# Exp. 2 – Seletor
# Parte 5 – Calibração do Seletor
## Aula 9 - 2009

**Prof. Henrique Barbosa**
**Edifício Basílio Jafet - Sala 100**
**Tel. 3091-6647**
**hbarbosa@if.usp.br**

**http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa**

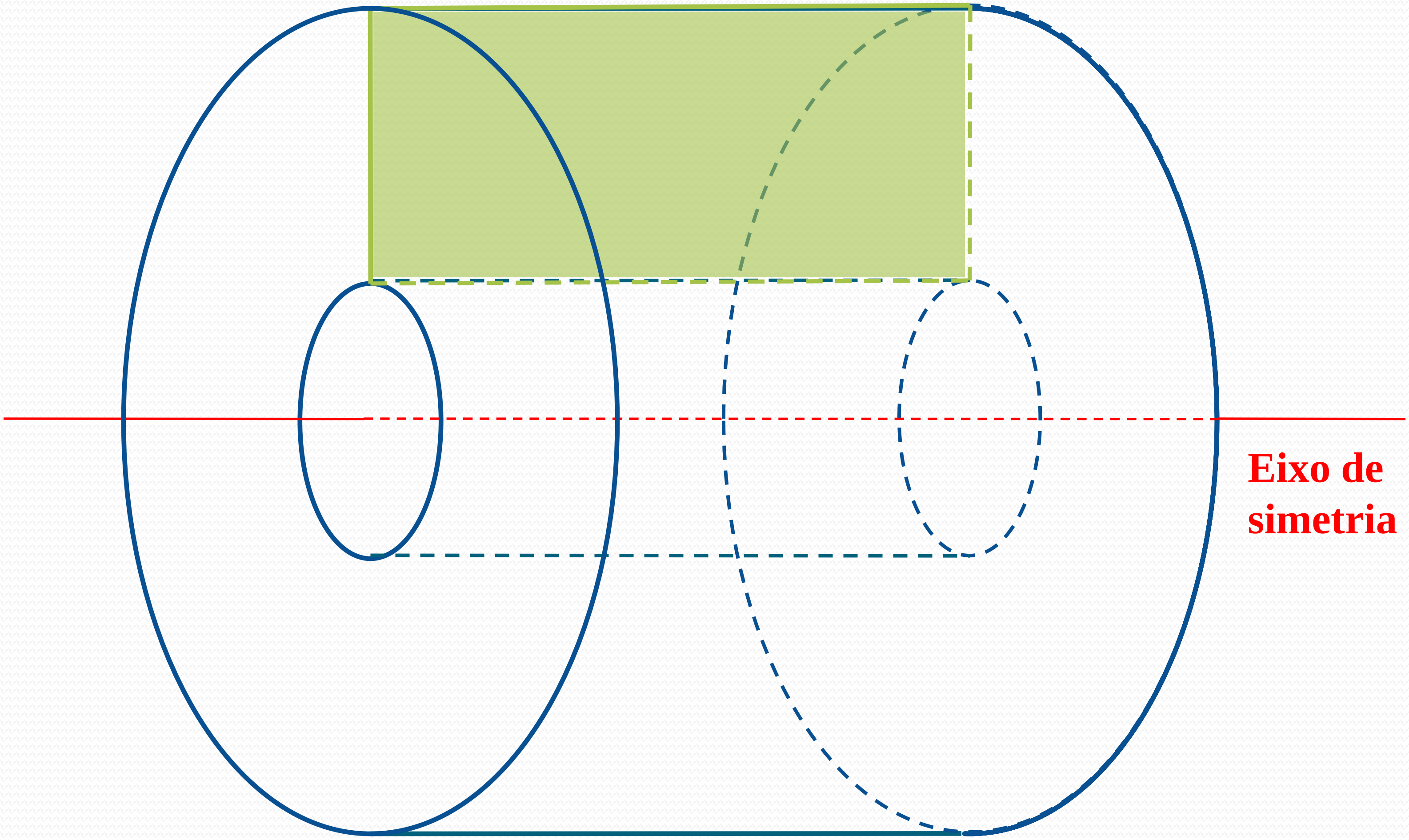
# ESTA AULA

1. **Como simular as bobinas no FEMM**
2. Discussão das sínteses
3. Movimento da partícula no campo elétrico e magnético ao mesmo tempo
4. Calibração do Seletor de Velocidades
5. Resolução do Seletor de Velocidades

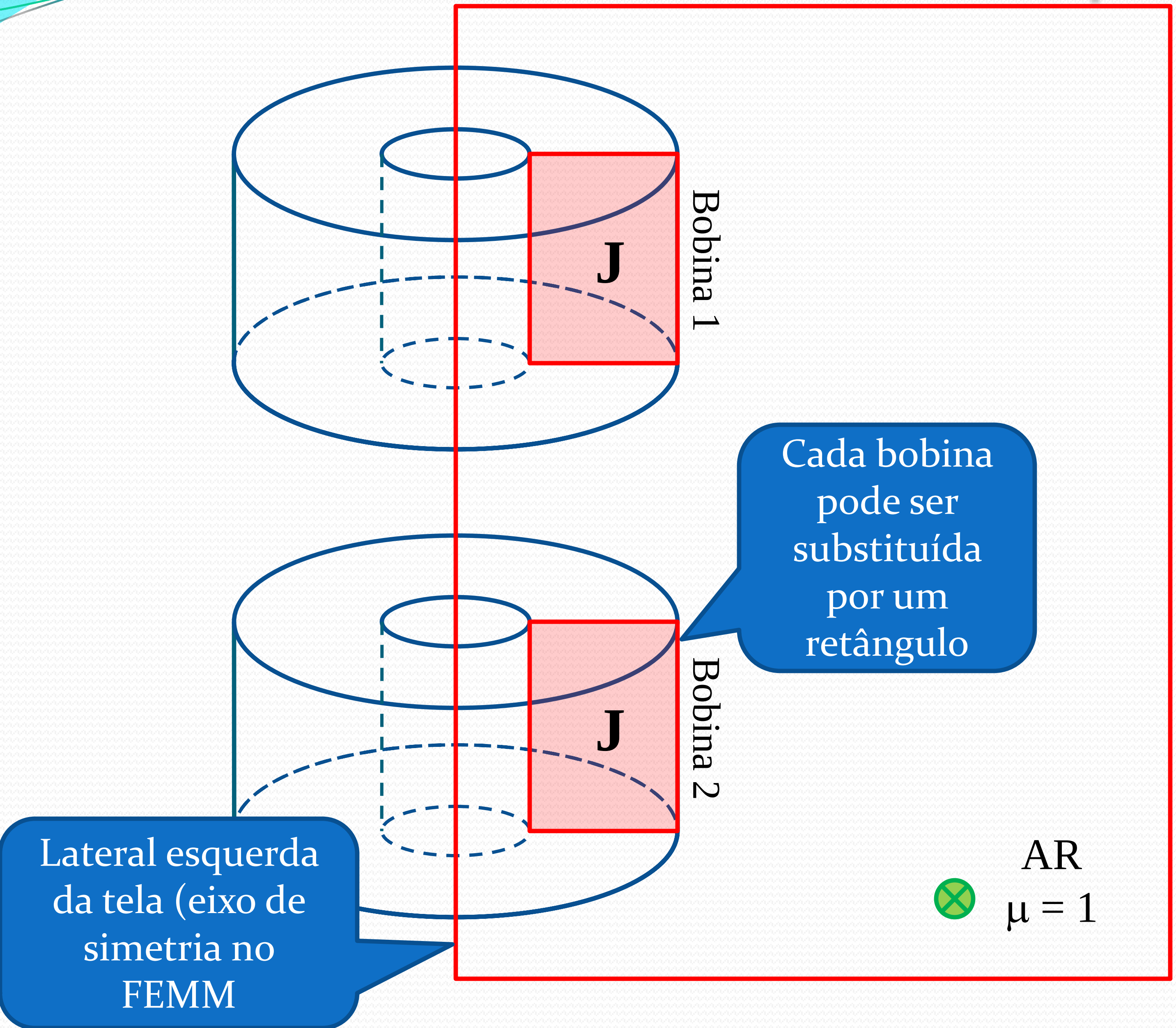
# COMO FAZER A SIMULAÇÃO DAS BOBINAS USANDO O FEMM??

- VÁRIOS GRUPOS TIVERAM PROBLEMA NA SINTÉSE DA SEMANA PASSADA, MAS EU NÃO ESTAVA AQUI PARA DISCUTIR.
- COMO ALGUNS PODEM QUERER REFAZER PARA DISCUTIR NO FINAL DO EXPERIMENTO, VAMOS VER AGORA.

# FEMM – Só resolve problemas com simetria... Neste caso: rotação



# FEMM – Geometria do problema

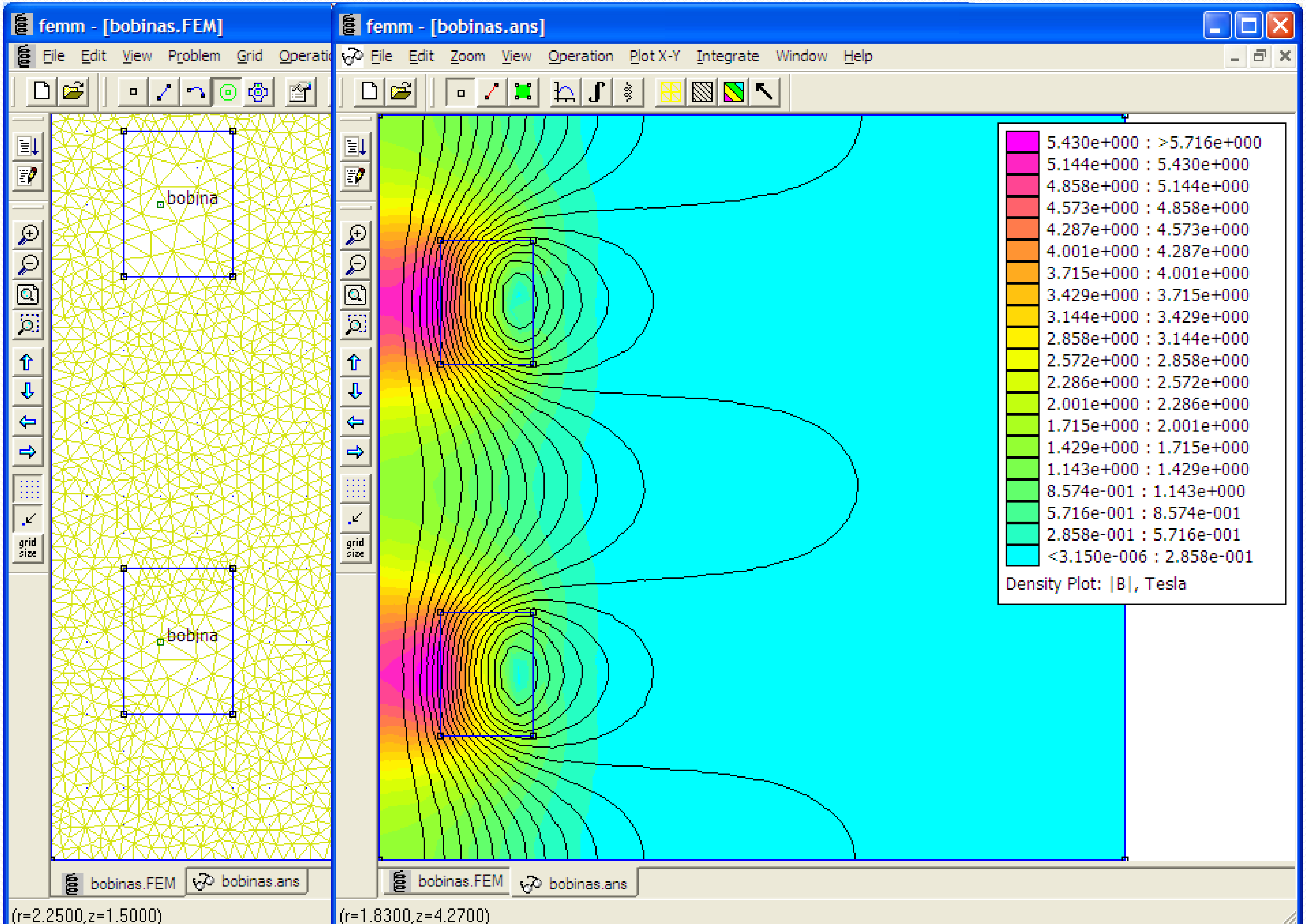



J é a densidade de corrente em cada bobina

$$J = \frac{Ni}{A}$$

Em vermelho é a geometria a ser desenhada no FEMM.

# FEMM…

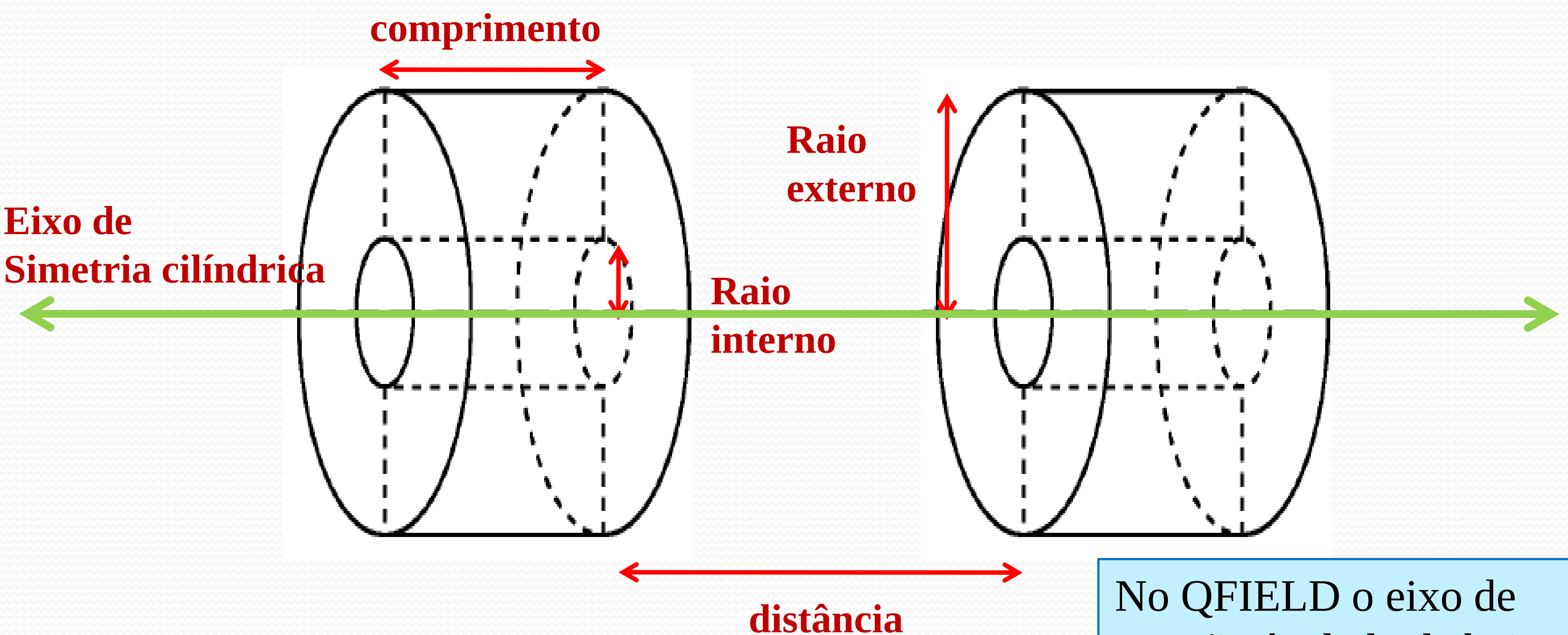


femm - [bobinas.FEM]
File Edit View Problem Grid Operati
bobina
bobina
bobinas.FEM
bobinas.ans
(r=2.2500,z=1.5000)
femm - [bobinas.ans]
File Edit Zoom View Operation Plot X-Y Integrate Window Help
5.430e+000 : >5.716e+000
5.144e+000 : 5.430e+000
4.858e+000 : 5.144e+000
4.573e+000 : 4.858e+000
4.287e+000 : 4.573e+000
4.001e+000 : 4.287e+000
3.715e+000 : 4.001e+000
3.429e+000 : 3.715e+000
3.144e+000 : 3.429e+000
2.858e+000 : 3.144e+000
2.572e+000 : 2.858e+000
2.286e+000 : 2.572e+000
2.001e+000 : 2.286e+000
1.715e+000 : 2.001e+000
1.429e+000 : 1.715e+000
1.143e+000 : 1.429e+000
8.574e-001 : 1.143e+000
5.716e-001 : 8.574e-001
2.858e-001 : 5.716e-001
<3.150e-006 : 2.858e-001
Density Plot: |B|, Tesla
bobinas.FEM
bobinas.ans
(r=1.8300,z=4.2700)

# FEMM – Cuidados...

OBS importante:

- As dimensões são da área que passa corrente e não dos suportes, etc.
- Definir o problema como “Axissymetric”



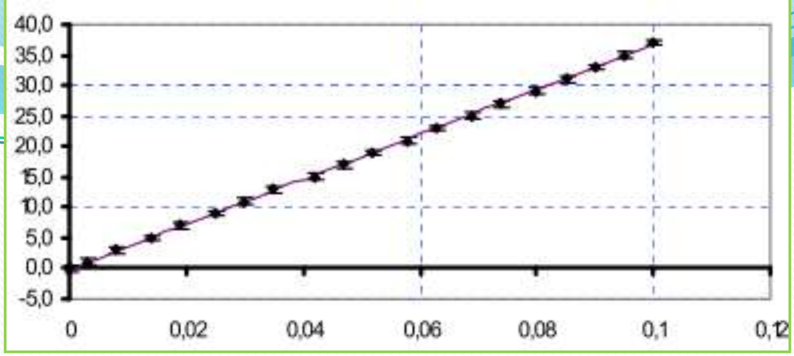

No QFIELD o eixo de rotação é o lado de baixo da tela !!!

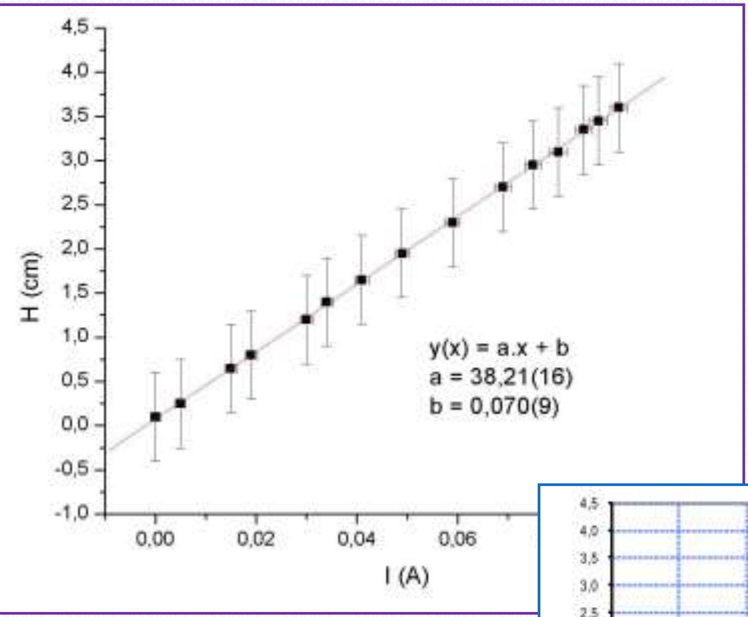
# ESTA AULA

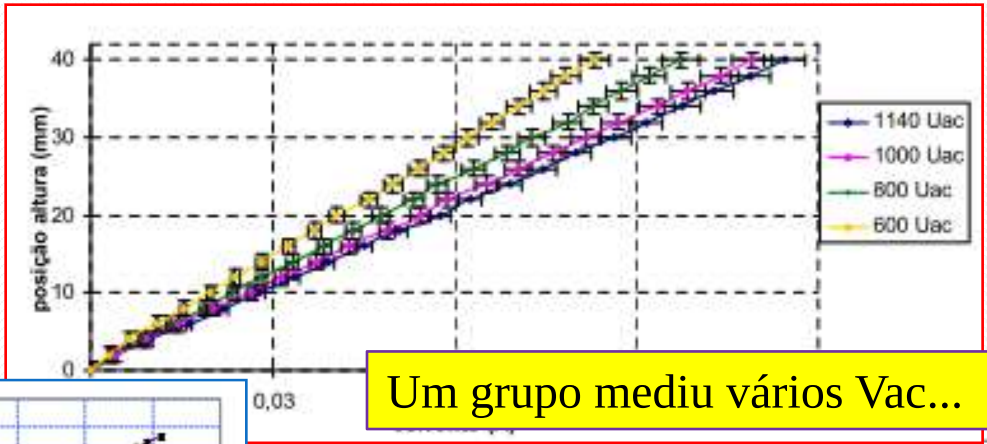
1. Como simular as bobinas no FEMM
2. **Discussão das sínteses**
3. Movimento da partícula no campo elétrico e magnético ao mesmo tempo
4. Calibração do Seletor de Velocidades
5. Resolução do Seletor de Velocidades

# H x i

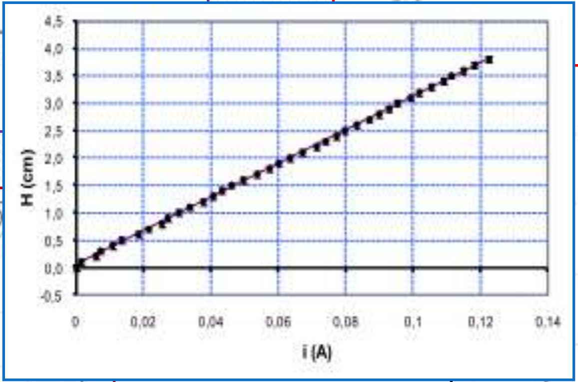
Todos fizeram!

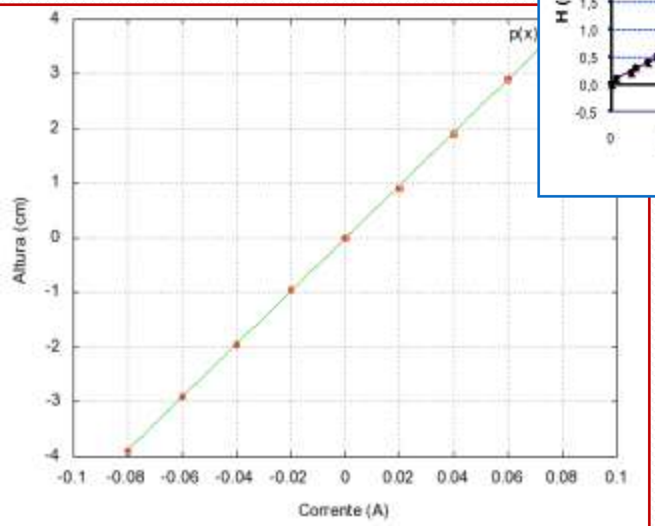


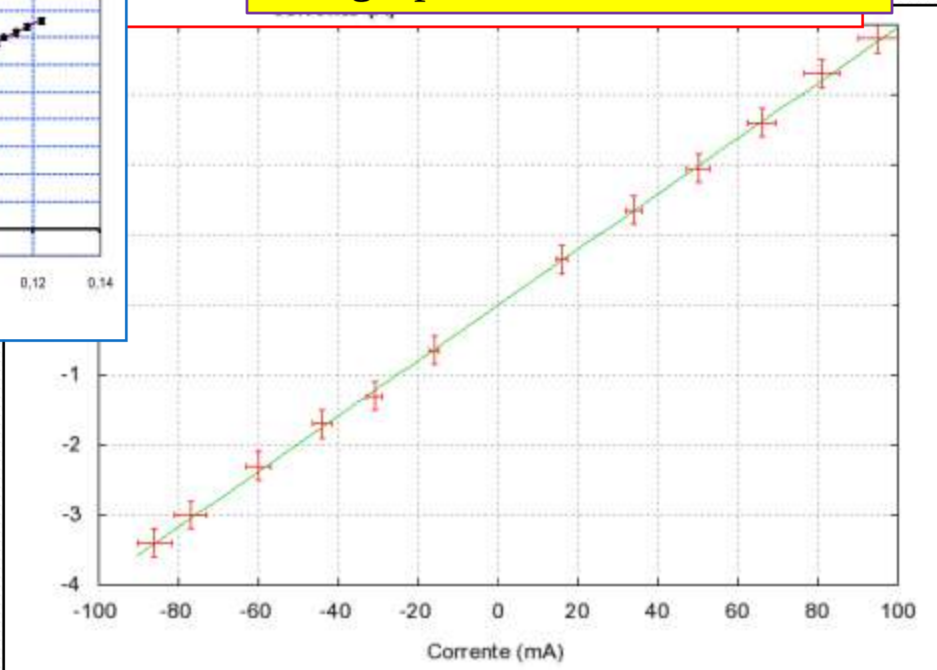




Um grupo mediu vários Vac...

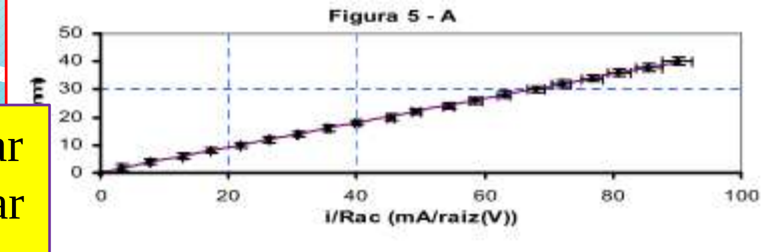


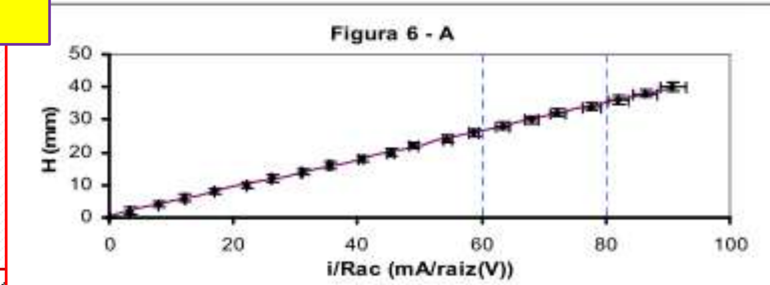



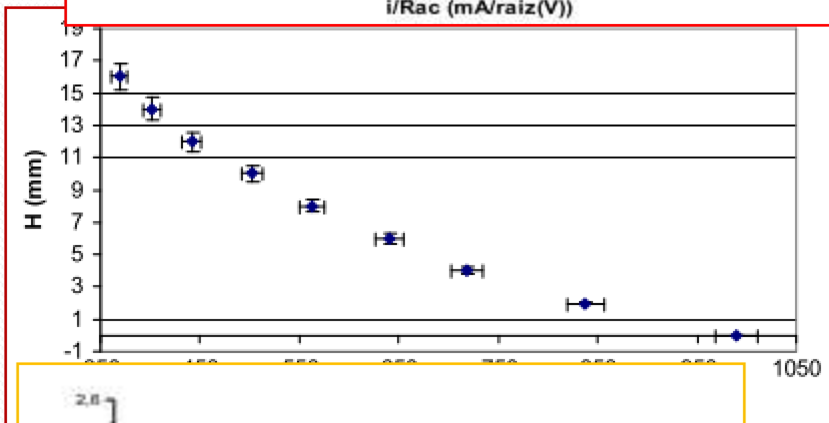



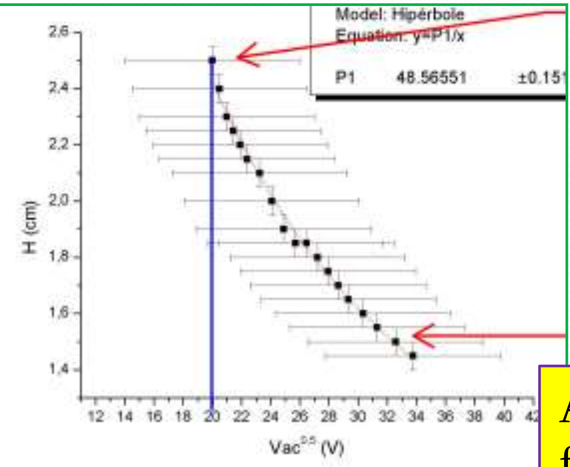
# H x Vac

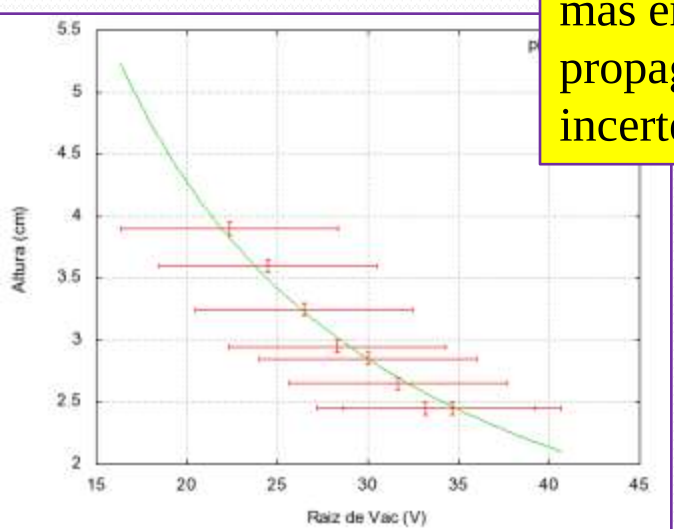
Dava para linearizar o problema e ajustar uma reta!

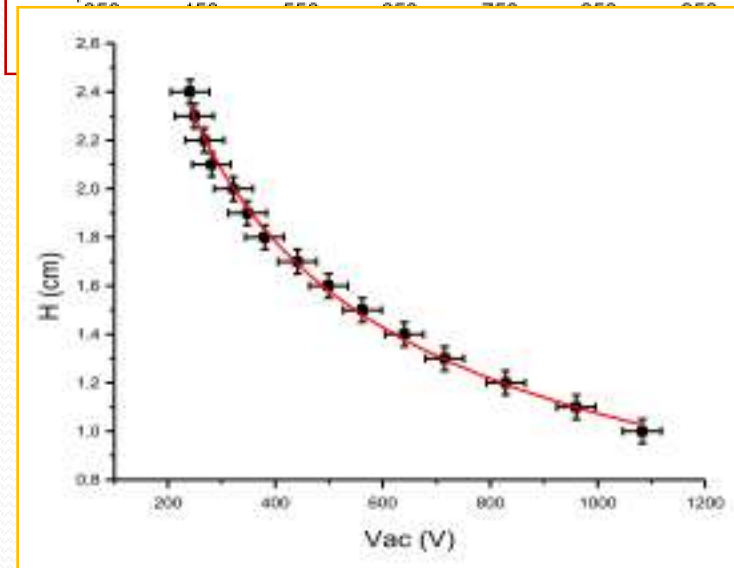



Alguns grupos fizeram raiz(Vac), mas erraram a propagação de incertezas!

# Medidas

$$H = C\frac{i}{\sqrt{V_{ac}}}$$

$$C = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{q}{2m}}L_b L\beta$$

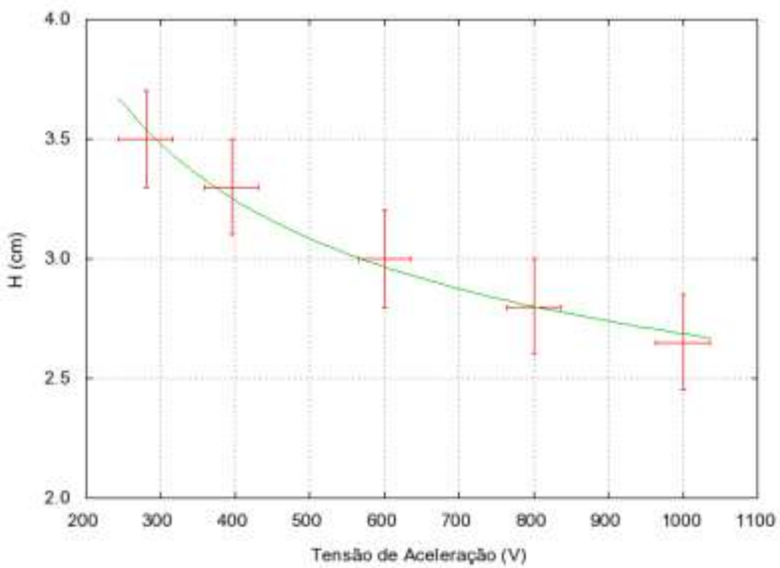
| | ß (G/A) | H x i cm $V^{0.5}$ $A^{-1}$ | H x Vac cm $V^{0.5}$ $A^{-1}$ | L1 (cm) | L2 (cm) | Blocal (gauss) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H01 | | | | | | |
| H02 | 15,97(75) | 12429(267) | 13683(861) | 12,3 (1,0) | | |
| H03 | 13,3(8) | 973(20) | 1466(79) | 19,4±1,2 | -- | 0,303(45) |
| H04 | 19,39 (55) | 0,4368 (96)<br>0,4322 (93)<br>0,4336 (90)<br>0,4409 (83) | 1278 (61)<br>1225 (52)<br>1168 (67)<br>1220 (17) | 0,1654 (48) | | 21,5 (50) |
| H05 | 12.00(73) | 1189(25) | 1274(84) | 22,04(45) | 23,41(76) | -- |
| H06 | 18,6(23) | 1226(12) | 1187(10) | 15,1(44) | | 3600 (1500) |
| H07 | 10,782(252) | 1208,32 (535) | | 25,19(80) | | 0,2584(3) |
| H08 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| H09 | -- | -- | | | -- | -- |
| H10 | 13,40(43)<br>23,56 | -- | 1325,399 (42,789) | -- | 2,3830(23) | 0,02237(27) |

Precisão na incerteza!

# Campo Magnético da Terra

Deixando o TRC perpendicular ao campo geomagnético e sem ligação com a fonte de tensão, os elétrons devem ser defletidos da mesma forma que o são quando as bobinas estão gerando os campos, porém desta vez é apenas o campo magnéico local que influencia o movimento dos elétrons.

O procedimento para a construção do gráfico é o mesmo que quando utiliza-se a corrente das bobinas fixa:




Então a partir da equação (2) poderíamos achar um valor para um novo $\beta$ usando os valores para o comprimento efetivo das placas. Porém, para calcularmos um valor para o campo geomagnético local precisamos saber o valor da corrente elétrica que gera o campo, o que é extremamente complexo, tornando muito difícil o cálculo do mesmo.

$$H = \frac{qL_B L}{2mv_{0x}} B$$

$$\cancel{B = \beta i}$$

$$\frac{1}{2} m v_{0x}^2 = qV_{AC}$$

$$H = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{q}{2m}} L_B L \frac{B}{\sqrt{V_{AC}}}$$

B=cte

$L_B$ = comprimento TOTAL

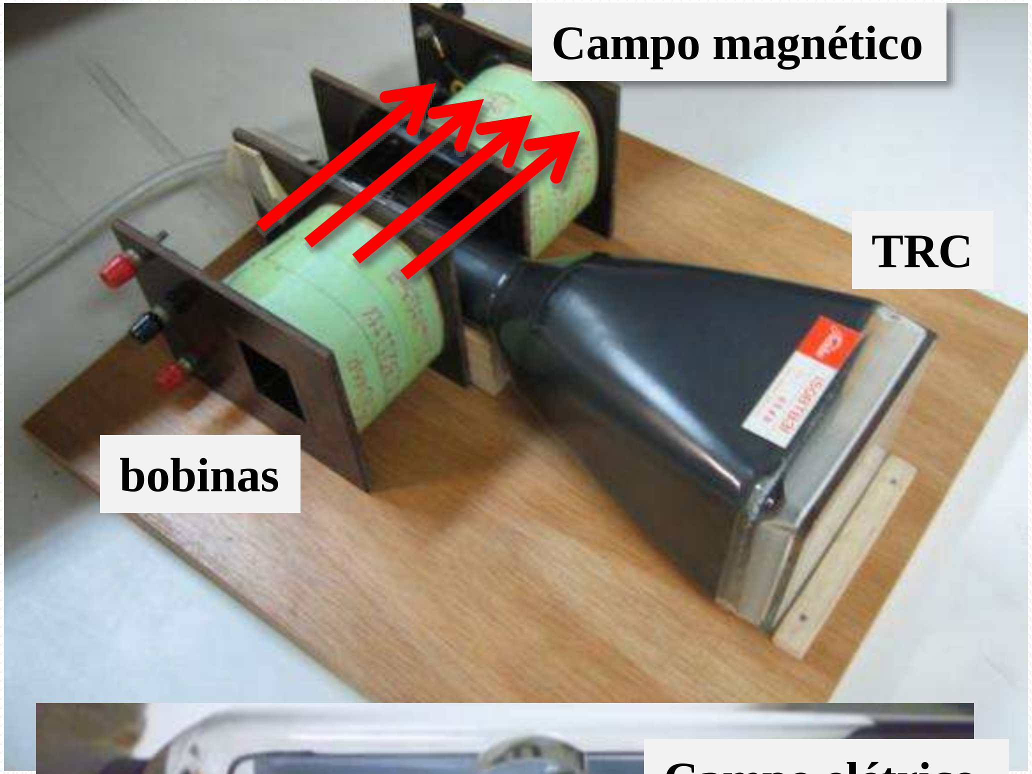
Cada medida dá uma componente => virar o TRC em 3 posições ortogonais!

# ESTA AULA

1. Como simular as bobinas no FEMM
2. Discussão das sínteses
3. **Movimento da partícula no campo elétrico e magnético ao mesmo tempo**
4. Calibração do Seletor de Velocidades
5. Resolução do Seletor de Velocidades

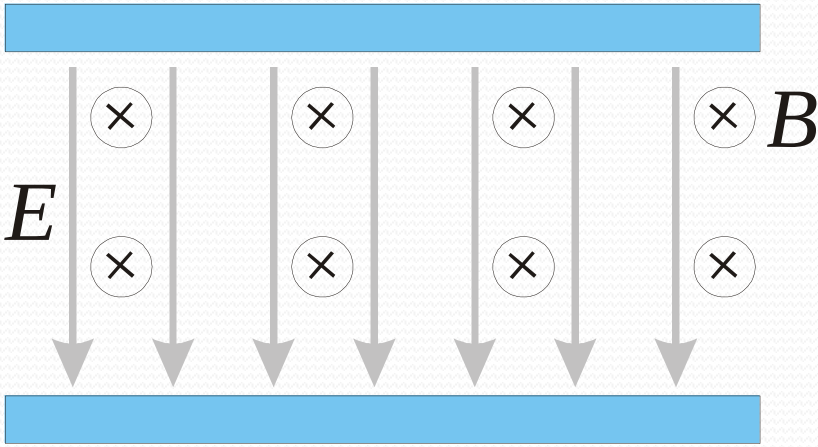
# Nosso acelerador de partículas

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

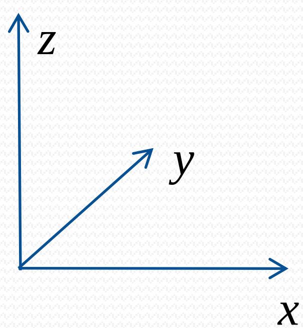


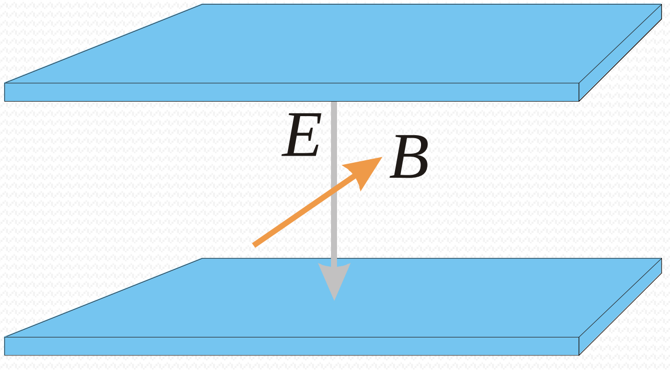

# Objeto de estudo: o Filtro de Wien

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




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



# Movimento nos campos idealizados

- Vamos resolver o movimento dentro da bobina

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

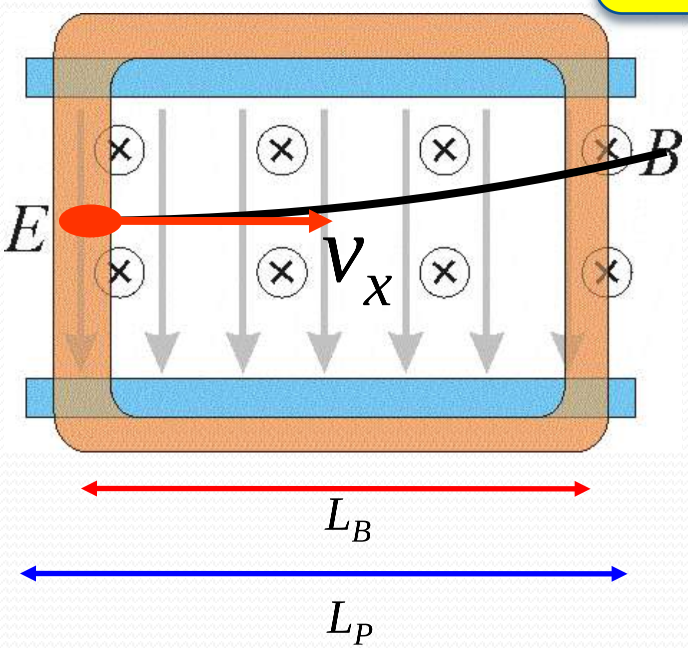
$$B\left(v_x\hat{k} - v_z\hat{i}\right)$$

$$\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{i}$$

$$\vec{v} = v_x\hat{i} + v_y\hat{j} + v_z\hat{k}$$

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

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



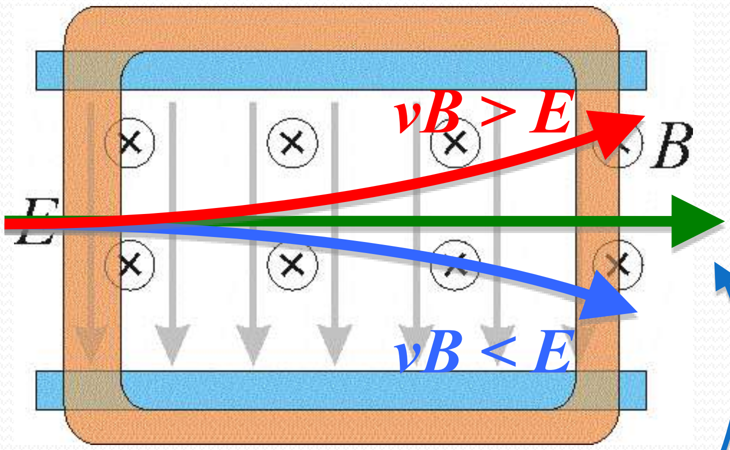

$$m\frac{d}{dt}\vec{v} = q\left(v_x B - E\right)\hat{k} - qBv_z\hat{i}$$

Precisamos resolver?

# Vamos olhar de perto este seletor

- Qual é a condição na qual a partícula não sofre desvio?

$$m\frac{d}{dt}\vec{v} = q(v_x B - E)\hat{k} - qBv_z\hat{i}$$




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

- Condição de força resultante nula:

$v_z$ inicial é nula. Se não houver força na componente $k$ isto não muda

$$\vec{F} = q(v_x B - E)\hat{k} - qBv_z\hat{i} = 0$$

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

Se a velocidade da partícula for igual à razão entre campo elétrico e magnético o desvio sofrido é nulo

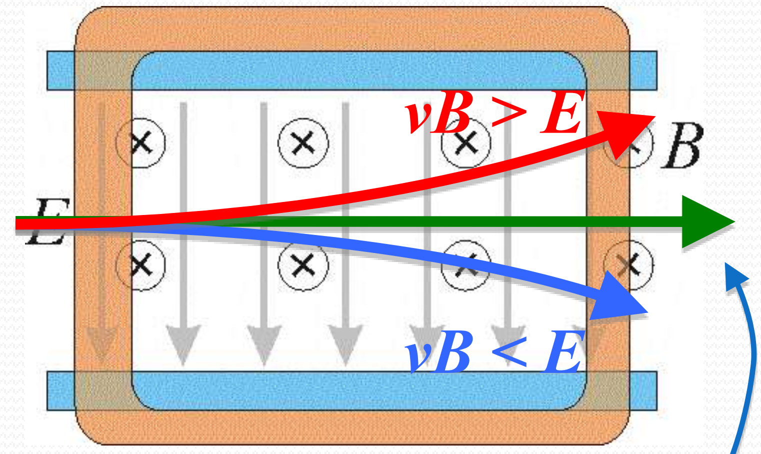
# Vamos olhar de perto este seletor

- Mas também podemos pensar em cada movimento separadamente
  - Já estudamos que a deflexão devido ao campo elétrico (apenas) vale:

$$h_E = \frac{qL_P E}{mv_{0x}^2}\left(\frac{L_P}{2} + D_{PS}\right)$$

  - E a deflexão devido ao campo magnético vale:

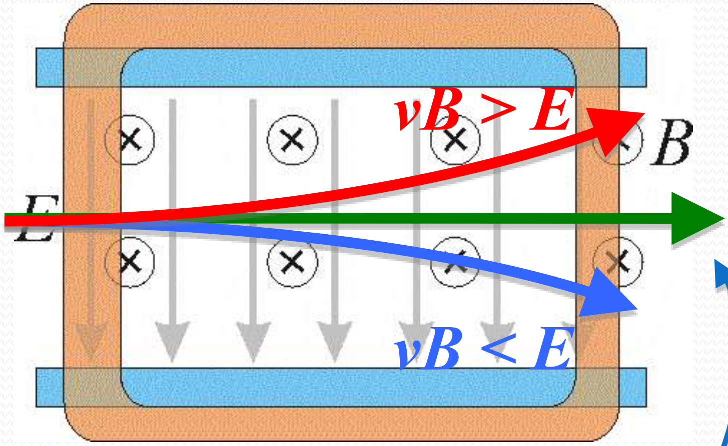
$$H_B = \frac{qL_B L}{2mv_{0x}} B$$




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

# Vamos olhar de perto este seletor

- Na situação que não há desvio da partícula, um movimento compensa o outro e assim:




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

- Ou seja:

$$\frac{qL_P E}{mv_{0x}^2}\left(\frac{L_P}{2} + D_{PS}\right) = \frac{qL_B L}{2mv_{0x}}B$$

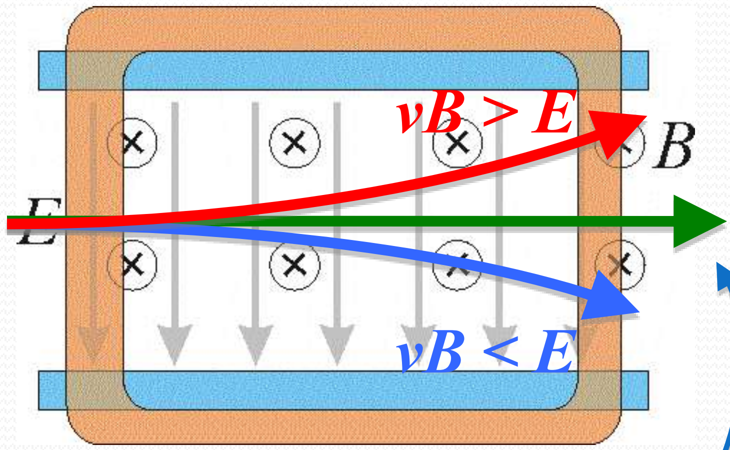
- Assim:

$$v_{0x} = \frac{2L_P}{L_B L}\left(\frac{L_P}{2} + D_{PS}\right)\frac{E}{B}$$

# Vamos olhar de perto este seletor

- Mas nós sabemos, pelas equações de movimento, que a velocidade de filtro é:

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




- Sabendo que:

$$v_{0x} = \frac{2L_P}{L_B L}\left(\frac{L_P}{2} + D_{PS}\right)\frac{E}{B}$$

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

- Para que o nosso modelo seja válido precisamos que:

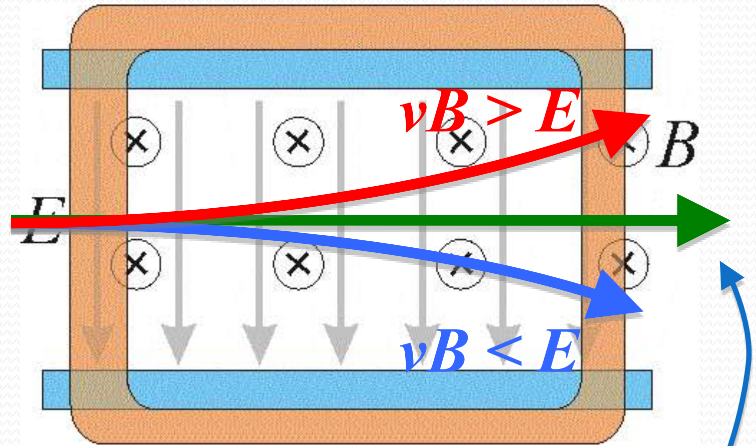
$$k = \frac{2L_P}{L_B L}\left(\frac{L_P}{2} + D_{PS}\right) \sim 1$$

# ESTA AULA

1. Como simular as bobinas no FEMM
2. Discussão das sínteses
3. Movimento da partícula no campo elétrico e magnético ao mesmo tempo
4. **Calibração do Seletor de Velocidades**
5. Resolução do Seletor de Velocidades

# Calibração do seletor de velocidades

- Primeiramente precisamos verificar se o nosso modelo de campos ideais se aplicam. Neste caso, a partir dos dados das semanas anteriores, obter o valor de k e checar se:




$$k \sim 1$$

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

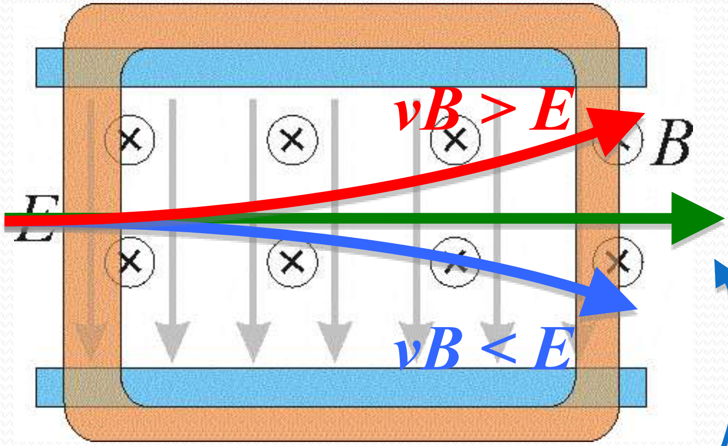
- Nós sabemos também que o campo elétrico é proporcional à tensão entre as placas e que o campo magnético é proporcional à corrente nas bobinas, ou seja:

$$E = \frac{V_P}{d}, \qquad B = \beta i$$

# Calibração do seletor de velocidades

- Ou seja, para a velocidade de filtro, sem desvio:

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




- Podemos fazer que:

$$v_{0x} = \frac{1}{\beta d}\frac{V_P}{i}$$

- Ou seja:

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

$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$

Selecionamos as velocidades apenas controlando $\boldsymbol{V_p}$ e $\boldsymbol{i}$

***Só vale para a partícula que passa reto***

# Objetivos da semana

IMPORTANTE!

- Verificar se o nosso modelo de campos ideais se aplica. Neste caso, a partir dos dados das semanas anteriores, obter o valor de $k$ e checar se:

$$k = \frac{2L_P}{L_B L}\left(\frac{L_P}{2} + D_{PS}\right) \sim 1$$

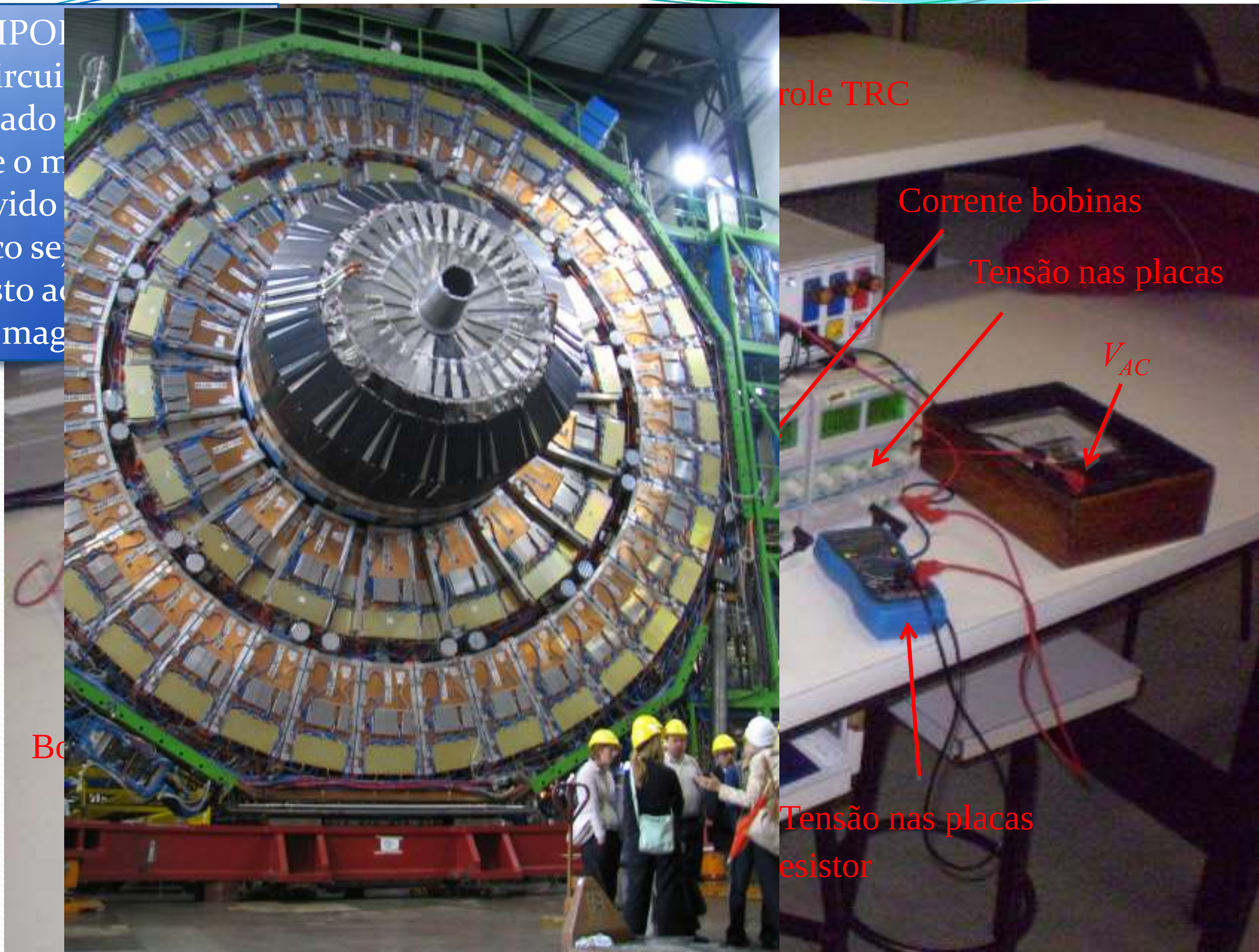
- Calibrar o seletor de velocidades. A partir da relação:

$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$

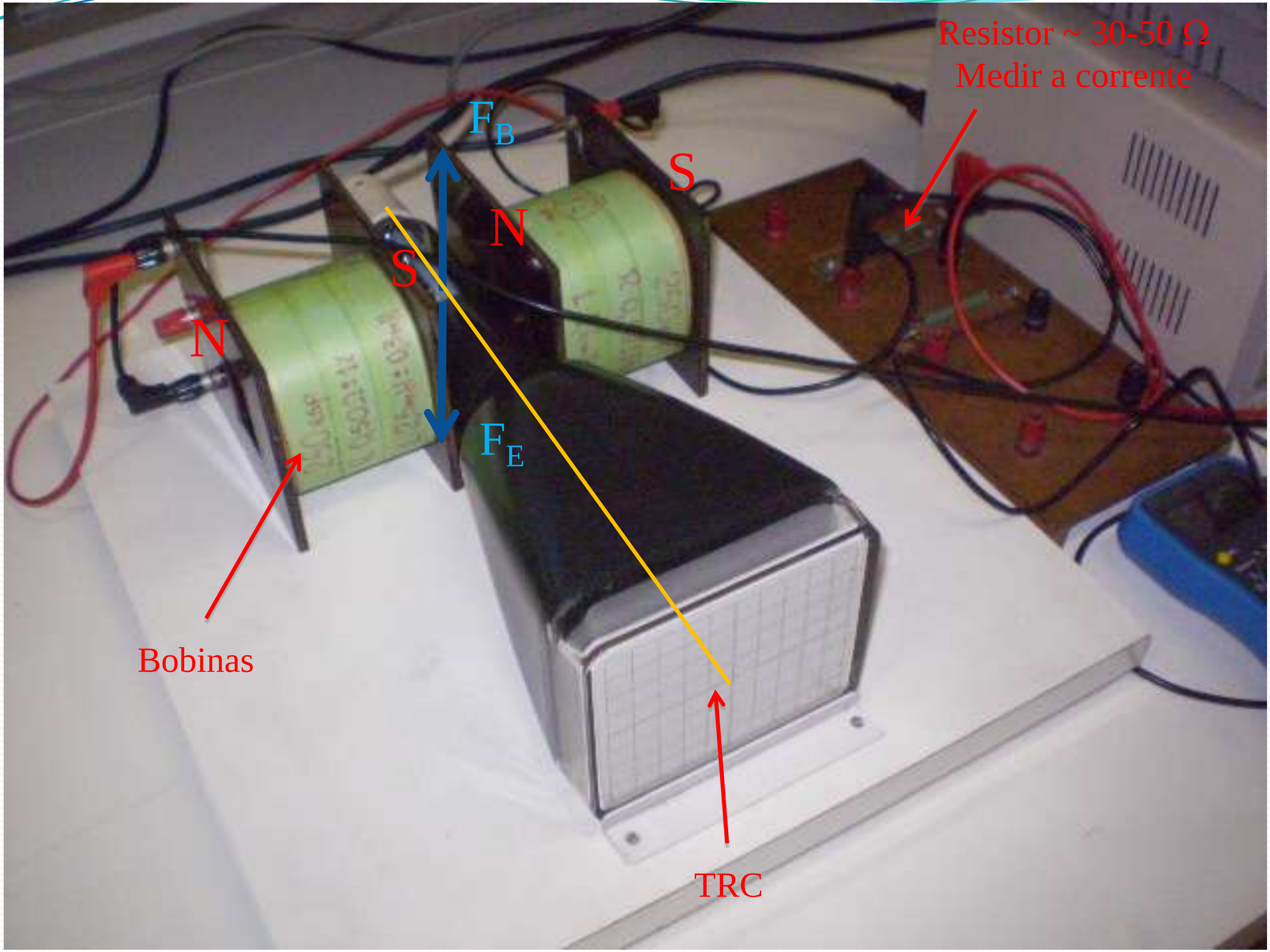
  - Determinar a constante $\alpha$. Sabendo que $\alpha = 1/\beta d$, obter o valor de $d$ e comparar com os resultados obtidos há duas semanas

# O Seletor de velocidades

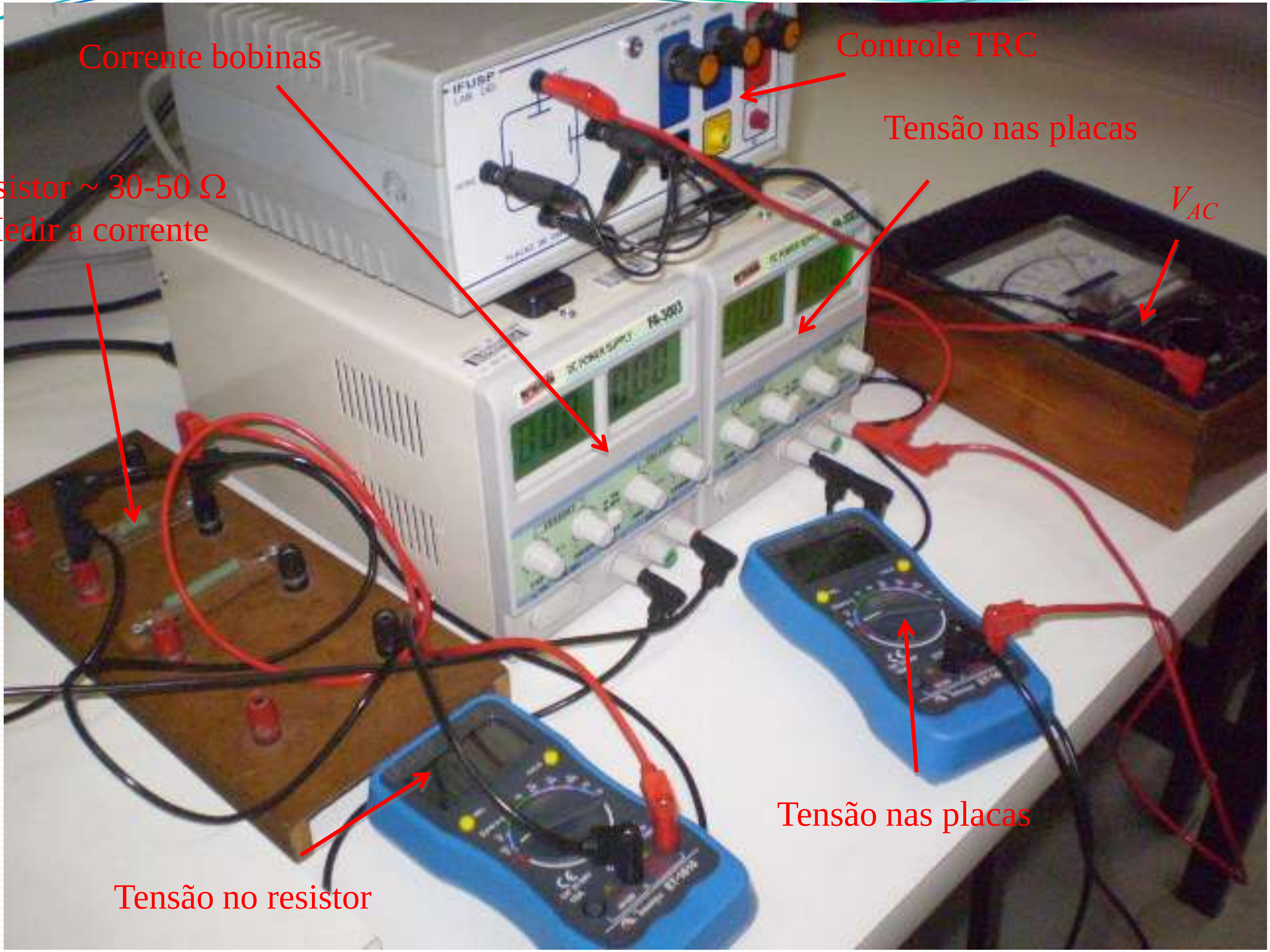
IMPOI
O circui
montado
que o m
devido
elétrico se
oposto a
mag



# O Seletor de velocidades

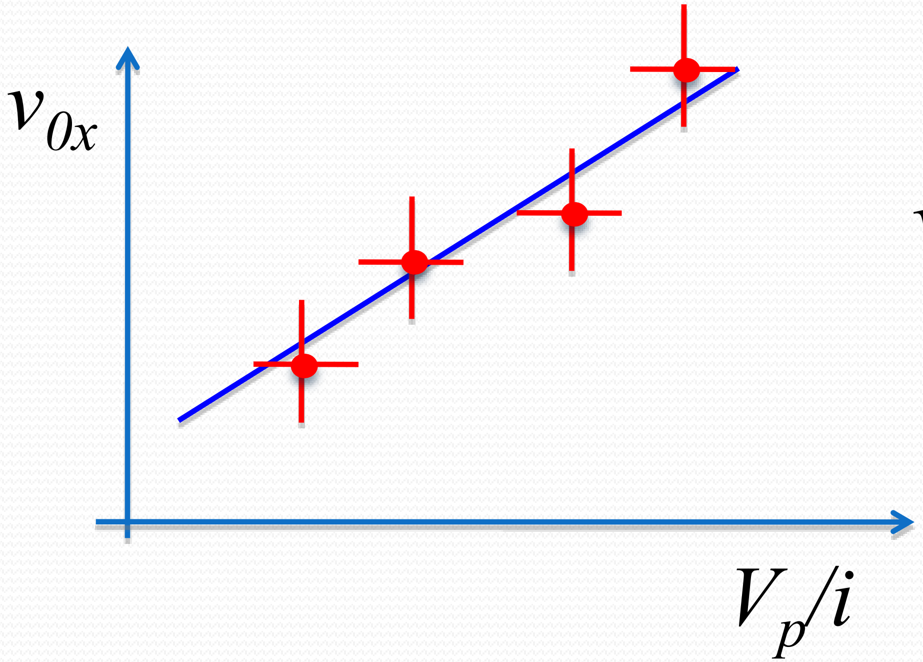


# O Seletor de velocidades



# Como calibrar o seletor e obter $\alpha$?

- Precisamos fazer o gráfico

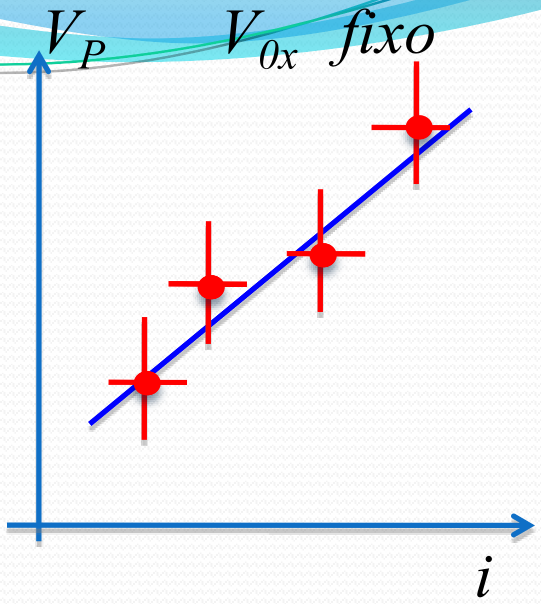


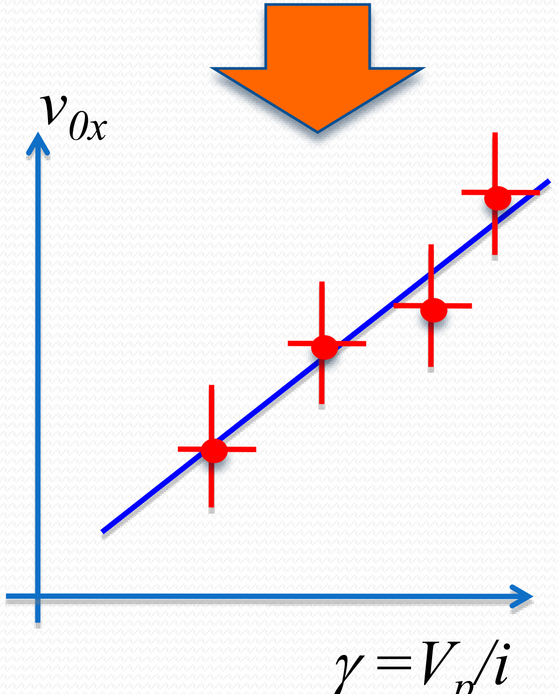

$$v_{0x} = \alpha \frac{V_P}{i}$$

- Como obter cada ponto do gráfico de forma precisa?

# Procedimento

- Selecione uma tensão de aceleração ($V_{AC}$) e obtenha $v_{0x}$.
- Com tensão entre as placas NULA ($V_P = 0$), ajuste a corrente (i) para que o deslocamento devido ao campo magnético seja 1 cm. Meça i.
- Ajuste a $V_P$ para compensar este deslocamento e voltar a partícula para a origem. Meça $V_P$.
- Repita os estes passos para h=1, 2, 3cm, ...
- Faça o gráfico de $V_P$ em função de i para estes dados.
- O coeficiente angular obtido é o valor de $\gamma = V_P/i$ para o $v_{0x}$ selecionado.
- Repita os passos acima para, pelo menos, mais 3 valores de $v_{0x}$ ($V_{AC}$) e faça o gráfico ao lado
  - Total de pelo menos 4 pontos



# Atividades da semana (1)

IMPORTANTE!

- Verificar se a aproximação teórica para o seletor se aplica
  - Calcular a constante k e verificar se a ordem de grandeza é próxima de 1. Discutir os resultados.
- Calibrar o seletor de velocidades
  - Obter a constante $\alpha$ que relaciona a velocidade de filtro com a tensão entre as placas e a corrente nas bobinas
    - Gráficos ajustados de $V_P$ em função da corrente para cada $v_{0x}$.
    - Gráfico ajustado de $v_{0x}$ em função de $V_P/i$ obtido dos ajustes acima.
    - Obtenha a distância efetiva entre as placas (d) e compare com valores obtidos anteriormente.
  - Discuta os resultados obtidos.

# ESTA AULA

1. Como simular as bobinas no FEMM
2. Discussão das sínteses
3. Movimento da partícula no campo elétrico e magnético ao mesmo tempo
4. Calibração do Seletor de Velocidades
5. **Resolução do Seletor de Velocidades**

# Seletor de velocidades: resolução espacial

- Vimos que, conhecendo a constante α do seletor, para selecionarmos uma velocidade (partículas dessa velocidade passam sem desvio) precisamos apenas conhecer a razão VP/i correspondente:

$$v_x = \alpha \frac{V_P}{i}$$

- Porém há um número infinito de valores de VP e i que dão a mesma razão VP/i.
- Como escolher?

# Seletor de velocidades

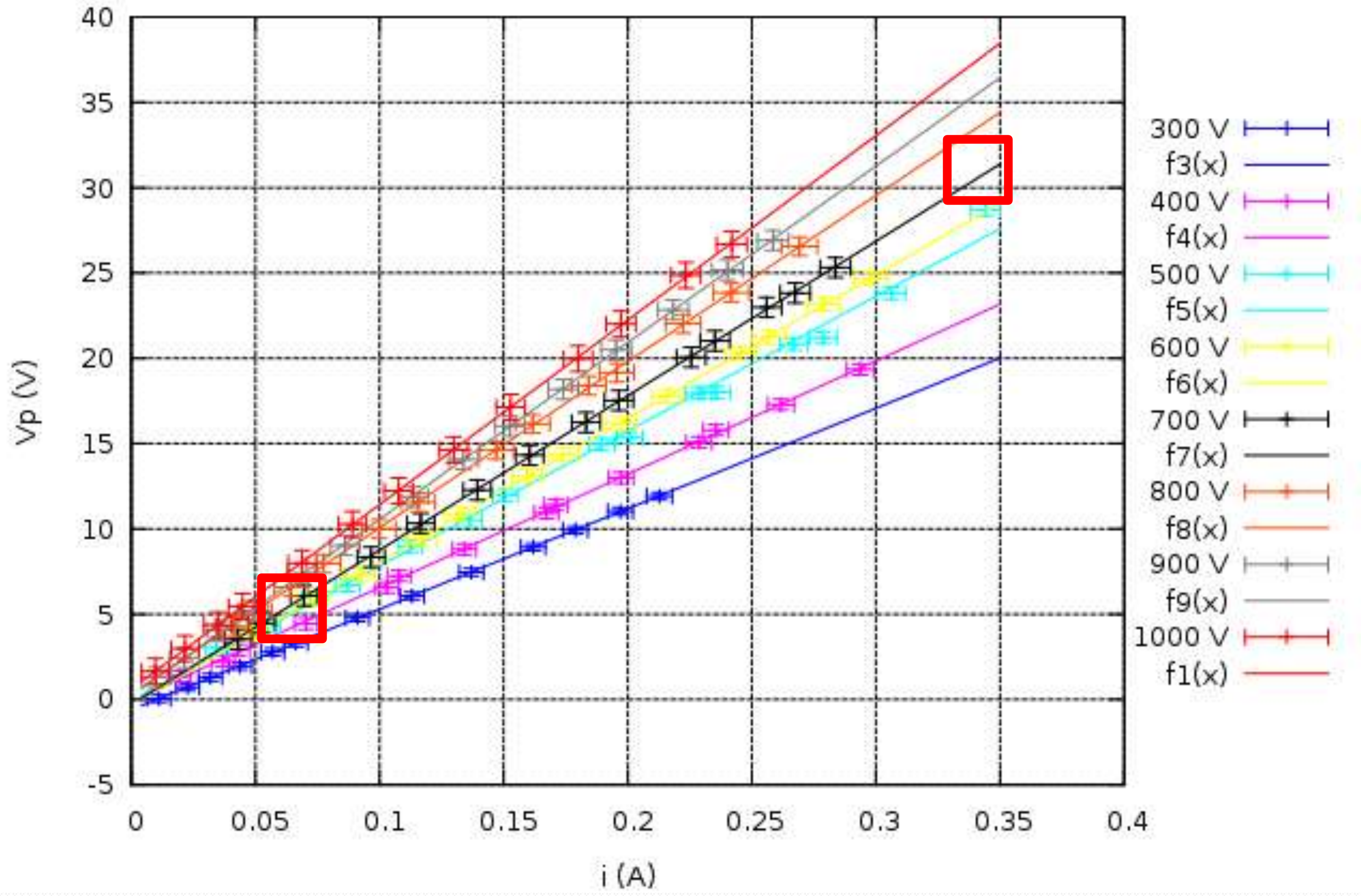
- Há uma limitação na tensão nas placas: a fonte vai até **30V**
- Há limitação na corrente nas bobinas em torno de **2,0 A** embora por uma questão de segurança a recomendação é que não se passe de **1,0A**.
- Mesmo com essas limitações há vários valores possíveis de $\mathbf{V_P}$ e **i** com a mesma razão $\mathbf{V_P/i}$.
- Posso escolher qualquer uma?
- Há alguma diferença no funcionamento do seletor?

# Seletor de velocidades

- Para investigar isso vamos precisar de outros parâmetros que caracterizem o instrumento

- Uma característica importante é a sensibilidade do aparelho, isto é, se ele foi construído para separar partículas carregadas pela sua velocidade, qual é a menor diferença em velocidade que ele consegue distinguir?

# Qual o melhor Vp/i ?

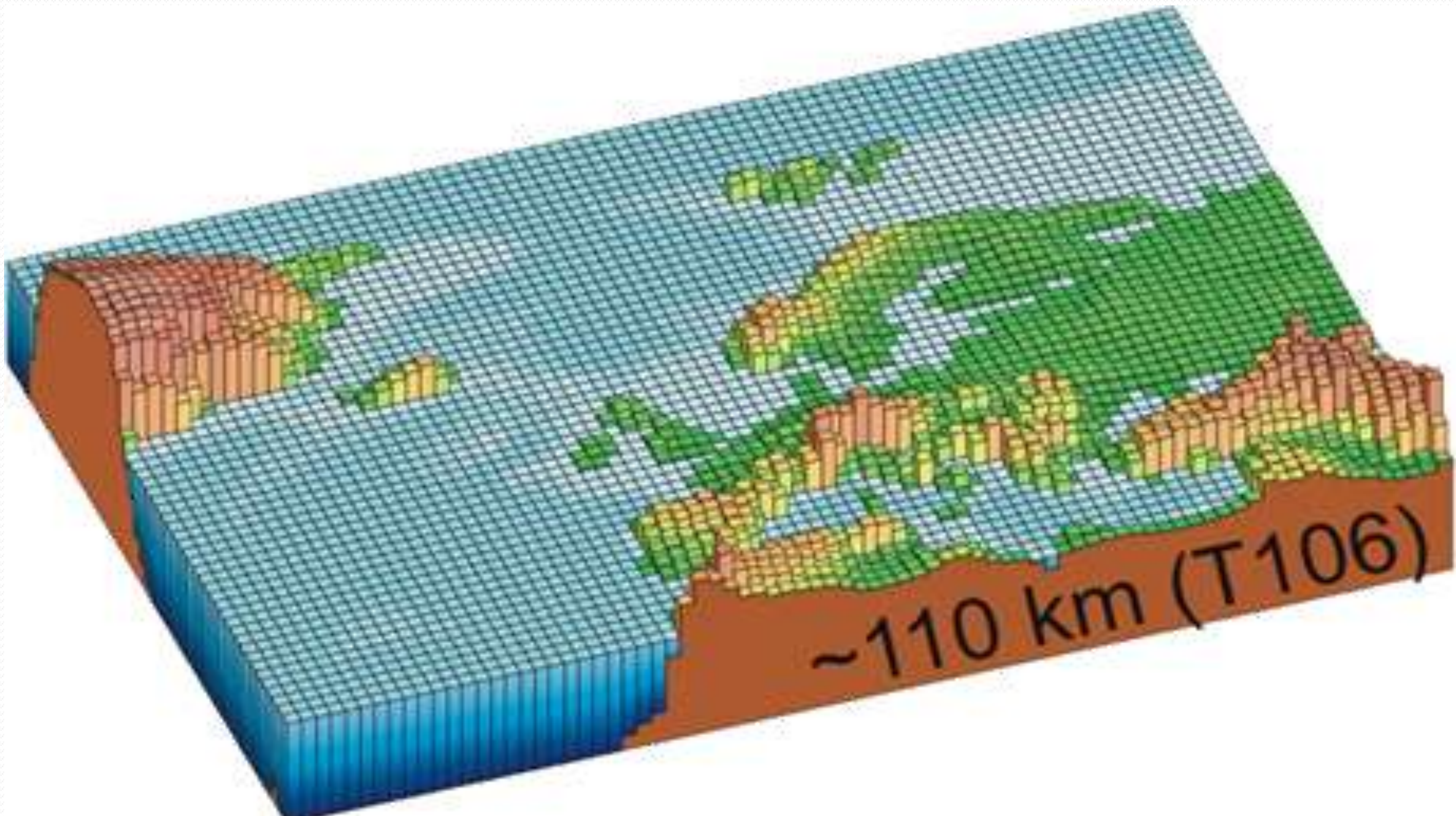


# Resolução

- Quando se constrói um aparelho que funcione como um filtro ou seletor de qualquer coisa, a primeira pergunta que se faz é:
  - Qual é a sensibilidade desse aparelho, ou seja, quão bem ele distingue aquilo que ele vai separar?

- Isso é medido por um parâmetro chamado resolução:
  - Se está separando massas: $$R = \frac{\Delta m}{m}$$
  - Se está separando por diâmetro: $$R = \frac{\Delta d}{d}$$
  - Se está separando por velocidade: $$R = \frac{\Delta v}{v}$$

# Exemplo



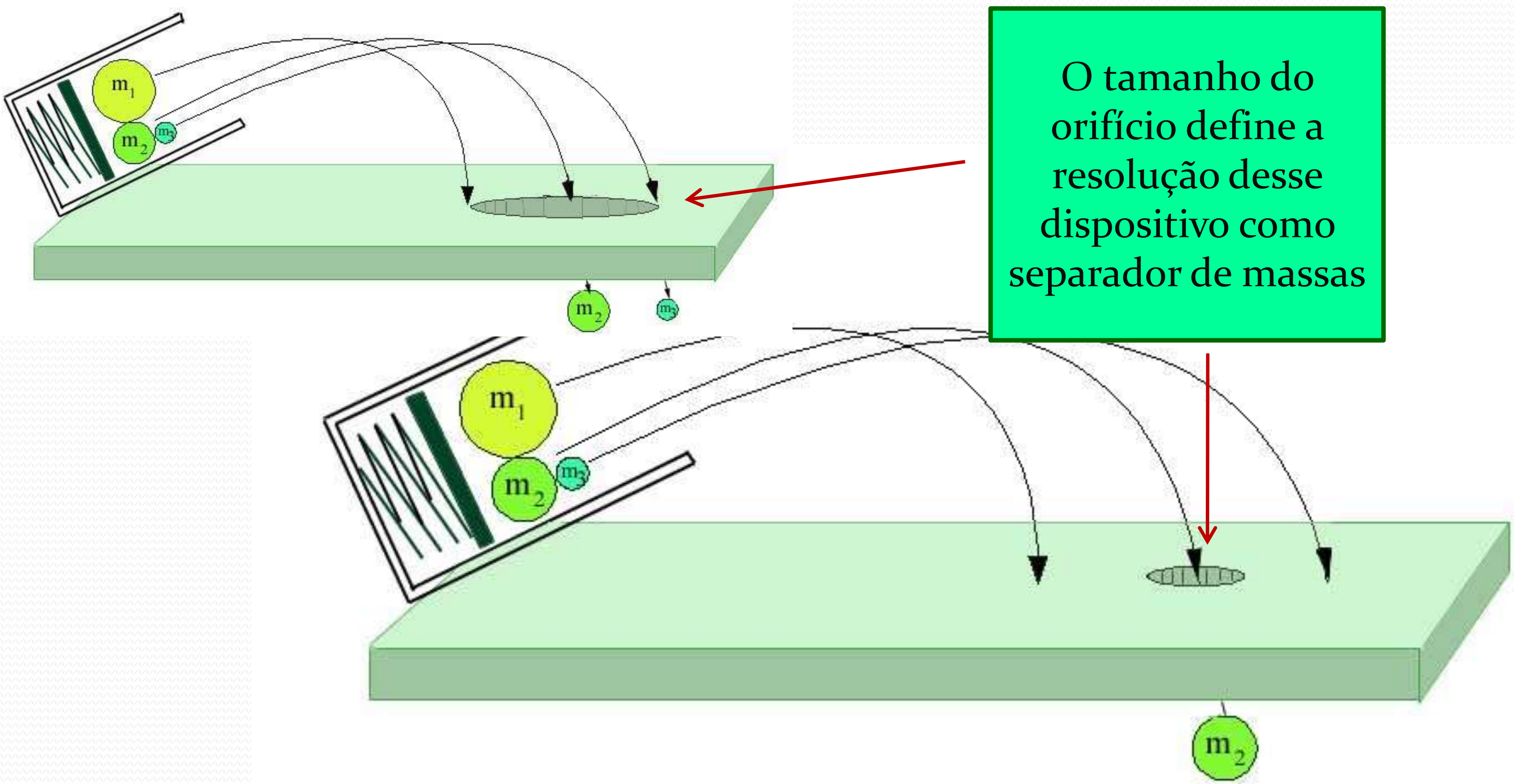
# Resolução em velocidade

- Vamos imaginar que tenhamos um orifício de diâmetro **d** alinhado com o eixo do seletor.
  - Quando se ajusta uma razão **$V_P/i$**, deve passar somente partículas com a velocidade escolhida pelo orifício
  - Mas existem outras partículas de velocidades muito próximas que vão sofrer pequenos deslocamentos

- Se o orifício tem um diâmetro de tamanho suficiente, passarão outras partículas por ele, cujas velocidades não foram selecionadas, mas que são tão próximas da selecionada que o instrumento não consegue distinguir

# Separação de massas por distâncias

Supor um canhão que atire bolas de massas diferentes seqüencialmente:



# Resolução em velocidade

- Nesse caso, precisamos definir um parâmetro do seletor de velocidade que nos indique em que medida ele é um bom separador de velocidades: a resolução do aparelho que é definida como:

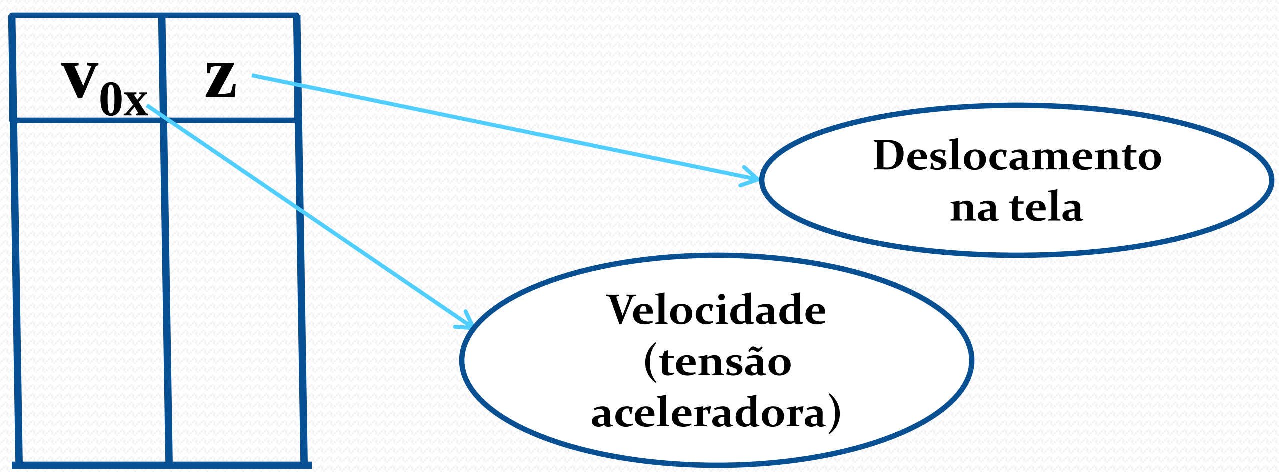
$$R = \frac{\Delta v_x}{v_x}$$

  - Onde $\mathbf{v_x}$ é a velocidade selecionada e $\mathbf{\Delta v_x}$ é o intervalo de velocidades que passou pelo orifício, ou seja, que o instrumento não distingue da velocidade selecionada

- Como se determina $\mathbf{\Delta v_x}$ ?

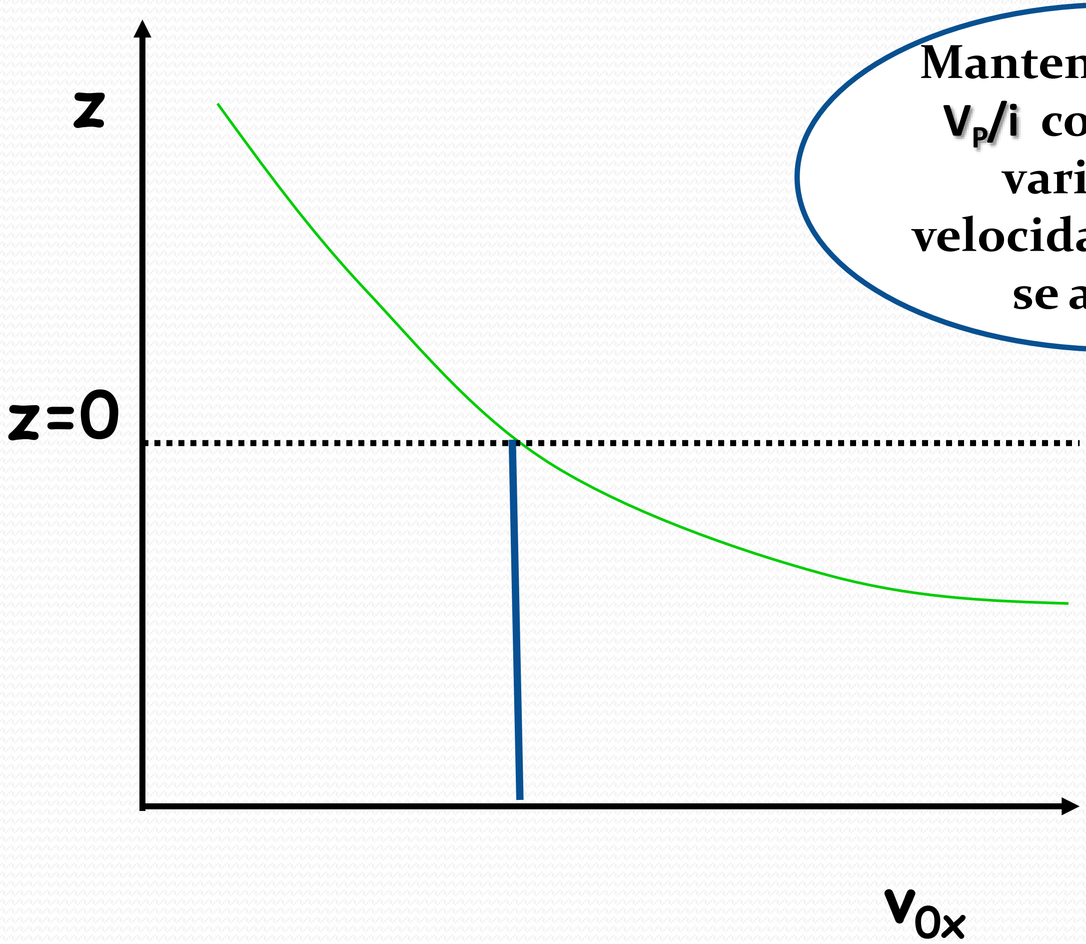
# Para medir $\Delta v_x$:

- Vamos fazer a seguinte medida:
  - Ligamos o seletor, selecionamos uma velocidade, $v_{0x}$, através de $V_{ac}$, para passar sem desvio
  - Em seguida vamos variar a velocidade e medir o deslocamento do feixe na tela (na direção $z$)
- Montar a tabela:



# Para medir $\Delta v_x$:

- Com essa tabela fazemos o gráfico **z** x $\mathbf{v_{0x}}$;

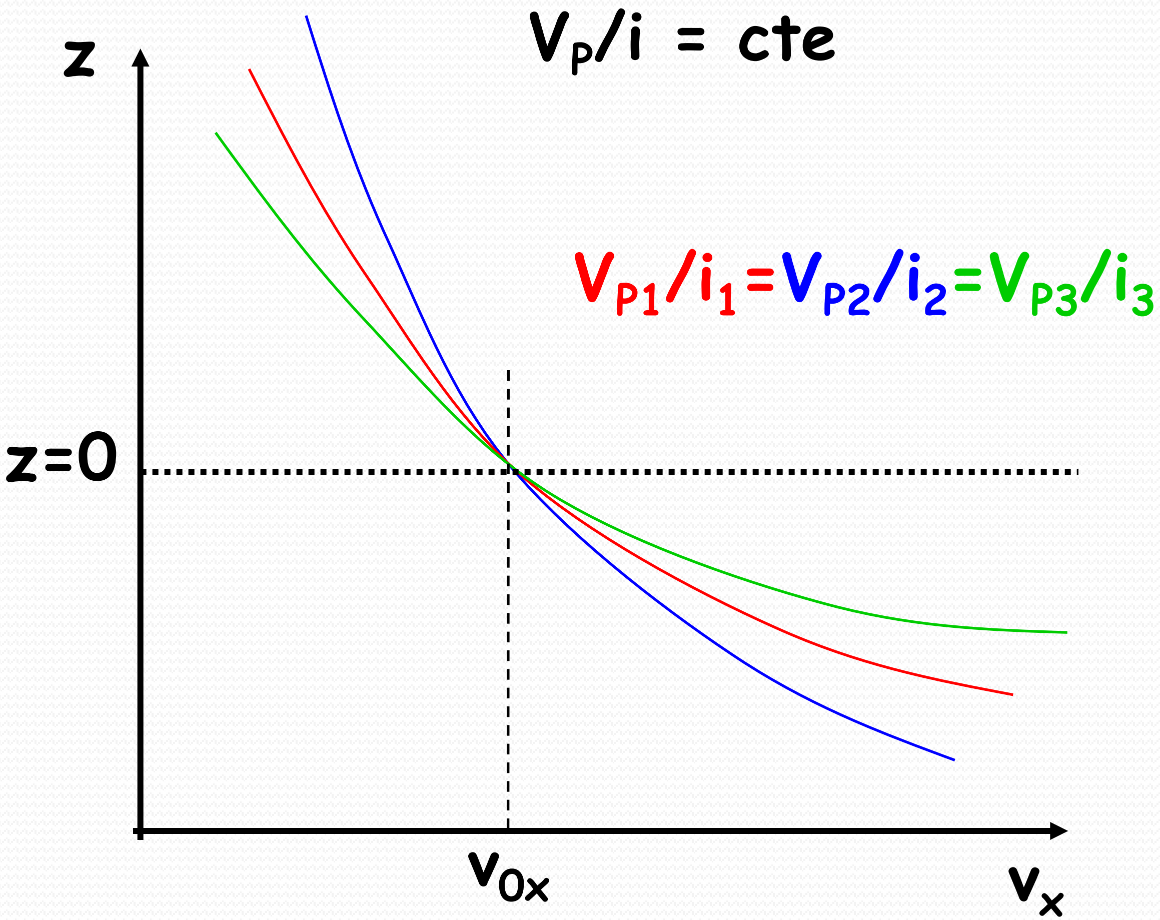



Mantendo a razão $V_P/i$ constante e variando a velocidade obtém-se a curva

Os pontos acima e abaixo da linha z=o correspondem a situações de desequilíbrio entre $F_E$ e Fm

# Medindo $\Delta v_x$:

Vamos fazer o mesmo gráfico, para a mesma razão $\mathbf{V_P/i}$ obtidas a partir de valores diferentes de $\mathbf{V_P}$ e **i**



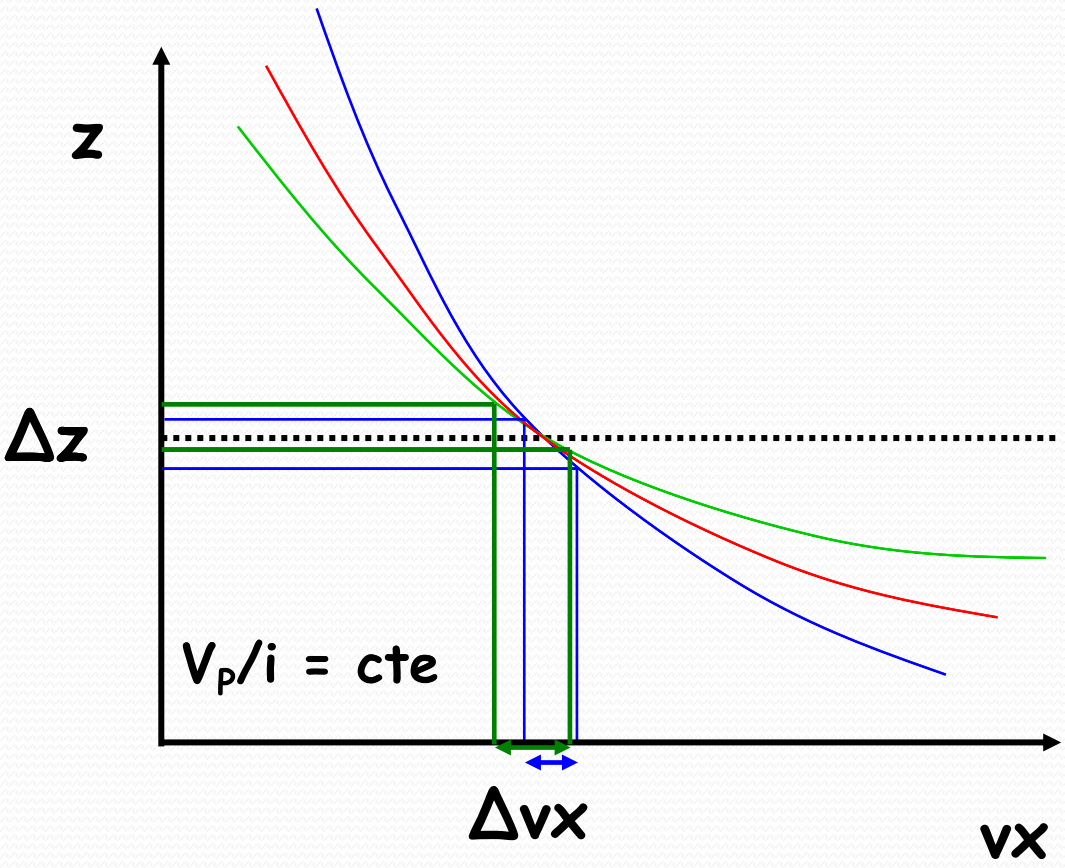

**Cada ponto nessas curvas corresponde a um deslocamento na tela no eixo z**

**Somente as partículas cujas velocidades estão nessa linha passam sem desvio, z=o**

# Medindo $\Delta v_x \rightarrow \Delta V_{AC}$

$$\frac{V_P}{i} = \frac{25}{0{,}3} = \frac{10}{0{,}12} = \frac{5}{0{,}06}$$

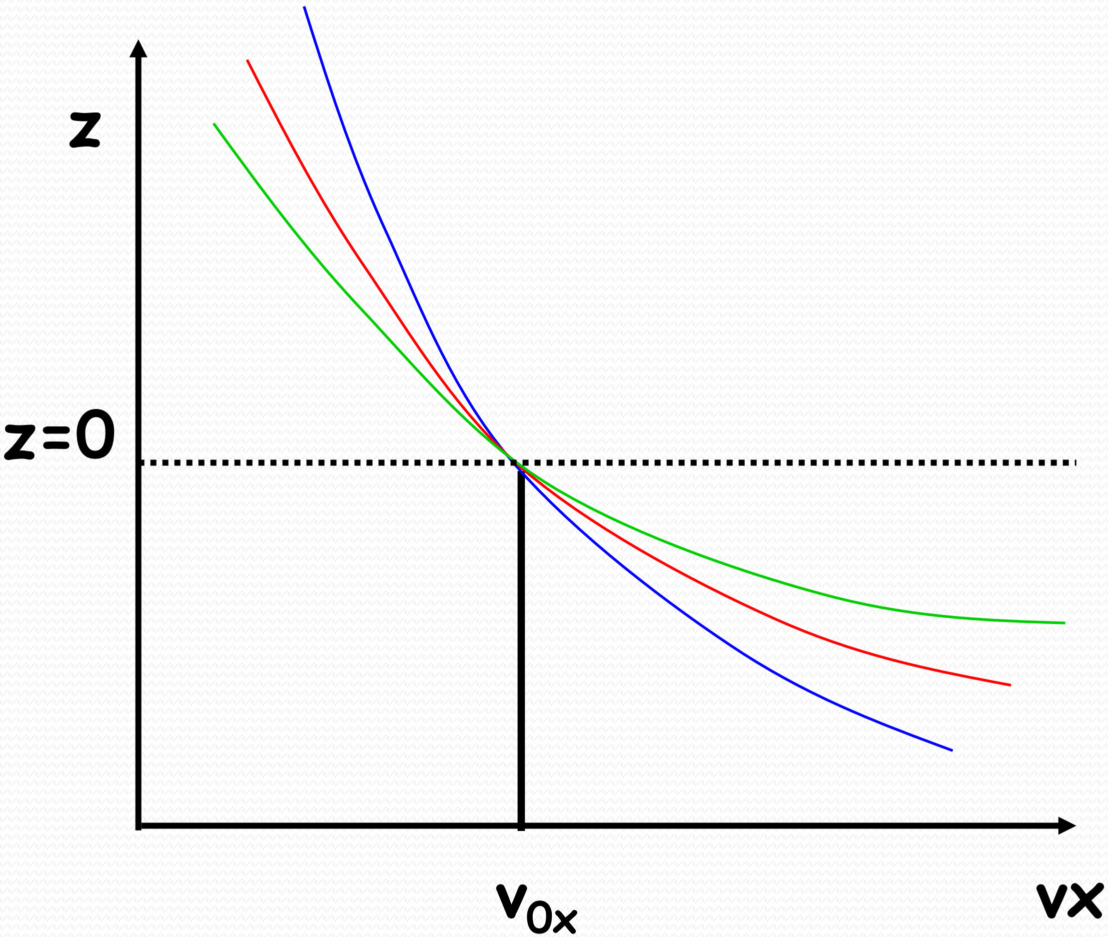
**Quanto maiores forem os valores individuais de $V_P$ e i mais inclinada é a curva**




**Para a mesma incerteza em z temos diferentes incertezas em $V_{AC}$ e, portanto, na velocidade**

# Cálculo da resolução

- É a mesma razão → mesma velocidade selecionada, mas....

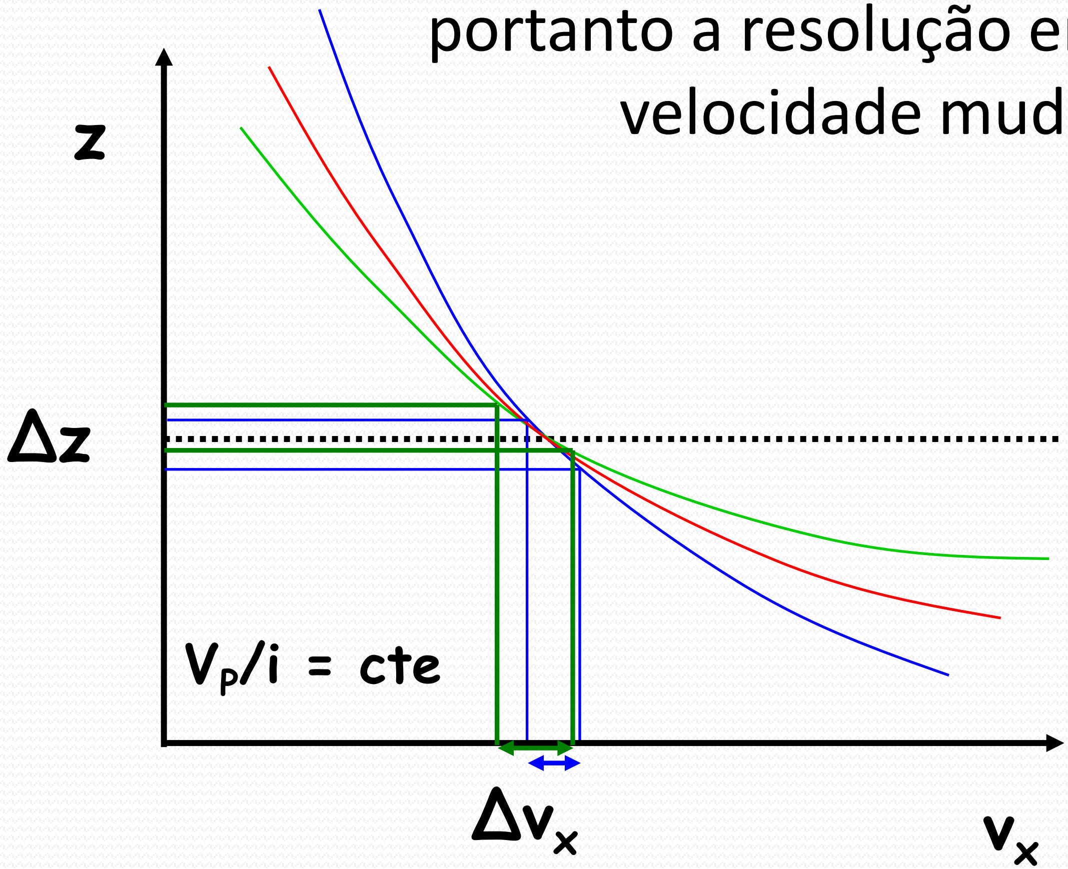



**Mas a resolução em velocidade do instrumento não é a mesma**

$$R = \frac{\Delta v_x}{v_x}$$

# Resolução do seletor

- Vamos ter um erro no eixo **z** , **Δz** que é na verdade o tamanho do ponto na tela. Calculando o erro **Δ$v_x$** a partir de **Δz**, vemos que ele muda para cada curva e, portanto a resolução em velocidade muda!




$$R = \frac{\Delta v_x}{v_x}$$

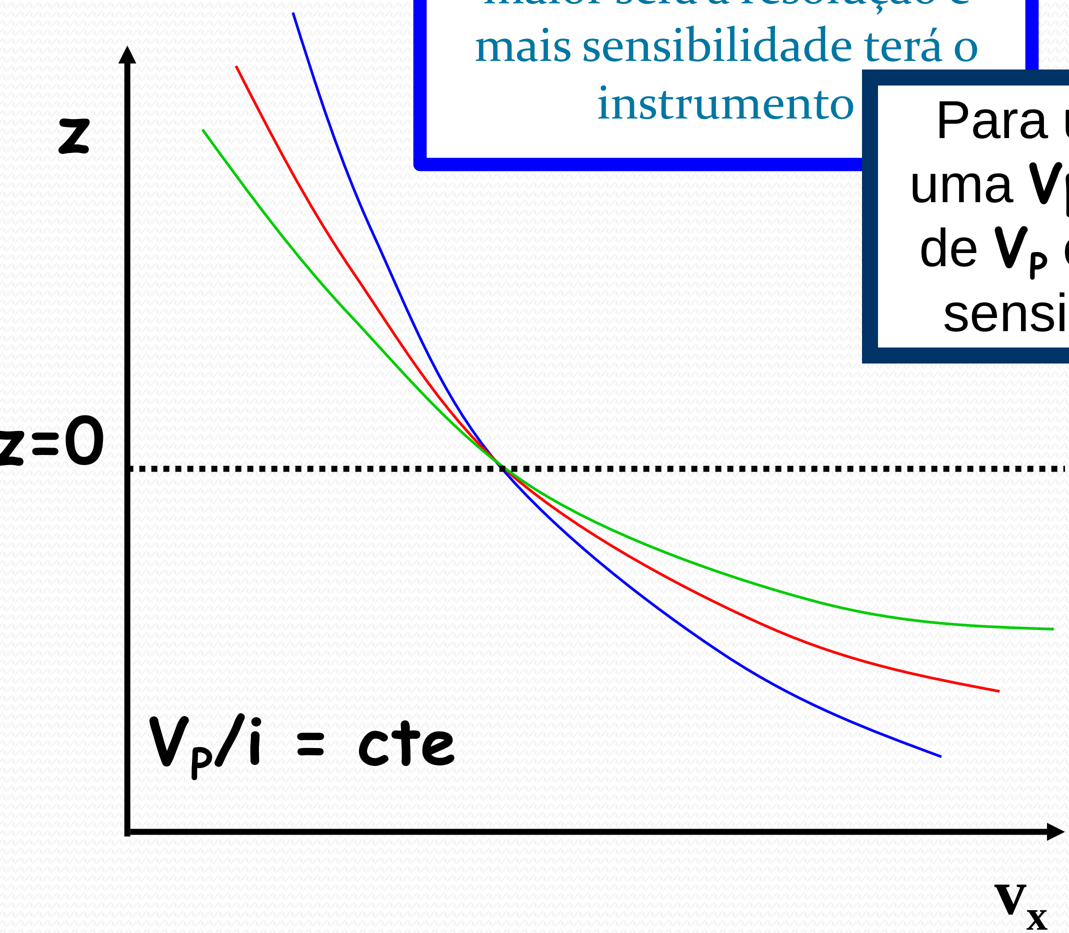
# Qual a melhor resolução?

Quanto menor for $\Delta \mathbf{v}_x$ maior será a resolução e mais sensibilidade terá o instrumento

Para um dado **z**, portanto uma **Vp/i** , quais os valores de $\mathbf{V_P}$ e **i** que maximiz
sensibilidade d

**Aqueles que tornam a curva mais inclinada:**

$$\left.\frac{\partial h(v_x\ ,V_P, i)}{\partial v_x}\right|_h = \max$$



# Tarefas desta semana (2)

- 1- Selecione uma velocidade $\mathbf{v_x}$ para passar sem desvio → $\mathbf{V_{AC}}$ → uma razão $\mathbf{V_P/i}$.

- 2- Varie $\mathbf{V_{AC}}$, e, portanto $\mathbf{v_x}$, mantendo a razão $\mathbf{V_P/i}$ constante e levante a curva deslocamento **z** x $\mathbf{v_x}$.

- 3- Varie o valor de $\mathbf{V_P}$ e **i**, mantendo a razão constante, levante outra curva **z** x $\mathbf{v_x}$.

- Repita esse procedimento para no mínimo **3** valores diferentes de $\mathbf{V_P}$ e **i** sempre mantendo a razão constante

# Tarefas desta semana(3)

- 4- A partir da incerteza do deslocamento **z**, no gráfico **z** x **$v_x$**, calcule a dispersão em **$v_x$** → **$\Delta v_x$**, para cada uma das curvas medidas.

- 5- Calcule a resolução em velocidade do instrumento para cada uma das curvas medidas.

$$R = \frac{\Delta v_x}{v_x}$$

- 6- Comente suas observações, discuta o funcionamento do instrumento sob o ponto de vista da resolução.