

Instituto de Física - USP  
FGE0213 - Laboratório de Física III - LabFlex

Aula 5 - (Exp 2.1)  
Filtro de Wien  
Mapeamento de Campo Elétrico

Manfredo H. Tabacniks  
Alexandre Suaide  
setembro 2007

# Estudo de uma partícula em um campo eletromagnético



# Experiência 2 - Filtro de Wien - 7 aulas

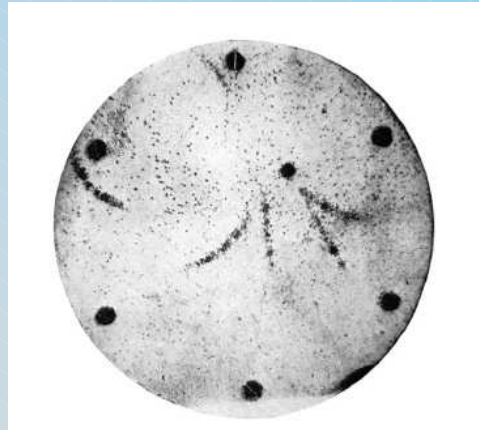
- Estudar o movimento de uma partícula em um campo eletromagnético
- O Seletor de velocidades do tipo filtro de Wien
  - ? Configuração especial de campo EM
  - ? Estudo das propriedades e características deste filtro
  - ? Como as características experimentais influenciam o funcionamento do filtro?
  - ? Como contornar as limitações experimentais e como tratar um sistema não ideal do ponto de vista teórico?



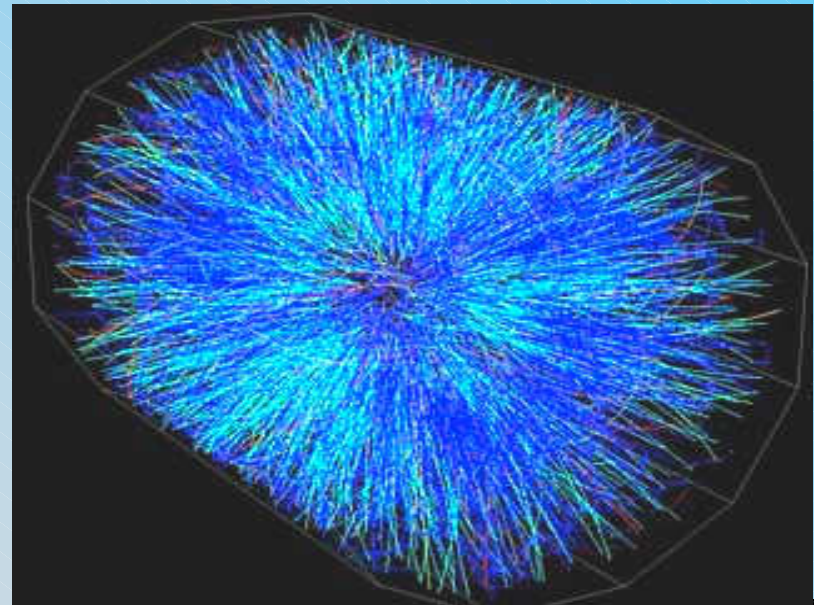
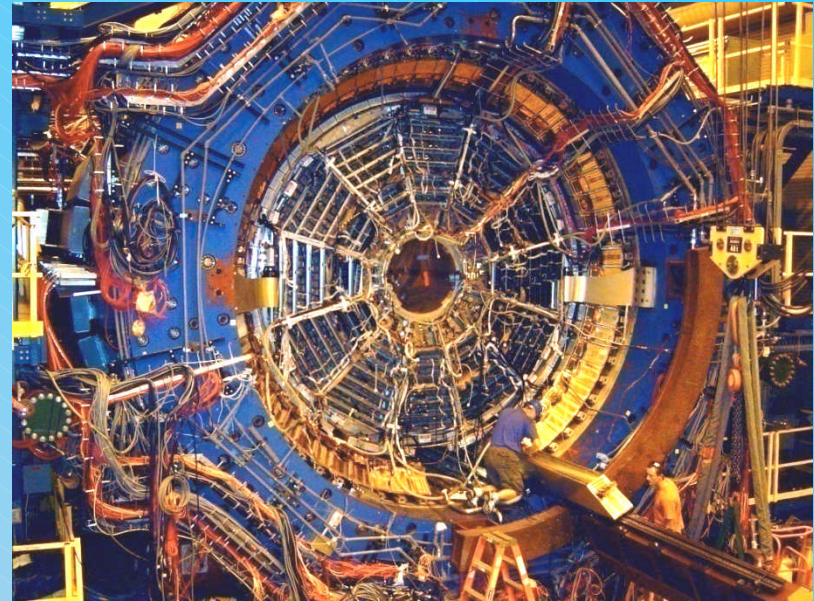
# Qual a razão de estudar movimento de partículas em campos EM?

λ Uma fração significativa do estudo das partículas subatômicas é feito através da análise das suas trajetórias em campos EM.

- Desde a descoberta do pósitron



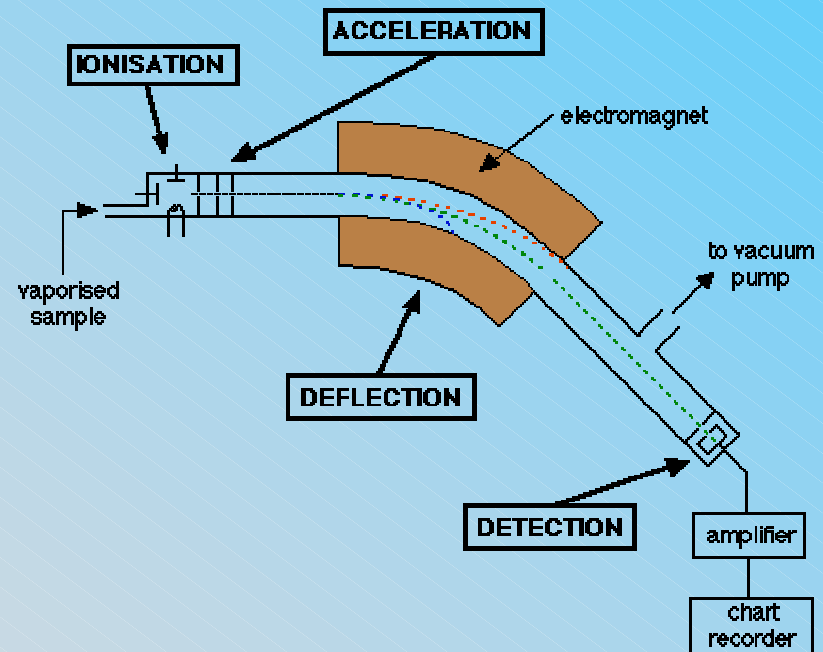
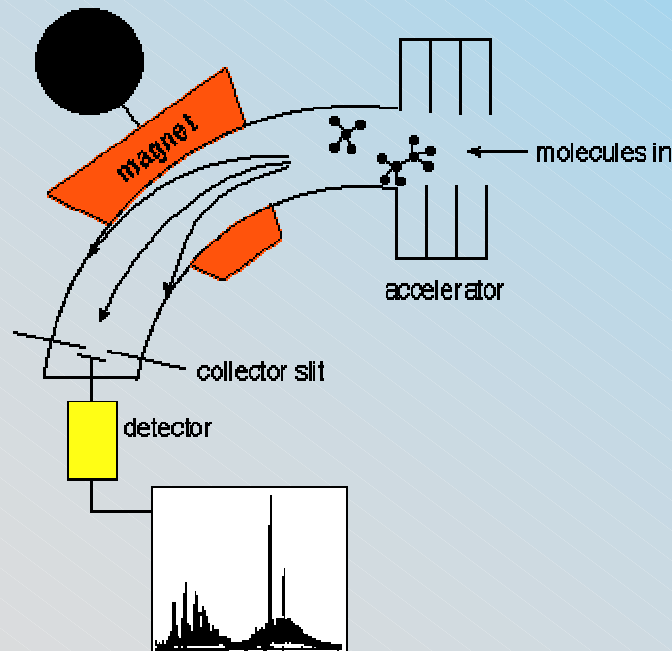
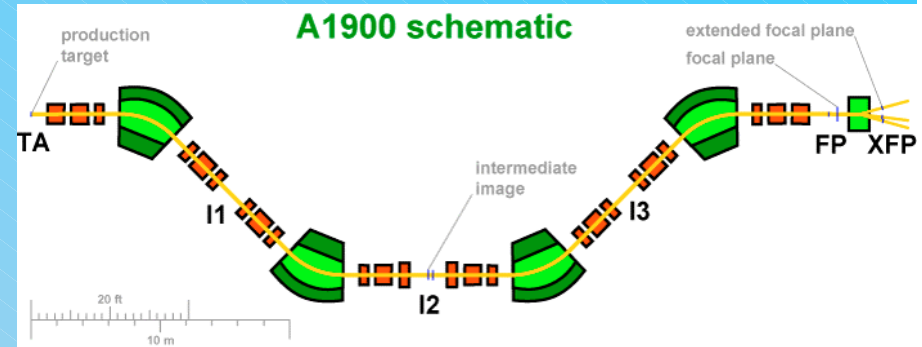
- Até a descoberta de novos estados da matéria nuclear (2007)



# Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

? Várias aplicações científicas e práticas

- o Aceleradores
  - ? Pelletron, LAMFI
- o Analisadores
  - ? Espectrometro de massa, etc

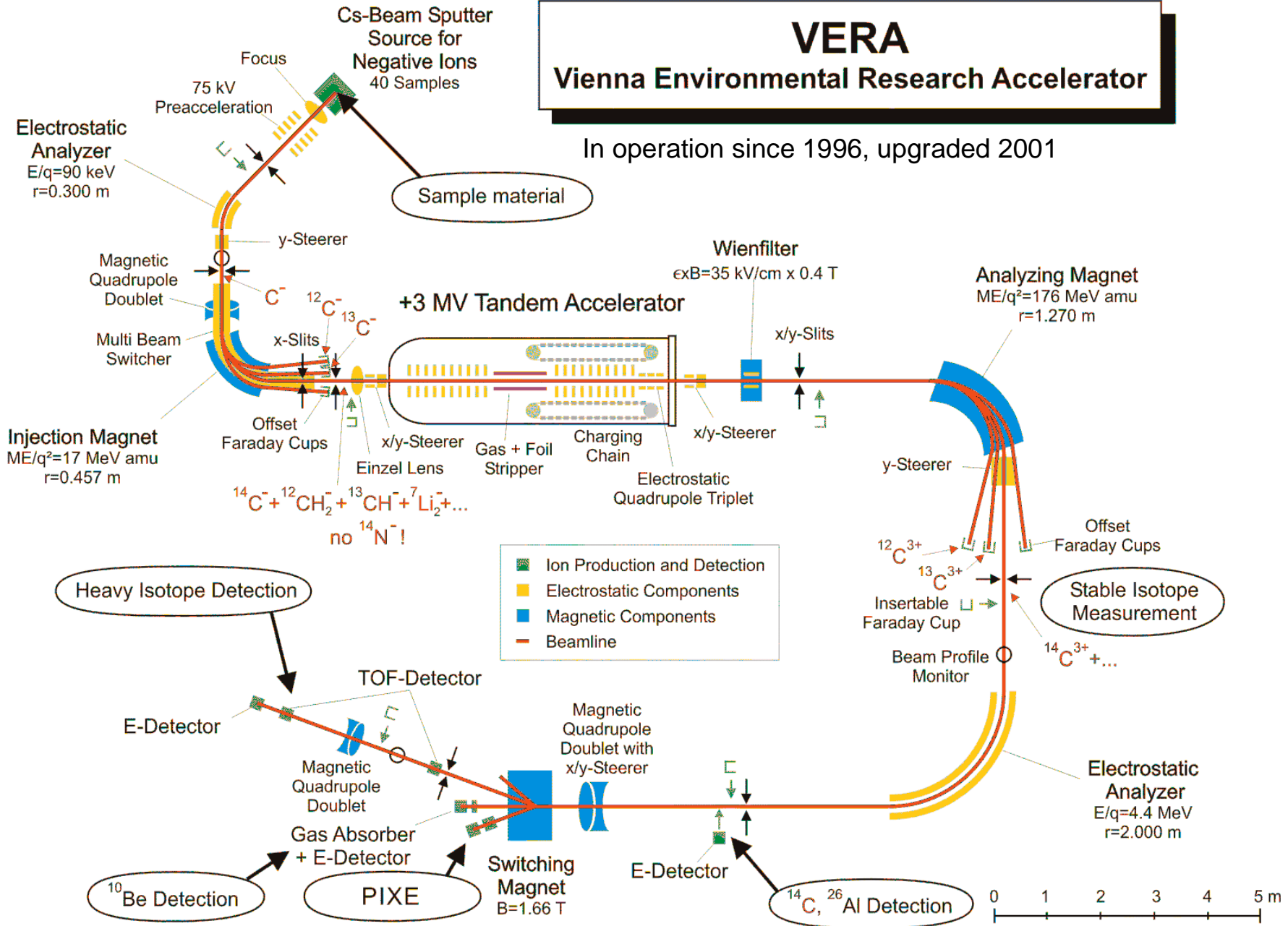


$^1\text{H}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{182}\text{Hf}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{239-244}\text{Pu}$ ,  $(^{43}\text{Ca}^{19}\text{F}_4)^{-}$ ,  $(\text{H}_2)^{-}$

# VERA

## Vienna Environmental Research Accelerator

In operation since 1996, upgraded 2001



## O Princípio básico é conhecer a interação eletromagnética

- ? Qual é a força que atua em uma partícula que está imersa em um campo eletromagnético?

$$\vec{F} = \vec{F}_{Elétrica} + \vec{F}_{Magnética} + \vec{F}_{outras}$$

- ? Por simplicidade (faça as contas e verifique)

$$\vec{F}_{outras} \sim 0$$



## O Princípio básico é conhecer a interação eletromagnética

- ? Qual é a força que atua em uma partícula que está imersa em um campo eletromagnético?

$$\vec{F} = \vec{F}_{Elétrica} + \vec{F}_{Magnética}$$

- ? Se o campo elétrico e magnético são conhecidos

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$$



... e resolver as equações de movimento

- ? A trajetória de uma partícula qualquer pode ser descrita resolvendo-se as equações de movimento

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

- ? Ou seja, no campo EM:

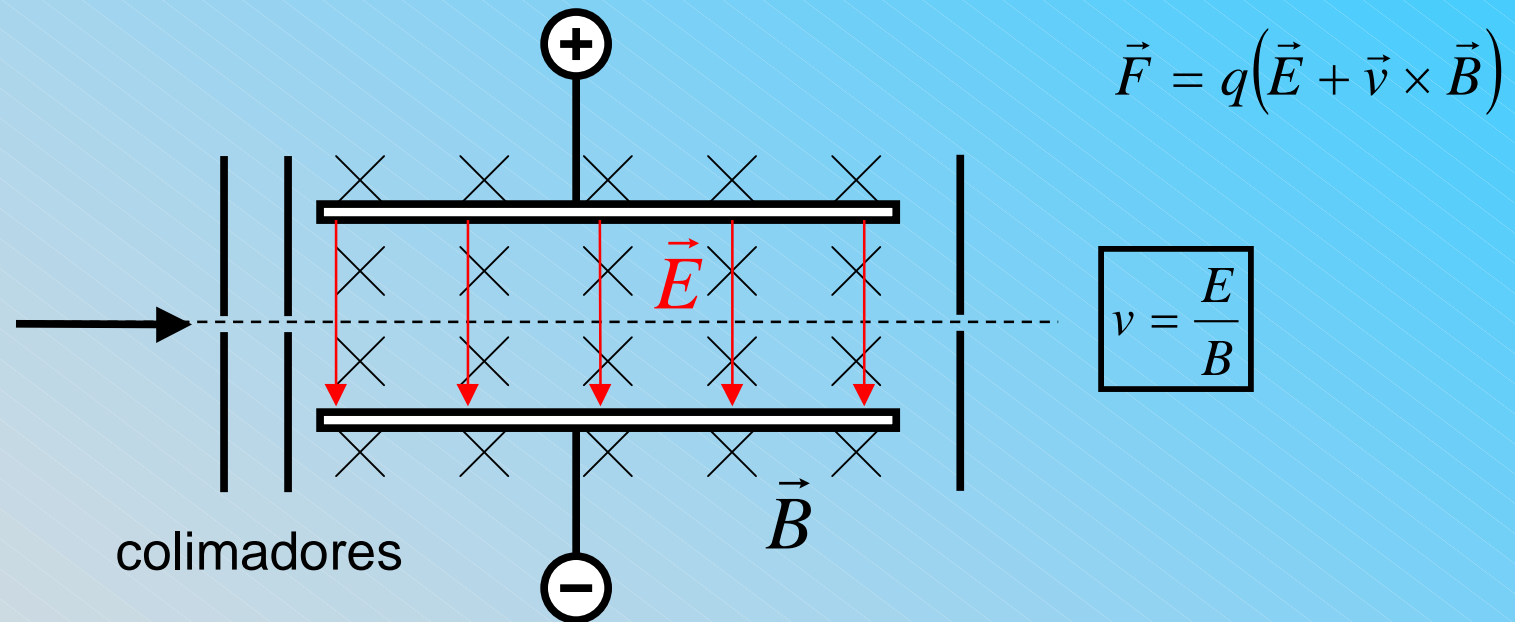
$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q \left( \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right)$$

# Como estudar um problema complexo?

- ? O movimento de uma partícula no campo do filtro de Wien pode ser bastante complexo
  - Muitas forças envolvidas.
  - Movimento não é unidimensional
- ? Como tornar o problema mais simples?
  - Isolar contribuições dos diferentes fenômenos. A compreensão individual de cada um dos fenômenos torna o entendimento do todo mais fácil.

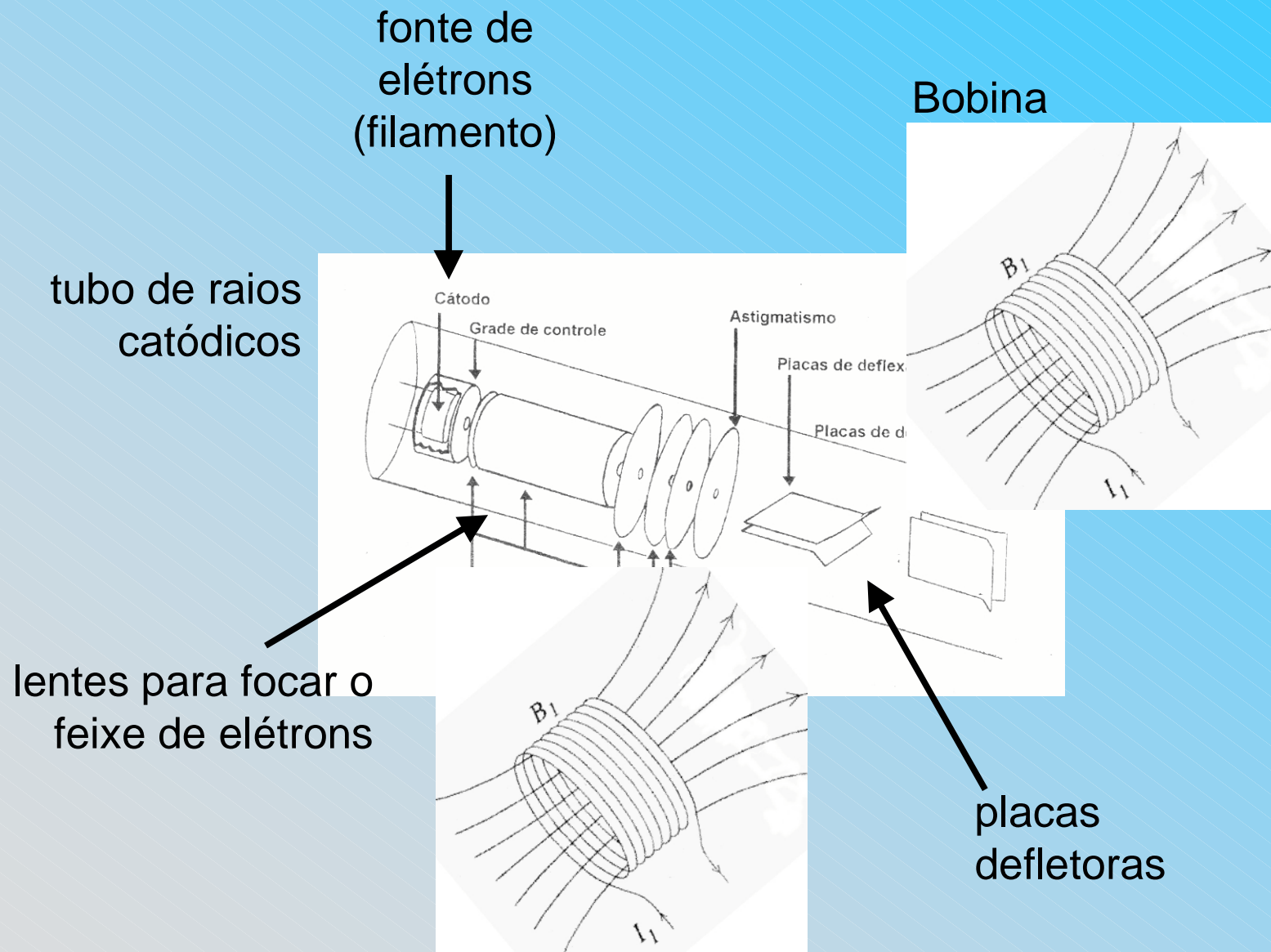
## OBJETIVOS

Estudar e modelar um filtro de velocidades  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  (Filtro de Wien)



- Mapear o campo elétrico entre 2 placas de um osciloscópio
- Mapear o campo magnético gerado por um solenóide
- Construir e calibrar um seletor de velocidades

Na prática...





# Como estudar um problema complexo?

## ? **O movimento de uma partícula no campo do filtro de Wien pode ser bastante complexo**

- Muitas forças envolvidas.
- Movimento não é unidimensional

## ? **Como tornar o problema mais simples?**

- Tentar isolar contribuições dos diferentes fenômenos. A compreensão individual de cada um dos fenômenos torna o entendimento do todo mais fácil.

# Metodologia a ser adotada

## ? **Isolar o campo elétrico**

- Como gerar o campo elétrico
- Estudar o campo elétrico gerado
- Do que depende o campo? Qual a intensidade em cada ponto do espaço e como a geometria do problema altera este campo?

## ? Entender como é o movimento de partículas dentro deste campo elétrico?

- Como gerar estas partículas?
- Podemos descrever o movimento destas partículas teóricamente? Quais os compromissos adotados e as limitações teóricas e experimentais?

# Metodologia a ser adotada

- ? **Isolar o campo magnético**
  - Como gerar o campo magnético?
  - Como estudar este campo? Como medi-lo?
  - Do que depende este campo? Podemos entendê-lo teóricamente?
- ? Como é o movimento destas partículas dentro deste campo magnético?
  - Podemos descrever este movimento teoricamente? Como fazer um experimento para testar as hipóteses teóricas?
  - Quais as limitações e aproximações adotadas

# Metodologia a ser adotada

- ? **Juntar e sobrepor os campos elétrico e magnético**
  - Ligar, simultaneamente, os campos elétrico e magnético
  - Como se dá o movimento das partículas neste campo?
  - Quais as grandezas que devemos observar para comparar com previsões teóricas
    - ? Do que dependem as trajetórias envolvidas? Geometria? Intensidade dos campos? Energia da partícula incidente?
  - Quais as limitações teóricas e experimentais?
  - Após entender o filtro de Wien, como utilizá-lo em aplicações práticas?



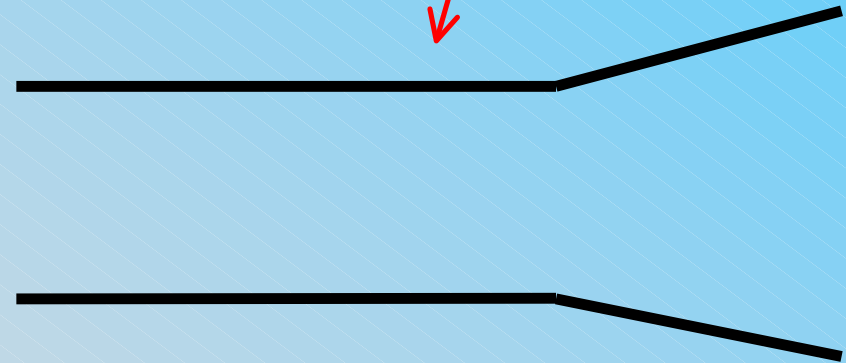
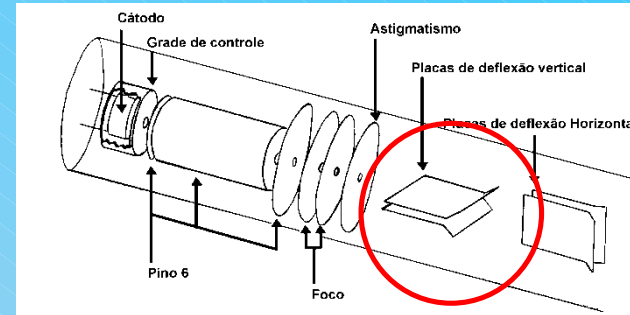
# Metodologia a ser adotada

## ? Resumo do experimento

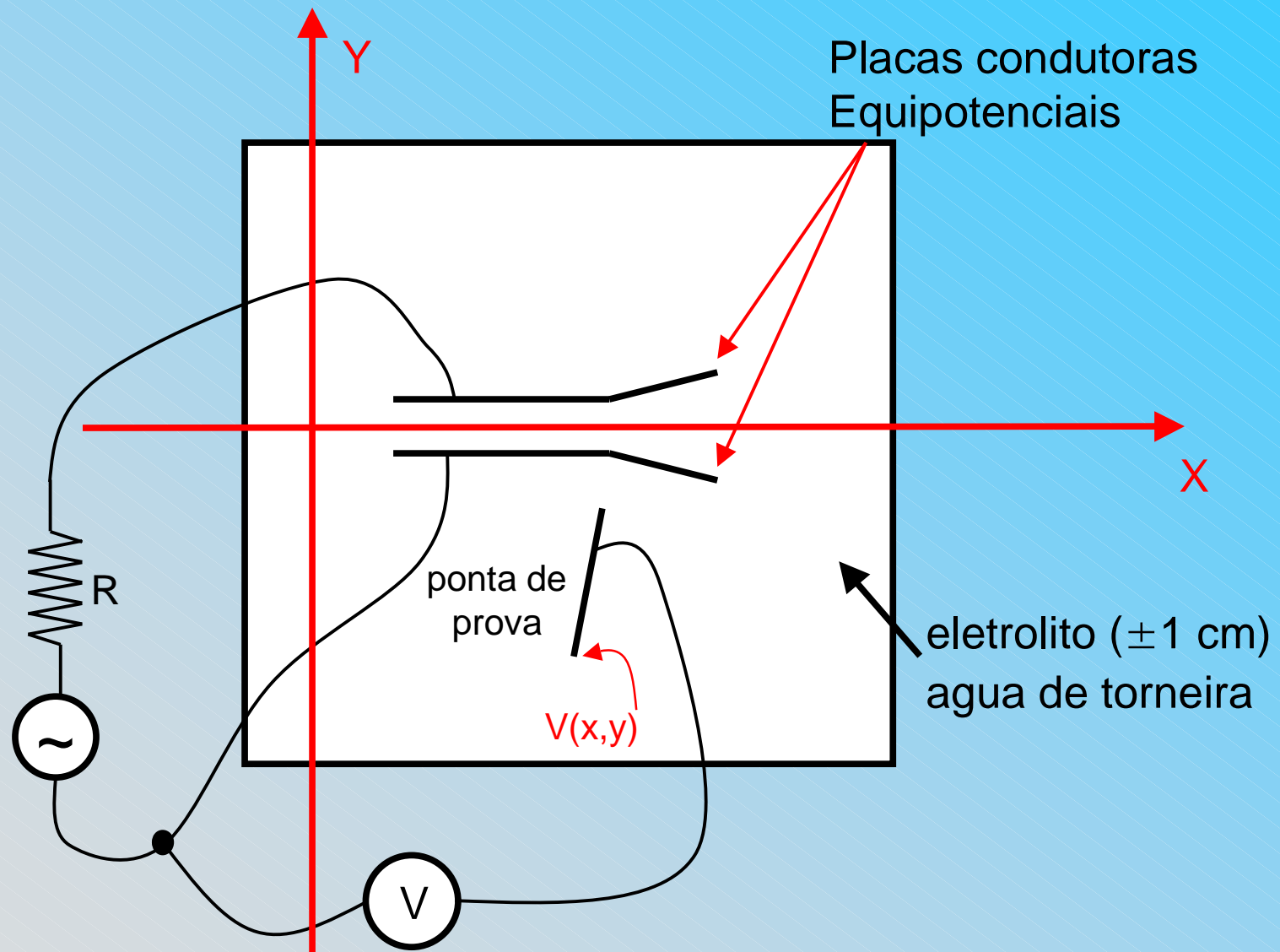
- **Aula 1** - Entender o campo elétrico. Medir o campo elétrico gerado e comparar com previsões teóricas. Quão próximo está o experimento de uma situação de campo ideal (uniforme)
- **Aula 2** - Entender a geração das partículas (elétrons) e como elas se movimentam no campo elétrico estudado na aula anterior?
- **Aula 3** - Entender a geração do campo magnético. Como medi-lo e como compará-lo com previsões teóricas?
- **Aula 4** - Movimento dos elétrons no campo magnético gerado
- **Aula 5** - Ligando o campo elétrico e magnético. Estudar o movimento das partículas no campo EM. Determinar comportamentos gerais do filtro de Wien
- **Aulas 6 e 7** - Estudar em detalhes vários aspectos e aplicações do filtro de Wien. Comparar com simulações e identificar limitações.

# Precisamos conhecer o campo entre as placas

- ? Como é o campo?
- ? É uniforme?
- ? Efeitos de borda?
- ? Superfícies equipotenciais

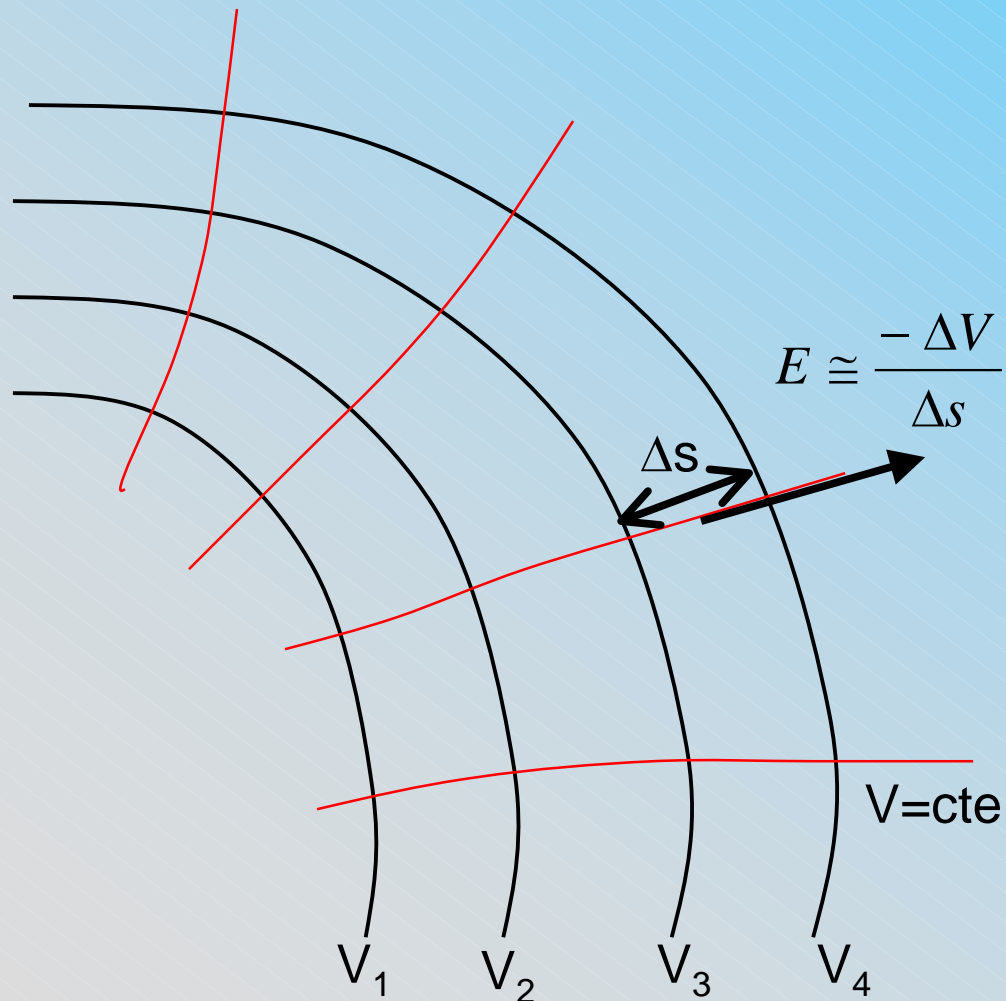


# Cuba eletrolítica bidimensional



# A cuba eletrolitica bidimensional

Linhas de campo  $\perp$  linhas de potencial



$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \cos \theta$$

$$dV = -E ds \quad \vec{s} = s\vec{u}$$

$$E = -\left(\frac{dV}{ds}\right)u$$

$$E \cong -\frac{\Delta V}{\Delta s}$$

$$E_y = \frac{-\Delta V_y}{\Delta y}$$



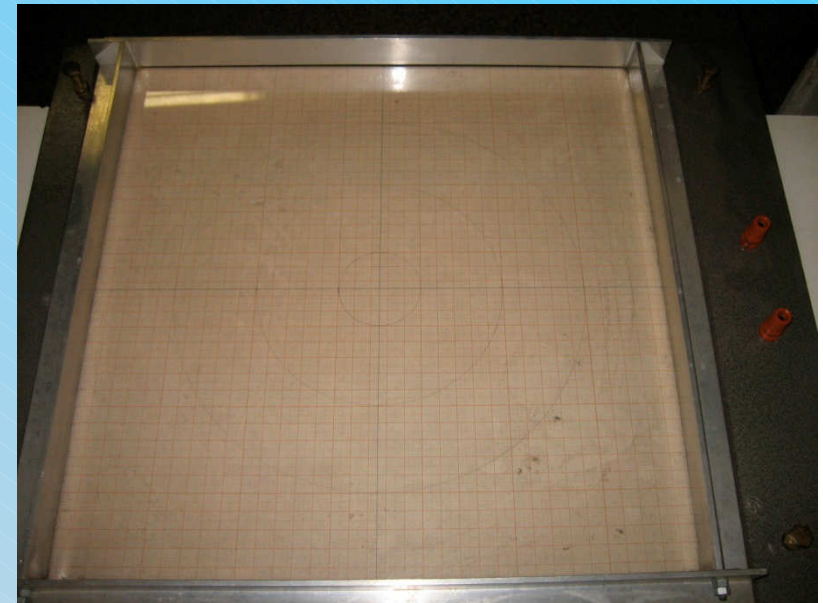
$$E_x = \frac{-\Delta V_x}{\Delta x}$$



# Método experimental

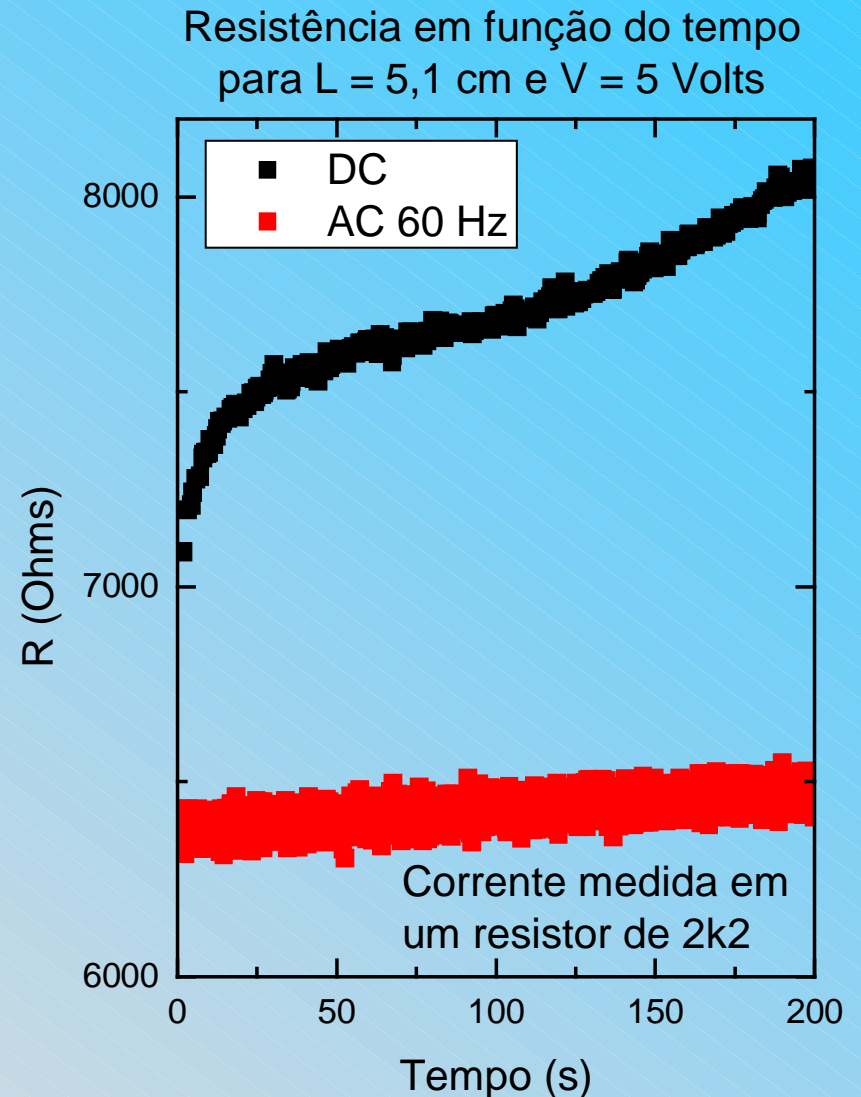
## ? Cuba eletrolítica

- Solução aquosa
- Colocam-se os eletrodos para simular a configuração de campos a ser mapeada
- Estabelecer um ponto de referência,  $V = 0$ 
  - ? Em geral utiliza-se um dos condutores
- Mede-se o potencial em vários pontos.
- Calcula-se o campo elétrico a partir do cálculo do gradiente do potencial



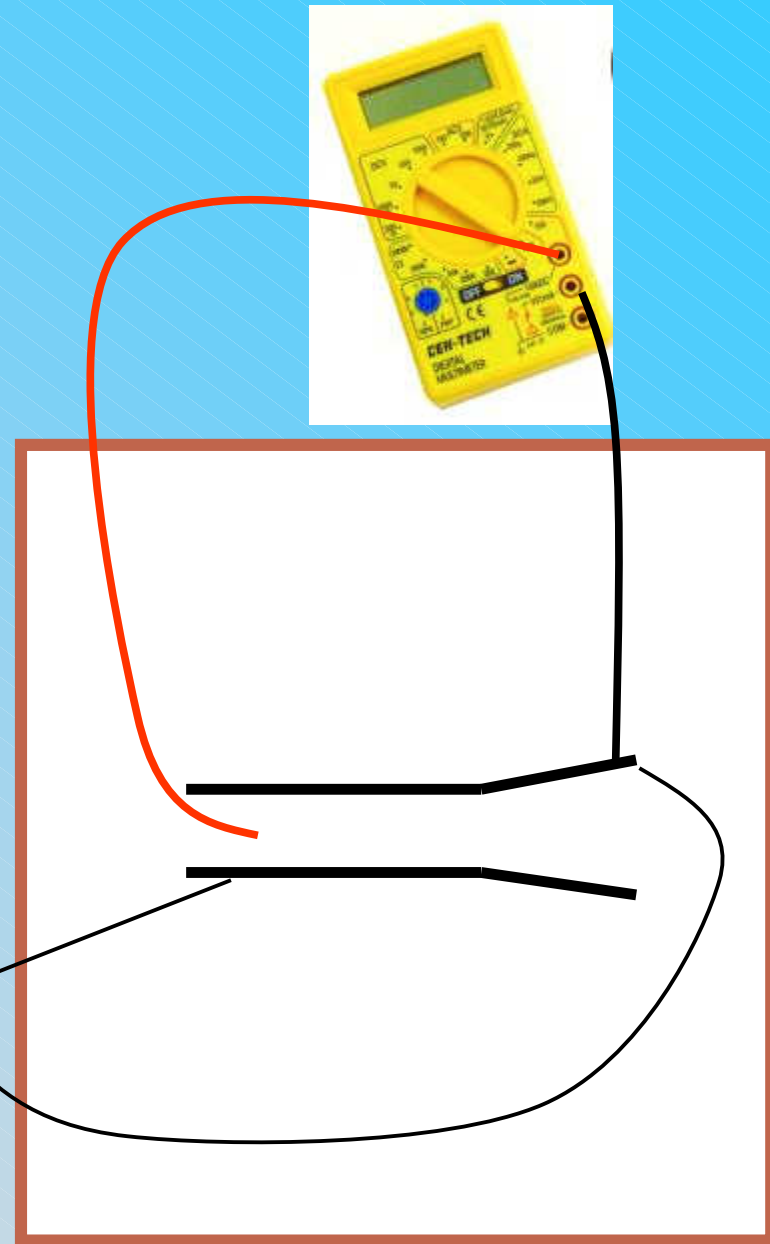
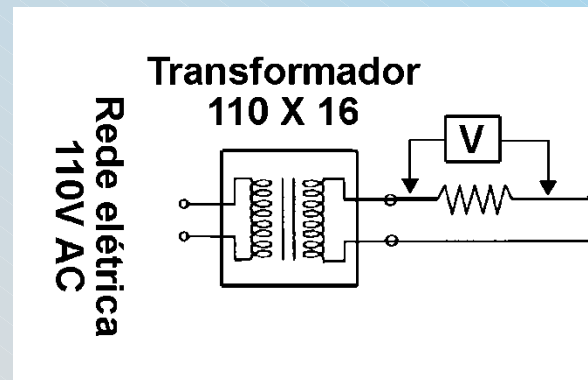
# Garantindo as condições experimentais

- ? Polarização da água
  - Acumulo de íons → utilizar tensões alternadas
- ? A cuba é ôhmica?
  - Em AC, a água é razoavelmente ôhmica
- ? A resistência da cuba com solução aquosa é muito menor que a do voltímetro?
- ? E é muito maior que a dos condutores?



## Medidas experimentais: Montagem

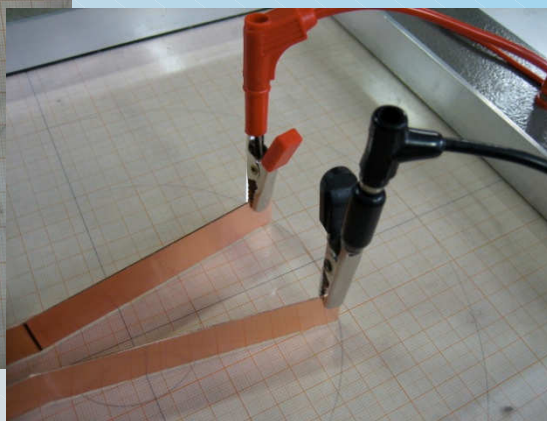
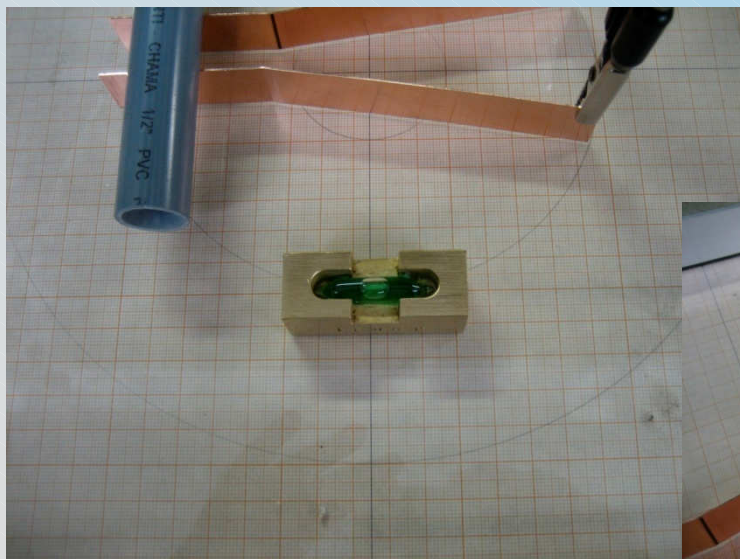
- ? Montar o circuito abaixo
  - Lembrar de fazer em escala em relação ao TRC.



## Medidas experimentais: Montagem

### ? Cuidados

- No máximo 1 cm de água
- Nivelar a cuba





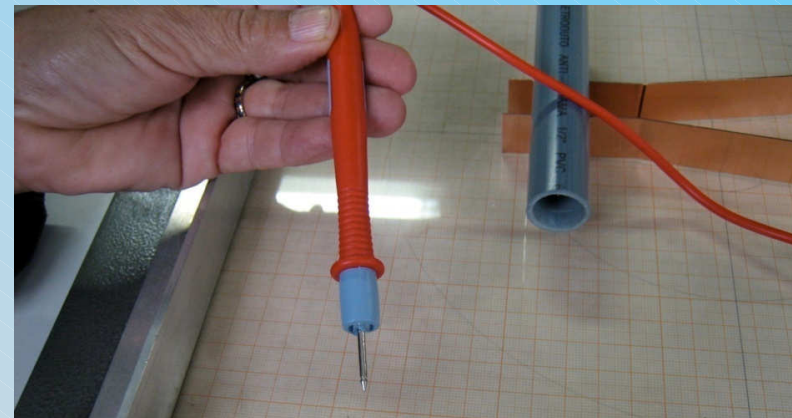
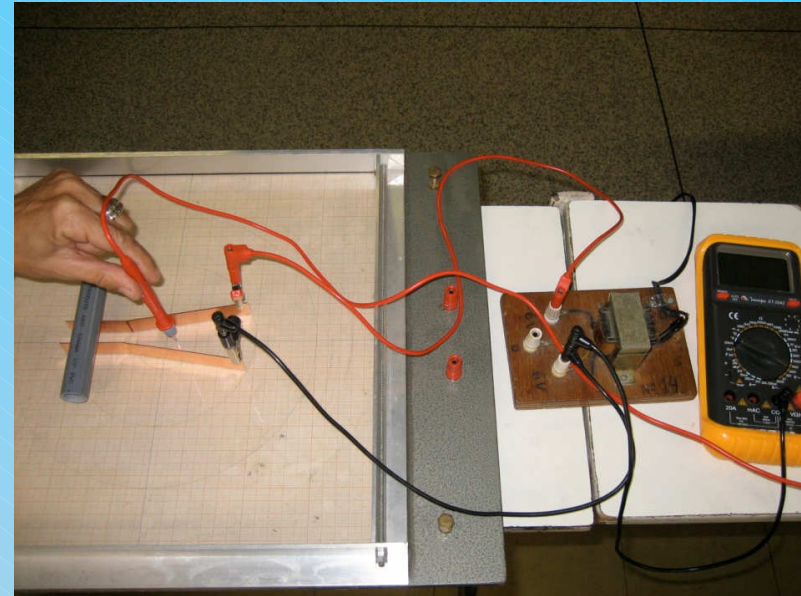
## Medidas experimentais: fazendo medidas

- Utilizar o voltímetro
  - Perpendicular à cuba
  - Incerteza em posição
  - Espessura da ponta de prova
- Explorar a simetria

Há dois métodos de trabalho:

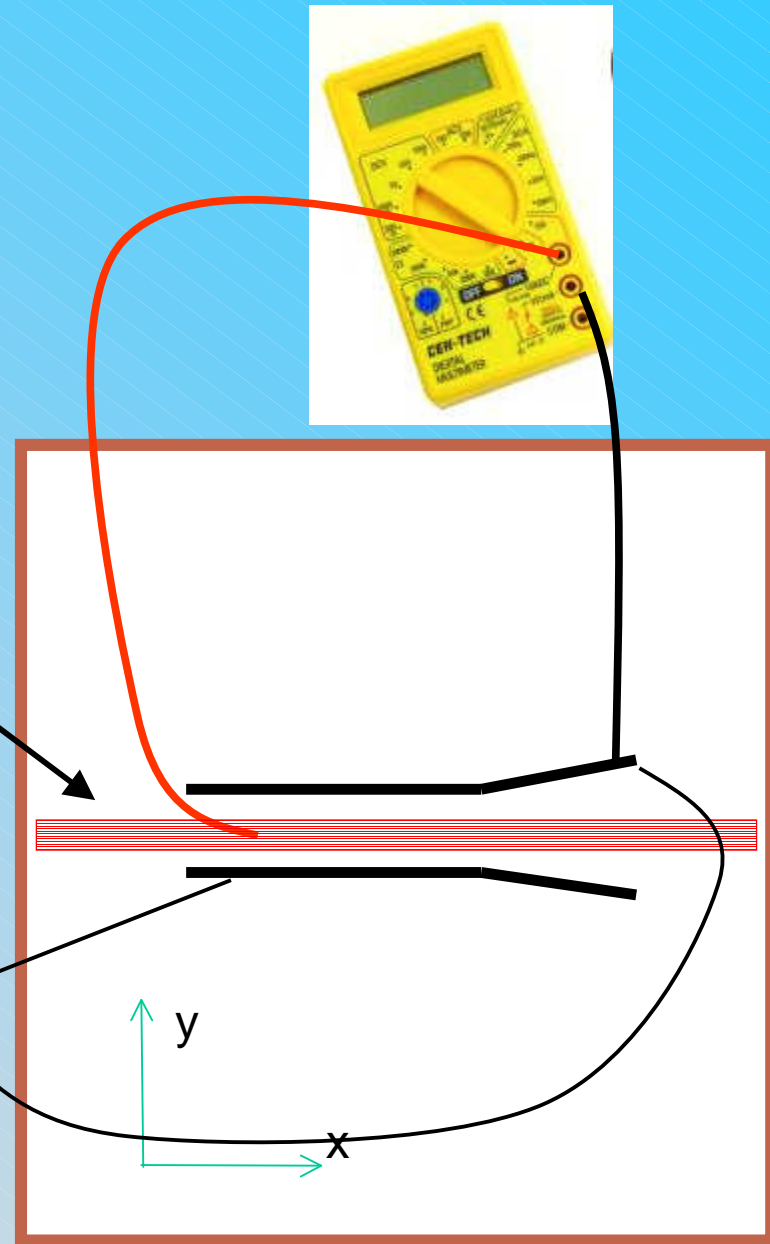
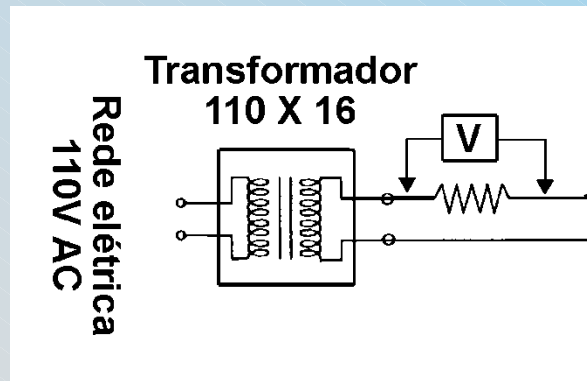
- Dada a posição, mede-se  $V(x,y)$
- Busca-se  $(x,y)$  tal que  $V(x,y) = V_{\text{dado}}$

$$E_x = \frac{\Delta V_x}{\Delta x} \quad E_y = \frac{\Delta V_y}{\Delta y}$$



## Medidas experimentais: Mapeamento do campo

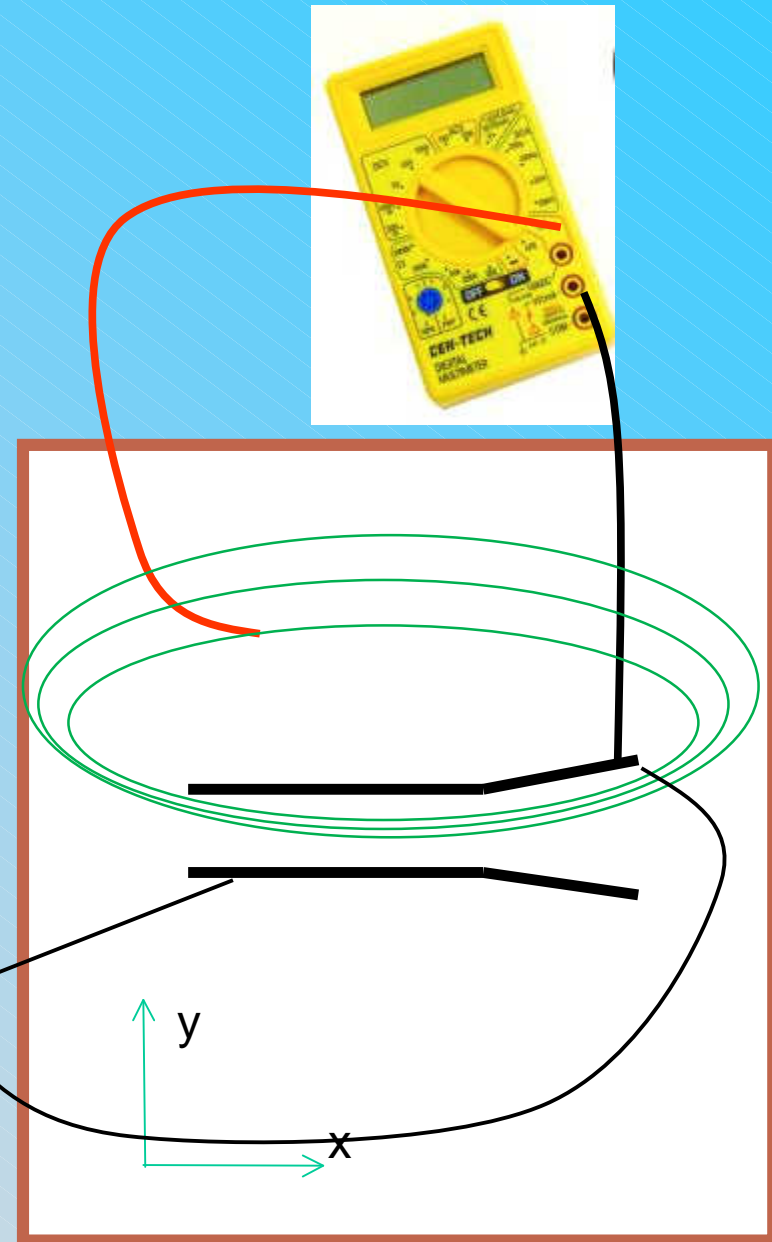
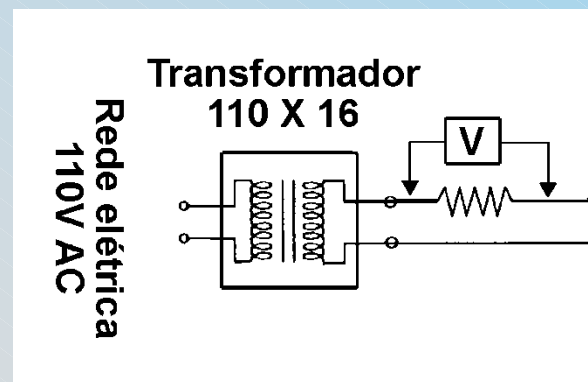
Medir o potencial, na região de interesse: (0,5 cm acima e 0,5 cm abaixo da linha de simetria)





## Medidas experimentais: Equipotenciais

- ? Medir três equipotenciais.
  - Medir pares (x,y) mantendo V constante



## Para entregar (17/9)

- ? Gráfico de campo em função da posição  $x$  decomposto em  $E_x$  e  $E_y$ .
  - Indicar no gráfico onde começam e terminam os eletrodos.
  - Gráfico de  $E_x$  em função de  $x$  ao longo do centro entre as duas placas
  - Gráfico de  $E_y$  em função de  $x$  ao longo do centro entre as duas placas
- ? Gráfico bi-dimensional das equipotenciais
  - Lembrar de desenhar os eletrodos
  - Desenhar também as linhas de campo