



Física Experimental III

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

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

Aula 7

Prof. Alexandre Suaide

Ramal: 7072

Ed. Oscar Sala (Pelletron), sala 246

Movimento de uma partícula em um campo eletromagnético

- A trajetória de uma partícula qualquer pode ser descrita resolvendo-se as equações de movimento

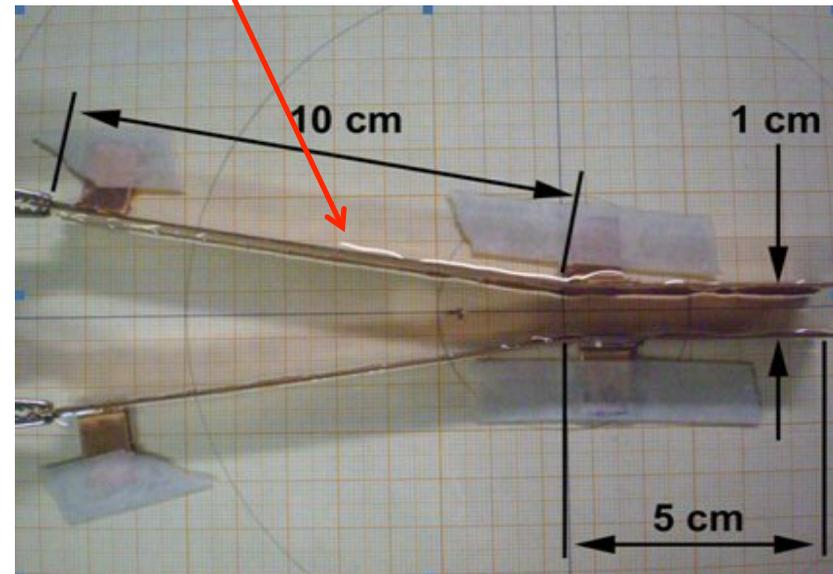
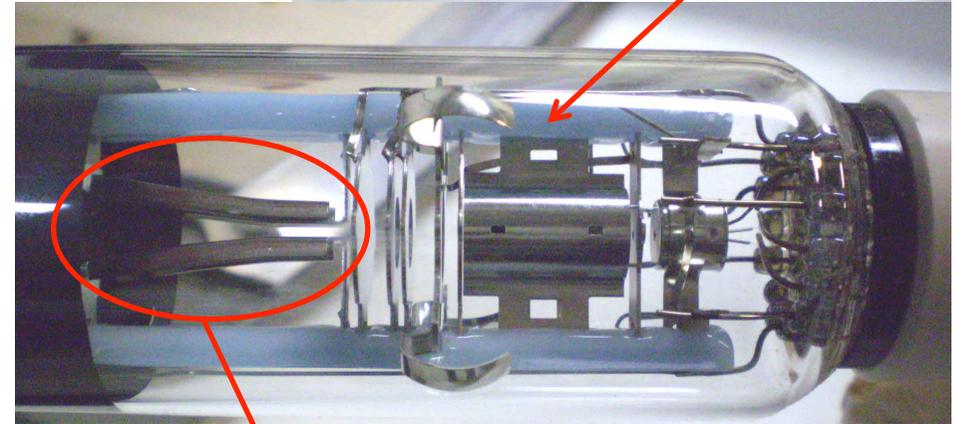
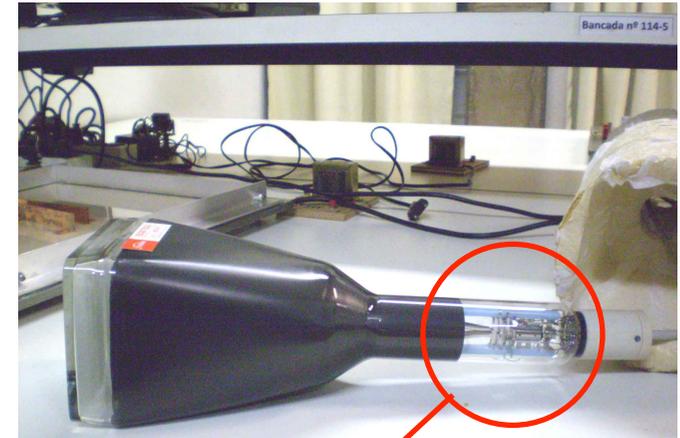
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

- Ou seja, no campo EM:

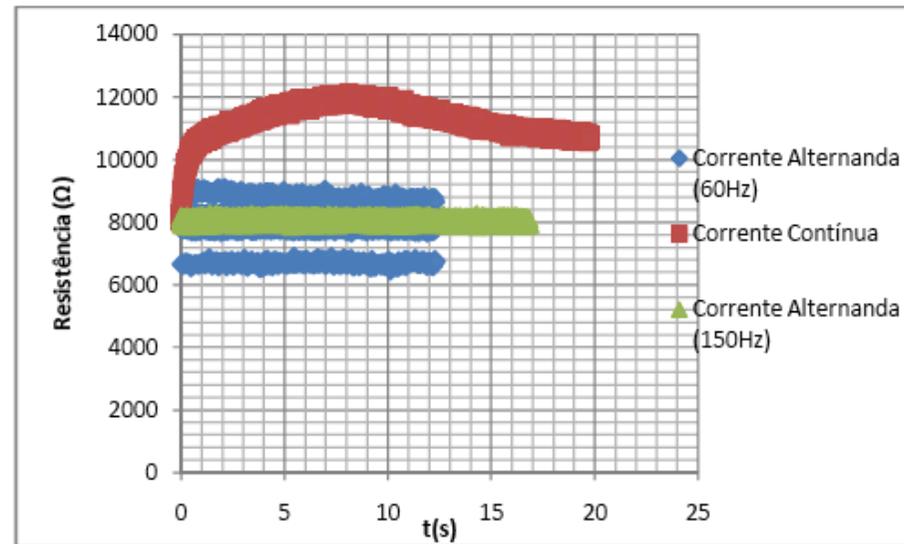
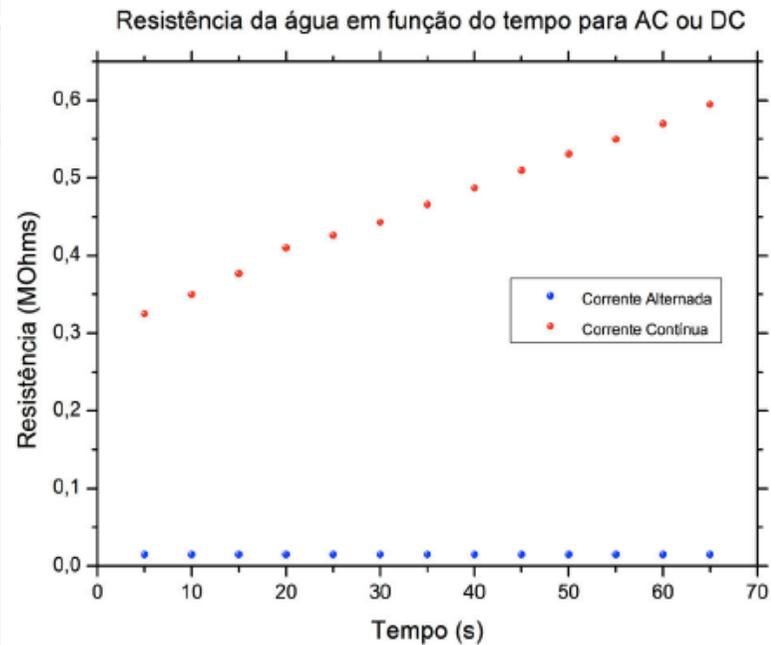
$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right)$$

Precisamos conhecer o campo entre as placas

- Modelo em escala
- Como é o campo?
- É uniforme?
- Efeitos de borda?
- Quais são as superfícies equipotenciais?



AC vs DC



Há vários efeitos notáveis, por exemplo, pode-se ver claramente que em corrente contínua, a cuba não pode ser considerada ôhmica, ao passo que em corrente alternada, com alguma tolerância, já podemos nos valer de tal aproximação. Uma explicação para isso se deve à existência de íons na água de torneira e, ao aplicarmos uma diferença de potencial, esses íons se deslocam, gerando polarização. Essa hipótese explica por que ao aumentarmos a frequência da corrente alternada, os dados oscilam muito menos: por impedir que esses íons se desloquem em um só sentido, uma vez que o campo elétrico atua em um sentido durante intervalo de tempo muito curto. Não explica, porém, por que existe uma queda na resistência

Qual a resistência da água em AC?

Para poder mapear, a resistância deve ser muito menor que a do voltímetro (10 M Ω)

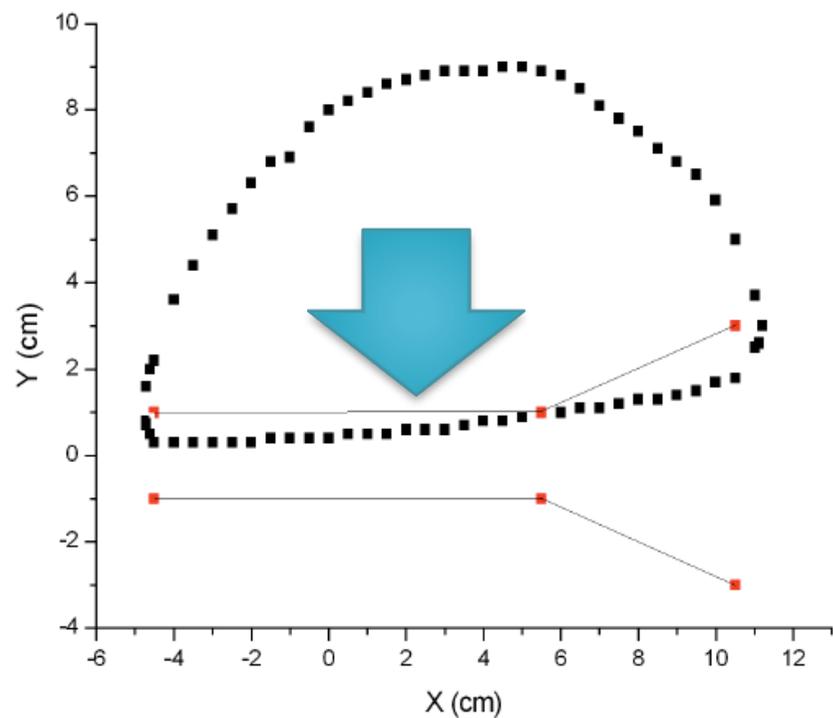
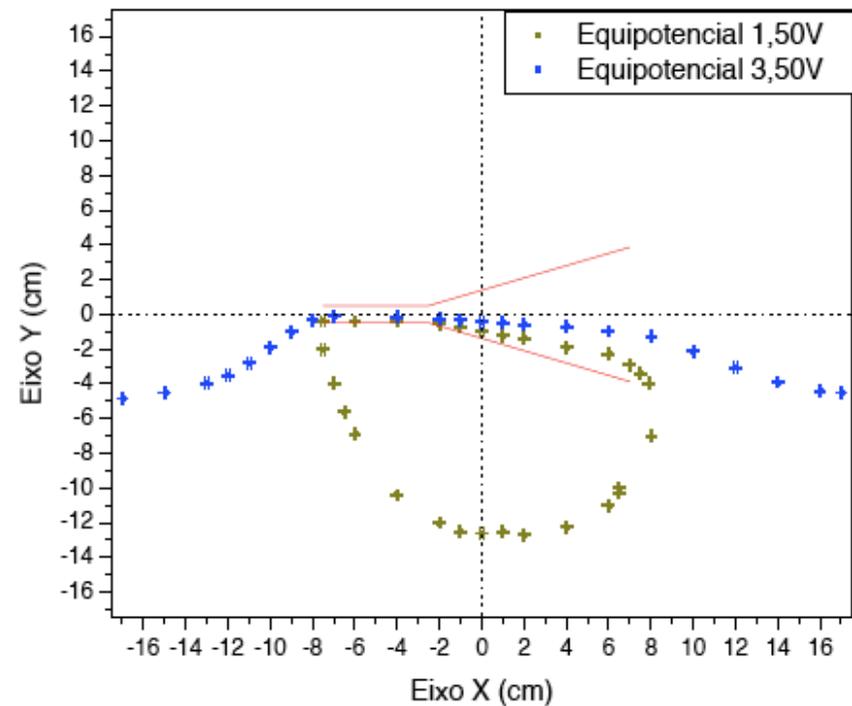
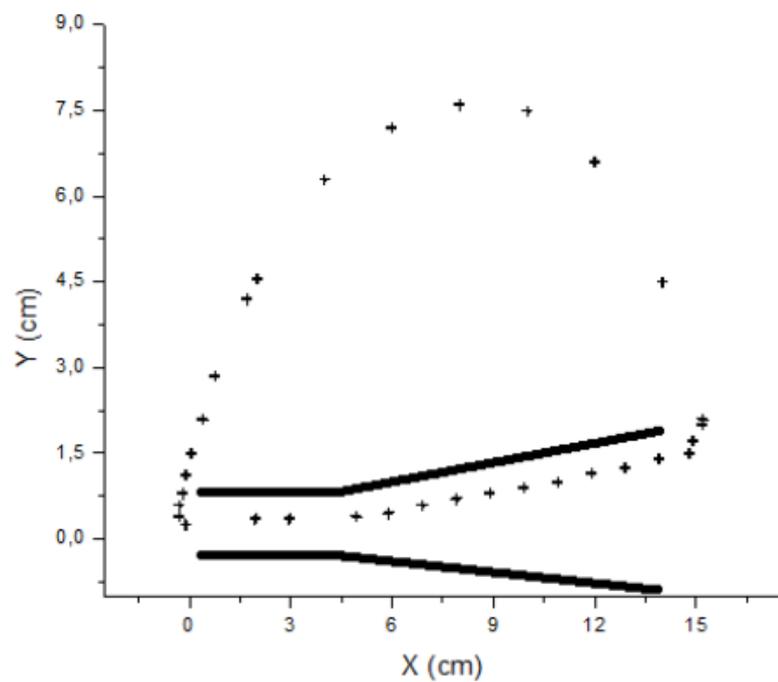
E a resistividade deve ser muito maior que a dos eletrodos (Cobre) ~ 17 n Ω m

Problemas comuns:

- Cálculos de área
- Unidades

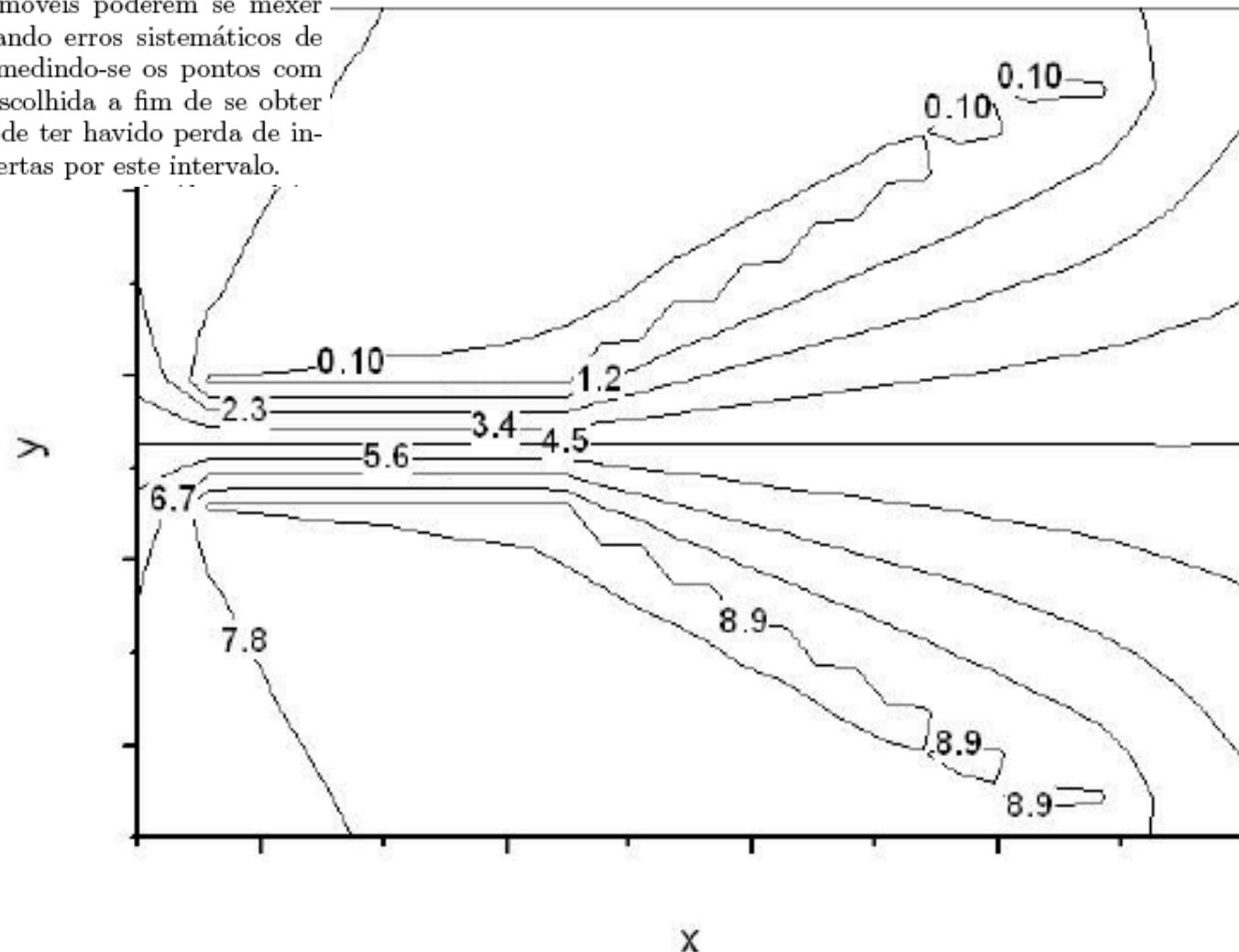
Resistividade (Ω m)
0,040
0,01008 \pm 0,00052
121,8 \pm 0,6
151,8 \pm 0,5
116 \pm 5
260 \pm 60
170,2 \pm 0,2
154
137,5

E as equipotenciais?



Mapeamento completo

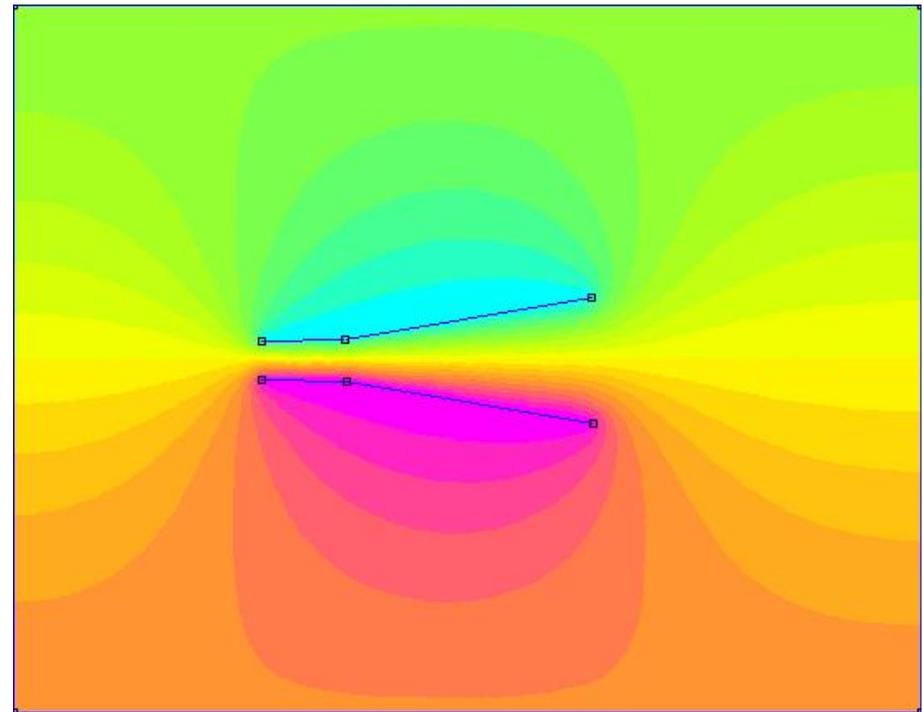
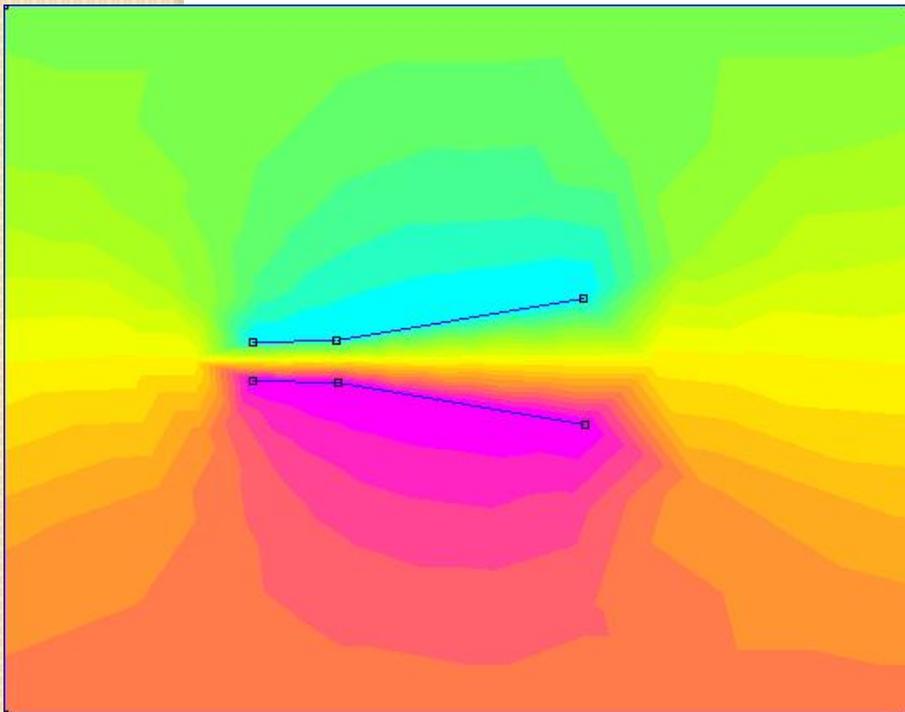
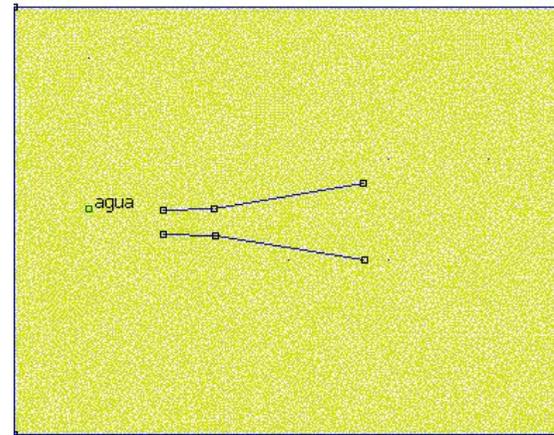
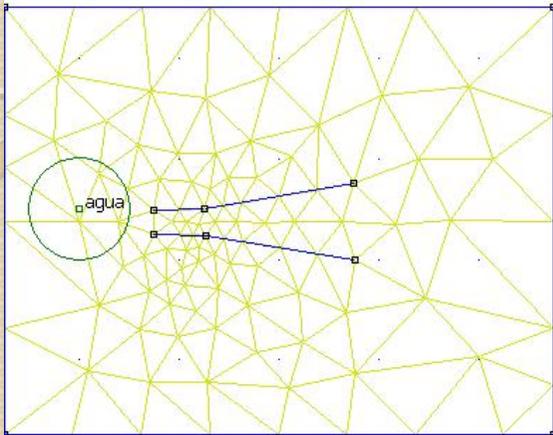
Nota-se que a quantidade de dados obtidos talvez não tenha sido suficiente para montar curvas equipotenciais bem definidas. Também pode ter influenciado o fato já citado de as réguas móveis poderem se mexer com bastante facilidade, gerando erros sistemáticos de escala. Além disso, mesmo medindo-se os pontos com uma distância $\Delta = 0.5\text{cm}$, escolhida a fim de se obter um mapeamento eficiente, pode ter havido perda de informação nas regiões não cobertas por este intervalo.



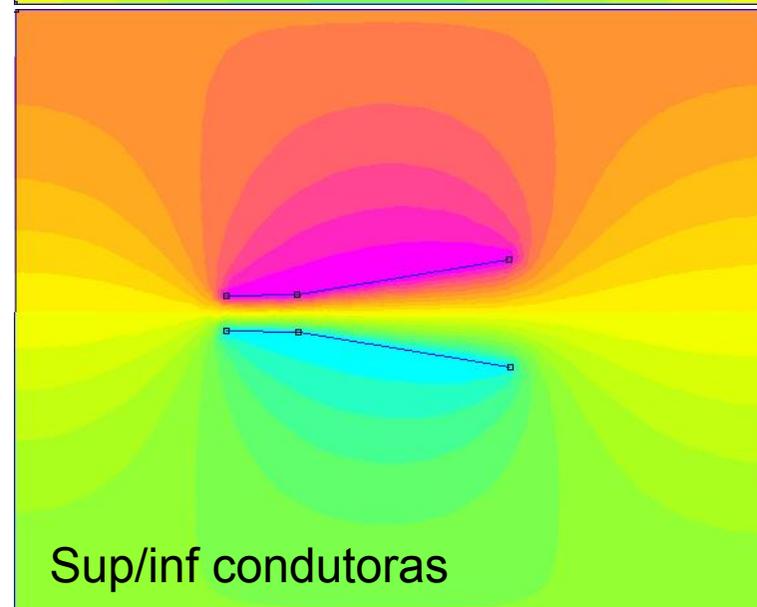
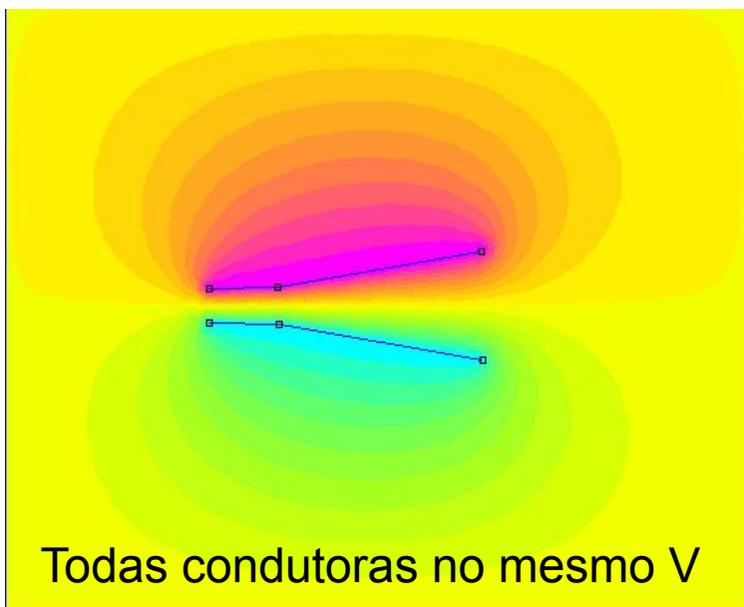
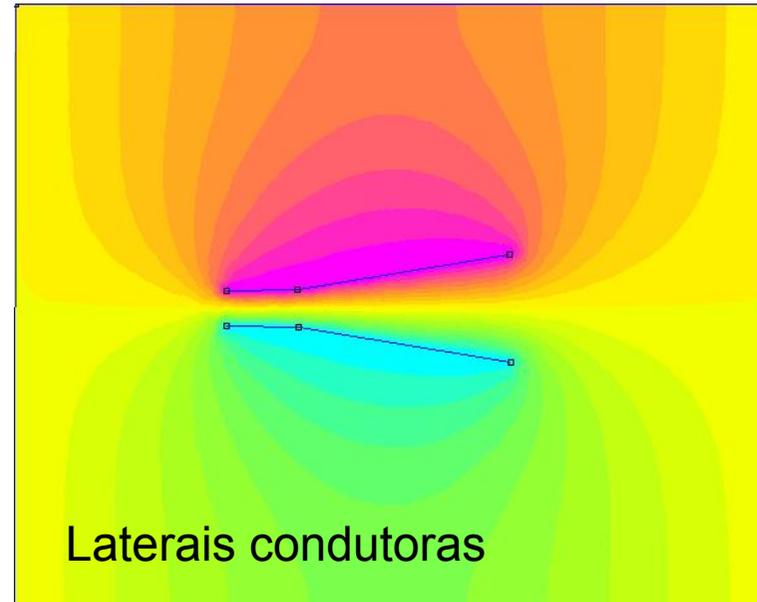
Simulando...

- Alguns pontos relevantes.
 - Geometria do problema.
 - Tamanho e posição das placas.
 - Tamanho da cuba.
 - Qual a tensão entre as placas?
 - Resistor de proteção provoca queda de tensão.
 - Quais as condições de contorno nas bordas da cuba?
 - Dois condutores + dois isolantes.
 - Qual a precisão da simulação?
 - Resolução espacial.

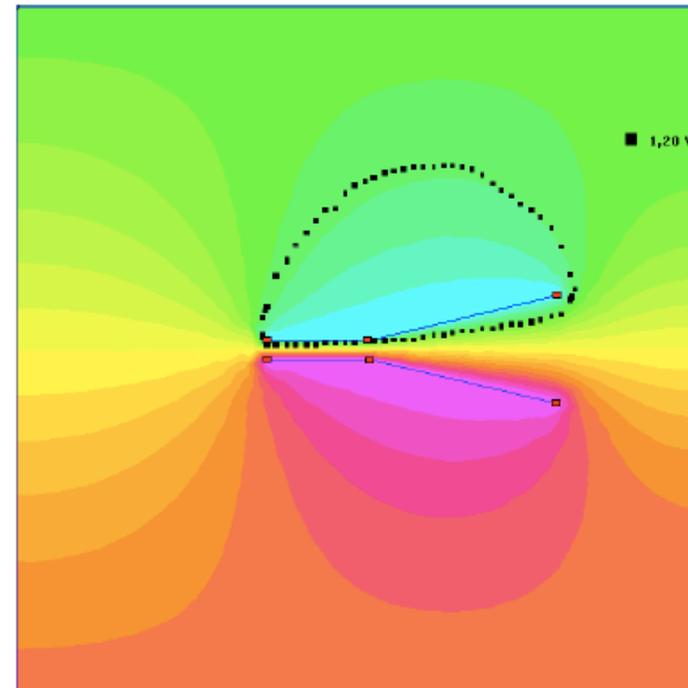
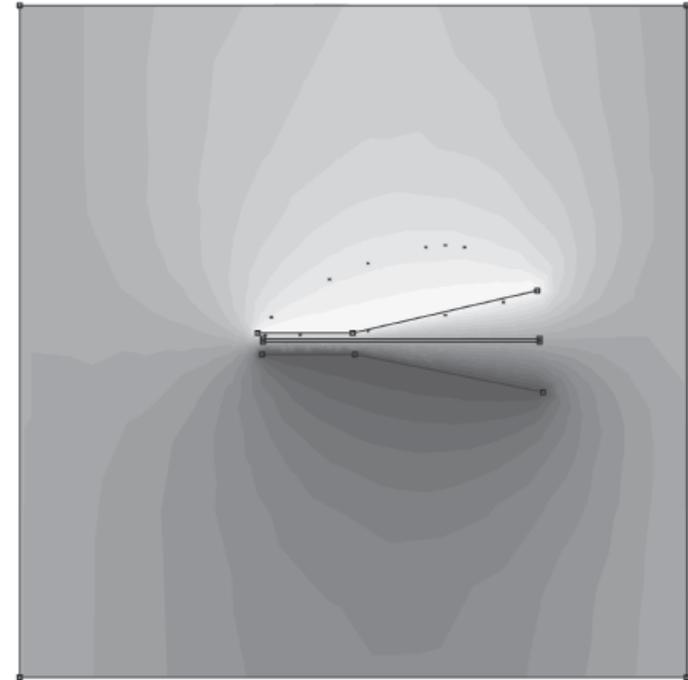
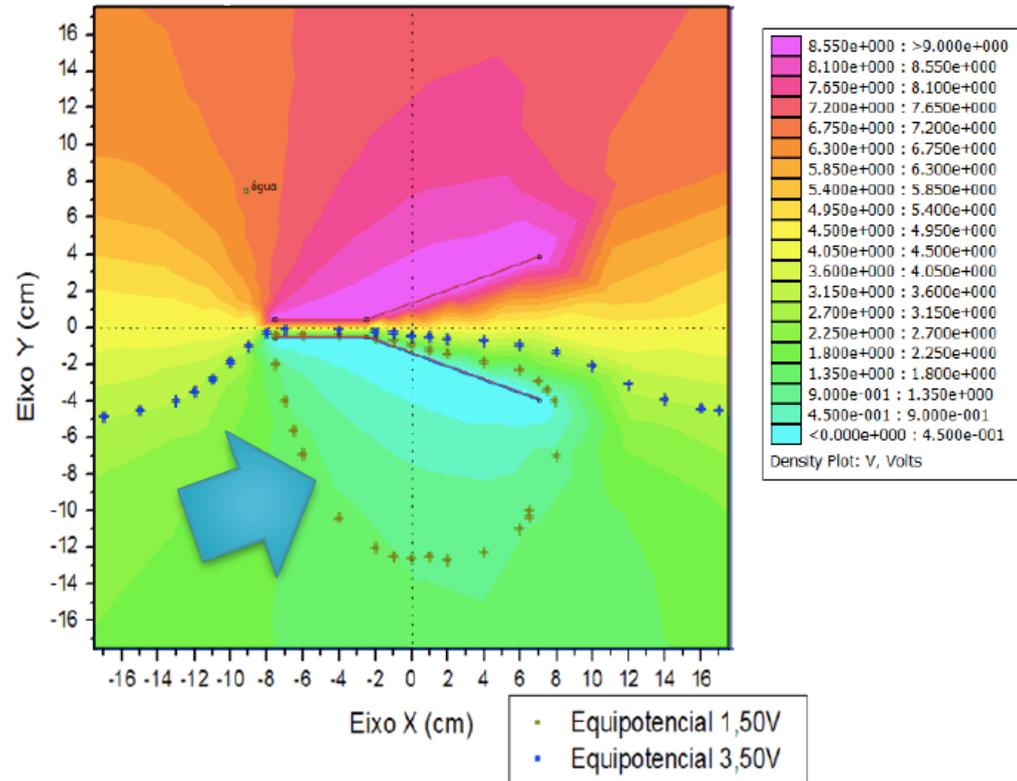
O efeito do tamanho do mesh



Condições de contorno nas bordas



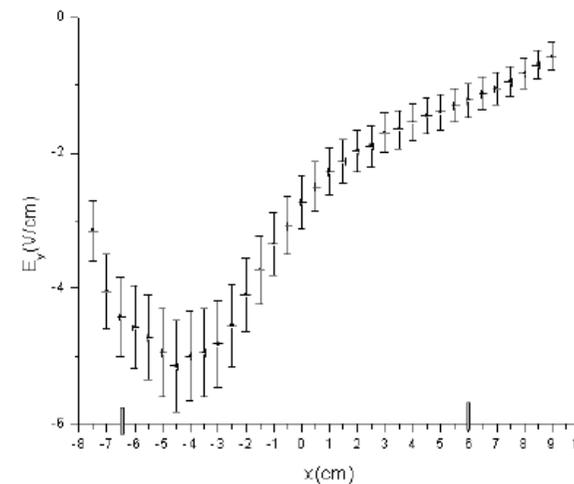
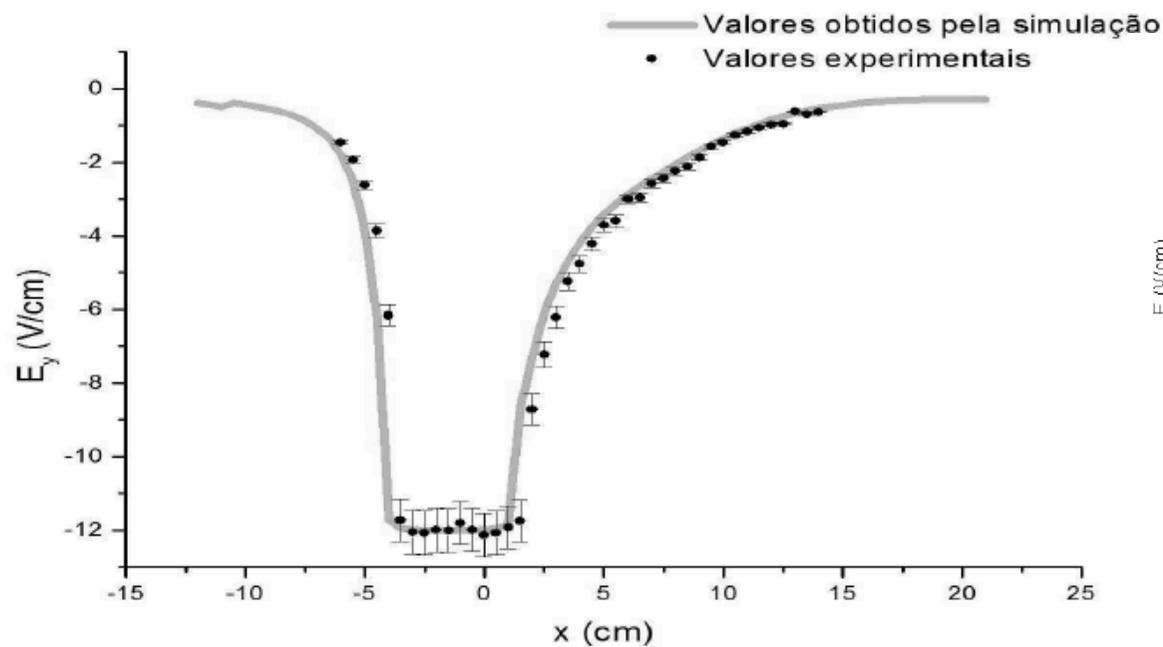
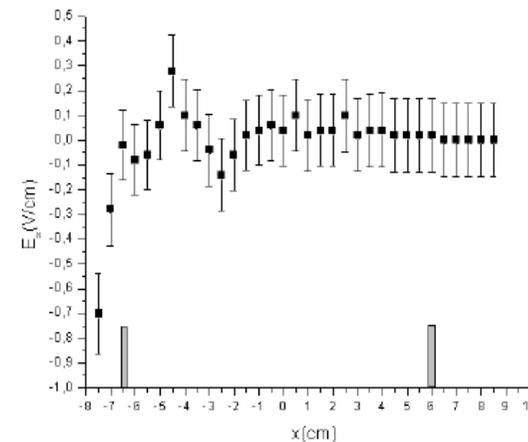
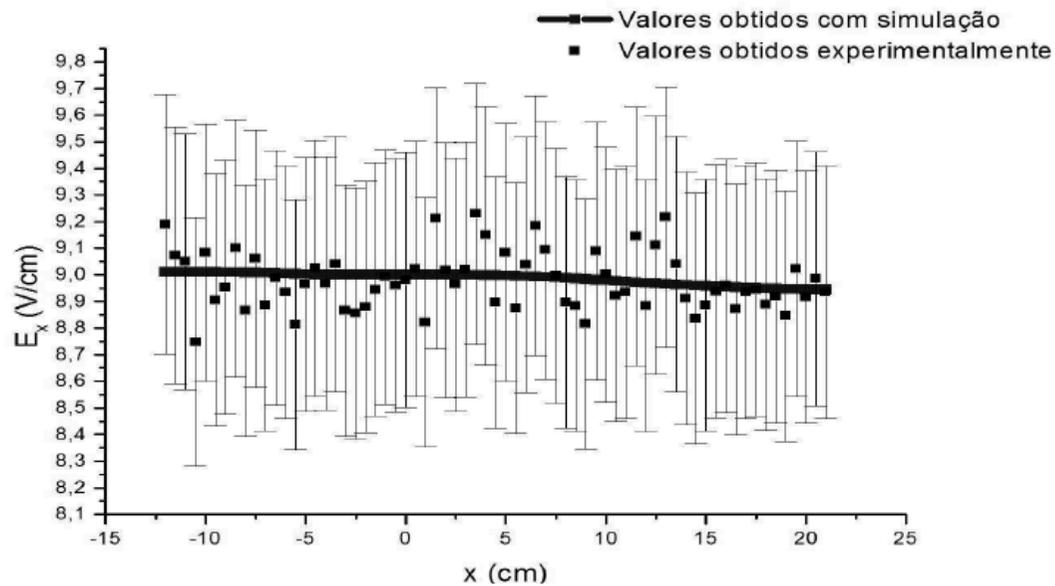
Comparação das equipotenciais com simulação



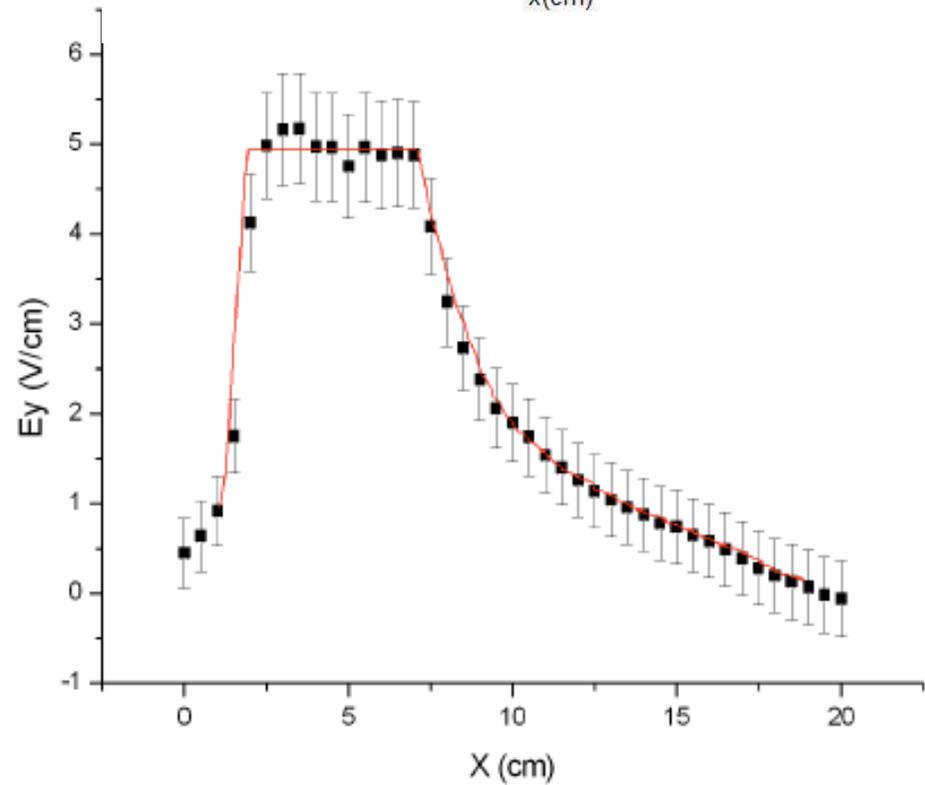
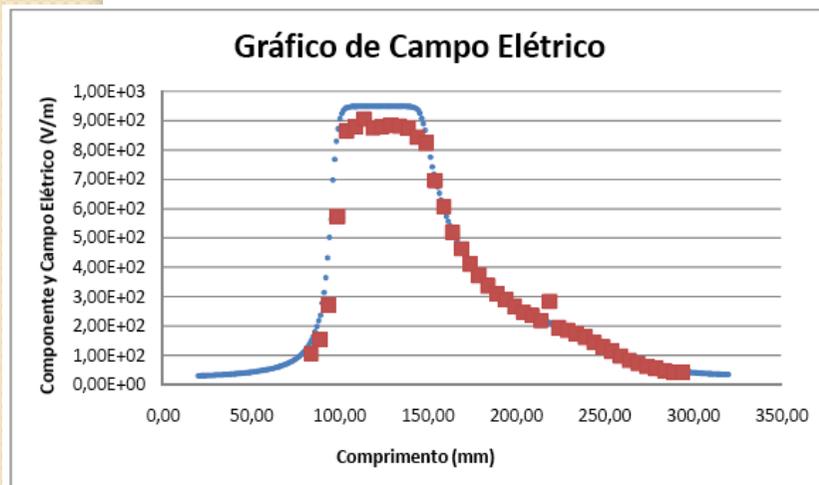
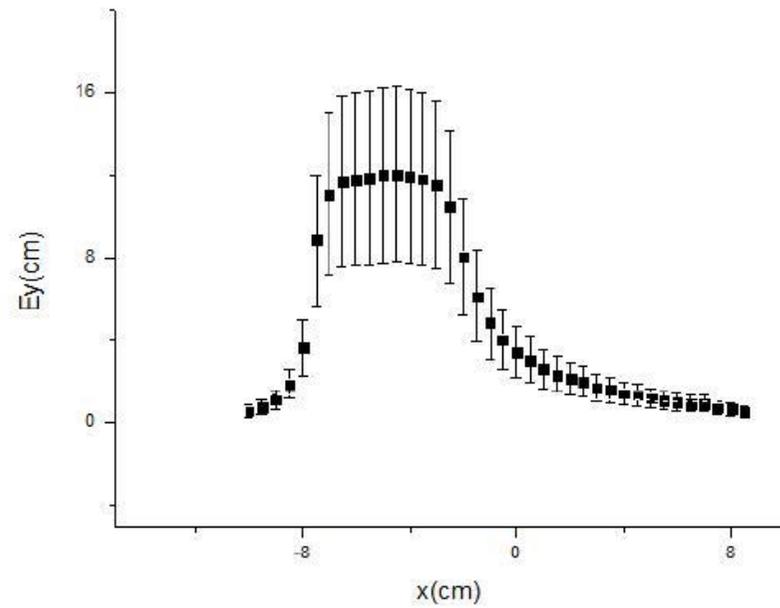
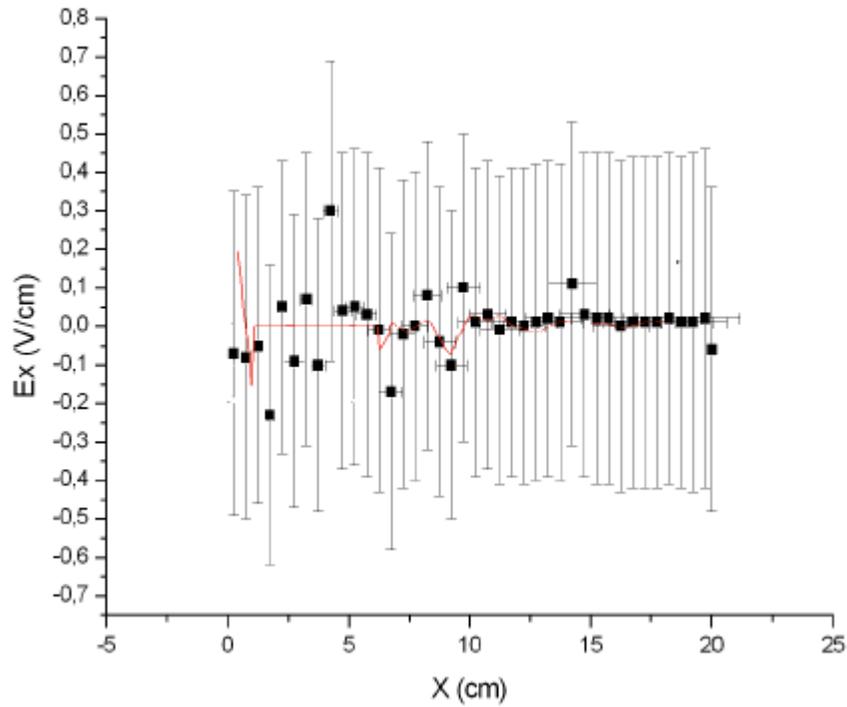
E o campo elétrico?

$$E_x = \Delta V(x) / \Delta x$$

$$E_y = \Delta V(y) / \Delta y$$

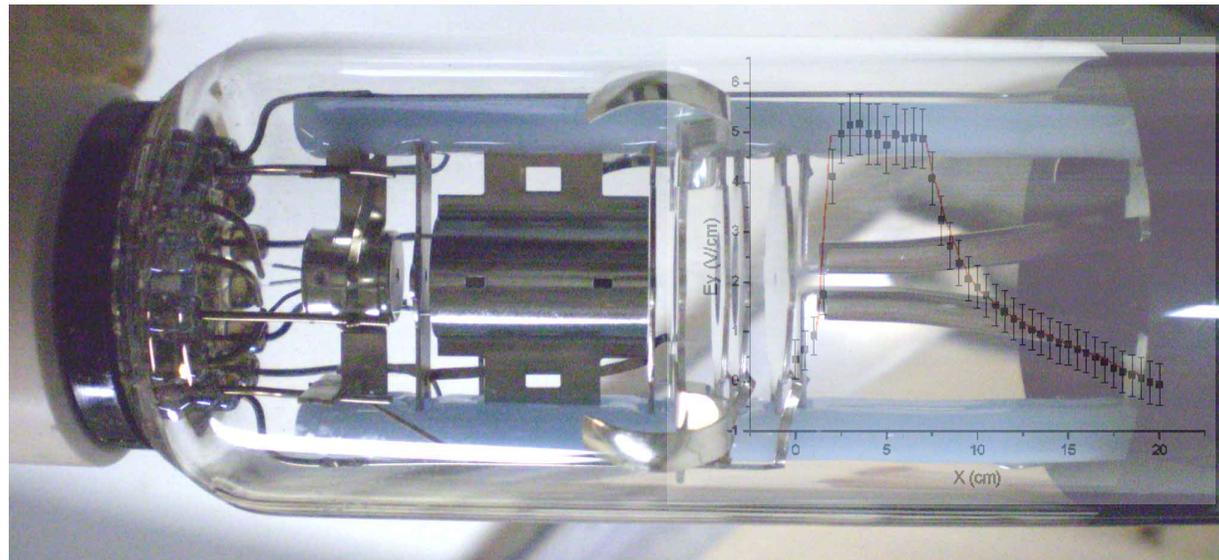


E o campo elétrico?



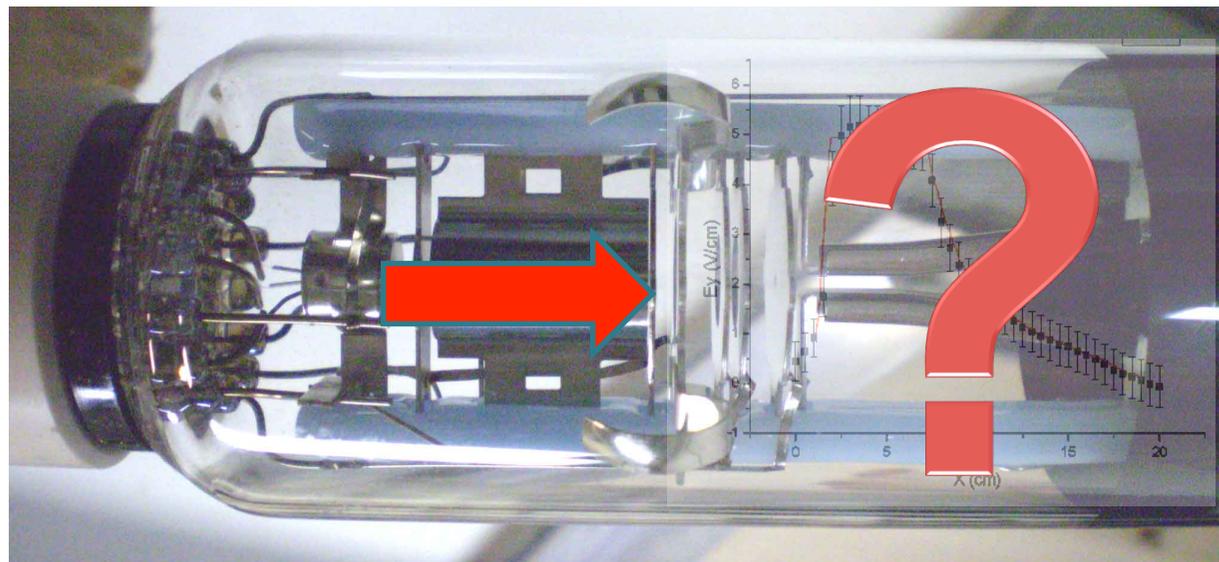
O que nós já sabemos?

- Campo elétrico entre as placas
 - Experimental e teórico (!)



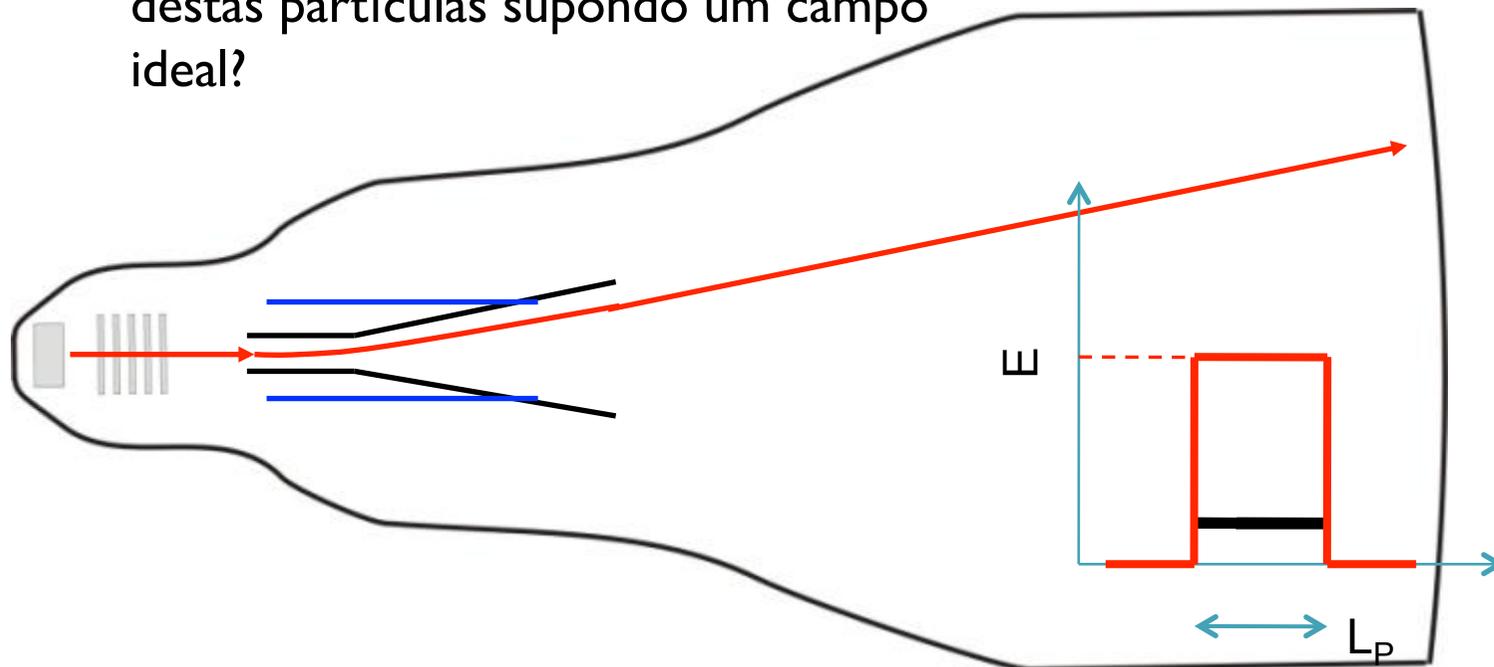
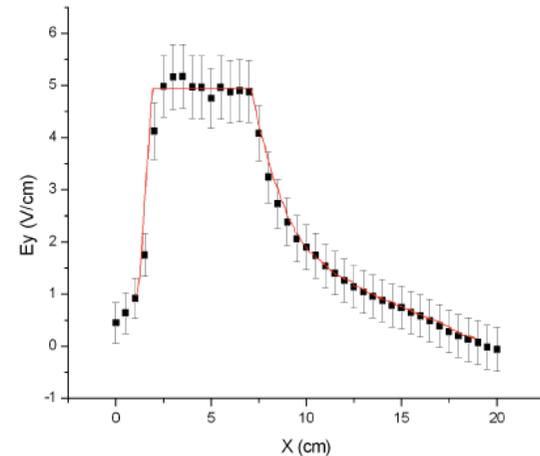
O próximo passo

- Como gerar elétrons
- Estudar o movimento destes elétrons no campo gerado.



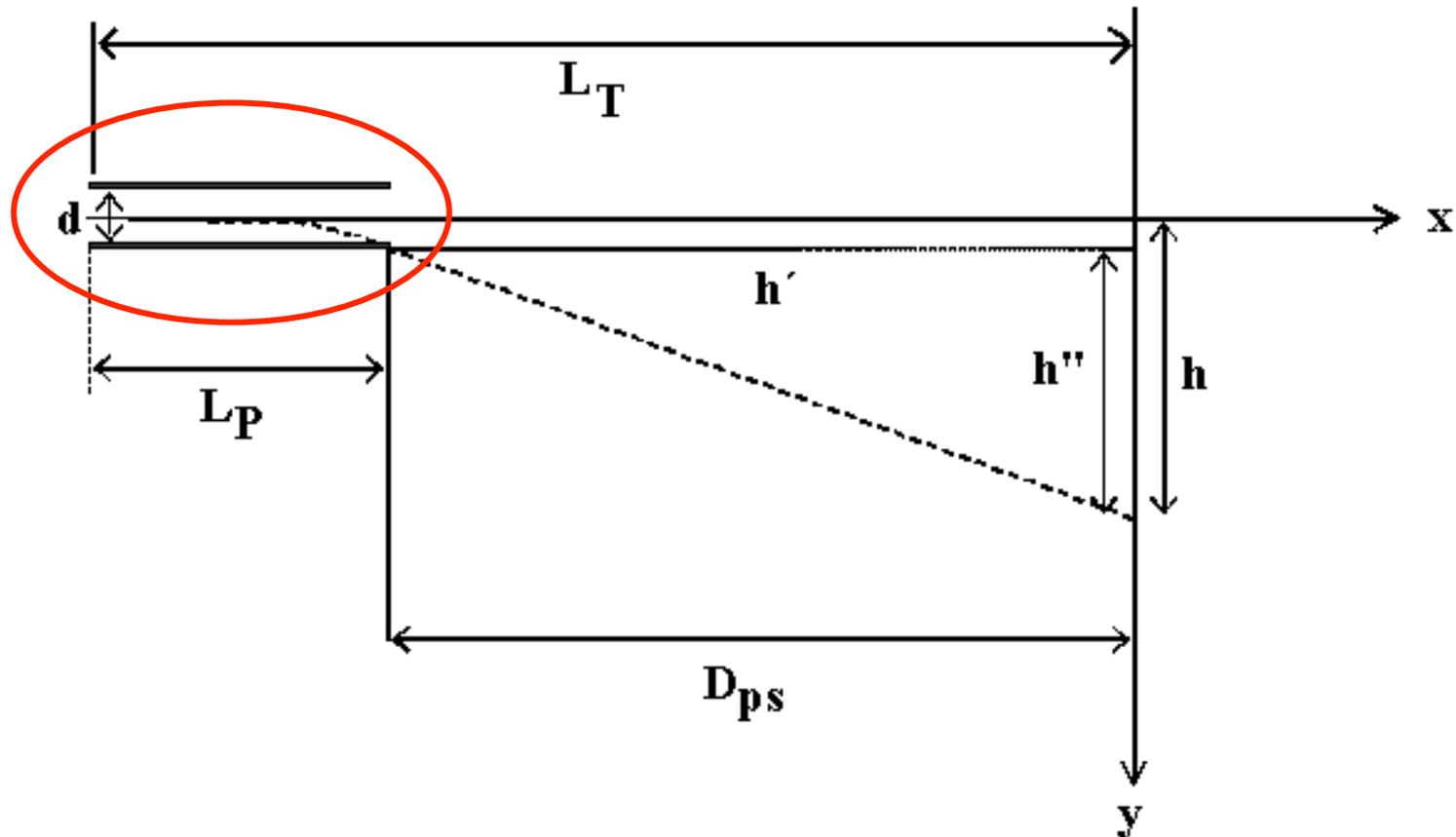
Simplificando o problema

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



Simplificando a geometria...

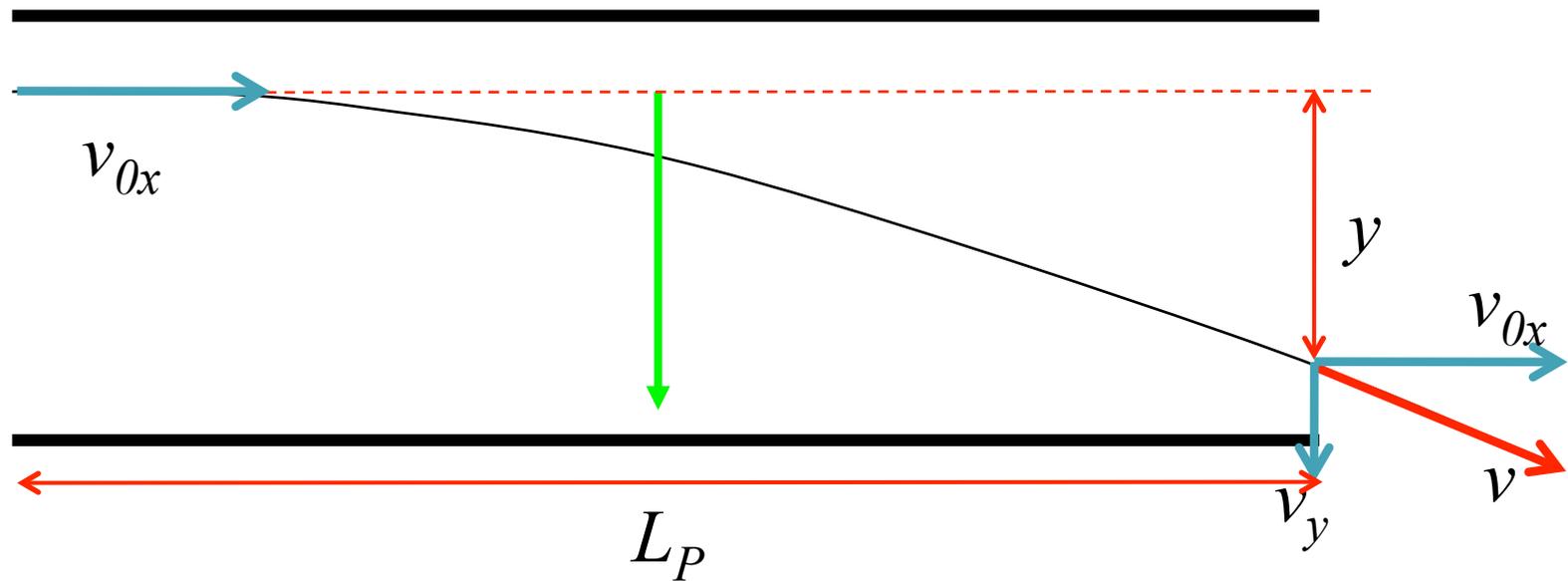
- Sistema de placas paralelas ideais, com um anteparo a uma distância D_{ps} . Qual a deflexão (h) do feixe por estas placas?



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniforme em x

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

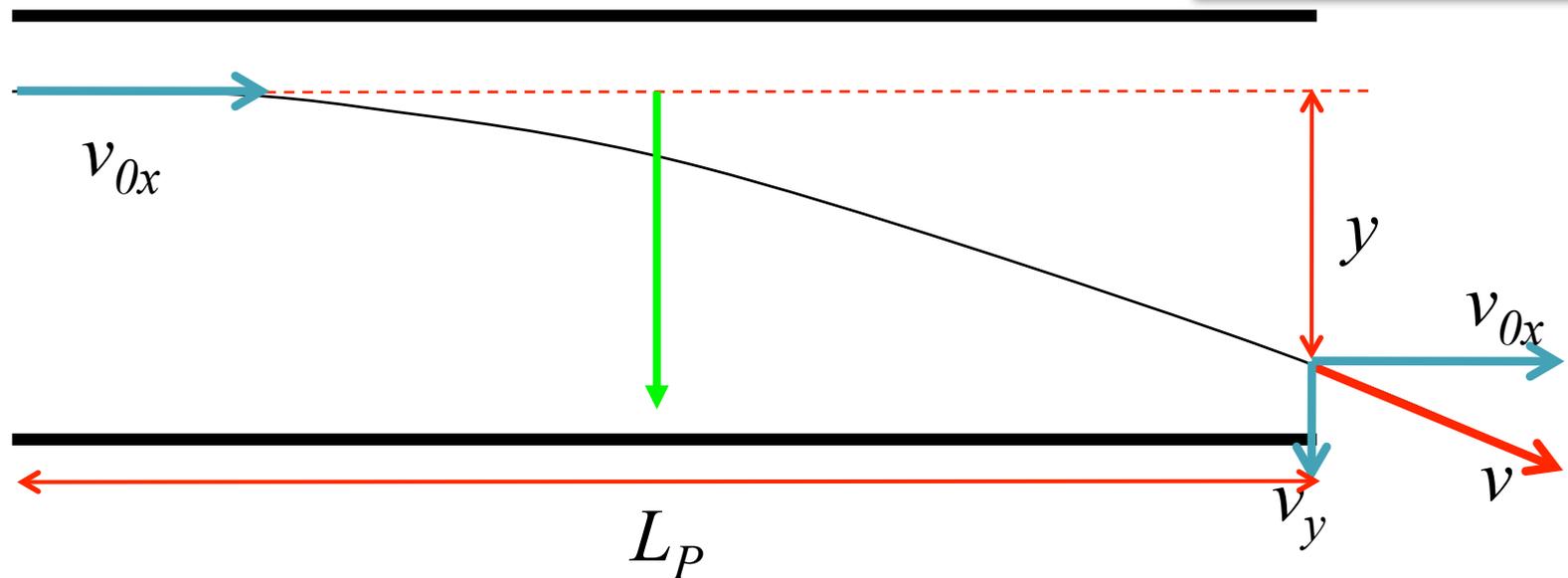


Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniformemente variado em y

$$\vec{F} = q\vec{E} \Rightarrow F_y = qE \Rightarrow a_y = \frac{qE}{m}$$

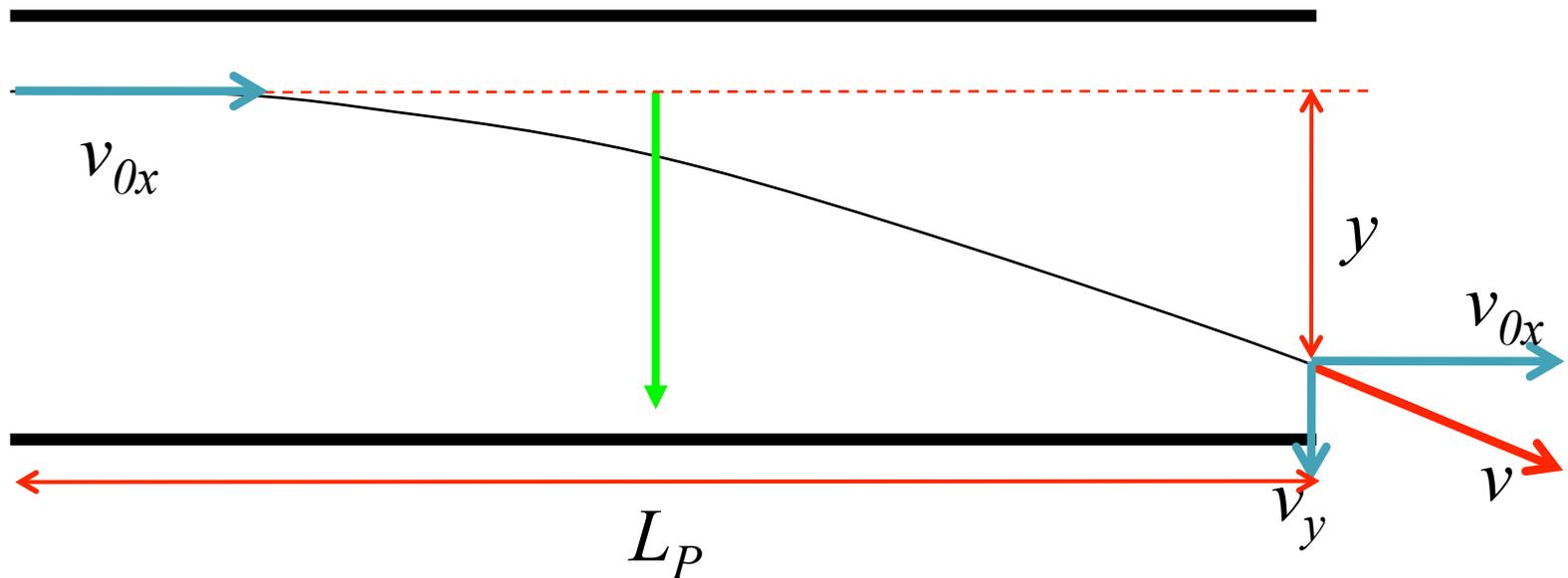
$$v_y = v_{0y} + a_y t \Rightarrow v_y = \frac{qE}{m} t \Rightarrow v_y = \frac{qEL_P}{mv_{0x}}$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniformemente variado em y

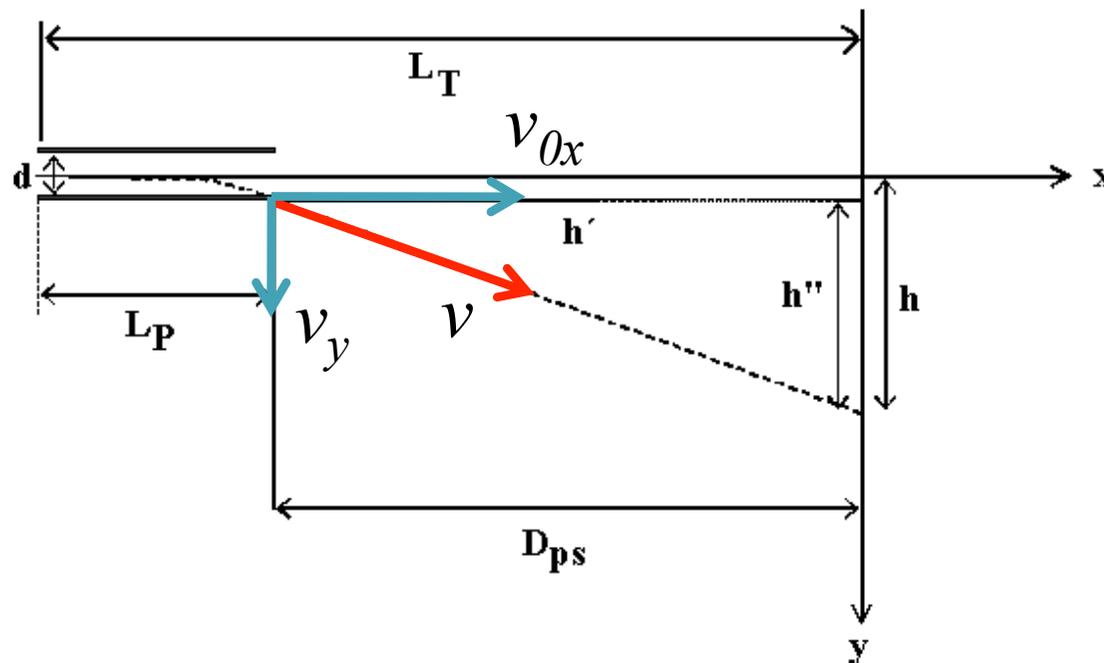
$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \Rightarrow y = \frac{qE}{2m} \left(\frac{L_P}{v_{0x}} \right)^2$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Após as placas voltamos a ter movimento uniforme

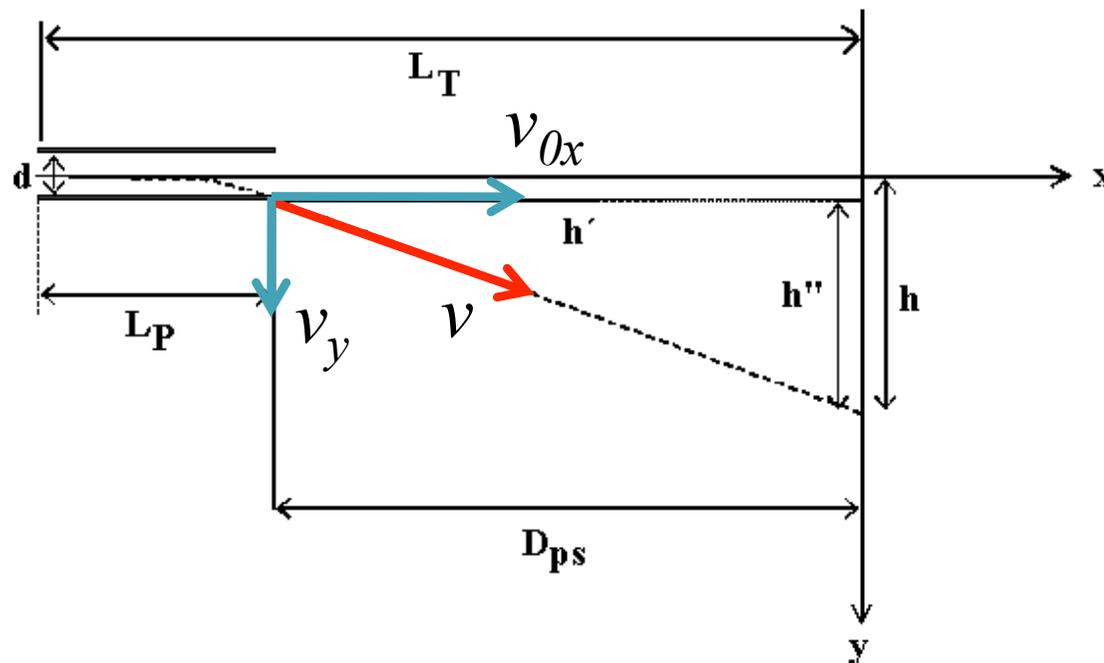
$$t = \frac{D_{PS}}{v_{0x}} \quad h'' = v_y t = \frac{qE}{m} \frac{L_P D_{PS}}{v_{0x}^2}$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- O deslocamento total é a soma dos dois deslocamentos

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



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- O deslocamento total é a soma dos dois deslocamentos

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

- Ou seja:

$$h = A \frac{E}{v_{0x}^2}$$

h é proporcional ao campo elétrico e inversamente proporcional ao quadrado da velocidade

Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Em um capacitor ideal, o campo vale: $E = V_P/d$
- A velocidade do elétron depende da tensão de aceleração através de:

$$E_{cin} = qV_{AC} \Rightarrow \frac{1}{2}mv_{0x}^2 = qV_{AC}$$

- *Ou seja:*

$$h = A \frac{E}{v_{0x}^2} = A' \frac{V_P}{V_{AC}}$$

h é proporcional à tensão entre as placas e inversamente proporcional à tensão de aceleração dos elétrons

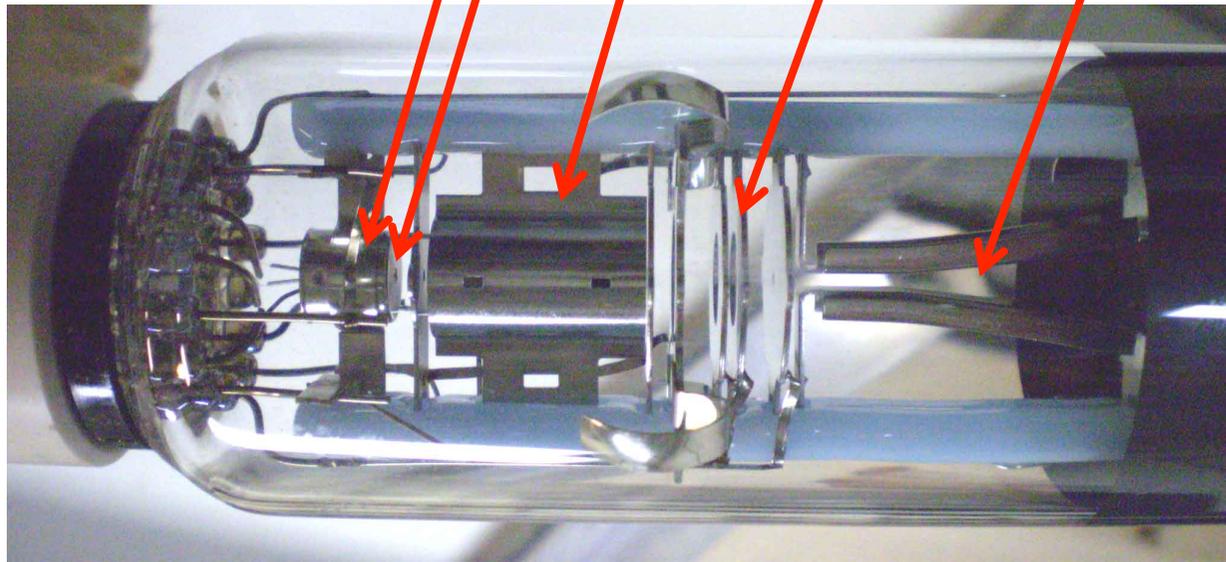
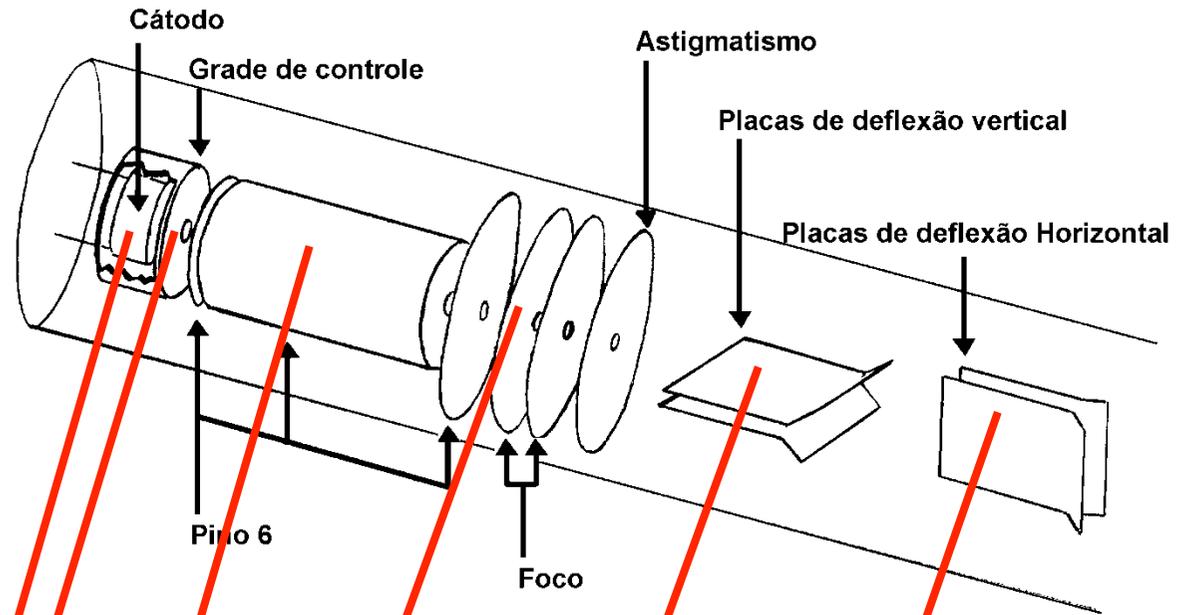
Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Em uma situação com um sistema ideal, temos:

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

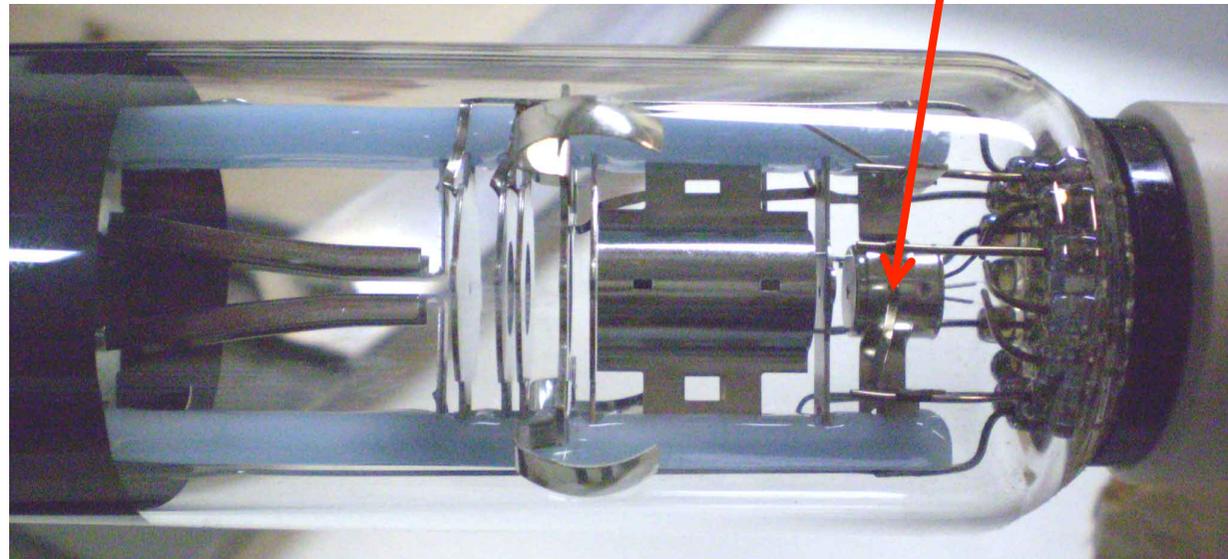
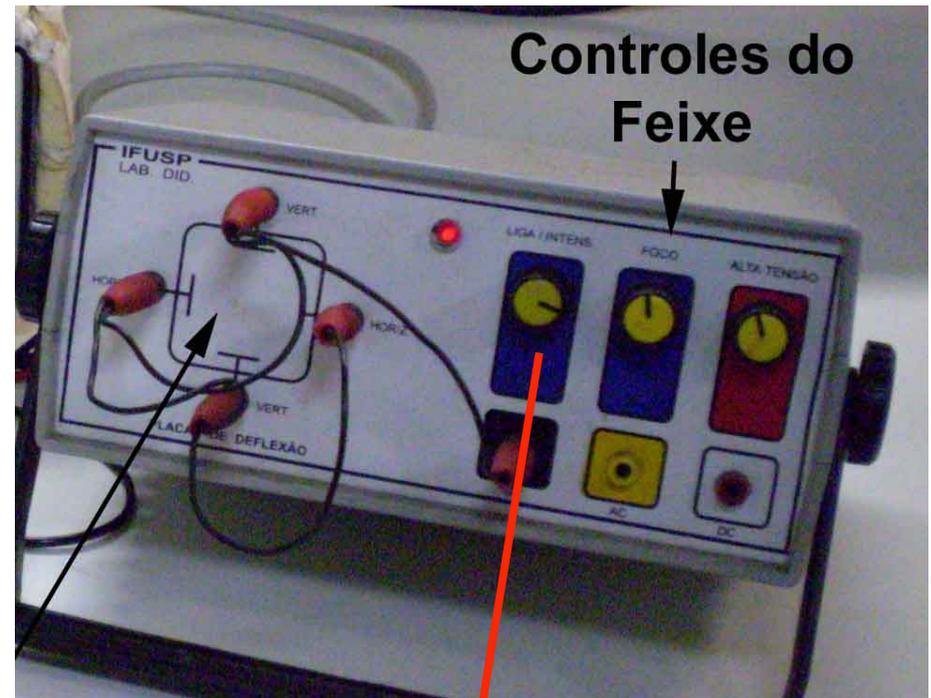
- O deslocamento é proporcional à tensão entre as placas e inversamente proporcional à tensão de aceleração dos elétrons
- Será que esta hipótese é verdadeira? Será que podemos simplificar o problema de campo não uniforme para um problema ideal?

O TRC



O TRC

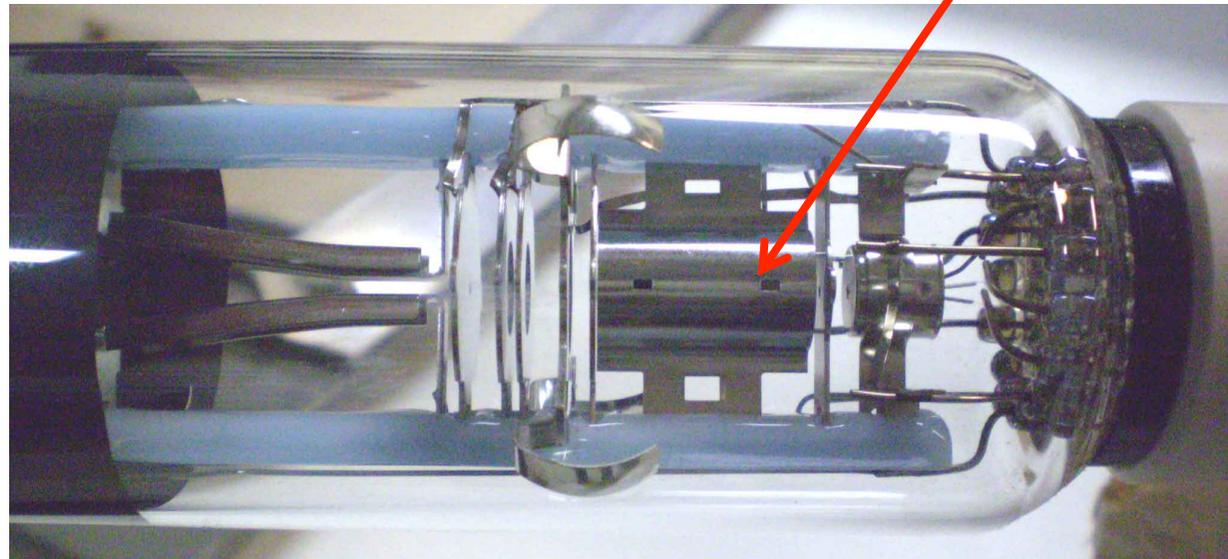
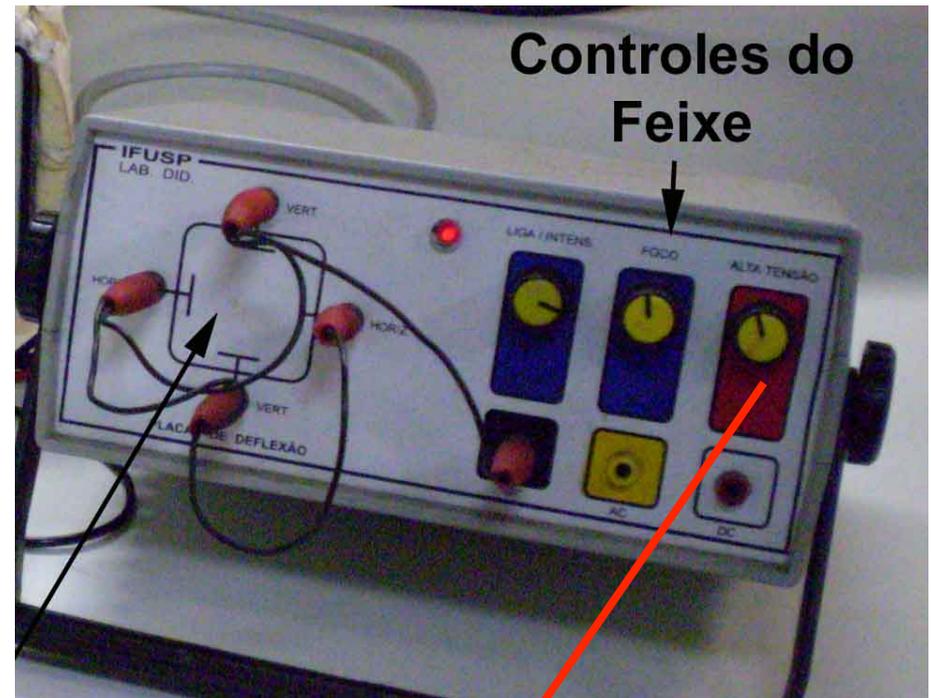
- Liga TRC
- Controla intensidade do feixe



O TRC

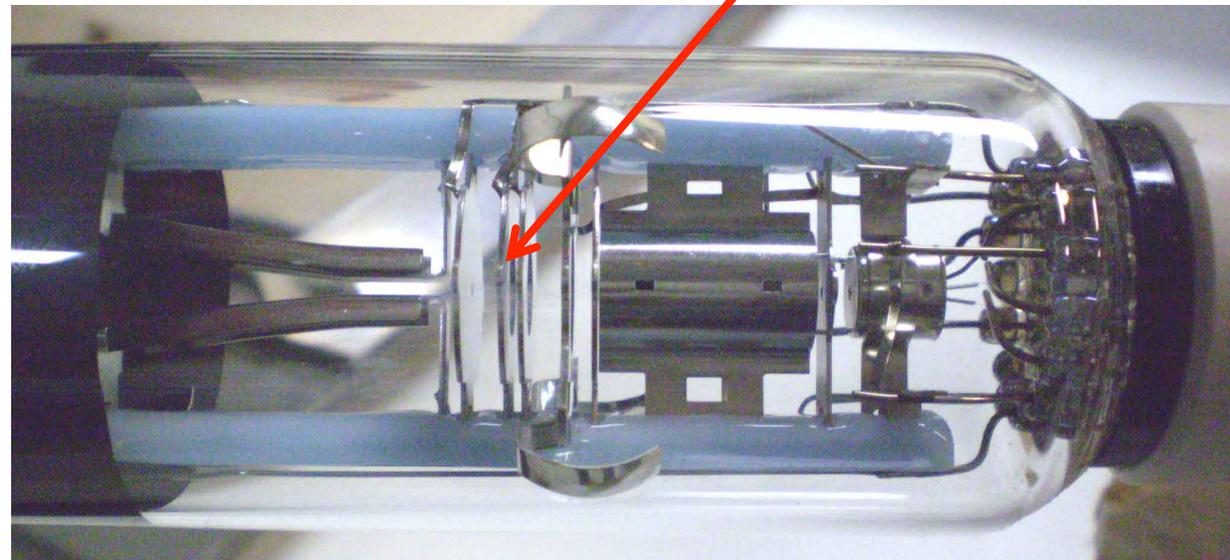
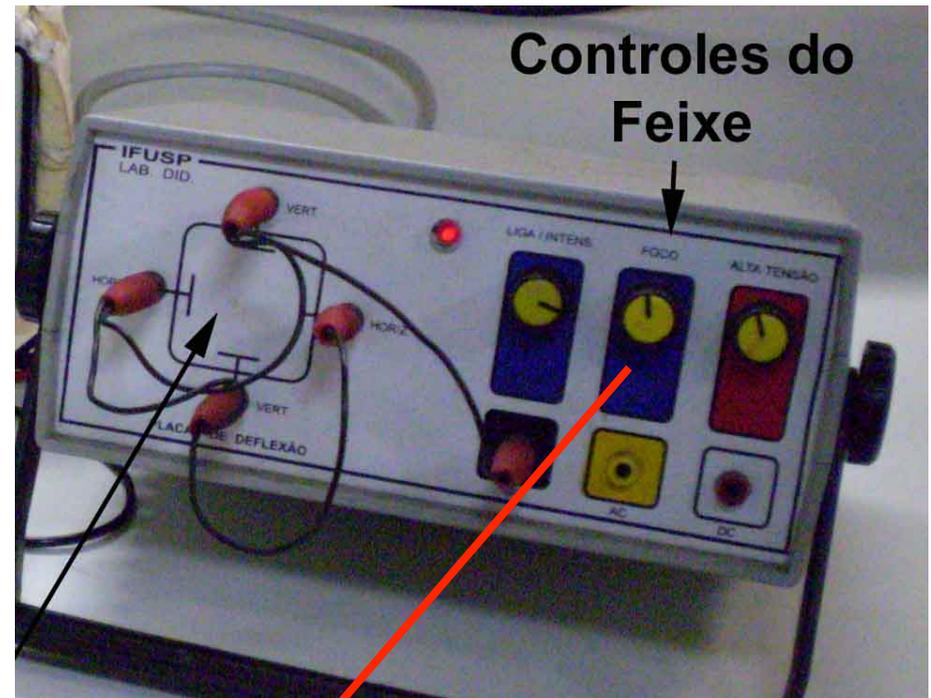
- Alta tensão (até 1200 V)
- Acelera feixe

- $E_{cin} = qV$



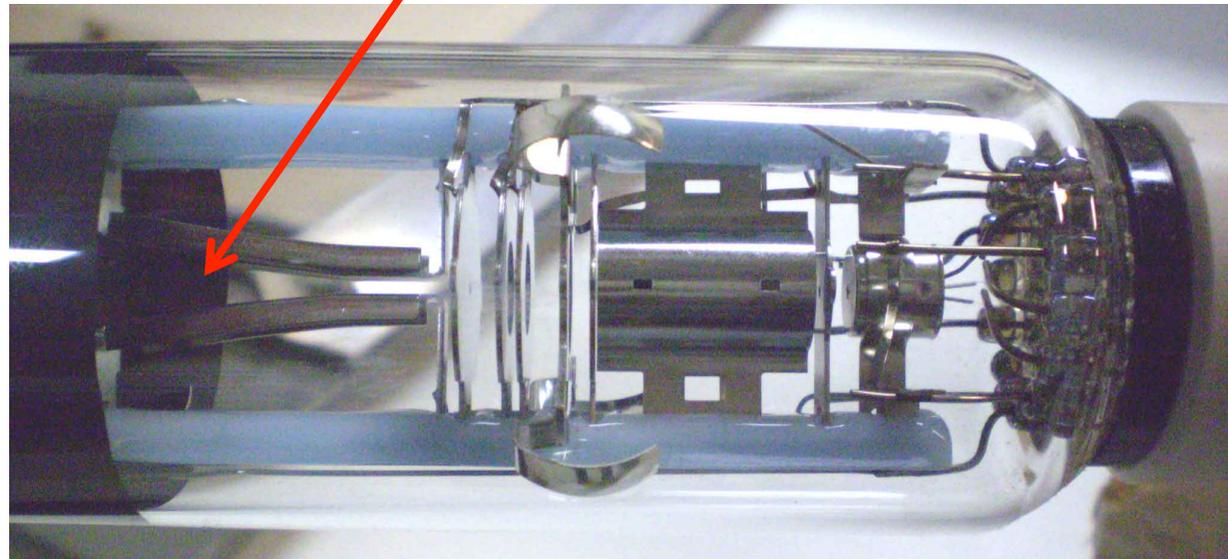
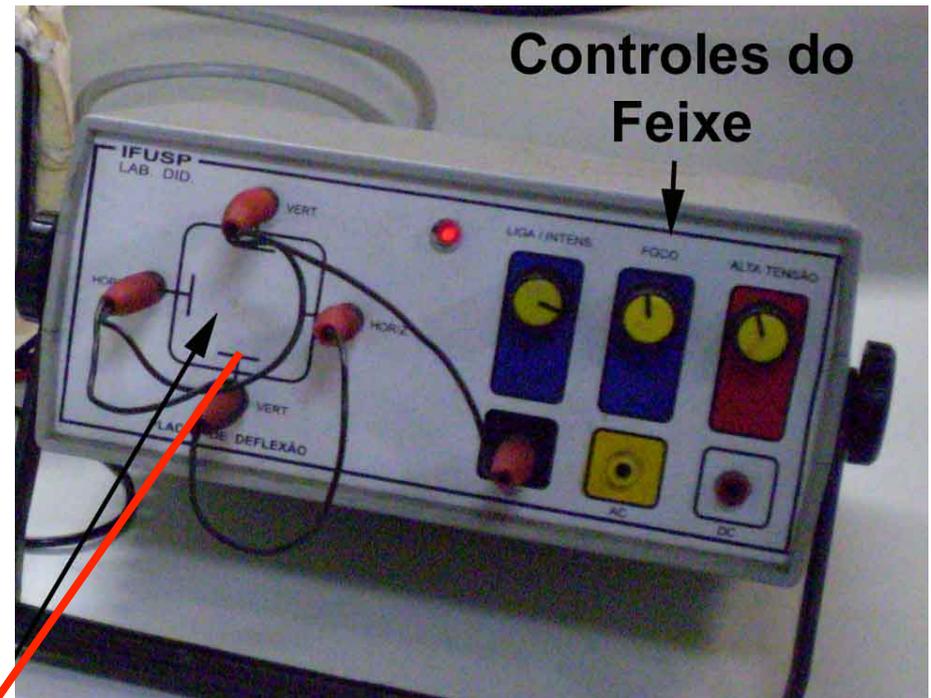
O TRC

- Sistema de focalização
 - *Lentes eletrostáticas*



O TRC

- Controle das tensões nas placas
 - *Horizontais e verticais*
 - *Fonte externa*



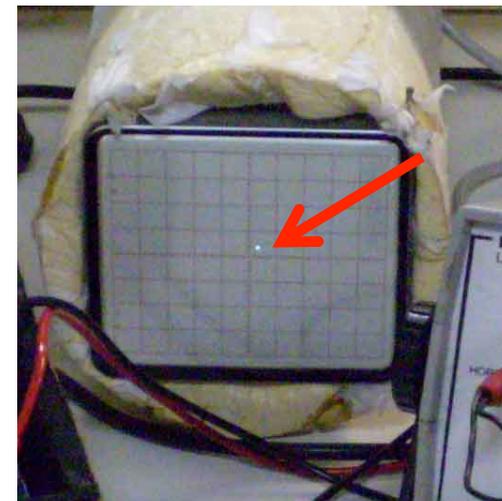
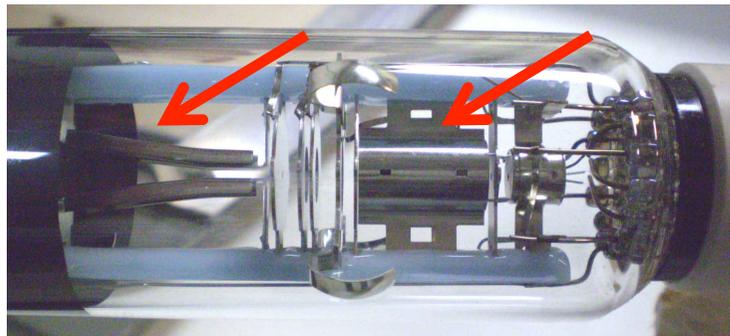


Medidas que podemos efetuar

- Quais as grandezas que temos controle e que podemos medir?
 - Tensão de aceleração dos elétrons
 - Ou velocidade, facilmente calculada
 - Tensão entre as placas
 - Proporcional ao campo elétrico aplicado
- Quais as grandezas que podemos apenas medir?
 - Posição do feixe de elétrons na tela do TRC

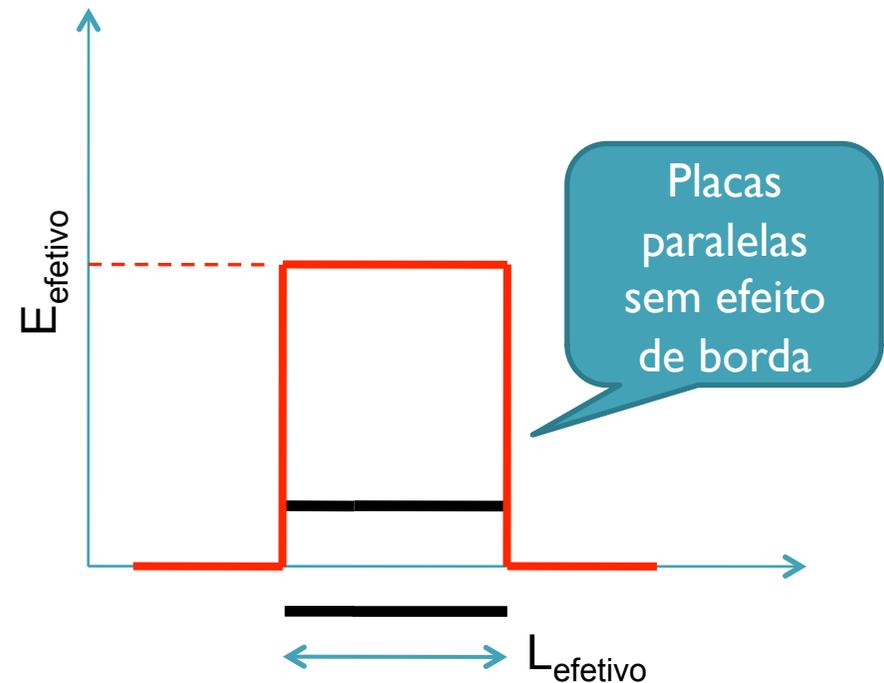
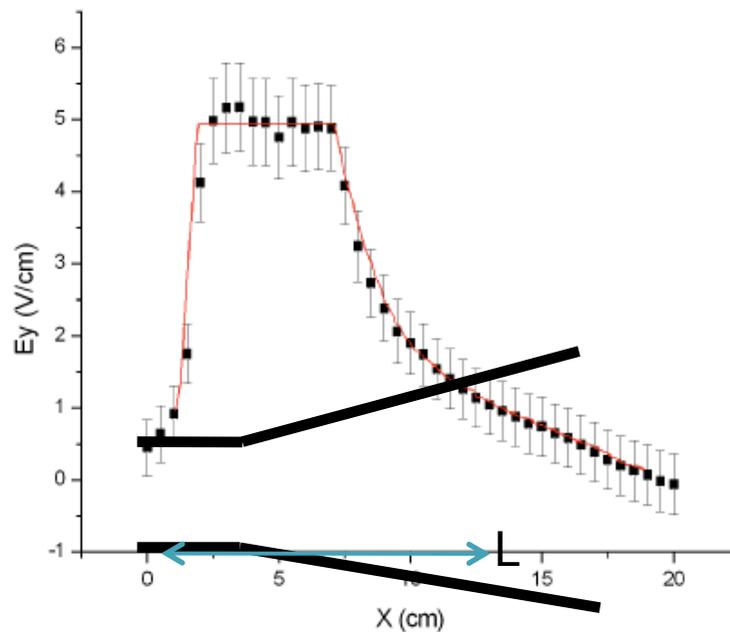
Objetivos

- 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



O que gostaríamos de fazer com estes dados?

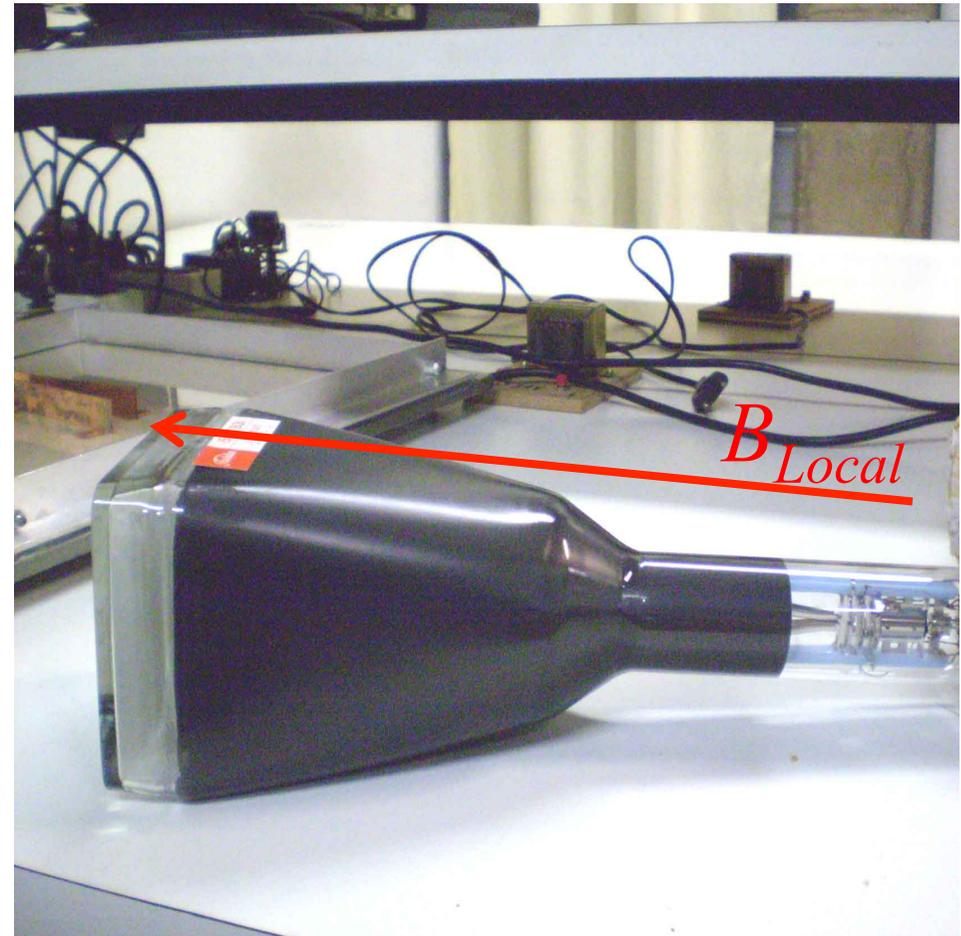
- Simplificar o problema
- Podemos transformar um problema de movimento complicado em algo simples?
 - A análise dos dados desta aula pode responder esta pergunta. Como?
 - Podemos descrever as nossas placas por um capacitor ideal?
 - Qual seria o comprimento das placas e o campo elétrico efetivo? Pensem a respeito...



IMPORTANTE!

Um pouco do procedimento

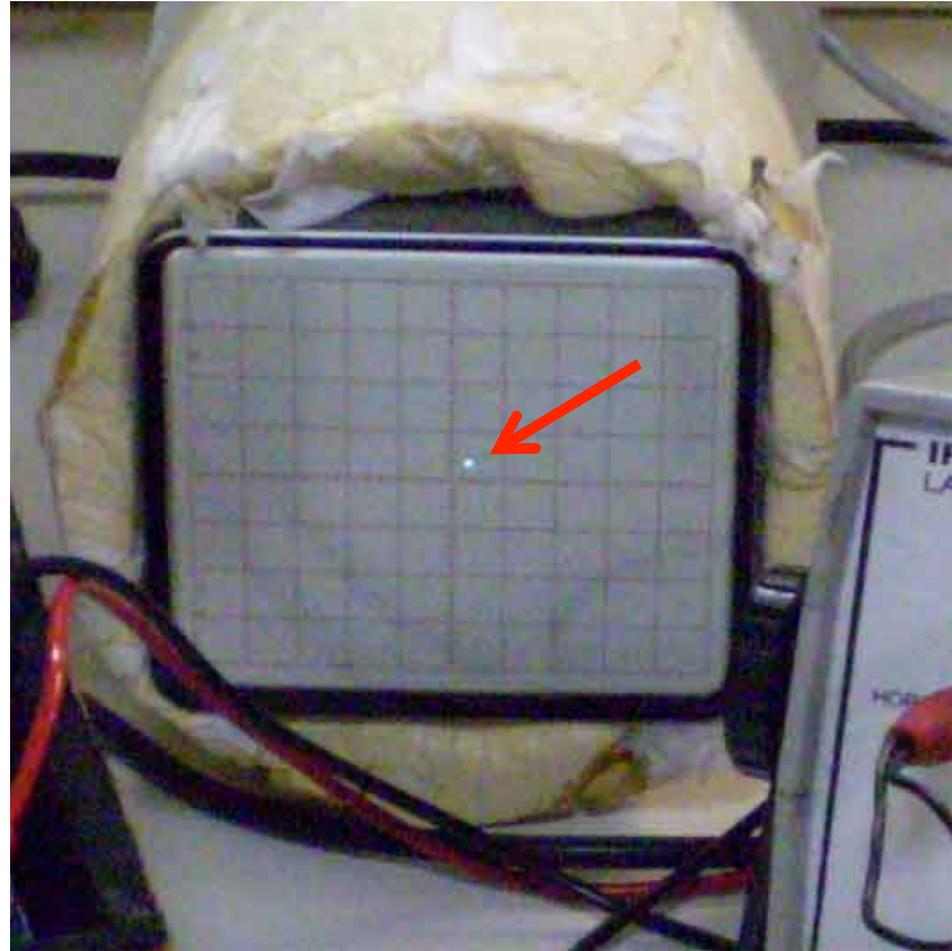
- O campo magnético local atua no feixe (Força magnética)?
 - Devemos alinhar o TRC com o campo local?
 - Como fazer isso, se necessário?



IMPORTANTE!

Um pouco do procedimento

- Cuidado II
 - Ligar o TRC com ZERO volts entre as placas
 - Focalizar bem o feixe e definir a origem
 - **Todas medidas em relação a este ponto**



Atividades

- Fazer as medidas do TRC e entregar:
 - Gráfico de H em função de V_P para V_{AC} fixo
 - Gráfico de H em função de V_{AC} para V_P fixo
 - Instruções de como montar o aparato experimental estão no site do curso
 - Escolha a grandeza fixa de tal modo a aproveitar bem a tela
- O nosso modelo ideal é compatível com os dados?
 Discuta
 - Se for compatível obtenha, experimentalmente, o valor da constante A' .
 - Nesse modelo o tamanho das placas e a distância entre elas são parâmetros geométricos. Obtenha os valores experimentais para essas grandezas. Discuta eventuais ambigüidades e como você as tratou.

Atividades

- Em baixas tensões de aceleração ($V_{AC} \sim 450V$) e grandes deslocamentos ($H \sim 4 \text{ cm}$) nota-se que o feixe do TRC se divide em 2. Tente observar esse efeito e, se possível, medi-lo.
 - Discuta as possíveis origens desse efeito. Se possível quantifique o fenômeno.