



Física Experimental III

Notas de aula: www.dfn.if.usp.br/~suaide

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

Aula 5

Prof. Alexandre Suaide

Ramal: 7072

Ed. Oscar Sala (Pelletron), sala 246

Objetivos da semana passada

- Estudar a dependência da resistência elétrica com as suas propriedades físicas
 - Ou seja, verificar se a expressão

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- se aplica ao objeto estudado
- Meio a ser estudado:
 - Água comum
 - Como estudar as propriedades elétricas da água?

Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- Curvas características em AC e DC.
- Medidas para testar a expressão acima.
 - Quero saber como a RESISTÊNCIA depende de L e A. Não a tensão ou corrente: A RESISTÊNCIA!!!!
 - Fixa A e varia L
 - Fixa L e varia A.
 - Gráficos em papel adequado para testar:
 - R proporcional a L
 - R inversamente proporcional a A

Curvas características

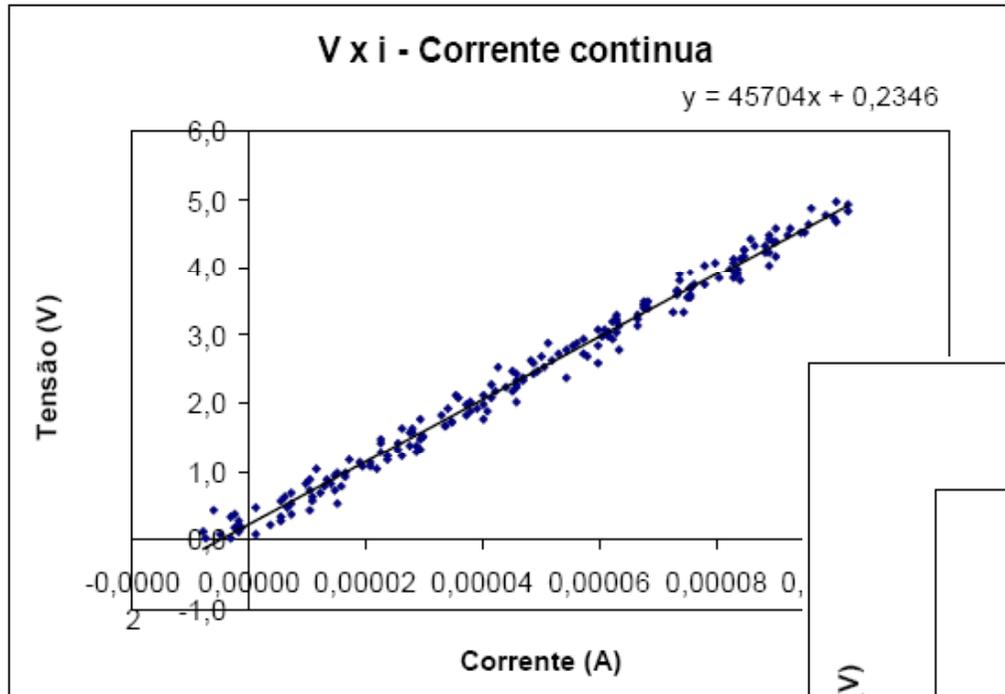


Gráfico 1: Tensão por corrente da água utilizando corrente

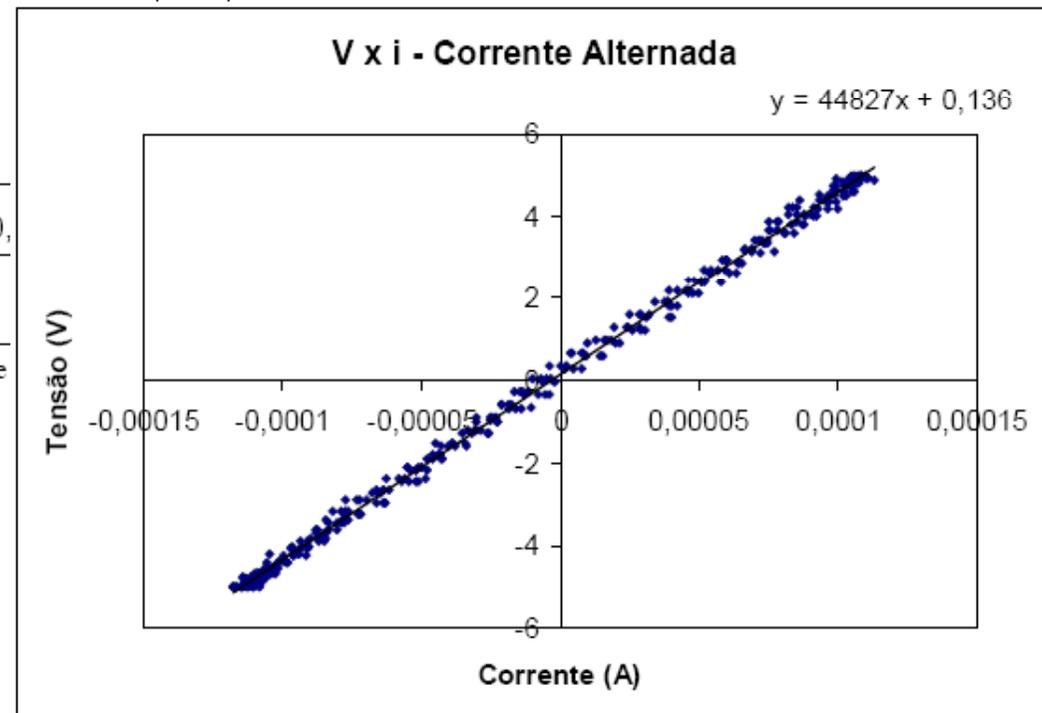
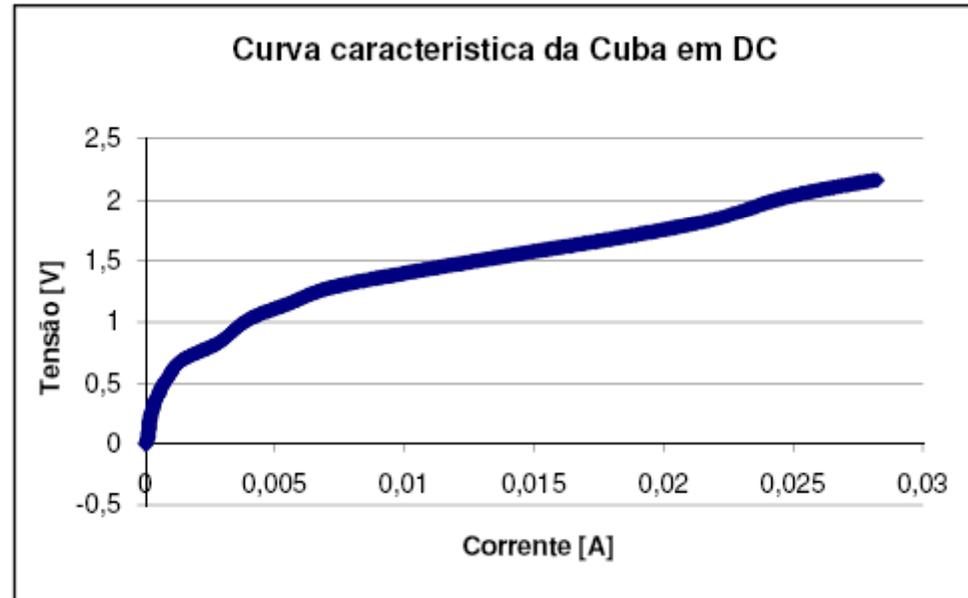


Gráfico 2: Tensão por corrente da água utilizando corrente alternada.

- Quais os parâmetros?
 - Frequencia, comprimento, área, etc.

Curvas características

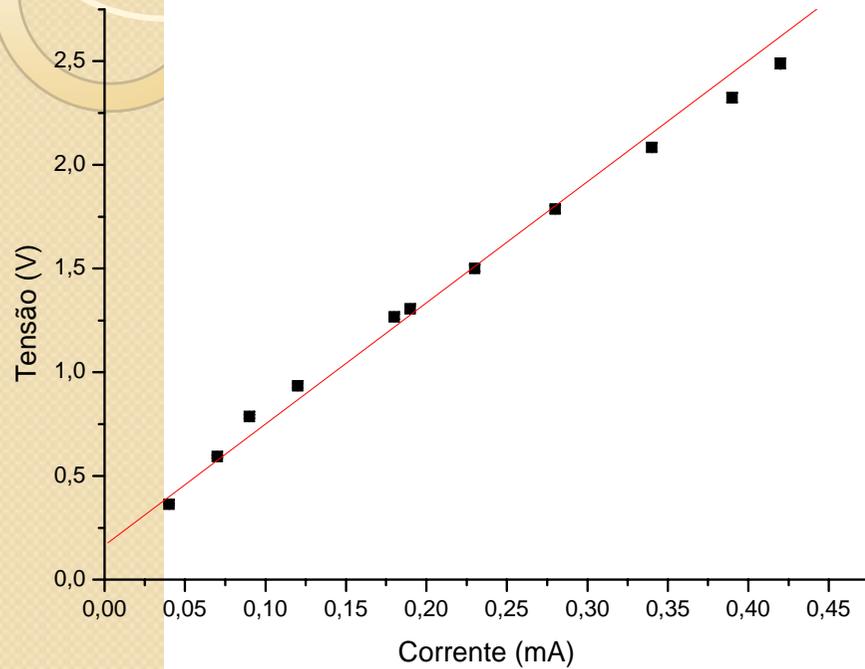
1. Curva característica em DC



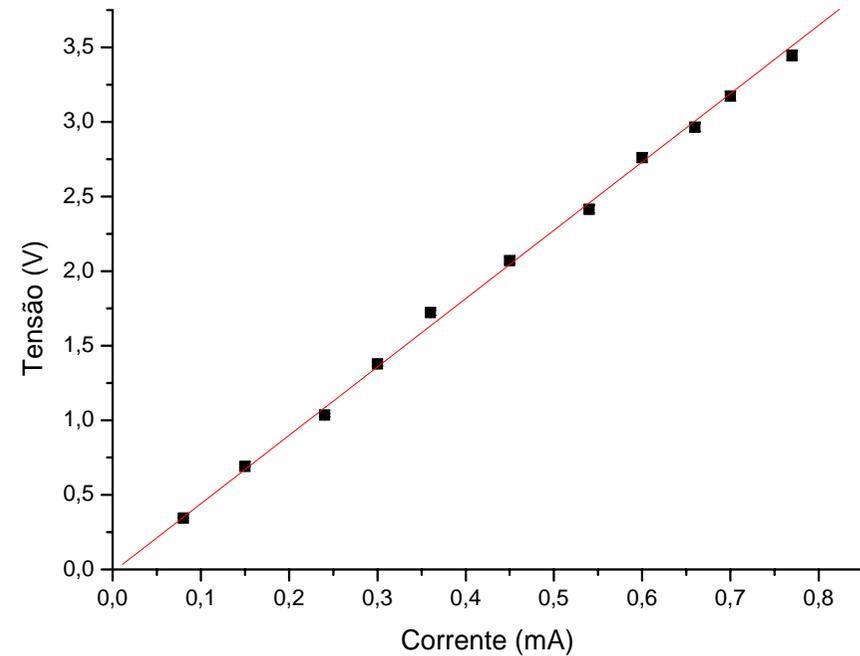
- Não linearidade. Novamente, quais os parâmetros.
- Pode haver uma sensibilidade muito grande no comportamento com estes parâmetros

Curvas características

Curva Característica da Cuba - Corrente Contínua

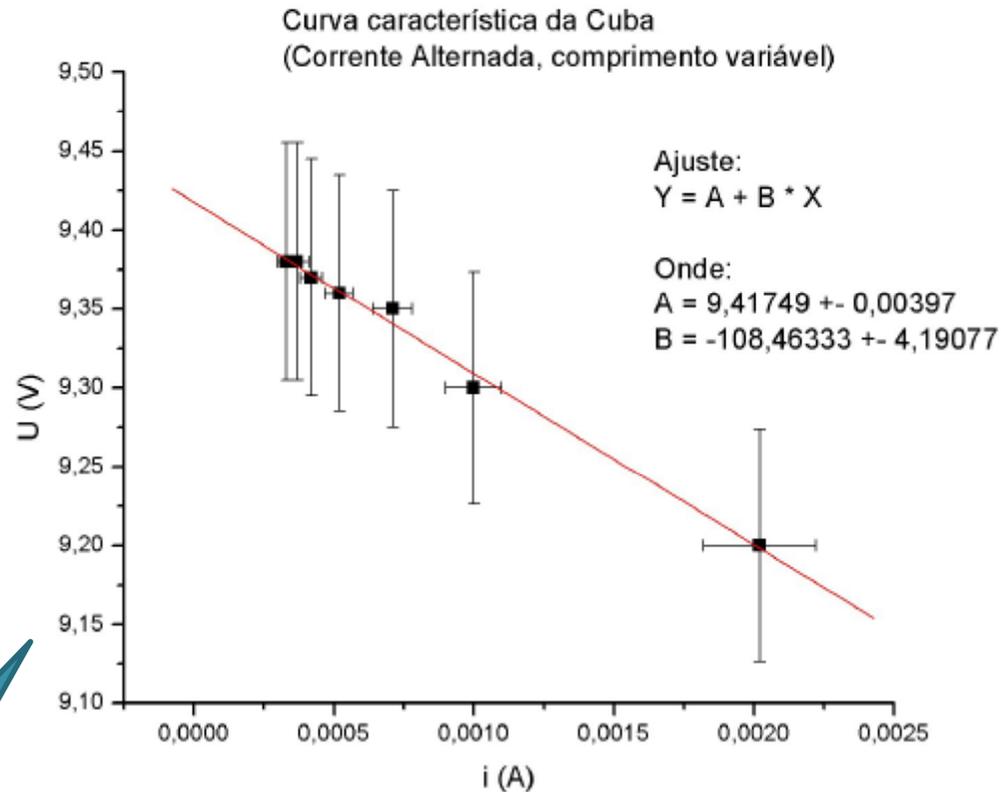


Curva Característica da Cuba - Corrente Alternada



- É uma reta em DC?
 - Fazer análise de resíduos

Curvas características



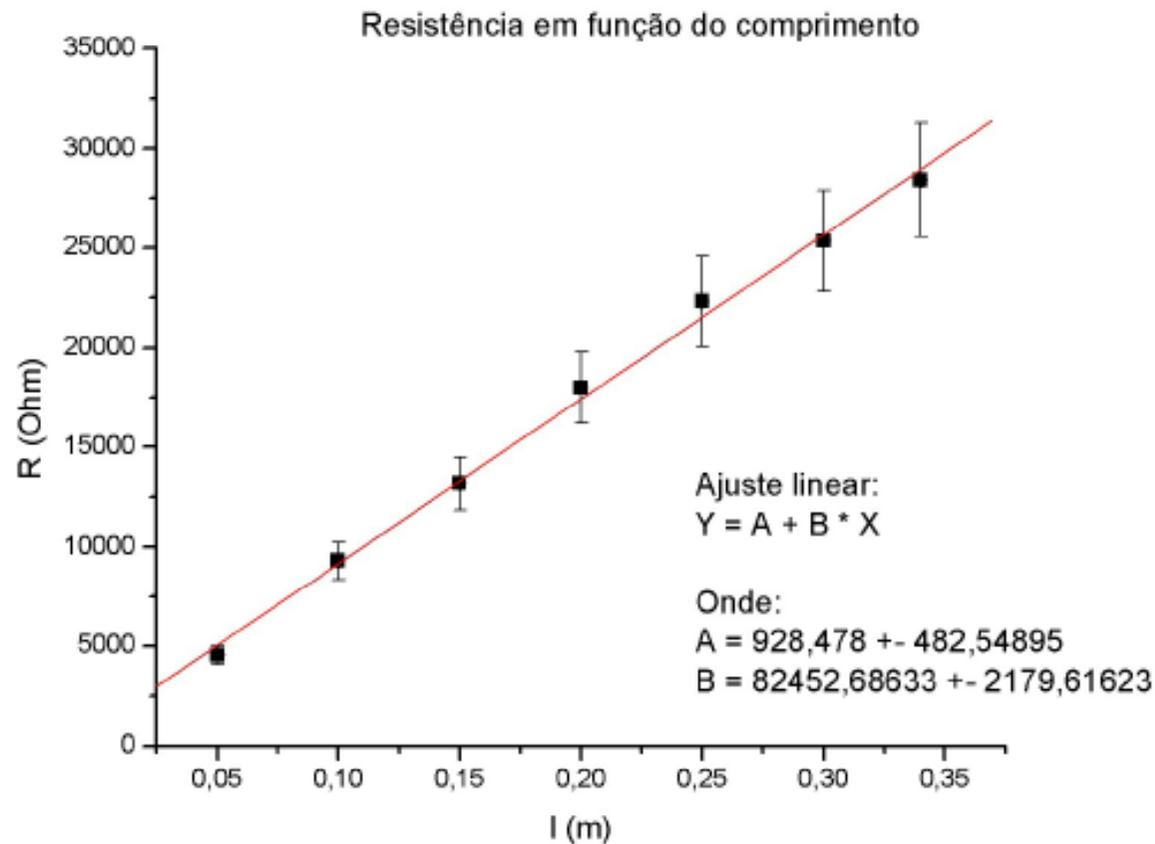
Corrigir gráfico

- A curva característica supõe que todo o resto esteja fixo? Neste caso, temos um resistor diferente para cada medida.
 - O que significa o ajuste realizado?

Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R em função de L deve ser uma reta

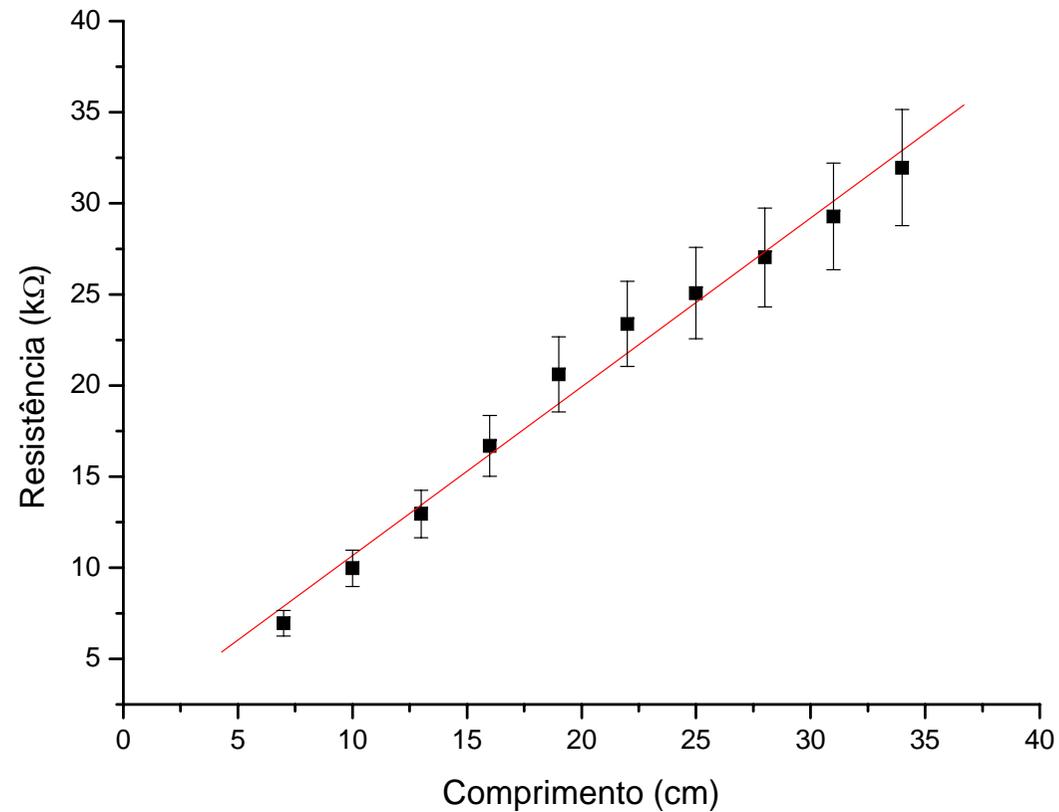


Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R em função de L deve ser uma reta

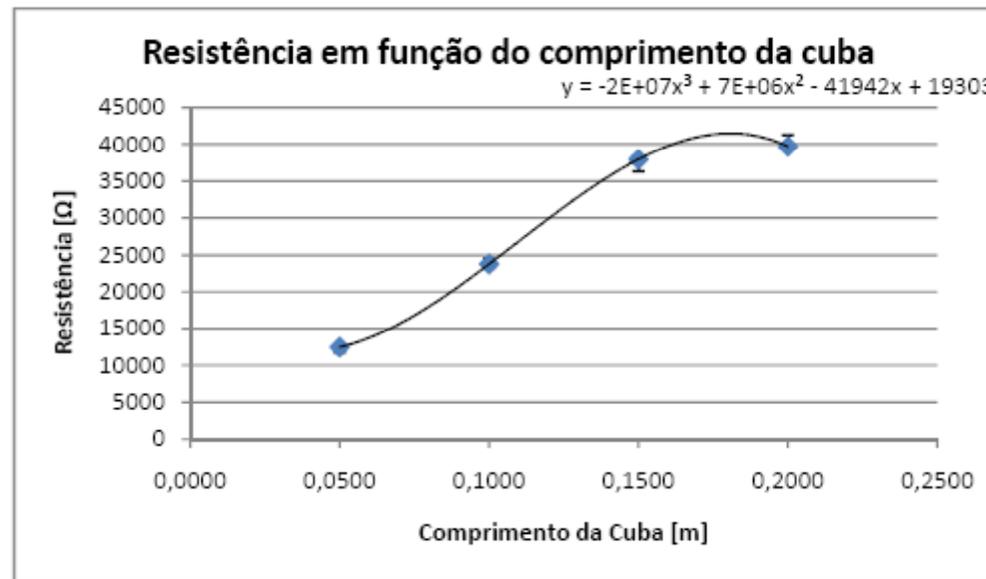
Cuba - Resistência x Comprimento (Área de secção fixa = 15,38cm²)



Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

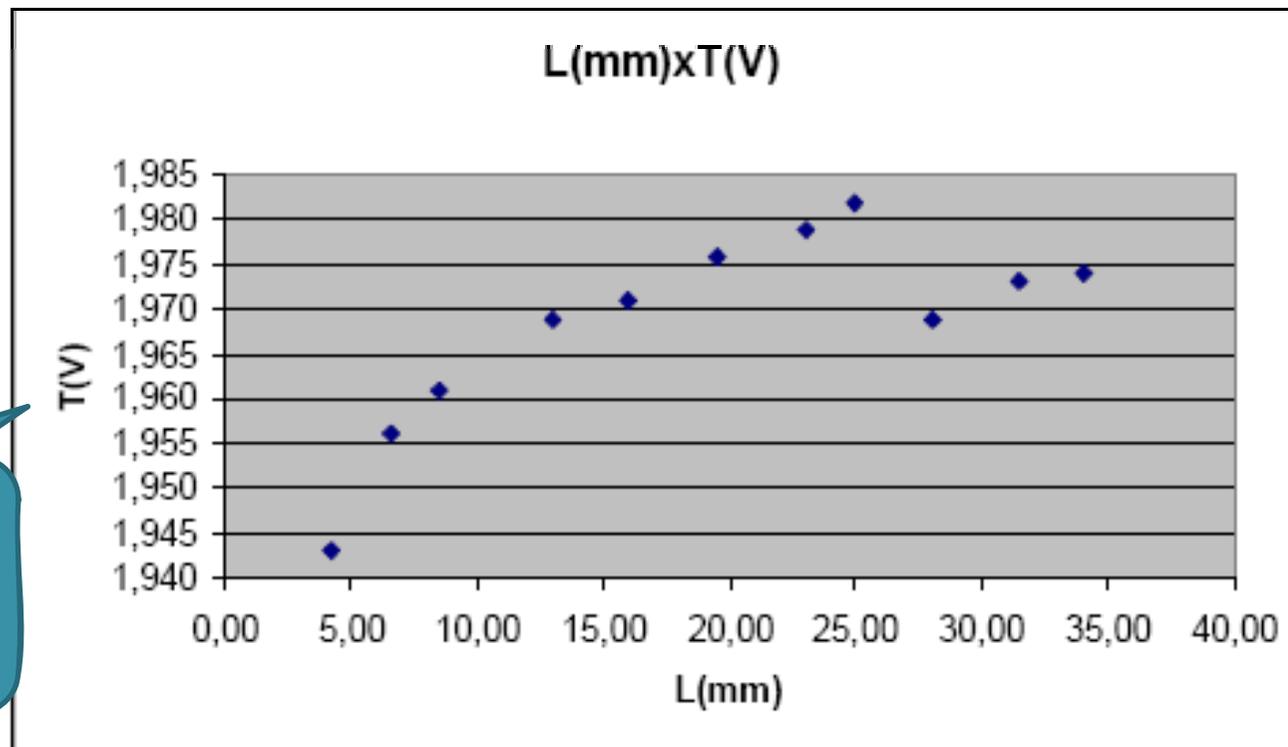
- R em função de L deve ser uma reta
 - Porque ajustar um polinômio? Qual é a informação aprendida?
 - 4 pontos, quatro parâmetros. Chi2 = 0!!!!



Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R em função de L deve ser uma reta
- Informação incompleta. O que é esperado da tensão em função de L?

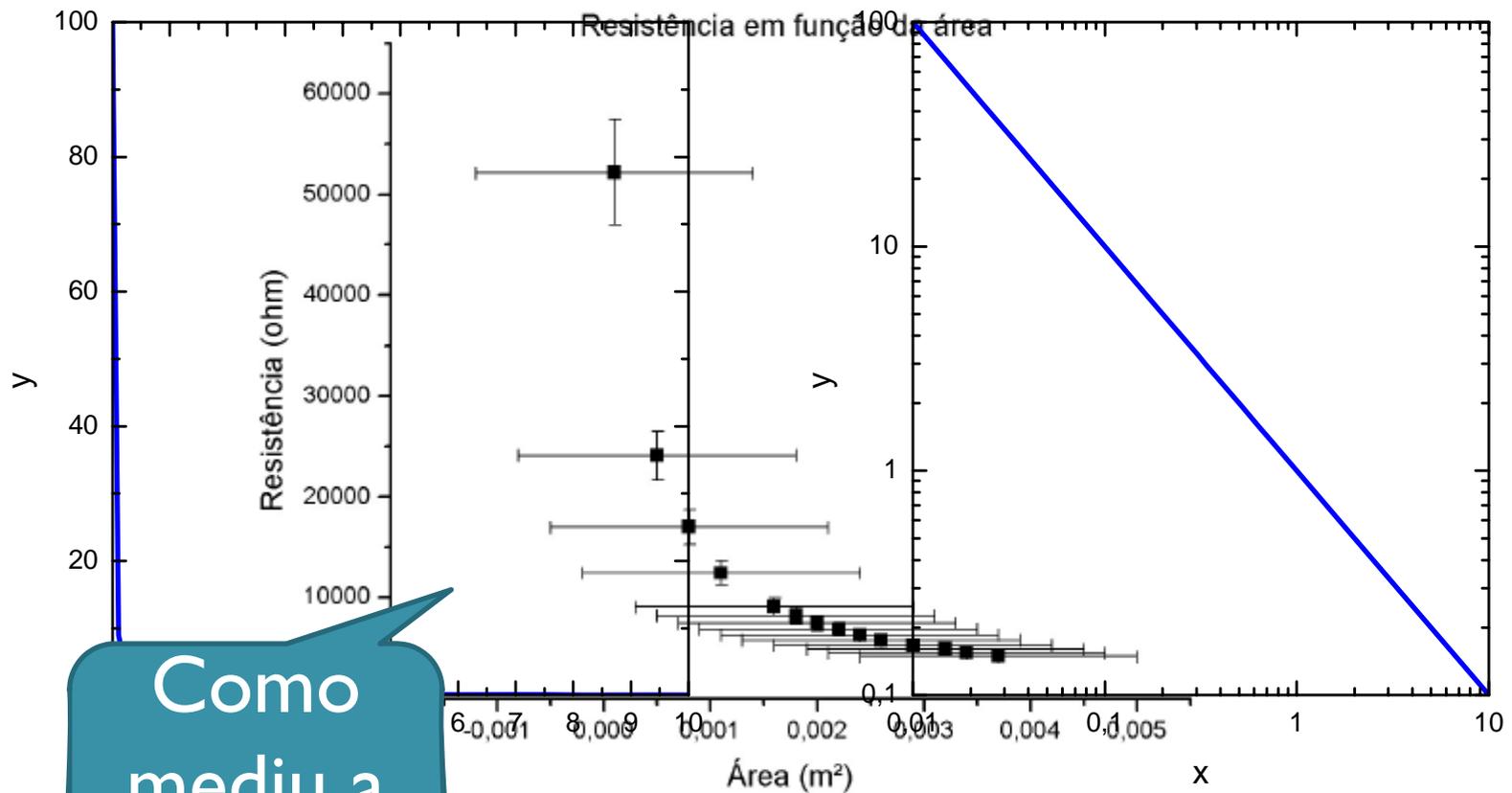


Corrigir
análise

Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R deve ser inversamente proporcional a A.



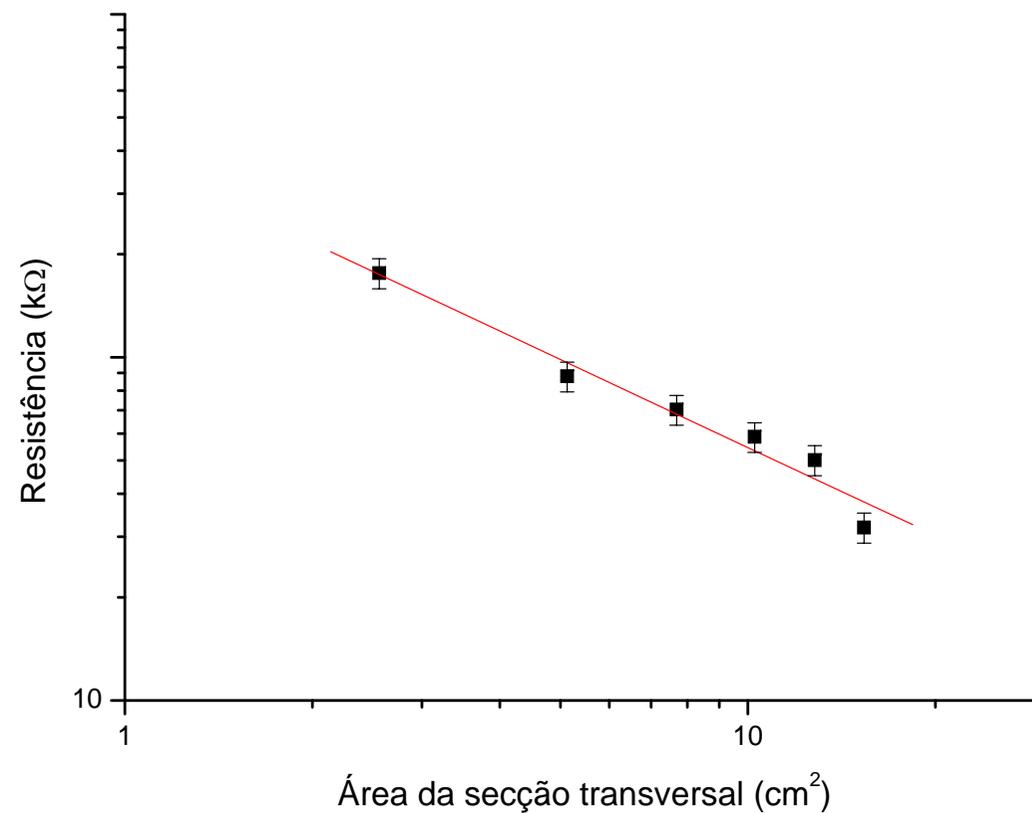
Como
mediu a
área?

Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R deve ser inversamente proporcional a A.

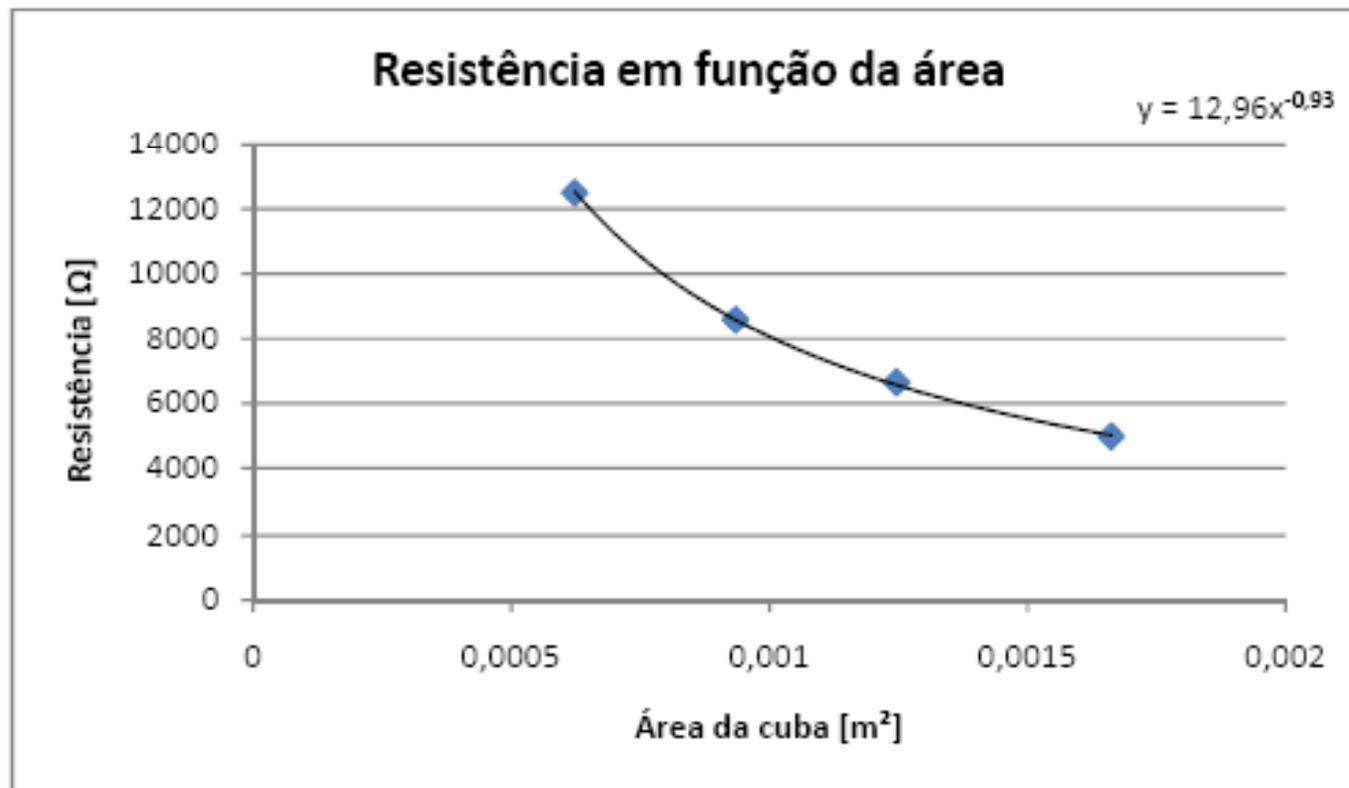
Cuba - Resistência x Área - Dilog



Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

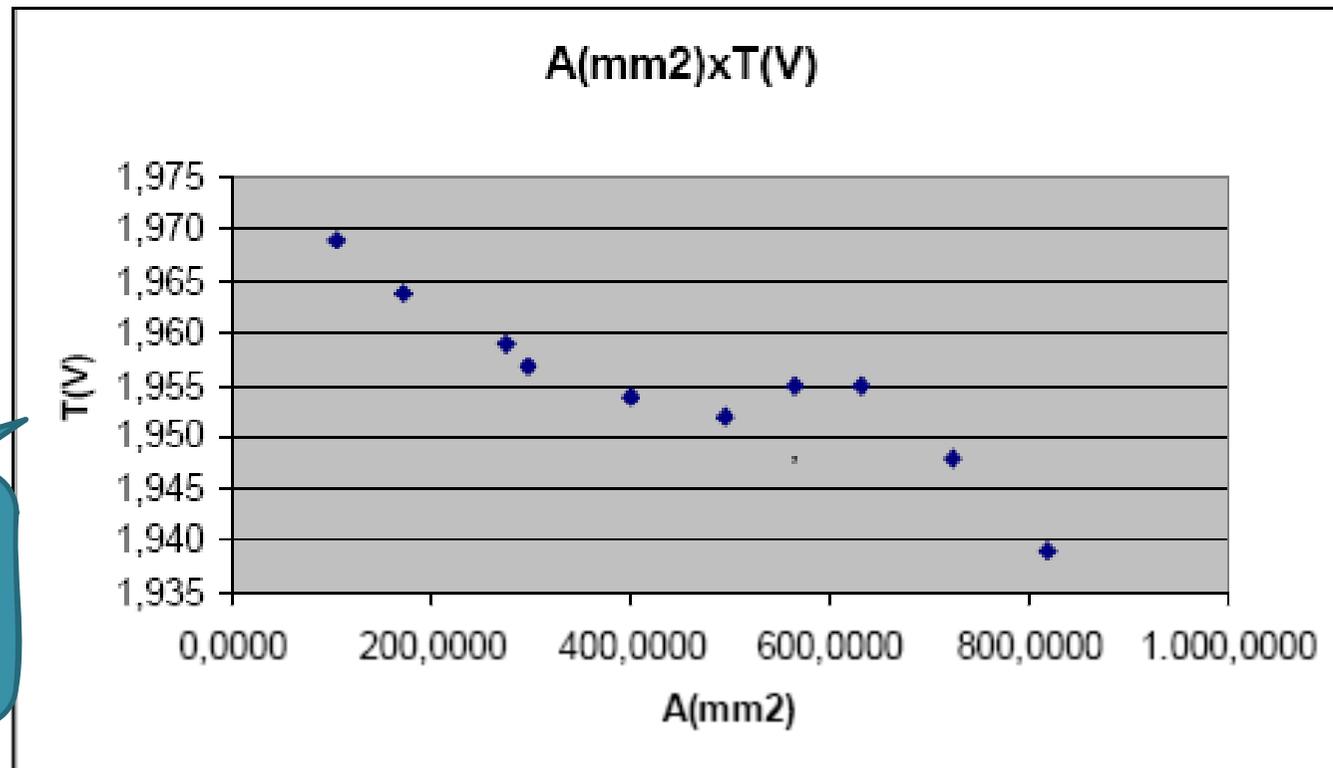
- R deve ser inversamente proporcional a A.
- O coeficiente é compatível com I?



Metodologia

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R deve ser inversamente proporcional a A.
- Informação incompleta. O que é esperado da tensão em função de A?



Corrigir
análise

Experiência II

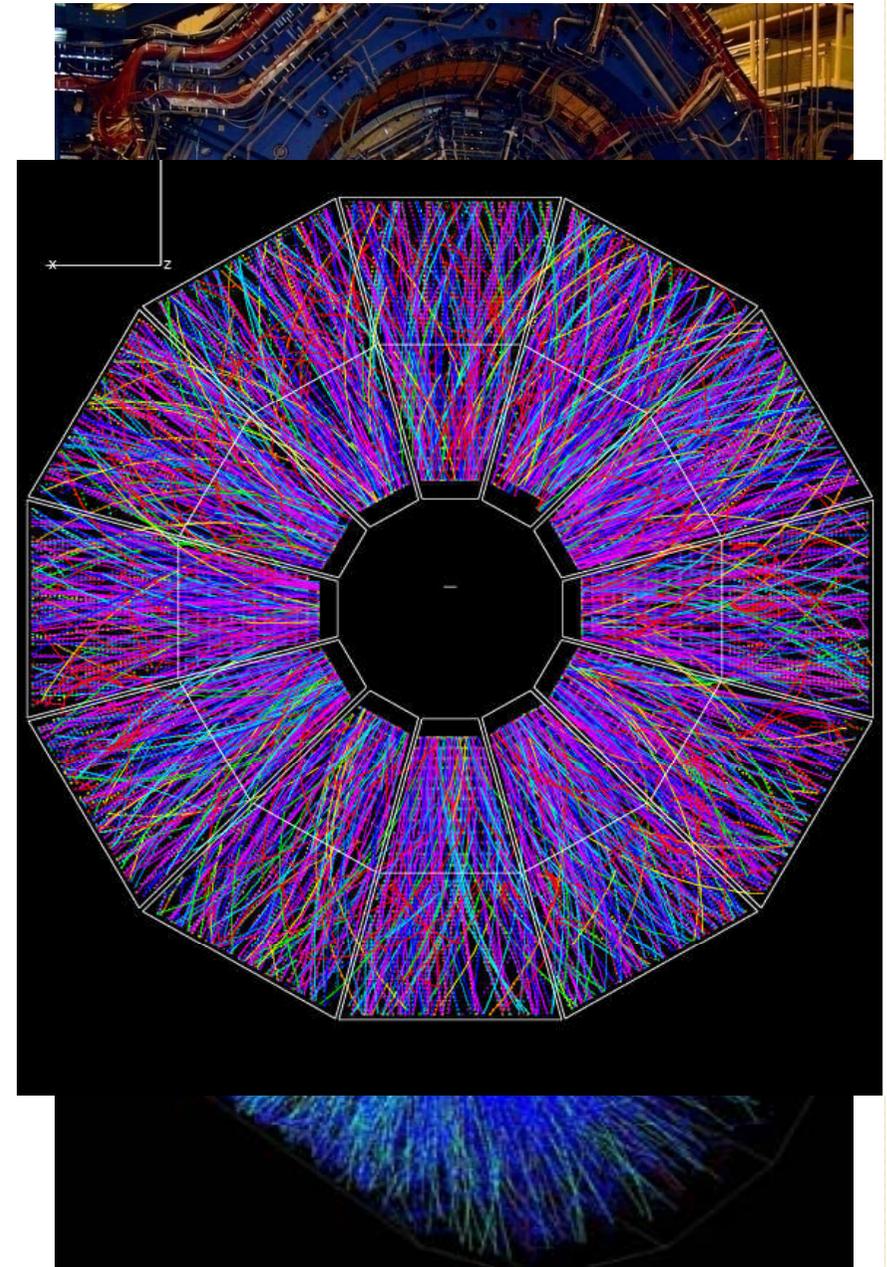
Estudo de uma partícula em um campo eletromagnético

Experiência 2 - 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?

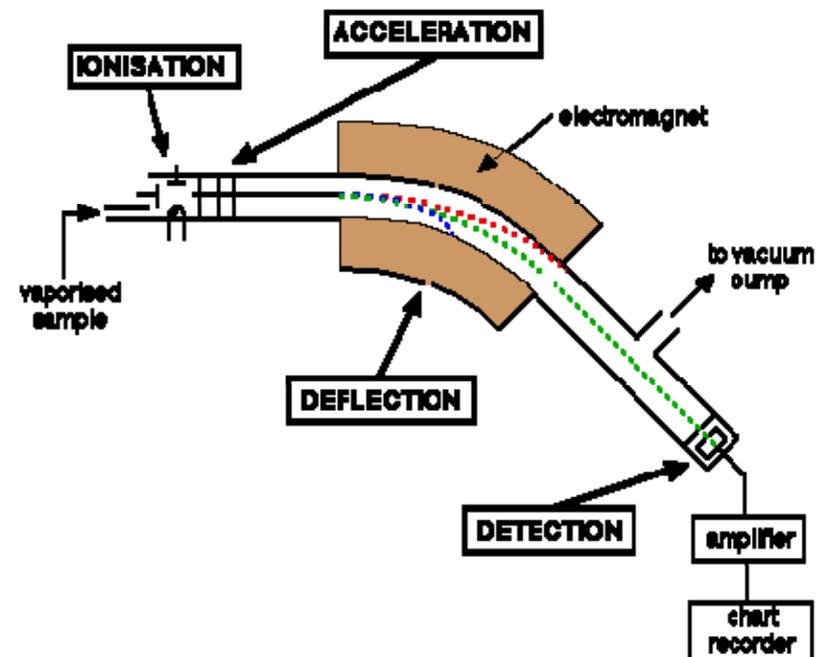
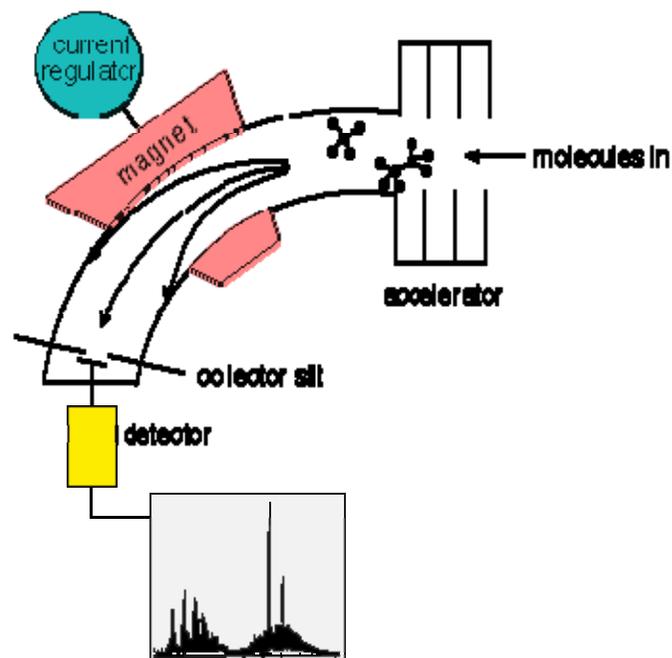
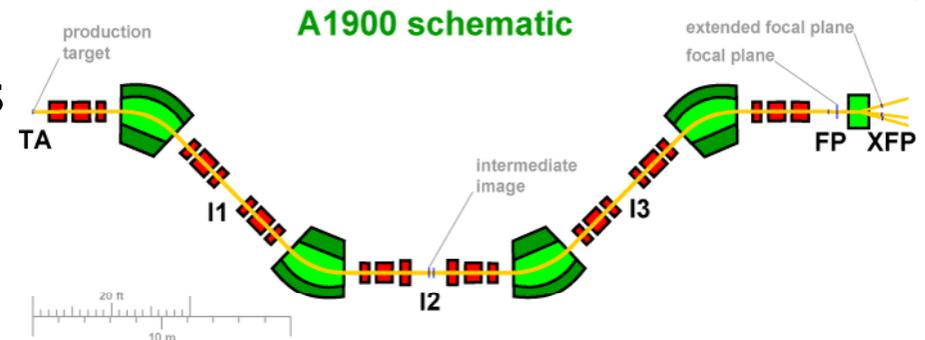
Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

- Uma fração significativa do estudo das partículas subatômicas é feito através da análise das suas trajetórias em campos EM.
 - Desde a descoberta do pósitron (Science 76, 238, 1932)
 - Até a descoberta de novos estados da matéria nuclear (2007)



Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

- Várias aplicações científicas e práticas
 - Aceleradores
 - Pelletron, LAMFI
 - Analisadores
 - Espectrometro de massa, etc



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 (façam as contas e verifiquem)

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

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

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

... e resolver as equações de movimento

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

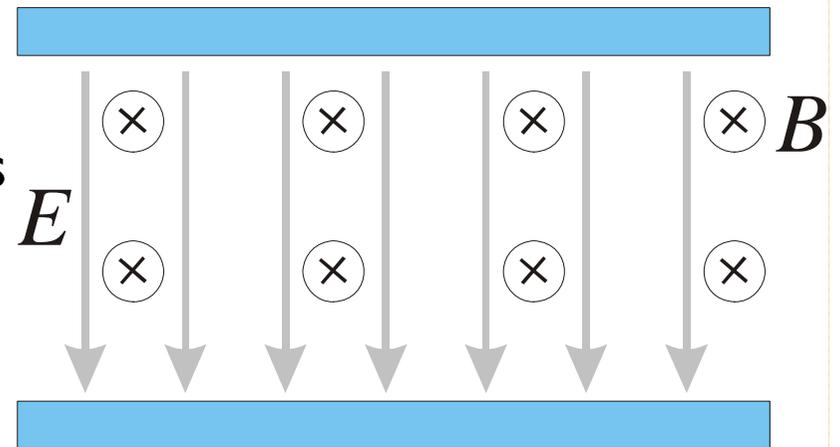
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

- Ou seja, no campo EM:

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

Objeto de estudo: o Filtro de Wien

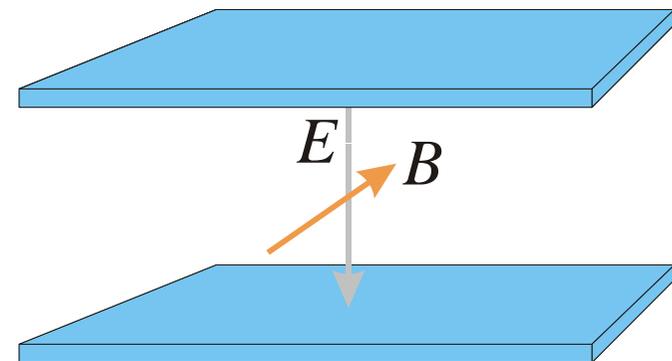
- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade **inicial** da partícula incidente



$$\vec{v}_0 = (0, 0, v_0)$$

$$\vec{E} = (0, -E, 0)$$

$$\vec{B} = (B, 0, 0)$$



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 teoricamente? 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 teoricamente?
- 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

- Após entender cada fenômeno separadamente fica mais fácil entender o problema completo
 - 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 depende 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. 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? QField
 - **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. Qfield.
 - **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.

Medindo campos elétricos

- Força conservativa → Potencial

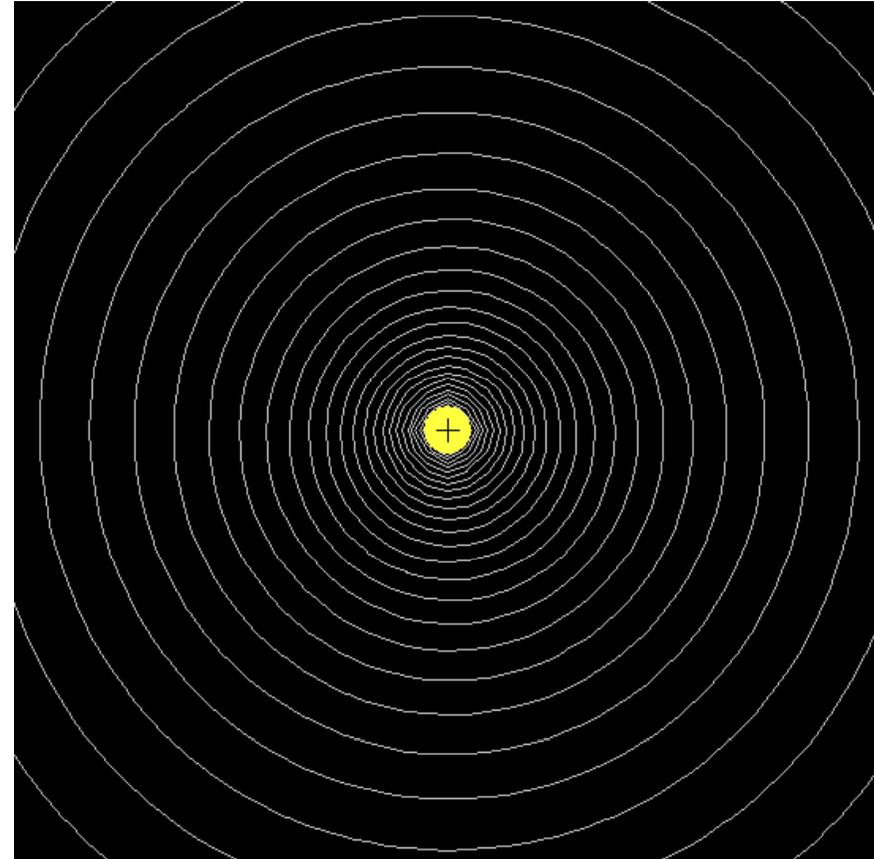
$$\vec{E} = -\nabla U$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{z}$$

- Conhecendo-se a distribuição espacial do potencial pode-se calcular o campo facilmente.
 - Potencial eu sei medir...

Conceito importante: Superfícies (3D) ou linhas (2D) equipotenciais

- São aquelas superfícies onde o potencial é constante, qualquer que seja o ponto desta superfície.

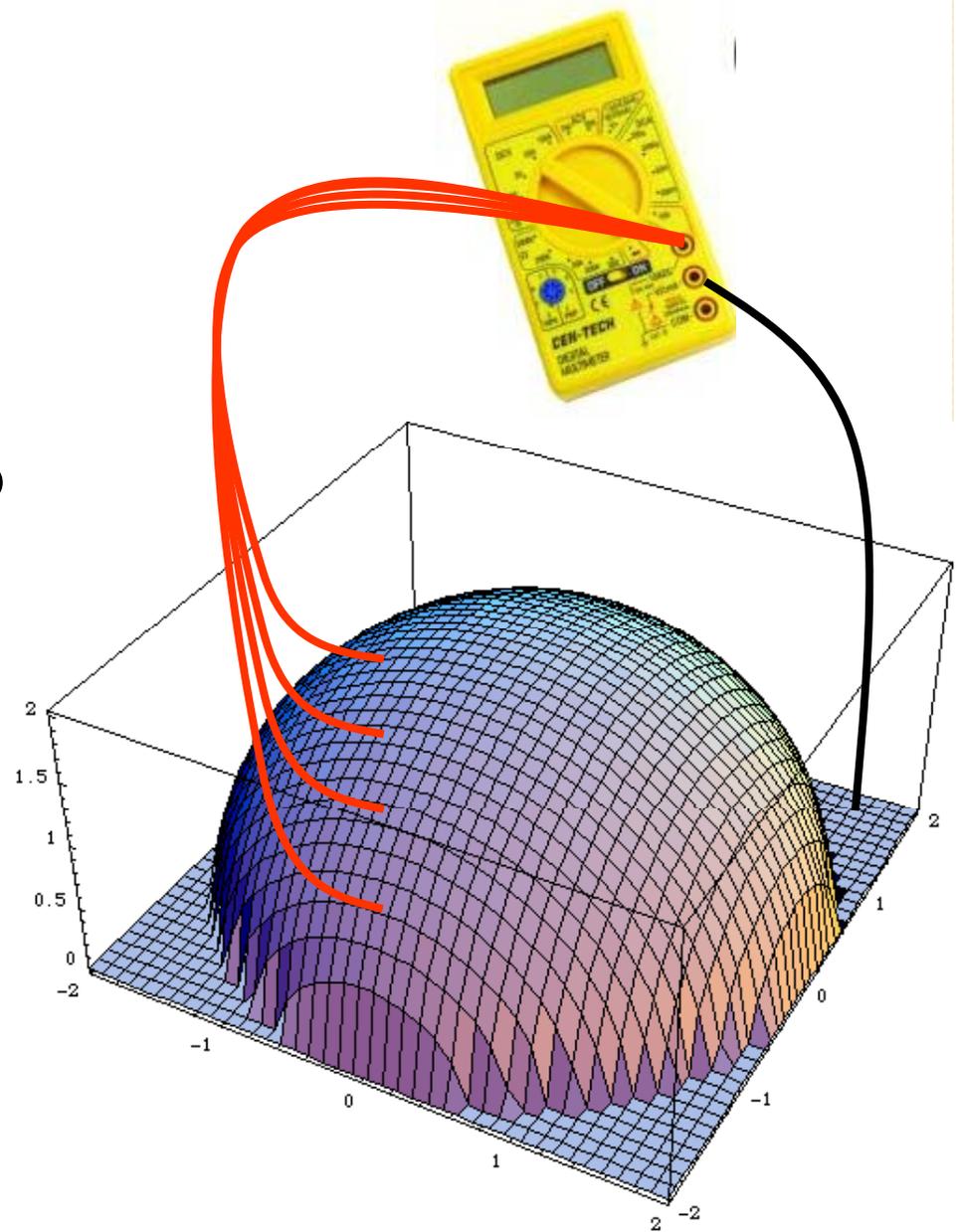


Então...

- Sabendo o potencial elétrico eu sei, facilmente, o campo elétrico e posso saber como partículas carregadas se movimentam neste campo
- Determinando o potencial
 - Analiticamente a partir do estudo teórico do problema e resolução das equações diferenciais
 - Computacionalmente, através de cálculos numéricos
 - Experimentalmente, a partir da medida das superfícies equipotenciais
 - VOLTÍMETRO!

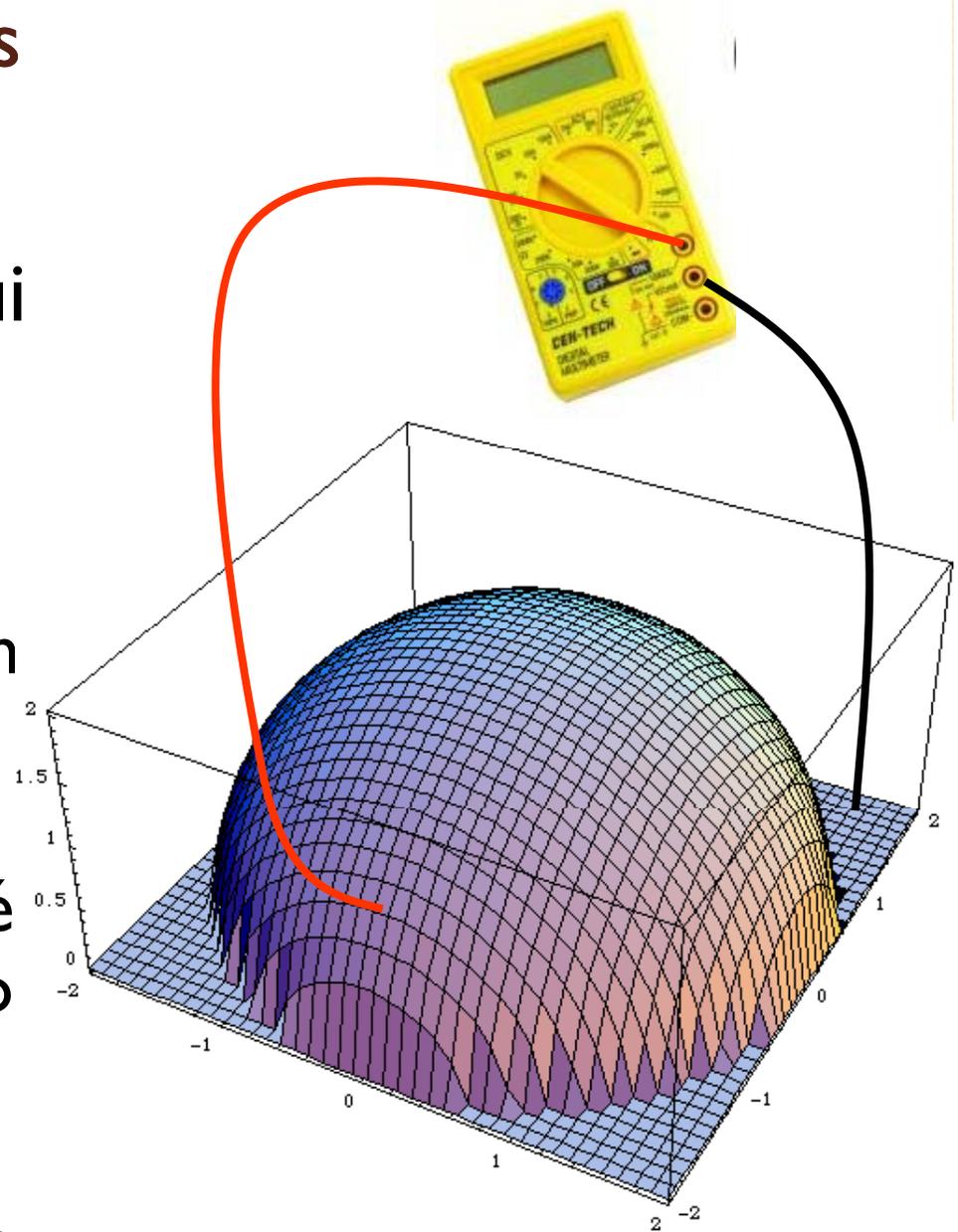
A técnica

- Medidas de diferença de potencial em função da posição espacial
 - A medida de tensão é feita em relação a uma referência
 - Esta referência, por definição possui $V = 0$



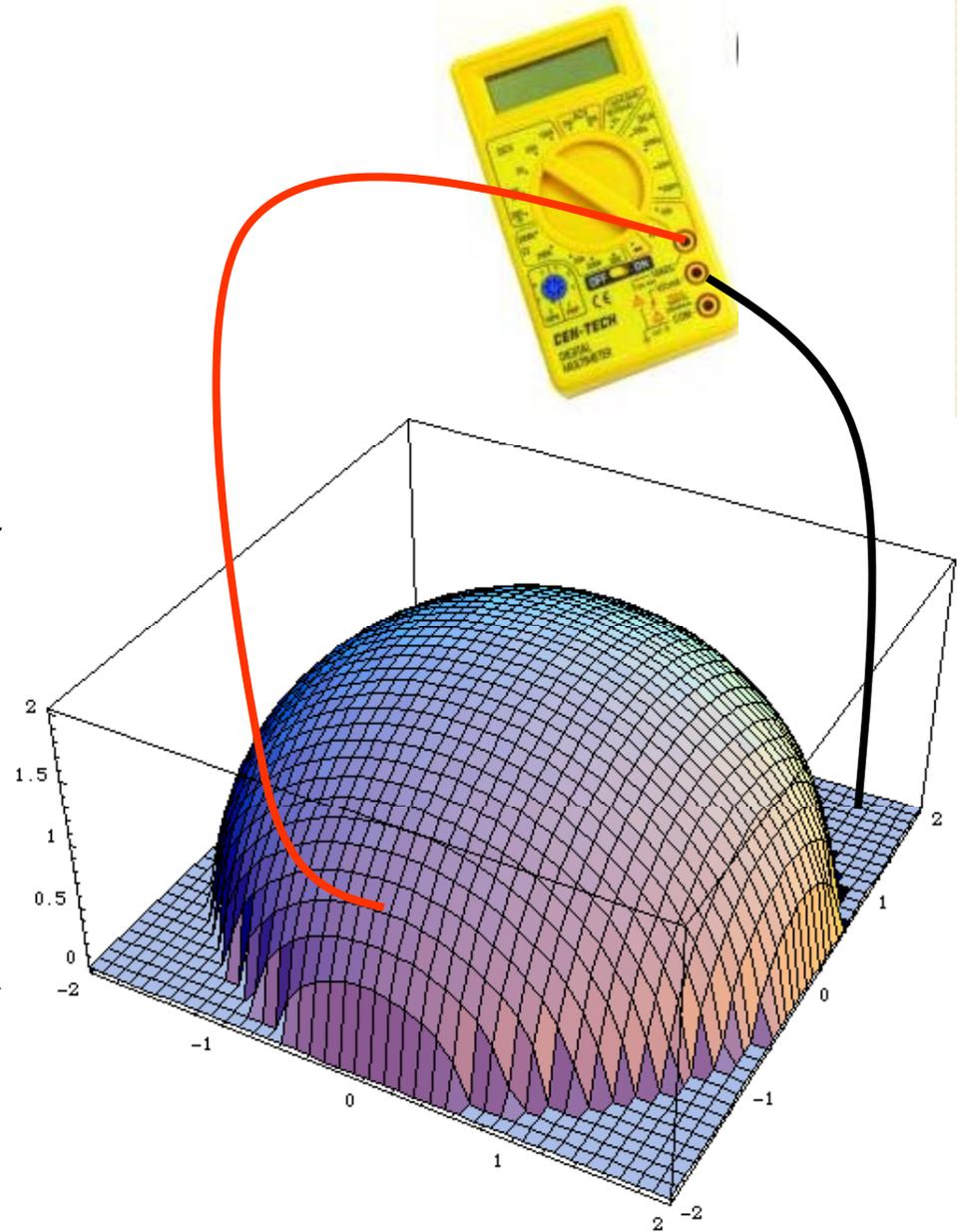
Eu posso medir estes potenciais no ar?

- O voltímetro possui resistência elétrica
 - Logo, caso a resistência do meio seja comparável com a do voltímetro ele altera a medida
 - A resistência do ar é muito elevada, muito maior que a do voltímetro
 - Não dá para medir no ar!



Solução:

- Utilizar um meio cuja resistância seja baixa se comparada a do voltímetro
 - Em geral uma solução aquosa
- Porém a condutividade deve ser baixa, se comparada a um condutor
- O meio tem que ser ôhmico para não distorcer os campos

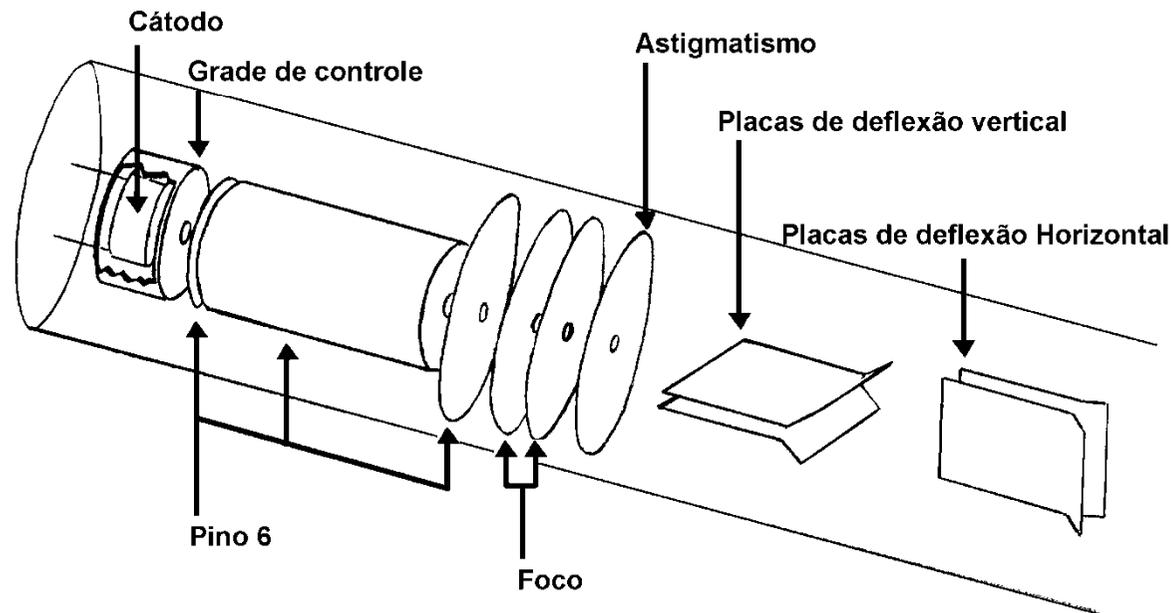


Objetivos desta semana

- Estudar o campo elétrico que será utilizado no estudo do movimento da partícula.
- Qual o campo utilizado?
 - Tubo de raios catódicos
 - Será utilizado para gerar as partículas estudadas
 - Será também utilizado para gerar o campo elétrico

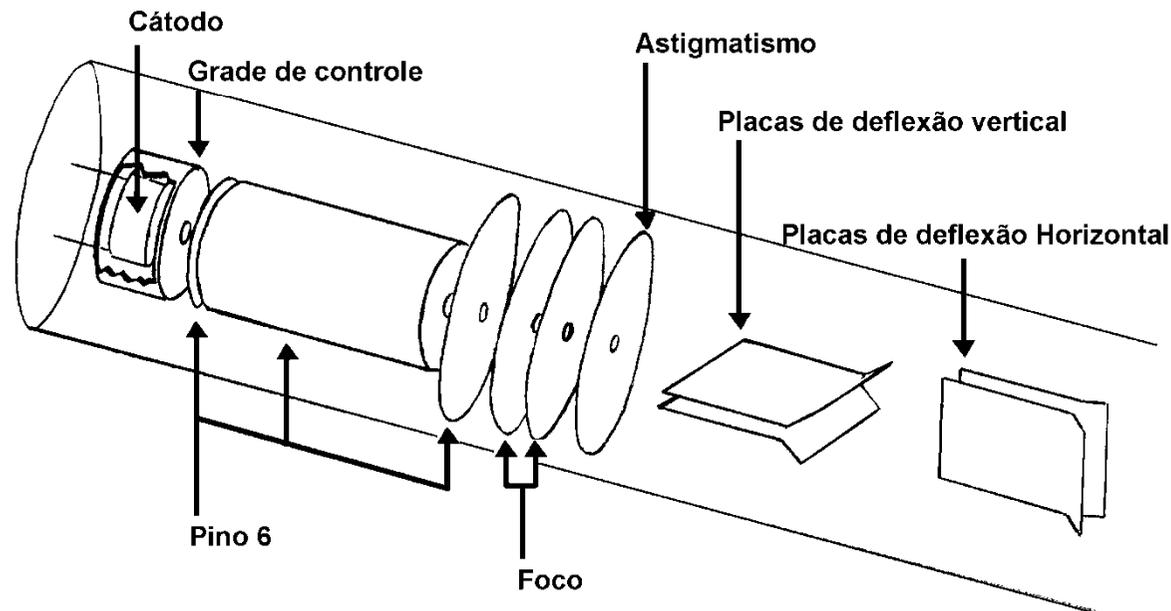
Tubo de raios catódicos

- Um tubo contendo vários eletrodos distintos e com geometrias específicas para controlar o movimento de elétrons no seu interior



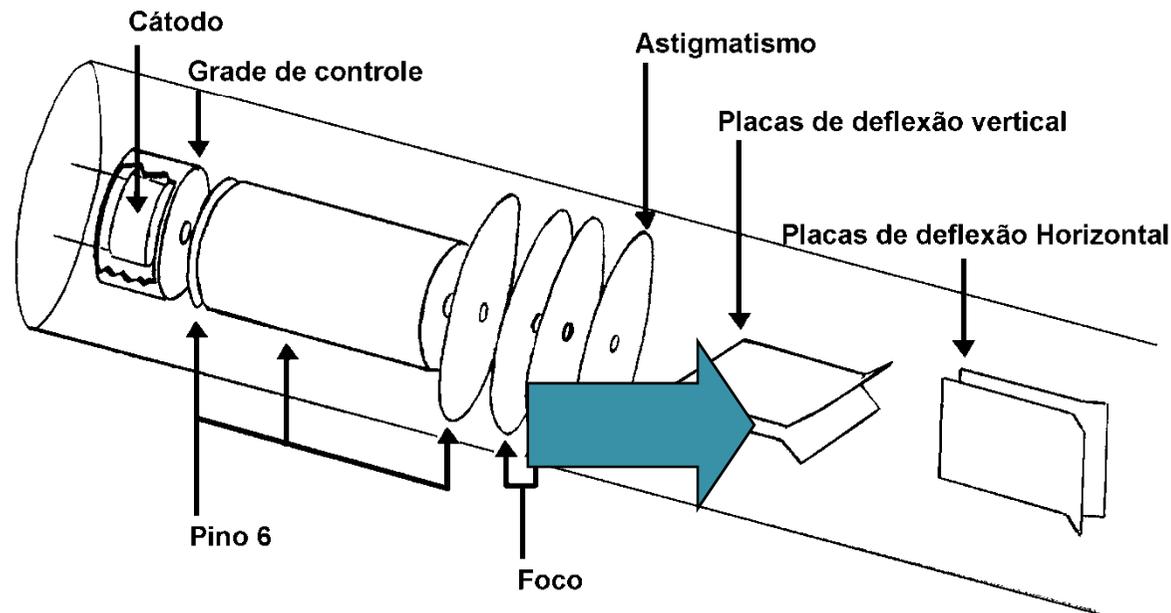
Tubo de raios catódicos

- 3 componentes básicas
 - Geração dos elétrons com uma certa velocidade
 - Focalização do feixe de elétrons
 - Direcionamento do feixe para uma posição na tela



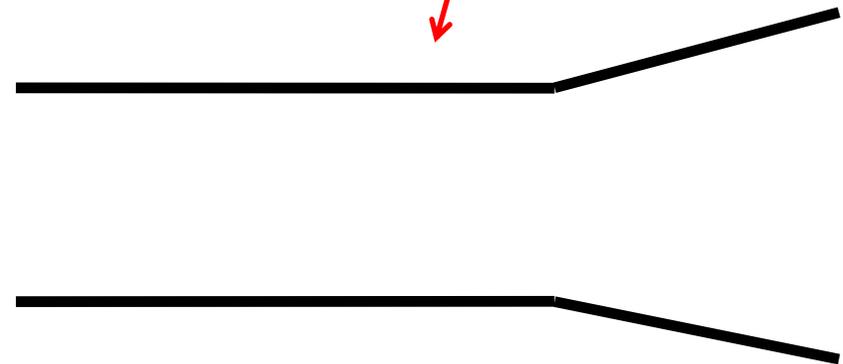
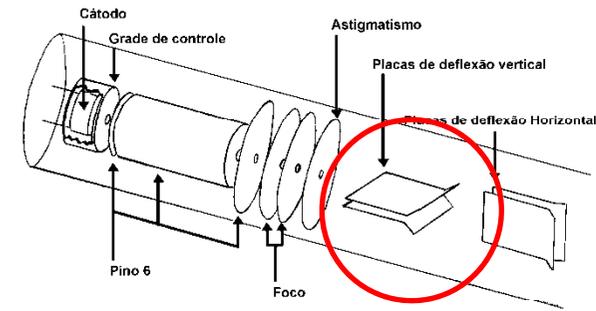
Tubo de raios catódicos

- Deflexão do feixe de elétrons
 - Sistema de placas paralelas
 - 2 conjuntos, x e y
 - Vamos usar somente um deles



Precisamos conhecer o campo entre as placas

- Como é o campo?
- É uniforme?
- Efeitos de borda?
- Quais são as superfícies equipotenciais?



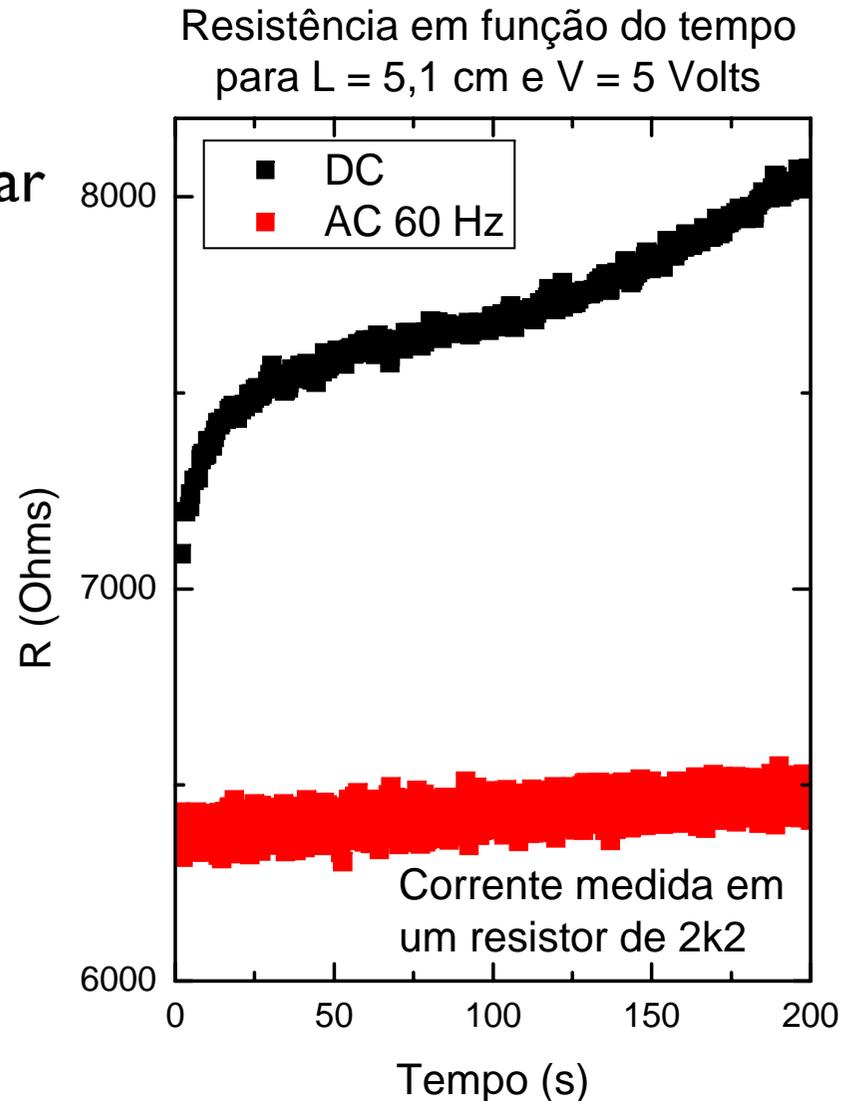
Método experimental

- Cuba eletrolítica
 - Solução aquosa
 - Coloca-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



Problemas (antes de mapear)

- Polarização da água
 - Acúmulo 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?

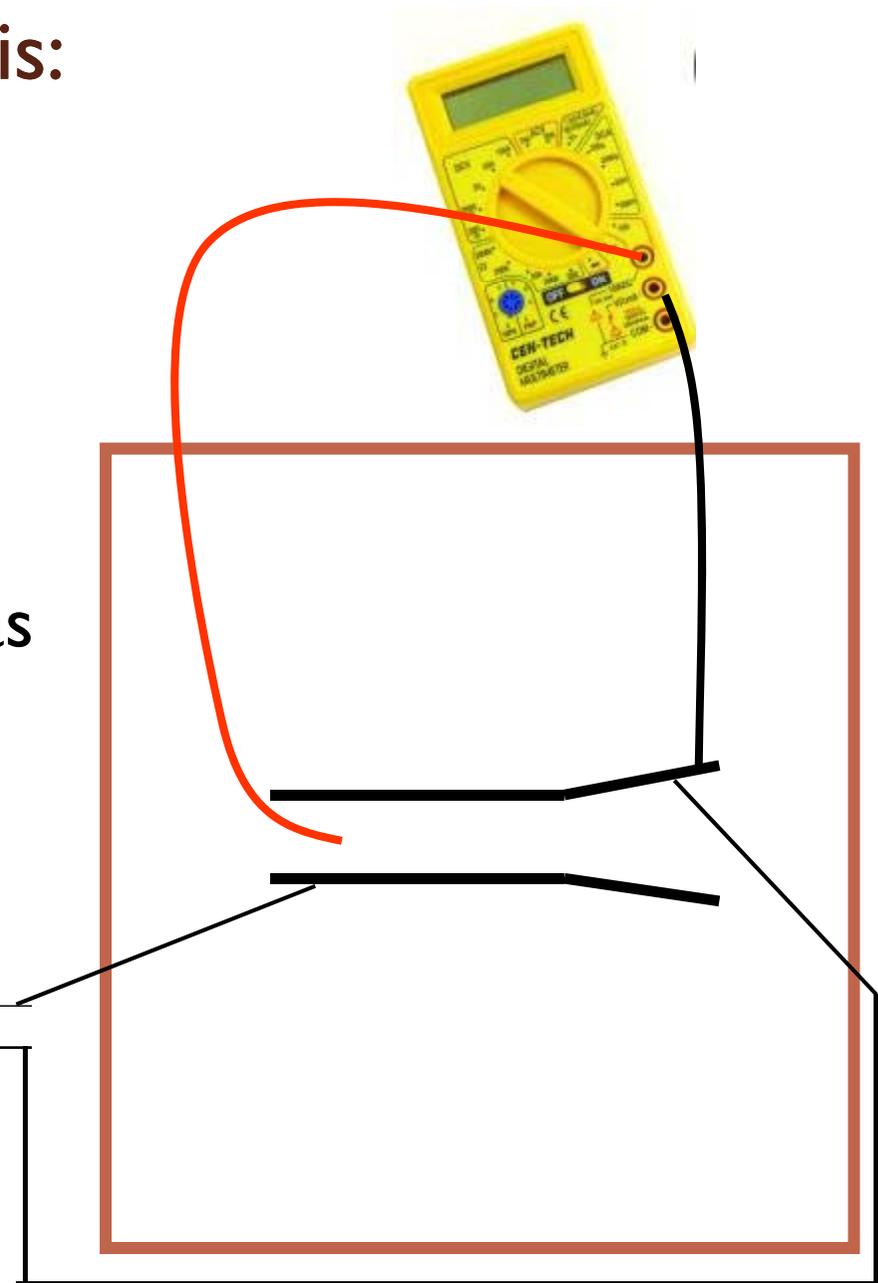
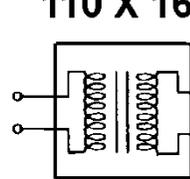


Medidas experimentais: Montagem

- Montar o circuito abaixo
 - Usar 1 cm de espaçamento entre as placas

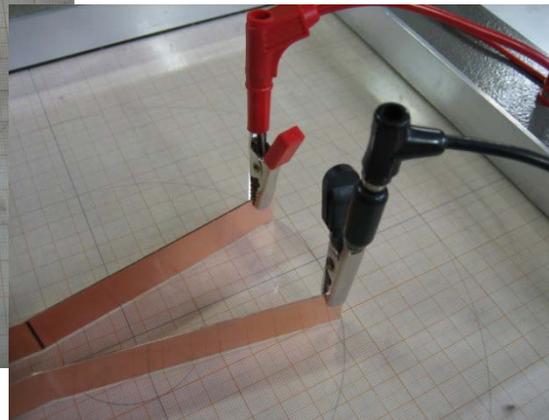
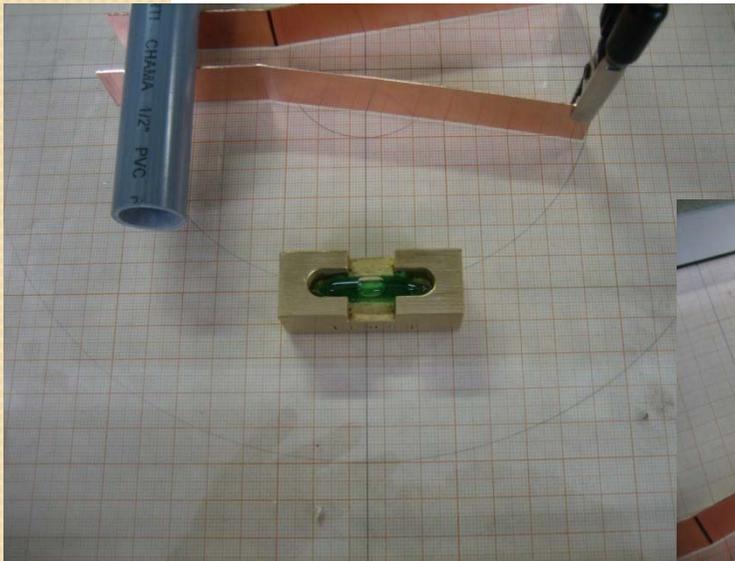
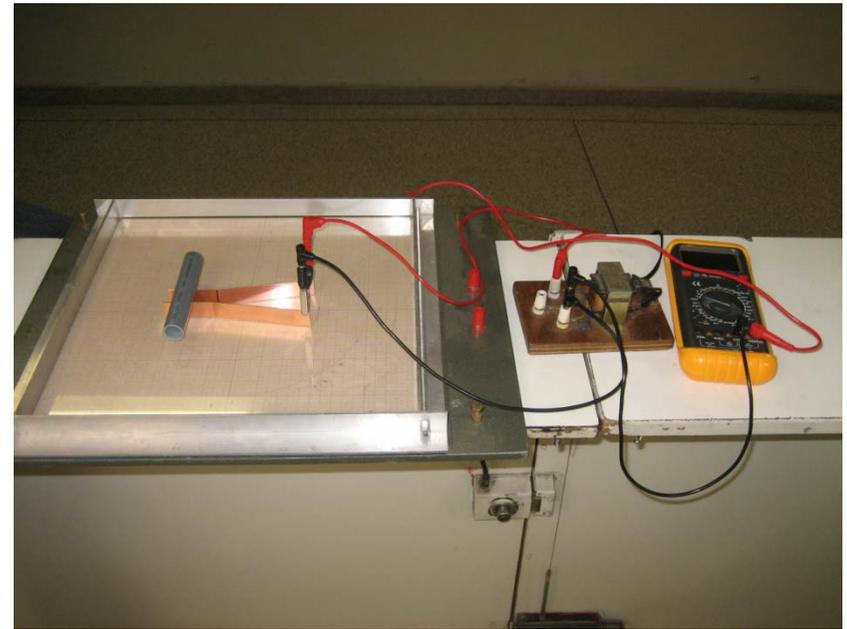
Rede elétrica
110V AC

Transformador
110 X 16



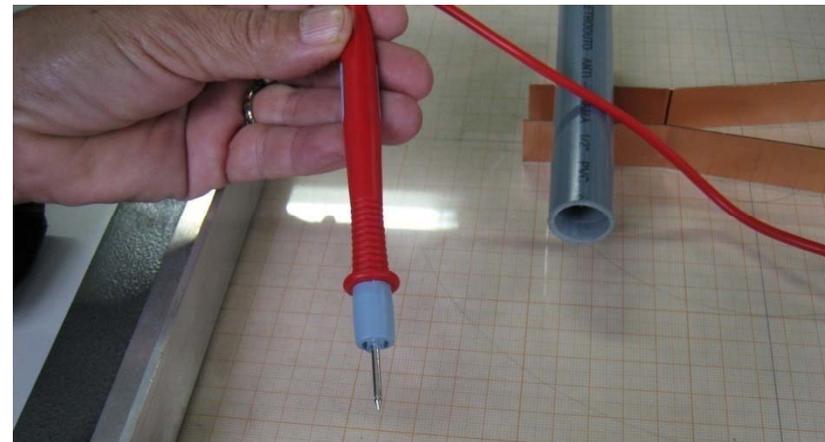
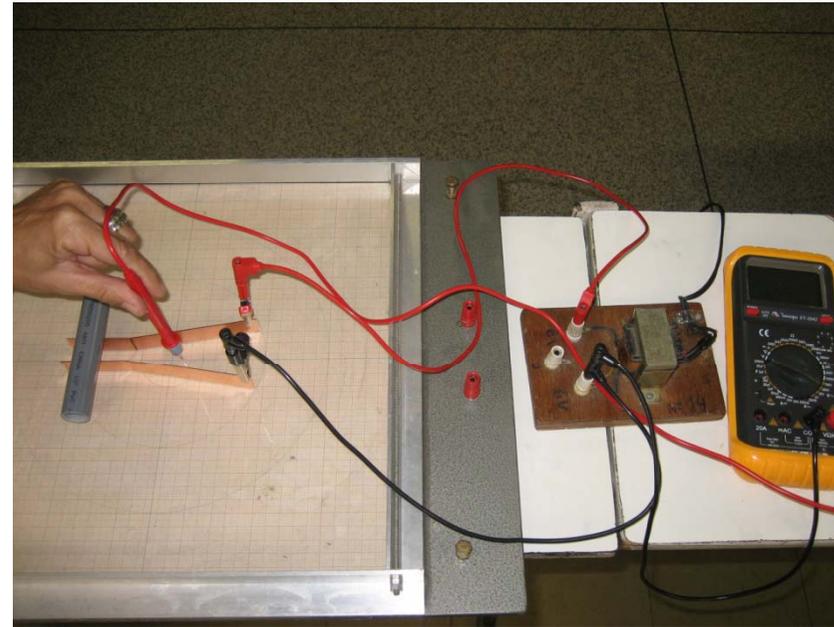
Medidas experimentais: Montagem

- Cuidados
 - No máximo 1 cm de altura de água
 - Nivelar a cuba



Medidas experimentais: fazendo medidas

- Utilizar o voltímetro
 - Perpendicular à cuba
 - Incerteza em posição

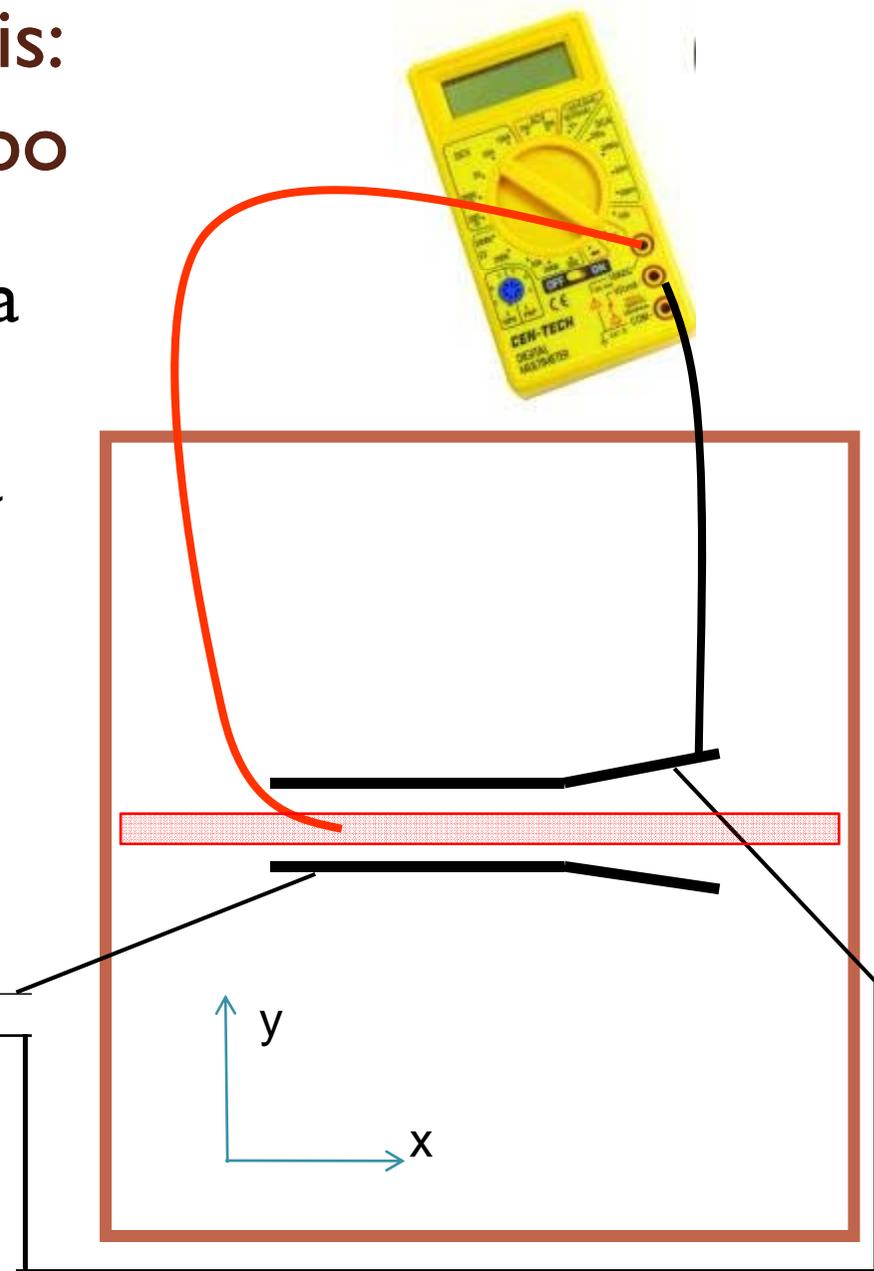
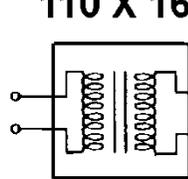


Medidas experimentais: Mapeamento do campo

- Medir o potencial, nesta região, 0,25 cm acima e 0,25 cm abaixo da linha de simetria
 - $E_x \sim \Delta V_x / \Delta X$
 - $E_y \sim \Delta V_y / \Delta Y$

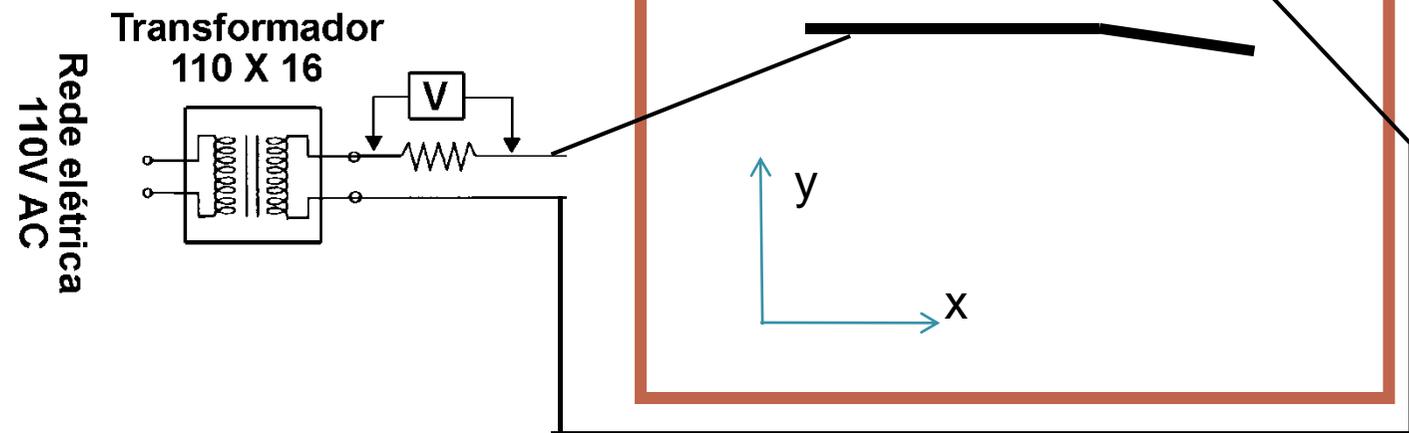
Rede elétrica
110V AC

Transformador
110 X 16



Medidas experimentais: Equipotenciais

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



Para entregar

- Gráfico de campo em função da posição x decomposto em E_x e E_y .
 - Indicar no gráfico onde começa e termina 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

Lembretes

- Relatório semana que vem!
- Olhem o site do LabFlex. Em especial “Outros documentos” onde estão guardadas as apostilas dos anos anteriores
 - Fundamentos teóricos