Seletor de Velocidades

http://lababerto.if.usp.br

Prof. Antonio Domingues dos Santos
adsantos@if.usp.br
Ramal: 6886
Mário Schenberg, sala 205

Prof. Leandro Barbosa
lbarbosa@if.usp.br
Ramal: 7157
Ala1, sala 225

Profa. 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

Física Exp. 3
Aula 1, Experiência 2
Movimento em campo Elétrico

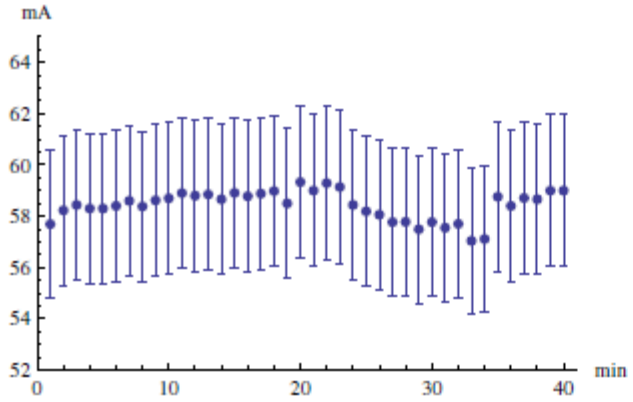
Para a folha de dados

DISCUSSÃO

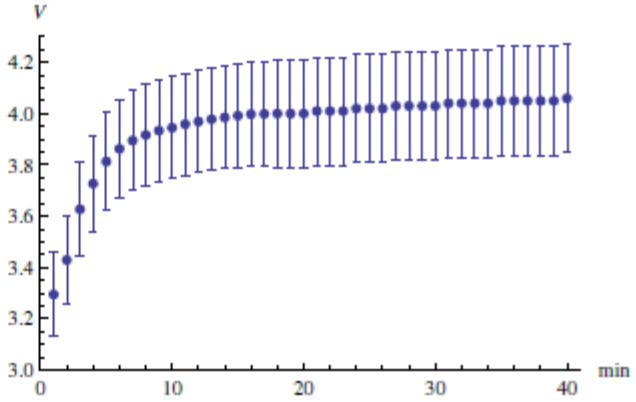
- Apresentem os dados e os gráficos para a carga da bateria e também para a descarga da bateria, quando alimentando os 3 LEDs da casa.

A02

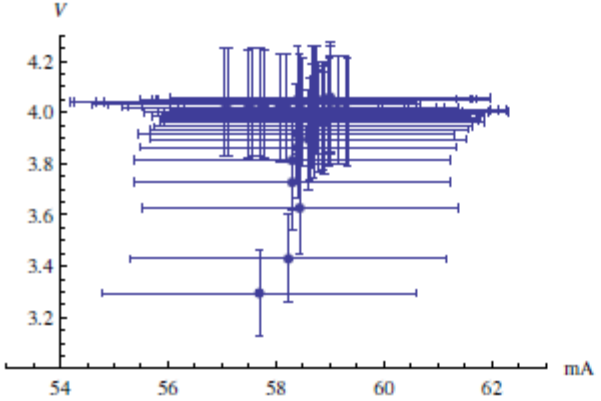
tempo x corrente (carregando)



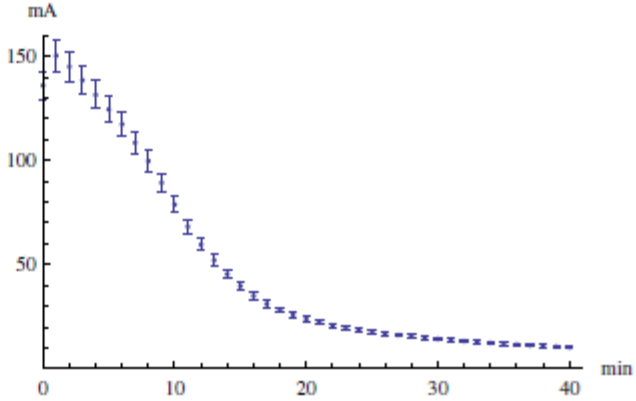
tempo x tensão (carregando)



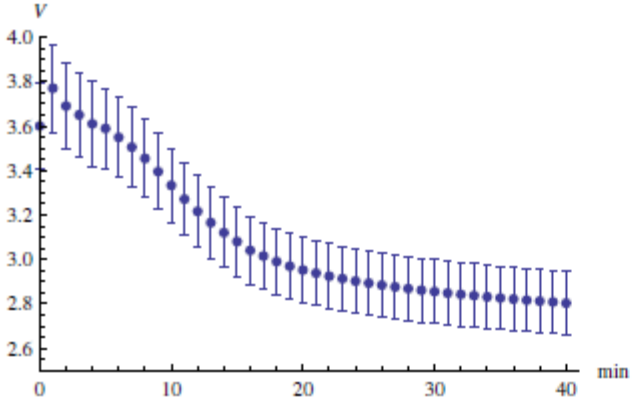
corrente x tensão (carregando)



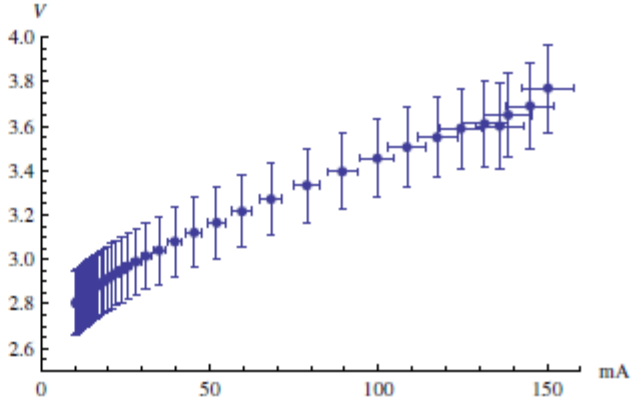
tempo x corrente (descarregando)



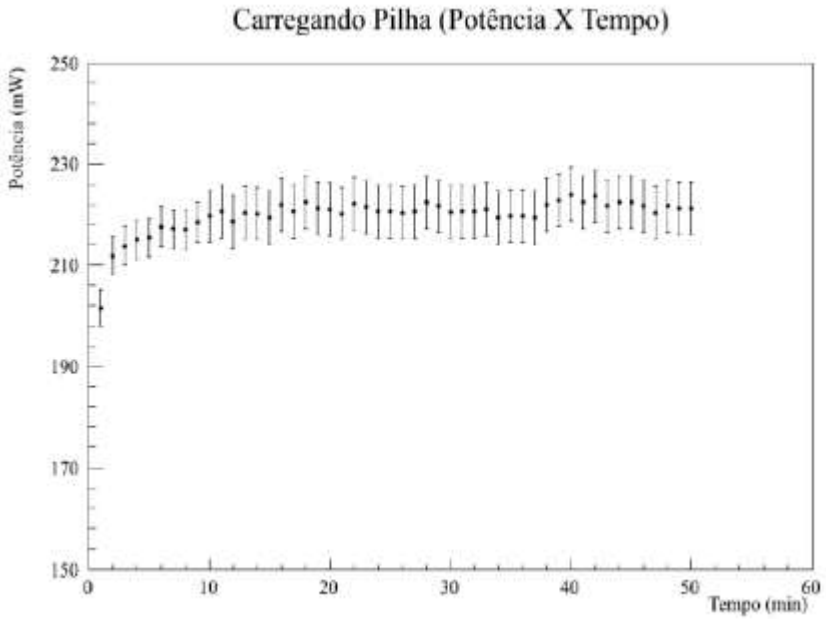
tempo x tensão (descarregando)

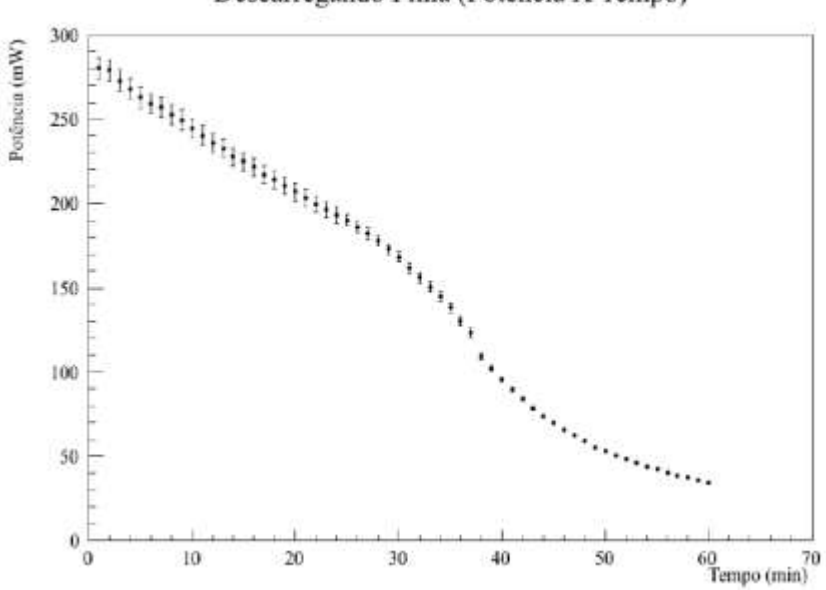


corrente x tensão (descarregando)

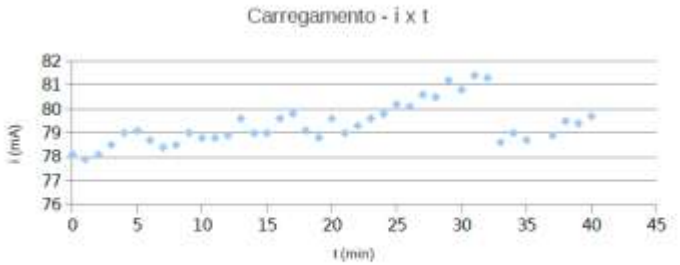


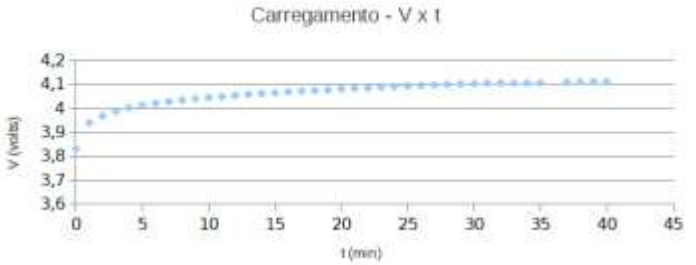
A06

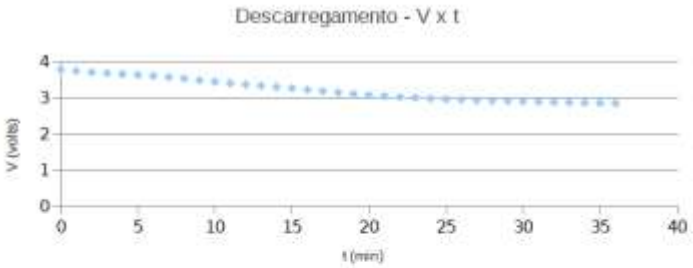

Carregando Pilha (Potência X Tempo)
Potência (mW)
Tempo (min)

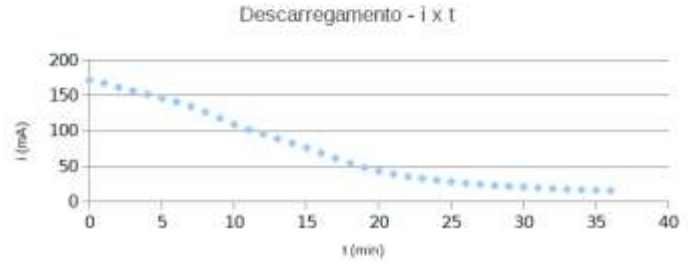

Descarregando Pilha (Potência X Tempo)
Potência (mW)
Tempo (min)

A04


Carregamento - i x t
i (mA)
t (min)


Carregamento - V x t
V (volts)
t (min)


Descarregamento - V x t
V (volts)
t (min)


Descarregamento - i x t
i (mA)
t (min)

Para o relatório

- Determine a carga acumulada na bateria durante a sua carga e compare com a especificação da bateria.
- Determine a energia acumulada na bateria durante o processo de carga.
- Determine através de integração numérica a energia consumida pelos LEDs durante o seu período de funcionamento.
- Discuta a relação entre os dois itens anteriores.

Pergunta da semana

- Entreguem agora a pergunta da semana, e lembrem-se de anotar o nome do seu professor e do seu grupo!!

Perguntas da semana

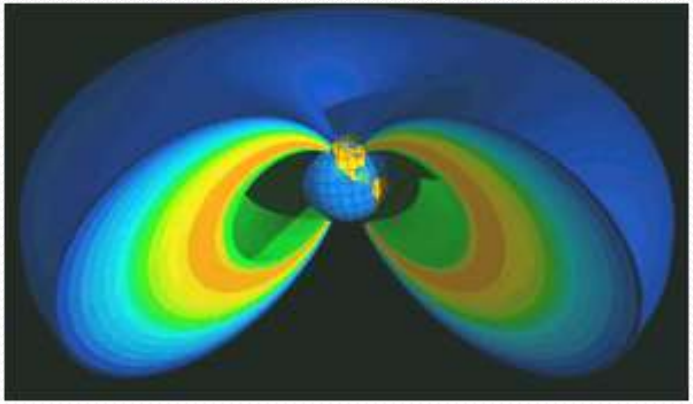
- Considerando que você tem a bateria completamente descarregada e o dia teve apenas 40 min de sol, com a corrente atingindo o valor de 300 mA. Por quanto tempo o LED que voce usou no laboratório pode permanecer aceso?
- Nestas condições, quanto tempo de insolação seria necessário para que a bateria ficasse completamente carregada?
- A bateria usada é constituída por 3 pilhas recarregáveis, qual é a relação entre as resistências internas da bateria e de cada pilha?

Seletor de Velocidades

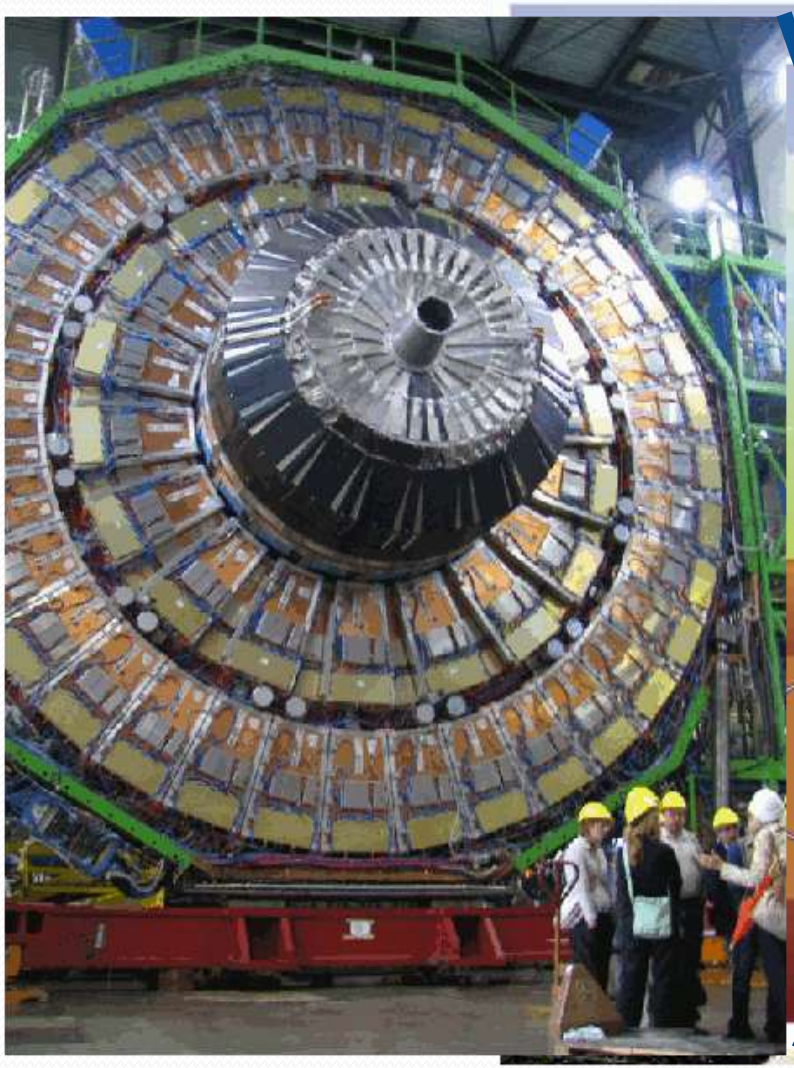
- Nesta experiência iremos estudar campos elétricos e magnéticos através da construção de um **acelerador de partículas**.

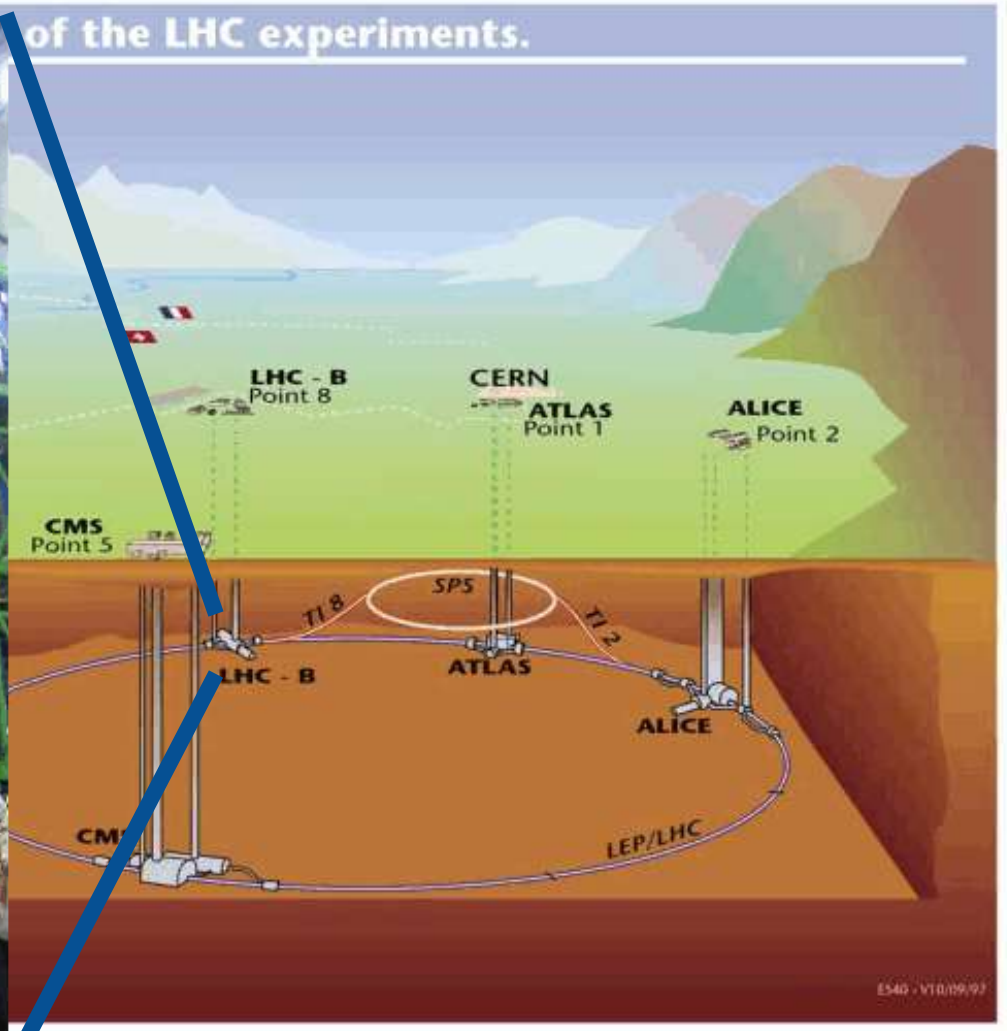
- Mas o que é um acelerador de partículas?

- Antes disso... Como podemos acelerar uma partícula?



Física de Partículas / Nuclear





Seletor de Velocidades

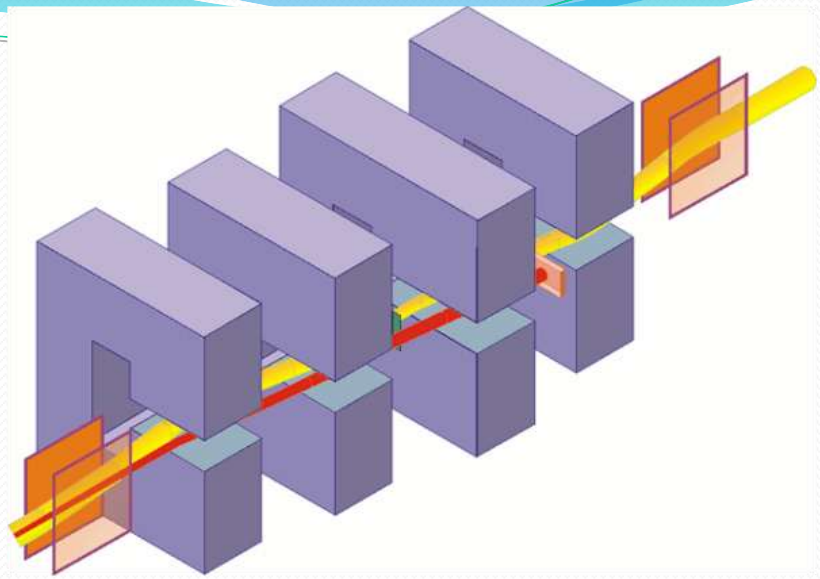
... Um acelerador de partículas "simples"

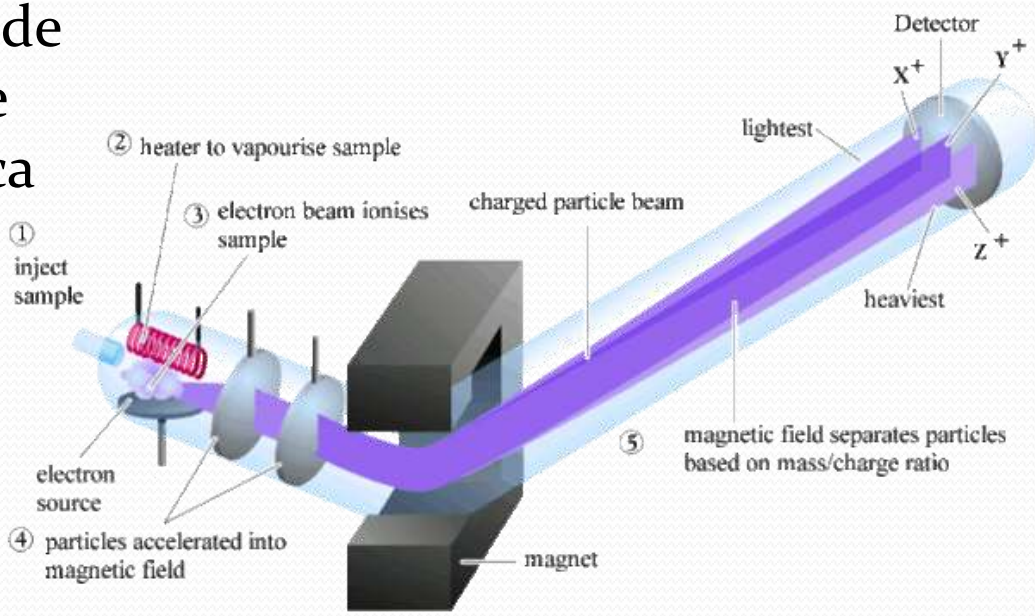
- Um seletor de velocidades é um dispositivo que seleciona as partículas, de um feixe de partículas carregadas, de acordo com sua velocidade.
- Esse dispositivo é também chamado de **filtro de velocidades**, ou **filtro de Wien**:

Todo filtro faz uma seleção dos objetos que o atravessam.

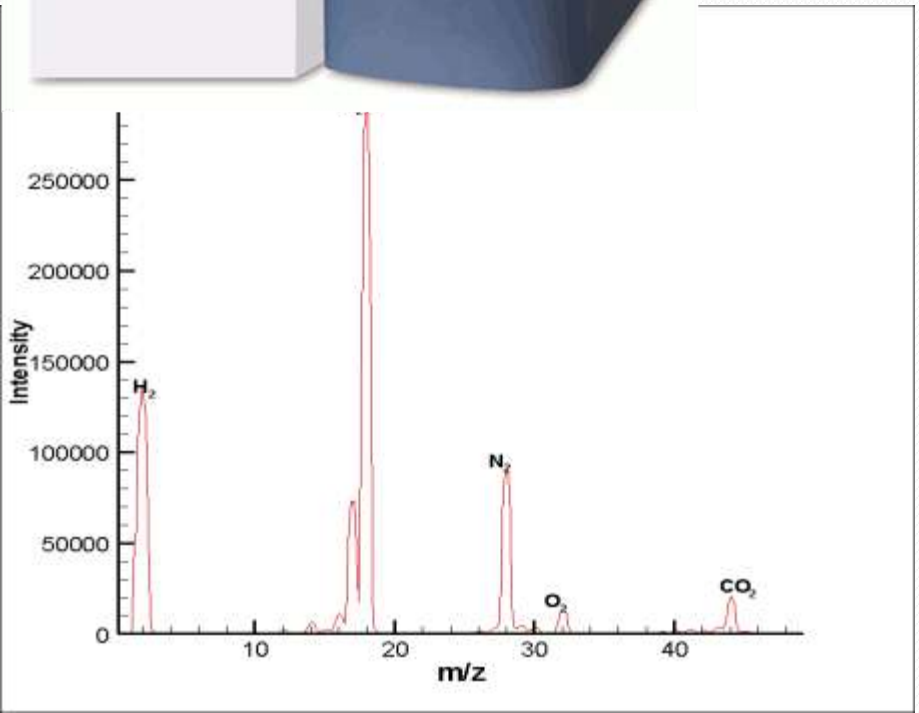
A utilidade

- Um **seletor de velocidades** é um instrumento importante particularmente em física nuclear, tanto de alta como de baixa energia.
- Faz parte dos espectrômetros de massa: determina com grande precisão a composição química pela razão massa-carga dos componentes da amostra.





Espectrômetros de Massa



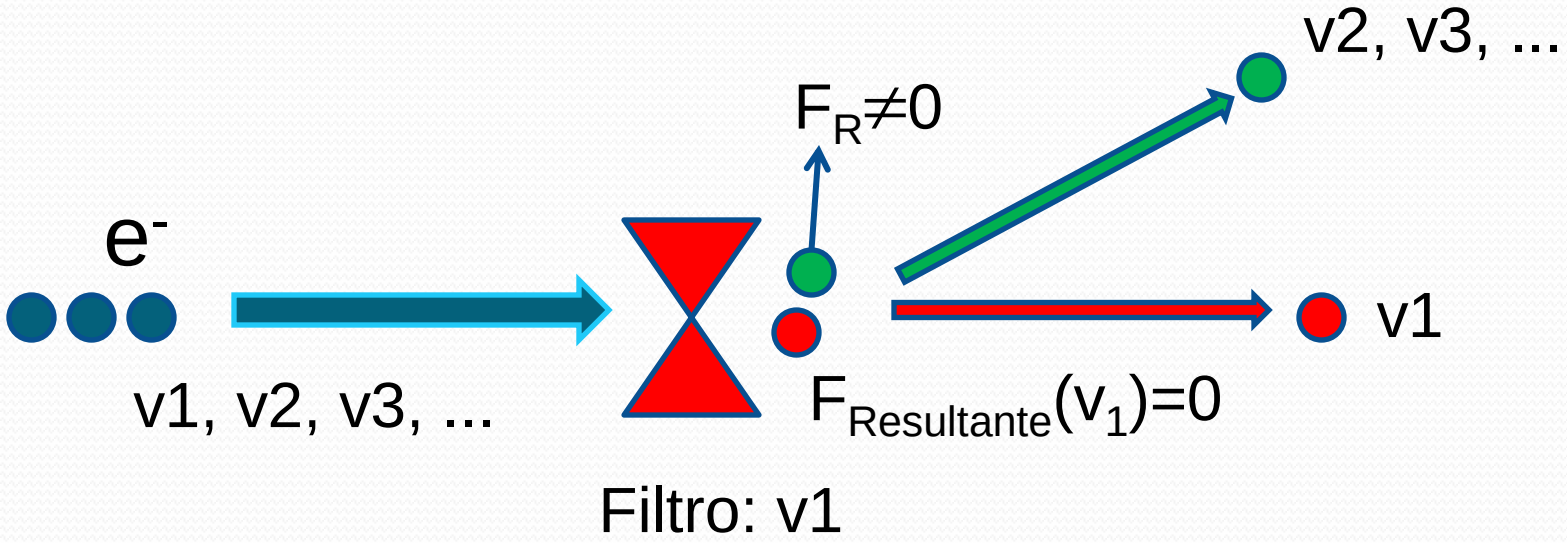
Accelerator mass spectrometer at Lawrence Livermore National Laboratory

Seletor de velocidades: como funciona

- O princípio de funcionamento do seletor de velocidades está baseado no fato de que **partículas carregadas** em movimento sofrem a ação de **forças** quando cruzam uma região onde existe um **campo elétrico** ou um **campo magnético**, ou ambos.
- Se queremos separar partículas com velocidades diferentes:

Precisa-se aplicar uma força dependente da velocidade! ... e que atua em algumas partículas (ie, velocidades) e em outras não...

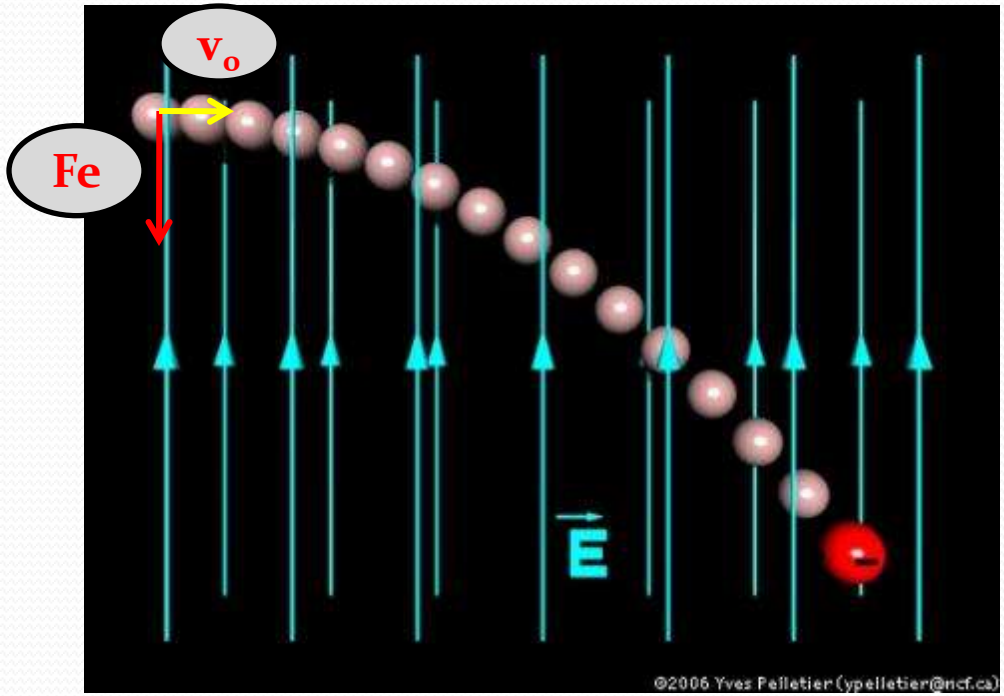
Seletor de velocidades: funcionamento



Campo elétrico

- Quando um feixe de partículas carregadas de carga **q**, atravessa uma região onde existe um campo elétrico, **E**, perpendicular à trajetória das partículas, ele vai sofrer uma força $\mathbf{F_e}$ igual a:

$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$



Se a partícula for positiva, o sentido da força é o sentido do campo, se for negativa, o sentido da força é oposto ao sentido do campo.

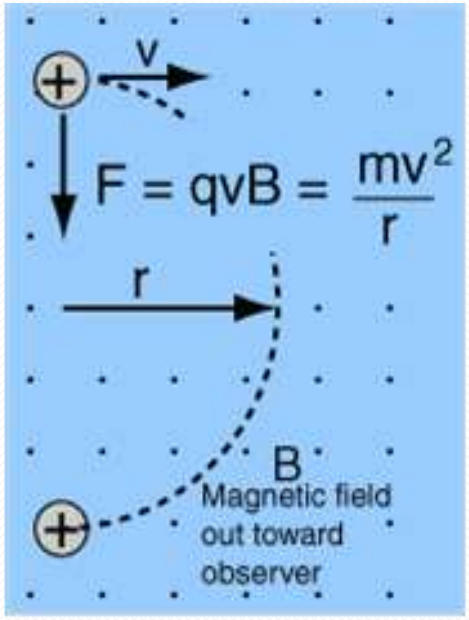
Campo magnético

- O que ocorre com o feixe de partículas (de carga **q** e velocidade **v**) que atravessa uma região onde existe um campo magnético constante e perpendicular à sua trajetória?

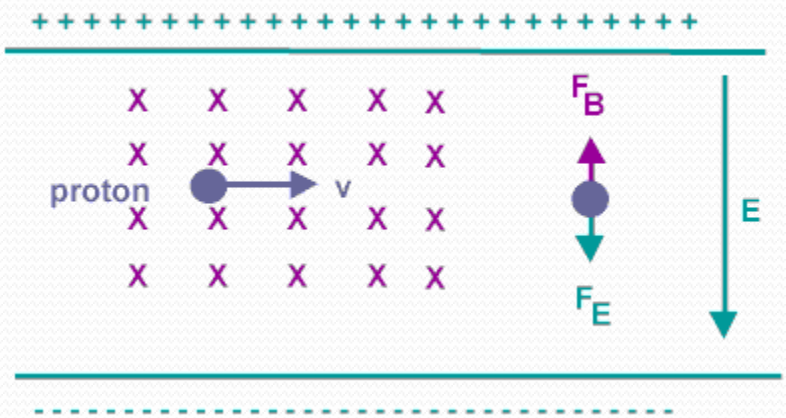
  Vai aparecer uma força magnética, $\mathbf{F_m}$, proporcional à velocidade:

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Se B ⊥ v



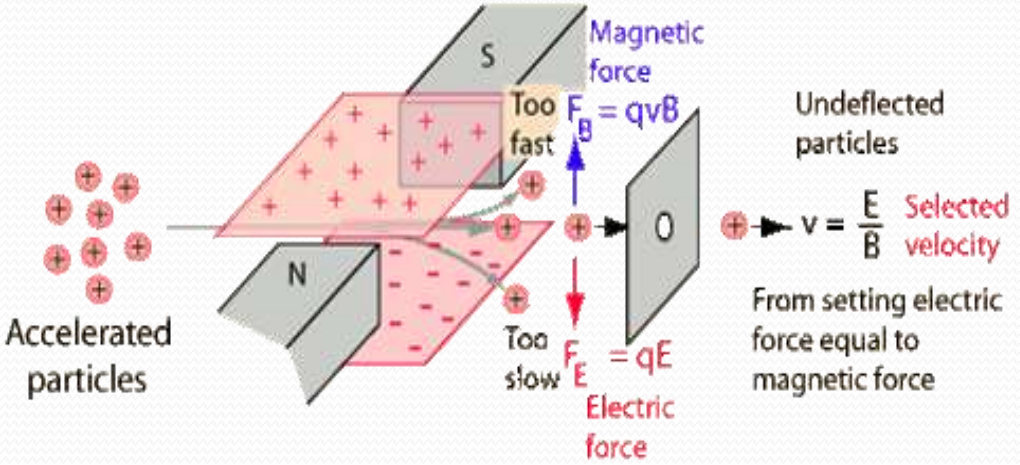
Funcionamento do Seletor



- São dois campos cruzados e perpendiculares à direção do feixe
  - um campo magnético
  - um campo elétrico
- **O segredo**: os campos são orientados de tal forma que $\mathbf{F_E}$ e $\mathbf{F_B}$ são opostas.

Escolhe-se a intensidade dos campos tal que a partícula da velocidade de interesse passe sem ser desviada:

$$\vec{F}_E + \vec{F}_B = 0$$



Seletor de velocidades: o feixe

Na experiência que vamos realizar, o feixe é um feixe de elétrons gerado e acelerado dentro de um tubo de raios catódicos.

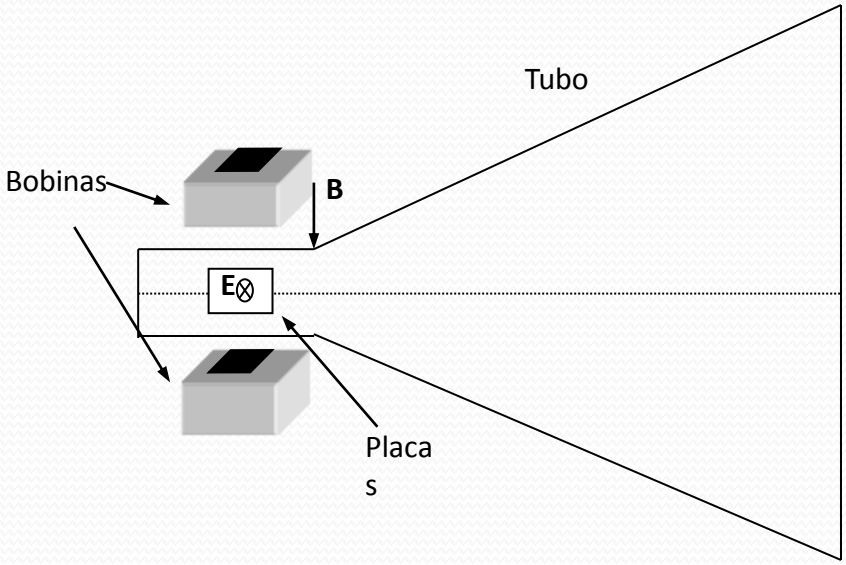
O tubo de raios catódicos (**TRC**) é o nome que se dá ao dispositivo responsável pela produção da imagem nos aparelhos de TV e monitores antigos.

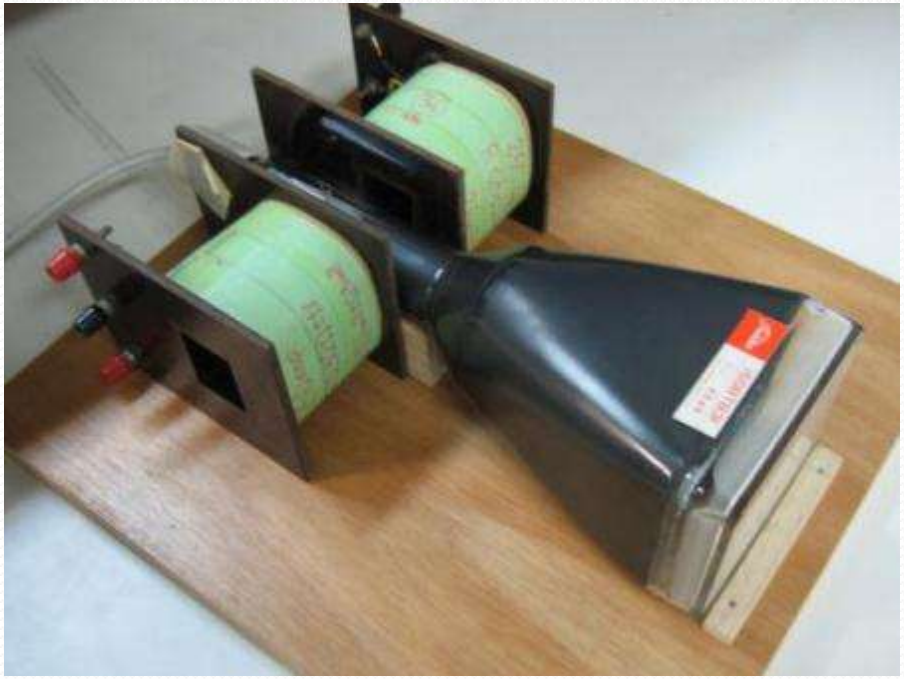
O tubo de raios catódicos

- **Gerador do feixe**: um filamento que, ao ser aquecido, libera elétrons. O processo que ocorre no filamento é a emissão termiônica.
- **Acelerador do feixe**: dois dispositivos aceleradores, o **anodo 1** e o **anodo 2,** que aceleram os elétrons em direção a uma tela fosforescente, gerando aí um ponto luminoso. O sistema de geração e aceleração do feixe de elétrons recebe o nome de **canhão de elétrons**. Todo esse sistema encontra-se dentro de um tubo de vidro selado, em baixa pressão.
- **Desviadores do feixe**: 2 pares (na verdade só vamos utilizar um) de placas que permitem a instalação de campos elétricos perpendiculares à trajetória do feixe. Essas são as placas defletoras.

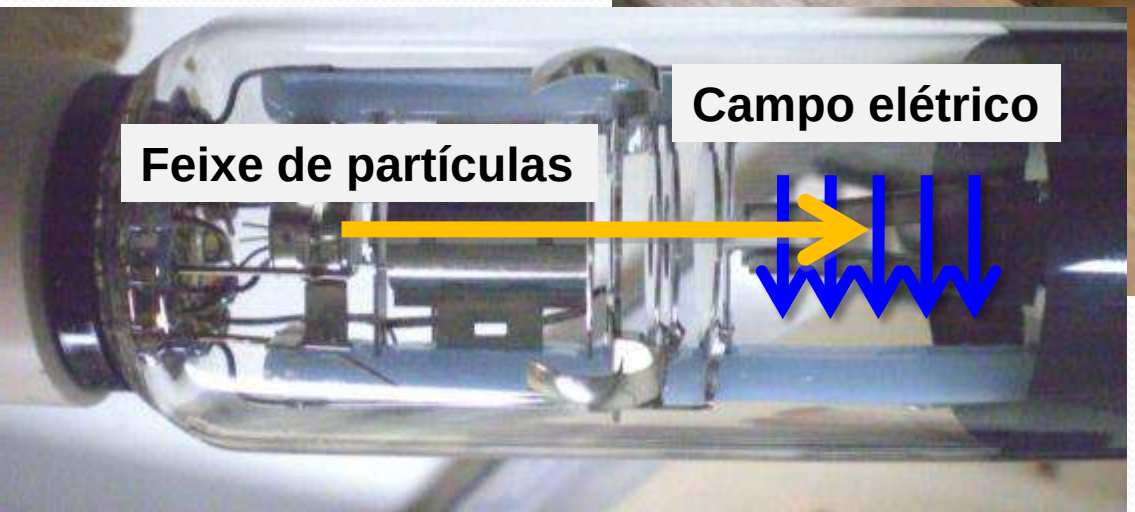
O TRC como filtro de velocidades

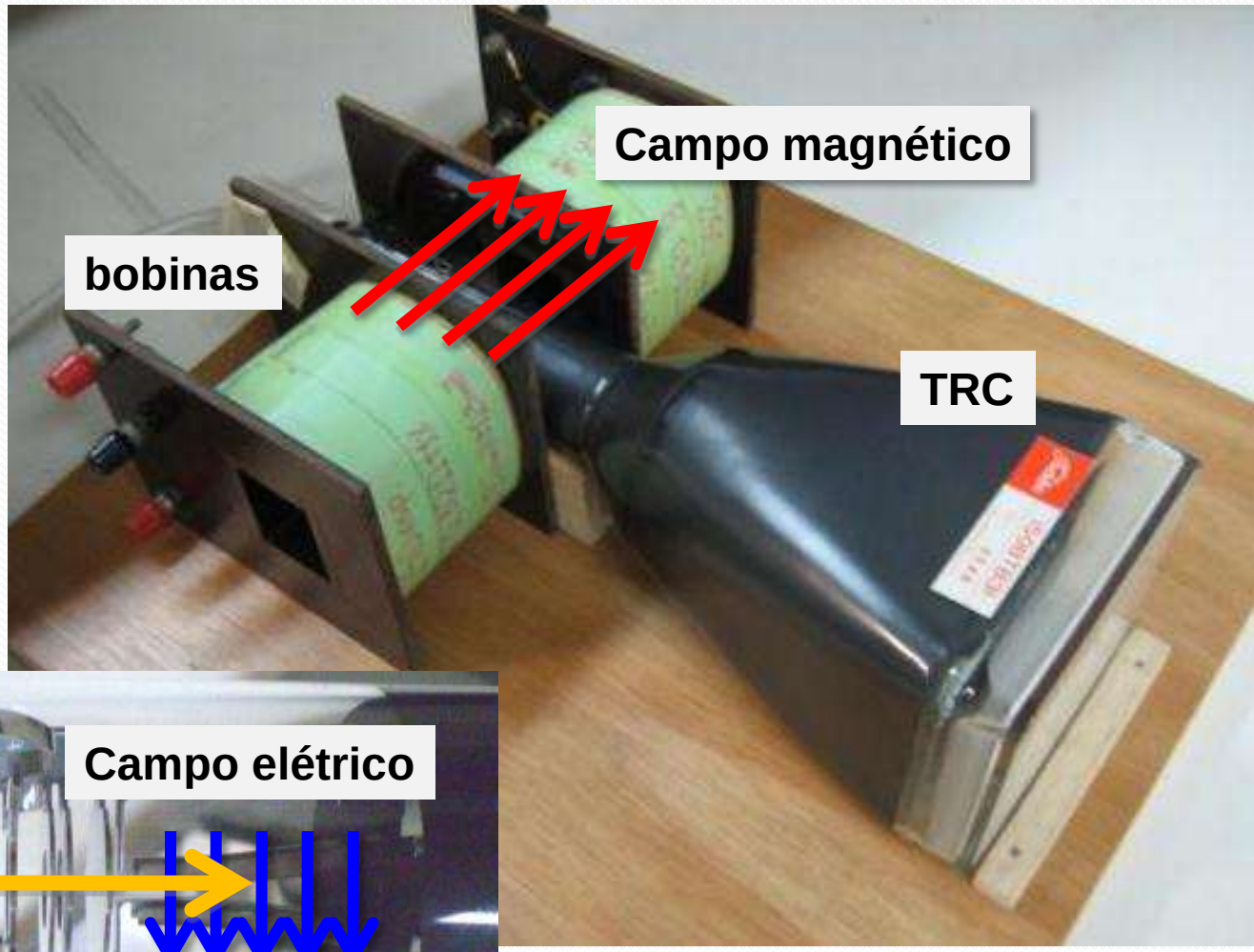
- Um par de placas desviadoras cria o campo elétrico perpendicular ao feixe
- Um par de bobinas externas ao tubo cria campo magnético perpendicular ao feixe





Campos dentro do TRC





O que se pretende nas próximas 5 semanas:

- Estudar isoladamente o campo elétrico das placas o TRC.
  - Ver como esse campo afeta as trajetórias dos elétrons de várias energias e para várias intensidades de campo
- Depois estudar isoladamente o campo magnético das bobinas que vamos acoplar ao TRC para fazer o filtro e velocidades
  - Estudar o seu efeito na trajetória dos elétrons tanto em função da energia como em função da intensidade do campo
- Por fim juntamos tudo e vamos parametrizar o seletor ou filtro de velocidades

Exp. 2 – Seletor de Velocidades

PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
  - Movimento em campo elétrico
- Semana 2
  - Simular o campo elétrico
- Semana 3
  - Movimento em campo magnético
- Semana 4
  - Mapear campo magnético
- Semana 5
  - Espectrômetro de massa parte 1
- Semana 6
  - Espectrômetro de massa parte 2

A proposta para hoje

1. Entender como funciona o tubo de raios catódicos

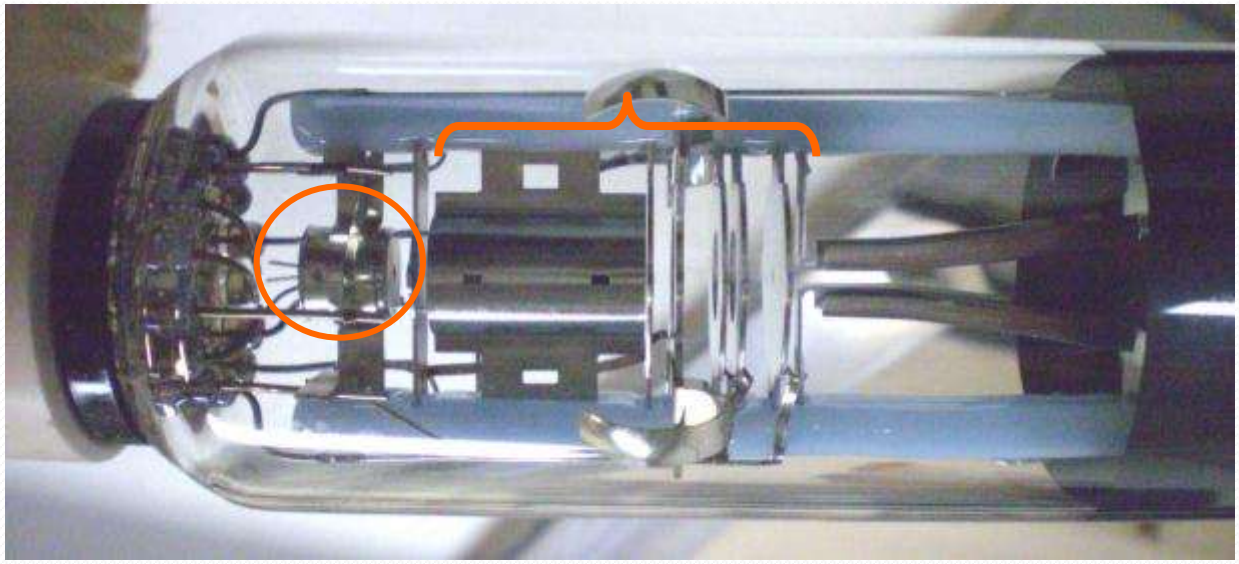
2. Vamos fazer um modelo simples desse funcionamento

3. Medir como o deslocamento dos elétrons na tela depende:
    1. da energia dos elétrons e
    2. da tensão nas placas desviadoras

1. Funcionamento do TRC

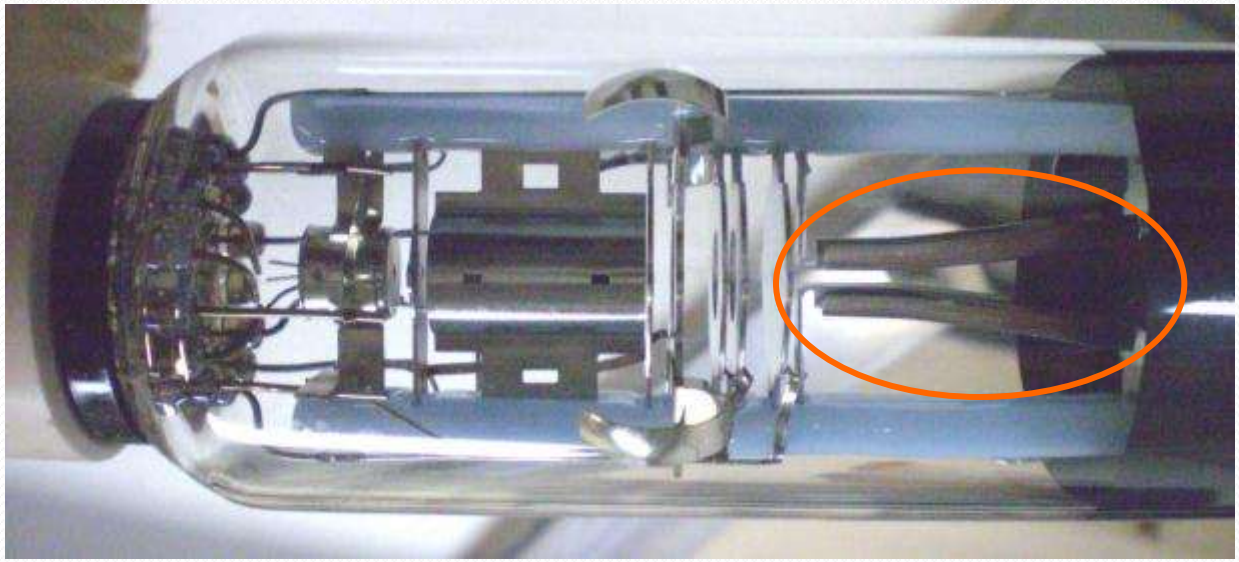
Tubo de Raios Catódicos

- O TRC dispõe de uma fonte que gera os elétrons:
  - Um filamento aquecido pela passagem de corrente elétrica libera elétrons que são extraídos e acelerados com uma diferença de potencial

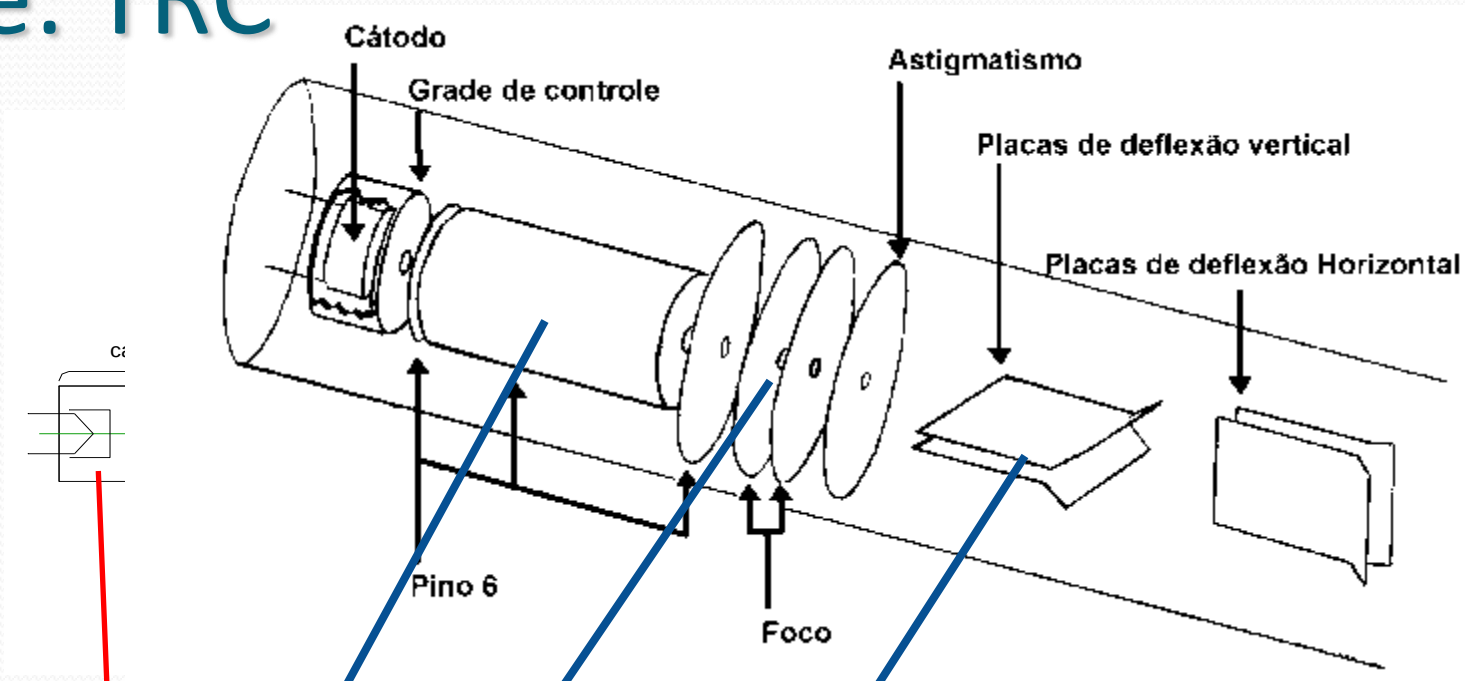


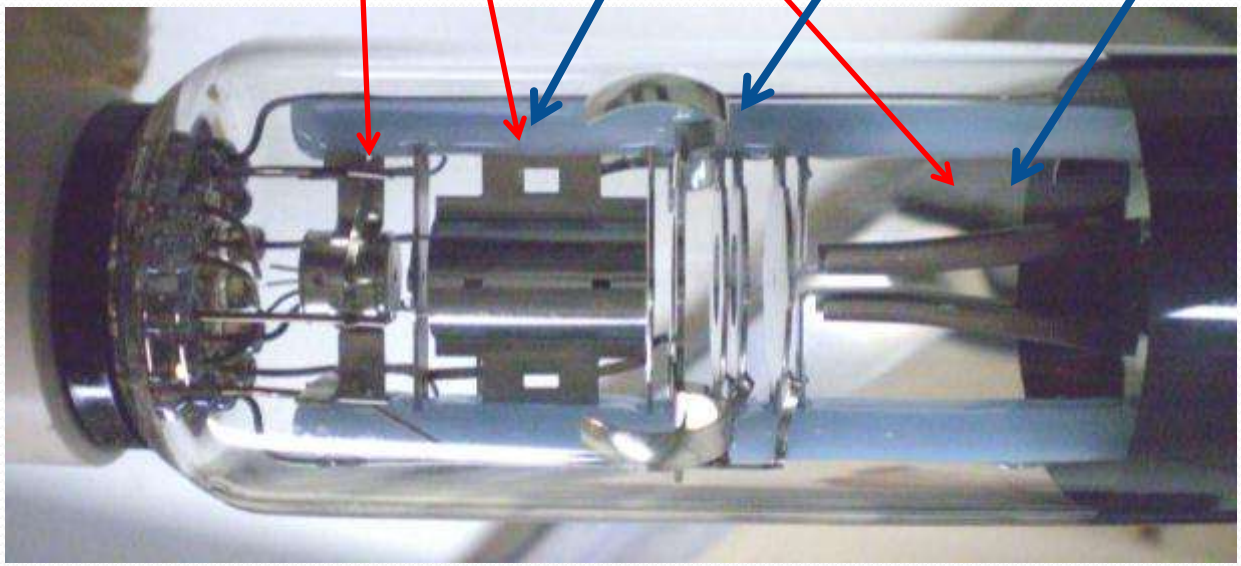
O campo elétrico:

- O campo elétrico é gerado por um capacitor, que vamos chamar de placas defletoras: aplica-se uma ddp entre elas



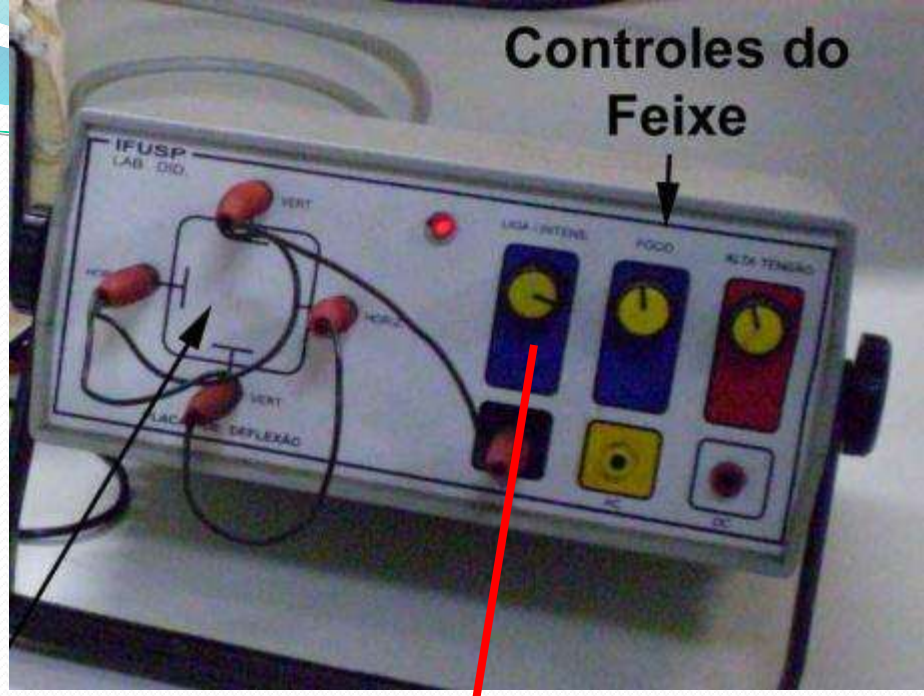
O feixe: TRC

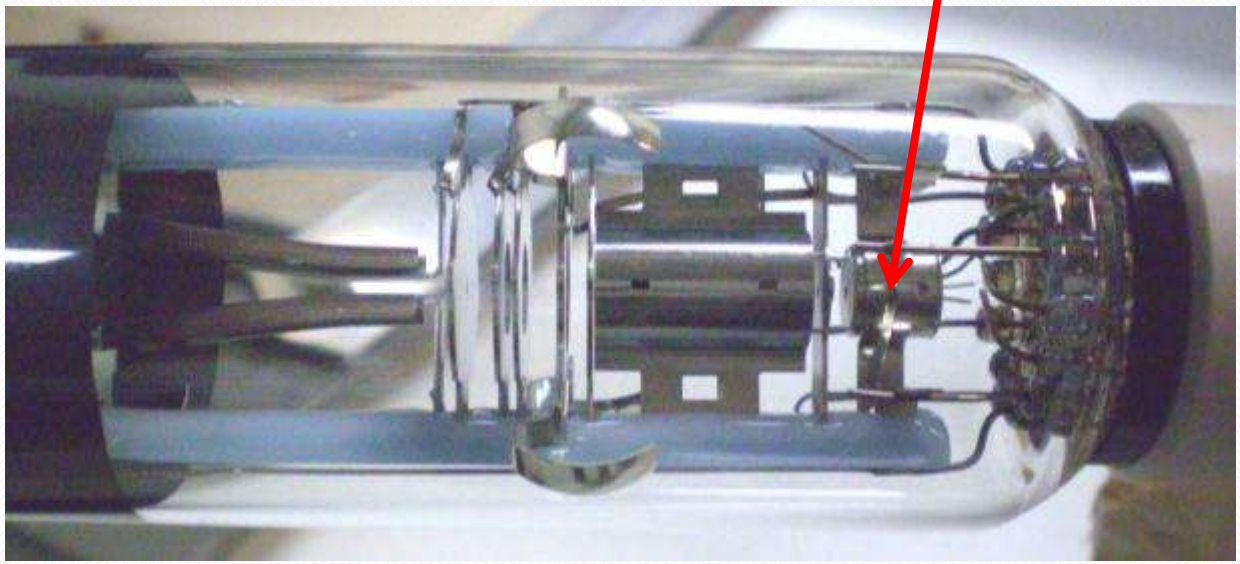

Cátodo
Grade de controle
Astigmatismo
Placas de deflexão vertical
Placas de deflexão Horizontal
Pino 6
Foco



O TRC

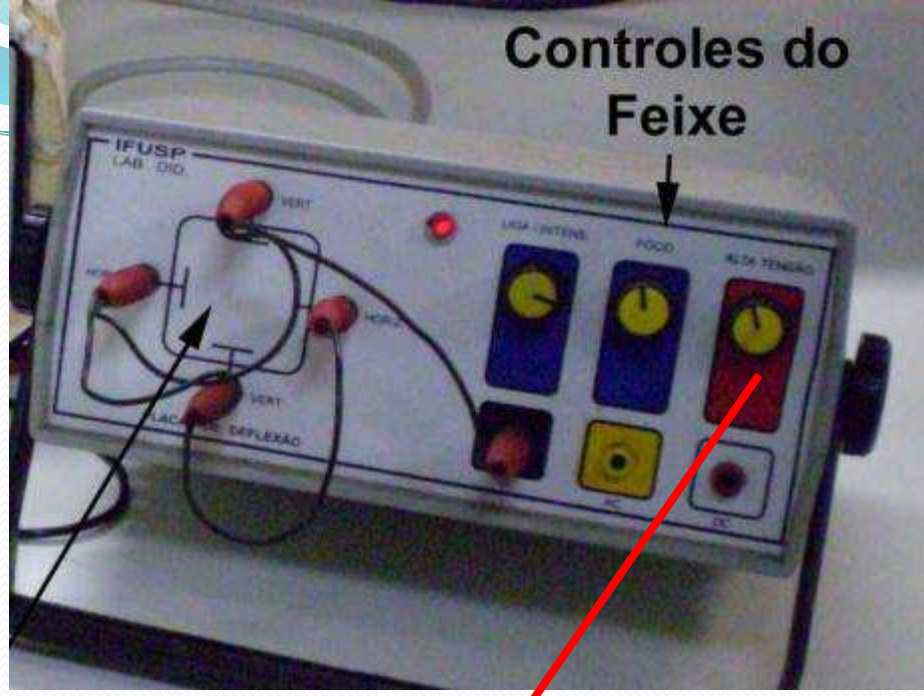
- Ligar o **TRC**
- Esse botão controla intensidade do feixe (tensão de grade)

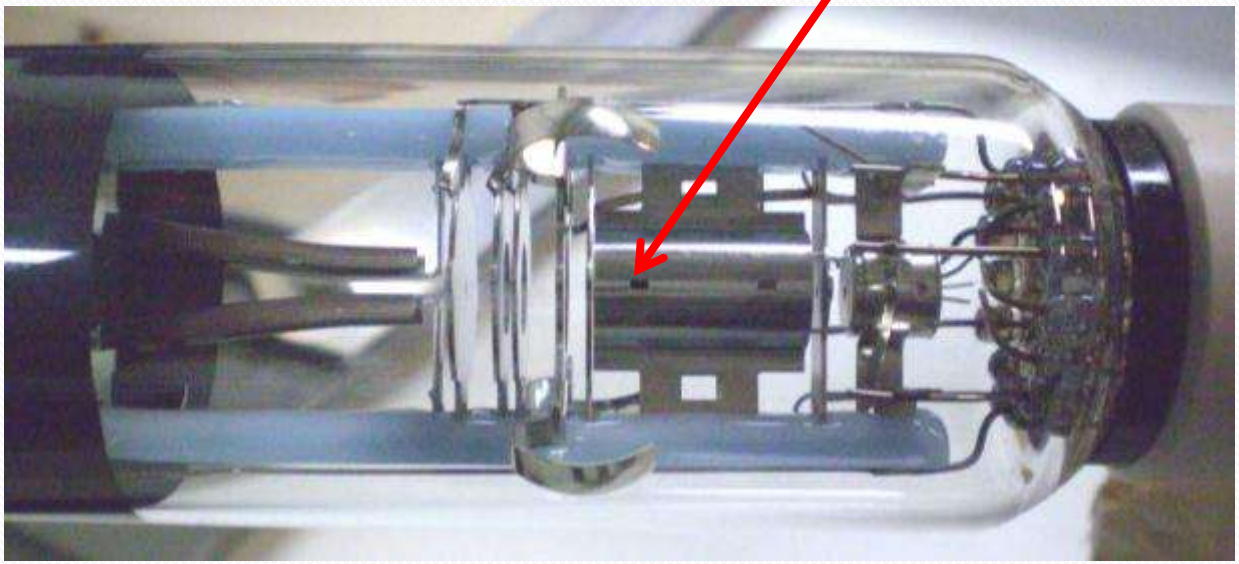




O TRC

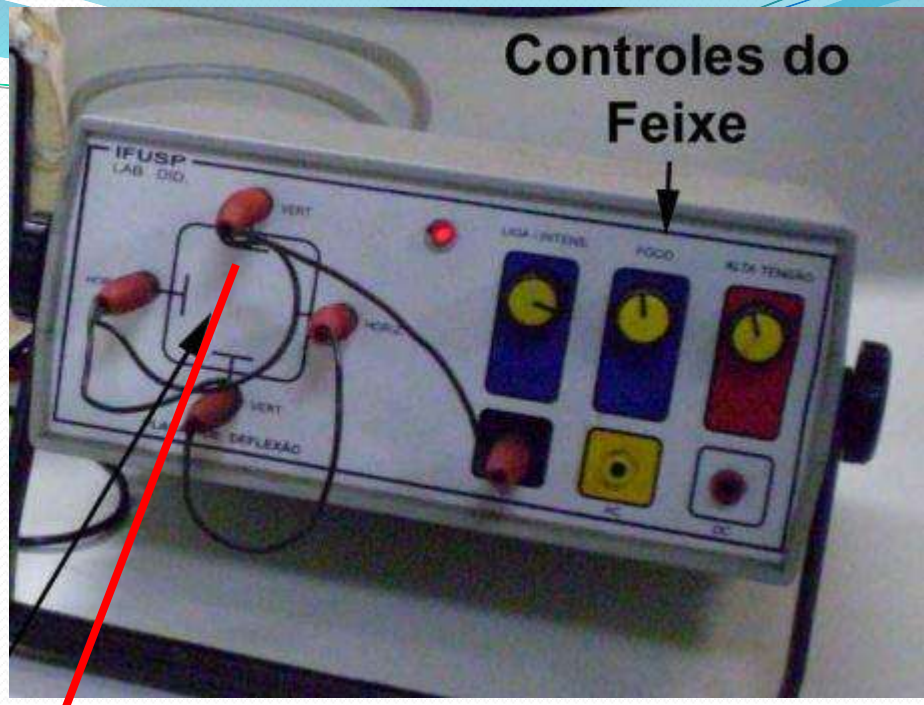
- O controle de alta tensão **Uac** ou tensão aceleradora (até **1200 V**) é responsável pela velocidade **v** dos elétrons





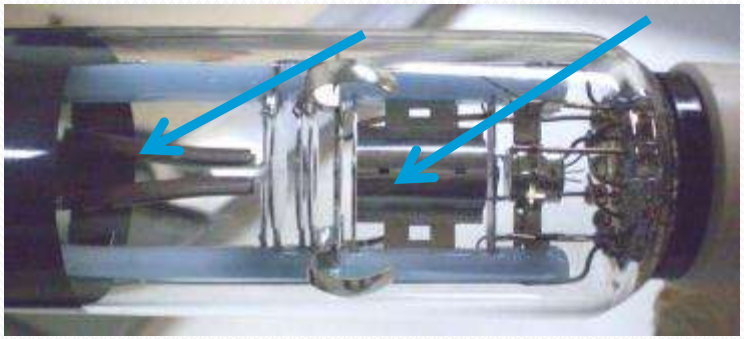
O TRC

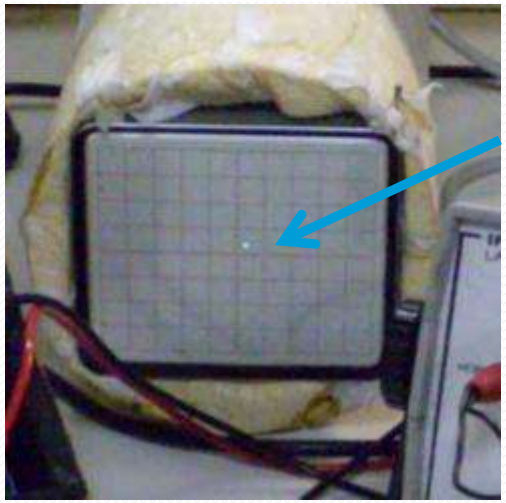
- Controle da tensão nas placas **Vp**
  - Horizontais e verticais
  - Vamos usar somente as verticais
    - Fonte externa **DC** de **30V**



Deflexão H do feixe

- Vai depender da velocidade dos elétrons (**Vac**), da tensão nas placas defletoras verticais (**Vp**), e da corrente nas bobinas (**i**).
- Grandezas que podem ser medidas:
  - V_{AC} (velocidade),
  - Tensão nas placas (Vp)
  - Corrente nas bobinas (i)
  - Deflexão na tela (H).





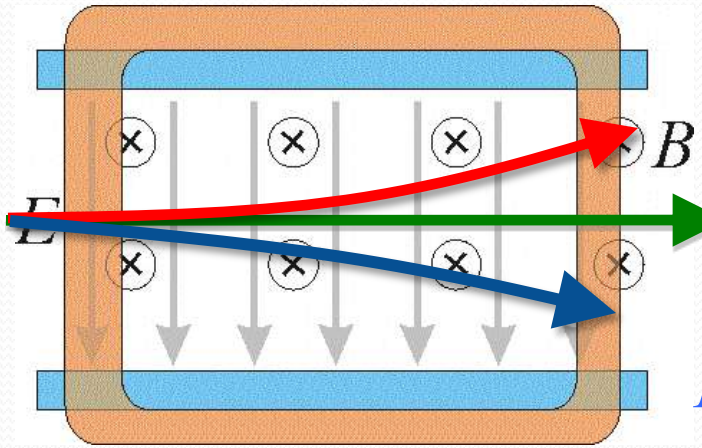
2. Modelo Simplificado

Modelo Simplificado

- As forças elétrica e magnética são iguais e opostas no caso da partícula que não sofre deslocamento, (**H=0**), isso leva à seguinte expressão para a velocidade dessa partícula:

$$\left|\vec{F}_E\right| = \left|\vec{F}_M\right| \Rightarrow qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} \; para \; H = 0$$

$q < 0$



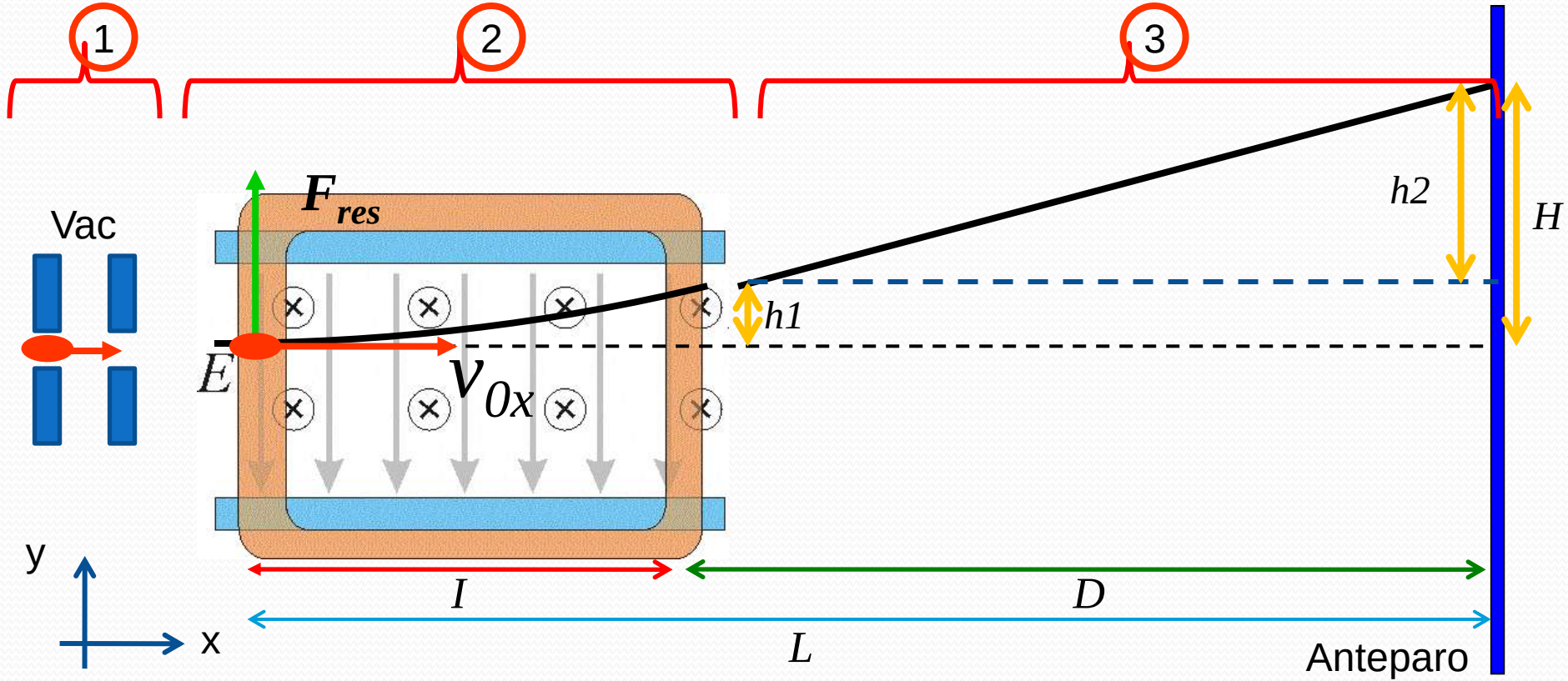
$E > vB$

$v_{0x} = \frac{E}{B}$

$E < vB$

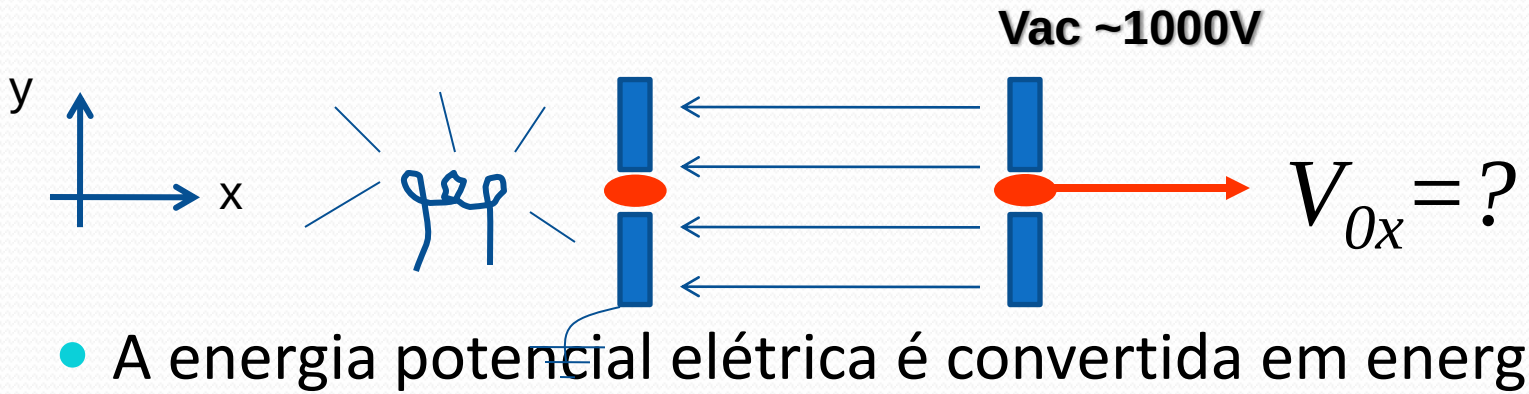
Modelo Simplificado

- O movimento é composto de três partes:
  1. Aceleração em x
  2. Aceleração em y
  3. Movimento uniforme



Modelo Simplificado – Traj. 1

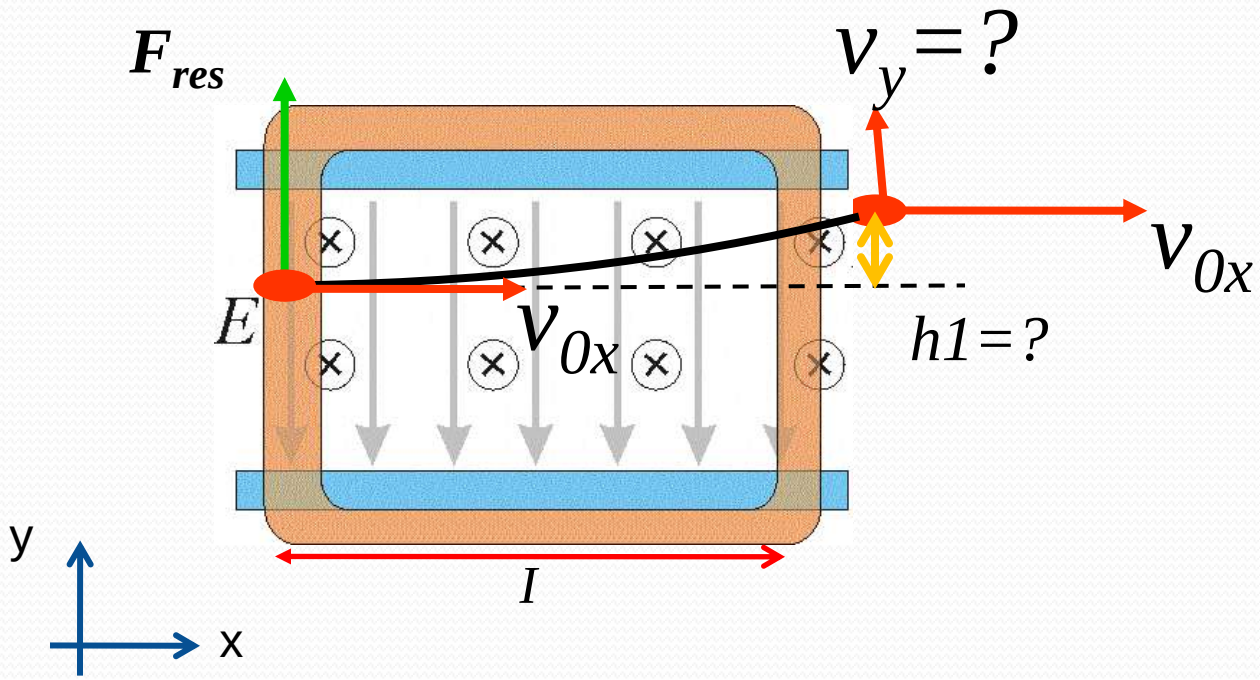
- No primeiro trecho do movimento, a partícula (**um elétron**) é acelerada entre duas placas com alta voltagem (**um capacitor** :-)
- O elétron é emitido, praticamente parado, por um filamento aquecido (botão de intensidade do TRC)



- A energia potencial elétrica é convertida em energia cinética, então qual a velocidade e a aceleração do elétron?

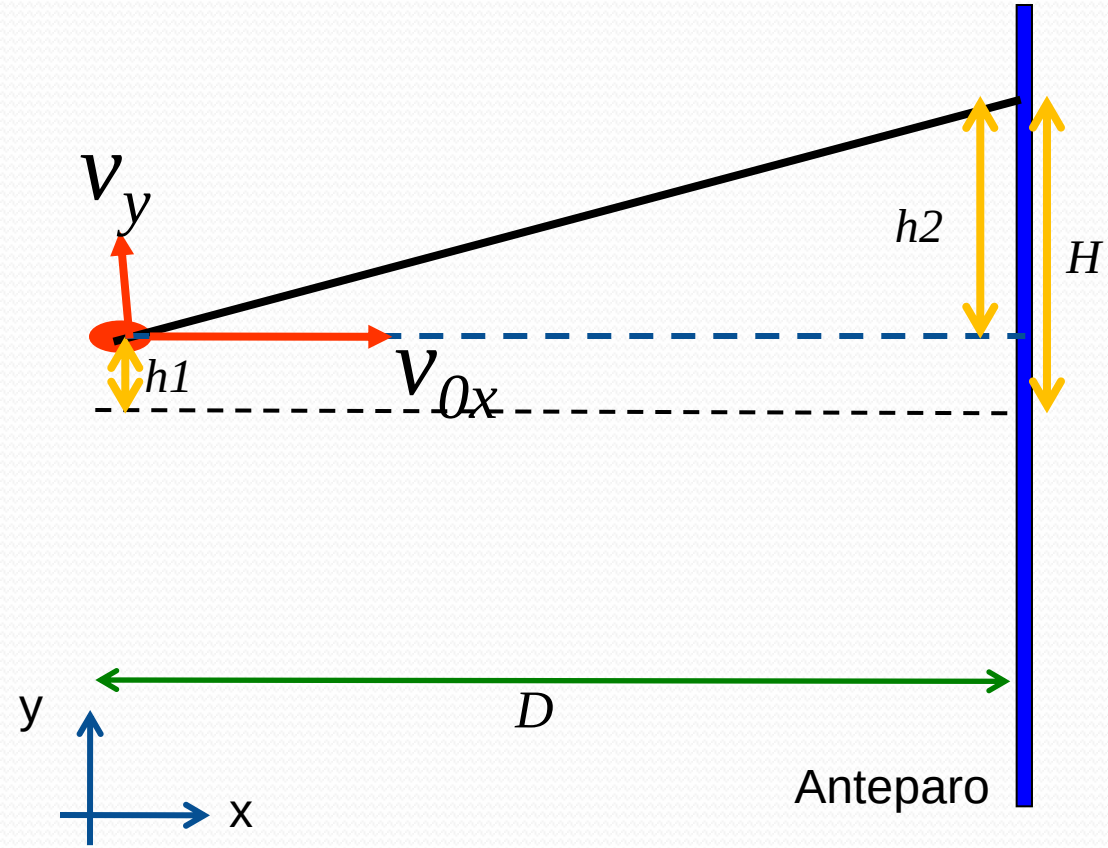
Modelo Simplificado – Traj. 2

- Na região com **E** e **B**, temos um movimento acelerado em **y**, que desvia a partícula, e uniforme em **x**
  - Assumimos que $\mathbf{v_x}$=cte
  - Calculamos $\mathbf{v_y}$ e $\mathbf{h_1}$ na saída



Modelo Simplificado – Traj. 3

- Na última parte não há forças agindo sobre a partícula, então o movimento é uniforme em **x** e **y**
  - Usamos as velocidades $\mathbf{v_y}$ e $\mathbf{v_{ox}}$, e a posição $\mathbf{h_1}$, para encontra **H**



$$(E - v_{ox}B) \propto v_{0x}^2 H$$

$$E / B = v_{reto}$$

- Quanto vale a constante de proporcionalidade?
- Podemos calcular E e B quando a partícula passa direto?

Como selecionar a partícula com a velocidade desejada?

- Sabemos que velocidade deve ter a partícula para que o feixe passe sem desvio: podemos selecionar a velocidade.
  - Como impor essa condição?
- Quais são os parâmetros que podemos controlar?
  - potencial aplicado às placas
  - potencial de aceleração do feixe
  - corrente nas bobinas
- Como a deflexão do feixe depende deles?

Como descobrir?

- Para saber como a velocidade de uma partícula de massa **m** e carga **q** depende do potencial aplicado às placas e da diferença de potencial total a que ela está submetida, temos que fazer duas coisas:
  - Observar e medir ⇐ Semanas 1 e 3
  - Construir um modelo para a trajetória da partícula dentro do TRC para ver como a velocidade depende das grandezas acima
  - Testar esse modelo para ver se é válido ⇐ Semanas 2 e 4

3. Tarefas mínimas da semana

Para entregar, Parte 1

- Ligue o **TRC** e focalize o feixe na tela
  - Aplique uma tensão aceleradora **Vac=700V**
  - Mexa no controles:
    - Foco
    - Intensidade
    - Tensão aceleradora (não passar de **1000V**)
    - Observe o que acontece com o feixe em cada caso e comente.
- Gire o **TRC** na mesa e observe o que acontece com o feixe
  - Procure fazer com que o feixe esteja focalizado e pelo menos sobre o eixo horizontal
- Nesta condição, aplique **Vac=700V**, e defina a origem neste ponto e deixe o TRC fixo nesta posição da bancada (fotografe a tela do TRC)

Parte 2, o campo elétrico

- Aplique tensão nas placas defletoras verticais (fonte externa **DC** de **30V**):
  - Mexa na tensão (ie na intensidade do campo elétrico) e verifique o que acontece com o feixe. Comente.
  - Anote a tensão máxima que o feixe ainda continua visível na tela do **TRC**.
- A seguir desligue as placas e observe se o feixe continua focalizado e na origem.

Parte 3, deslocamento x Vp

- Medir **h** em função de V_P para U_{ac} fixo (=v_{0x} fixo).
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples:

$$h = AV_P^{\alpha}$$

- Fazer um gráfico de V_p em função de **h** para U_{ac} fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada
  - Se for obtenha o expoente alfa. Compare com os valores obtidos por seus colegas
  - **Importante**: a grandeza fixa deve ser escolhida de modo a permitir o maior número possível de pontos medidos.

Parte 4, deslocamento x Vac

- Medir **h** em função de U_{ac} para V_p fixo.
- Qual é a dependência funcional? Comece testando uma possibilidade simples: $h = BU_{ac}^{\beta}$
- Fazer um gráfico de **h** em função de U_{ac} para V_p fixo que permita descobrir se a dependência funcional acima é adequada
  - Se for obtenha o expoente beta. Compare com os valores obtidos por seus colegas
  - **Importante**: a grandeza fixa deve ser escolhida de modo a permitir o maior número possível de pontos medidos.

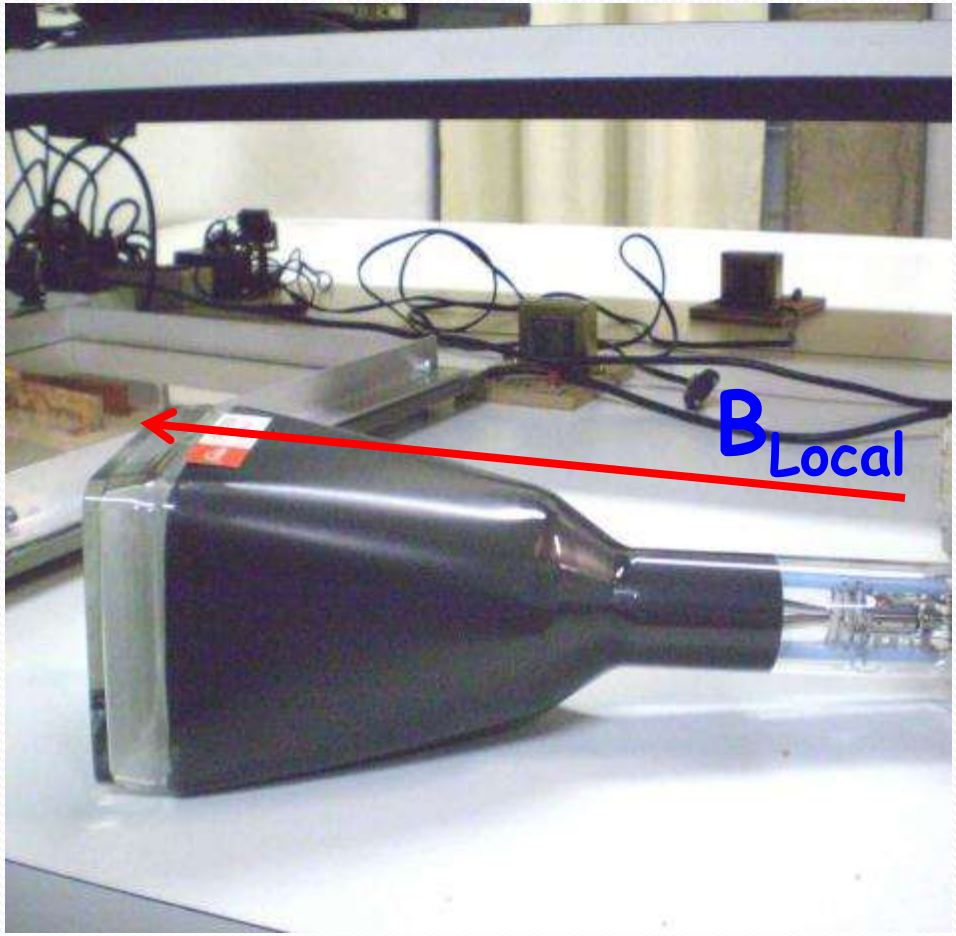
4. Dicas

Para pensar:

- Quantos pontos medir em cada caso?
  - O maior número possível, levando em conta os erros experimentais.
- O zero está no centro?
  - Medir para cima, para baixo ou em ambas as direções em relação à origem? Precisa?
- Determinação dos erros experimentais:
  - Qual o erro da medida da posição?
  - O tamanho da “mancha” na tela deve ser levado em conta?
  - E se a mancha duplica?
  - Há erro sistemático? Ele pode se “descontado”?

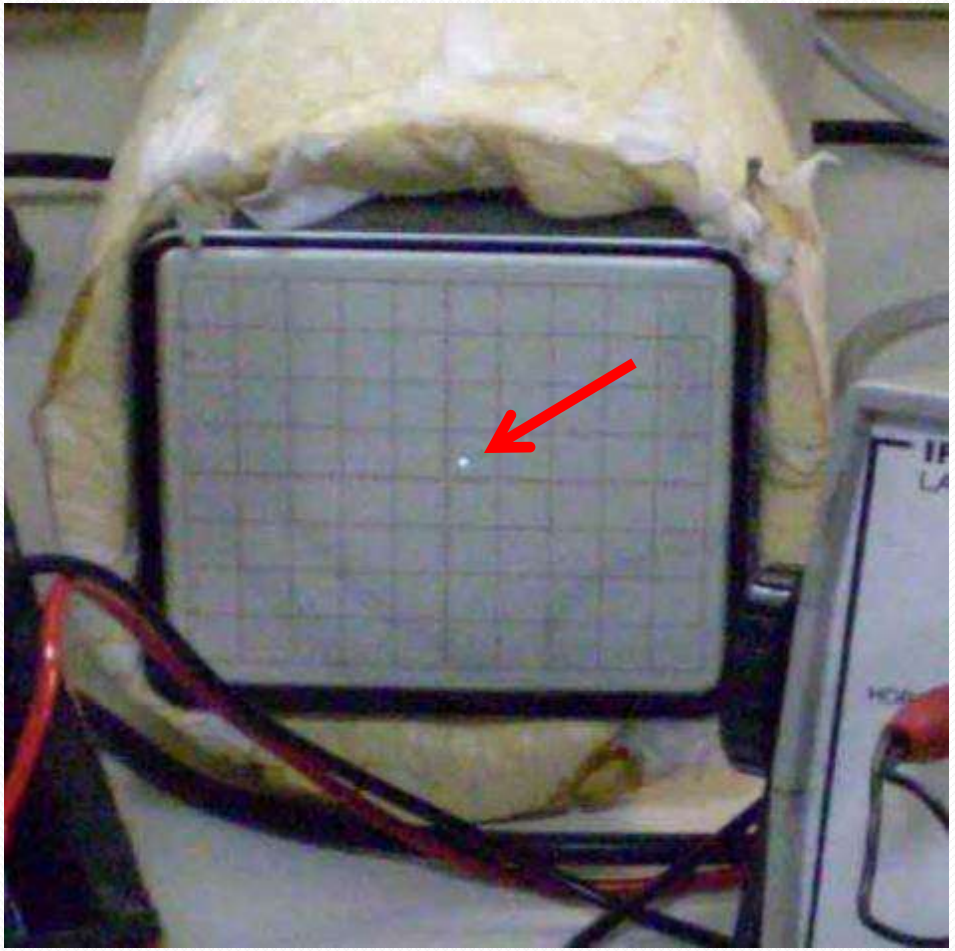
Campo magnético local

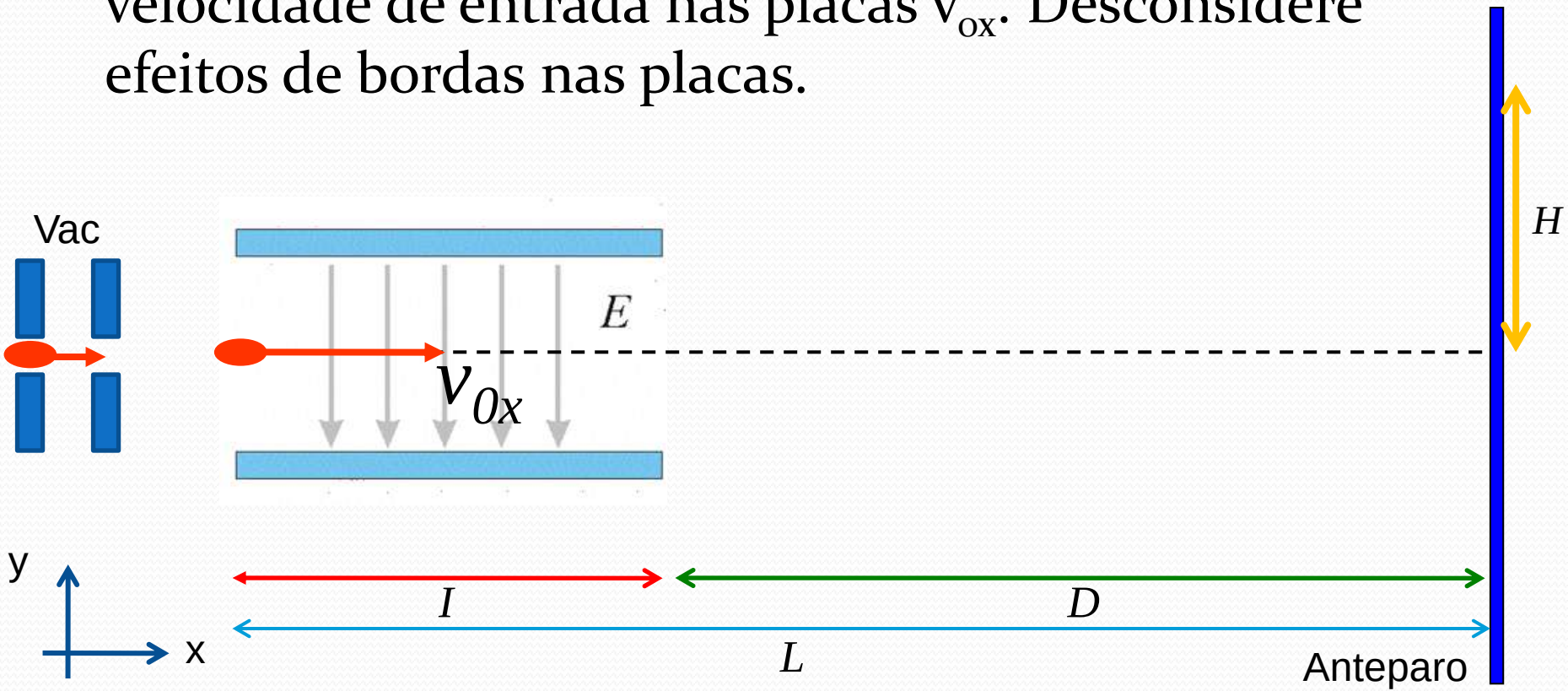
- Partículas carregadas sofrem forças quando atravessam uma região de campo magnético.
- A sala está imersa no campo magnético local portanto o feixe pode ser desviado pela força magnética desse campo, concorda?
- O que fazer?



Dicas para o procedimento

- Ligar o **TRC** com **ZERO** volts entre as placas
  - Focalizar bem o feixe para definir a origem
    - é mais fácil medir o deslocamento vertical se essa origem estiver sobre o eixo horizontal.
  - Todas medidas devem ser feitas em relação a este ponto.



Pergunta da semana

- Faça um modelo físico para o efeito do campo elétrico (E), que descreva a altura de impacto (H) dos elétrons no anteparo, supondo as dimensões abaixo, que as placas defletoras sejam paralelas e os elétrons têm uma velocidade de entrada nas placas v_{ox}. Desconsidere efeitos de bordas nas placas.