

# Seletor de Velocidades,

Parte 1 – Movimento em Campo Elétrico

Aula 1

Prof. Henrique Barbosa  
Edifício Basílio Jafet - Sala 100

Tel. 3091-6647

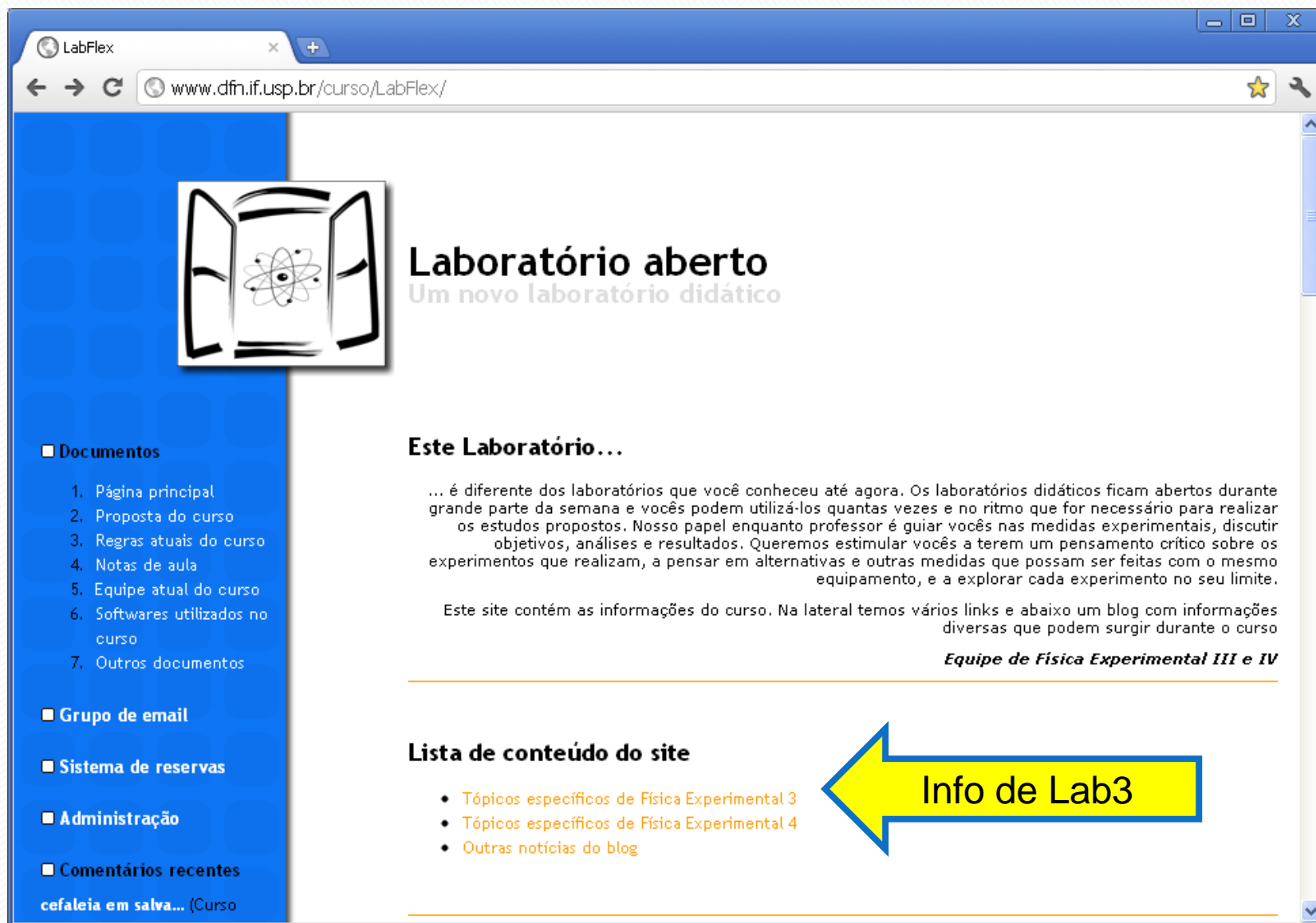
[hbarbosa@if.usp.br](mailto:hbarbosa@if.usp.br)

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

# Alguns recados da disciplina

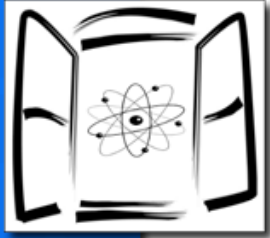
- Critérios de aprovação
  - 3 experimentos + 1 projeto da turma
  - Média dos experimentos + nota do projeto + participação individual
  - Ver site para detalhes como as notas são calculadas
- Cada aula de discussão → tarefas **mínimas** para serem entregues
  - Síntese a ser entregue até a sexta-feira (23:59) anterior à próxima aula
  - Não serão tolerados atrasos
  - Não há re-entrega de síntese

# Usem o site!



LabFlex

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



## Laboratório aberto

Um novo laboratório didático

### Documentos

1. Página principal
2. Proposta do curso
3. Regras atuais do curso
4. Notas de aula
5. Equipe atual do curso
6. Softwares utilizados no curso
7. Outros documentos

### Grupo de email

### Sistema de reservas

### Administração

### Comentários recentes

cefeleia em salva... (Curso

### Este Laboratório...

... é diferente dos laboratórios que você conheceu até agora. Os laboratórios didáticos ficam abertos durante grande parte da semana e vocês podem utilizá-los quantas vezes e no ritmo que for necessário para realizar os estudos propostos. Nosso papel enquanto professor é guiar vocês nas medidas experimentais, discutir objetivos, análises e resultados. Queremos estimular vocês a terem um pensamento crítico sobre os experimentos que realizam, a pensar em alternativas e outras medidas que possam ser feitas com o mesmo equipamento, e a explorar cada experimento no seu limite.

Este site contém as informações do curso. Na lateral temos vários links e abaixo um blog com informações diversas que podem surgir durante o curso

*Equipe de Física Experimental III e IV*

### Lista de conteúdo do site

- [Tópicos específicos de Física Experimental 3](#)
- [Tópicos específicos de Física Experimental 4](#)
- [Outras notícias do blog](#)

Info de Lab3

# Arquivos no site...

LabFlex

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

**Documentos**

1. Página principal
2. Proposta do curso
3. Regras atuais do curso
4. Notas de aula
5. Equipe atual do curso
6. Softwares utilizados no curso
7. Outros documentos

**Grupo de email**

**Sistema de reservas**

**Administração**

**Comentários recentes**

**cefaleia em salva...** (Curso relâmpago ...): dores de cabeça dores de...

**pedro henrique** (Curso relâmpago ...): curso esta ativo?

**paulo** (Curso relâmpago ...): interessa o curso

**Fernandp** (Curso relâmpago ...): interessado

**enxaqueca** (Curso relâmpago ...): estou interessado, obriga...

**Tópicos de Física Experimental 3**

A seguir São mostrados textos referentes ao curso de Física Experimental 3. Para uma lista em ordem alfabética, clique aqui.

1. Vídeo tutoriais do FEMM
2. Ajustes de funções genéricas no Origin
3. Emissividade do tungstênio
4. Sensor de infra-vermelho PASCO
5. Arquivo DataStudio para medida de espectro de lâmpada
6. Convertendo dados do Osciloscópio GD5-20XX
7. Fis. Exp. III - 2008 - Material para experiência III
8. IMPORTANTE: Estudo de elétrons no campo magnético
9. Tutorial do Origin
10. Mapeamento de campos elétricos
11. Fis. Exp. III - 2008 - Material para experiência II
12. Precisão de leitura de tensão do DataStudio
13. Constante de Stefan-Boltzmann
14. Relação entre resistência e temperatura do tungstênio
15. Números aleatórios gaussianos
16. Tutorial de uso de multímetro
17. Fis. Exp. III - 2008 - Material para experiência I
18. Massas e dimensões das agulhas de bússola
19. Ressonância magnética
20. Applet para Lei de Faraday
21. Como obter LBeF?
22. Evite usar o amperímetro!
23. Correção na fórmula do desvio em campo magnético
24. QField
25. Acurácia e precisão
26. Sensor magnético PASCO CI-6520A
27. BROffice e Laplaciano

**Arquivos importantes  
Para a experiência**

# Sistema de blog

LabFlex

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

Sistema de reservas

Administração

Comentários recentes

cefaieia em salva... (Curso relâmpago ...): dores de cabeça dores de...

pedro henrique (Curso relâmpago ...): curso esta ativo?

paulo (Curso relâmpago ...): interessa o curso

Fernandp (Curso relâmpago ...): interessado

enxaqueca (Curso relâmpago ...): estou interessado, obriga...

Calendário

August 2011						
S	M	T	W	T	F	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Arquivos

01 Aug - 31 Aug 2007  
01 Sep - 30 Sep 2007  
01 Oct - 31 Oct 2007  
01 Nov - 30 Nov 2007

## Lista de conteúdo do site

- Tópicos específicos de Física Experimental 3
- Tópicos específicos de Física Experimental 4
- Outras notícias do blog

**Blog do LabFlex**

### Lab3 - 2011

Atenção para a primeira aula de discussão que será amanhã, dia 9/agosto, as 8hs. As duplas já foram formadas e distribuídas entre os professores:

Henrique Barbosa - Auditório Norte  
Eloisa Szanto - Auditório Novo 1  
Joel Brito - Auditório Novo 2

hbarbosa 08 08 11 - 10:38   Sem comentários

### Aula Inaugural de Lab3 (DIURNO)

Pessoal,

Sejam bem vindos ao Laboratório Aberto de Física 3. Nesta terça feira vocês tiveram a aula inaugural do curso, onde foi passado o funcionamento, a metodologia, todas as regras e critérios de avaliação. Se tiverem alguma dúvida, vejam a aula em PDF no link abaixo:

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Site/LabAberto2011Fis3/Aula00.pdf>

Visitem o site para acompanhar as notícias da disciplina

# Lista de Discussão

- Lista geral de todas as turmas, professores e monitores:
  - Deve ser usada para tirar dúvidas, trocar experiências, comparar resultados, etc...
  - Os avisos gerais da disciplinas serão distribuídos por esta lista, por isso, assinem!

**<http://groups.google.com/group/labflex>**

- Lista da nossa turma:
  - Deve ser usada para me encontrar, discutir algo entre apenas entre a nossa turma (ex. projeto), etc...

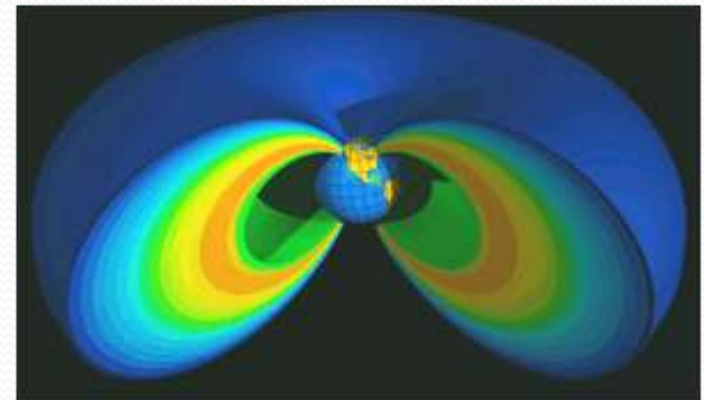
**<http://groups.google.com/group/lab-henrique>**



# 0. Aula de hoje

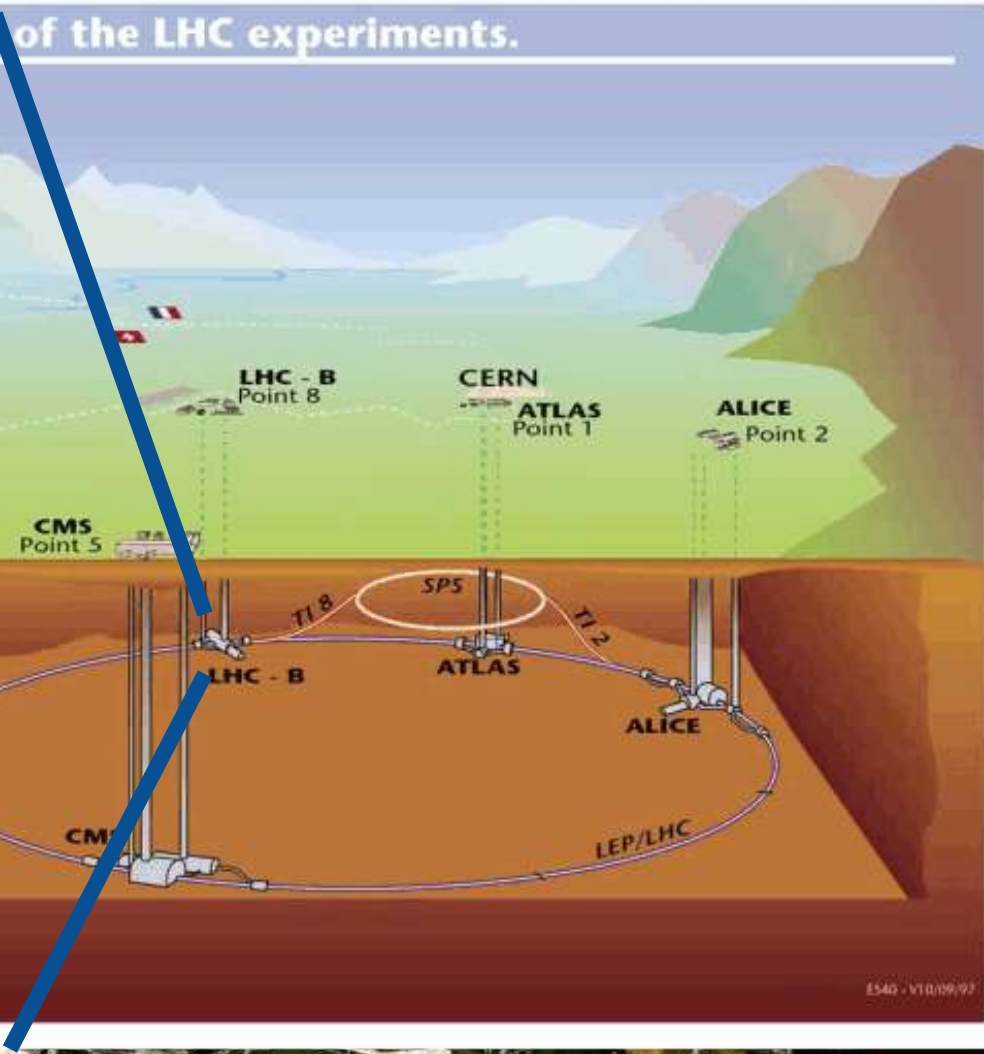
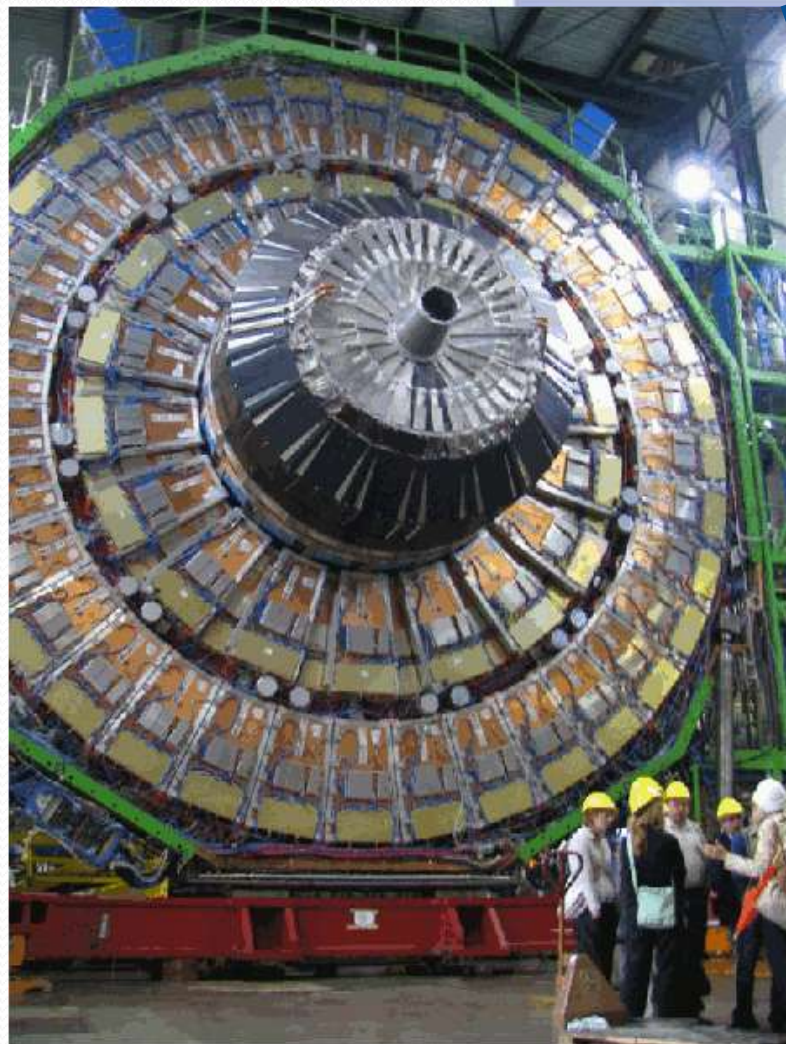
# Seletor de Velocidades

- 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

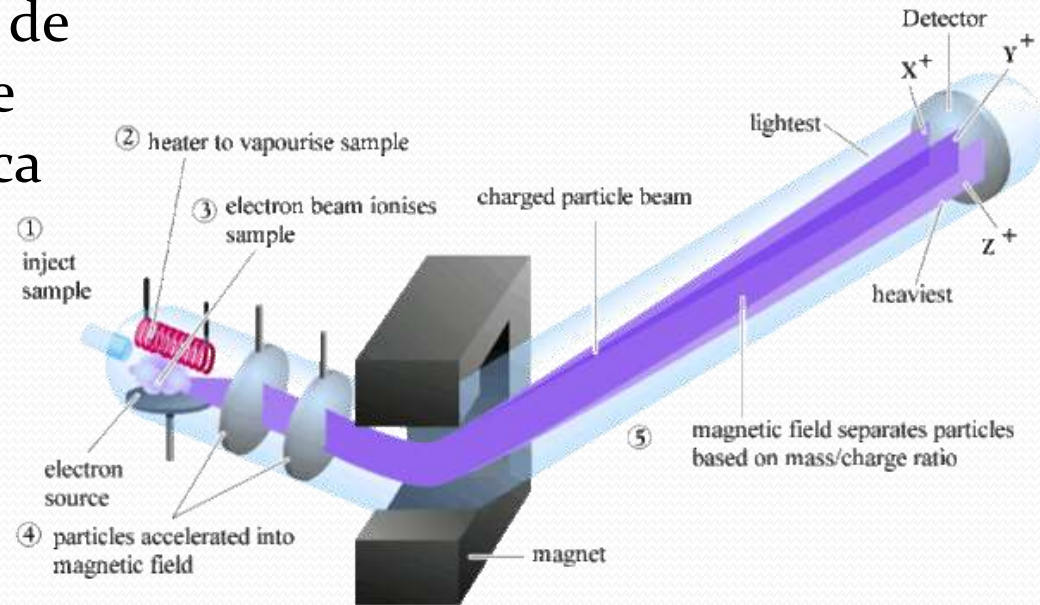
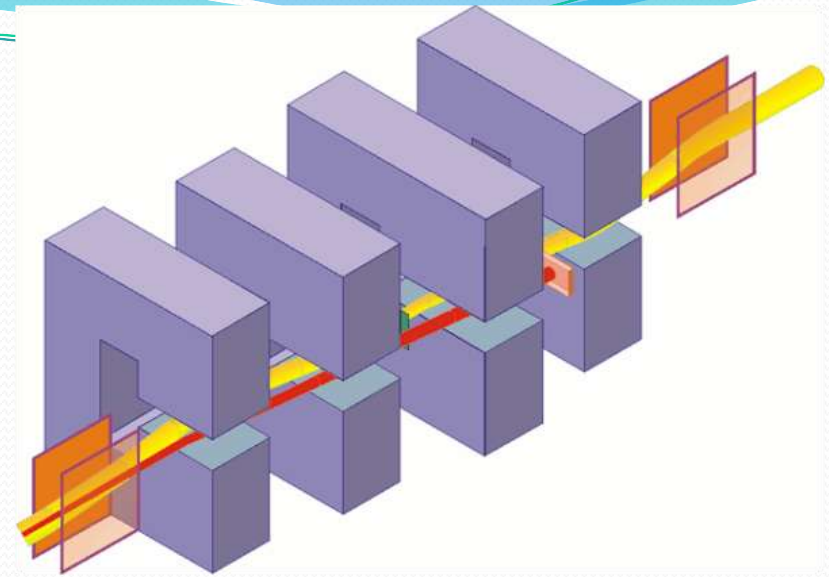
... Um acelerador de partículas “simples”

- 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

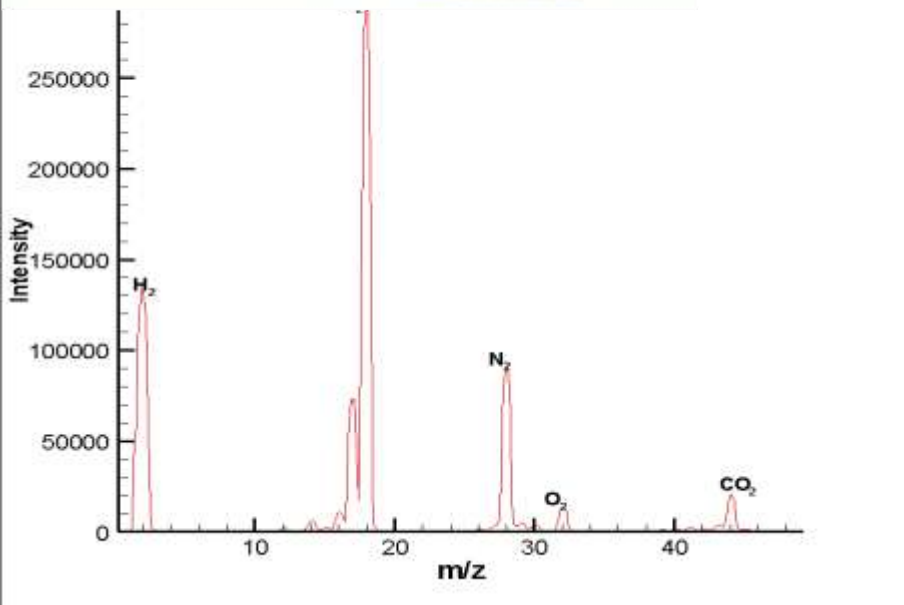
- Um **seletor de velocidades** é um instrumento importante particularmente em física nuclear, tanto de alta como de baixa energia.
- Faz parte dos espectrômetros de massa: determina com grande precisão a composição química pela razão massa-carga dos componentes da amostra.



# Espectrômetros de Massa



Accelerator mass spectrometer at Lawrence Livermore National Laboratory



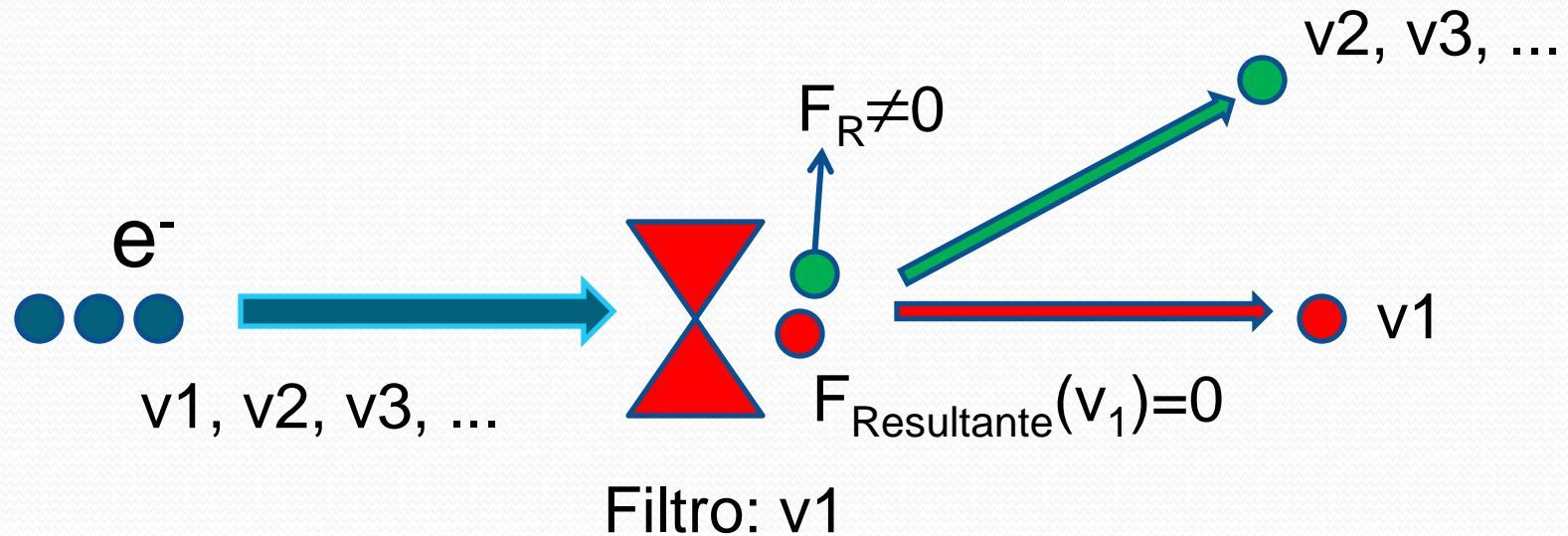


# Seletor de velocidades: como funciona

- 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

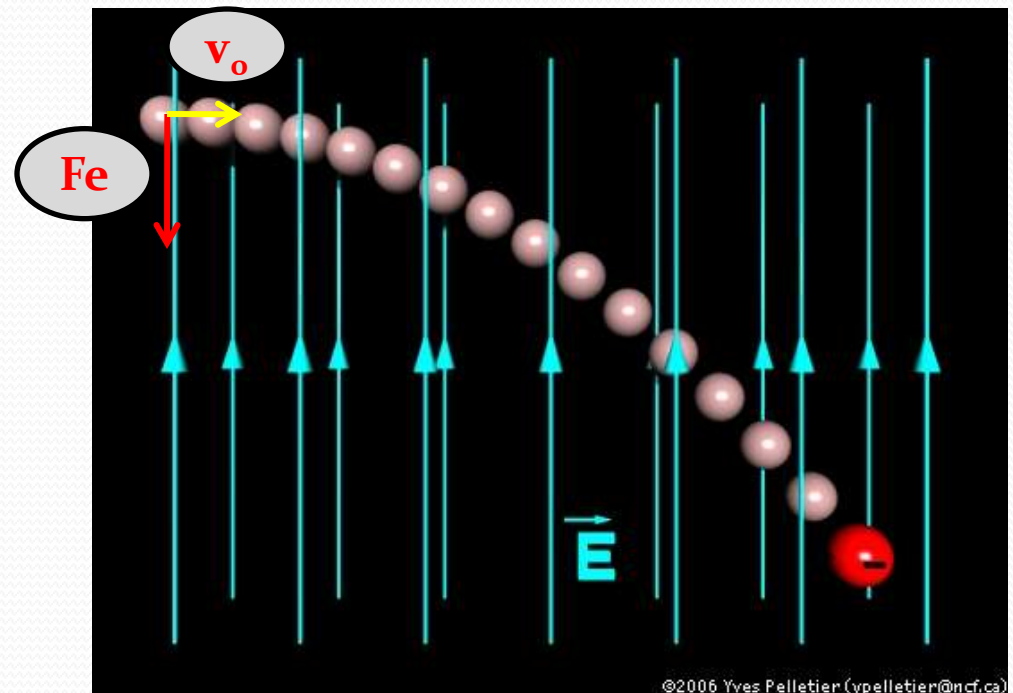


# Campo elétrico

- Quando um feixe de partículas carregadas de carga  $q$ , atravessa uma região onde existe um campo elétrico,  $\vec{E}$ , perpendicular à trajetória das partículas, ele vai sofrer uma força  $\vec{F}_e$  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



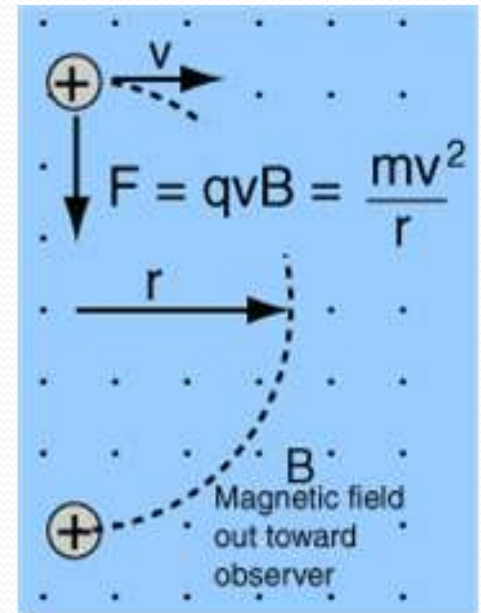
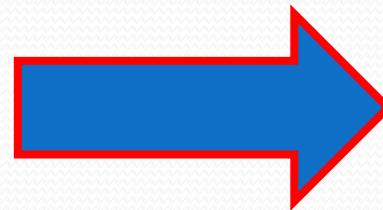
# Campo magnético

- 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:

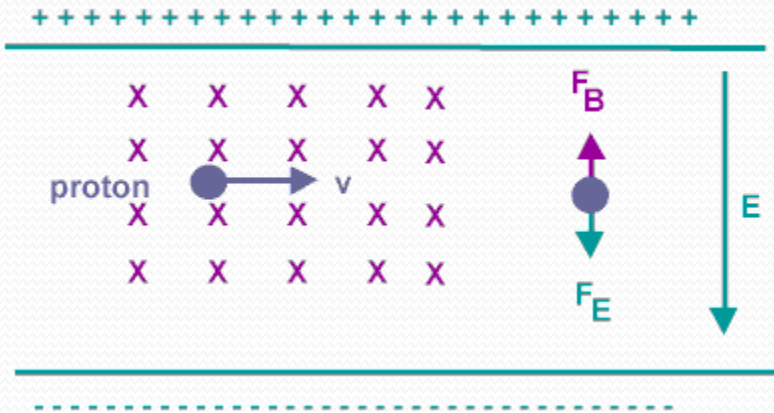
$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Se  $B \perp v$



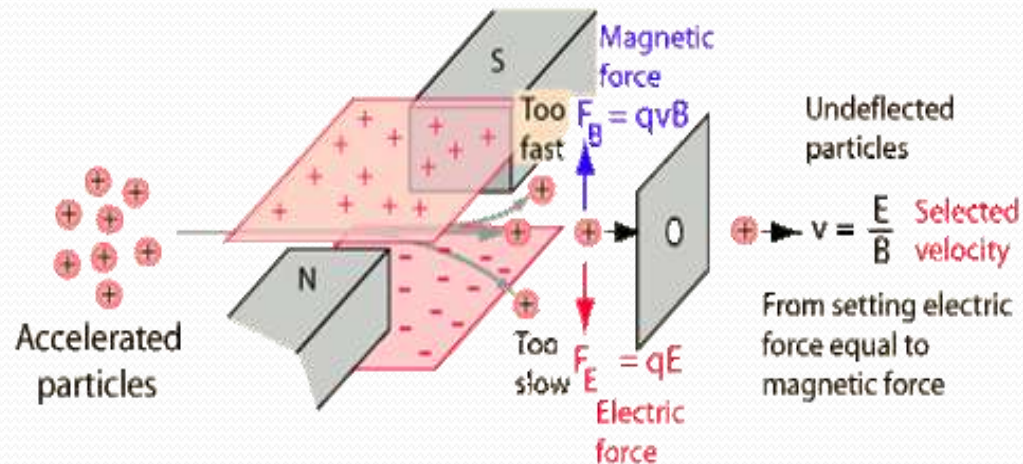


# Funcionamento do Seletor



- 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.

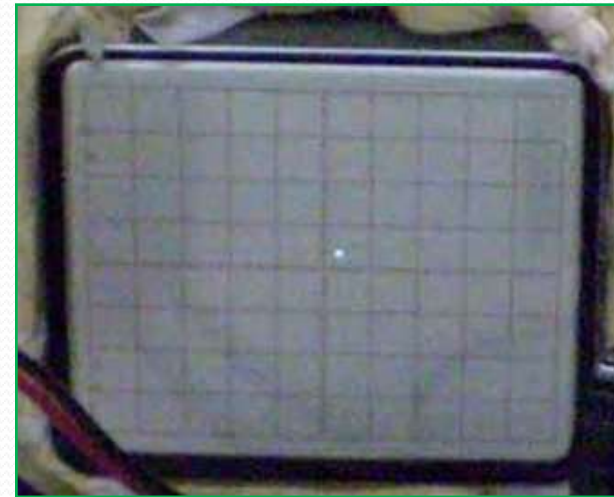
Escolhe-se a intensidade dos campos tal que a partícula da velocidade de interesse passe sem ser desviada:

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


# 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.

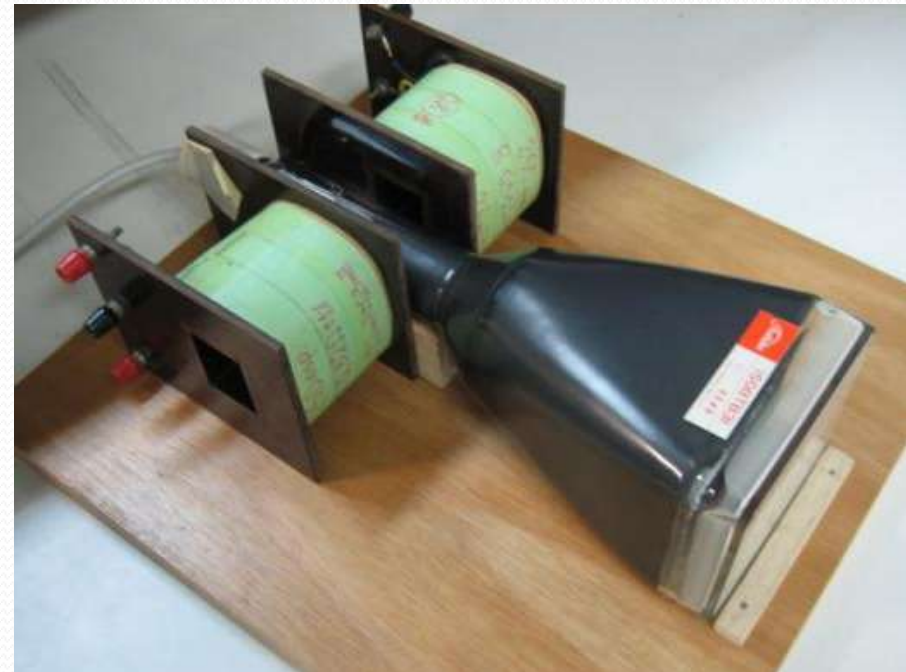
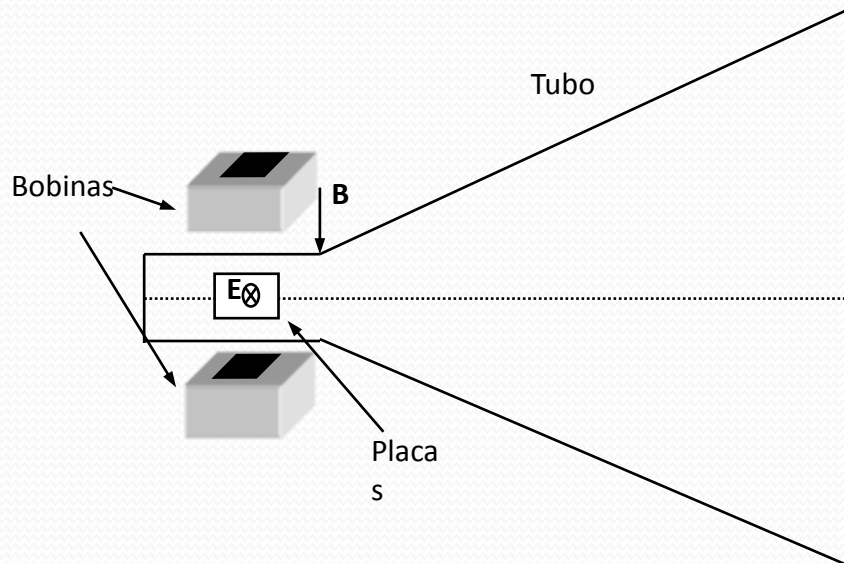


# O tubo de raios catódicos

- ❑ **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.

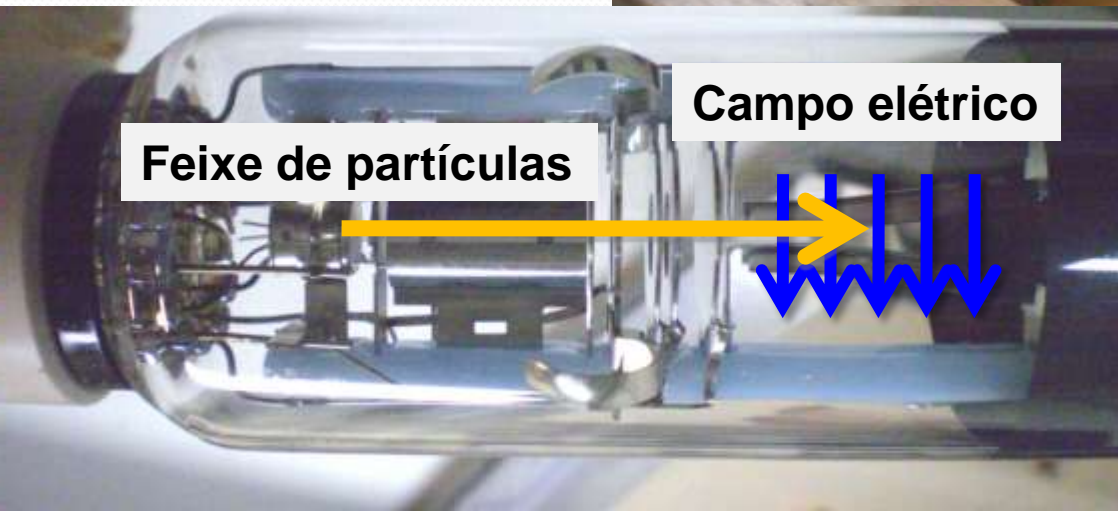
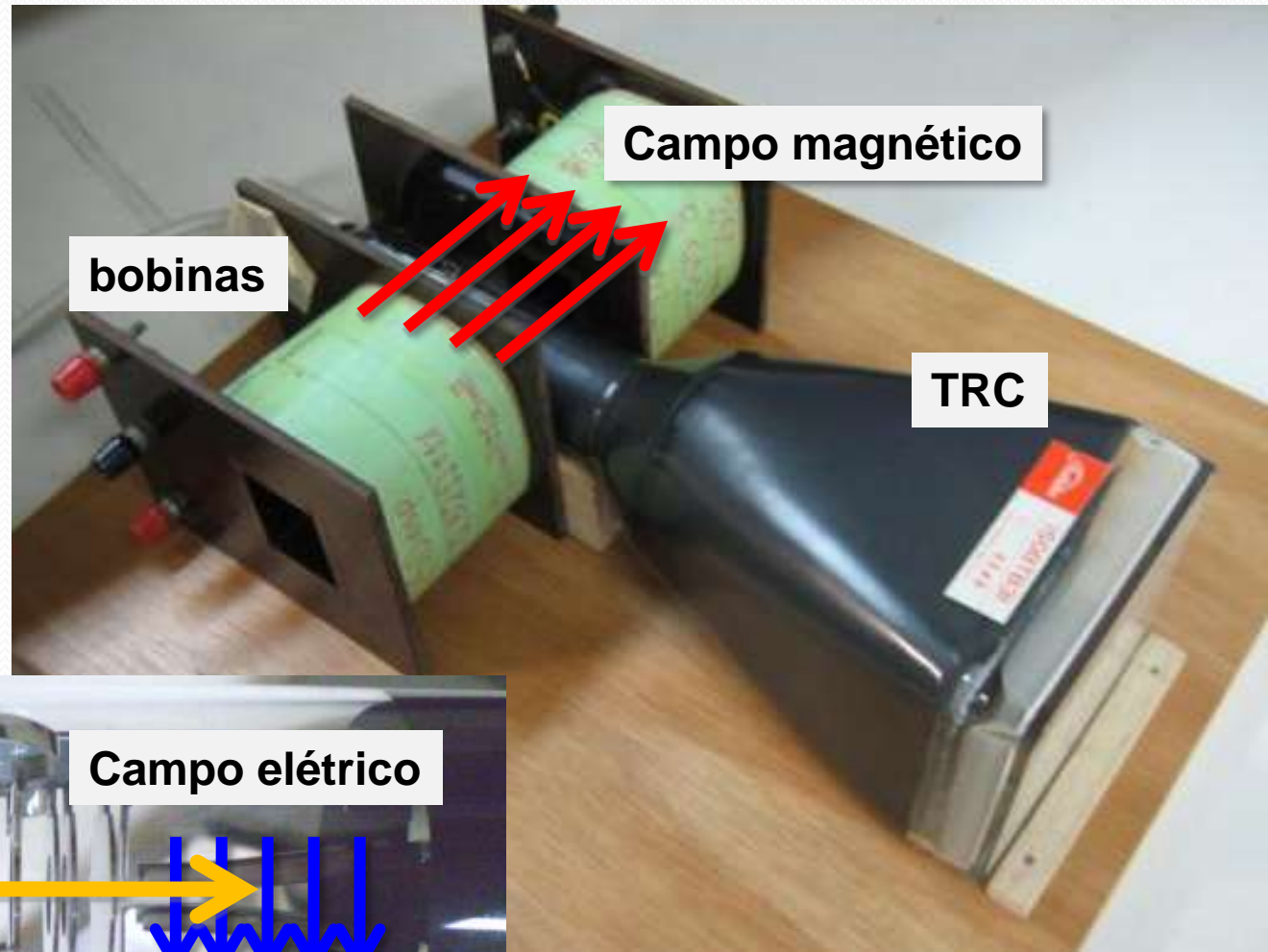
# O TRC como filtro de velocidades

- 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

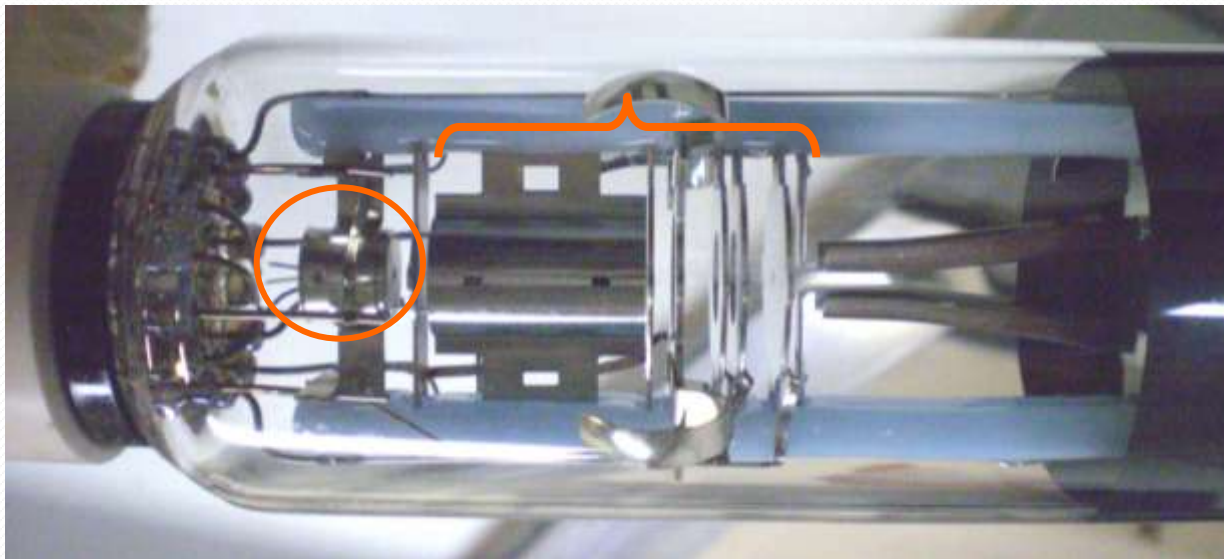




# 1. Funcionamento do TRC

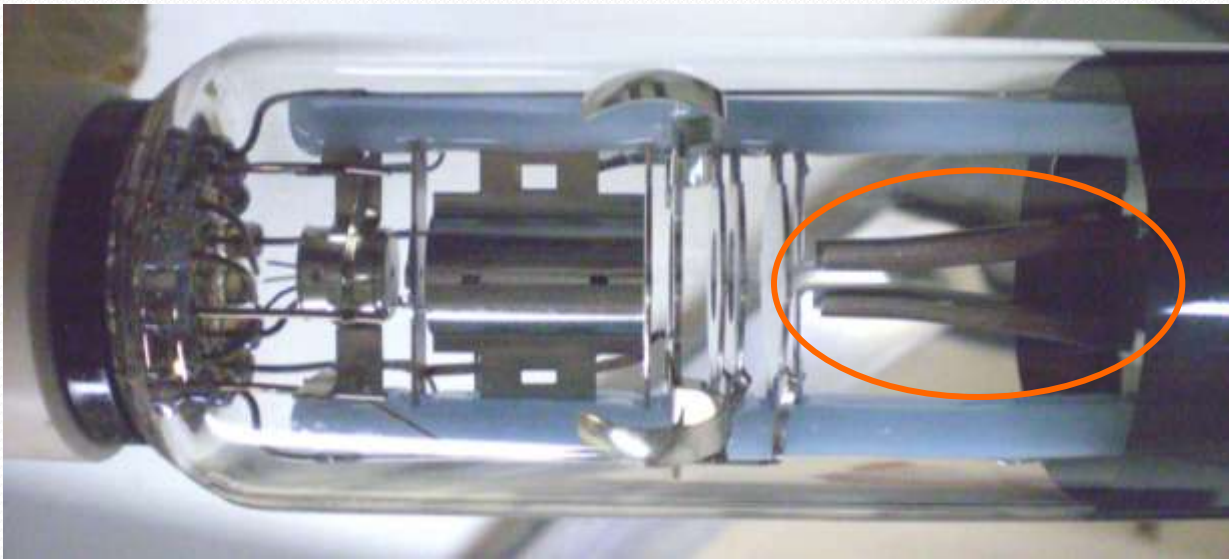
# Tubo de Raios Catódicos

- 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

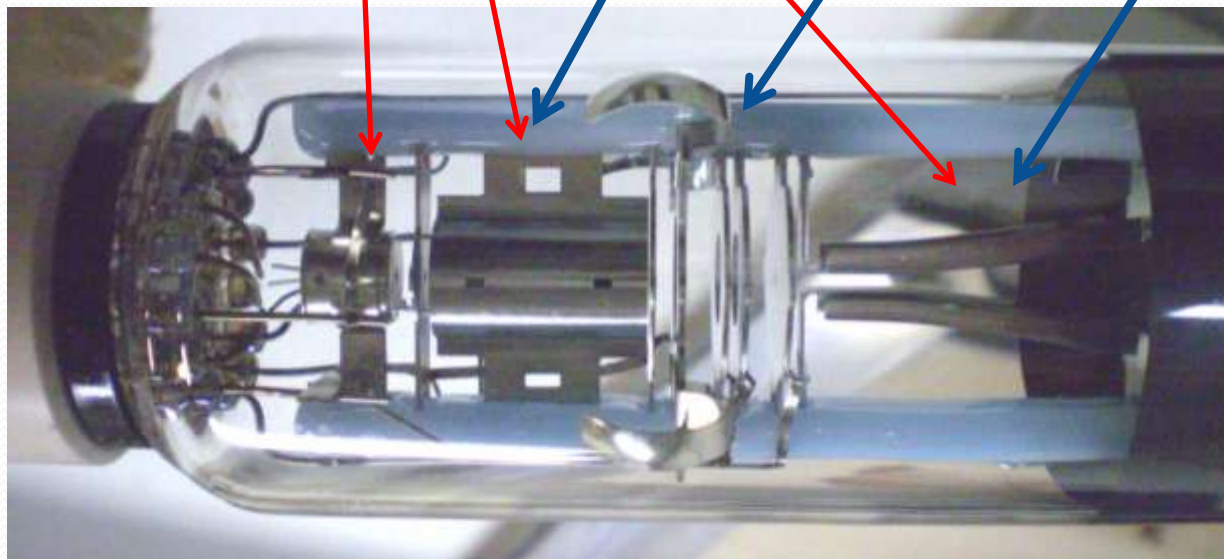
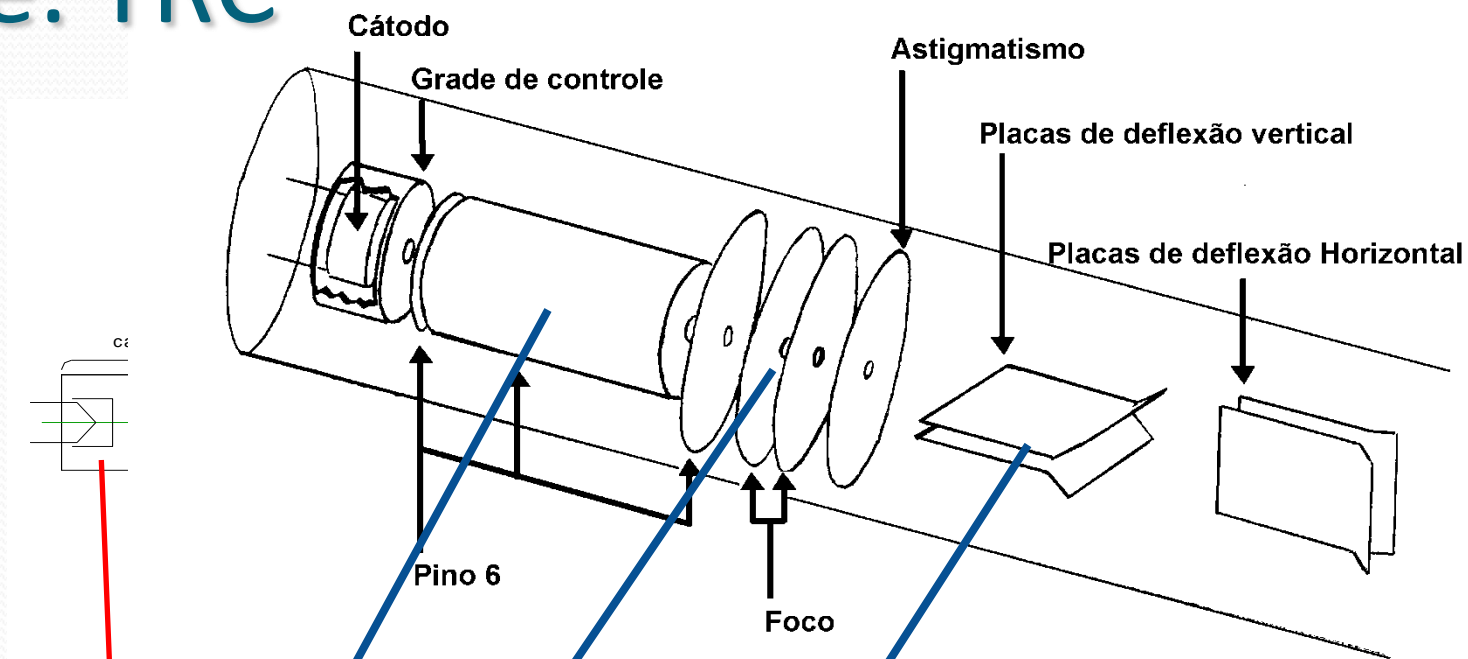


# O campo elétrico:

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

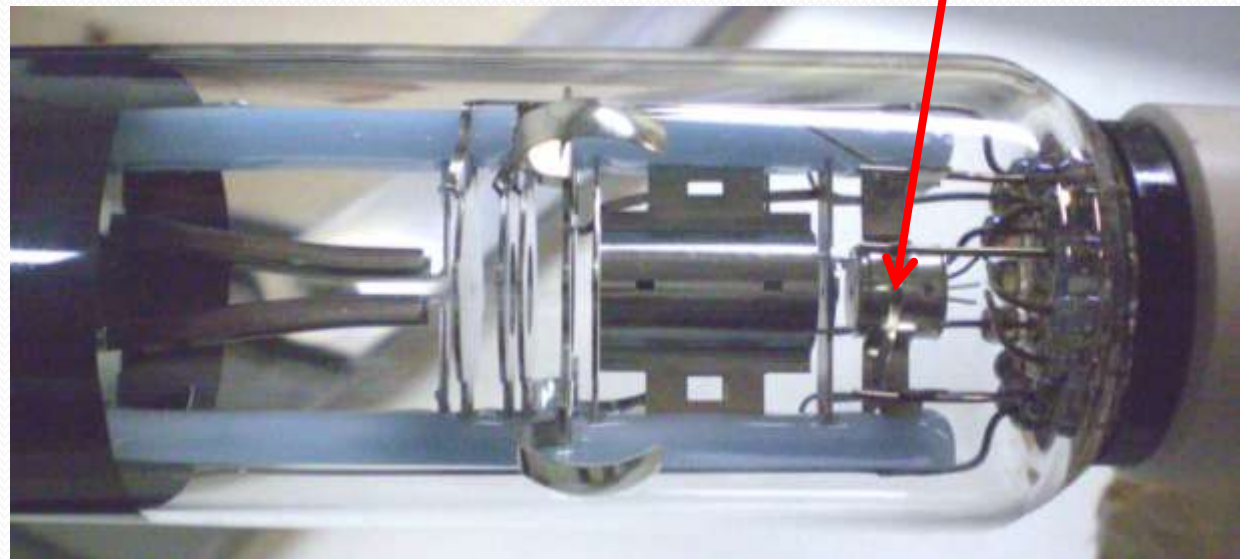
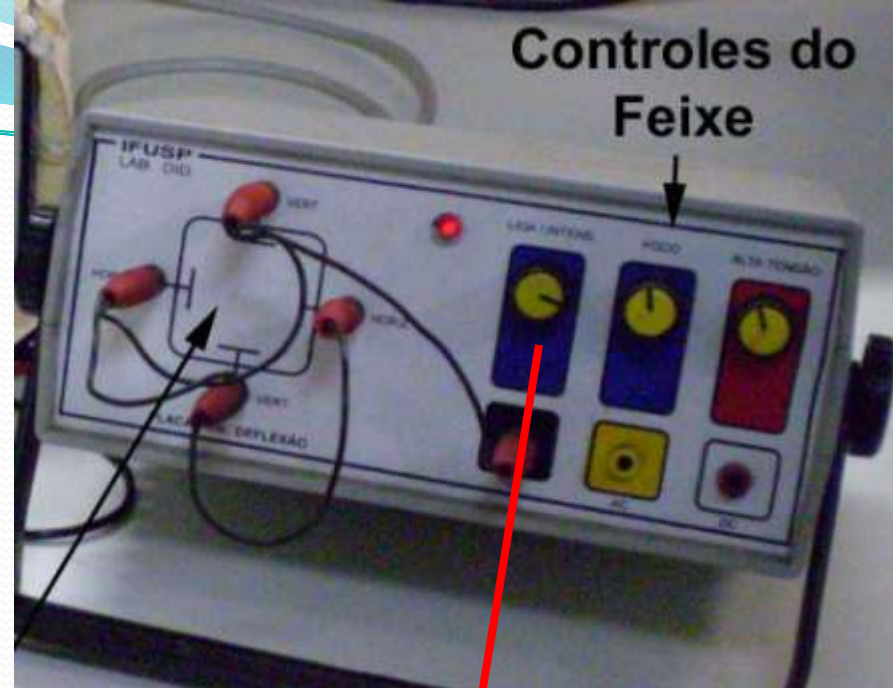


# O feixe: TRC



# O TRC

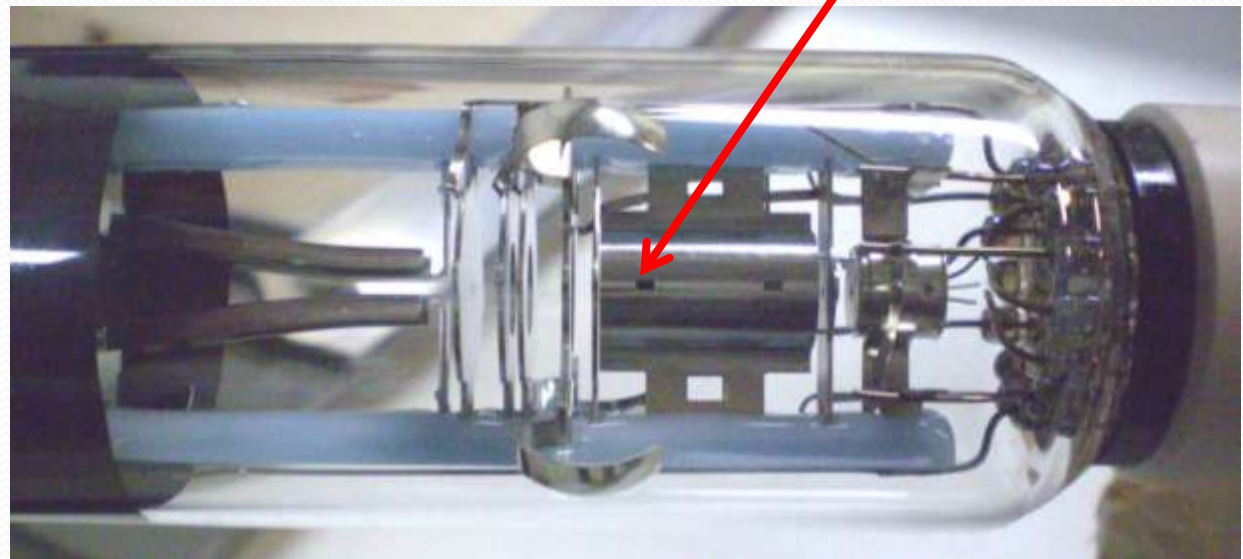
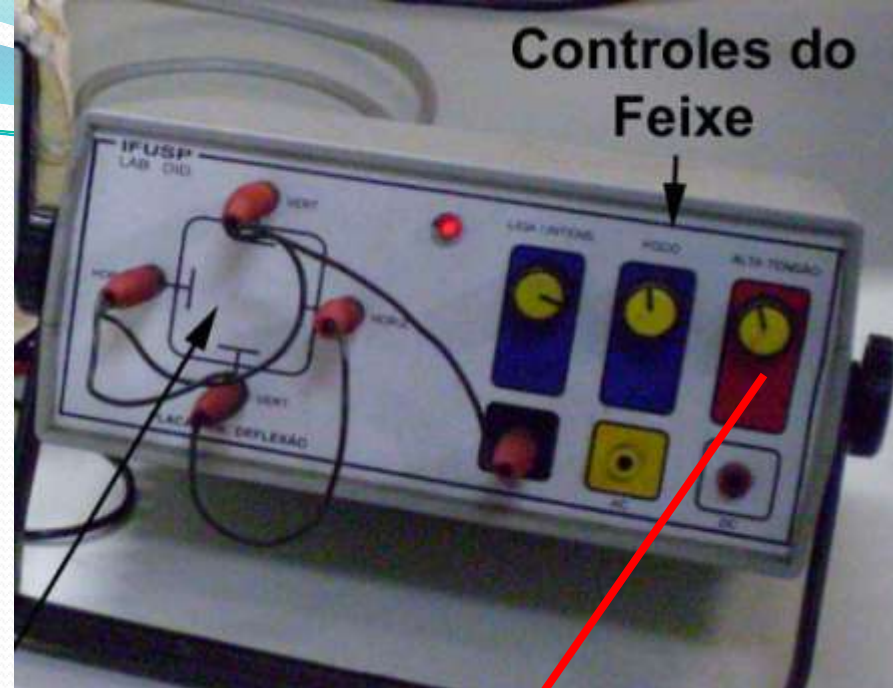
- Ligar o **TRC**
- Esse botão controla intensidade do feixe (tensão de grade)





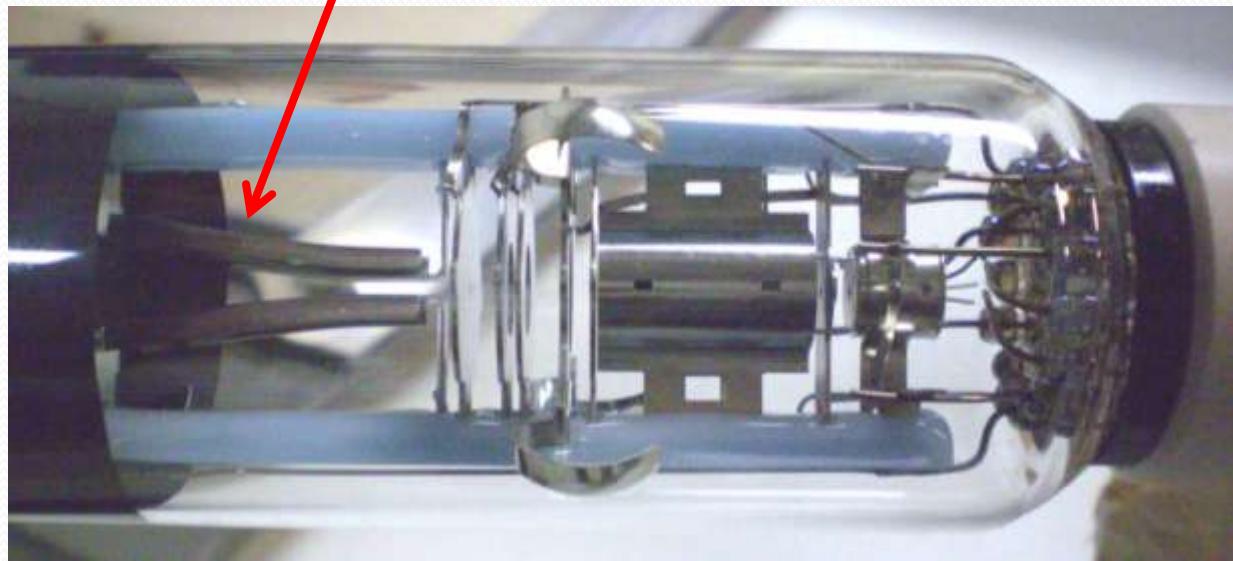
# O TRC

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



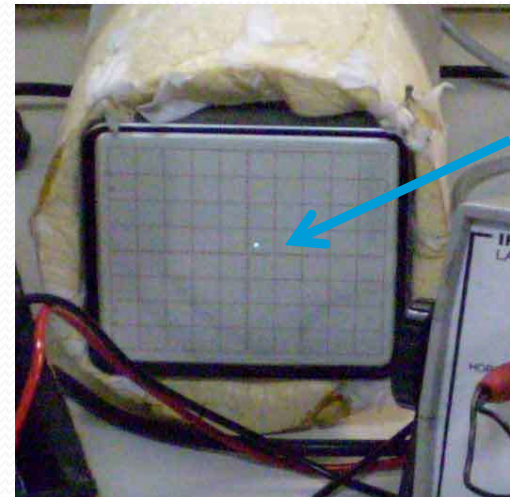
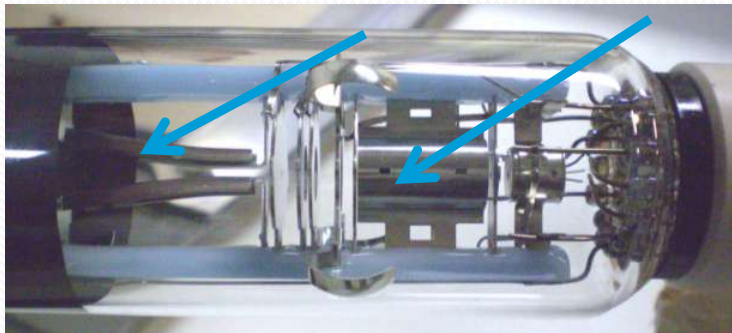
# O TRC

- 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 ( $H$ ).





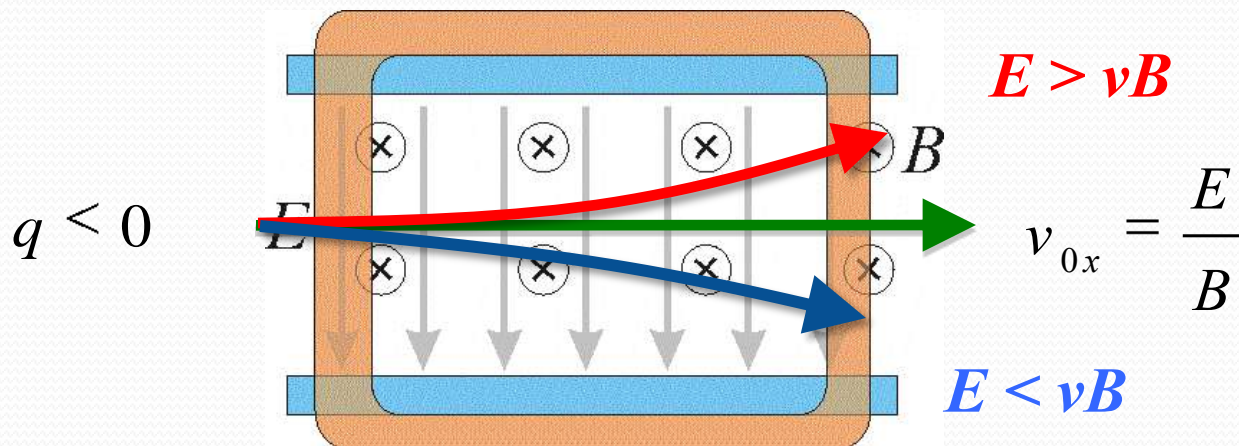


## 2. Modelo Simplificado

# Modelo Simplificado

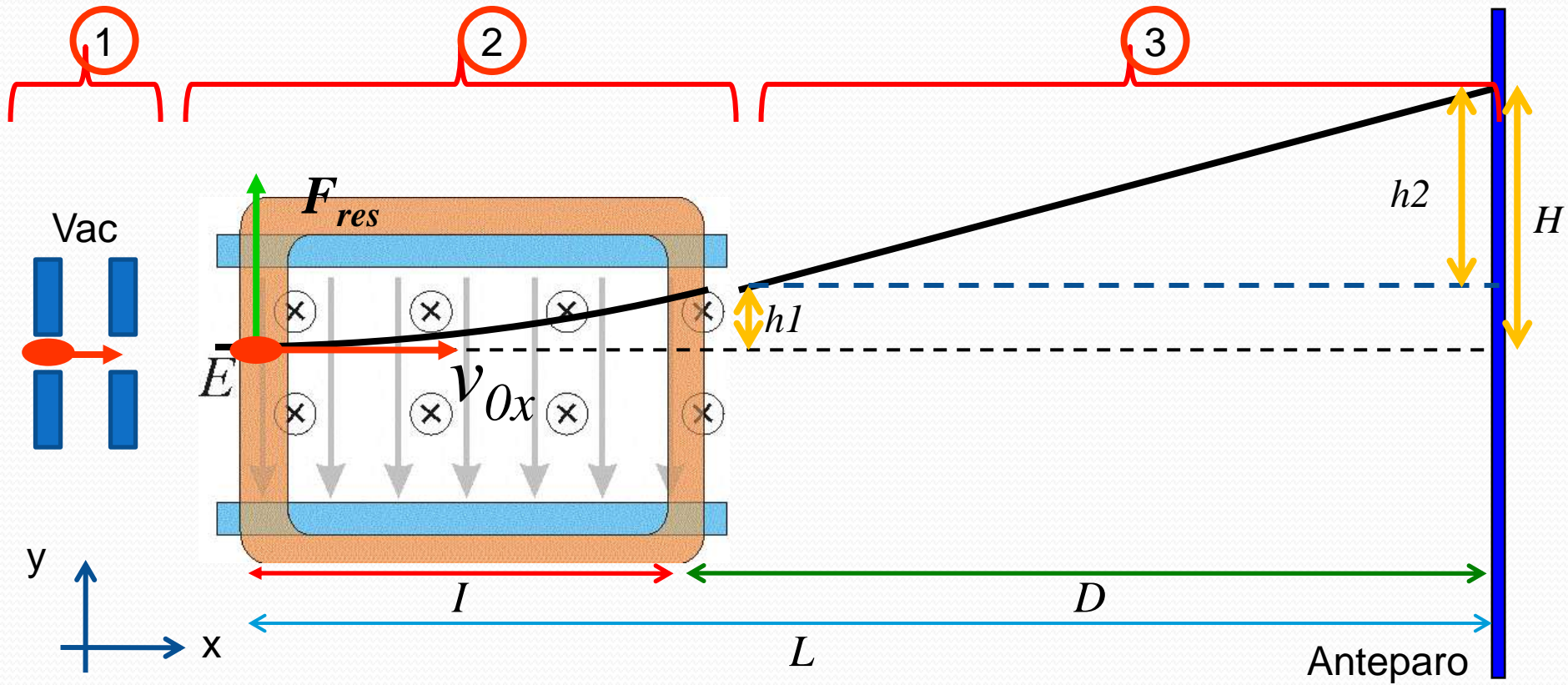
- As forças elétrica e magnética são iguais e opostas no caso da partícula que não sofre deslocamento, ( $\mathbf{H}=\mathbf{0}$ ), isso leva à seguinte expressão para a velocidade dessa partícula:

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



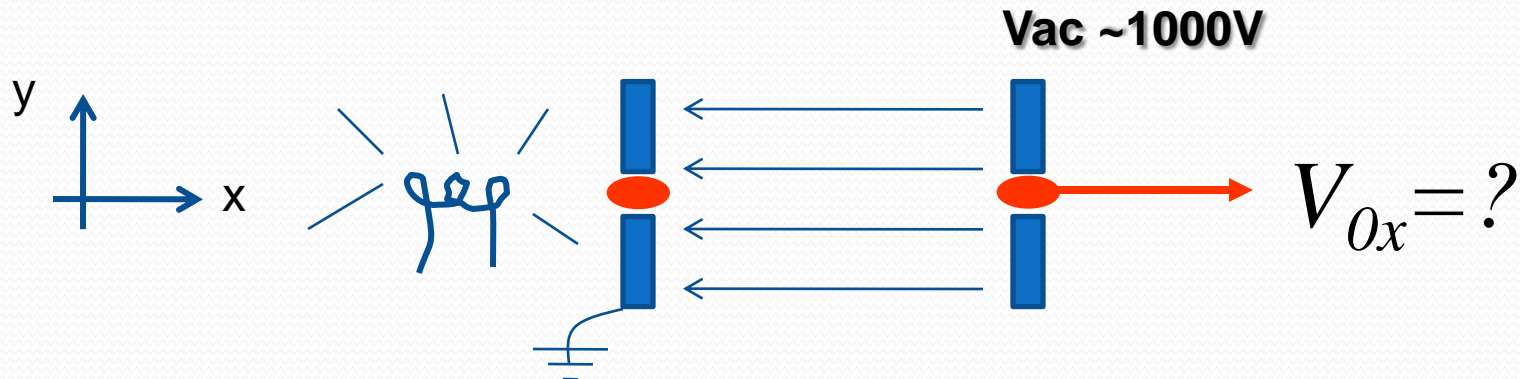
# Modelo Simplificado

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



# Modelo Simplificado – Traj. 1

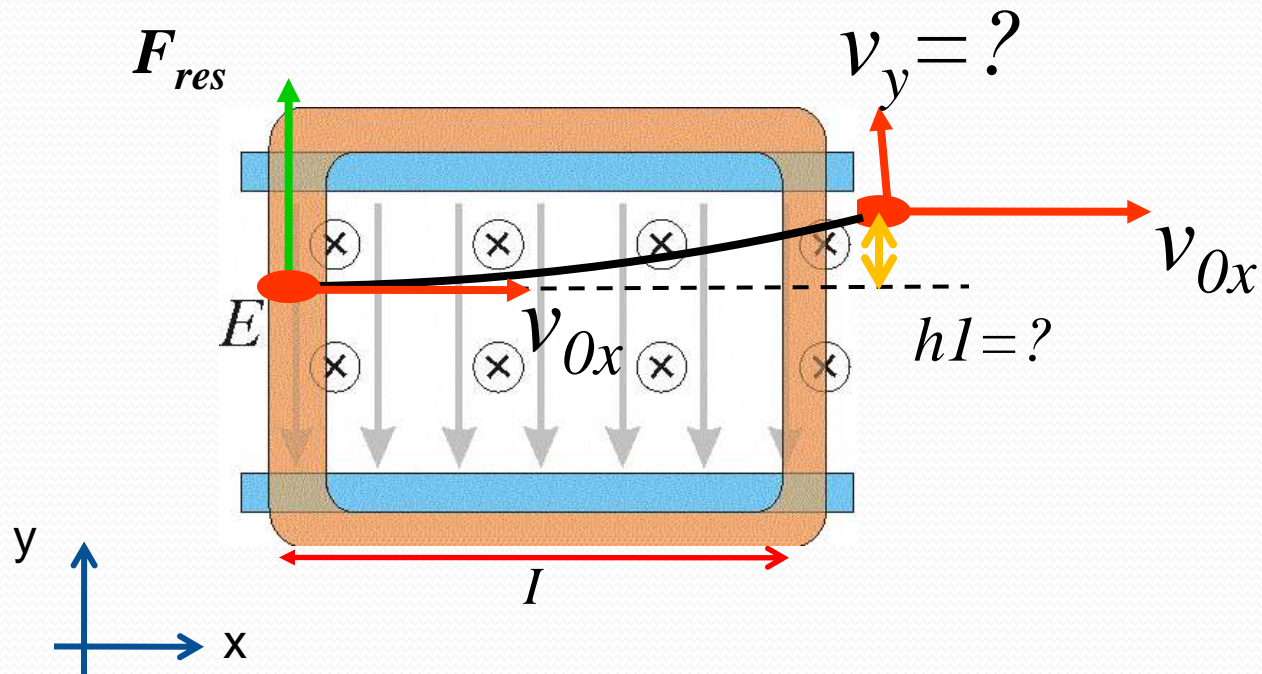
- No primeiro trecho do movimento, a partícula (**um elétron**) é acelerada entre duas placas com alta voltagem (**um capacitor :-**)
- O elétron é emitido, praticamente parado, por um filamento aquecido (botão de intensidade do TRC)



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

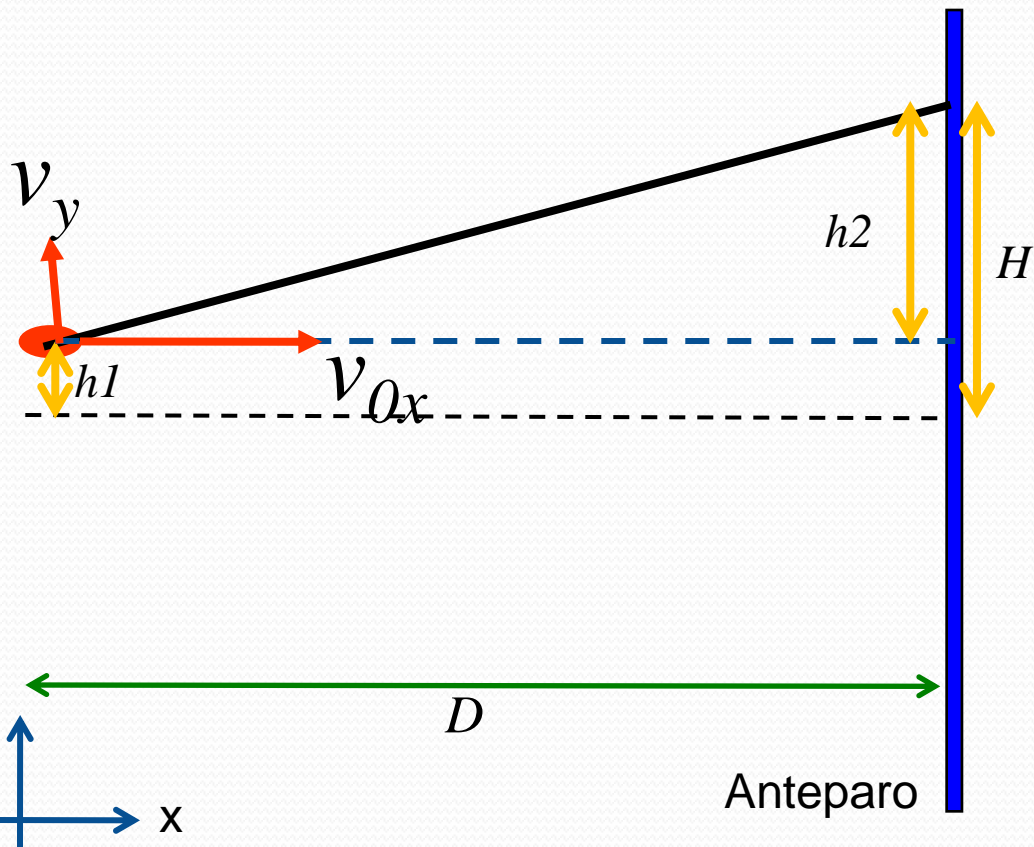
# Modelo Simplificado – Traj. 2

- 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  $H$



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

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

- 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 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



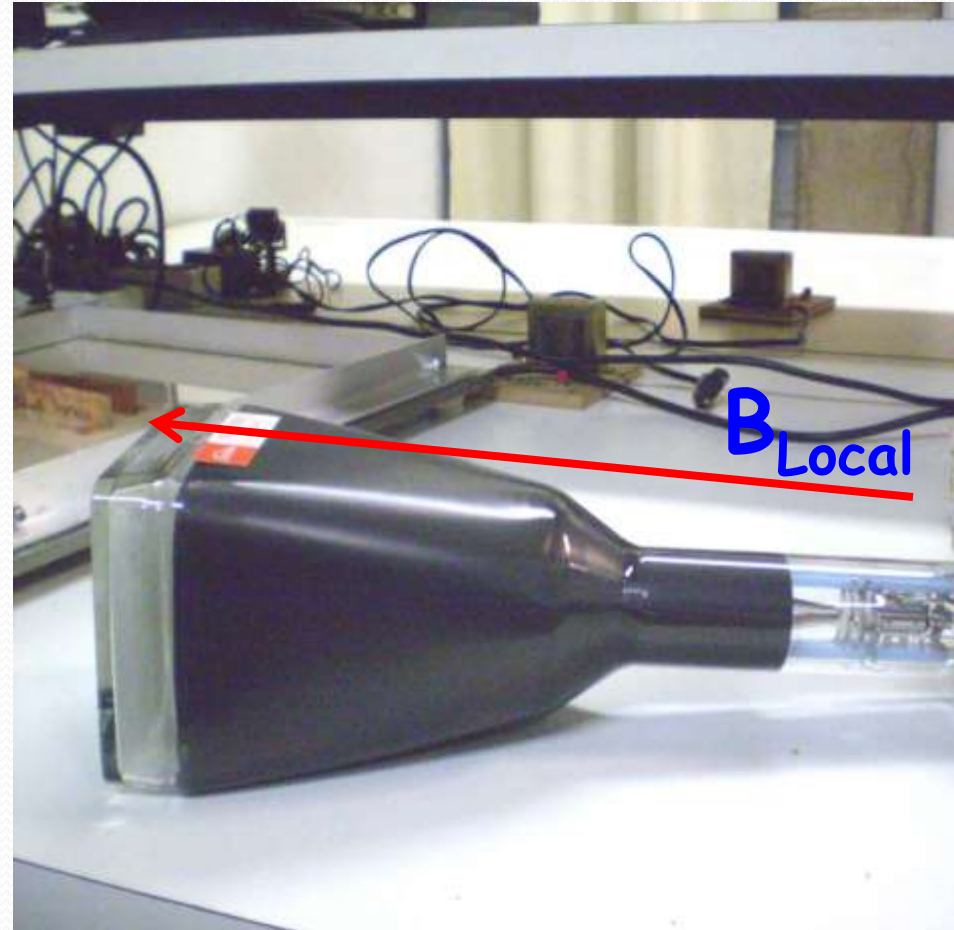


# Para pensar:

- 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 se “descontado”?

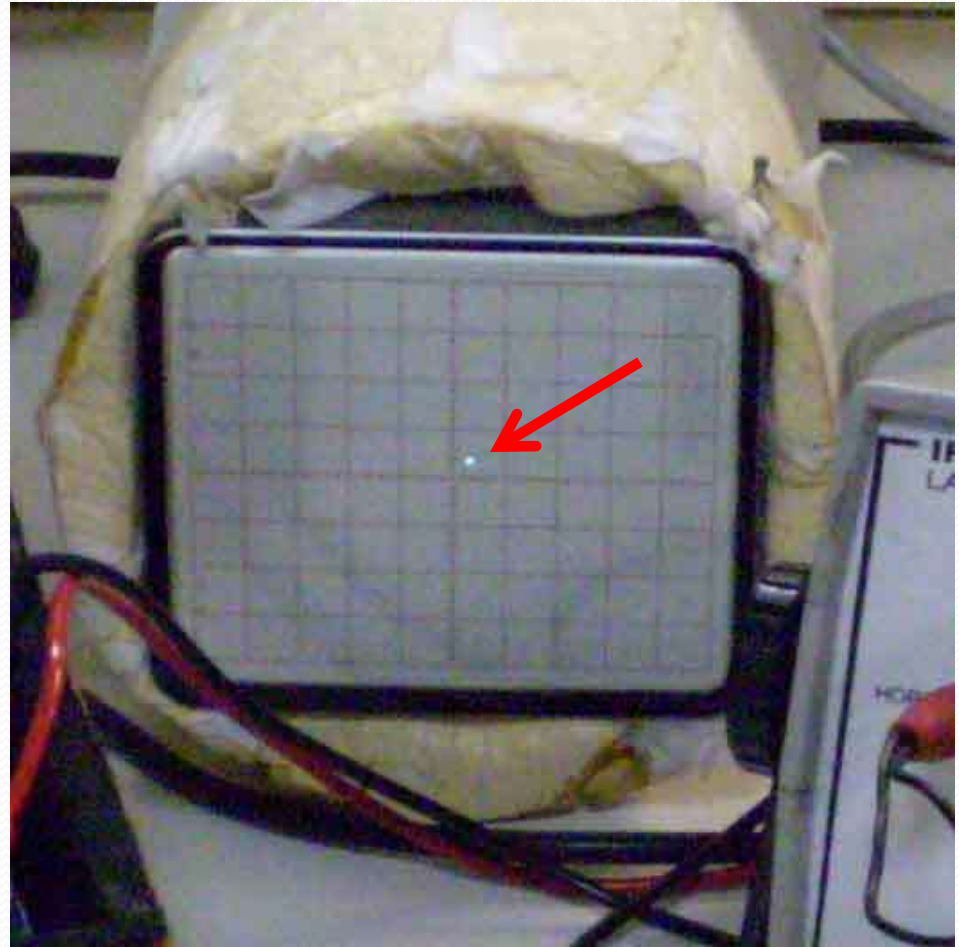
# Campo magnético local

- 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?

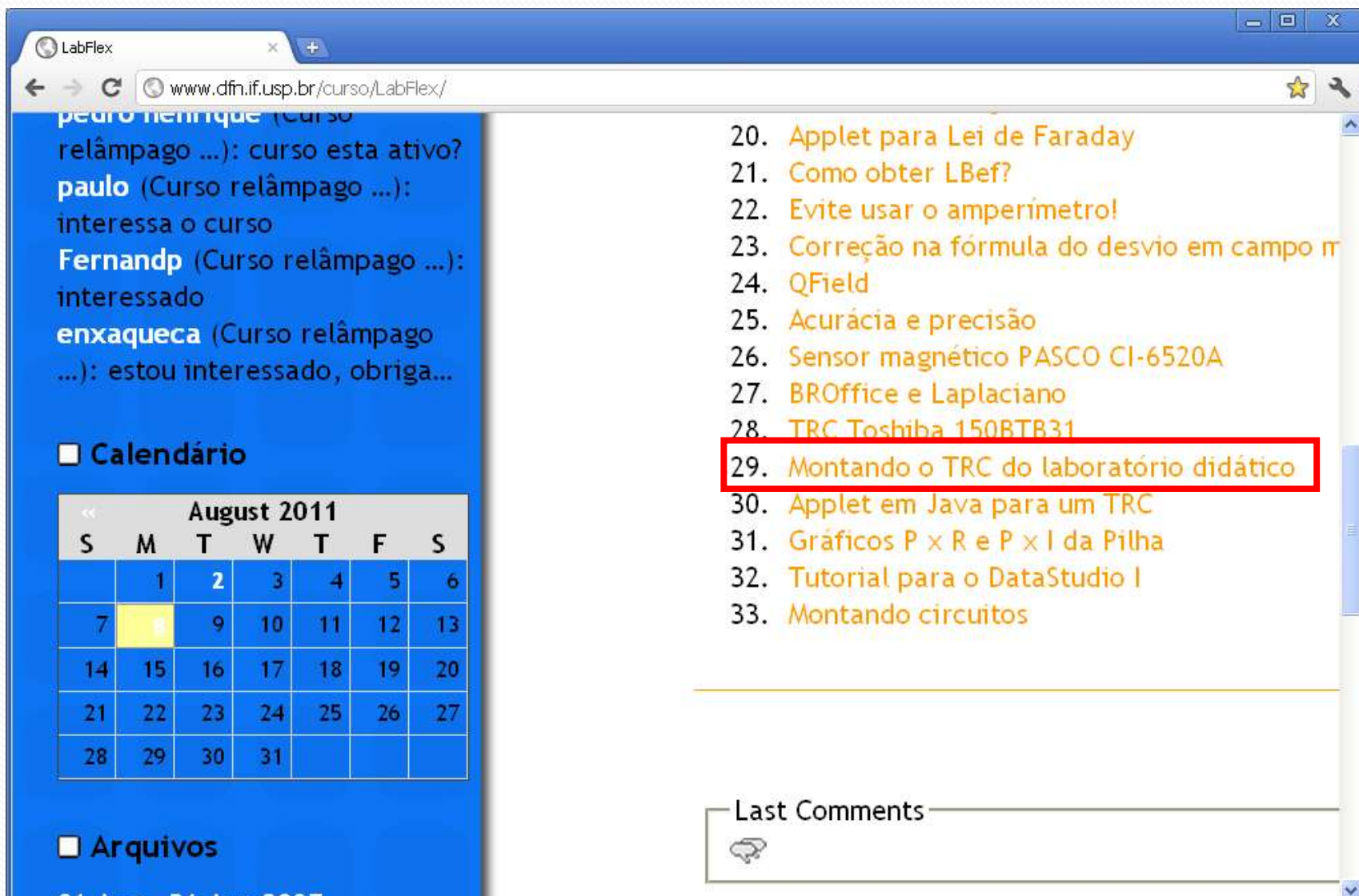


# Dicas para o procedimento

- 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.**



# Como montar o TRC ???



LabFlex

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

pedro henrique (Curso relâmpago ...): curso esta ativo?

paulo (Curso relâmpago ...): interessa o curso

Fernandp (Curso relâmpago ...): interessado

enxaqueca (Curso relâmpago ...): estou interessado, obriga...

Calendário

August 2011						
S	M	T	W	T	F	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Arquivos

20. Applet para Lei de Faraday
21. Como obter LBeF?
22. Evite usar o amperímetro!
23. Correção na fórmula do desvio em campo  $\pi$
24. QField
25. Acurácia e precisão
26. Sensor magnético PASCO CI-6520A
27. BROffice e Laplaciano
28. TRC Toshiba 150BTB31
- 29. Montando o TRC do laboratório didático**
30. Applet em Java para um TRC
31. Gráficos  $P \times R$  e  $P \times I$  da Pilha
32. Tutorial para o DataStudio I
33. Montando circuitos

Last Comments

