Seletor de Velocidades,

Parte 5 – Modelo para campo elétrico e resolução do seletor

Aula 5

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

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

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 magnético
- Semana 4
  - Calibrar o seletor + Modelo Teórico
- Semana 5
  - Obter a resolução do seletor de velocidades

TAREFAS SEMANA PASSADA

Para entregar – Parte 1

- A partir das medidas da semana 2, verifique se a fórmula teórica é válida
  - Compare o valor dos expoentes e da constante

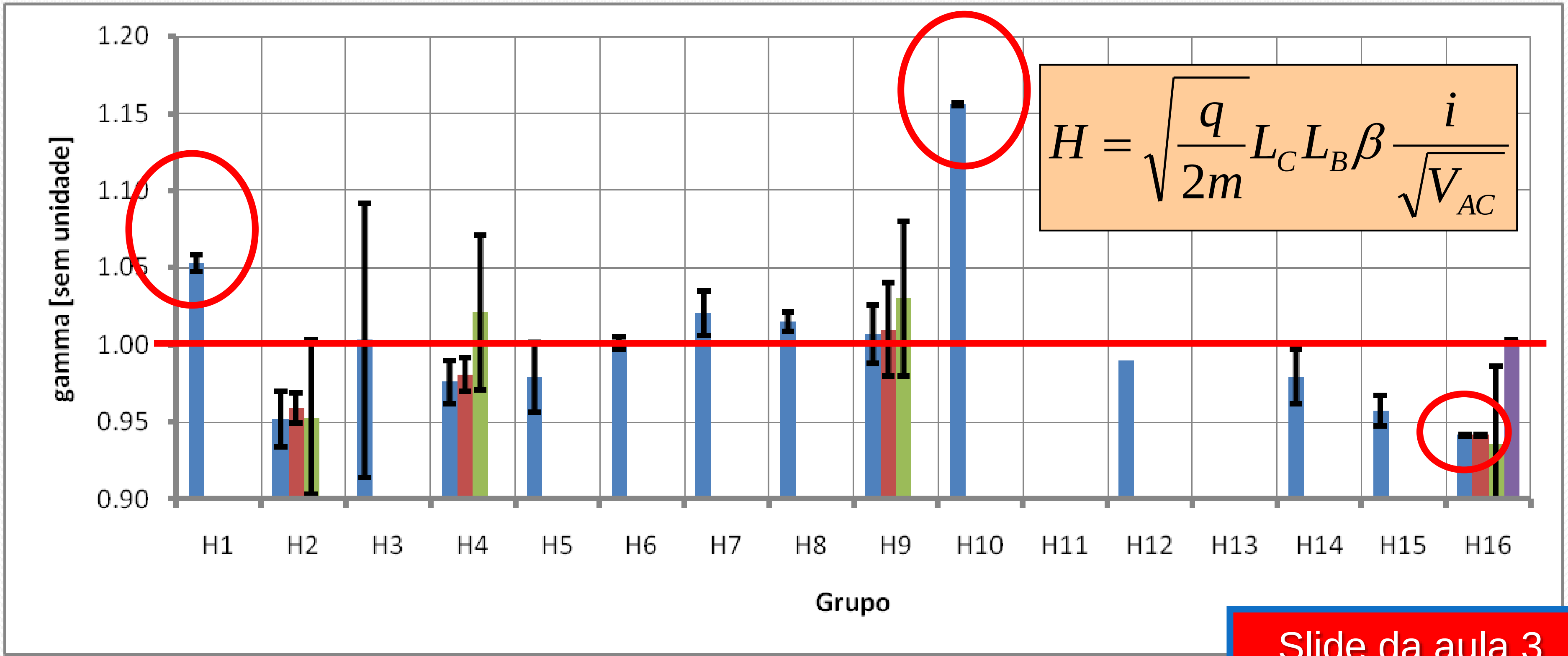
- Qual o significado físico do termo $L_B\beta$?
  - Estime seu valor a partir dos dados da semana 3
  - Qual seria o comprimento das bobinas ideais? É possível calcular?

- Usando os dados das semanas 2 e 3, estime a razão carga/massa do elétron.

H x corrente

Inicialmente bastava comparar o expoente medido com o teórico

- Média **= 0.99 ± 0.05 (std)**
- Exceto por alguns grupos, a maioria entrou valores compatíveis (**3σ**) com **γ=1**, ou seja, **h** linear com **i**



$$H = \sqrt{\frac{q}{2m} L_C L_B \beta \frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}}$$

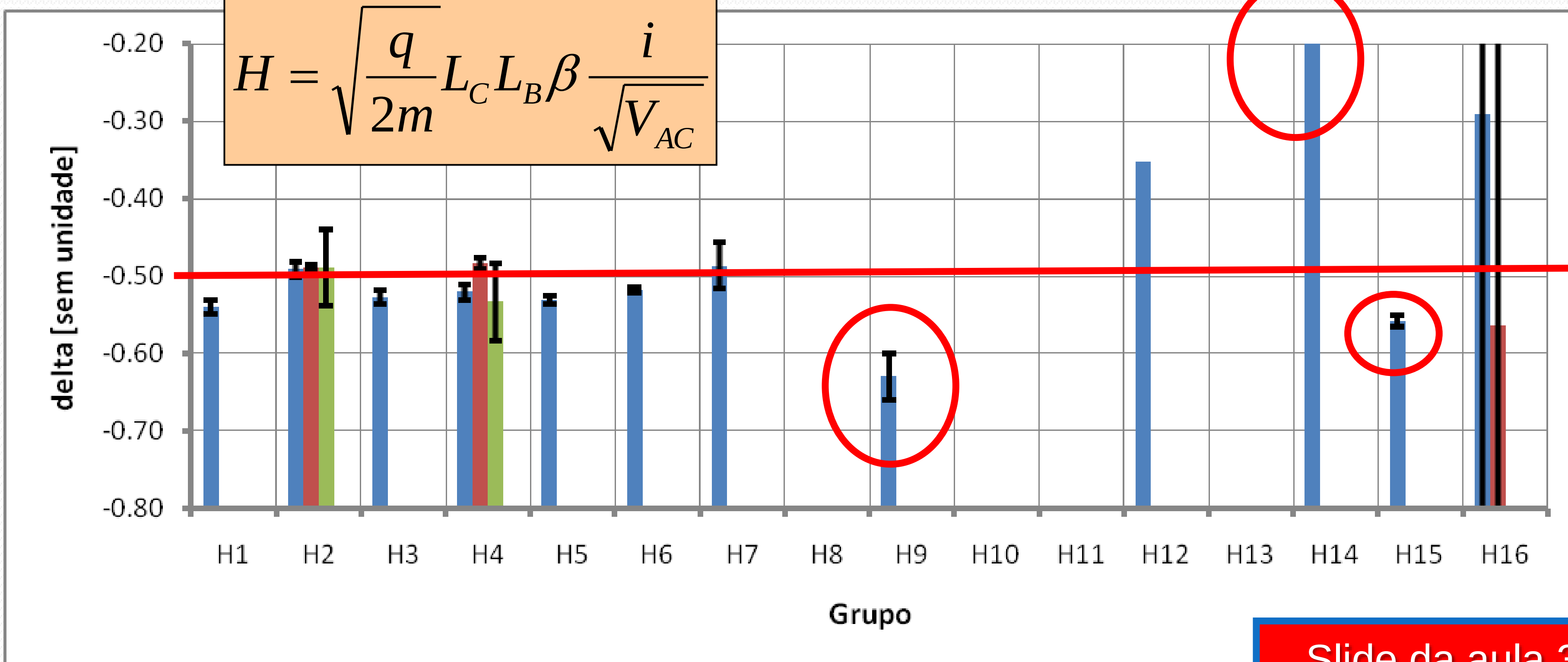
Slide da aula 3

H x velocidade

Inicialmente bastava comparar o expoente medido com o teórico

- Média = **-0.5 ± 0.6 (std)**
- Média (excluindo outliers) = **-0.50 ± 0.08 (std)**
- Exceto por alguns grupos, a maioria entrou valores compatíveis (3**σ**) com **δ=-0.5**, ou seja, **h** ~ 1/raiz(**Vac**)

$$H = \sqrt{\frac{q}{2m}} L_C L_B \beta \frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}$$



Slide da aula 3

Justificativas

Comparando os valores dos expoentes de Ib e Uac (0,98±0,02 e -0,53±0,01, respectivamente) obtidos, com os valores da fórmula teórica

$H = \sqrt{\frac{q}{2m}} L_C L_B \beta \frac{i}{\sqrt{U_{ac}}}$ (1.1), verificamos que ela é válida em 3σ.

Neste modelo teórico, o deslocamento é diretamente proporcional à corrente e inversamente proporcional à raiz quadrada da tensão aceleradora. A partir do teste z, temos que a fórmula teórica é coerente com o resultado obtido experimentalmente (sendo o expoente relativo a i, gama = 0,993(8) e relativo a Uac, delta = -0,512(5).

À partir dos dados da semana 2 pode-se comparar os valores dos expoentes e das constantes. Os expoentes obtidos foram: gama = 0,953(11) e delta = -0,489(6), ou seja, compatível ou marginalmente compatível com os valores teóricos. As constantes obtidas foram: C = 19,3(4) e D = 82,7(3,1), se forem feitas contas simples obtem-se os valores "teóricos" de C e D como: C = 20,7 e D = 86,8.

De acordo com os dados da semana 2, h é proporcional à i^{γ}, onde $\gamma = 1{,}0030 \pm 0{,}0089$, e à V_{ac}^{δ}, onde $\delta = -0{,}5269 \pm 0{,}0089$.

Para entregar – Parte 1

- A partir das medidas da semana 2, verifique se a fórmula teórica é válida
  - Compare o valor dos expoentes e da constante

- Qual o significado físico do termo $L_B\beta$?
  - Estime seu valor a partir dos dados da semana 3
  - Qual seria o comprimento das bobinas ideais? É possível calcular?

- Usando os dados das semanas 2 e 3, estime a razão carga/massa do elétron.

Justificativas

Como L_b é o comprimento das bobinas e β uma constante que relaciona campo magnético e corrente, o termo $L_b\beta$ pode ser visto como uma constante associada ao número de espiras e à permissividade magnética do ar, dado que o campo magnético no solenóide é $\vec{B} = \mu_{ar} n I_b$. Utilizando os dados da terceira semana, o valor de β encontrado foi $10{,}11 \pm 0{,}38$ G/A e o L_b foi estimado em $9{,}0 \pm 0{,}1$ cm. Daí $L_b\beta$ é 91 ± 4 e é perceptível, que é linear com H em 1.

Praticamente uma interpretação diferente de cada grupo...

Pela fórmula do solenóide ($B = \mu_0 N i / \ell$) tem-se que a multiplicação de Lb por beta é uma relação entre o número de espiras multiplicado pela permeabilidade magnética do espaço. Usando $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$ (Wb / A) m e o número de espiras =

Lb*β representa a distância máxima a qual o elétron sofrerá um desvio causado pelo campo magnético, sendo a altura H de desvio, proporcional ao tamanho da placa defletora.

$L_B\beta$ representa o fluxo total de campo magnético pelo qual passa o feixe de elétrons nas bobinas. O comprimento das bobinas ideais seria calculado de acordo

Estimar $L_B\beta$ e L_B

- $L_c = 10{,}25 \pm 0{,}05\ cm$
- $L_b = 8 \pm 0{,}05\ cm$
- $\beta = 9{,}0 \pm 0{,}1\ gauss/A$ (para se determinar o β tirou-
próximos do pico)

Por fim para confirmar realmente o modelo foram acumuladas as constantes CDB e $\xi = \sqrt{q/2mL_cL_b\beta}$ tomados L_c como 33cm e L_b como 9cm e tomado o β como 10, portanto ξ é 10^9 e CDB é $4,9 * 10^9$, ou

Em relação ao termo $L_B\beta$, vemos dos resultados da terceira semana que B/i é uma constante, a cada posição. Significa que o valor dessa razão no ponto médio das bobinas resulta o β que aparece na dedução teórica. Nosso grupo analisou esses dados e estimou estatisticamente seu valor, obtendo

Estimando o valor de β através dos dados da síntese 3, pela média dos picos de Blon/i de cada corrente, obtemos β=8,54±0,164 G/A.

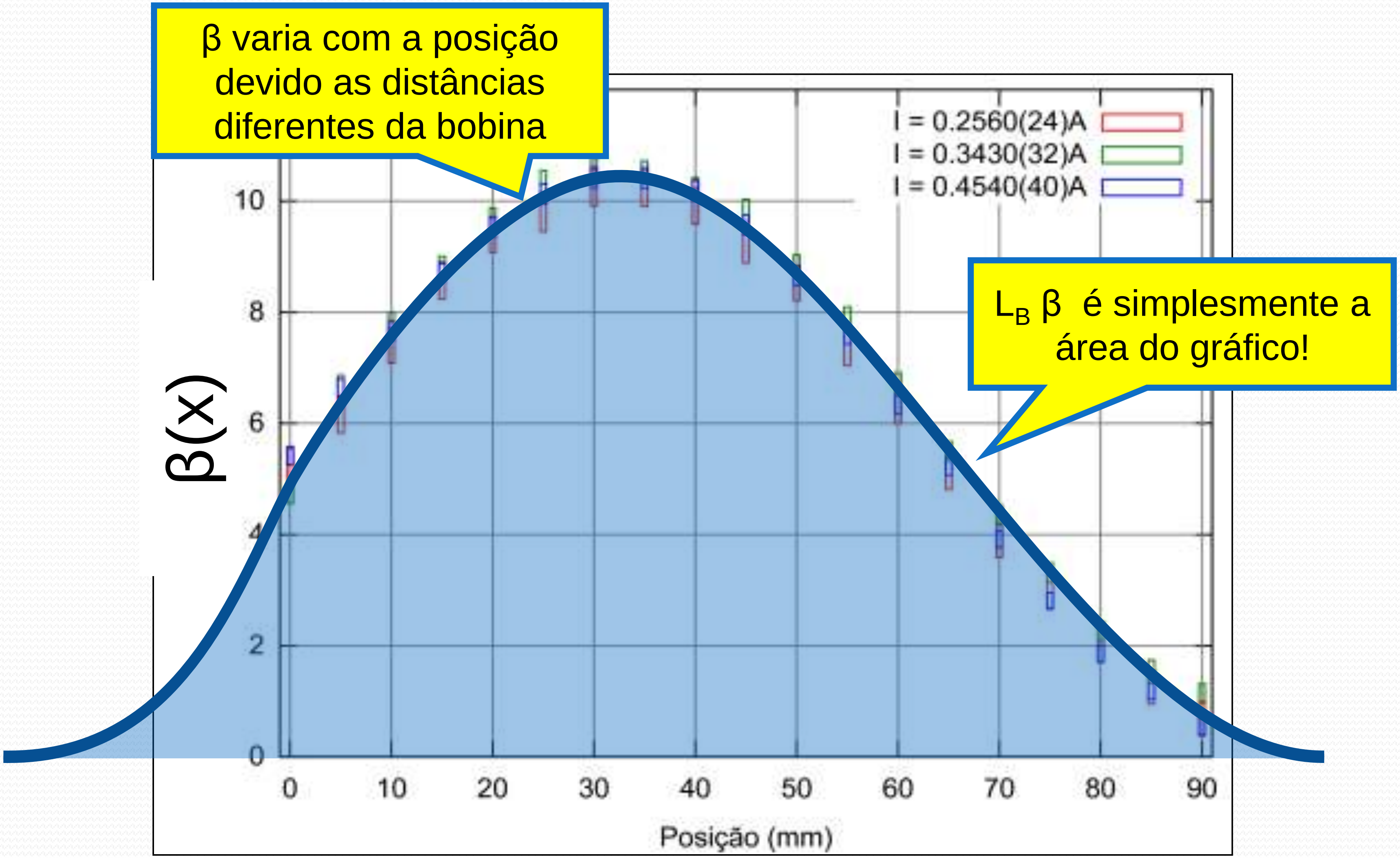
elétrons nas bobinas. O comprimento das bobinas ideais seria calculado de acordo com a equação abaixo:

$$L_{Befetivo} = L_B\beta_{medido}/\beta_{teórico} \qquad (2)$$

O termo $L_B\beta$, que denominaremos daqui por diante de ρ, é o produto de uma constante geométrica (β) pelo comprimento da região de ação do campo magnético.

Para a determinação de ρ voltamos à semana 3. Do gráfico de B/i por x, calculamos a área deste e dividimos pelo intervalo que utilizamos para calcular a área. Para tal, calculamos essa integral numericamente por trapézios.

Qual o significado de $L_B\beta$?



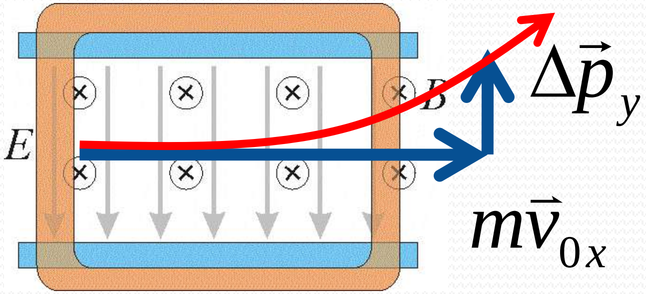
Qual o significado de $L_B\beta$?

- E qual o significado físico?
- O impulso é dado por:

$$\vec{I} = \Delta\vec{p} = \int_0^t \vec{F}(t)dt$$

- Para o campo magnético teremos:

$$\Delta p_y = \int_0^t q v_{0x} B_z dt$$



- Mas como

$$v_{0x}dt = dx$$

$$B_z = \beta i$$

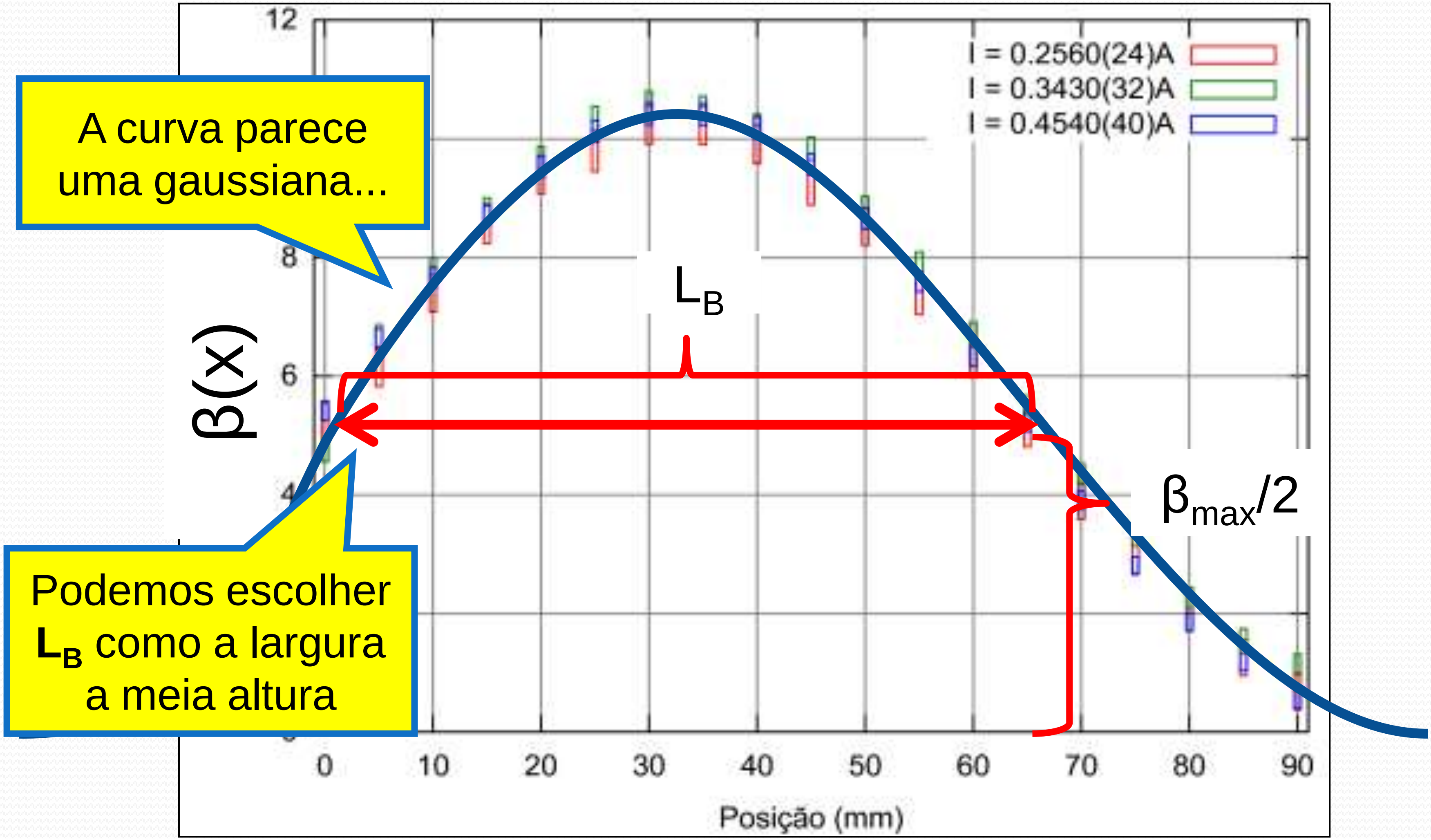
$$\Delta p_y = qi\int_0^{L_B} \beta dx = qi < \beta > L_B$$

Área

efetivo

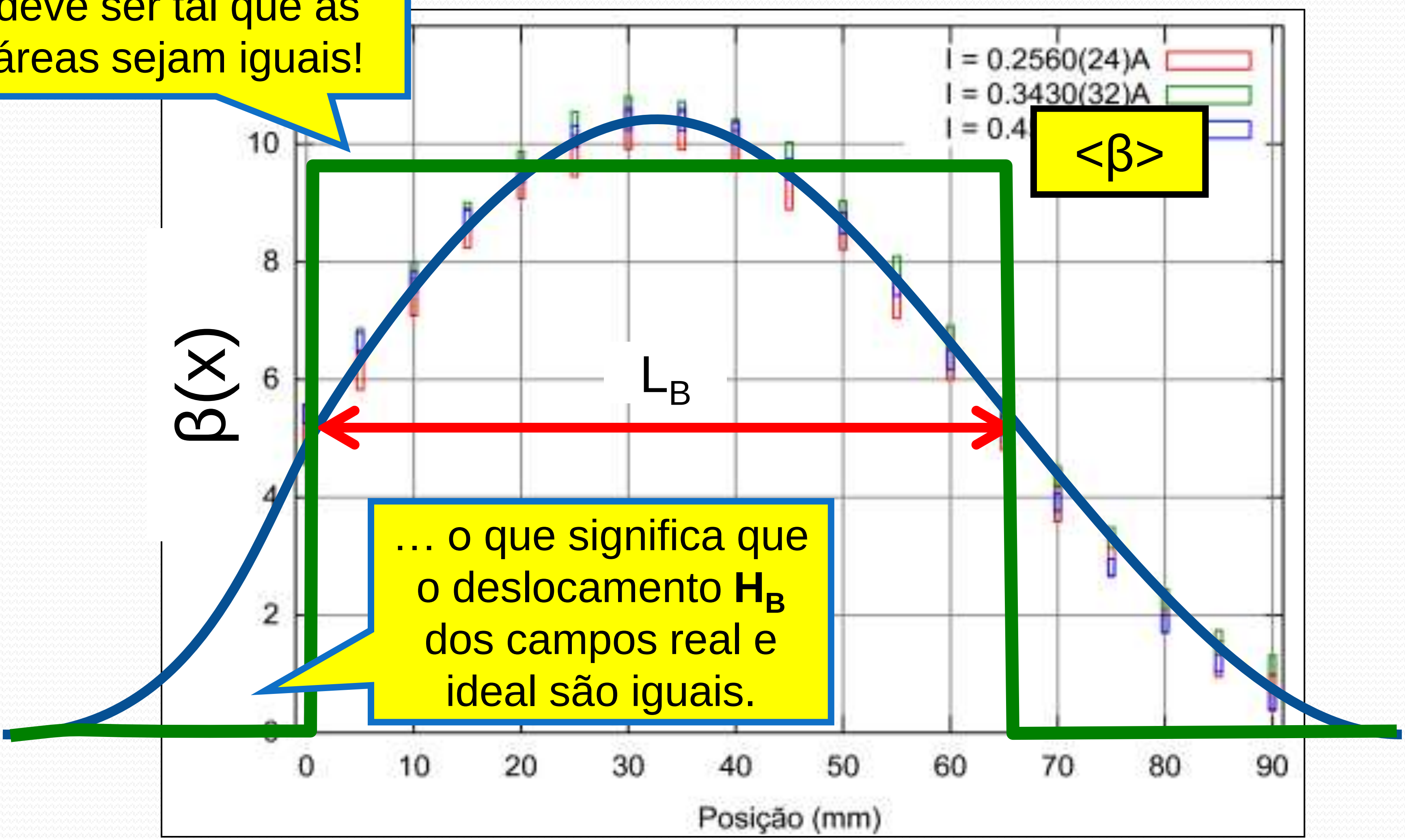
efetivo

Tamanho da bobina?



Qual o <β> médio ?

O valor médio de **β(x)** deve ser tal que as áreas sejam iguais!



… o que significa que o deslocamento $\mathbf{H_B}$ dos campos real e ideal são iguais.

Resultados dos grupos

	Beta (G/A)	LB (cm)
H1	10*	9*
H2		
H3	9.0 (1) – média 3 pontos	8.00 (5)*
H4	18.47 (43)* 10.34 (36) usando Hb	7.00 (5)*
H5	8.540 (164) – média	8.00(5) fixo
H6	112 (357) G cm / A	
H7	0.9 **(?)**	9.1 (1) fixo
H8	11.8 (2)	11 **(?)** tamanho
H9	13.30 (8)	8 (aproximado)
H10	**5.99 (5) G cm / A**	
H14	**105 (?)**	**0.8 (?)***

Para entregar – Parte 1

- A partir das medidas da semana 2, verifique se a fórmula teórica é válida
  - Compare o valor dos expoentes e da constante

- Qual o significado físico do termo $L_B\beta$?
  - Estime seu valor a partir dos dados da semana 3
  - Qual seria o comprimento das bobinas ideais? É possível calcular?

- Usando os dados das semanas 2 e 3, estime a razão carga/massa do elétron.

Carga Massa

Com os dados da semana 3, de mapeamento do campo magnético, vocês podiam:

- Estimar o máximo da curva **B/i**, i.e., **βmax**
- Estimar L_B como a largura em **β(x)= βmax/2**
- Estimar a área da curva **B/i**
- Estimar **<β>=área/L_b**

… bastava ajustar uma gaussiana

Para calcular a razão carga/massa:

- Determinar a constante (fit): $$H = Cte\frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}, Cte = \sqrt{\frac{q}{2m}}L_C L_B \beta$$
- Usar a área L_Bβ e calcular **q/m**

Resultados Carga/Massa

	Carga / Massa	
H2	1.72 (4) E+11	??
H3	11.9 (?) E+11 16.6(?) E+11	C/kg C/kg
H5	0.0226 (?) E+11	C/kg
H6	0.962 (31) E+11	??
H7	130000000 (?) E+11	C/kg
H8	0.79 (?) E+11	C/kg
H9	1.055 (26) E+11	C/kg
H10	1.756311 (?) E+11	C/kg
H14	0.588986 (?) E+11	??

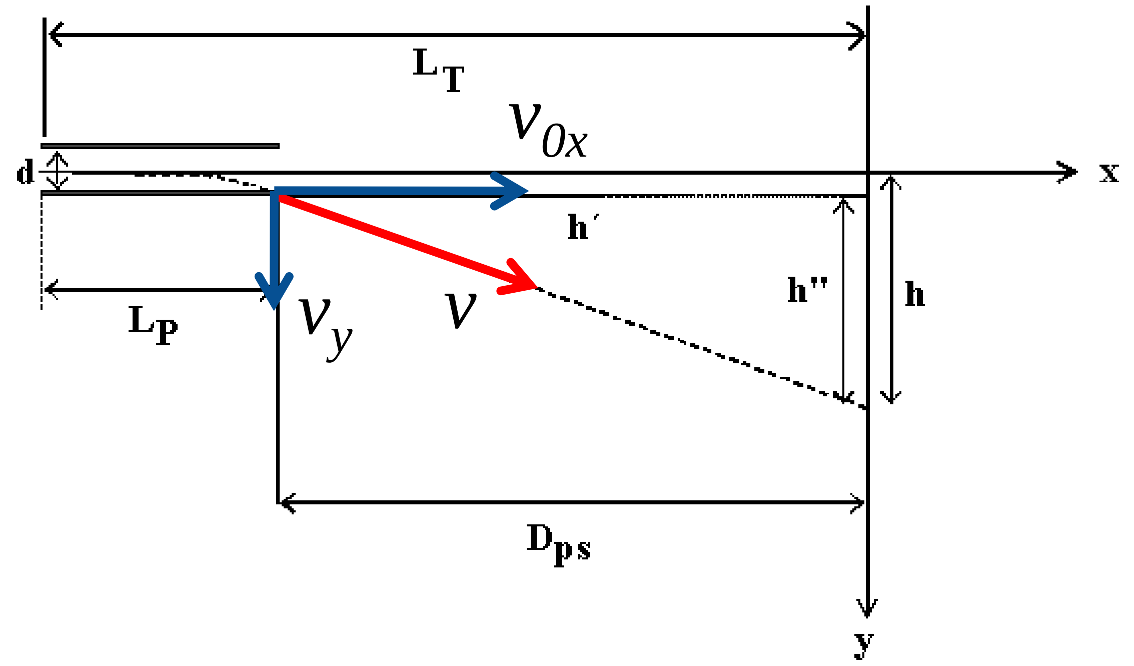
Valores discrepantes pois usaram $\mathbf{L_B \beta}$ que não corresponde a área do gráfico (ie impulso) na maioria das estimativas.

ALERTA:
Valores sem incerteza e unidades não tem significado físico!!

Teórico: 1.76 E+11 C/kg
Turma: (1.15 ± 0.40) E+11 C/kg

Para entregar – Parte 2

- Usando a notação abaixo, deduza o modelo teórico para o movimento do elétron criado por um capacitor ideal
  - Coloque a dedução em um apêndice da síntese
- Compare o seu modelo com os dados da semana 1, observando o valor dos expoentes e das constantes
- Comente e discuta



Fórmulas dos grupos

h1 $$h = \frac{V_p L_p}{2 V_{ac} d}\left(D_{ps} + \frac{L_p}{2}\right)$$

h2 H = Vp.Lp.Lc/d.Uac

h3 $$h = \frac{E L_p}{2U_{ac}}\left(D_{ps} + \frac{L_p}{2}\right)$$

h4 $h = Vq_e L_P(L_T - L_P/2)/(dm_e(V_{0x})^2)$

h5 $$h = \frac{L_p V_p}{2dU_{ac}}\left(\frac{L_p}{2} + D_{ps}\right)$$

h6 $$h = \frac{D_{ps} E L_p}{2U_{ac}} + \frac{d}{2}$$

h8 $$h = \frac{L_p}{4d}\frac{U_p}{U_{ac}}(L_T + D_{ps}),$$

h9 $$h = \frac{V_p}{4U_{ac}}\frac{L_p + 2D_{ps}}{d}L_p$$

Dedução mais a frente

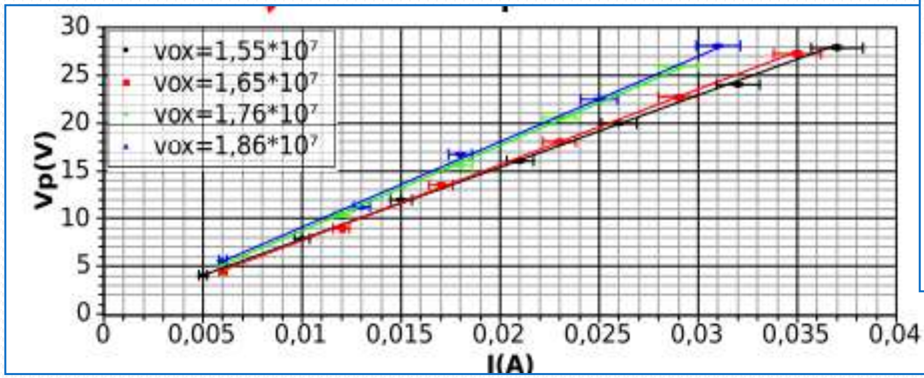
$$h = \frac{V_p L_P}{2dU_{ac}} L_C$$

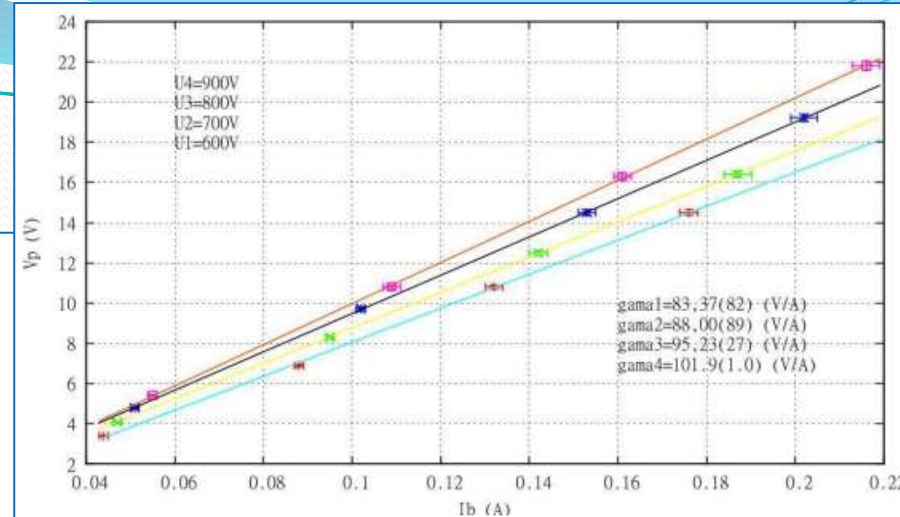
$$L_C = \left(\frac{L_P}{2} + D_{PS}\right)$$

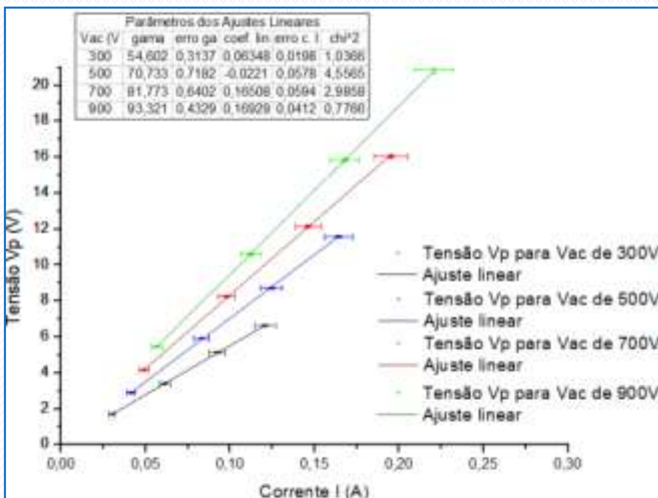
Para entregar – Parte 3

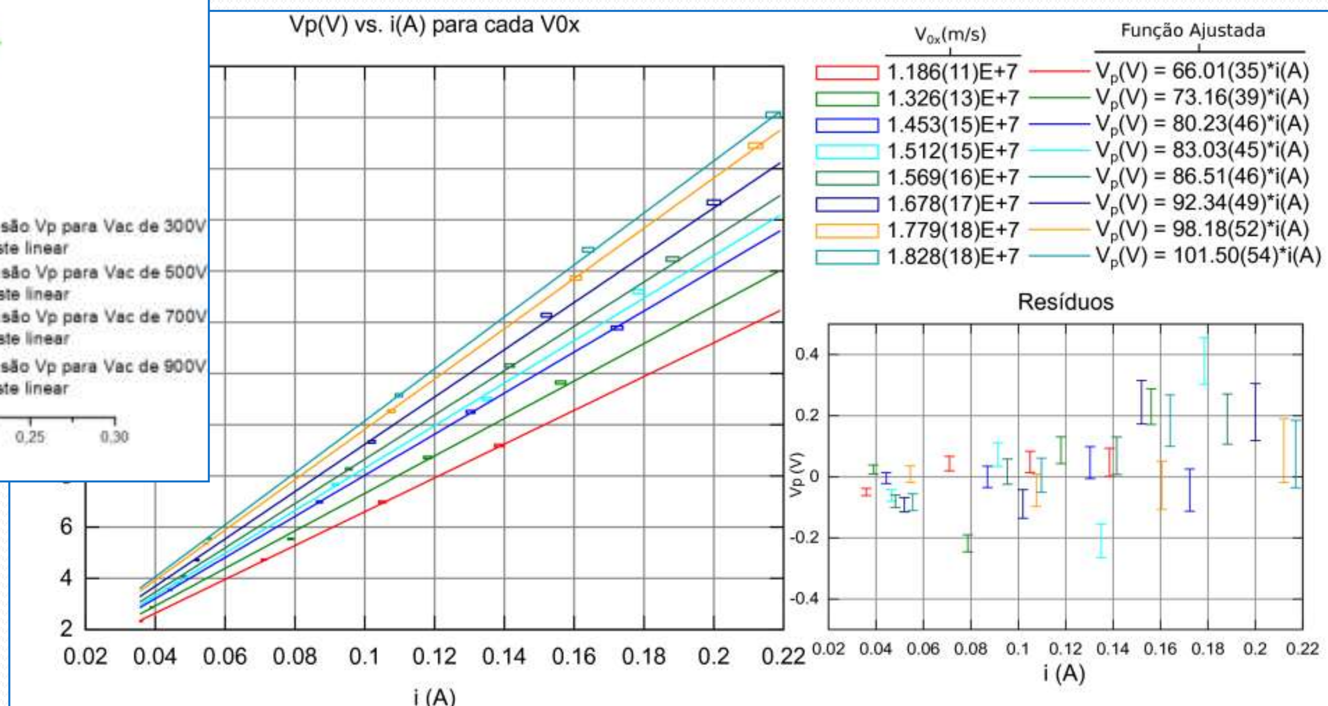
- Calibrar o seletor de velocidades
  - Obter a constante α que relaciona a velocidade de filtro com a tensão entre as placas e a corrente nas bobinas
    - Um único gráfico com os ajustes de V_P em função da corrente, uma curva/ajuste para cada v_{0x}
    - Gráfico ajustado de v_{0x} em função de V_P/i, pontos estes obtidos dos ajustes acima.
  - Uma vez calculado α, use o β estimado na parte 2, obtenha a distância efetiva entre as placas do capacitor (d)
    - Compare com o valor nominal e discuta a luz da simulação de **E** e dos efeitos de borda.

Vp x i

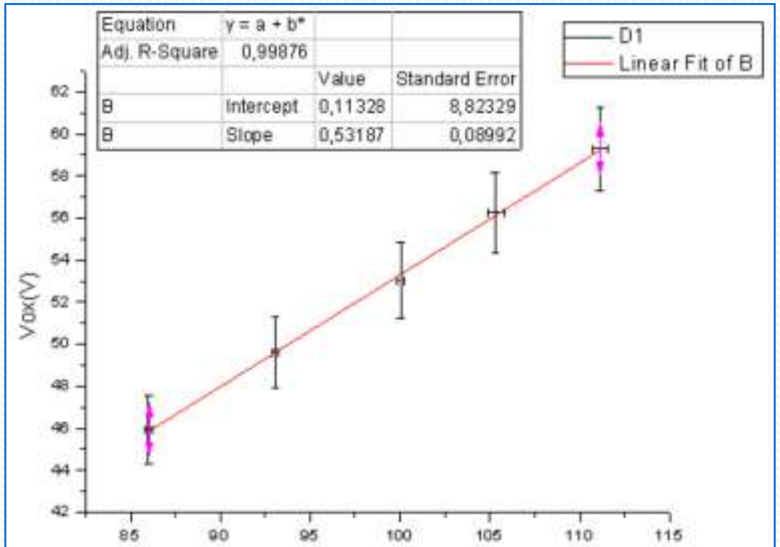

vox=1,55*10⁷
vox=1,65*10⁷
vox=1,76*10⁷
vox=1,86*10⁷
Vp(V)
I(A)
0 5 10 15 20 25 30
0 0,005 0,01 0,015 0,02 0,025 0,03 0,035 0,04


U4=900V
U3=800V
U2=700V
U1=600V
gama1=83,37(82) (V/A)
gama2=88,00(89) (V/A)
gama3=95,23(27) (V/A)
gama4=101,9(1.0) (V/A)
Vp (V)
Ib (A)
0.04 0.06 0.08 0.1 0.12 0.14 0.16 0.18 0.2 0.22

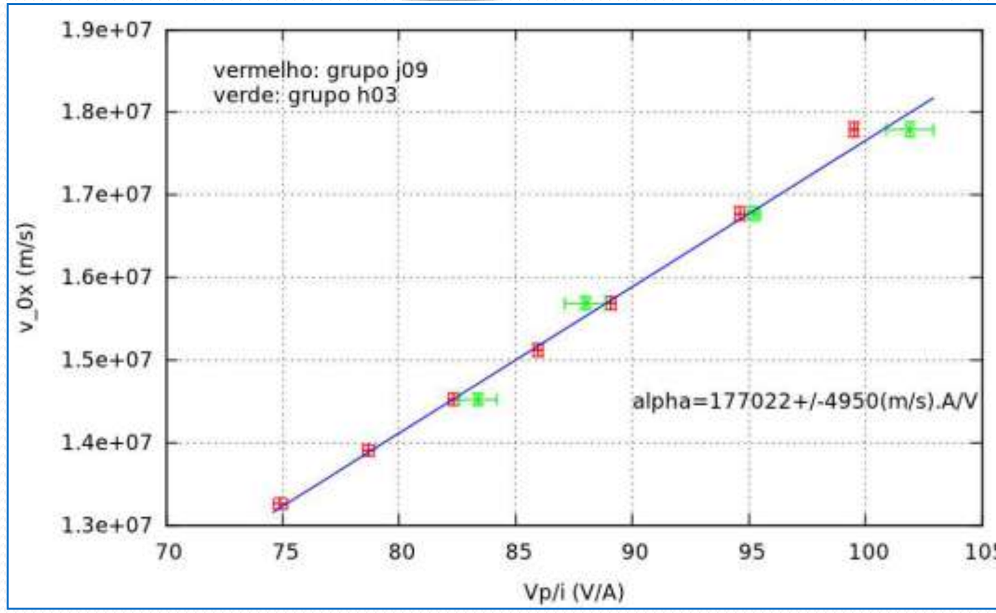

Parâmetros dos Ajustes Lineares
Vac (V gama erro ga coef. lin. erro c. l chi^2
300 54,602 0,3137 0,06348 0,0198 1,0366
500 70,733 0,7182 -0,0221 0,0578 4,5565
700 81,773 0,6402 0,16508 0,0594 2,9858
900 93,321 0,4329 0,16929 0,0412 0,7760
Tensão Vp para Vac de 300V
Ajuste linear
Tensão Vp para Vac de 500V
Ajuste linear
Tensão Vp para Vac de 700V
Ajuste linear
Tensão Vp para Vac de 900V
Ajuste linear
Tensão Vp (V)
Corrente I (A)
0,00 0,05 0,10 0,15 0,20 0,25 0,30

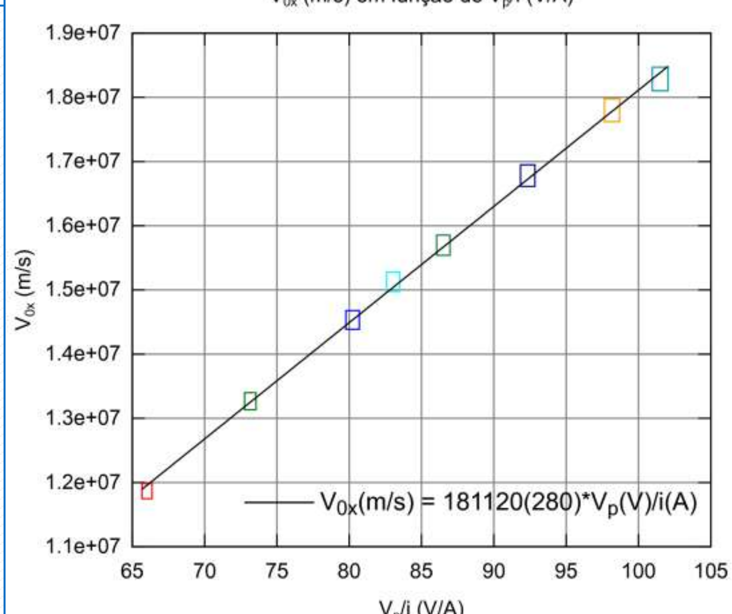

Vp(V) vs. i(A) para cada V0x
V_{0x}(m/s)
Função Ajustada
1.186(11)E+7 V_p(V) = 66.01(35)*i(A)
1.326(13)E+7 V_p(V) = 73.16(39)*i(A)
1.453(15)E+7 V_p(V) = 80.23(46)*i(A)
1.512(15)E+7 V_p(V) = 83.03(45)*i(A)
1.569(16)E+7 V_p(V) = 86.51(46)*i(A)
1.678(17)E+7 V_p(V) = 92.34(49)*i(A)
1.779(18)E+7 V_p(V) = 98.18(52)*i(A)
1.828(18)E+7 V_p(V) = 101.50(54)*i(A)
Resíduos
Vp (V)
i (A)
0.02 0.04 0.06 0.08 0.1 0.12 0.14 0.16 0.18 0.2 0.22

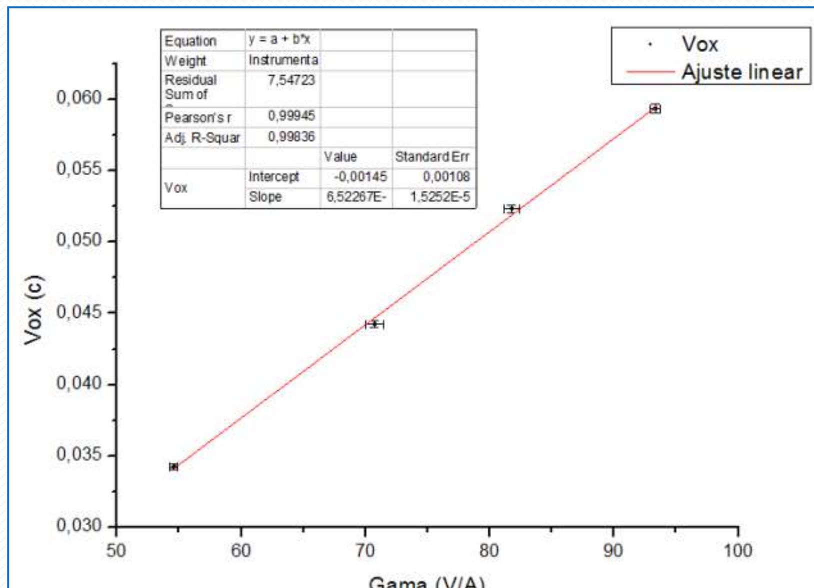
Calibração



V_{0x} (m/s) em função de V_p/i (V/A)







Resultados dos grupos

	Alfa (m*A / V s)
H1	**17666.832 (2)**
H2	
H3	177022 (**4950**)
H4	181120 (**280**)
H5	195.0 (45) x 10^3
H6	134287.692 (**28083.9812**)
H7	192.0 (9) x 10^3
H8	1.57 (8) x 10^5
H9	173796 (**5688**)
H10	**62000 (17)**
H14	**32089 (4884)**

ATENÇÃO: Algarismos significativos e incertezas!!

Outros anos:
1.84 (34) E+5 m A/V/s
Turma:
1.73 (15) E+5 m A/V/s

d efetivo

Vocês estimaram o **beta médio** como:

- Estimar **<β>=área/L_b**

Mas a constante de calibração valia: $\alpha = \dfrac{1}{\beta d}$

Portando, era possível estimar uma separação efetiva:

$$d_{estimado} = \frac{1}{<\beta>\alpha_{FIT}}$$

Sendo $v_{0x} = \frac{1}{\beta d}\frac{V_p}{i}$ e $\alpha = \frac{1}{\beta d}$, encontramos que a distância efetiva entre as placas é da ordem de $6{,}28.10^{-3}m$.

d efetivo

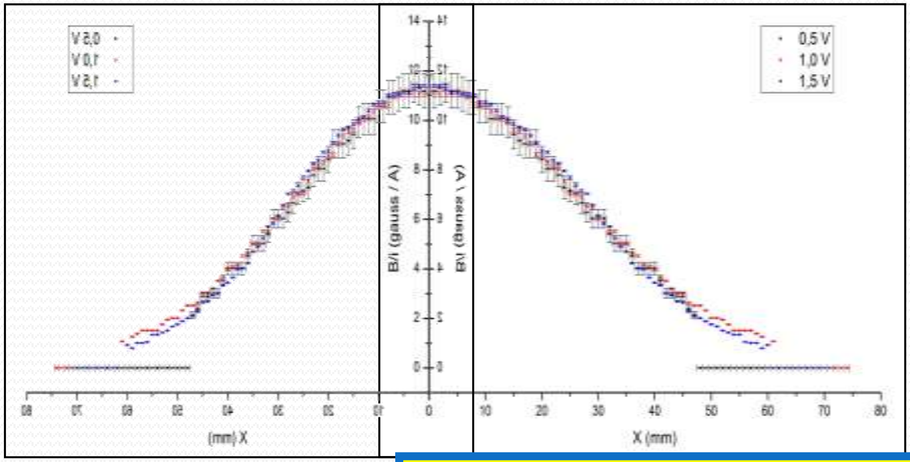
	Separação entre as placas (mm)
H3	6.28 **(?)**
H4	2.99 (50)
H5	1.80 (5) **x 10^5** (usaram beta em gauss)
H6	3.4 (7)
H7	14.3 (9)
H8	5.7 (3)
H9	4.56 (15)
H10	3.25 (1)
H14	2.7 (60)

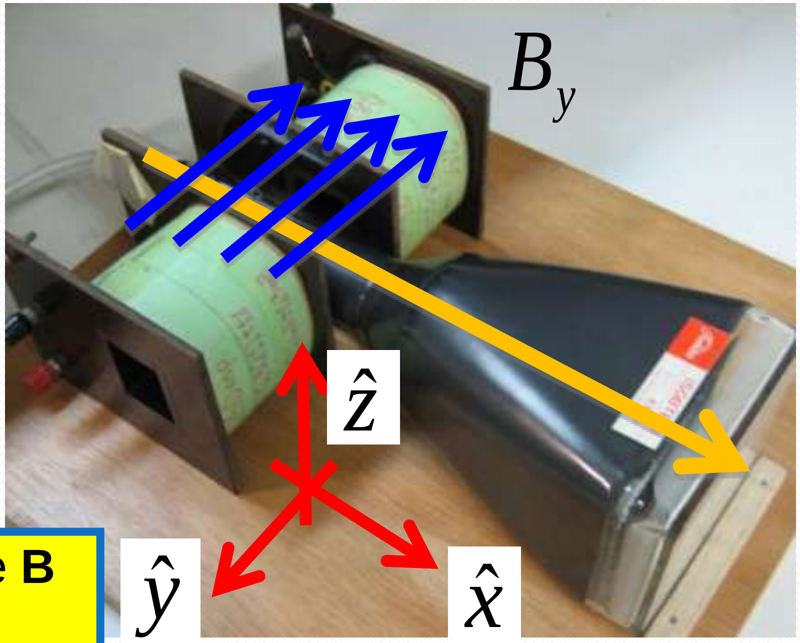
Todos maiores que o valor nominal de 2mm, pois o valor efetivo deve compensar o fato das placas se afastarem

Esse valor é maior que o nominal (2 mm), o que é de se esperar devido ao fato de existirem não apenas efeitos de borda na região em que as placas são paralelas, mas também toda uma outra região de campo não nulo (em que as placas se afastam) no qual ainda há aceleração dos elétrons.

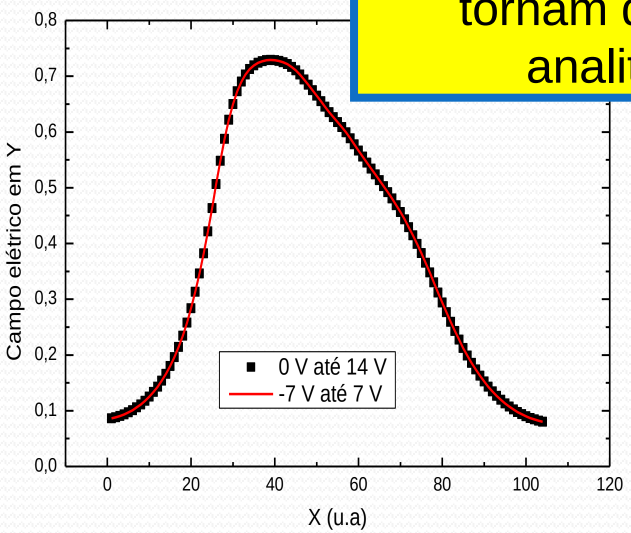
Modelo Teórico para o Seletor

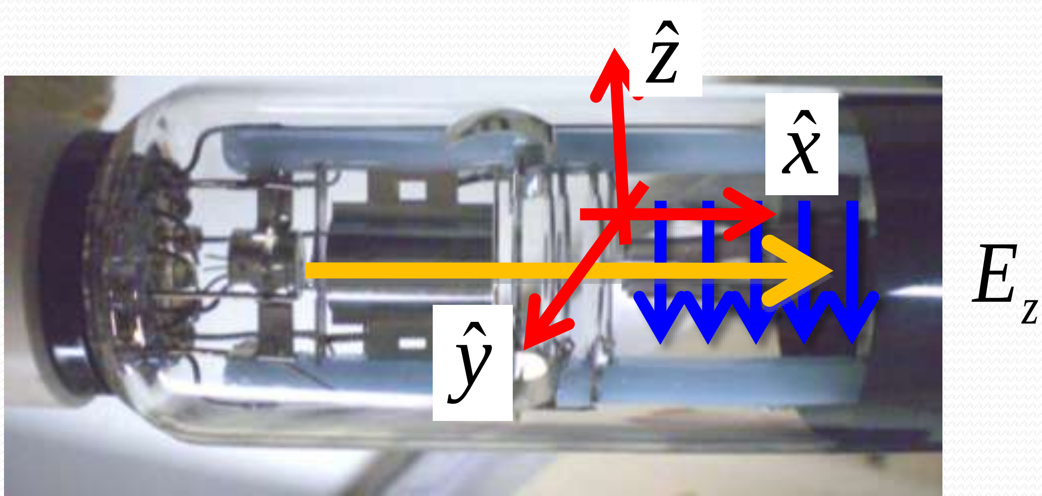
Seletor de velocidades - REAL



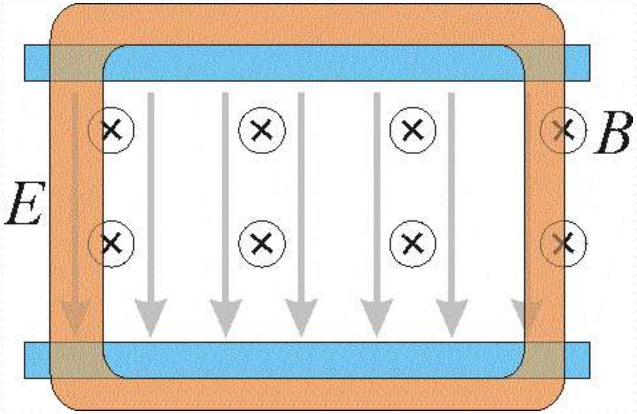


Variação espacial de **E** e **B** tornam difícil resolver analiticamente!

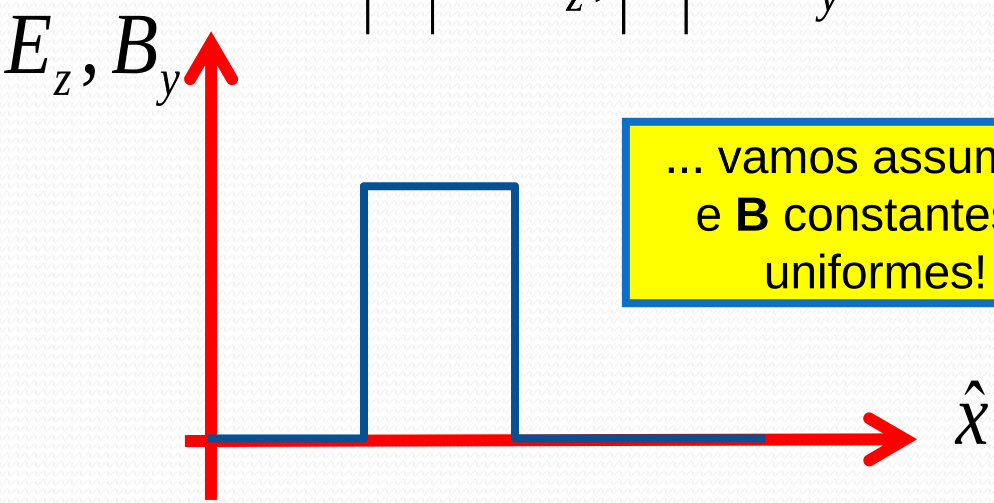




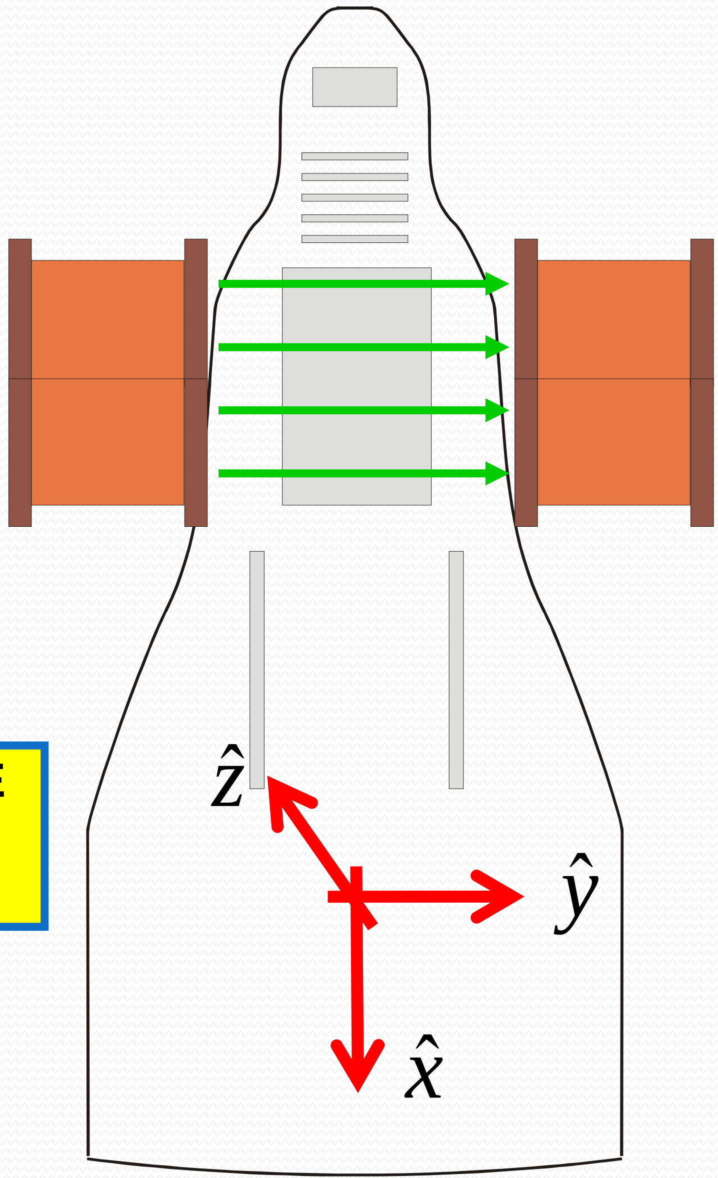
Seletor de velocidades - IDEAL



$$\left|\vec{E}\right| = E_z \, , \left|\vec{B}\right| = B_y$$

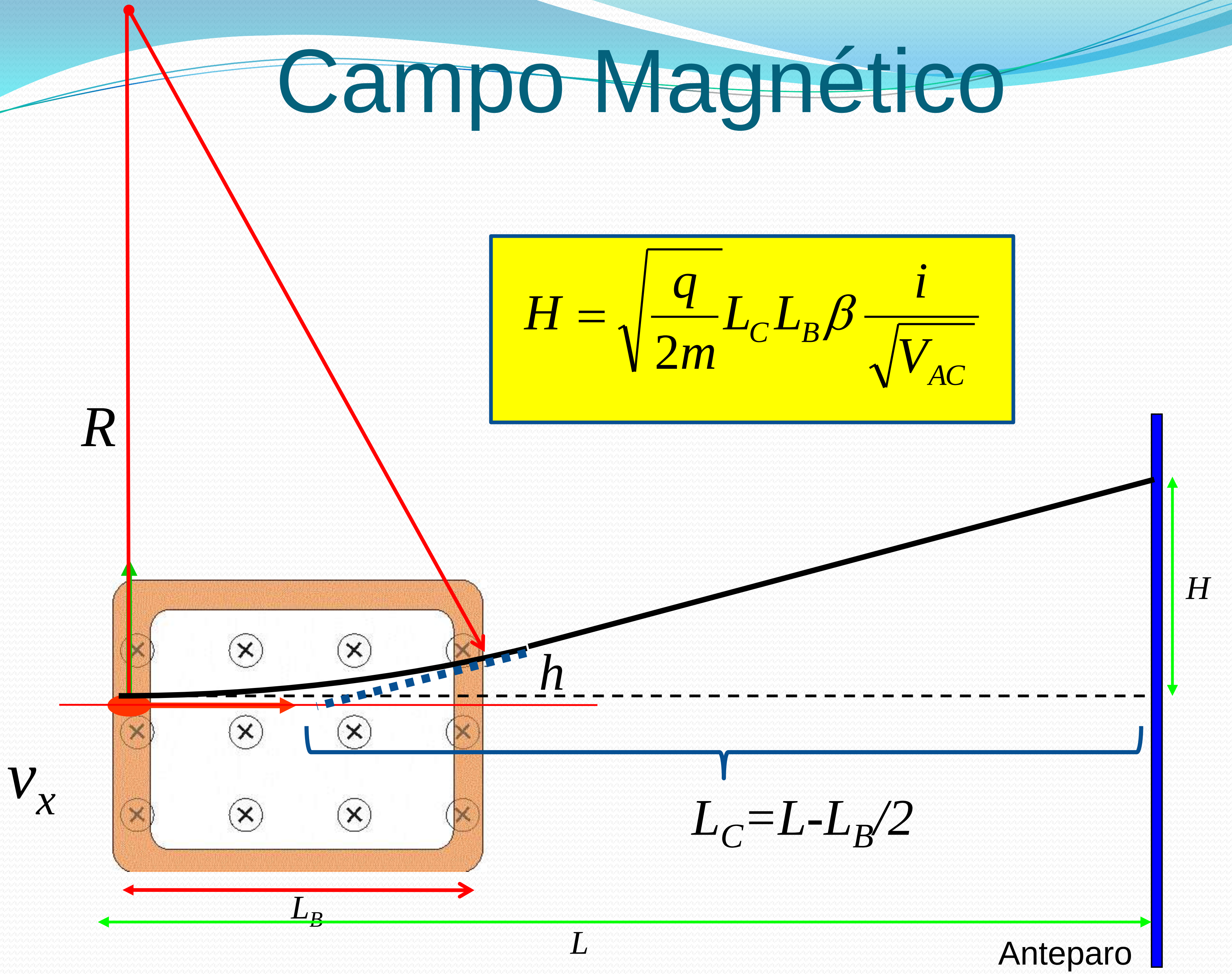


... vamos assumir **E** e **B** constantes e uniformes!



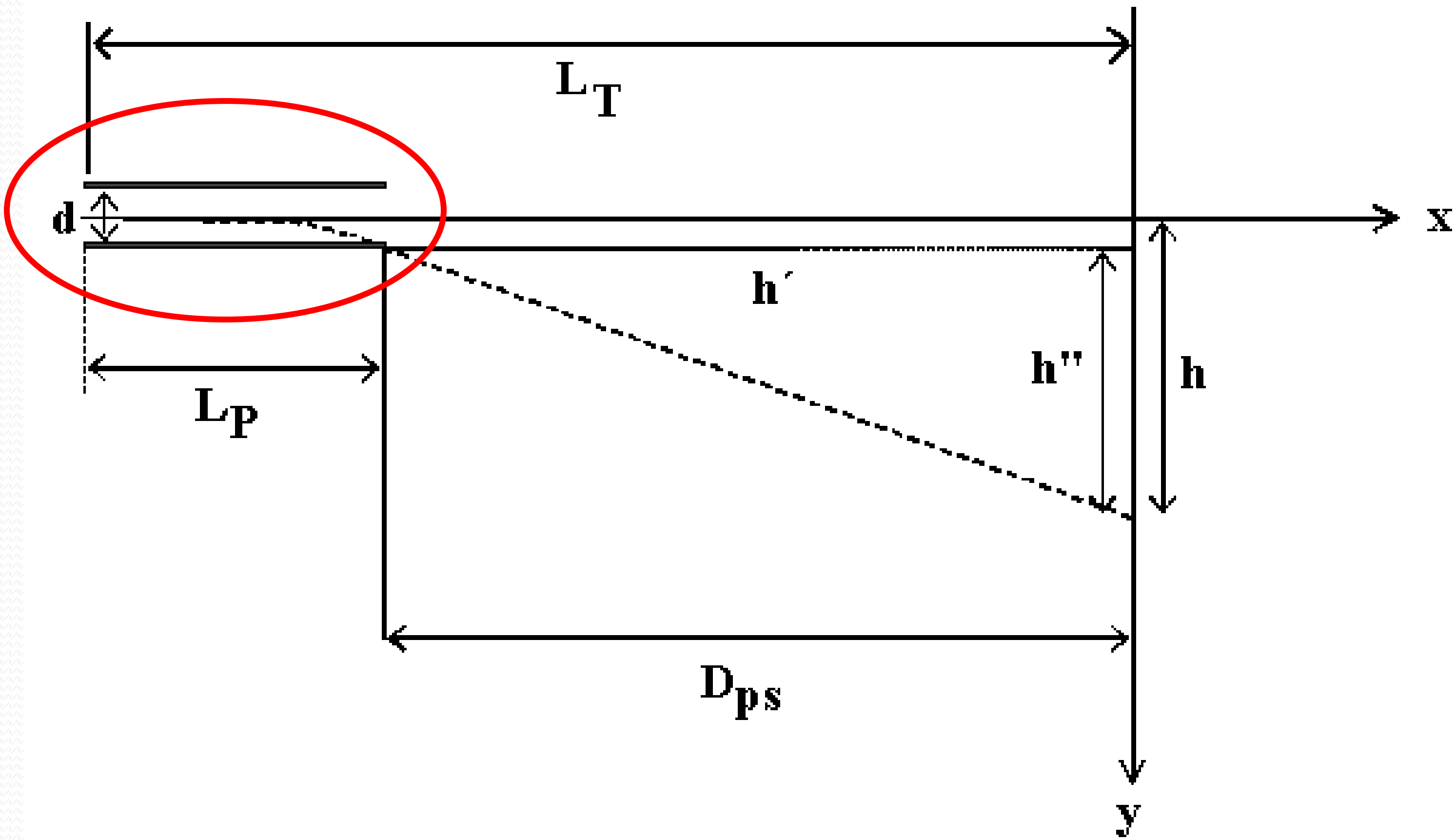
Campo Magnético

$$H = \sqrt{\frac{q}{2m}} L_C L_B \beta \frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}$$



Campo Elétrico

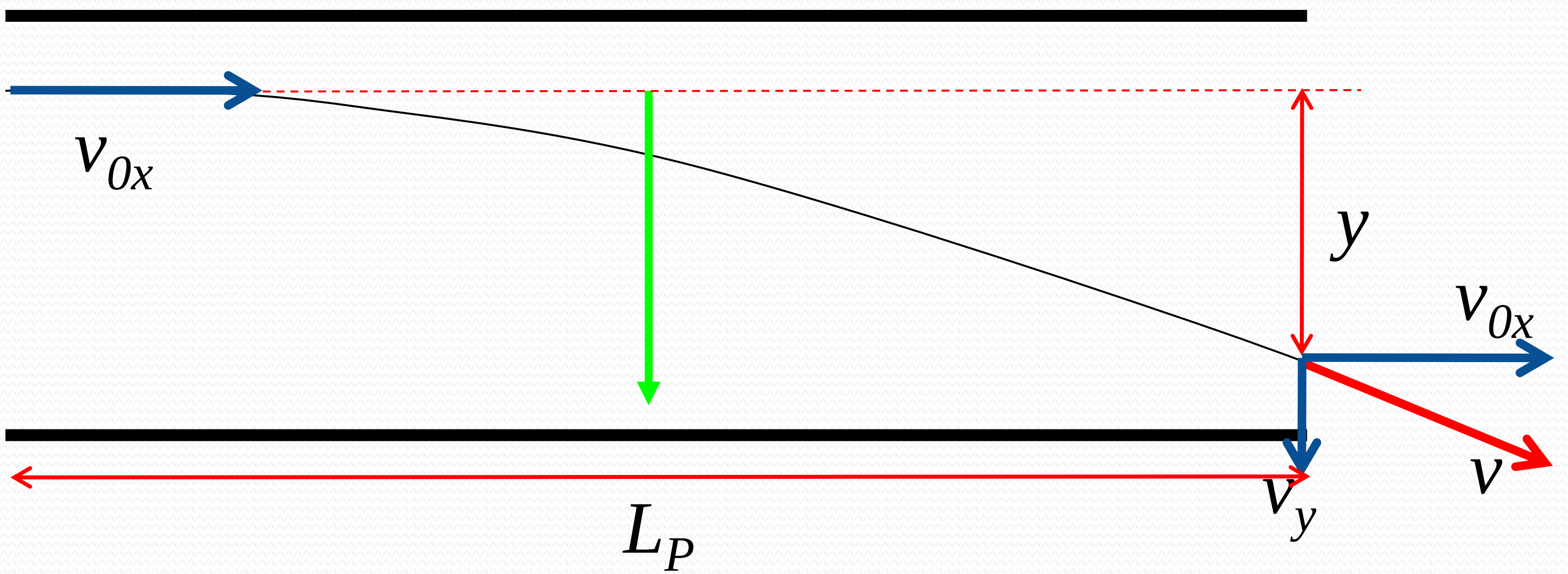
- Sistema de placas paralelas ideais, com um anteparo a uma distância $\mathbf{D_{ps}}$. Qual a deflexão (**h**) do feixe por estas placas?



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniforme em x

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

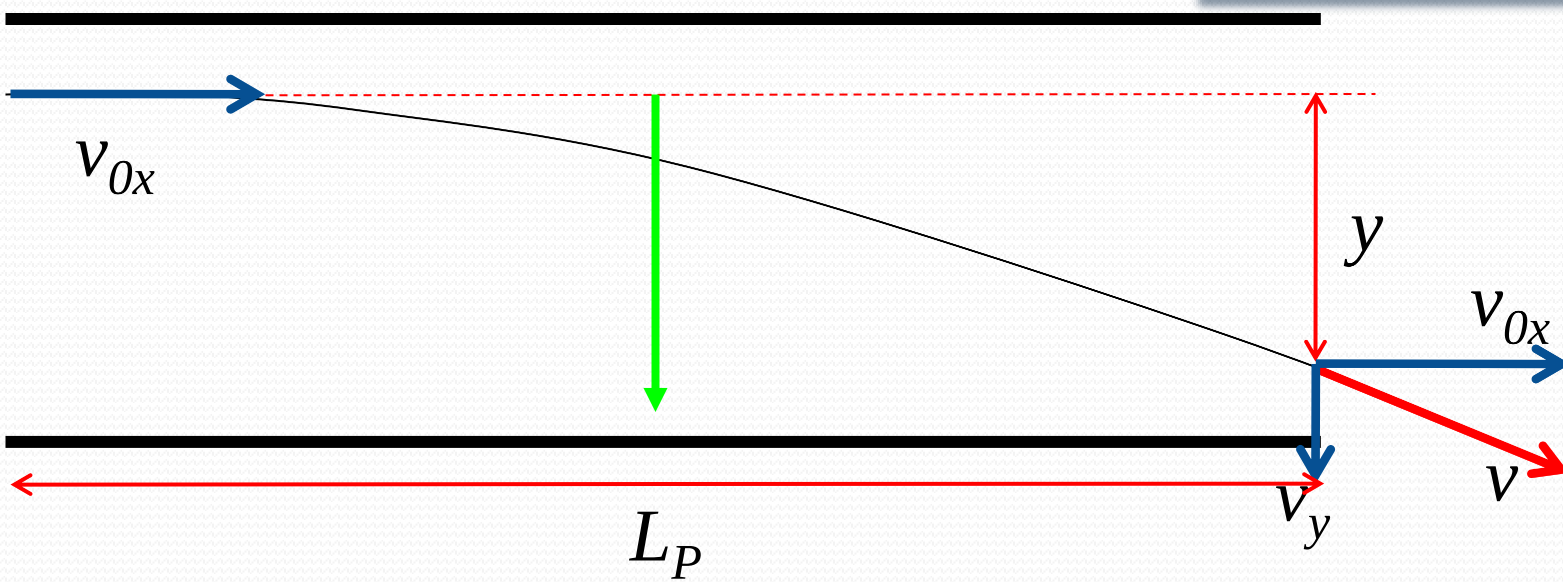


Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniformemente variado em y

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

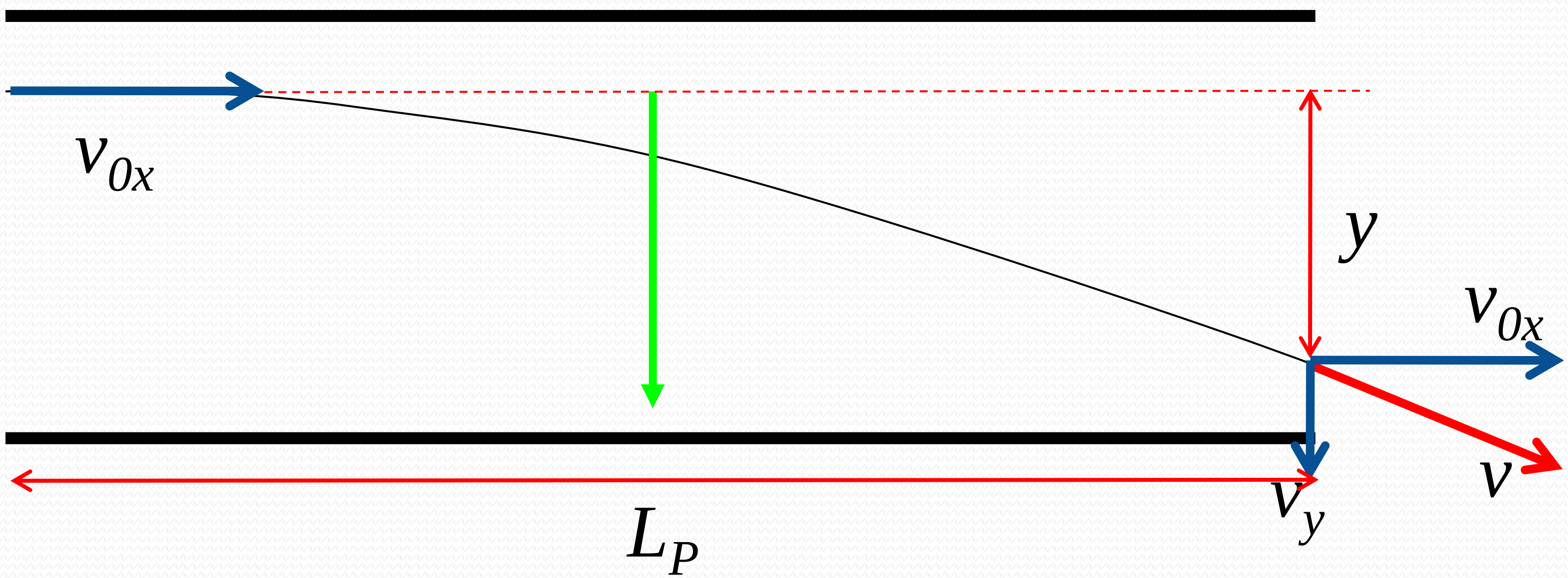
$$v_y = v_{0y} + a_y t \quad \Rightarrow v_y = \frac{qE}{m} t \quad \Rightarrow \boxed{v_y = \frac{qEL_P}{mv_{0x}}}$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Movimento uniformemente variado em y

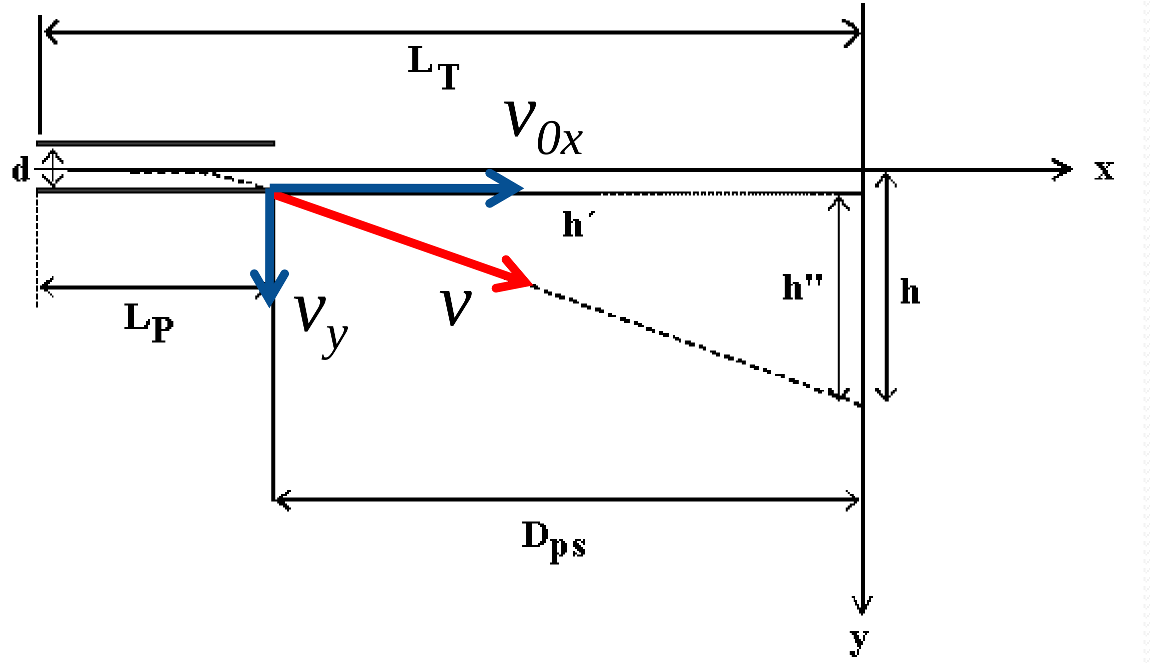
$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \Rightarrow \boxed{y = \frac{qE}{2m}\left(\frac{L_P}{v_{0x}}\right)^2}$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Após as placas voltamos a ter movimento uniforme

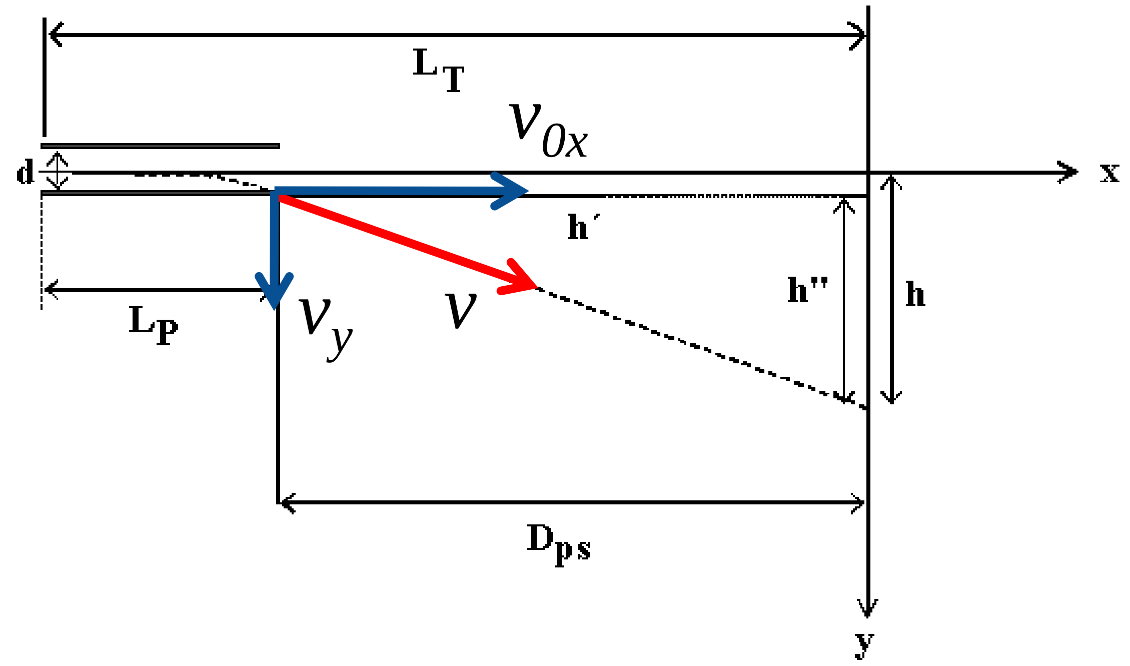
$$t = \frac{D_{PS}}{v_{0x}} \qquad h'' = v_y t = \frac{qEL_P}{mv_{0x}} \frac{D_{PS}}{v_{0x}}$$



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- O deslocamento total é a soma dos dois deslocamentos

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



Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- O deslocamento total é a soma dos dois deslocamentos

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

Posição do centro das placas

- Ou seja:

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

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

Movimento de uma partícula em um campo uniforme

- Em um capacitor ideal, o campo vale:

$$|E| = V_P/d$$

- A velocidade do elétron depende da tensão de aceleração através de:

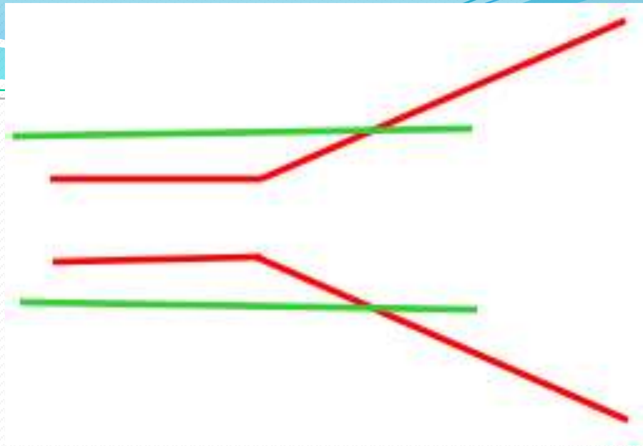
$$K_{cin} = qV_{AC} \quad \Rightarrow \frac{1}{2}mv_{0x}^2 = qV_{AC}$$

- Ou seja:

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

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

Quem é a constante *A'*?



- Ou seja

$$A' = \frac{L_P}{2d} L_C$$

- Contudo, quais são as dimensões das placas equivalentes ($\boldsymbol{L_P}$) e a distância ($\boldsymbol{d}$) entre elas?

- Tenho duas variáveis e apenas uma medida. Como eu resolvo esta ambigüidade?

Quem é L_P e d?

- Vamos lembrar alguns conceitos sobre movimento, em especial impulso de uma força

$$\vec{I} = \Delta\vec{p} = \int_0^t \vec{F}(t)dt$$

- No nosso caso ideal, a força é constante com módulo dado por qE. Nesta situação:

$$\vec{I} = \int_0^t \vec{F}(t)dt = \int_0^t q\vec{E}dt = q\vec{E}t = q\vec{E}\frac{L_P}{v_{0x}}$$

Quem é L_P e d?

- Lembrando que o deslocamento na tela do TRC vale:

$$h = \frac{qEL_P}{mv_{0x}^2} L_C$$

- E sabendo que o impulso, na direção y, tem módulo qEL_P/v_{0x}, e sabendo que o momento inicial da partícula vale $p = mv_{0x}$, temos:

$$h = \frac{\text{Impulso}}{p} L_C = \frac{\Delta p}{p} L_C$$

Quem é L_P e d?

- Ou seja, o deslocamento está diretamente relacionado ao impulso fornecido pelo campo elétrico

$$h = Cte \frac{\Delta p}{p}$$

- Podemos utilizar esta informação para fazer uma escolha educada para o comprimento efetivo das placas.
  - Onde se dá o impulso que altera o deslocamento da partícula?

Quem é L_P e d?

- No caso ideal temos que:

$$\vec{I} = q\vec{E}t$$

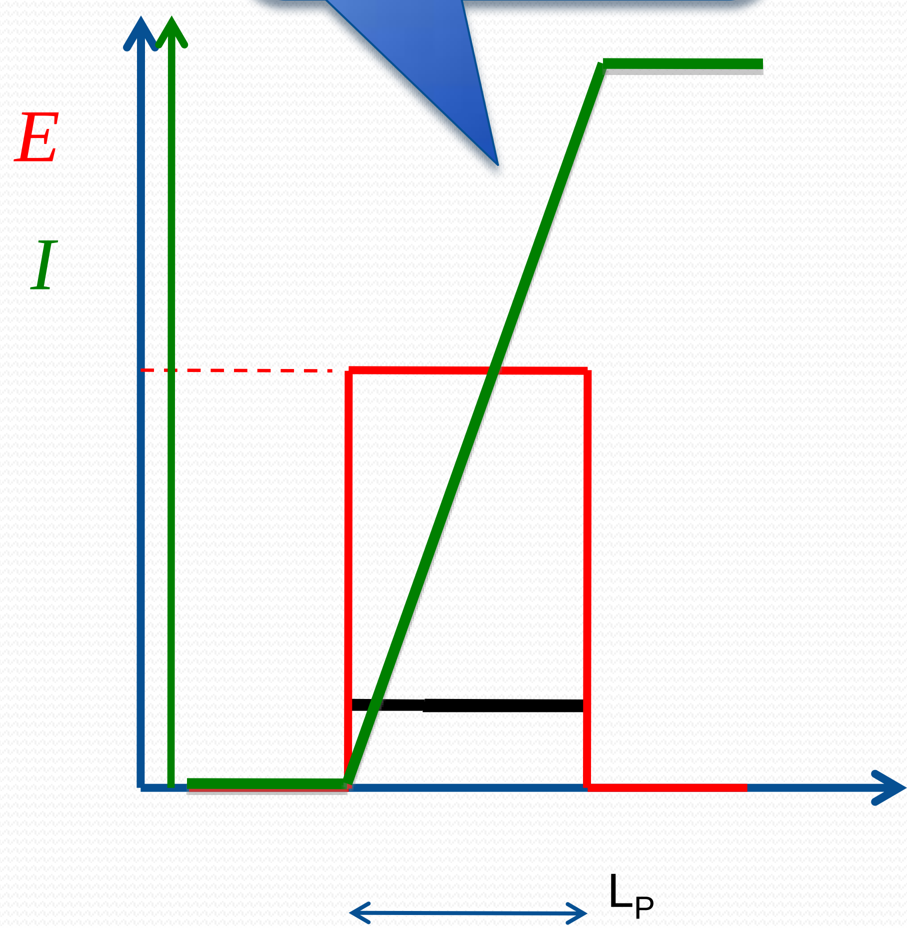
- Como:

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

- Temos:

$$\vec{I} = \frac{q\vec{E}}{v_{0x}} x$$

Ou seja, o impulso se dá na região que o campo atua mais intensamente



Quem é L_P e d?

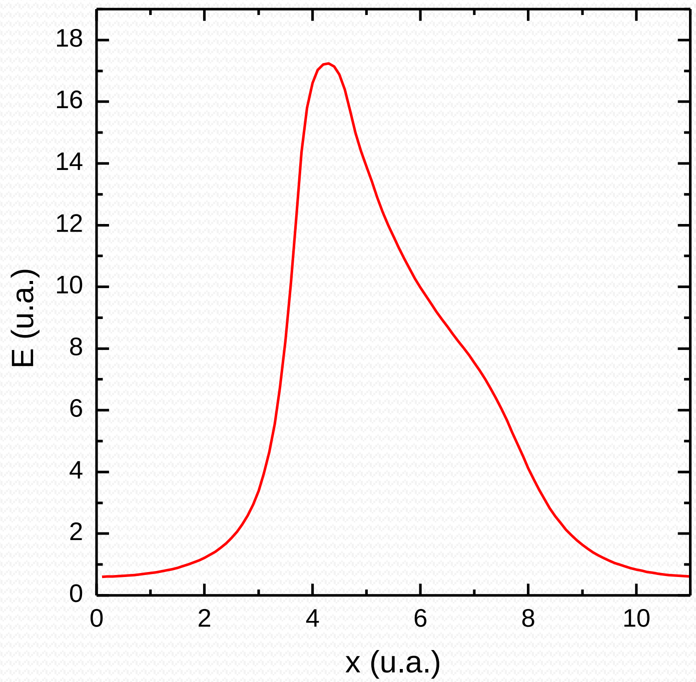
IMPORTANTE!

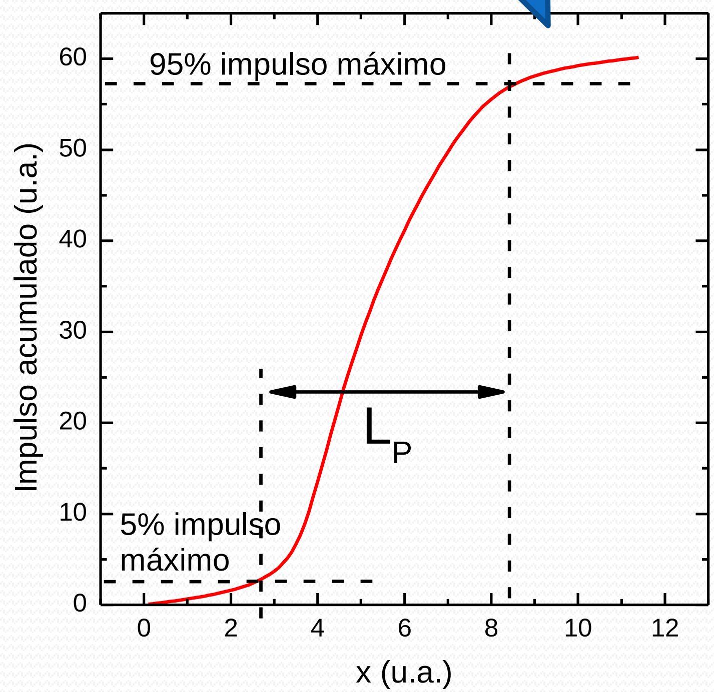
- Calculando o impulso acumulado

$$\vec{I}(x) = \int_0^t \vec{F}(t)dt = \int_0^x \frac{q\vec{E}}{v_{0x}}dx$$

Usar o campo simulado

Calculo L_P a partir deste gráfico





Para entregar – parte 1

- Da simulação do campo, fazer o gráfico de impulso acumulado em função do comprimento.
  - Determinar o comprimento efetivo das placas (L_P)
    - Usar como limites 5% e 95% do impulso máximo acumulado como limites
    - Dica: use o Excel e faça a integral como a soma de pequenos retângulos

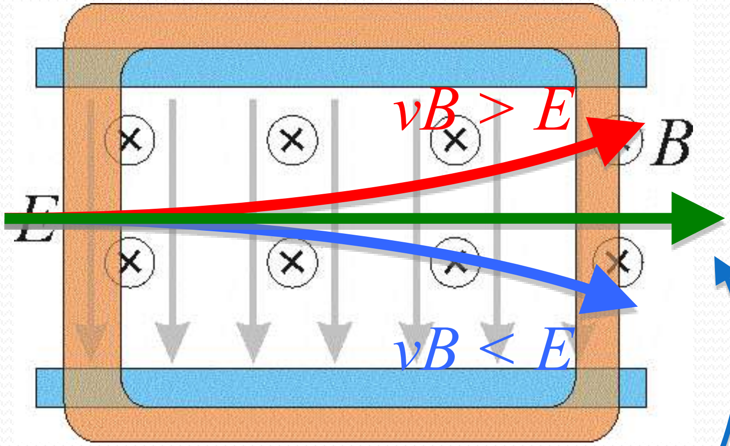
- Determinar a distância efetiva (*d*) entre as placas ideais de comprimento L_P para que elas provoquem o mesmo impulso total
- Comparar o comprimento geométricos do TRC e discutir

Seleção de Velocidades

Vamos olhar de perto este seletor

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

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



- Condição de força resultante nula:

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

v_z inicial é nula. Se não houver força em Z isto não muda

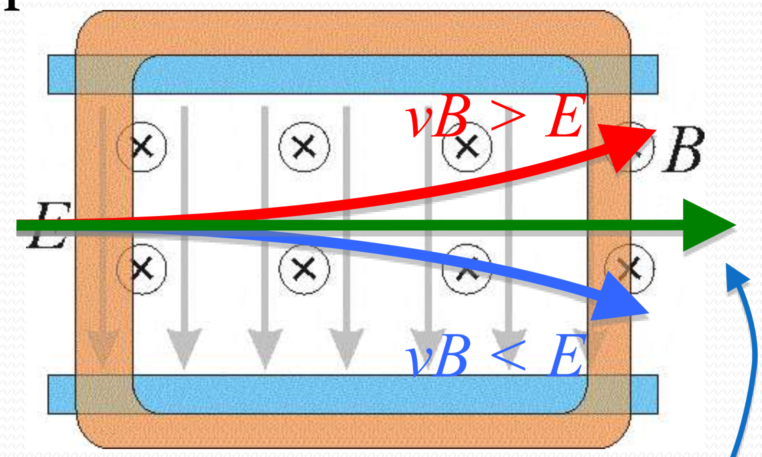
$$\vec{F} = q(v_x B - E)\hat{k} - qBv_z\hat{i} = 0$$

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

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

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:

$$h_E = \frac{qL_P E}{m v_{0x}^2} L_C$$

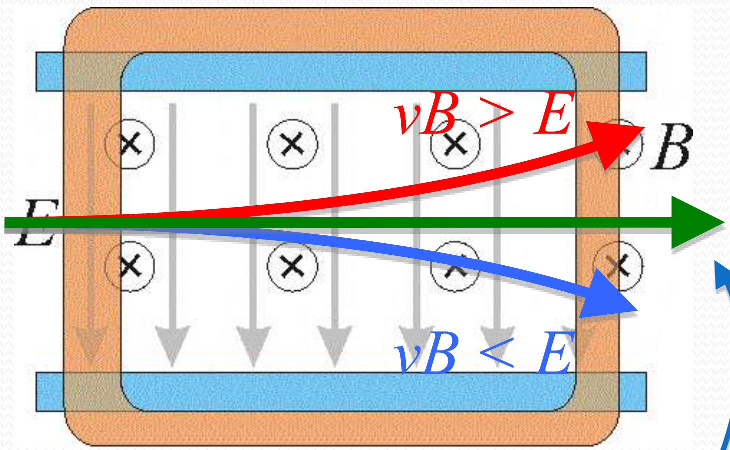
$$v_{0x} = \frac{E}{B}$$

- E a deflexão devido ao campo magnético vale:

$$H_B \approx \frac{q L_B L_C}{m v_{0x}} B$$

Vamos olhar de perto este seletor

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



$$h_E = H_B$$

- Ou seja:

$$\frac{qL_P E}{mv_{0x}^2}\cancel{L_C} = \frac{qL_B \cancel{L_C}}{mv_{0x}}B$$

Se estavam alinhadas...

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

- Assim:

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

Vamos olhar de perto este seletor

- Mas na aula passada nos deduzimos, a partir de **Fe=Fm**, que:

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

- Como é que agora temos??

$$v_{0x} = \frac{L_P}{L_B}\frac{E}{B} = \frac{L_P / d}{L_B \beta}\frac{V_P}{i}$$

- Nossa falha na aula passada foi assumir que as forças estavam em equilíbrio. Isso não é possível pois $\mathbf{L_B}$ (~8cm) e $\mathbf{L_P}$ (~4cm) são diferentes!

Tarefas da Semana – Parte 2

- A partir da fórmula teórica para a seleção de velocidades deduzida por $h_E = H_B$, ie equilíbrio dos impulsos,

Mediram experimentalmente, então seu valor não muda...

O que mudou foi a nossa interpretação do que "entra" na constante...

$$v_{0x} = \alpha' \frac{V_P}{i}, \text{onde } \alpha' = \frac{L_P}{L_B} \frac{1}{\beta d}$$

  - estimar o valor da constante de calibração e
  - comparar com aquela obtida experimentalmente

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 magnético
- Semana 4
  - Calibrar o seletor + Modelo Teórico
- Semana 5
  - Obter a resolução do seletor de velocidades

Resolução do Seletor

Seletor de Velocidades

- Vimos que, conhecendo a constante **α** do seletor, para selecionarmos uma velocidade (partículas dessa velocidade passam sem desvio) precisamos apenas conhecer a razão $\mathbf{V_P/i}$ correspondente:

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

- Porém há um número infinito de valores de $\mathbf{V_P}$ e **i** que dão a mesma razão $\mathbf{V_P/i}$.
- 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?

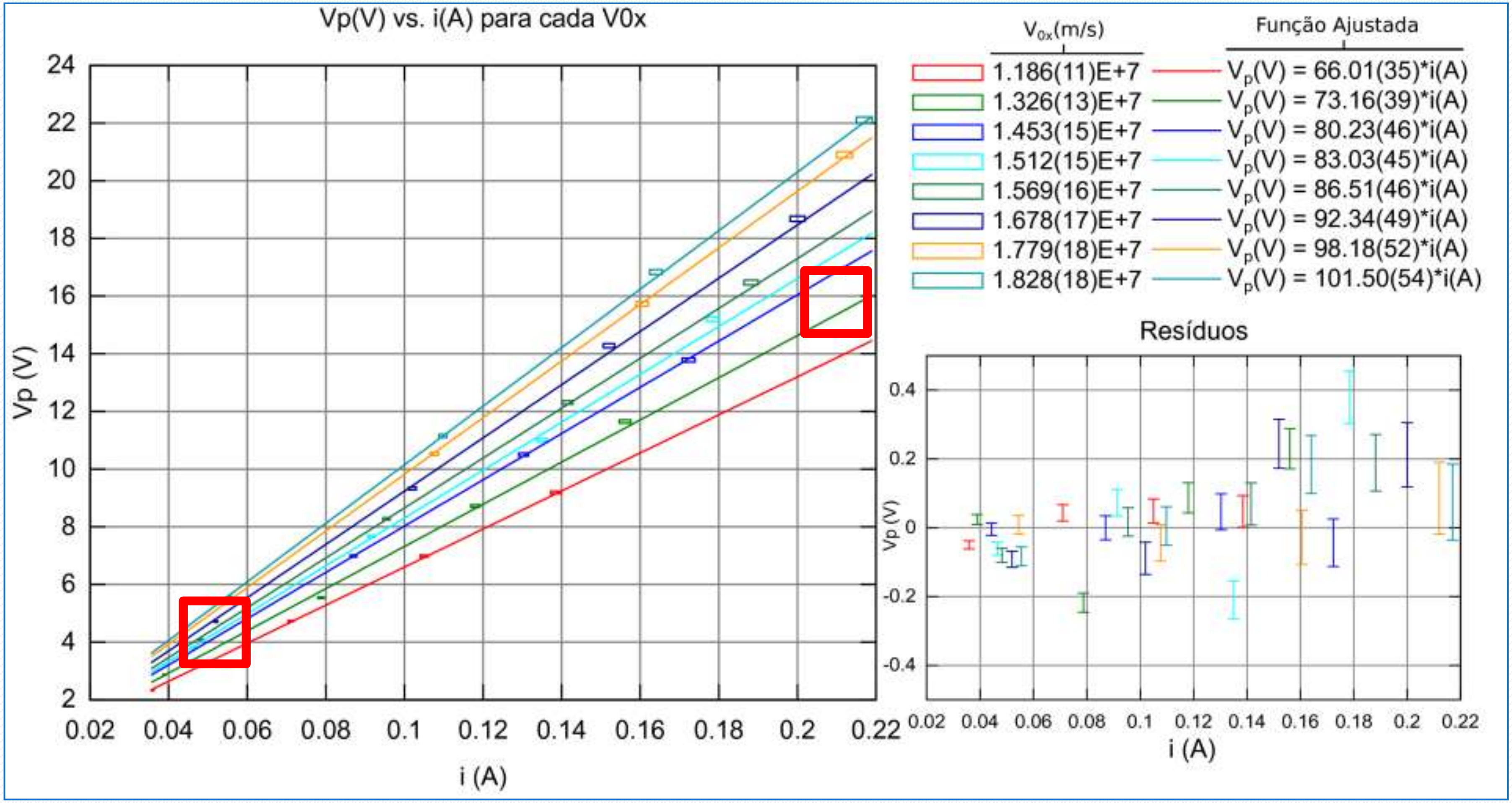
Seletor de Velocidades

- 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 ?

Resultado do H04

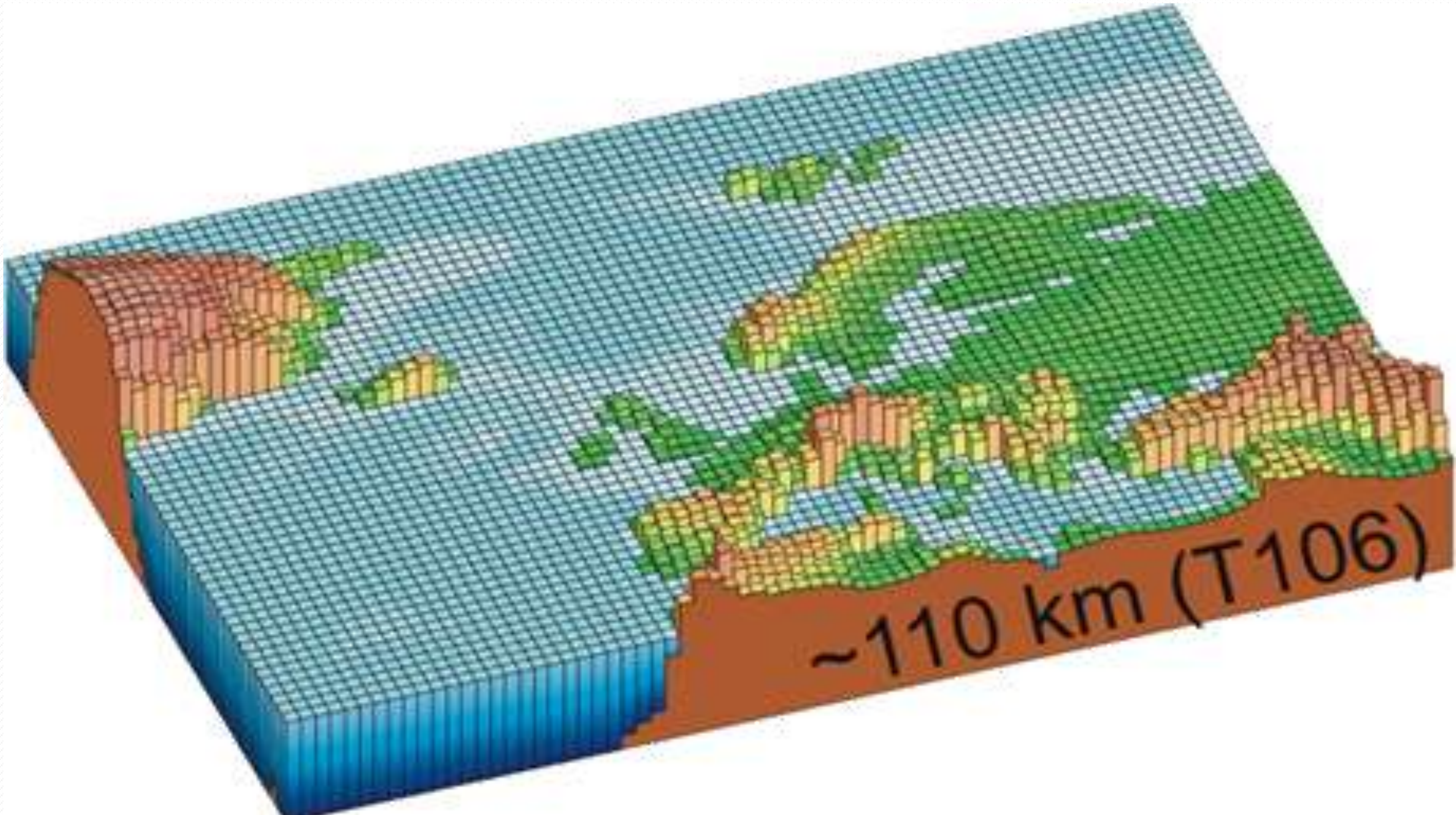


Resolução

- 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



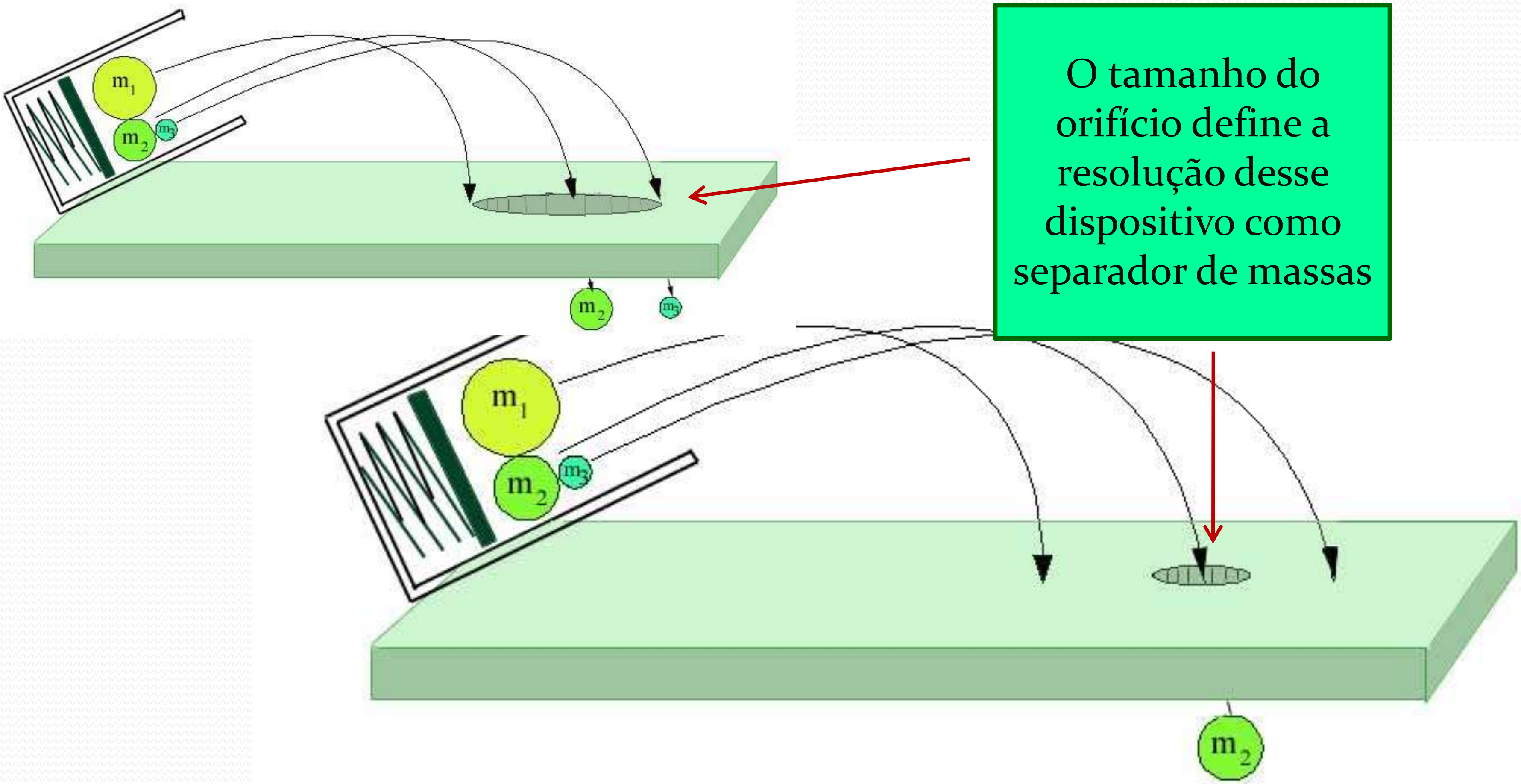
Resolução em velocidade

- 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:

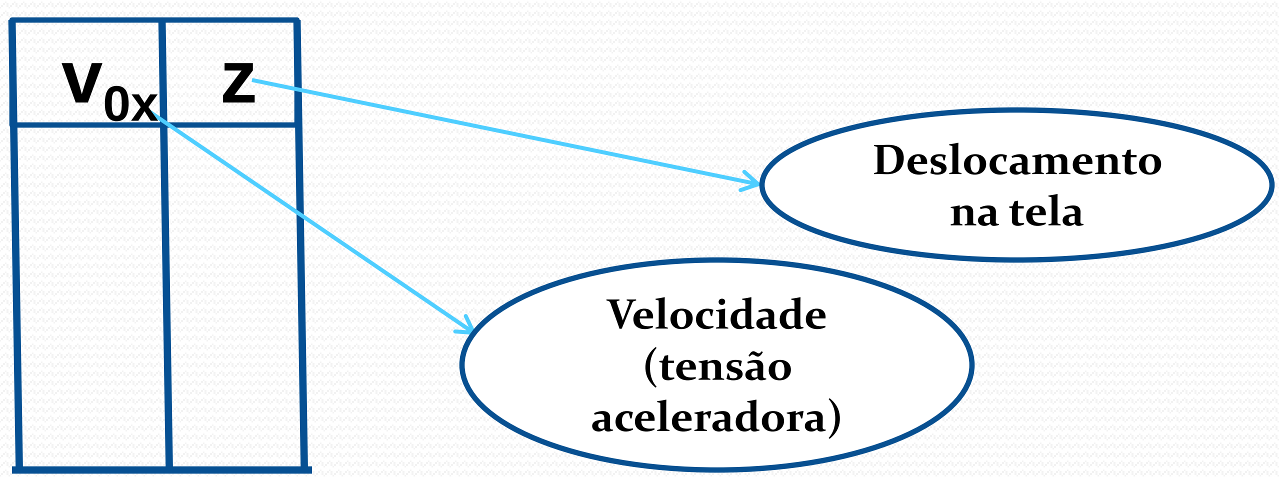
$$R = \frac{\Delta v_x}{v_x}$$

  - 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 $\mathbf{\Delta v_x}$?

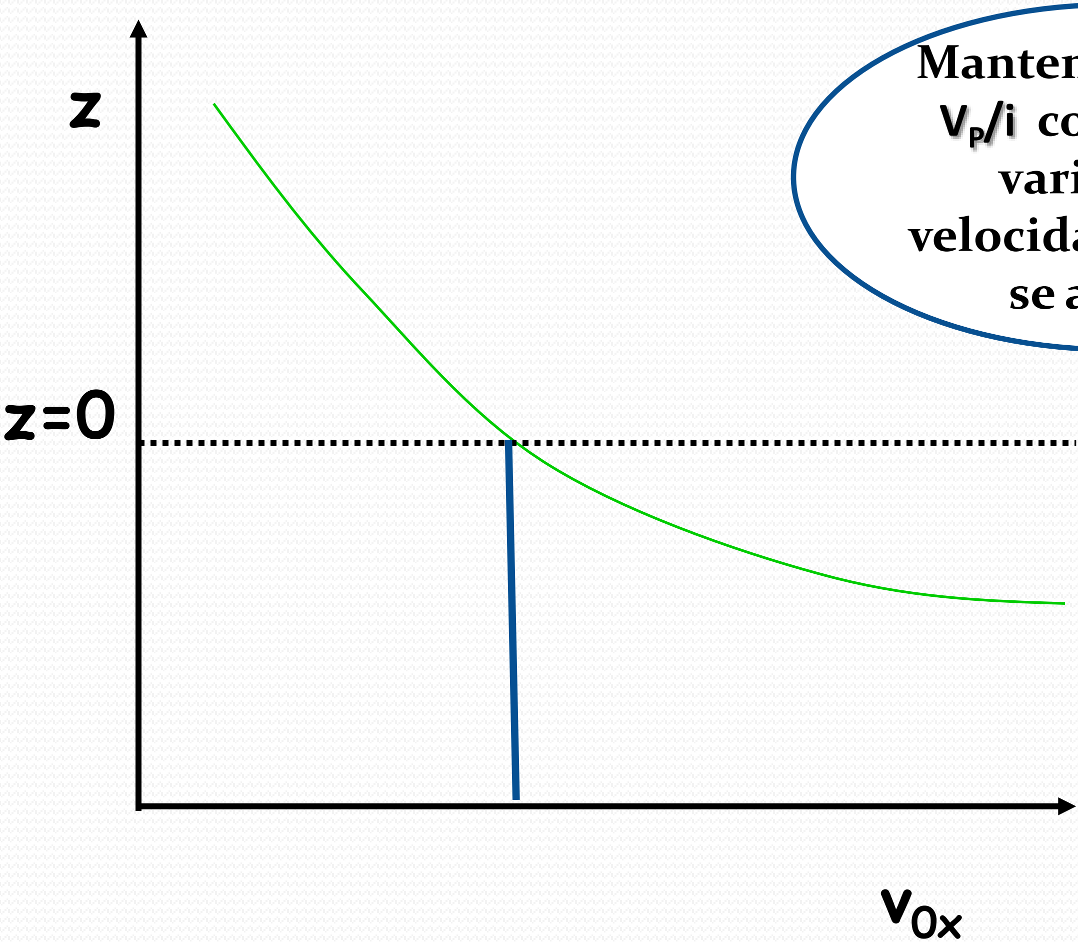
Para medir Δv_x:

- Vamos fazer a seguinte medida:
  - Ligamos o seletor, selecionamos uma velocidade, v_{ox}, através de **V/i**, 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 Δv_x:

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

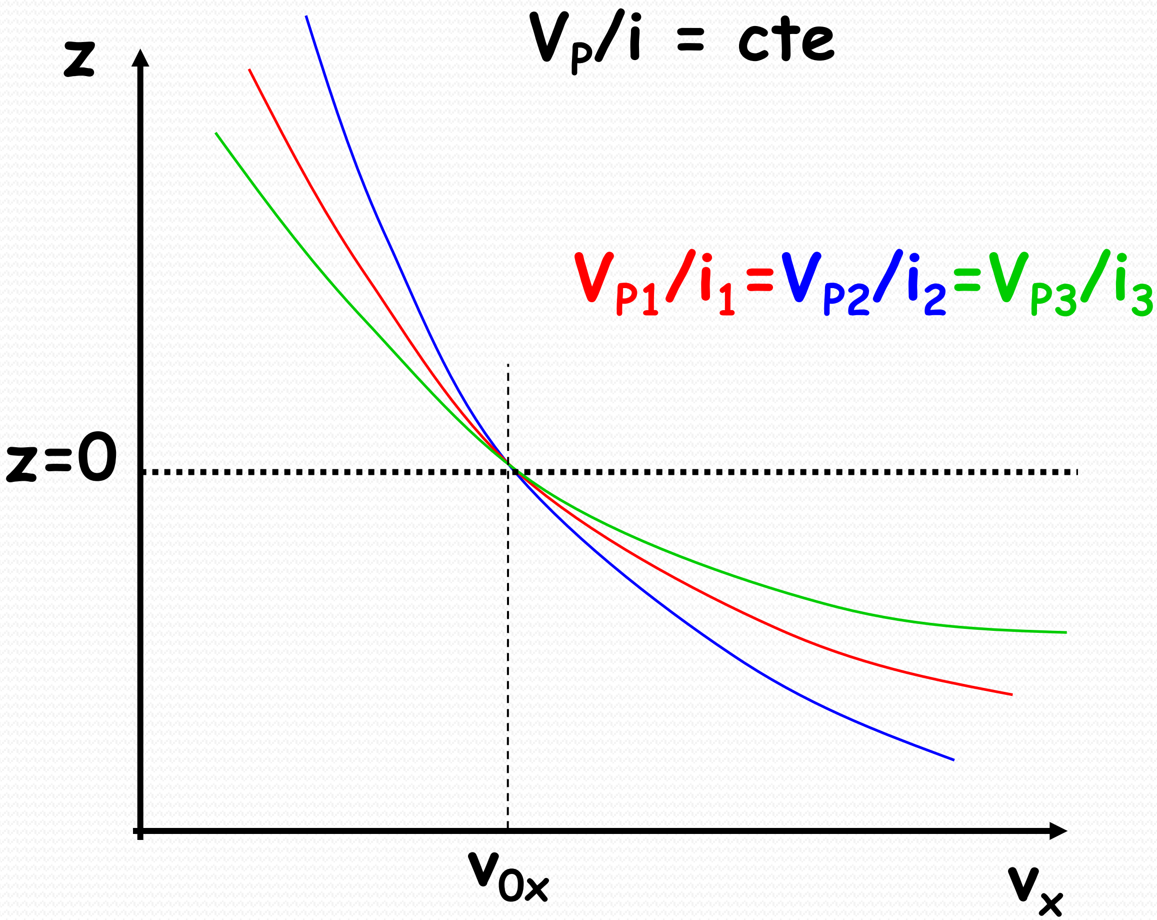


Mantendo a razão V_P/i constante e variando a velocidade obtém-se a curva

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

Medindo Δv_x:

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

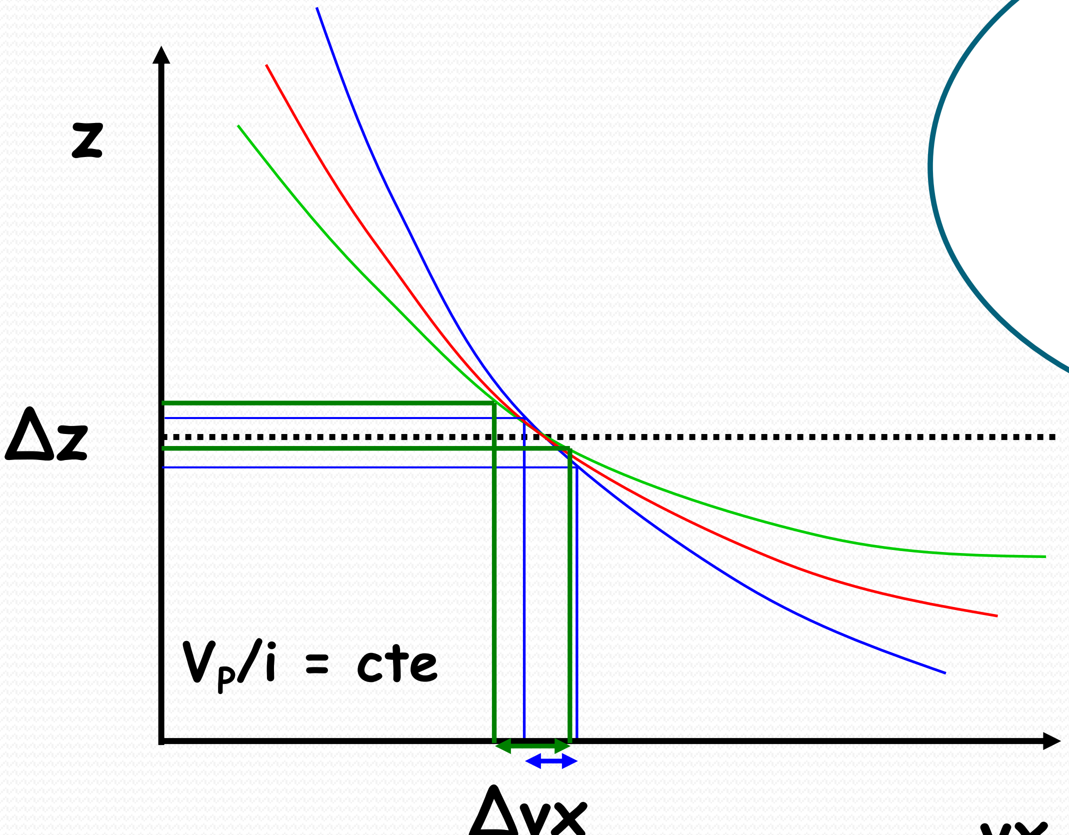


Cada ponto nessas curvas corresponde a um deslocamento na tela no eixo z

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

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

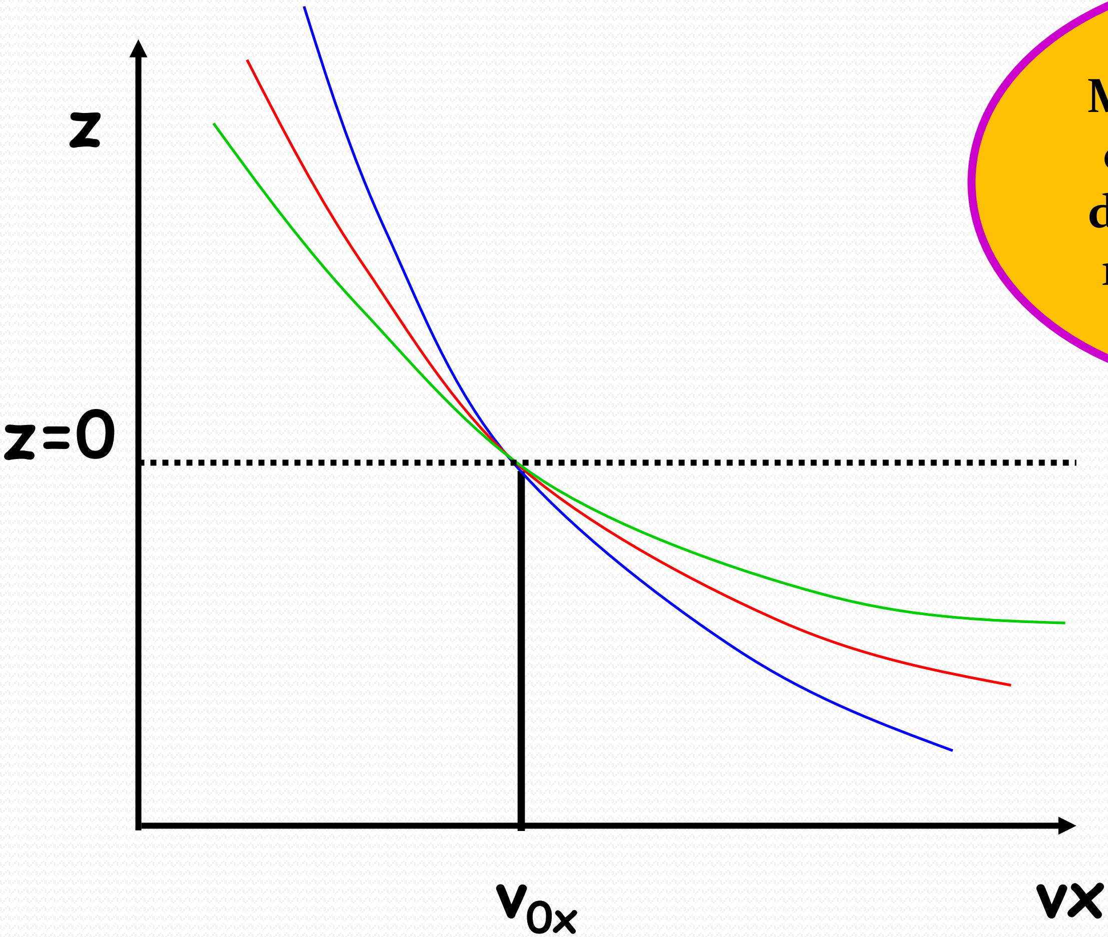
$$\frac{V_P}{i} = \frac{25}{0{,}3} = \frac{10}{0{,}12} = \frac{5}{0{,}06}$$



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

Cálculo da resolução

- Mesma razão $\mathbf{V_P/i}$ mas diferentes valores de $\mathbf{V_P}$ e de **i** $\rightarrow$ mesma velocidade selecionada, mas....

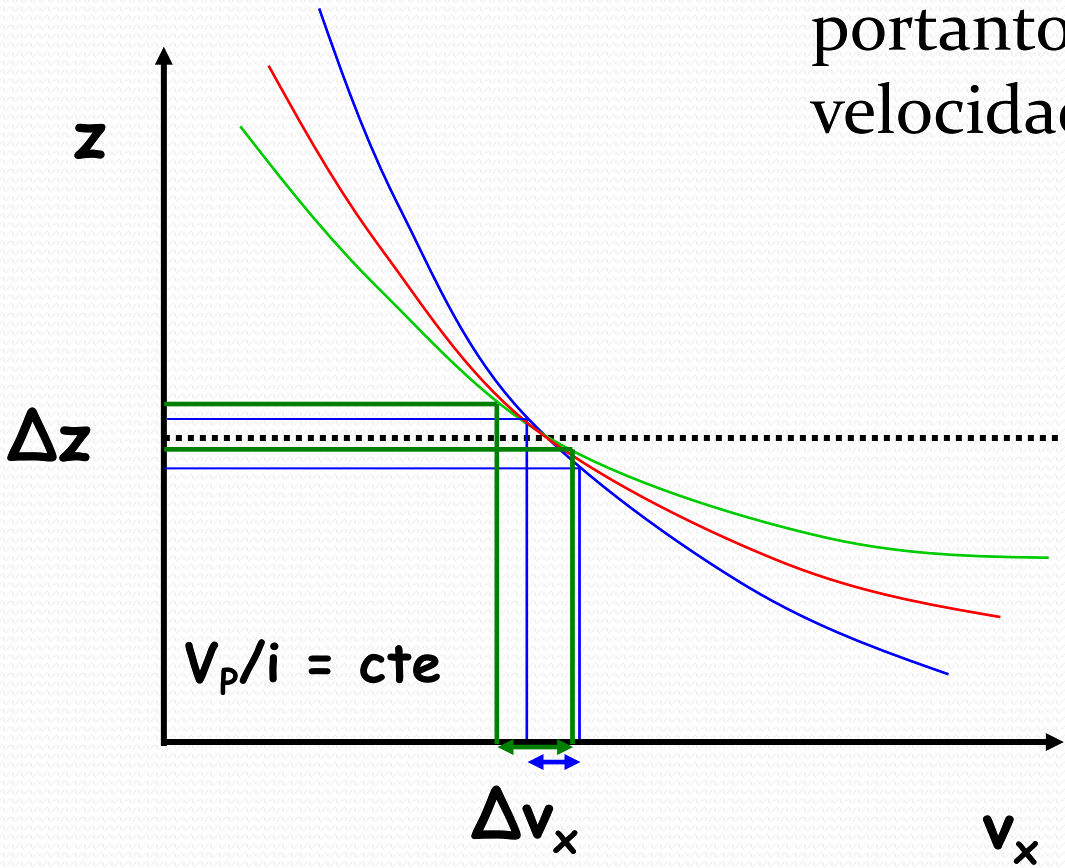


Mas a resolução em velocidade do instrumento não é a mesma

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

Resolução do seletor

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



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

Para Entregar – Parte 3

- 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

Para entregar – Parte 4

- 4- A partir da incerteza do deslocamento **z**, no gráfico **z** x $\mathbf{v_x}$**,** calcule a dispersão em $\mathbf{v_x} \rightarrow \mathbf{\Delta v_x}$, 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.

Dicas

- Usem uma velocidade média com um Vac=700V e Vp/i da ordem de 83:

$$\frac{V_P}{i} = \frac{25}{0,3} = \frac{10}{0,12} = \frac{5}{0,06} \approx 83$$

- Daí tem 3 pontos para cima (800, 900, 1000V) em relação a z=0 e 3 pontos para baixo (400, 500, 600V) para cada curva.
- Ao todo 7 pontos para cada curva
- Se para algum seletor o valor de 400 for muito baixo, ou seja, não aparece o ponto na tela, subir um pouco até aparecer e manter todas as outras tensões também um pouco mais altas.