

Seletor de Velocidades

Notas de aula: www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

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

Profa. Eloisa Szanto
eloisa@dfn.if.usp.br
Ramal: 7111
Pelletron

Prof. Henrique
Barbosa
hbarbosa@if.usp.br
Ramal: 6647
Basílio, sala 100

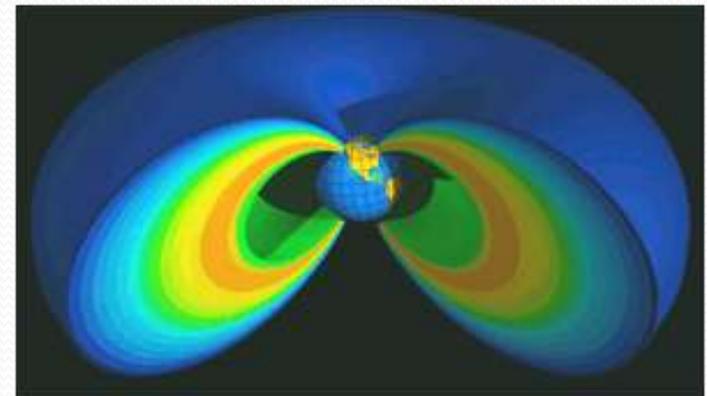
Prof. Nelson Carlin
nelson.carlin@dfn.if.usp.br
Ramal: 6820
Pelletron

Prof. Paulo Artaxo
artaxo@if.usp.br
Ramal: 7016
Basílio, sala 101

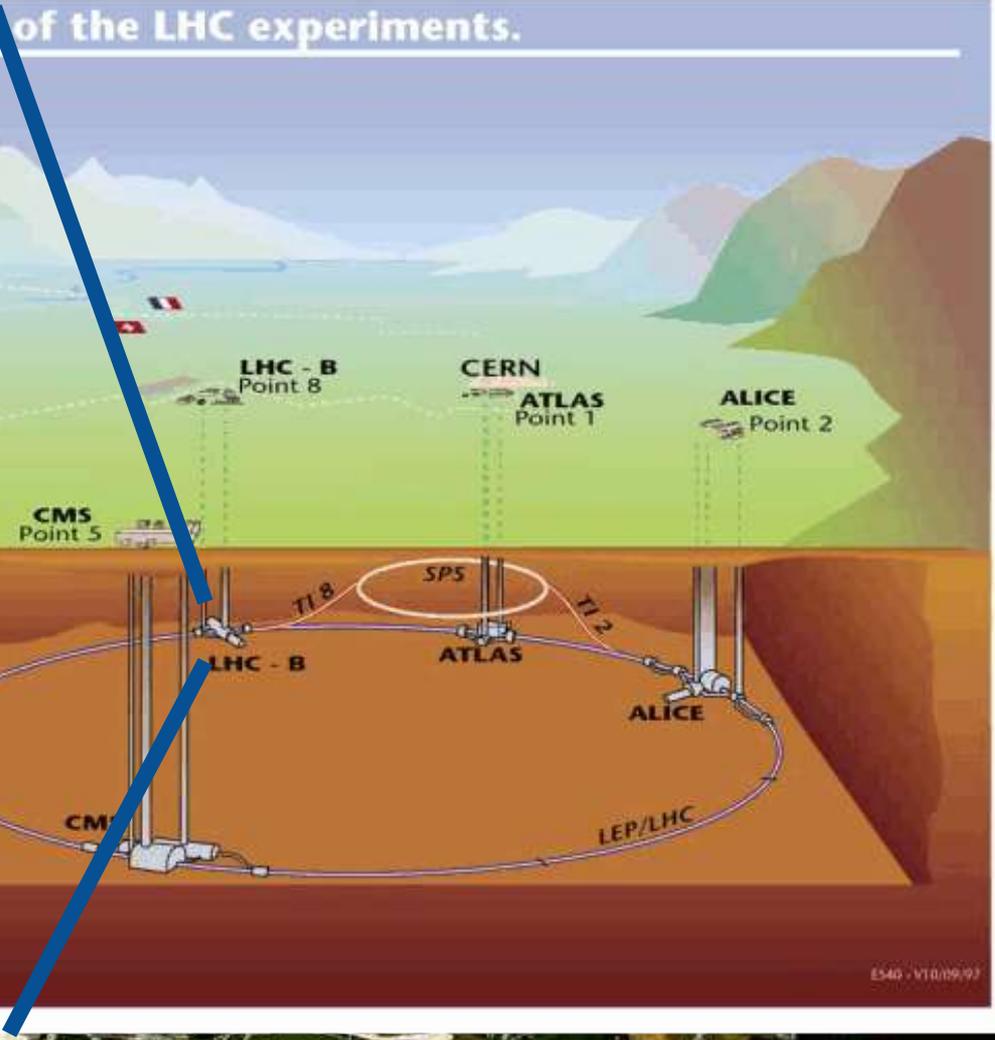
Física Exp. 3
Aula 1, Experiência 2
Movimento em campo Elétrico

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

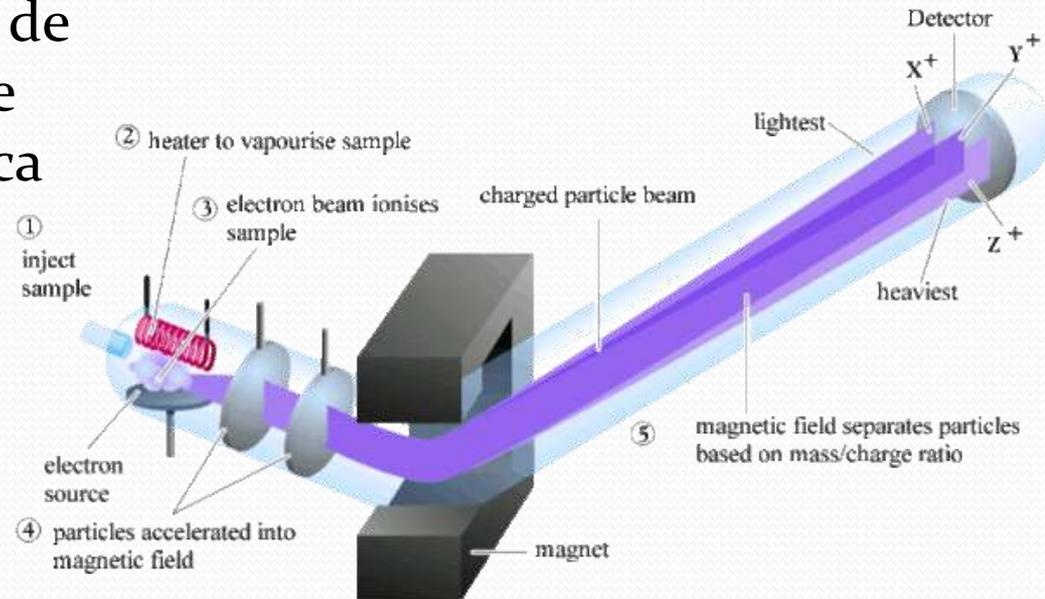
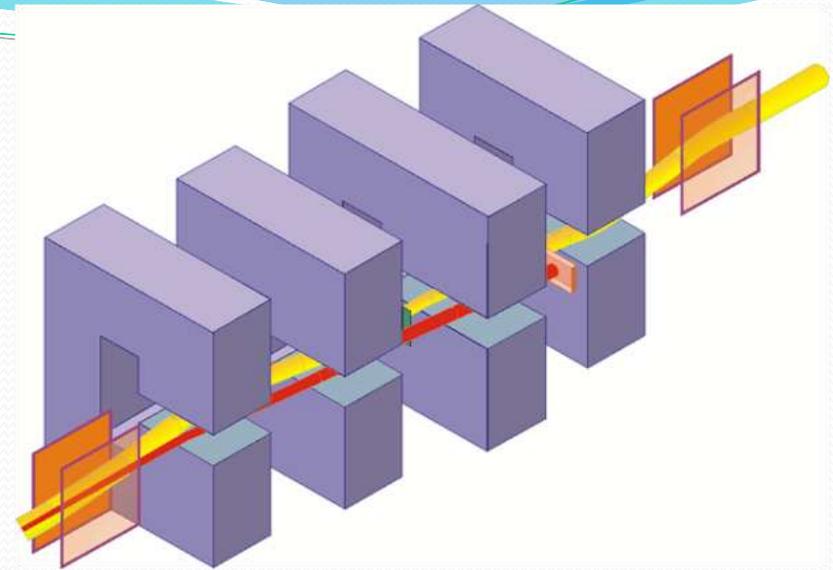
... Um acelerador de partículas “simples”

- 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

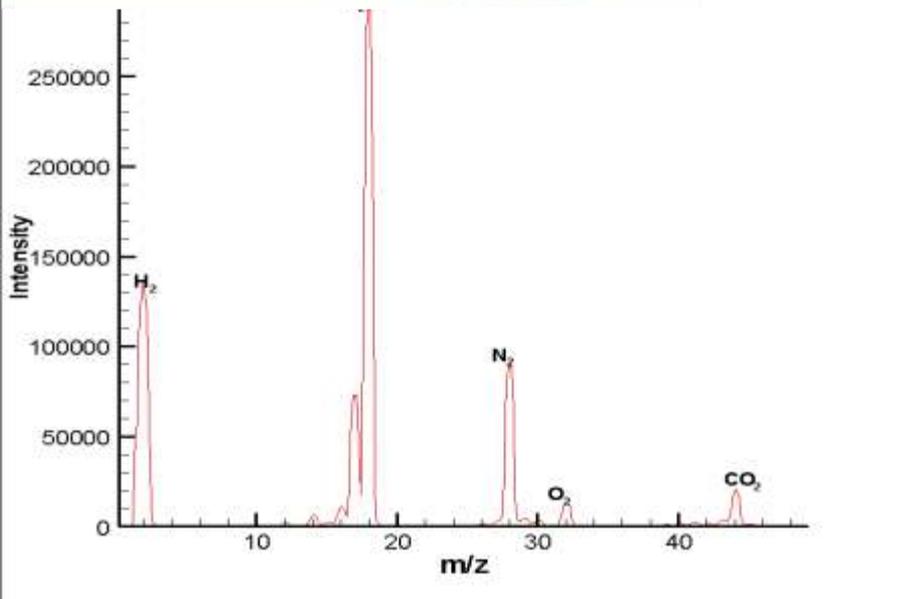
- Um **seletor de velocidades** é um instrumento importante particularmente em física nuclear, tanto de alta como de baixa energia.
- Faz parte dos espectrômetros de massa: determina com grande precisão a composição química pela razão massa-carga dos componentes da amostra.



Espectrômetros de Massa



Accelerator mass spectrometer at Lawrence Livermore National Laboratory

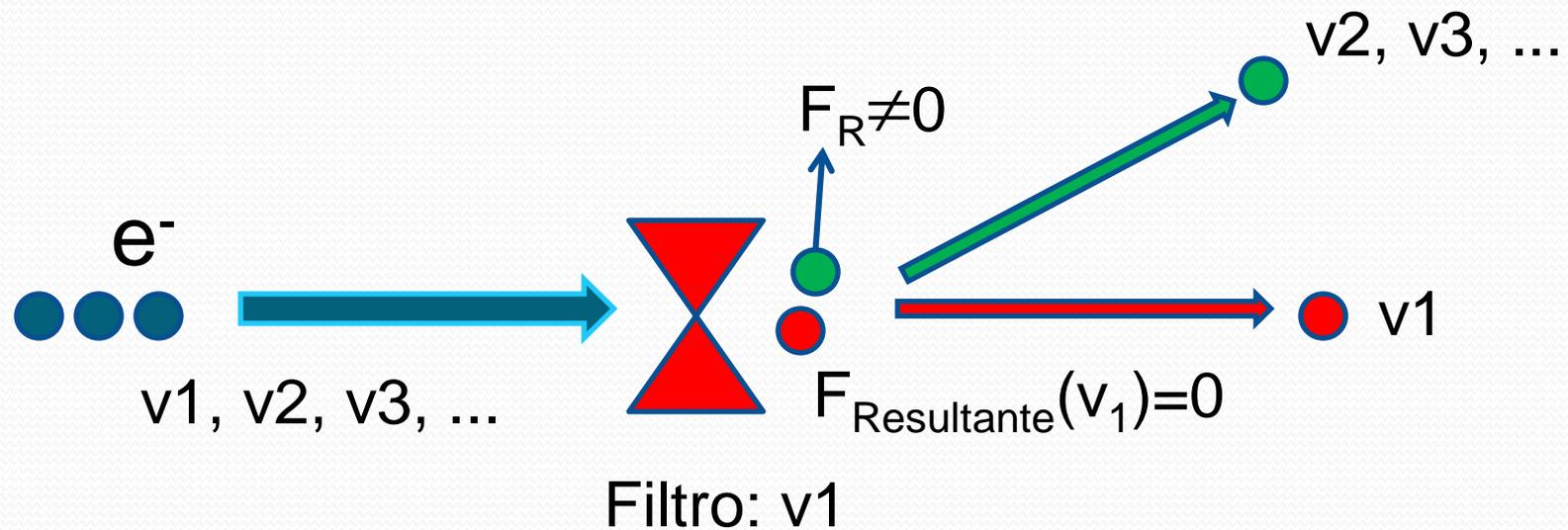


Seletor de velocidades: como funciona

- 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

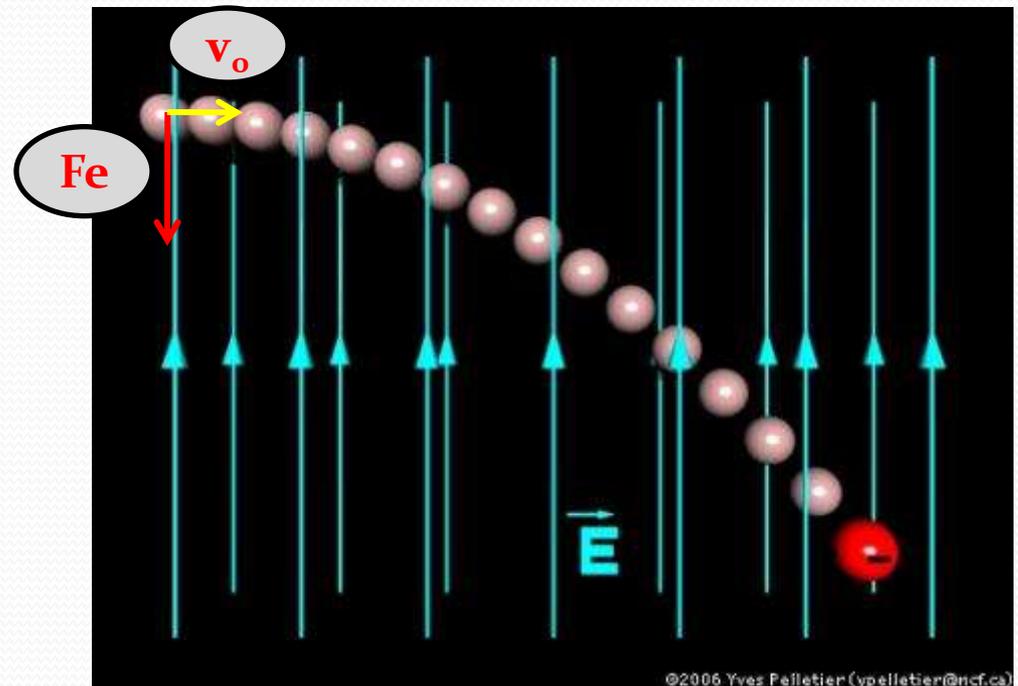


Campo elétrico

- Quando um feixe de partículas carregadas de carga q , atravessa uma região onde existe um campo elétrico, \mathbf{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.



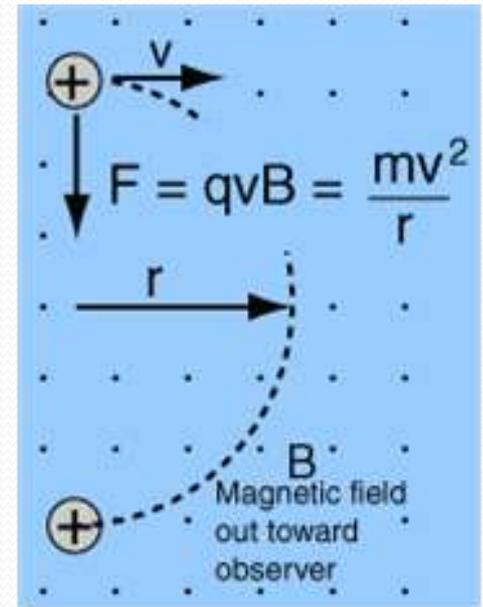
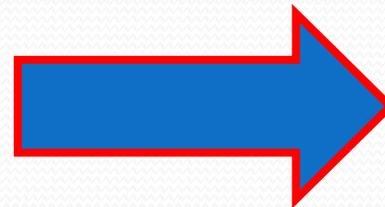
Campo magnético

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

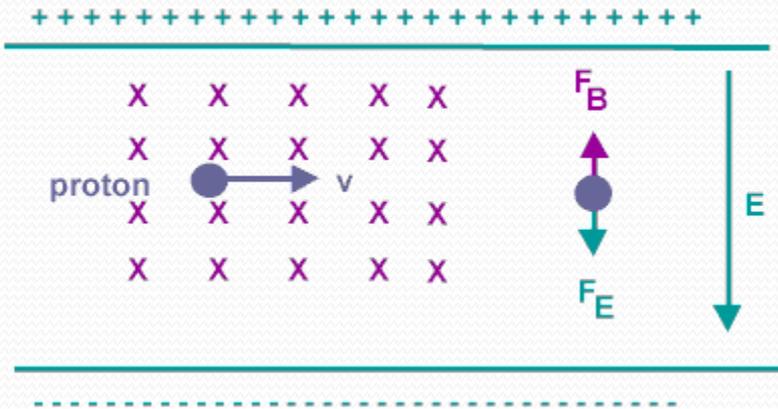
Vai aparecer uma força magnética, \mathbf{F}_m , proporcional à velocidade:

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

Se $B \perp v$

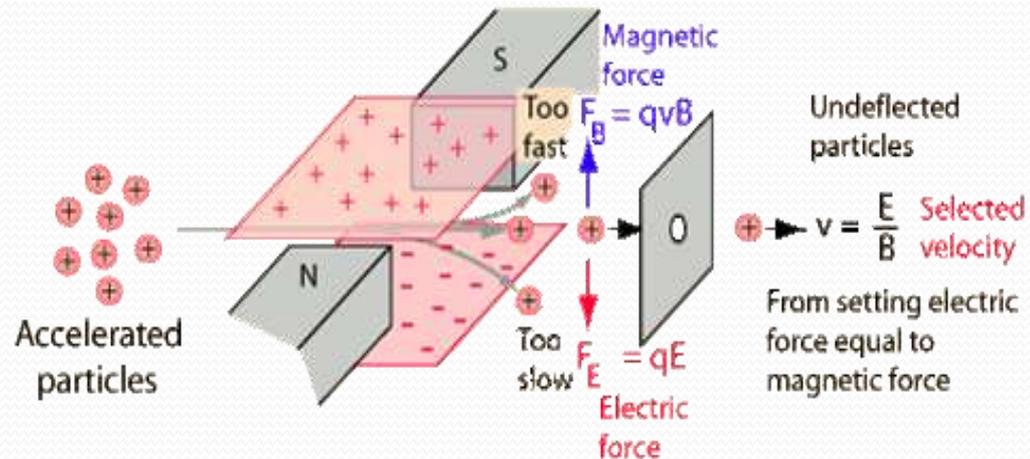


Funcionamento do Seletor



- 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 F_E e 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.

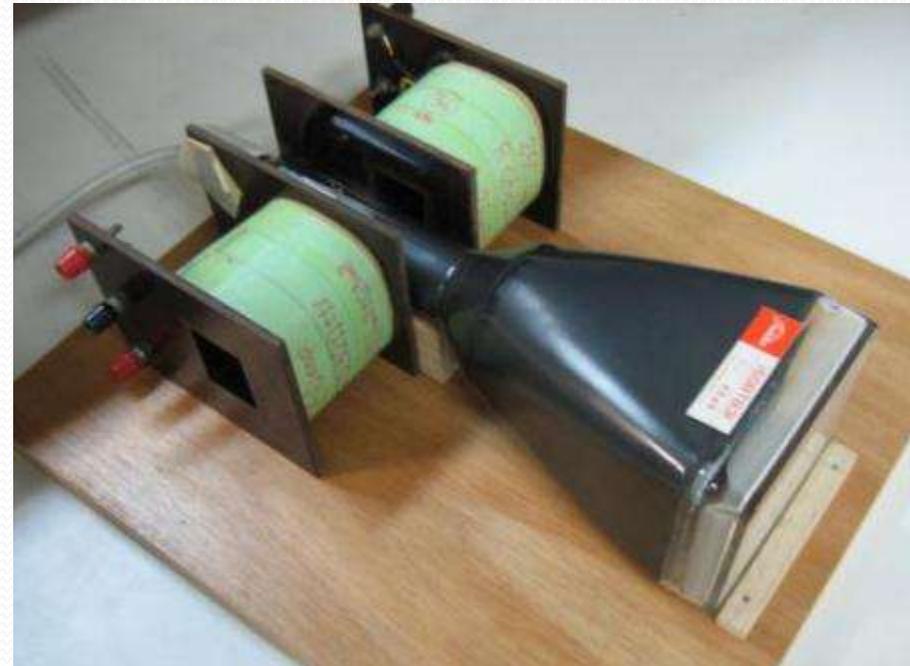
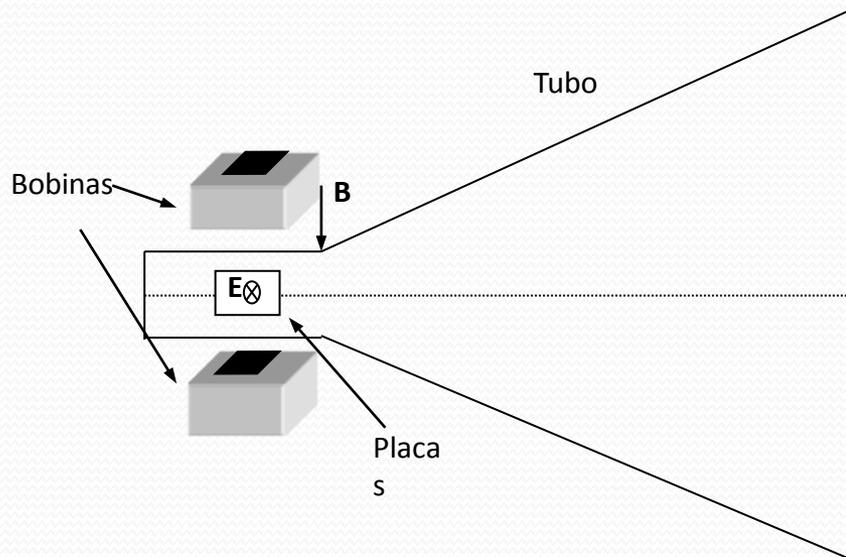


O tubo de raios catódicos

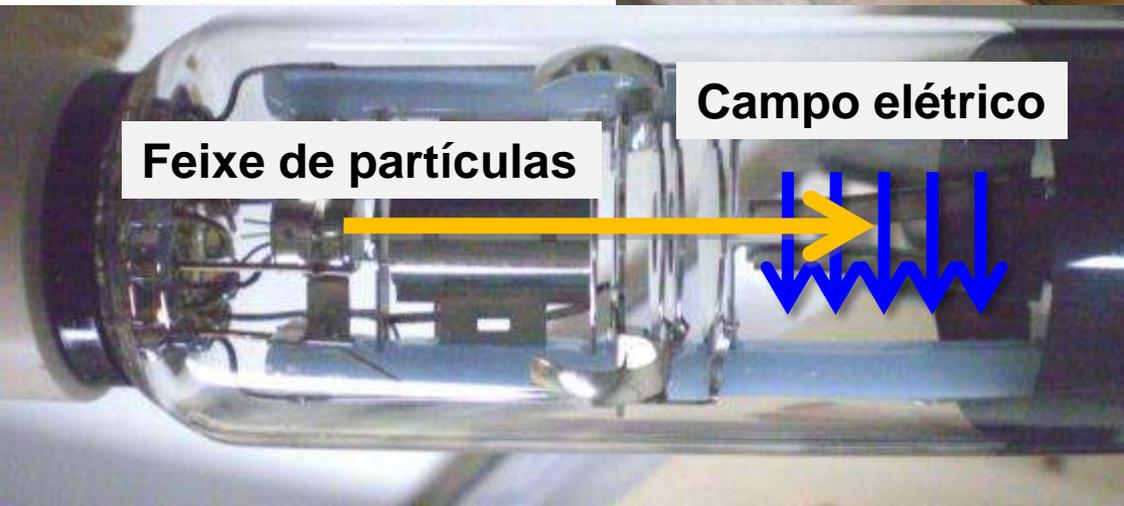
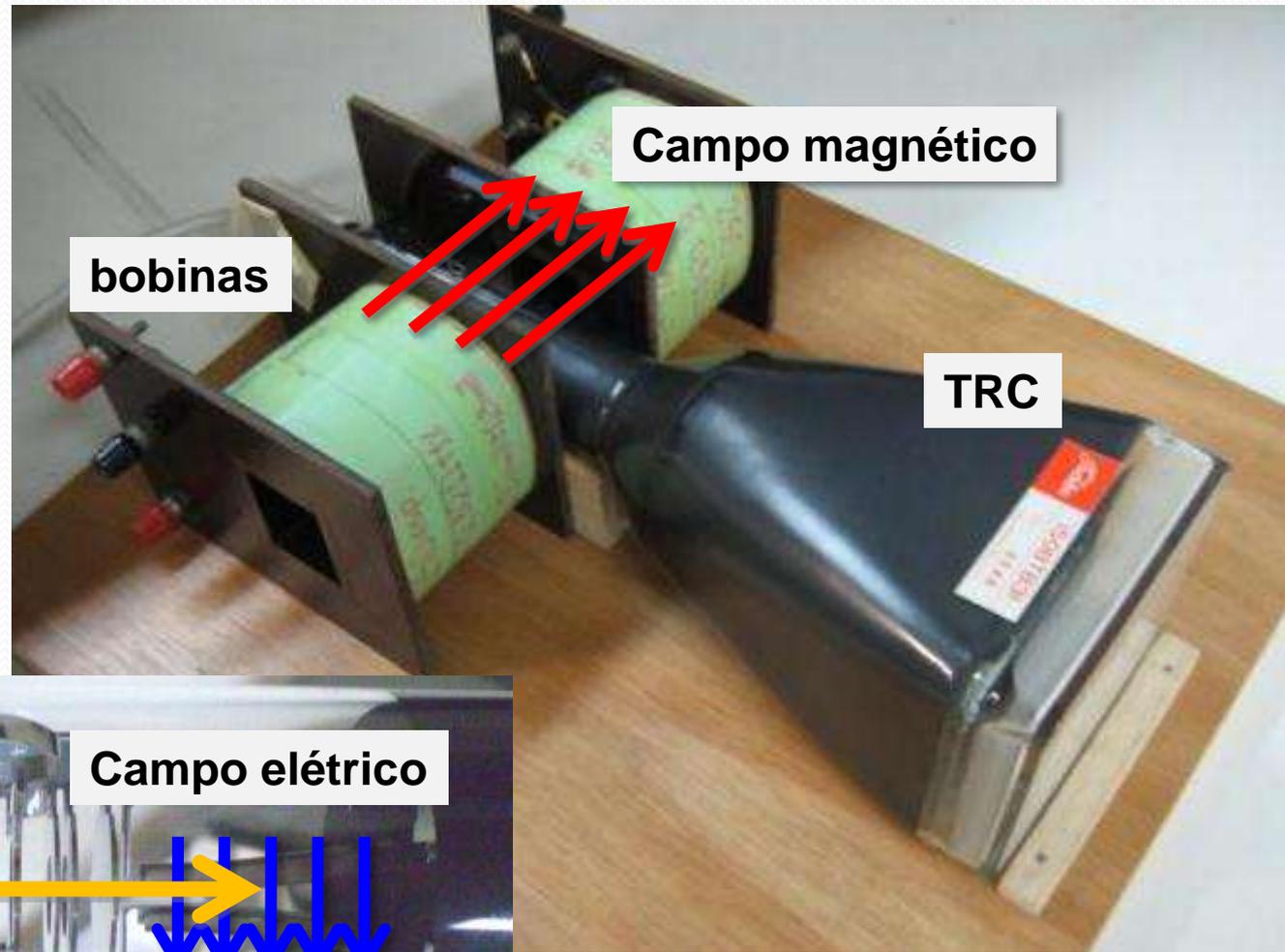
- ❑ **Gerador do feixe:** um filamento que, ao ser aquecido, libera elétrons. O processo que ocorre no filamento é a emissão termiônica.
- ❑ **Acelerador do feixe:** dois dispositivos aceleradores, o **anodo 1** e o **anodo 2**, que aceleram os elétrons em direção a uma tela fosforescente, gerando aí 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
 - Movimento em campo magnético
- Semana 3
 - Simular o campo elétrico e mapear o campo elétrico
- Semana 4
 - Calibrar o seletor de velocidades
- Semana 5
 - Obter a resolução do seletor de velocidades

A proposta para hoje

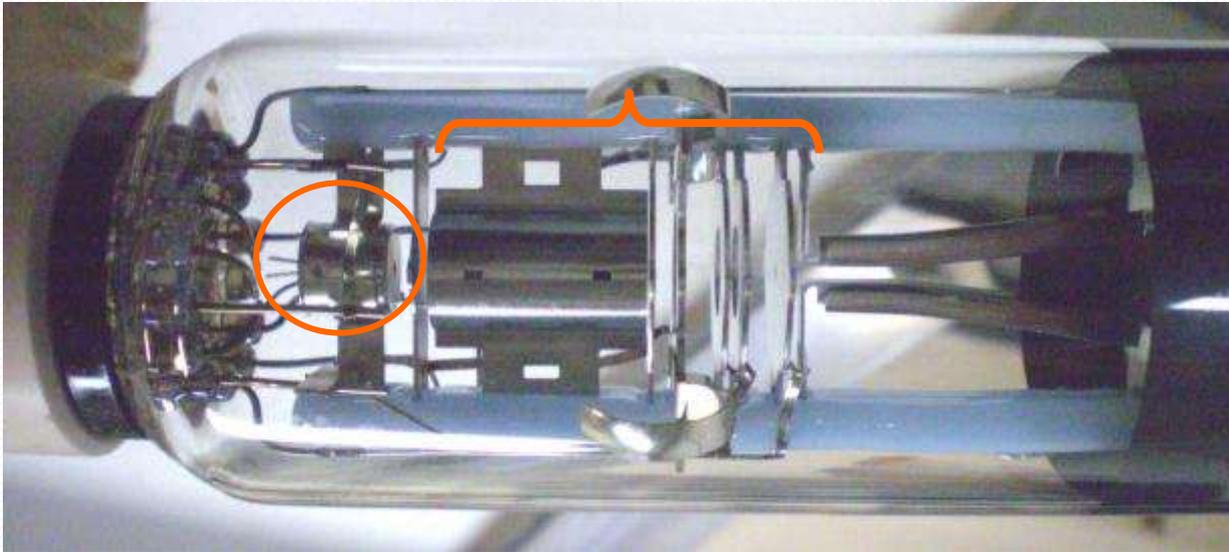
1. Entender como funciona o tubo de raios catódicos
2. Vamos fazer um modelo simples desse funcionamento
3. Medir como o deslocamento dos elétrons na tela depende:
 1. da energia dos elétrons e
 2. da tensão nas placas desviadoras



1. Funcionamento do TRC

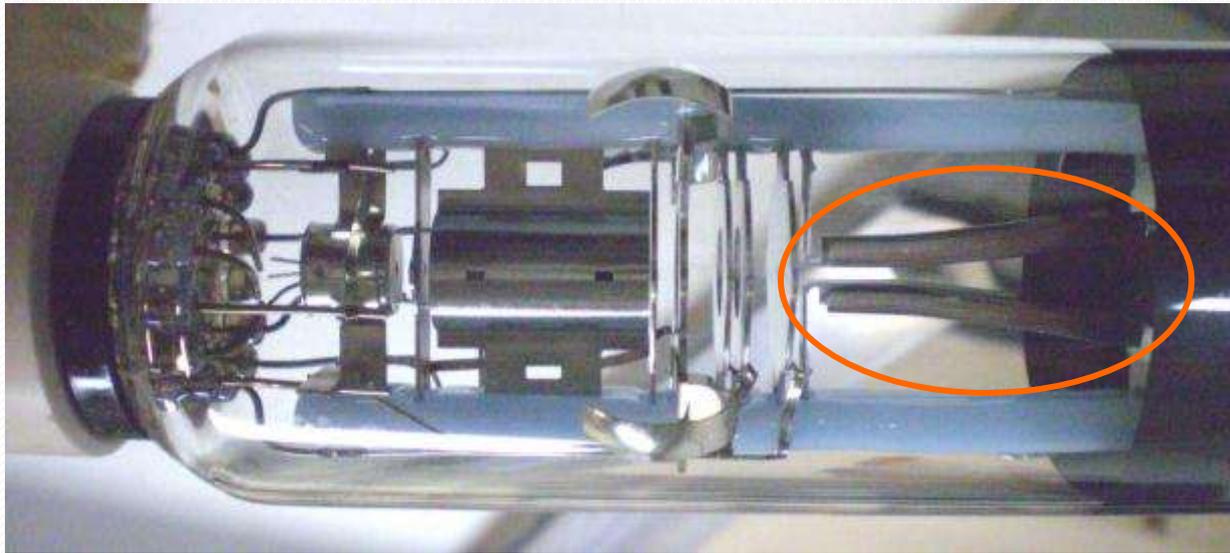
Tubo de Raios Catódicos

- 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

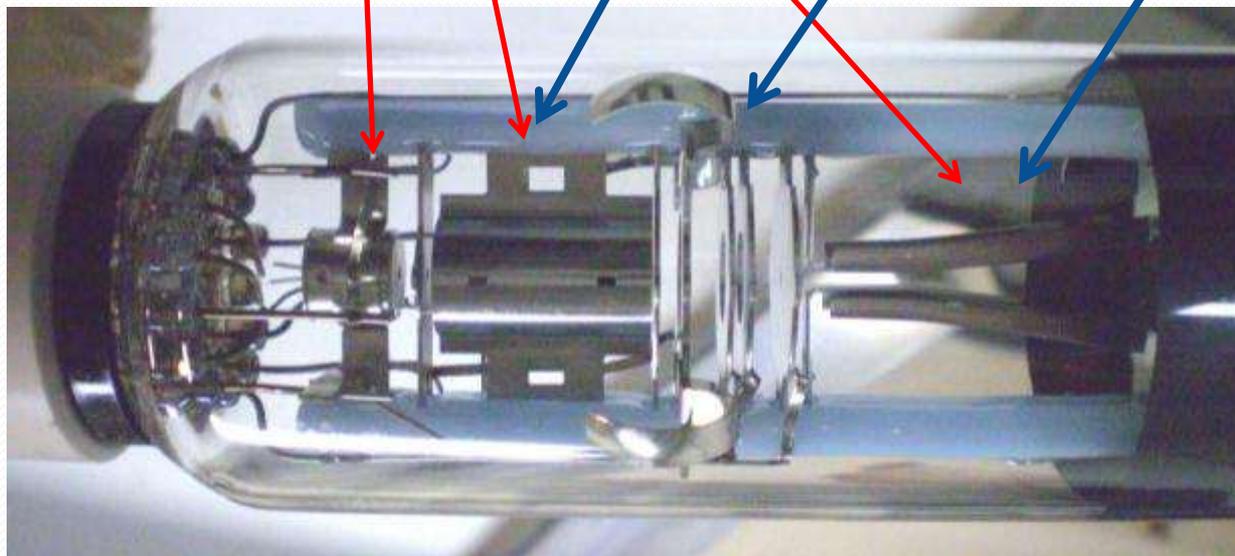
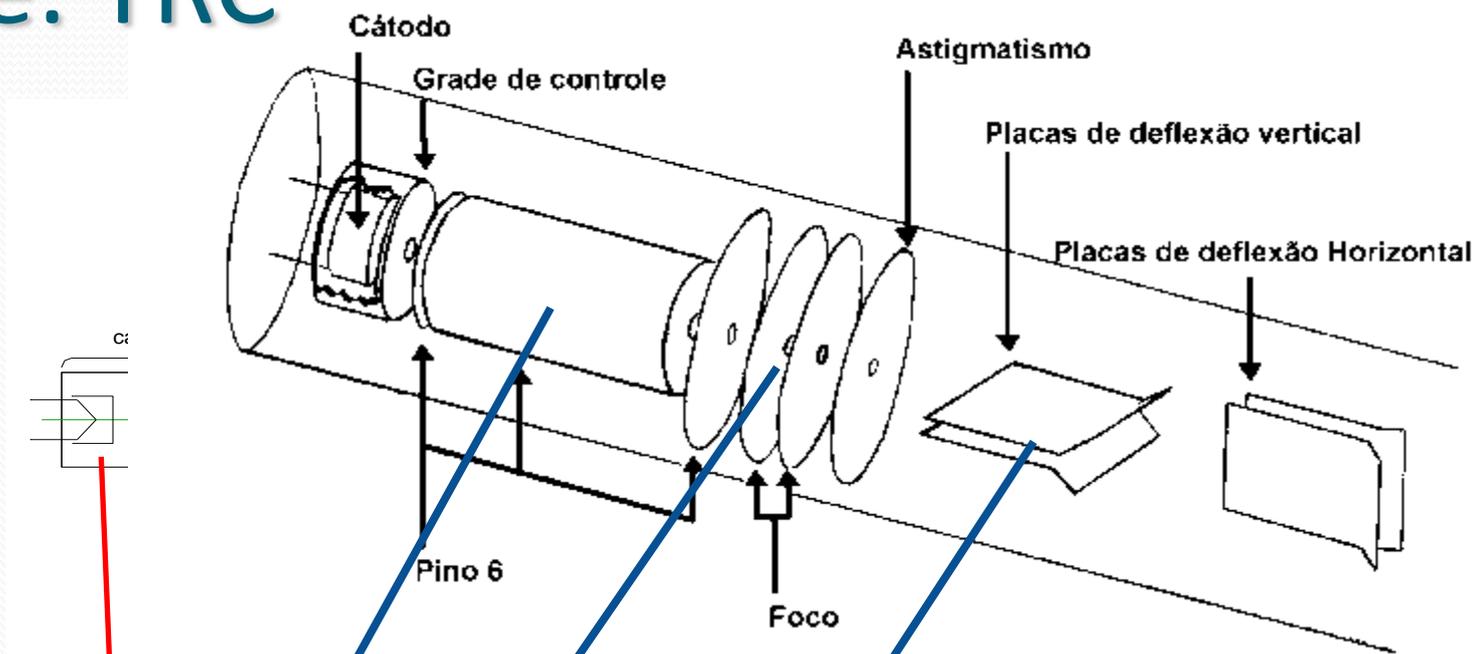


O campo elétrico:

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

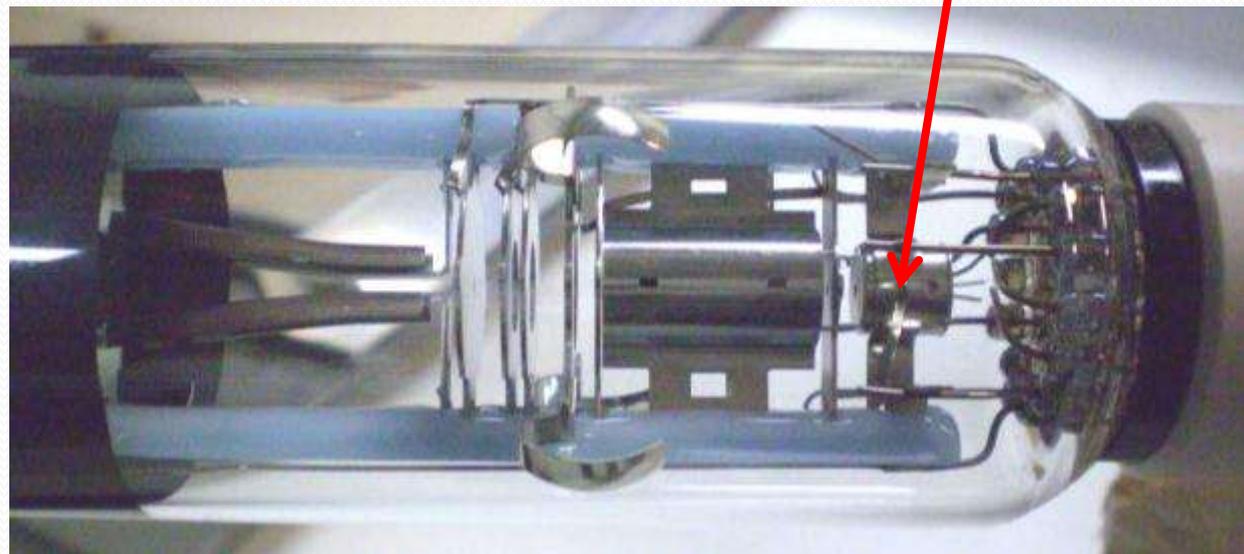
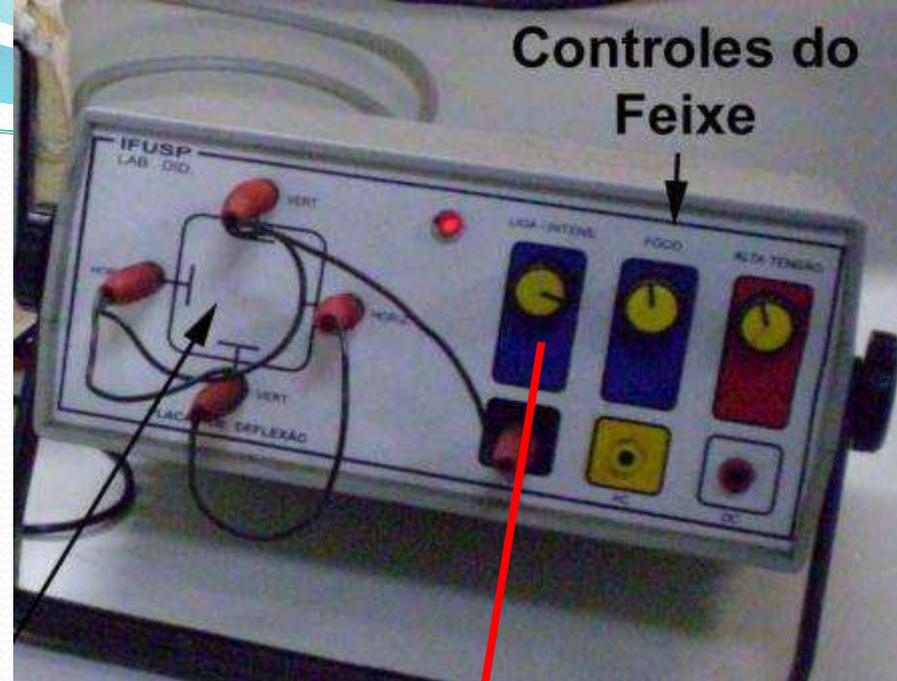


O feixe: TRC



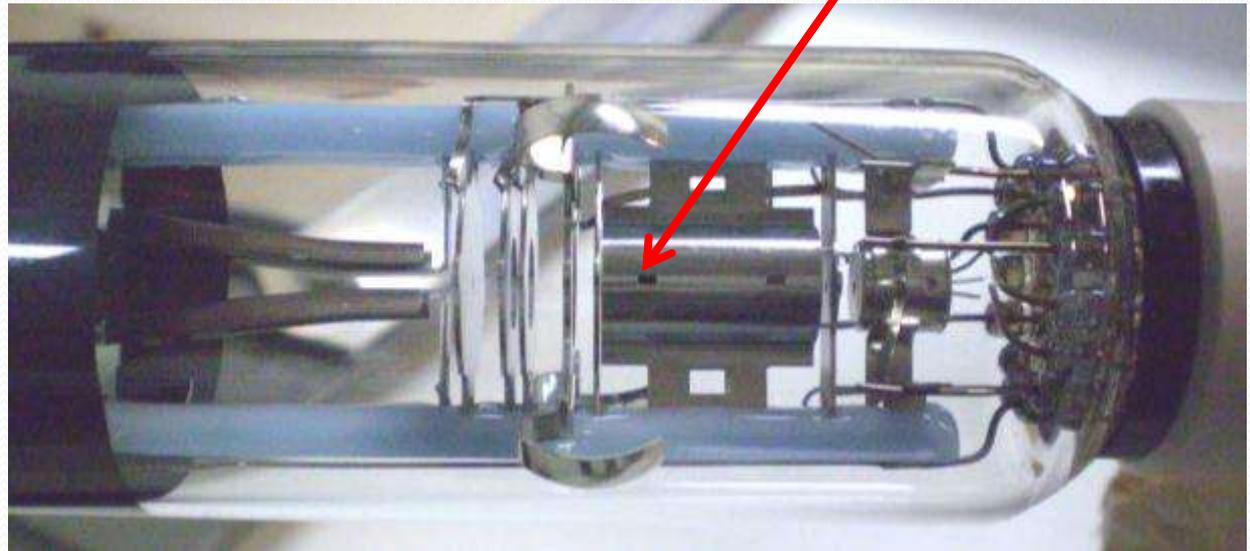
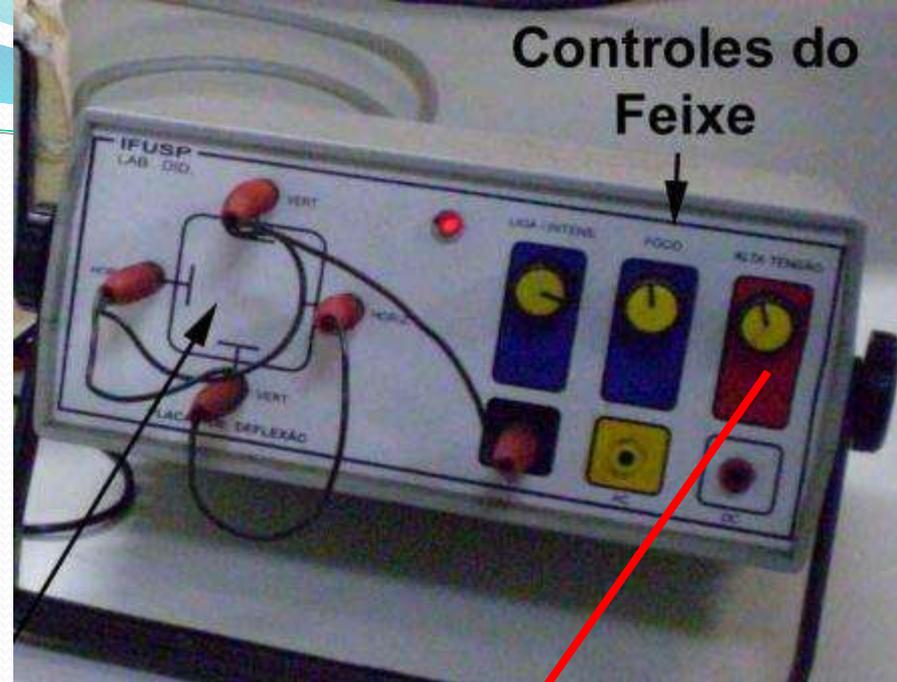
O TRC

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



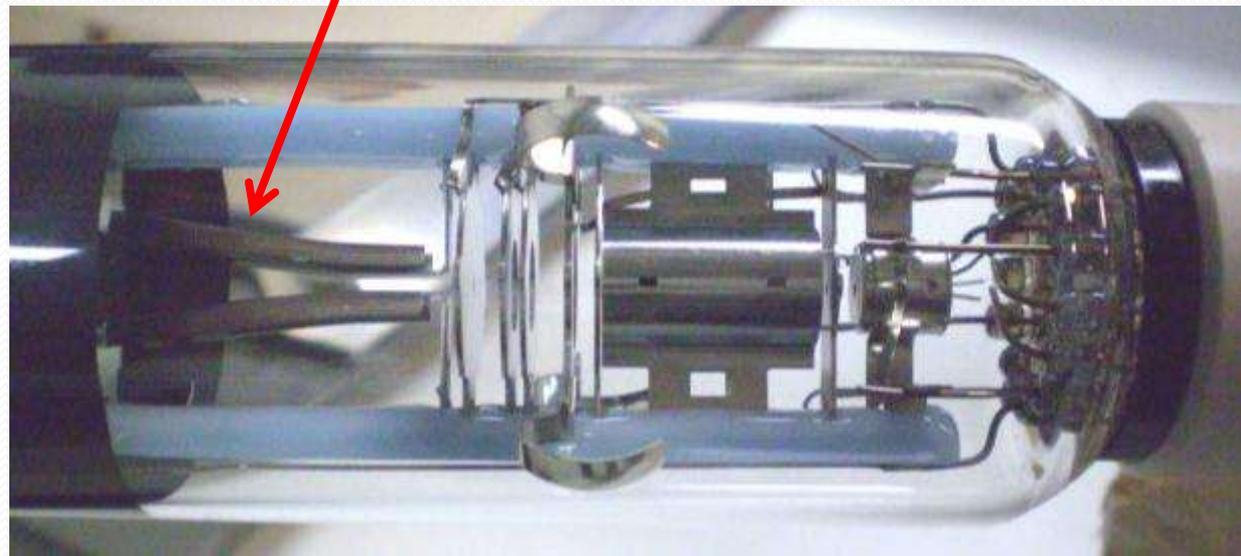
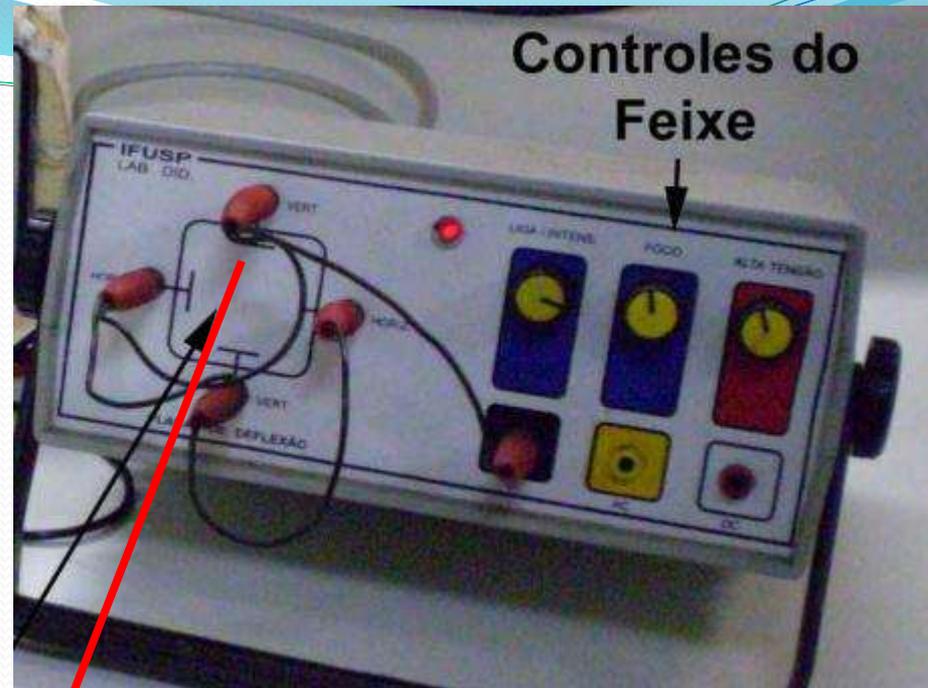
O TRC

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



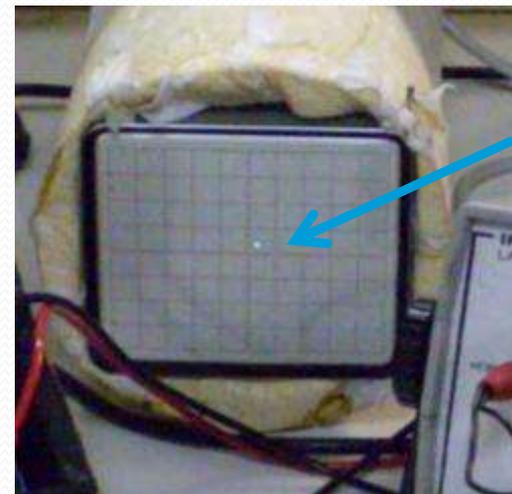
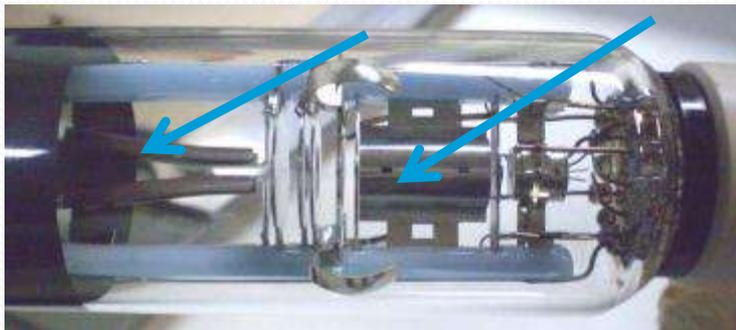
O TRC

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



Deflexão H do feixe

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



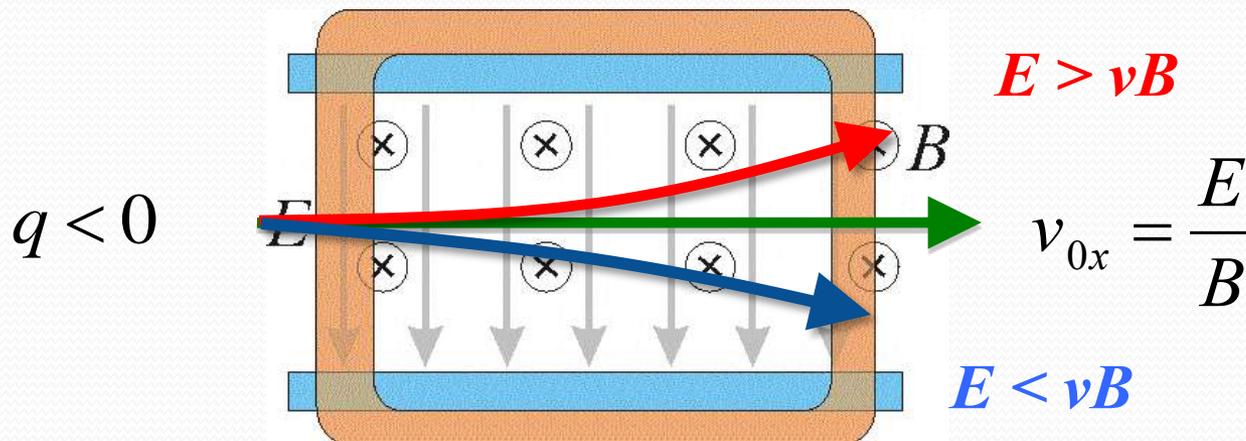


2. Modelo Simplificado

Modelo Simplificado

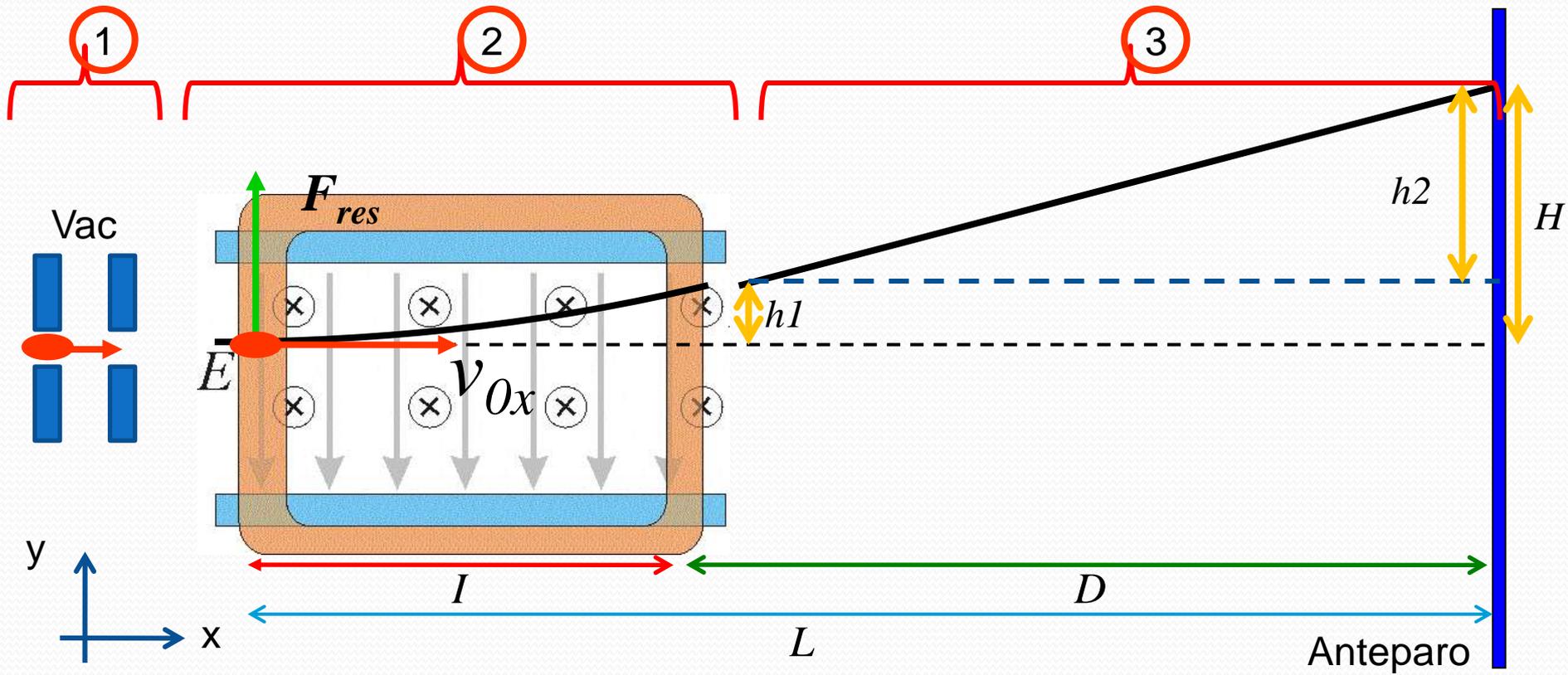
- As forças elétrica e magnética são iguais e opostas no caso da partícula que não sofre deslocamento, ($\mathbf{H}=\mathbf{0}$), isso leva à seguinte expressão para a velocidade dessa partícula:

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



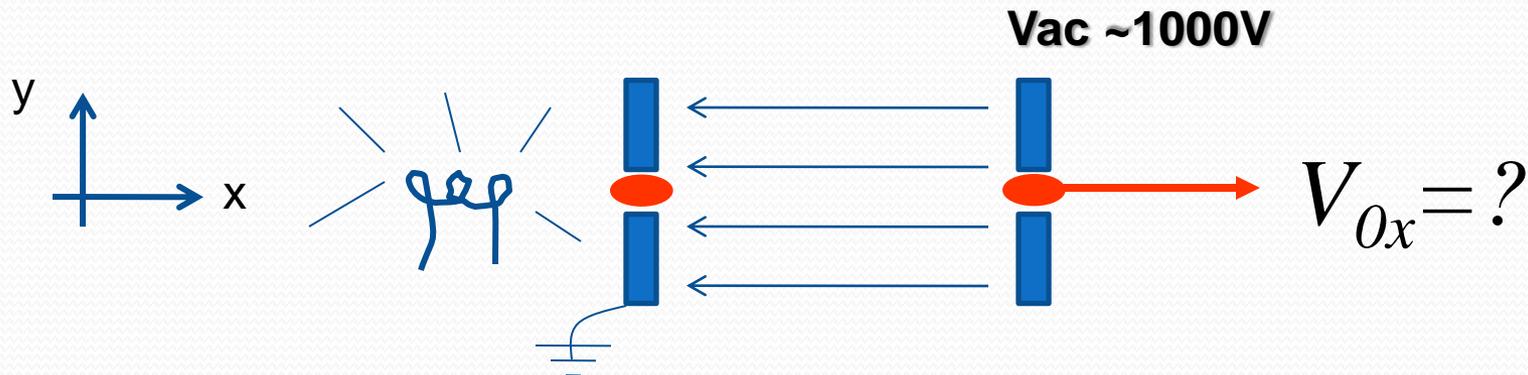
Modelo Simplificado

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



Modelo Simplificado – Traj. 1

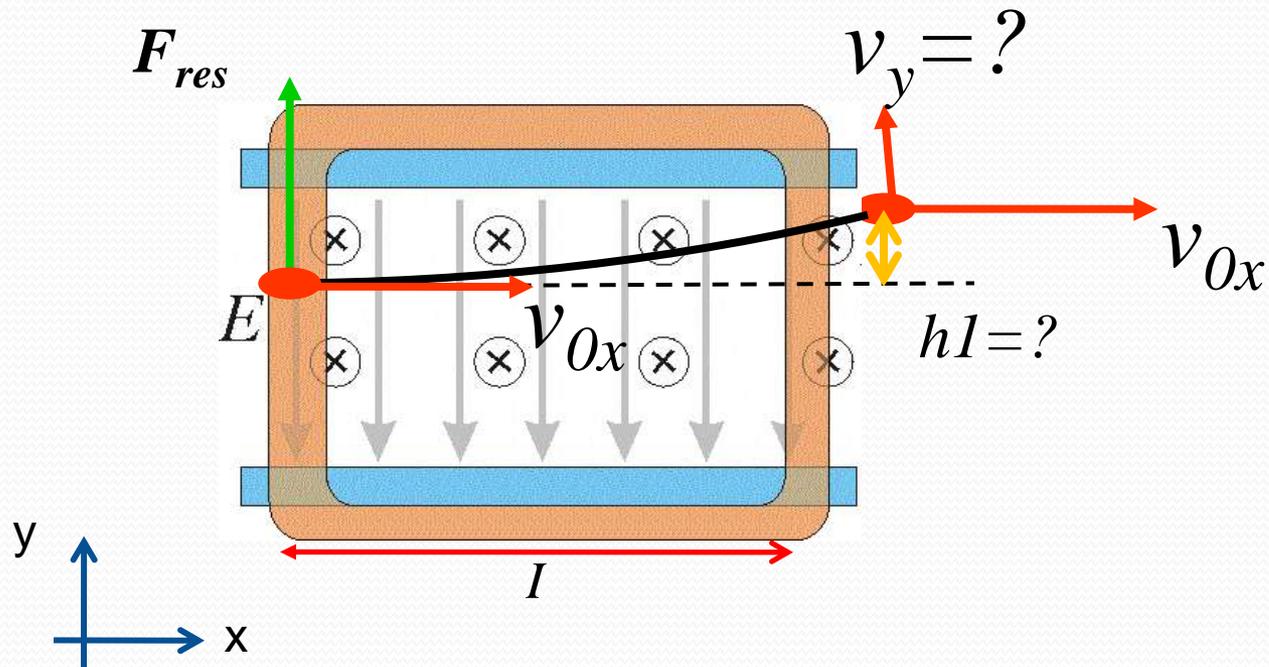
- No primeiro trecho do movimento, a partícula (**um elétron**) é acelerada entre duas placas com alta voltagem (**um capacitor :-)**
- O elétron é emitido, praticamente parado, por um filamento aquecido (botão de intensidade do TRC)



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

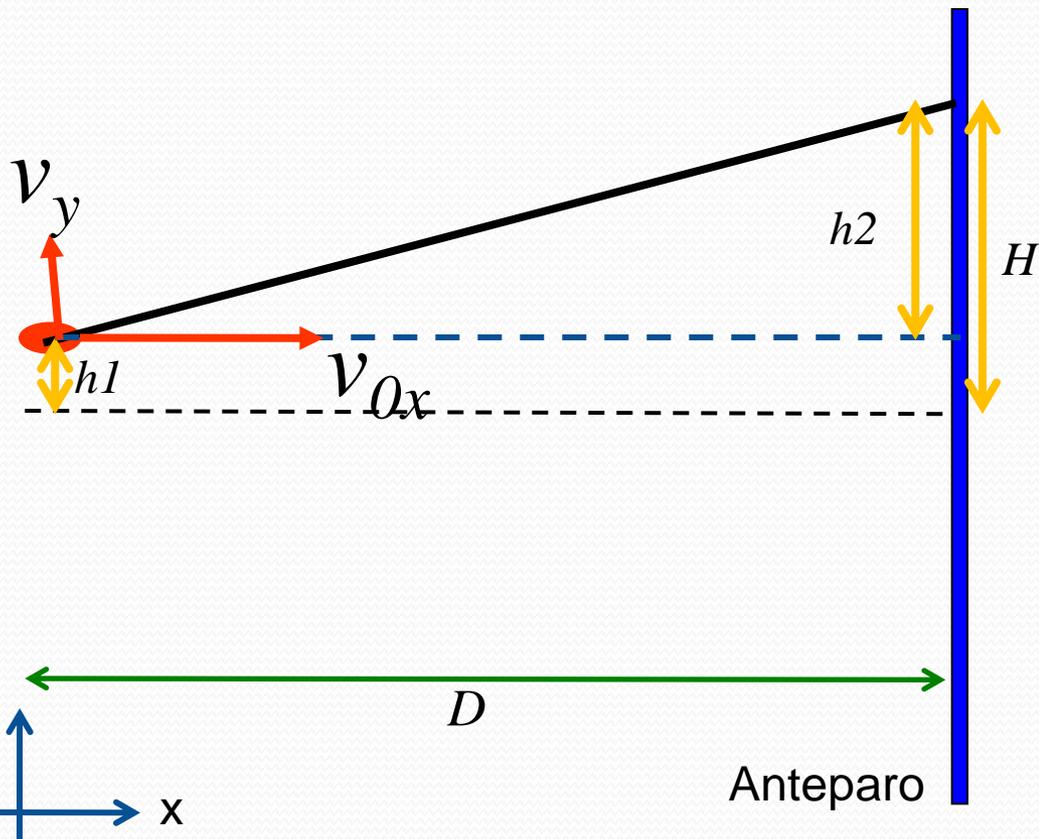
Modelo Simplificado – Traj. 2

- Na região com \mathbf{E} e \mathbf{B} , temos um movimento acelerado em y , que desvia a partícula, e uniforme em x
 - Assumimos que $v_x = \text{cte}$
 - Calculamos v_y e 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 v_y e v_{0x} , e a posição h_1 , para encontrar H



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

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

- 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 2

- 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

Semana 3



3. Tarefas mínimas da semana

Para entregar, Parte 1

- Ligue o **TRC** e focalize o feixe na tela
 - Aplique uma tensão aceleradora **$V_{ac}=700V$**
 - 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 **$V_{ac}=700V$** , 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 V_p

- 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

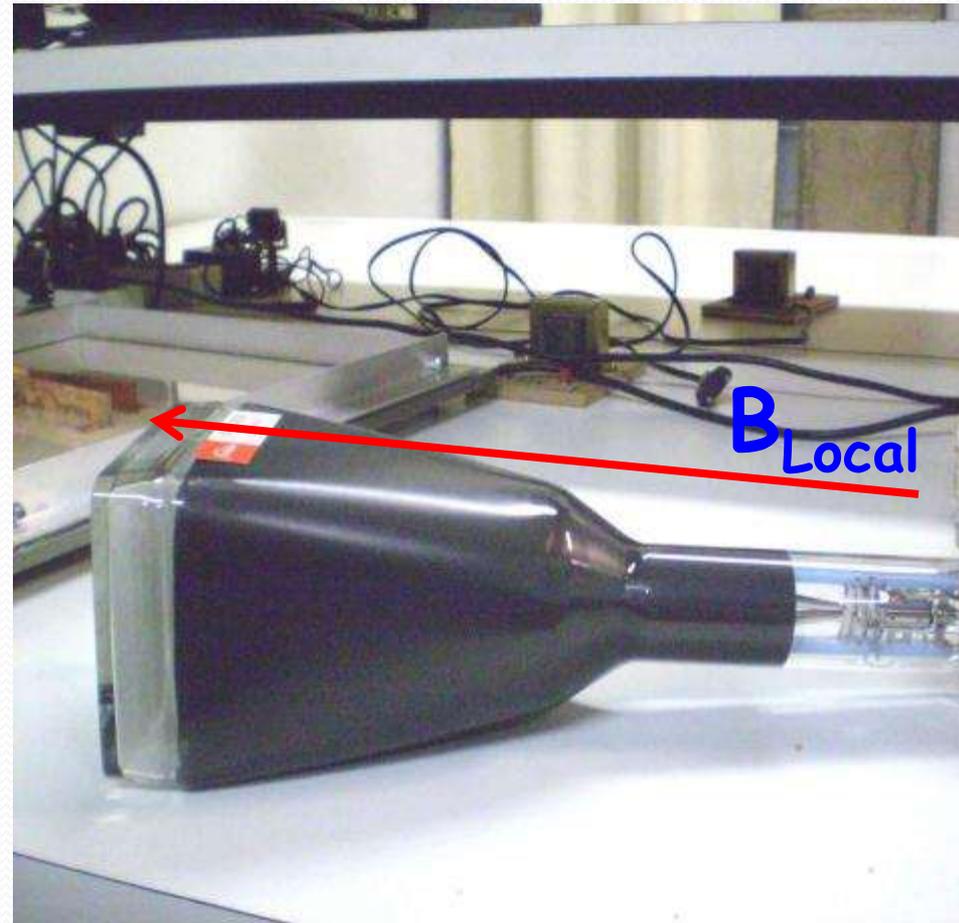


Para pensar:

- 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 ser “descontado”?

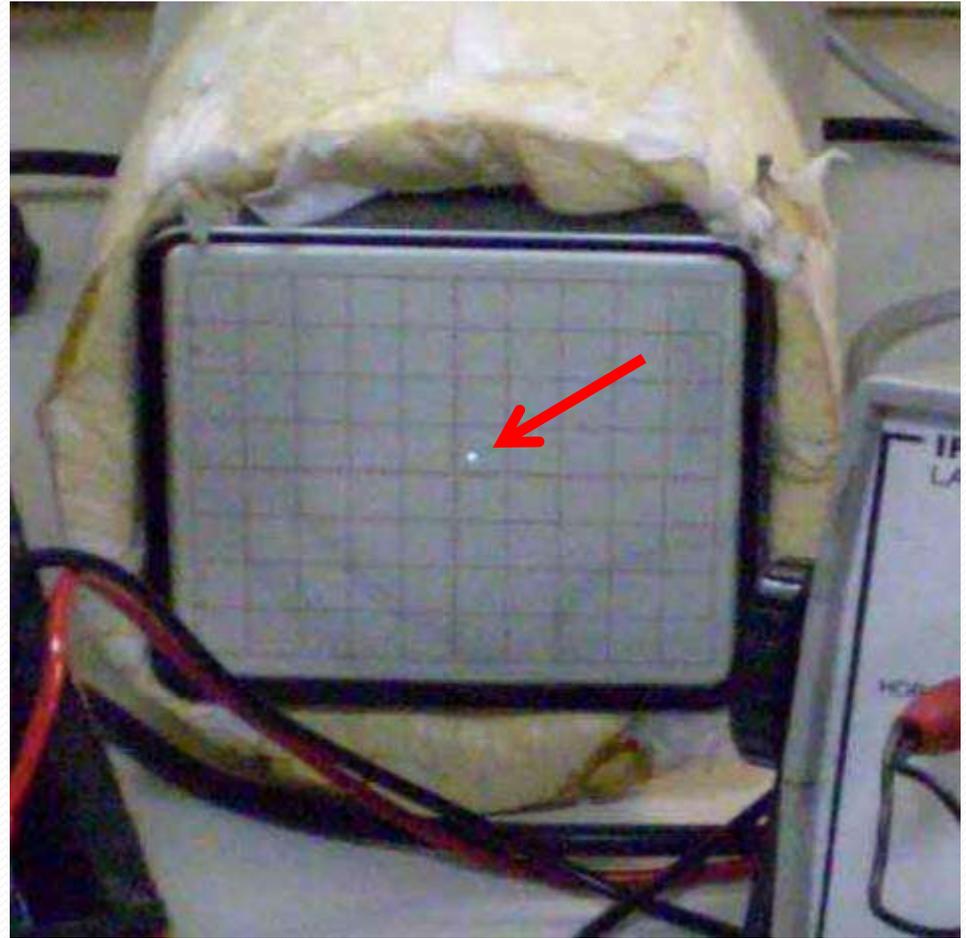
Campo magnético local

- 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.**



Como montar o TRC ???

The screenshot shows a web browser window with the URL www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex/. The page content is split into two main sections: a blue sidebar on the left and a main content area on the right.

Blue Sidebar:

- Comments from users: **pedro henrique**, **paulo**, **Fernandp**, and **enxaqueca**.
- Calendário** (Calendar): A calendar for August 2011. The 8th of August is highlighted in yellow.
- Arquivos** (Files): A section for file uploads.

Main Content Area:

- A list of 33 numbered items, likely a table of contents or a list of articles. Item 29, "Montando o TRC do laboratório didático", is highlighted with a red rectangular border.
- A "Last Comments" section at the bottom with a comment icon.