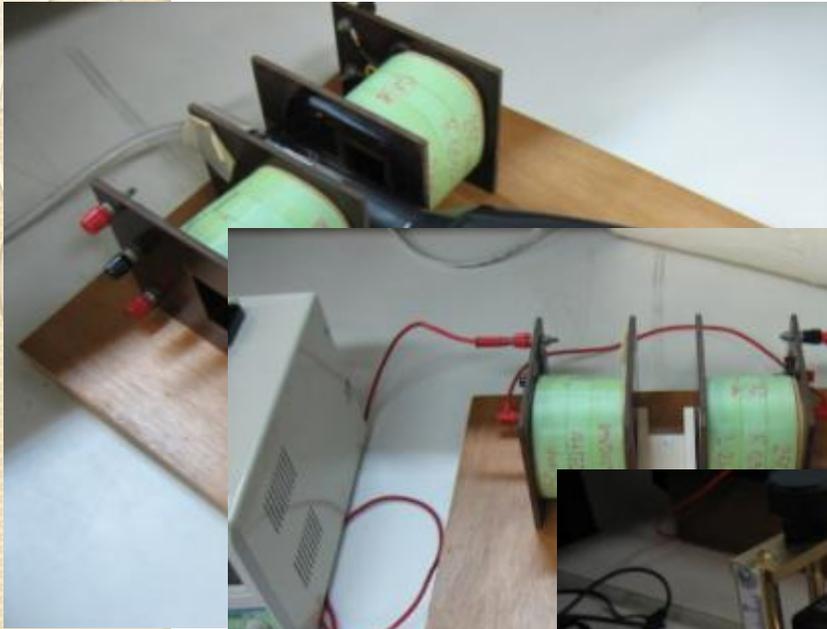


Arranjo experimental

- Montar as bobinas conforme mostra a figura abaixo
- Anotar número das bobinas e distância entre elas
 - Utilizar o suporte do TRC como referência
- Fiquem atentos com as ligações. Queremos que os campos se somem coerentemente
- Procedimento
 - Com as bobinas desligadas.
 - Zerar (tara) o medidor Hall
 - Aplicar corrente à bobina
 - Não exceder 1 A

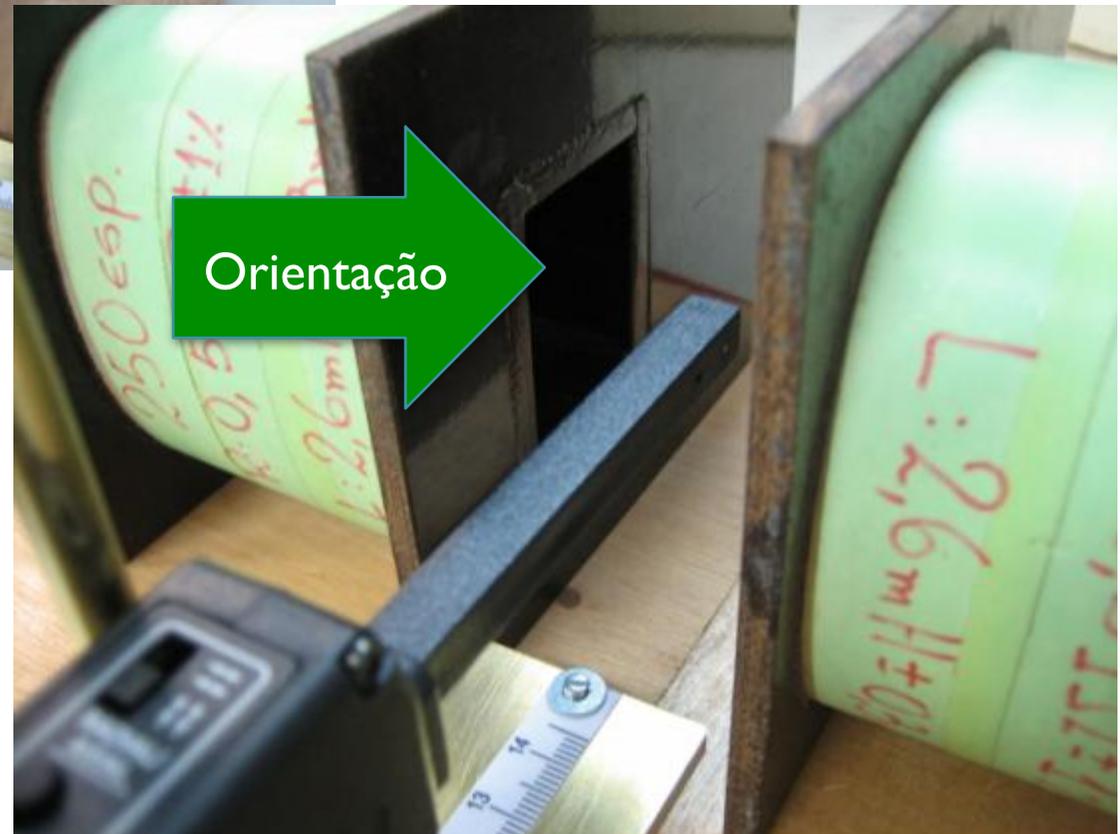
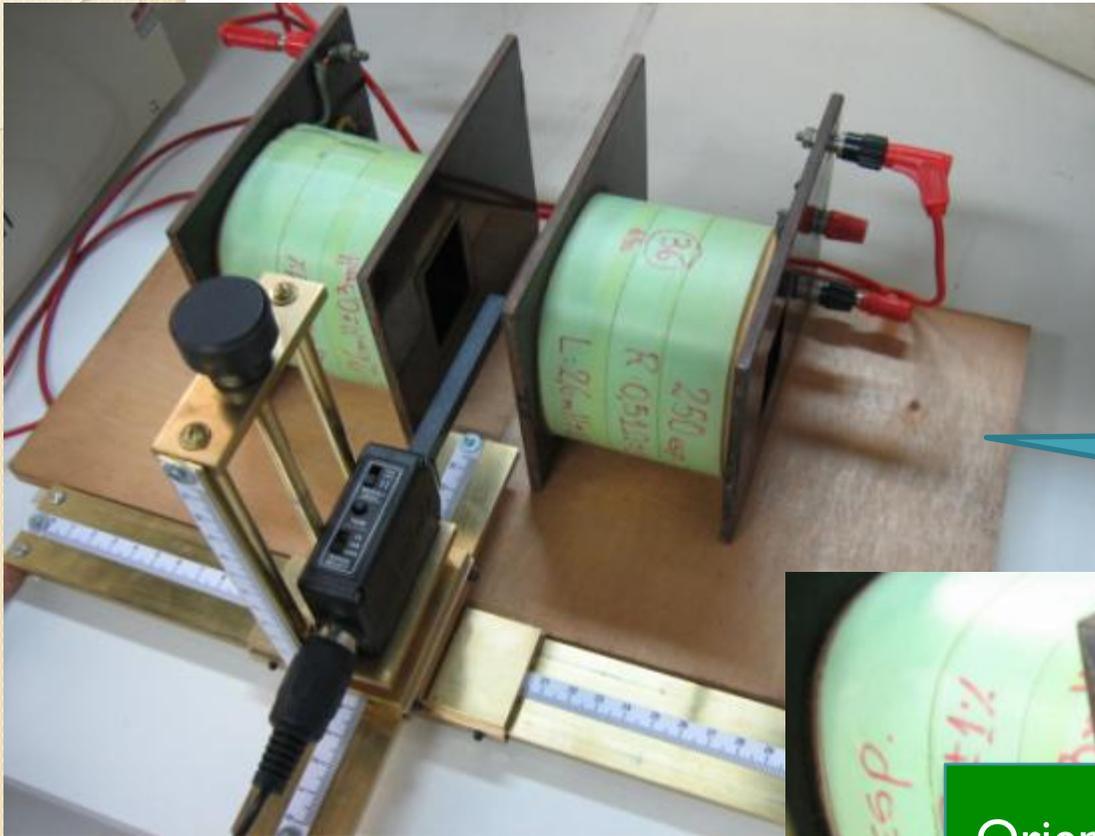


Na prática...



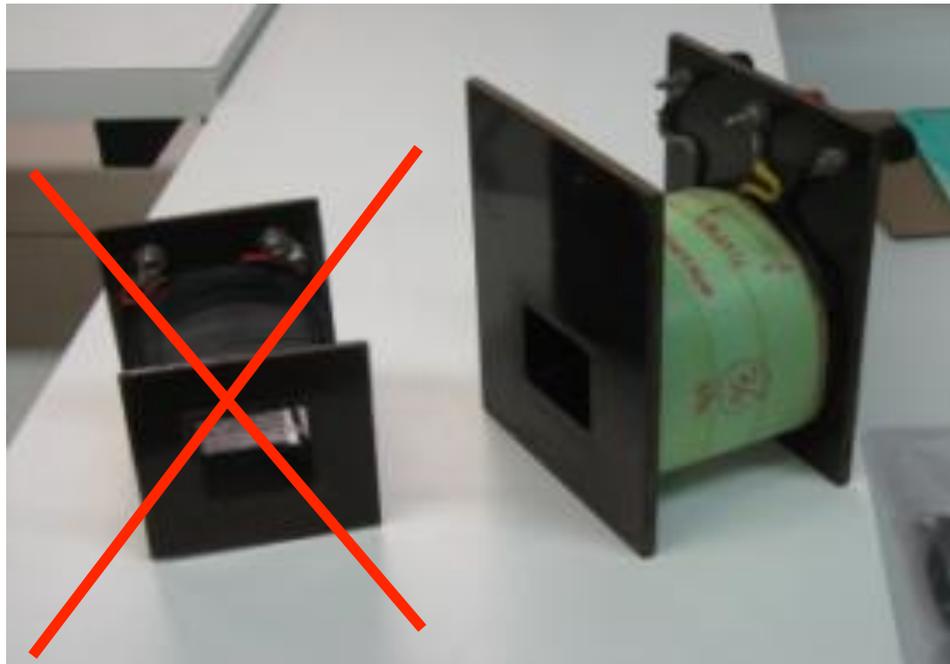
Na prática...

Suporte de madeira para poder centralizar o medidor Hall



Cuidado experimental

- Parear bobinas
 - Usar apenas bobinas de 500 espiras
 - O que ocorre se as bobinas não forem iguais?
- Usar bobinas grandes



Atividades da semana

- Fazer gráfico de B_L ao longo do eixo x para três valores distintos de corrente entre as bobinas
 - Argumente fisicamente porque não é necessário medir o campo transversal e o campo nos outros eixos?
- Fazer gráfico superposto de B_L/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?
 - Dica: Veja Equações que relacionam campo magnético com corrente elétrica.
- Simule o problema completo no FEMM (ver vídeo no site) e compare aos dados obtidos

