

# Exp. 1 – Lâmpada

## Parte 3 – Pilha e Lâmpada

### Aula 03 - 2009

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

**Prof. Henrique Barbosa**  
**Edifício Basílio Jafet - Sala 100**

**Tel. 3091-6647**

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



# Experiência 1: Lâmpada

Queremos entender como uma lâmpada incandescente funciona. Para isso teremos 4 semanas:

## 1. Circuitos de Corrente Contínua

- Como medir grandezas elétricas?
- Os instrumentos de medida influenciam no resultado de uma medida? Como escolher o instrumento certo?

## 2. Pilha e Lâmpada

- Como varia a tensão de uma pilha ou em uma lâmpada em função da corrente?

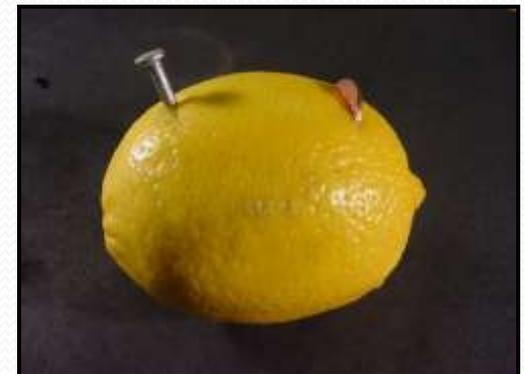
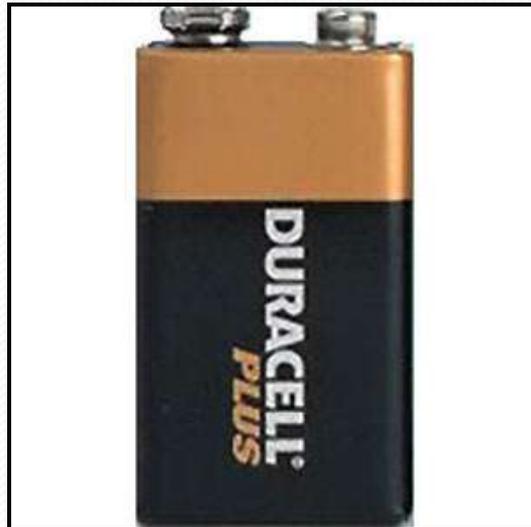
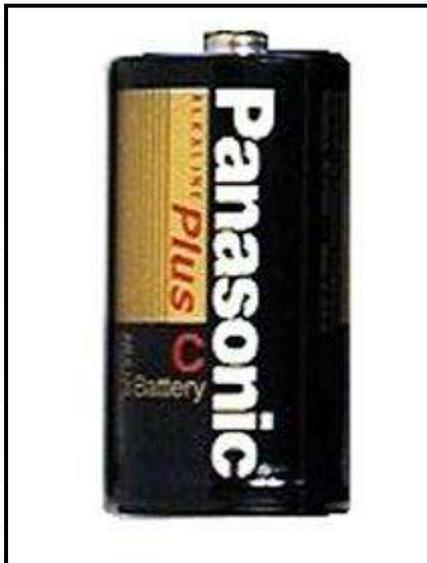
## 3. Potência de uma lâmpada

- Como varia a potência da lâmpada em função da temperatura do filamento?

## 4. Radiação emitida por uma lâmpada

- Como varia a radiação emitida pela lâmpada em função do comprimento de onda da luz?

# Pilha Comum



# Análise e consistência de modelos

- Na análise de dados deve-se levar em consideração:
  - Que modelo pode-se aplicar aos dados?
  - O que este modelo prevê?
  - As grandezas derivadas dos dados também se ajustam ao modelo proposto?
- Qual a melhor função que se ajusta aos dados?
  - Esta função é consistente com o modelo?
  - Qual o significado disto do ponto de vista físico?

# Um Modelo Simples para a Pilha

- A tensão elétrica é proveniente de reações químicas
  - Pode-se assumir que esta tensão é constante e depende das características químicas
- Quando passa corrente pela pilha há resistência pois o material que a compõe não é um condutor perfeito
  - A tensão medida exteriormente sofre uma queda por haver esta resistência
- Como vocês podiam saber/descobrir isso?
  - Pesquisando em livros, papers, enciclopédias, internet....

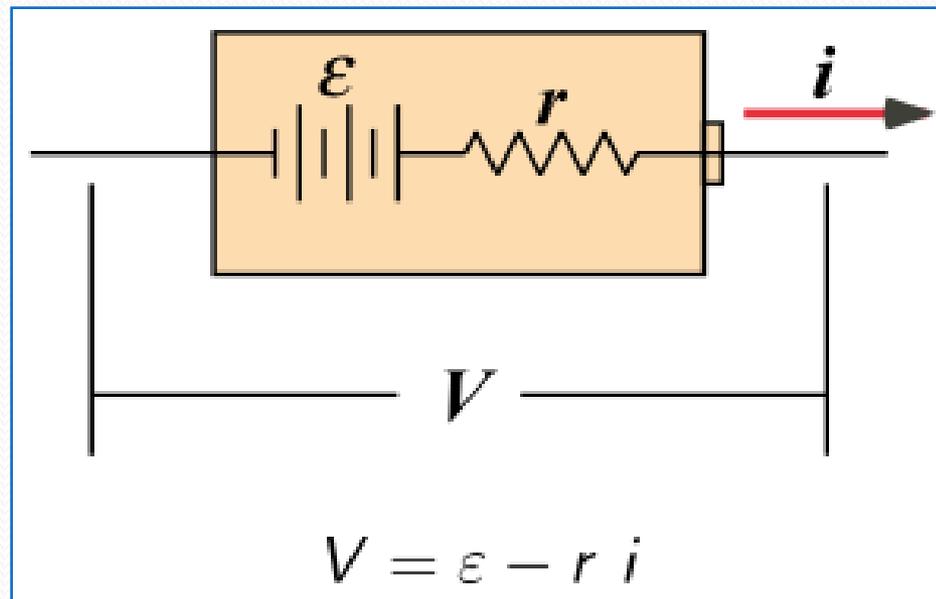


# [http://en.wikipedia.org/wiki/Battery\\_\(electricity\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity))

- “A battery (...) consists of a number of voltaic cells; each (...) consists of two **half cells** connected in series by a conductive electrolyte containing anions and cations. One half-cell includes (...) the **anode** (...); the other (...) the **cathode** (...). In (...) reaction that powers the battery, reduction (addition of electrons) occurs to cations at the cathode, while oxidation (removal of electrons) occurs to anions at the anode.(...)”
- Each half cell has an (...) emf, determined by its ability to drive electric current from the interior to the exterior of the cell. The net emf of the cell (...) is the difference between the **reduction potentials** of the **half-reactions**.
- (...) The terminal voltage of a cell that is neither charging nor discharging is called the **open-circuit voltage** and equals the emf of the cell. Because of internal resistance, the terminal voltage of a cell that is discharging is smaller in magnitude than the open-circuit voltage (...). An ideal cell has negligible internal resistance, so it would maintain a constant terminal voltage of until exhausted, then dropping to zero.”

# Modelo para a pilha (1)

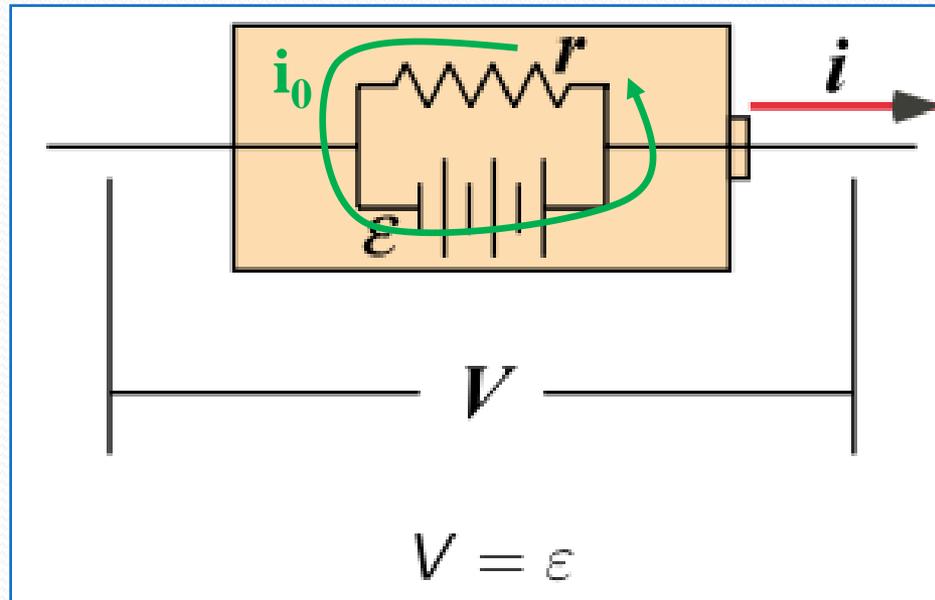
- Tem uma resistência e uma fem. O modelo mais simples é



- Quando  $i=0 \rightarrow V=\epsilon$ , ou seja a tensão de circuito aberto é igual a força eletromotriz

# Modelo para a pilha (2)

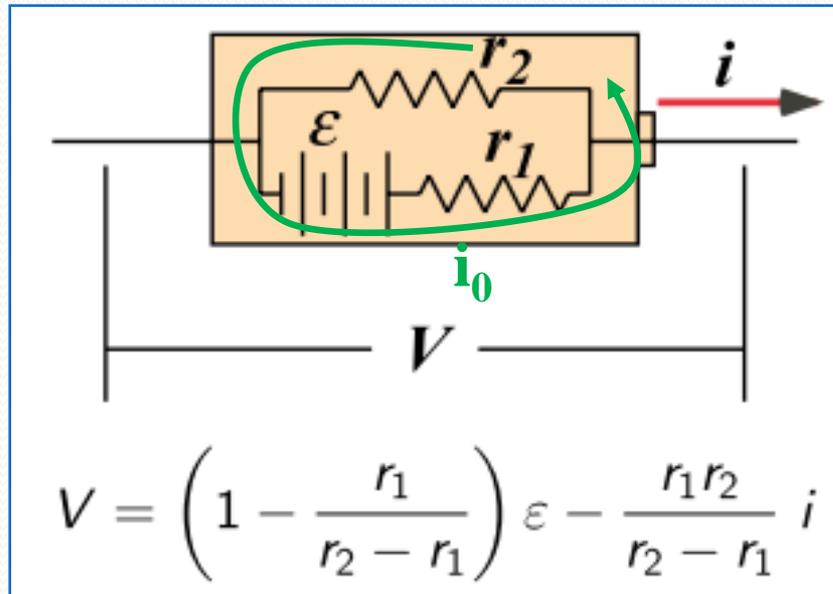
- Uma outra alternativa seria colocar os dois em paralelo:



- A tensão entre os terminais é sempre igual a fem, não depende da corrente.
  - Foi isso que observamos?
  - Além disso, a pilha iria descarregar rapidamente devido à corrente interna.

# Modelo para a pilha (3)

- Uma terceira alternativa seria colocar duas resistências:

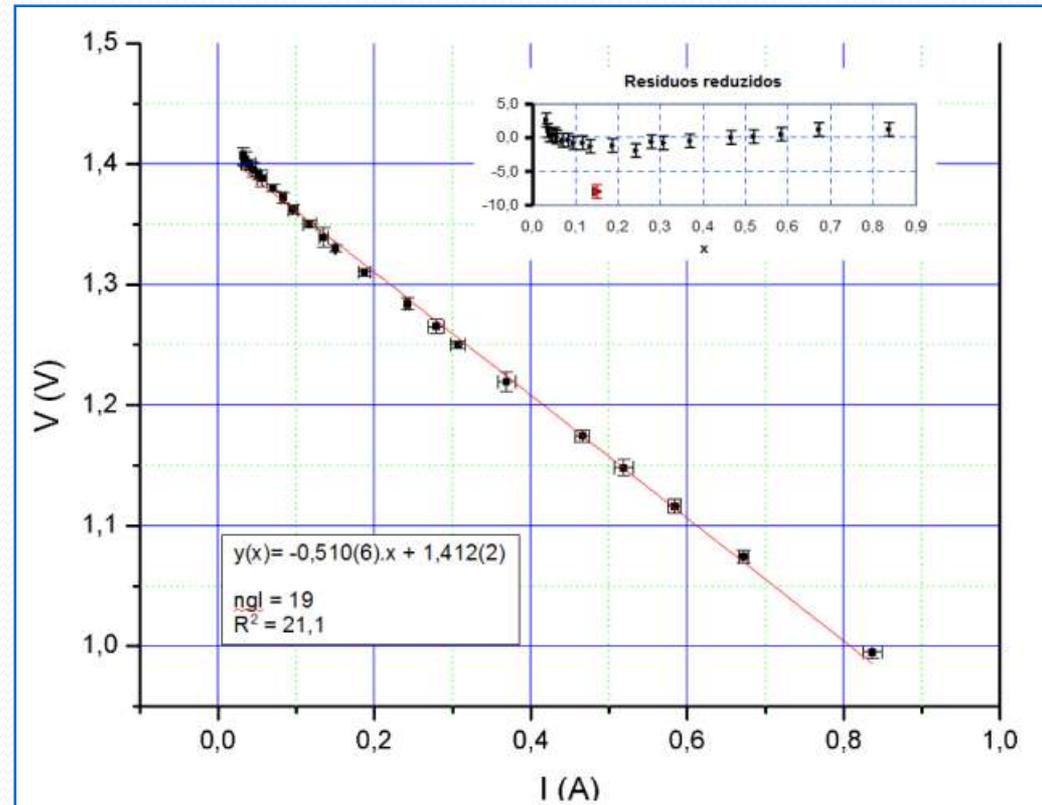


- Linear com a corrente.
  - A expressão depende de 3 parâmetros ( $r_1$ ,  $r_2$  e  $\varepsilon$ ) mas o ajuste linear só nos provê dois...
  - Também temos uma corrente interna e, para  $i=0$  temos  $V < \varepsilon$

# Testando o modelo

- Para escolher um dos modelos é preciso
  - Analisá-lo fisicamente (já fizemos e descartamos 2 deles)
  - Verificar se as previsões do modelo “batem” com as medidas experimentais
- Se o modelo é razoável, esperamos obter uma reta da forma:
$$V = \varepsilon - R i$$
- Onde  $\varepsilon$  e  $R$  podem ser estimados a partir do ajuste desta curva aos dados

Precisamos analisar as curvas características



# Curva característica da Pilha

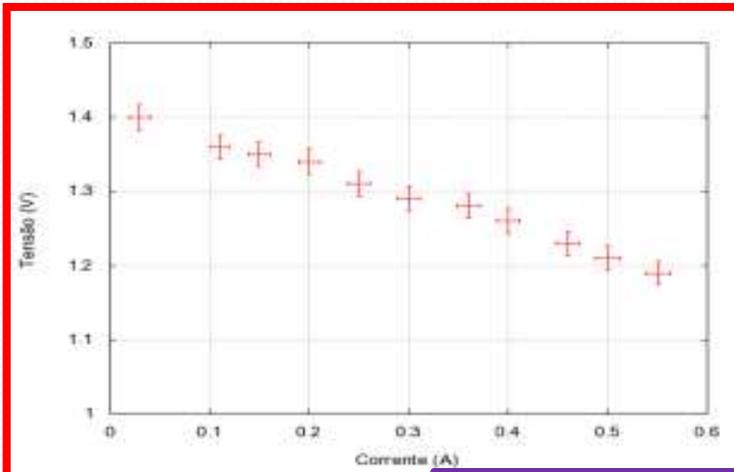
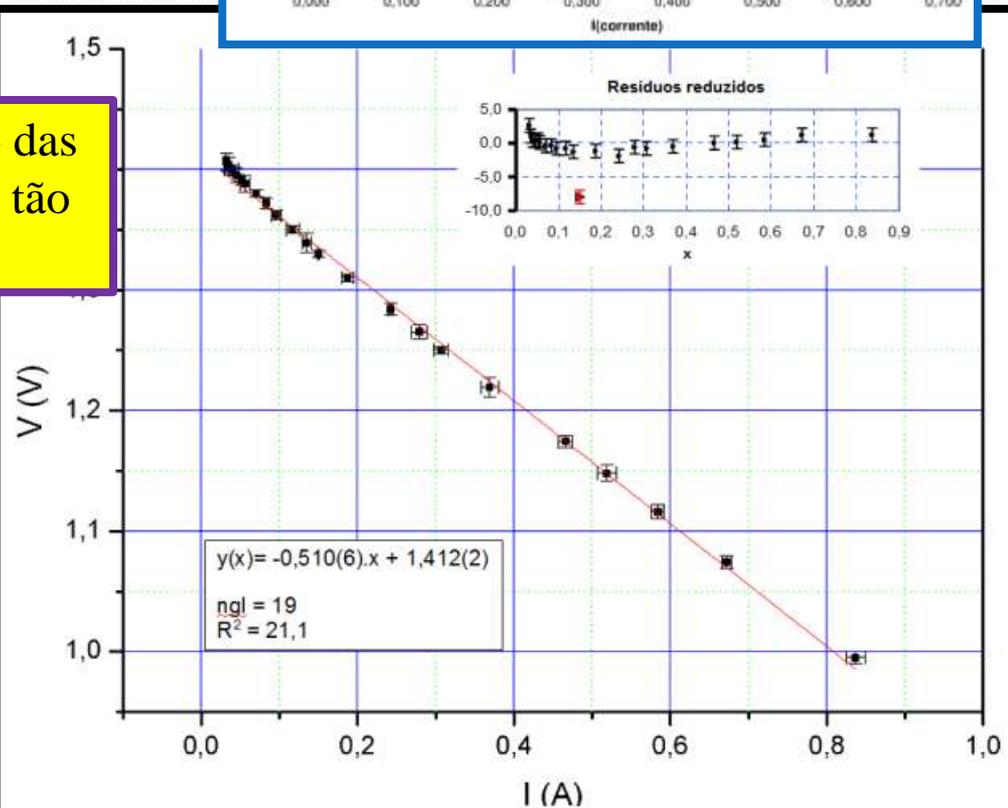
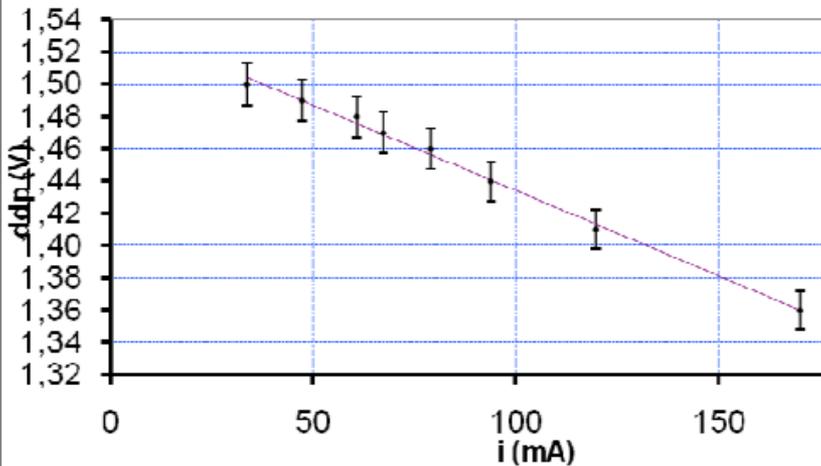
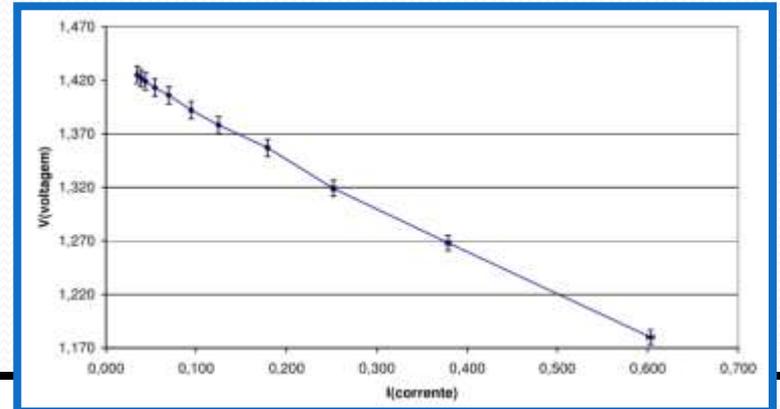


Figura 4 – Curva caracte

Porque o tamanho das barras de erro são tão diferentes?



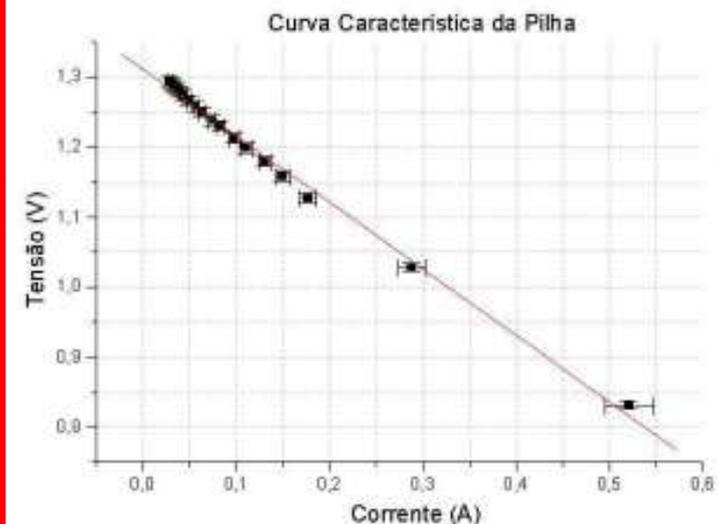
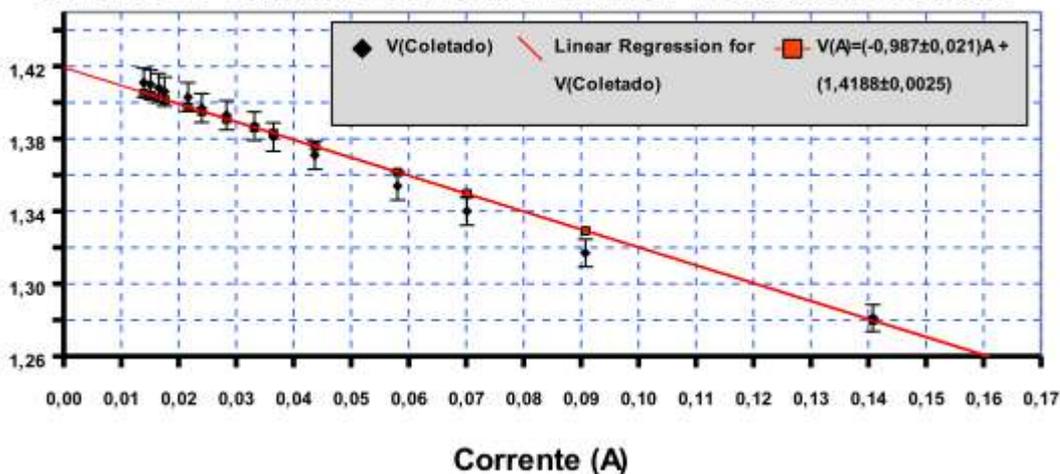
# Curva Característica: Pilha



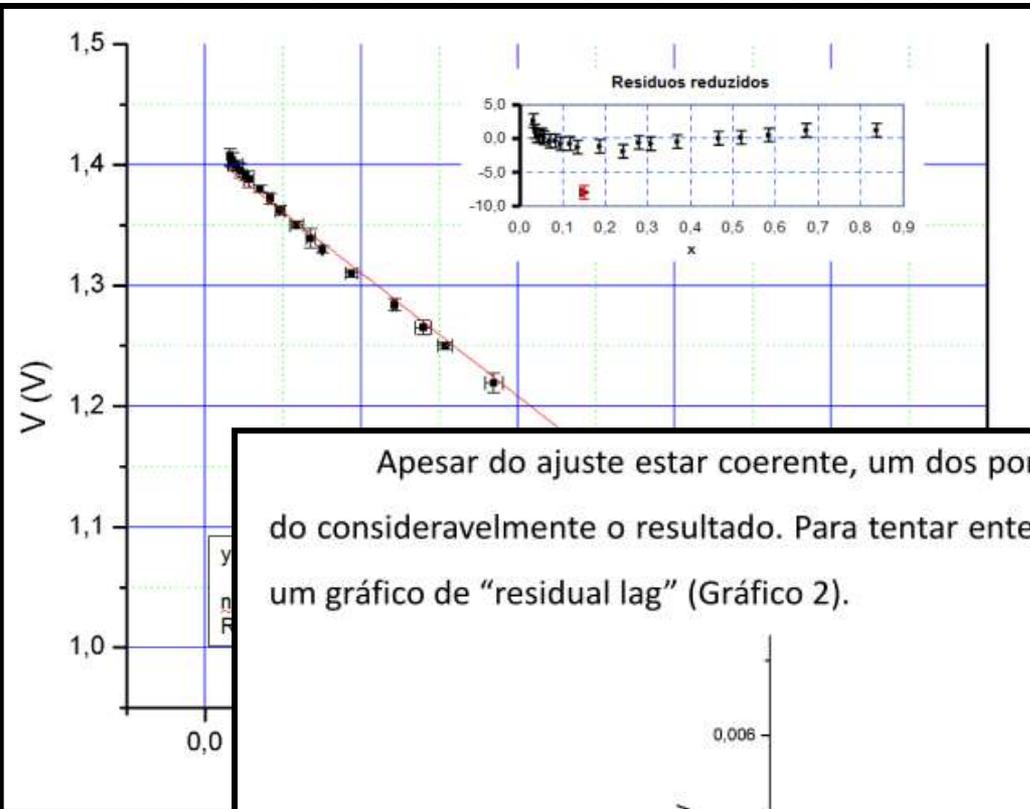
O valor obtido de “E” e a voltagem nominal da pilha são **equivalentes**, **compatíveis?** comprovado pelo teste de compatibilidade. Além disso, nota-se que a pilha não estava totalmente carregada ou pode ter se descarregado durante as medidas, pois **antes das medições** apresentava uma tensão de  $(1,460 \pm 0,017)V$  e, **após as** medidas, o valor recuou para  $(1,435 \pm 0,017)V$ . A compatibilidade do valor “E” obtido com o ajuste foi de 1,9 para a tensão inicial e 0,47 para a tensão final na pilha.

muito bom

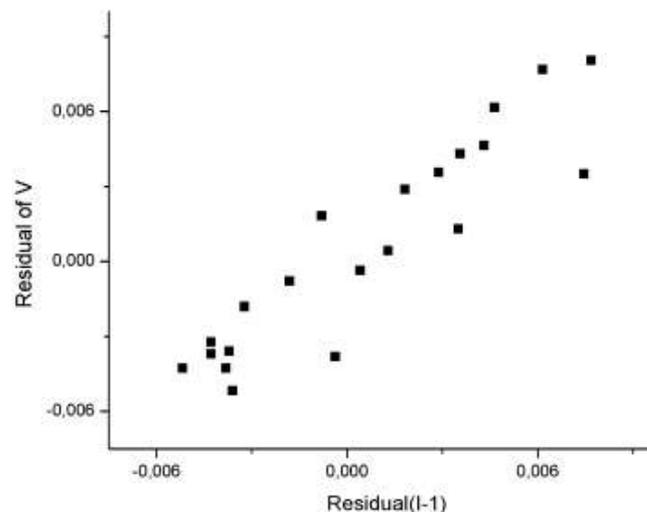
GRÁFICO 4 :- Tensão vs Corrente Terminais Pilha Avant no Circuito 1



# Analizando os resíduos...



Apesar do ajuste estar coerente, um dos pontos precisou ser removido pois estava alterando consideravelmente o resultado. Para tentar entender o motivo dessa variação podemos utilizar um gráfico de "residual lag" (Gráfico 2).



ok, mas notem que isso nao justifica o ponto fora da reta...

# Previsão do modelo

- Potência fornecida pela pilha

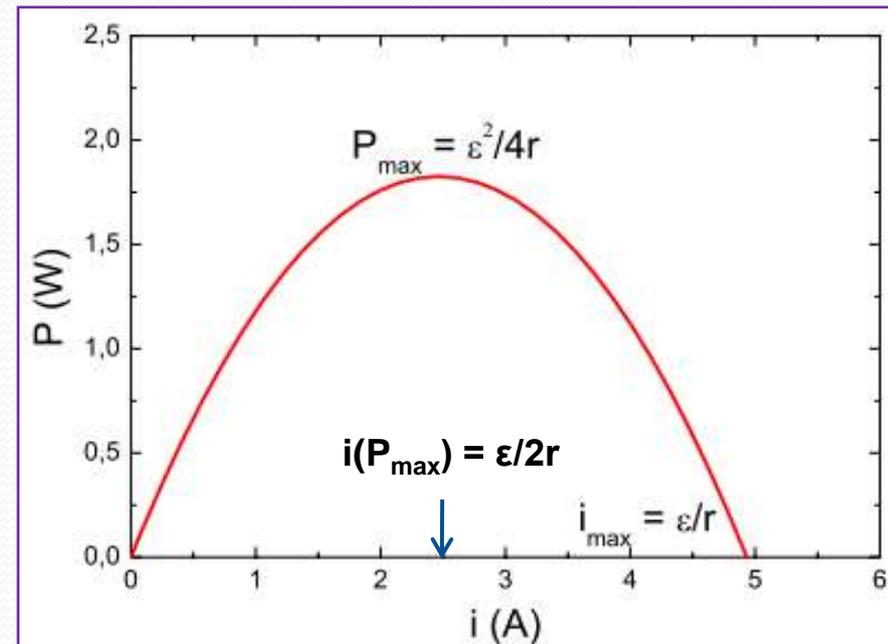
$$P(i) = Vi = (\varepsilon - ri)i = \varepsilon i - ri^2$$

- A potência máxima fornecida é:

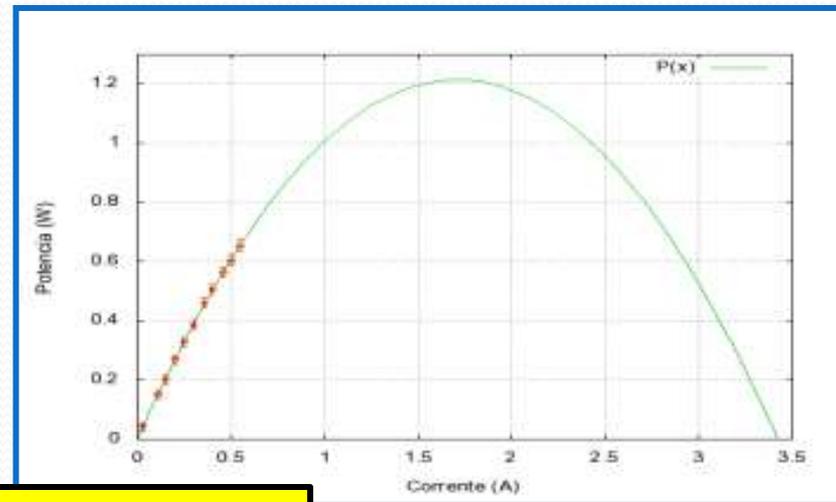
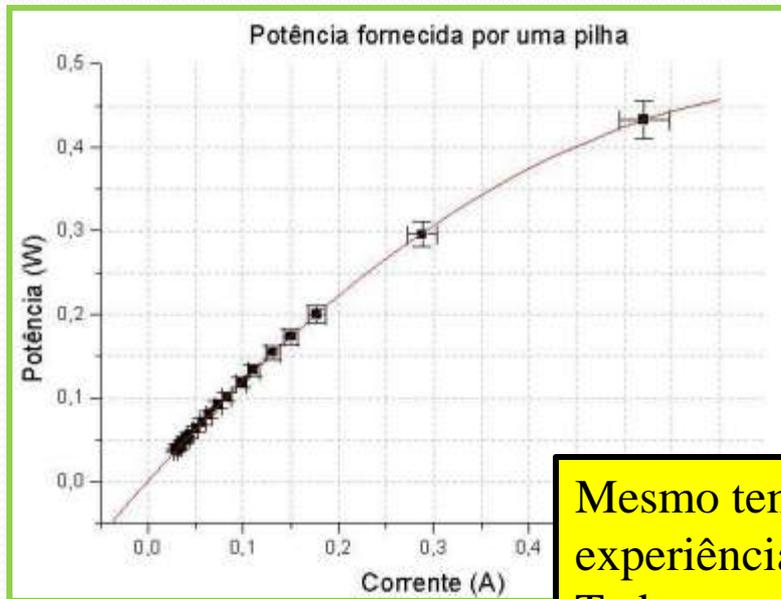
$$P_{\max} = \varepsilon^2 / 4r \Rightarrow i(P_{\max}) = \varepsilon / 2r$$

- Corrente máxima possível de ser fornecida pela pilha:

$$I_{\max} = \varepsilon / r$$



# Potência fornecida pela Pilha



Mesmo tempo para refazer a experiência na semana passada... Todos os grupos mediram apenas o começo da curva!

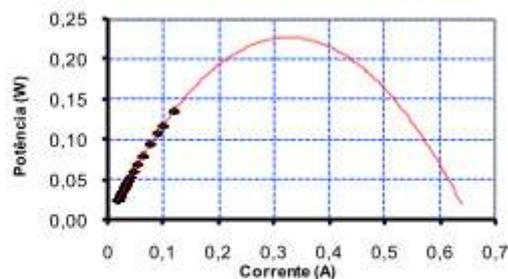
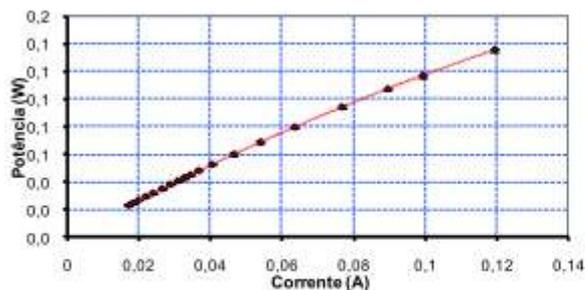
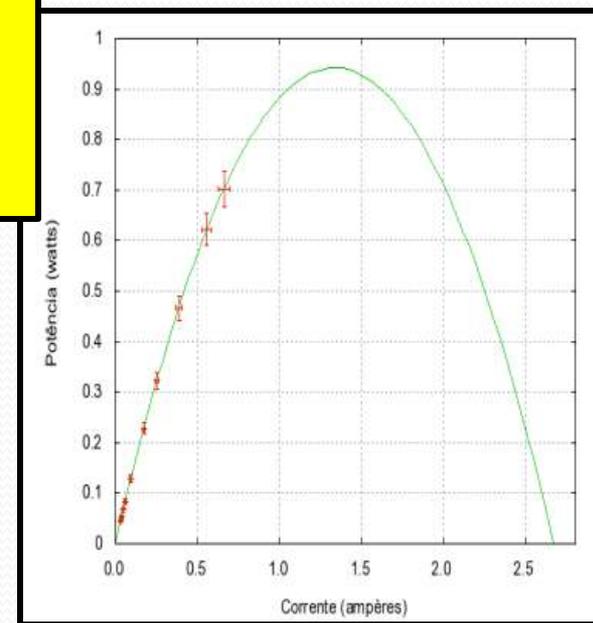
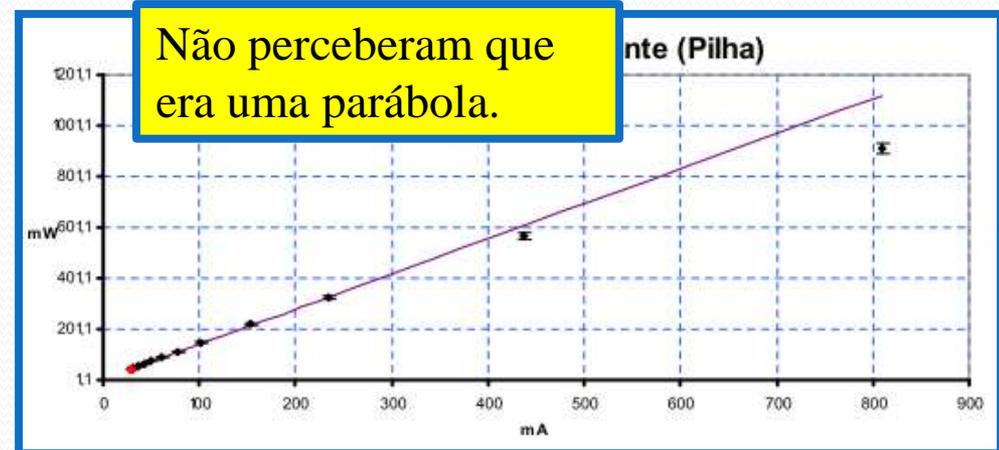
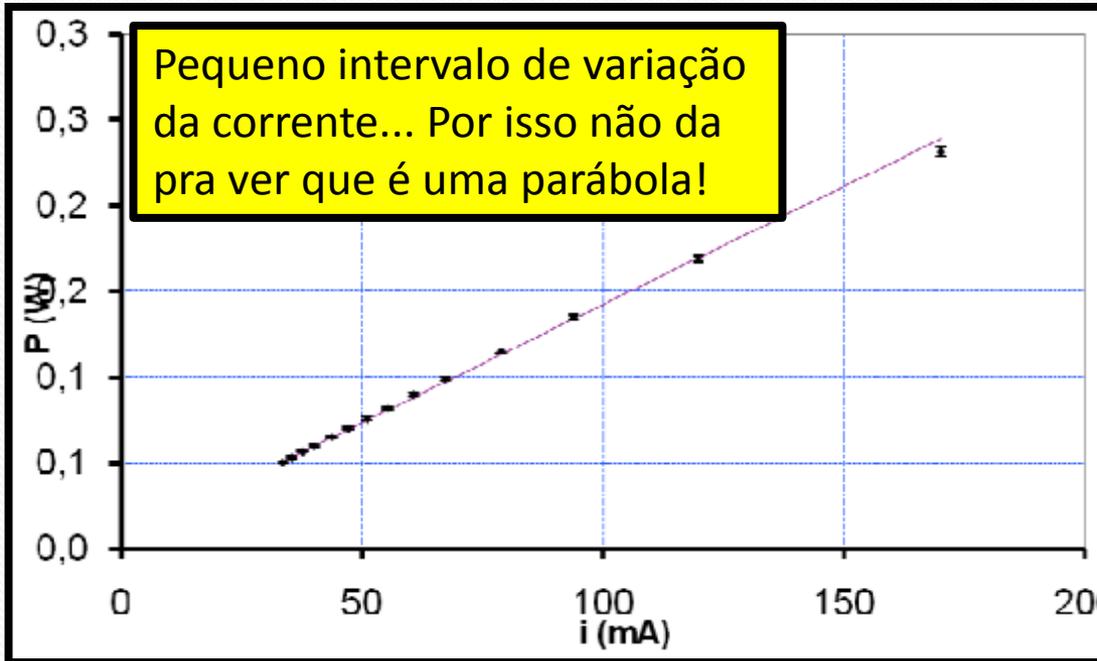


Figura 6 – Curva potência X corrente com uma linha de tendência ajustada por polinômio de grau 2 (em vermelho), à direita é o gráfico da esquerda com a linha de tendência expandida.



# Potência fornecida pela Pilha



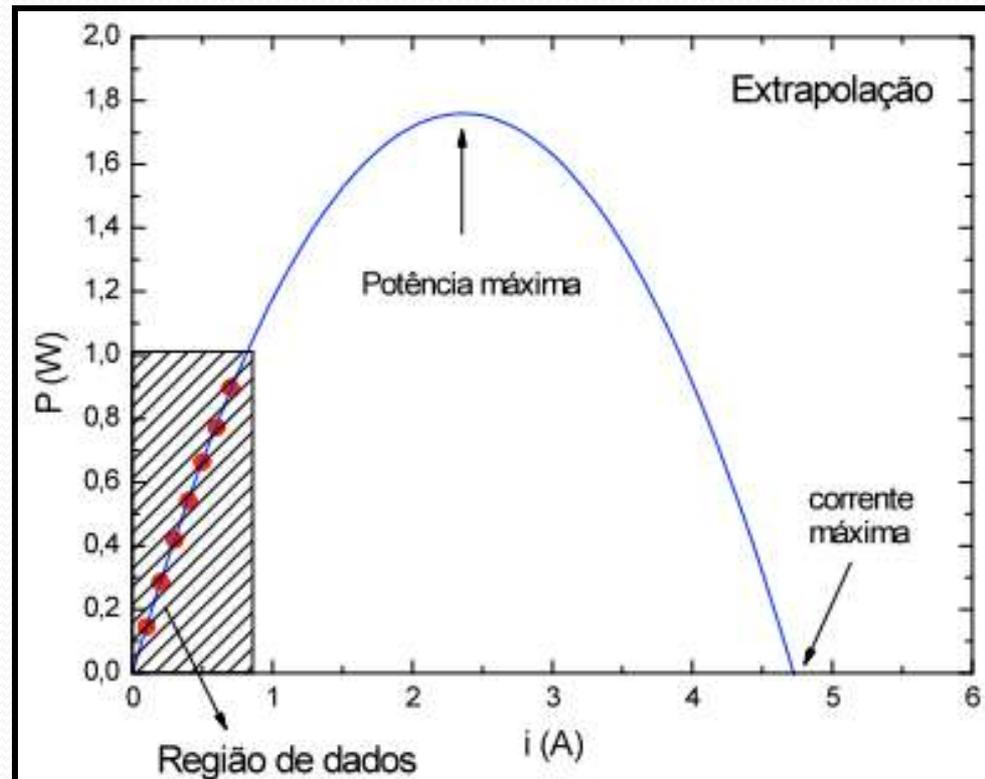
# Potência e Corrente Máxima

Pluz (W)	Pmax (W)	I em Pmax (A)	Imax (A)
1,4256 ± 0,0117			
0,2925		0,72	
0,4928			
0,312	0,3101(77) 0,1968 (exp)	0,246(2)	
3,434±0,046	0,942±0,041	1,334±0,026	
2,93±0,07	1,2		
0,58 / 2,15			
0,555			
	1,449		
1,73			

Será que estas incertezas estão bem estimadas??

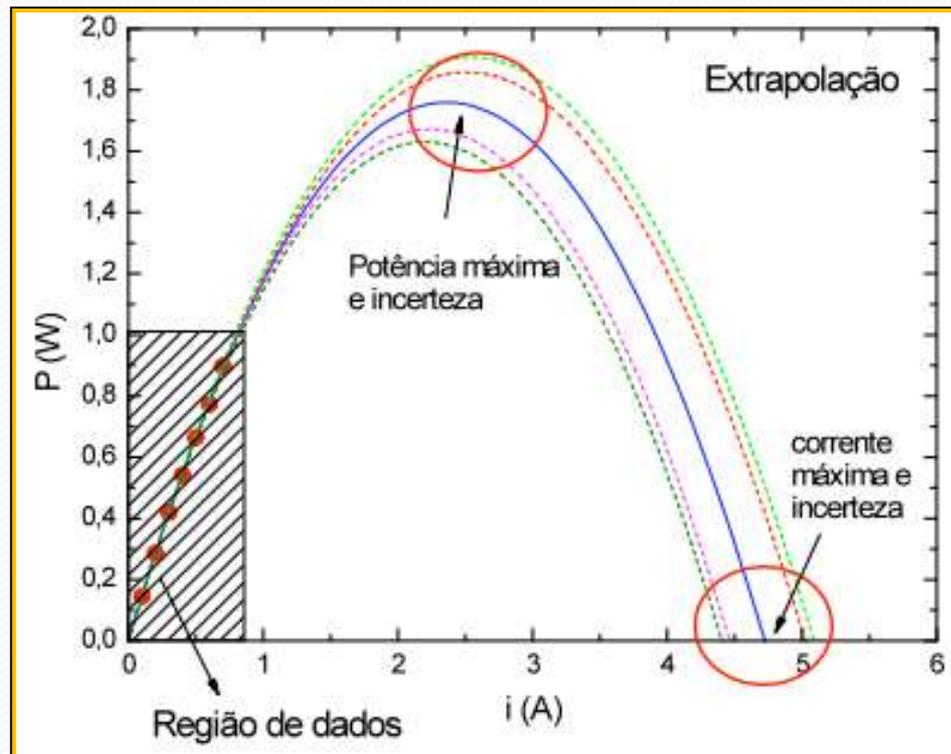
# Extrapolação de curvas

- Muitas vezes o experimento impõe limitações quanto ao alcance dos dados. Temos que fazer extrapolações
  - Por exemplo, ninguém mediu pontos além do máximo da parábola



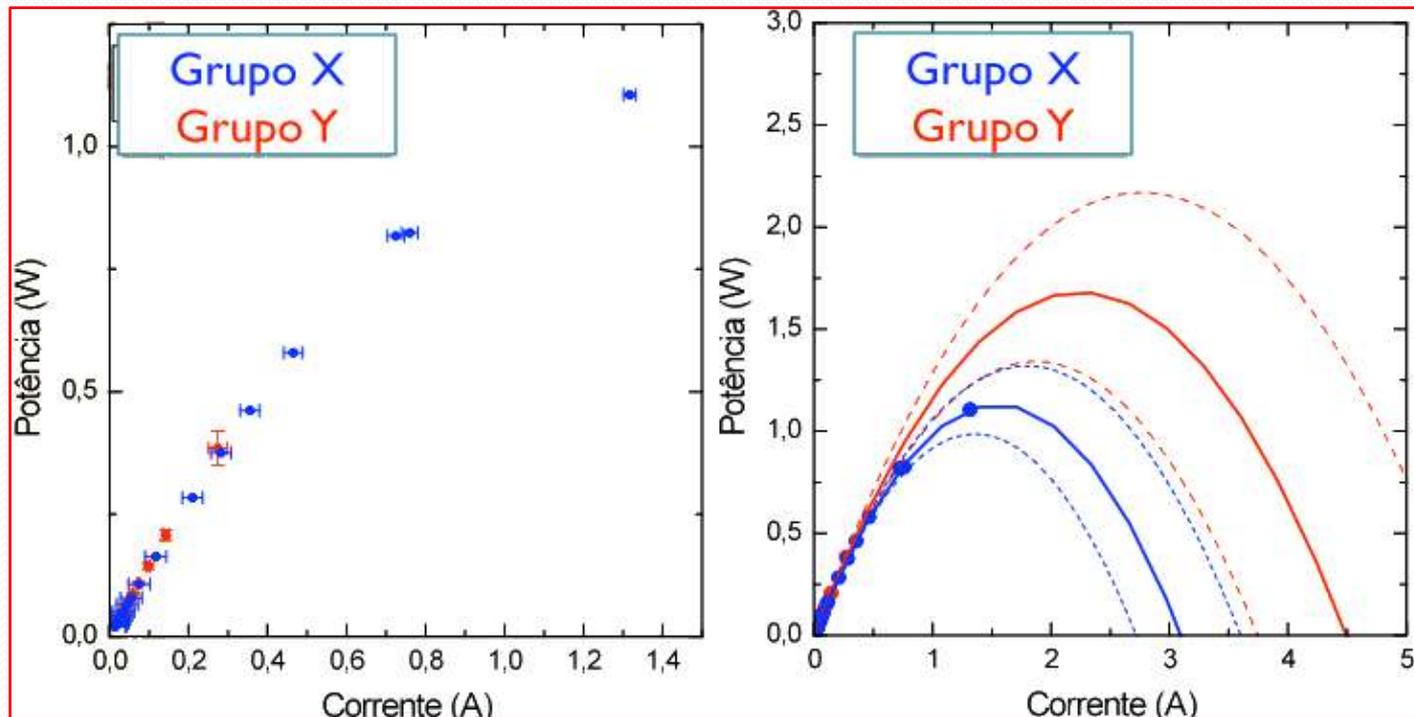
# Extrapolação de curvas

- Como obter a incerteza na potência máxima e na corrente máxima?
- Curvas abaixo:
  - $P(\varepsilon+\sigma\varepsilon, r+\sigma r)$ ;  $P(\varepsilon-\sigma\varepsilon, r-\sigma r)$ ;  $P(\varepsilon+\sigma\varepsilon, r-\sigma r)$  e  $P(\varepsilon-\sigma\varepsilon, r+\sigma r)$



# Extrapolação de curvas

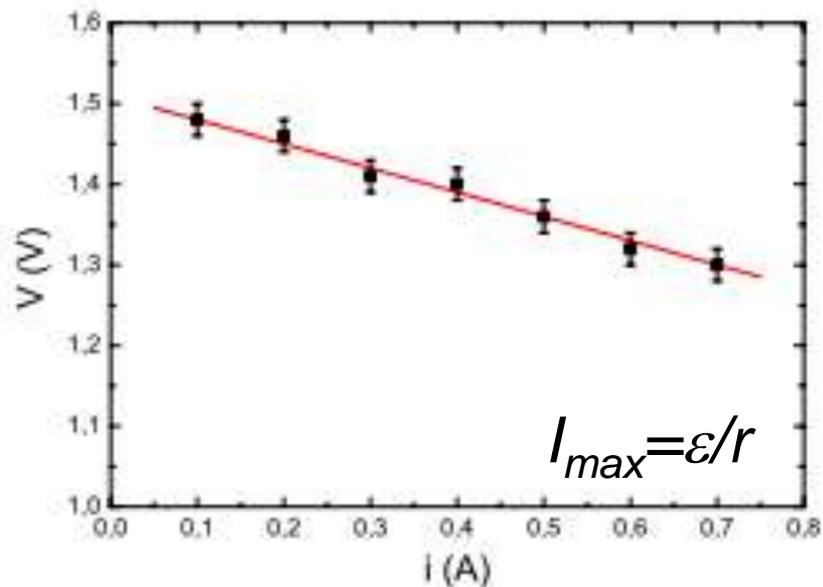
- Quando estamos extrapolando expressões não lineares é comum que as incertezas não sejam simétricas em relação ao valor calculado.
- A incerteza na extrapolação depende do alcance dos dados!



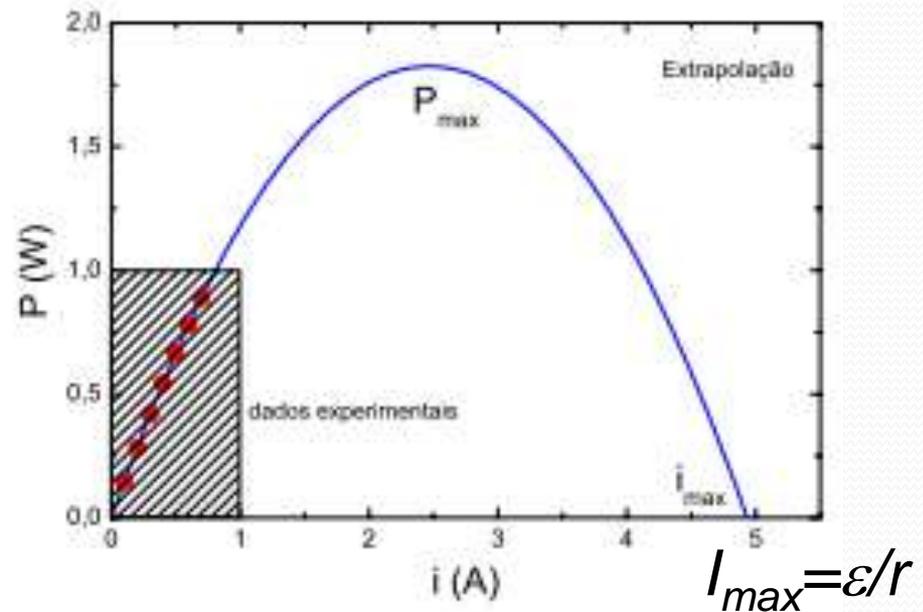
# Consistência da análise

- Será que os parâmetros obtidos dos ajustes são consistentes?
  - Apenas um dos grupos verificou isso...

$$V = \varepsilon - r i$$



$$P = \varepsilon i - r i^2$$



# Compatibilidade para $\epsilon$

- O grupo mediu  $\epsilon$  quatro vezes:
  - Multímetro antes da exp
  - Com o ajuste linear de  $V \times i$
  - Com o ajuste de  $P \times i$
  - Multímetro depois da exp
- Todos os valores são compatíveis.

Tabela 2 – Teste de compatibilidade entre os valores de resistência interna encontrados para a pilha. Ajuste potência refere-se ao ajuste da figura 5 e ajuste tensão ao da figura 4. C é o valor de compatibilidade

resistência

Ajuste potência (ohms)	Ajuste tensão (ohms)	C
$(5,293 \pm 0,061) \cdot 10^{-1}$	$(5,64 \pm 0,11) \cdot 10^{-1}$	2,76

Tabela 1 – Teste de compatibilidade entre os valores de força eletromotriz encontrados para a pilha Ajuste potência (ou Aj pot) refere-se ao ajuste da figura 5 e ajuste tensão (Aj tem) ao da figura 4. Medida inicial (Med Ini) e medida final (Med Fin) são os valores obtidos através do multímetro antes e após as tomadas de dados. Os valores da força eletromotriz estão em volts.

$\epsilon$	Aj pot	Aj ten	Med Ini	Med Fin
Ajuste potência ( $1,4124 \pm 0,0035$ )	0	2,89	2,74	1,30
Ajuste tensão ( $1,4269 \pm 0,0036$ )	2,89	0	1,9	0,47
Medida Inicial ( $1,460 \pm 0,017$ )	2,74	1,9	0	1,0
Medida Final ( $1,435 \pm 0,017$ )	1,30	0,47	1,0	0

# Consistência

R_Pot ( $\Omega$ )	R_V ( $\Omega$ )	$\varepsilon$ _Pot (V)	$\varepsilon$ _V (V)	Voltmetro
	0,953 $\square$ 0,017		1,3120 (28)	
	0,987 $\pm$ 0,021		1,4188 (25)	1,432 $\pm$ 0,5%+1d
2,122	2,259(56) $\Omega$	1,385	1,4009(32)	
0,5293 (61)	0,564 (11)	1.4124 $\pm$ 0.0035	1,4269 (36)	1,460 $\pm$ 0,017
0,415 (14)		1,4201(65)		
0,482(40)	0,510 (6)	1,396 (29)	1,412 (2)	1,450
	0,908 $\pm$ 0,044			

# Lâmpada de Filamento



# Curva Característica: Lâmpada

corrente, evidenciando que a mesma não se comporta como uma resistência ôhmica, que segue a relação  $V= Ri$ . Por este motivo, a resistência deve depender da potência de uma forma não-linear. A potência onde ela

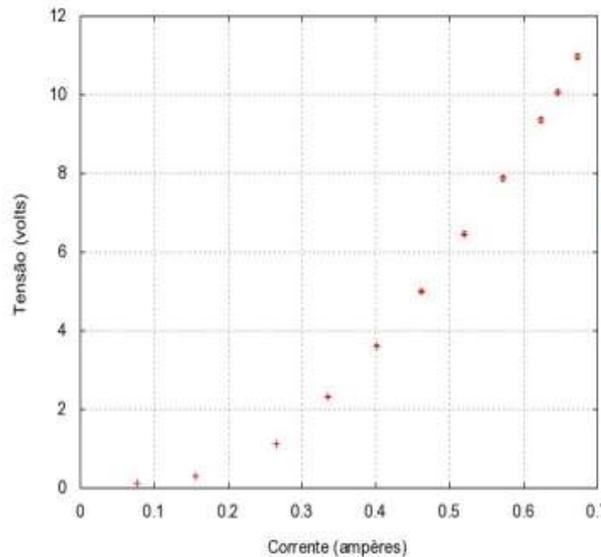
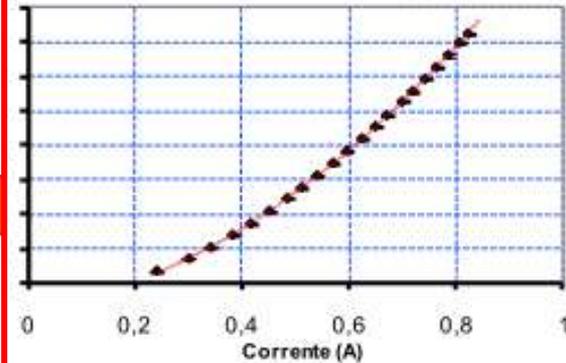
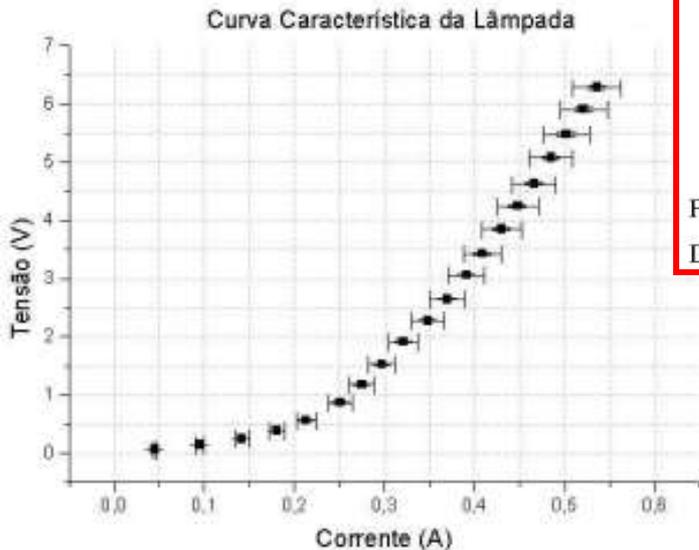


Figura 2 – Gráfico da curva característica da lâmpada. Dados obtidos experimentalmente.



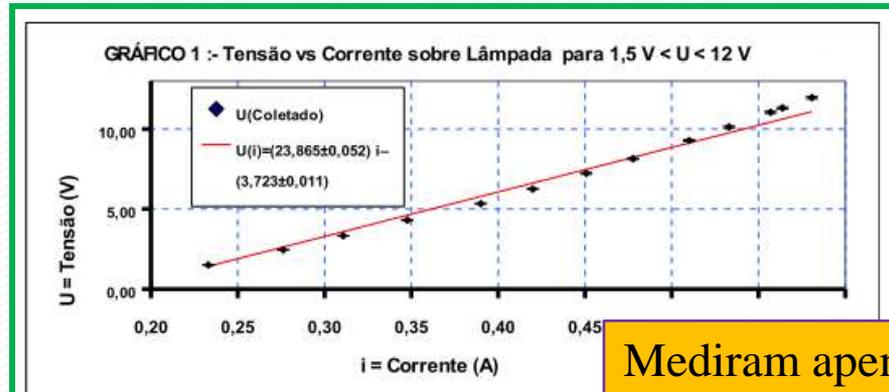
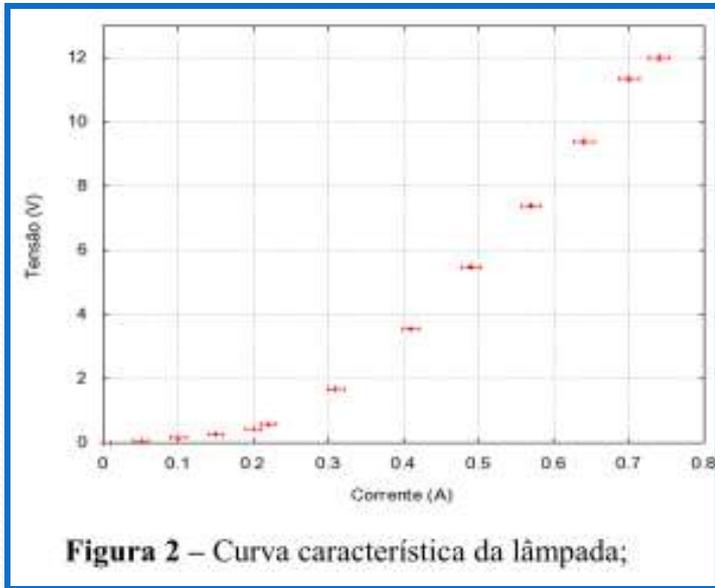
Como podemos observar na figura 3, a curva da característica da lâmpada obviamente não é uma reta, logo a mesma não é um resistor ôhmico, pois sua resistência varia com a temperatura do seu filamento.



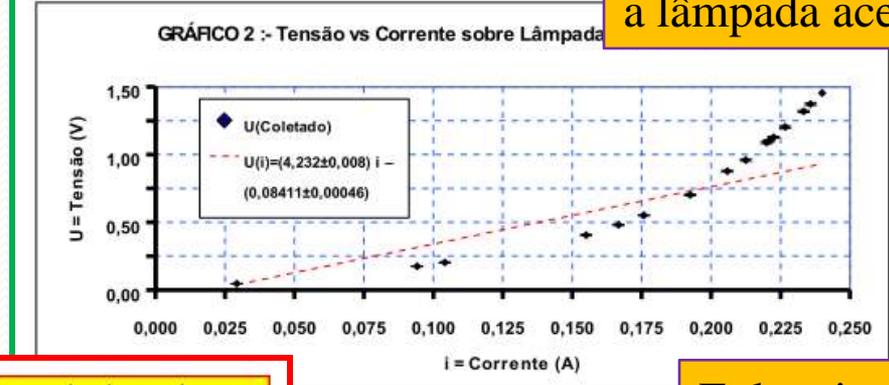
Notou-se pela figura 2 que o comportamento da curva não é linear, e sim hiperbólico, o que caracteriza um resistor não-ôhmico (a resistência varia para valores diferentes de tensão e corrente). porque seria hiperbolico?? tentaram ajustar uma pra ver o que da??

A lâmpada NÃO é ôhmica... Precisa de um ajuste de reta para demonstrar isso?

# Curva Característica: Lâmpada

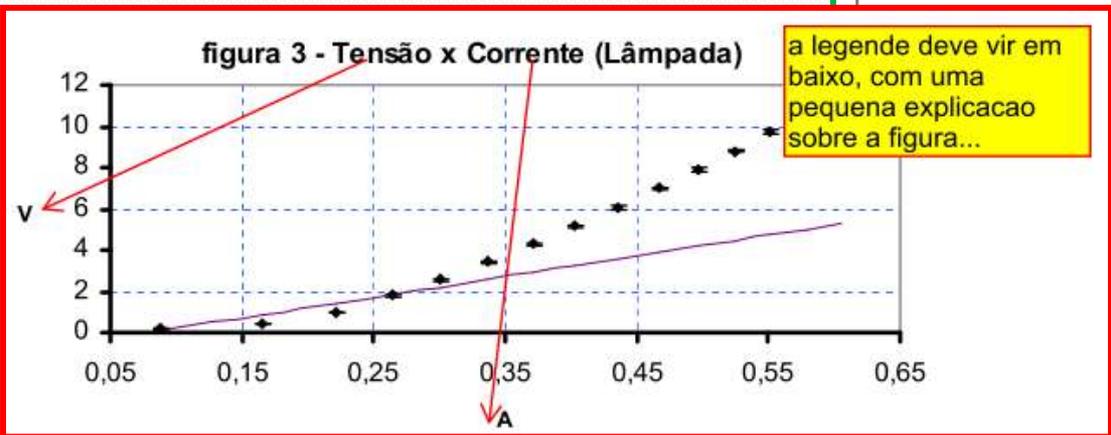


Mediram apenas com a lâmpada acesa...

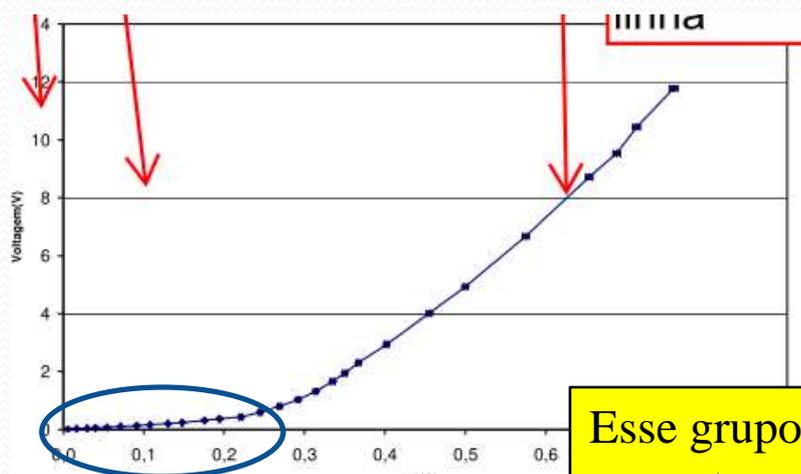
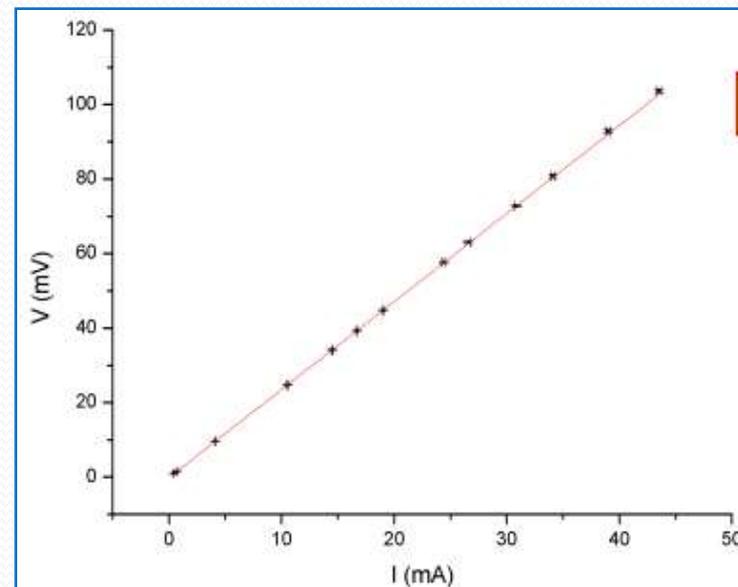
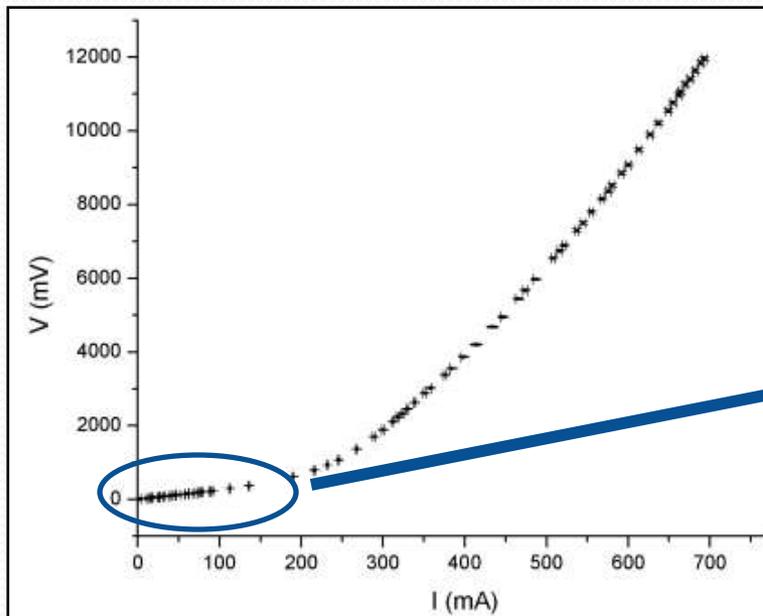


E depois com a lâmpada apagada!

Mesmo assim é não ôhmico!!



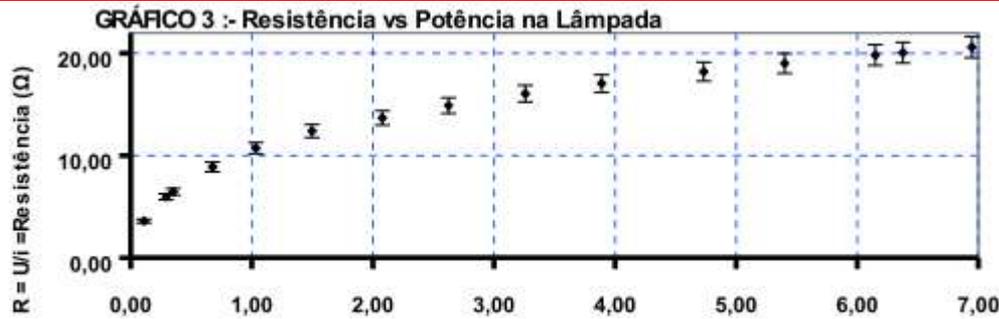
# Regime de baixas correntes



Medindo pontos suficientes para baixa corrente, dava para perceber um comportamento linear enquanto o filamento ainda não esquentou!

Esse grupo mediu, mas não percebeu o que estava acontecendo...

# Resistência da Lâmpada



Porque as incertezas são tão diferentes?

Tentem melhorar a medida de R, vai ajudar muito nesse semana!

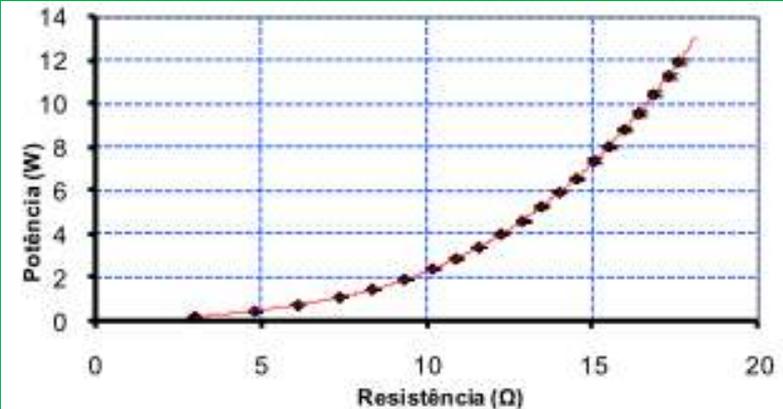
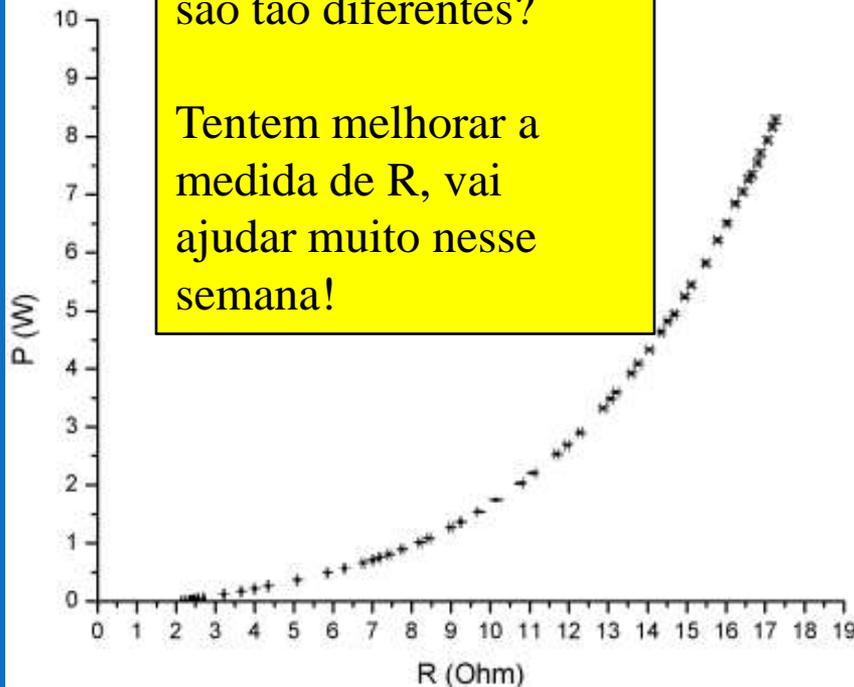


Figura 4 – Curva da potência (W) pela Resistência (Ω), onde a potência é calcula pela fórmula 1, e a resistência pela fórmula 2, utilizando os dados da curva da figura 3.

$$P = UI \quad (1)$$

$$R_x = U_x / I_x \quad (2)$$

Como esperado nominalmente, podemos observar no gráfico da figura 4 que potência e resistência não possuem uma dependência linear.

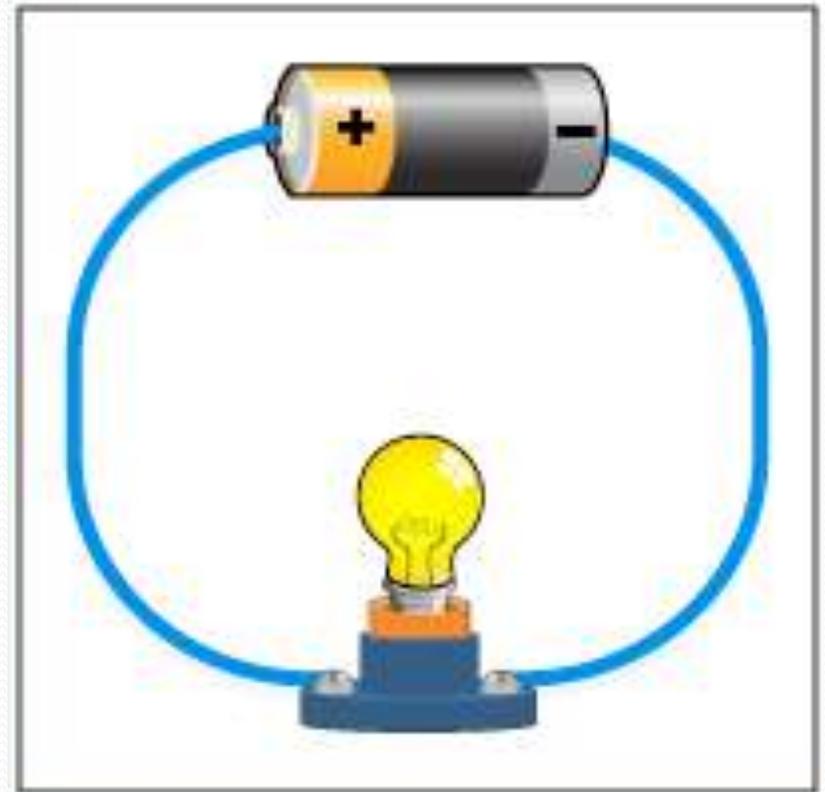
# Atividades da Semana (parte 3)

- Posso medir?
- O que acontece se eu colocar voltímetros e amperímetros nesse circuito? A corrente no circuito será a mesma?
- Como determinar a corrente e tensão na lâmpada?
- No circuito acima temos que

$$V_L = V_P$$

$$i_L = i_P$$

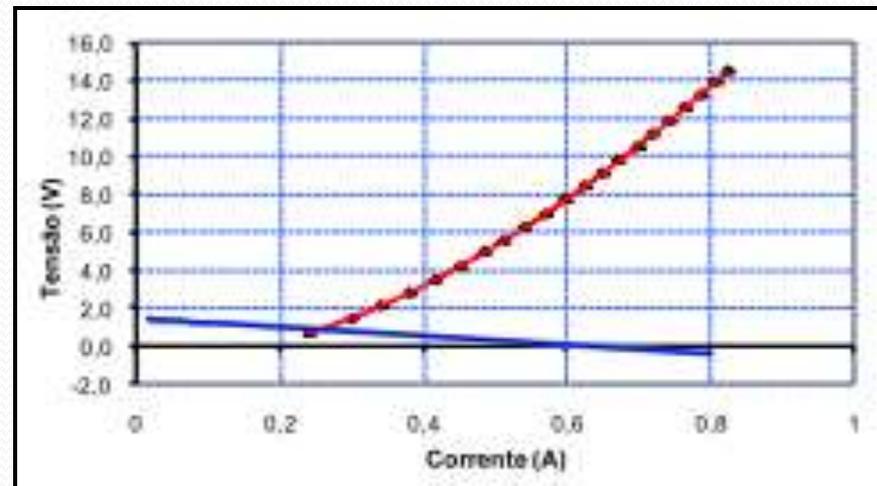
- ... Curvas características



# Circuito Pilha + Lâmpada

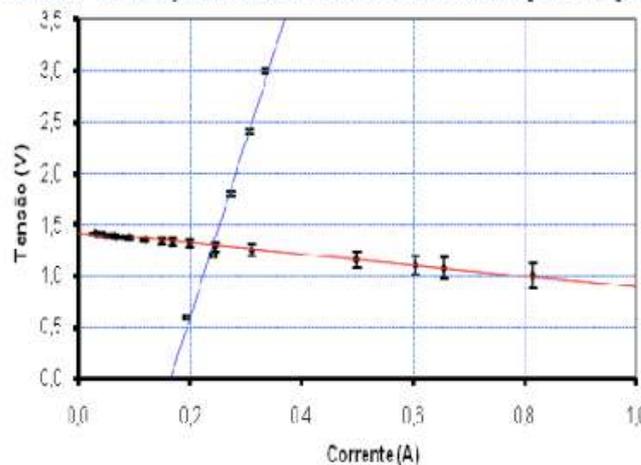
- Só um grupo percebeu que deviam sobrepor as curvas características.
- No ponto onde elas se encontram, tem-se

$$V_L = V_P \text{ e } i_L = i_P.$$



Fazendo esse circuito lâmpada-pilha experimentalmente, medimos uma tensão de 0,800(5) e uma corrente de 0,246(2), o que **corresponde aproximadamente com a intersecção** observada na figura 7.

Gráfico 6 – Intersecção entre as curvas características da lâmpada e da pilha



Grupo do prof. Suaide

# Circuito Pilha + Lâmpada

- Na análise, era preciso:
  - Ajustar a curva da lâmpada com uma função qualquer
  - Ajustar a curva da pilha com  $V = \varepsilon - r i$
  - Encontrar, analiticamente, a interseção das duas curvas, i.e. o ponto  $(V,i)$
- No lab, era preciso:
  - Medir o circuito pilha+lâmpada
  - Se necessário, corrigir a interferência dos instrumentos de medida

# Experiência 1: Lâmpada

Queremos entender como uma lâmpada incandescente funciona. Para isso teremos 4 semanas:

## 1. Circuitos de Corrente Contínua

- Como medir grandezas elétricas?
- Os instrumentos de medida influenciam no resultado de uma medida? Como escolher o instrumento certo?

## 2. Pilha e Lâmpada

- Como varia a tensão de uma pilha ou em uma lâmpada em função da corrente?

## 3. Potência de uma lâmpada

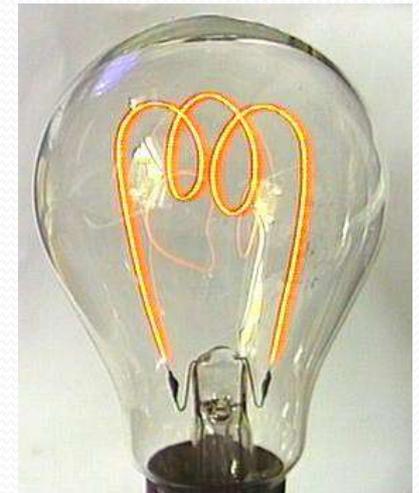
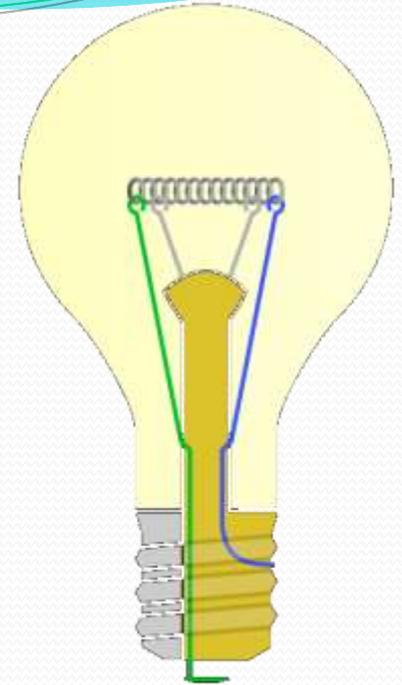
- Como varia a potência da lâmpada em função da temperatura do filamento?

## 4. Radiação emitida por uma lâmpada

- Como varia a radiação emitida pela lâmpada em função do comprimento de onda da luz?

# Lâmpada incandescente

- **Lâmpada:** filamento metálico envolto por um bulbo de vidro selado que contém um gás a baixa pressão.
  - prevenir que oxigênio entre em contato com o filamento o que provocaria sua destruição por oxidação. Apesar disso o filamento sofre um processo de evaporação.
- **Vantagem:** é barata.
- **Desvantagem:** o metal do filamento sofre evaporação e se deposita nas paredes do bulbo, escurecendo-o. Quanto mais alta é a temperatura do filamento mais intensa é a evaporação e mais curta a vida do filamento.



# A resistência da lâmpada



- Vocês mediram no laboratório que a resistência da lâmpada era:  
 **$\sim 25-30\Omega$**
- De acordo com o fabricante a lâmpada funciona com:
  - **$V = 110\text{ V}$  e  $P = 100\text{ W}$**
  - Se usarmos  **$P = V^2/R$**  obtemos:
    - **$R = 121\Omega$ .**
- Porque a discrepância entre a medida realizada e o valor calculado a partir dos dados do fabricante?

Vamos começar a entender o porque da discrepância nesta aula!

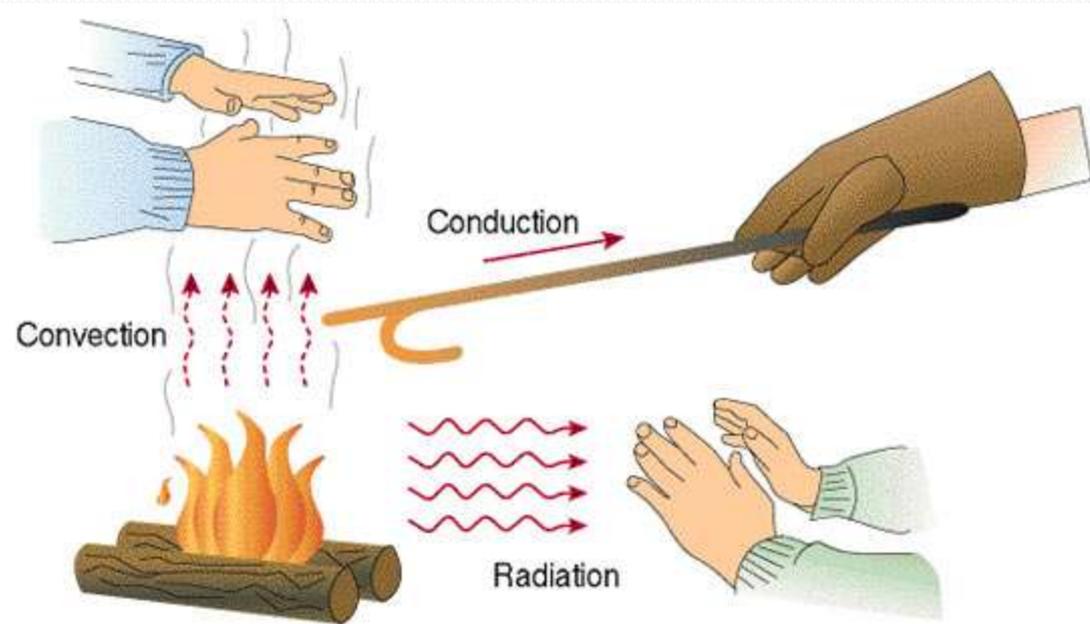
# Problema a ser investigado



- Quando utilizamos uma lâmpada transferimos potência elétrica ( $P = V i$ ) para a lâmpada.
- Como esta potência é utilizada?
  - Existe uma relação entre a potência e o aquecimento da lâmpada?
  - Isso pode alterar as características elétricas da lâmpada, como resistência?
- Como é a luz emitida por uma lâmpada?

# Transferência de Calor (física 2)

- Ao transferir potência para uma lâmpada (ou resistor) esta potência tem que ser dissipada (assumindo que a temperatura do objeto está em equilíbrio).
- Como?
- 3 métodos de troca de calor
  - Condução térmica
  - Convecção
  - Irradiação



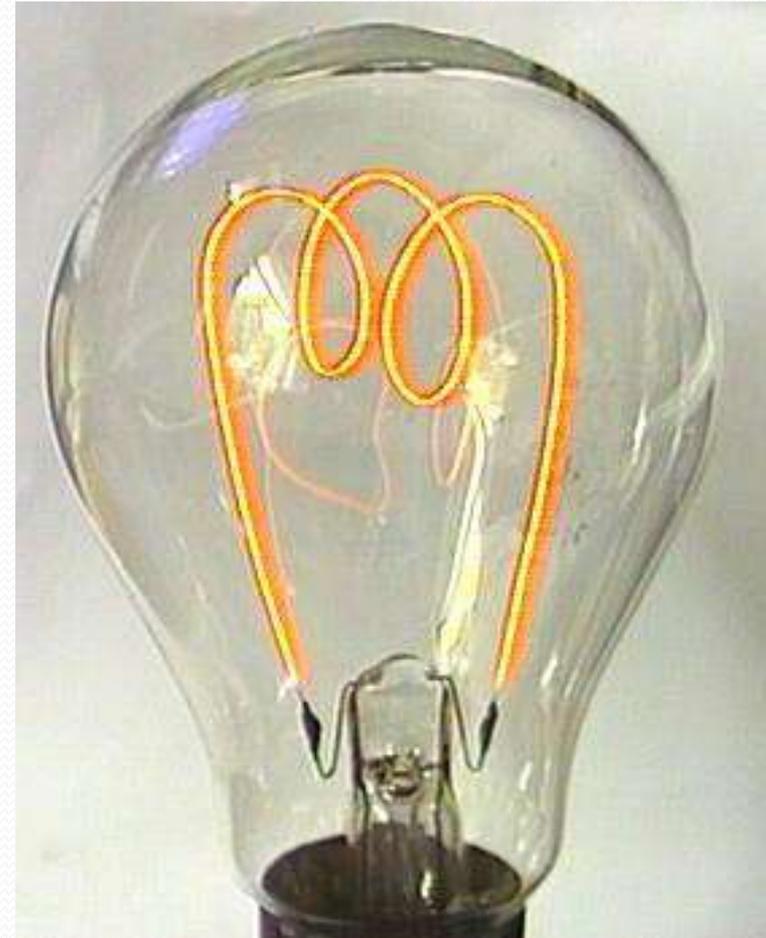
# Transferência de Calor

- Condução térmica (ex. chuveiro elétrico)
  - O calor é trocado por contato direto entre dois corpos
- Convecção (ex. panela de água)
  - Troca de calor através do movimento do fluido aquecido
- Irradiação (ex. sol)
  - Emissão de radiação eletromagnética
  - Qualquer corpo aquecido emite e absorve radiação



# Troca de calor em uma Lâmpada

- Filamento aquecido + gás
  - Irradiação do filamento aquecido
  - Condução pelo filamento/suporte
  - Convecção no gás
- Como investigar estas hipóteses?
  - Medindo potência em função da temperatura da lâmpada
  - O que nós esperamos desta curva?
- O que é esperado para condução, convecção e irradiação?



# Condução

- Lei de Fourier para condução de calor
  - Transferência de energia entre moléculas de um corpo devido à diferença de temperatura
  - Fluxo de calor é proporcional à diferença de temperatura

$$\vec{q} = -k\nabla T \xrightarrow{1D} q = -k_x \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$\vec{q}$  = fluxo de calor [W/m<sup>2</sup>]

k = condutividade do material

# Convecção

- Convecção ocorre com movimento de matéria. Depende de vários fatores
  - Forma do volume
  - Direção de convecção (vertical/horizontal)
  - Gás ou líquido
  - Propriedades do fluido: densidade, viscosidade, condutividade térmica, calor específico, etc.
  - Velocidade de convecção: laminar ou turbulento
  - Se há evaporação, condensação, etc.

$$P_{convecção} \propto \Delta T^{\alpha}$$

# Convecção

- A potência perdida por convecção é mais significativa para temperaturas mais baixas. Nessas temperaturas, a lâmpada também emite no infravermelho, mas a convecção predomina.

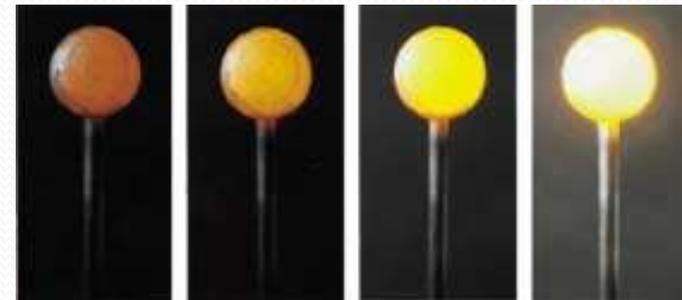
- Foi medido empiricamente e se verifica que:

$$P_C \propto (T - T_0)^n$$

- Onde  $T$  é a temperatura do filamento,  $T_0$  é a temperatura ambiente e o coeficiente  $n$  é da ordem de 1,38.
  - B. S. N. Prasad and Rita Mascarenhas, Am. J. Phys. 46, 420 (1978).
- Para temperaturas mais altas, a emissão por radiação deve predominar

# Radiação

- O objeto aquecido a uma temperatura relativamente baixa: irradia calor (IV) que não é visível para nós
- Aumentando a temperatura a quantidade de radiação emitida aumenta rapidamente e se nota que a cor da luz emitida também muda
- Na verdade um objeto aquecido emite e absorve radiação térmica de todas as frequências, mas com o aumento da temperatura mais radiação é emitida e a frequência da radiação mais intensa aumenta



→  
T(K)

# Radiação

- Em 1879 J. Stefan verificou empiricamente que a potência emitida na forma de radiação por um objeto era proporcional à quarta potência de sua temperatura:

$$P_{\text{rad}} \propto T^4$$

- $P_{\text{rad}}$  é a energia emitida por unidade de tempo, por unidade de área de um corpo a uma temperatura  $T$ .
- Em 1884 Boltzmann demonstrou essa lei teoricamente para o caso de um corpo negro.
  - Constante de Stefan-Boltzmann:  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

# Balanço de Energia

- Um corpo a temperatura  $T$  em um meio a temperatura  $T_0$ .
  - Emite radiação para o meio mas também absorve radiação do próprio meio!
- Emissão de radiação (Lei de S.B.)

$$P_{emitida}^{Total} = \epsilon \sigma T^4$$

- $\epsilon$  é a emissividade total do corpo e depende de forma, material, etc.  $\epsilon = 1$  significa um corpo negro ideal.  $S$  é a área do corpo.
- Absorção de radiação do meio (Lei de S.B.)

$$P_{absorvida}^{Total} = \mu \sigma T_0^4$$

- $\mu$  é a absorptância total do corpo e depende de forma, material, etc.  $\mu = 1$  significa um corpo negro ideal.

# Balanço de Energia

- Levando em consideração os três métodos de troca de calor

$$P_{\text{total}} = P_{\text{condução}} + P_{\text{convecção}} + P_{\text{irradiação}}$$

- Podemos usar (?) argumentos físicos e SUPOR que a condução seja baixa, ou seja:

$$P_{\text{total}} \approx P_{\text{convecção}} + P_{\text{irradiação}}$$

- Assim, temos que:

$$P_{\text{total}} = A \cdot \Delta T^{\alpha} + B \cdot T^4 - C \cdot T_0^4$$

- Ou seja, para estudar os mecanismos de troca de calor de uma lâmpada precisamos estudar a dependência da potência com a temperatura do filamento

# O que é preciso fazer?

- Precisamos medir P. Como?

- Utilizamos o nosso conhecimento de circuitos elétricos

$$P = V i$$

- Precisamos medir T. Como?

- Termômetro?

- A temperatura do filamento é a mesma do invólucro da lâmpada?

- Que outras alternativas nós temos?

- A resistência não depende da temperatura (ou vice-versa)?

Será que há alguém já fez essa medida?

- W. E. Forsythe and A. G. Worthing, *Astrophys. J.* 61, 146 (1925).

- H. A. Jones, *Phys. Rev.* 28, 202 (1926).

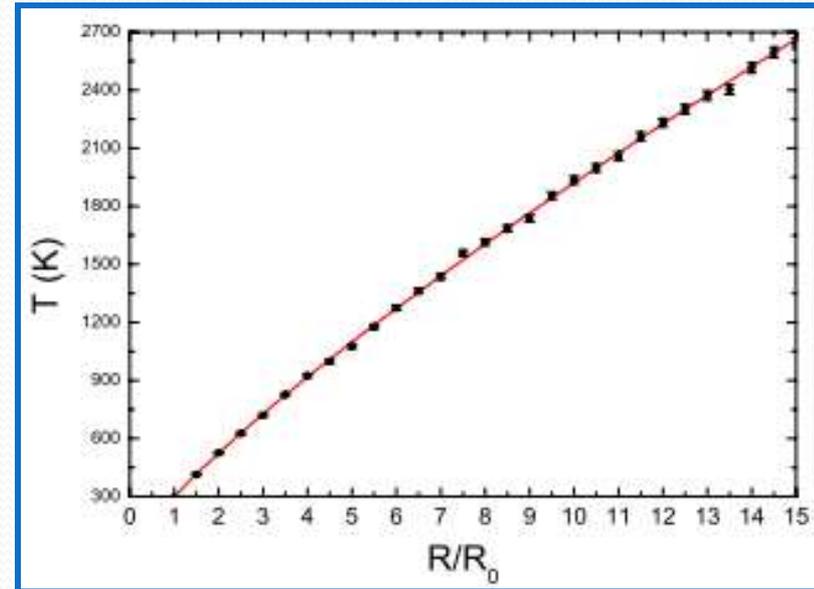
- W. E. Forsythe and E. M. Watson, *J. Opt. Soc. Am.* 24, 114 (1934).

# Tungstênio: Resistência x Temperatura

- Fórmula empírica, obtida a partir de dados experimentais

$$\frac{R}{R_0} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1.24}$$

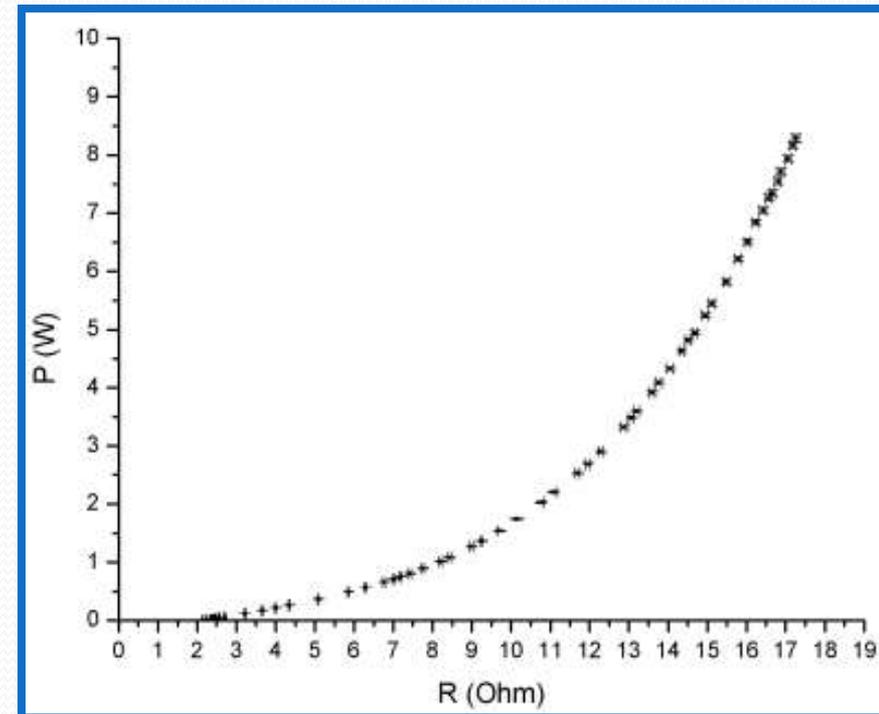
- $R$  = resistência do filamento na temperatura  $T$
- $R_0$  = resistência do filamento na temperatura  $T_0$
- $T_0$  = temperatura ambiente



Ver link “outros documentos”  
no site do LabFlex para  
referências experimentais

# Medida da Temperatura

- Conhecendo-se a resistência do filamento e a sua resistência à temperatura ambiente pode-se determinar a temperatura naquela condição.
- É necessário medir o valor de R para cada condição de potência fornecida. Como?
  - Através da curva característica obtida para a lâmpada.
  - O valor de R é obtido de  $R = V / i$



# Como medir $R_0$

- Ohmímetro
  - A potência do ohmímetro é realmente baixa para assegurar que a lâmpada não esquentou?
- Extrapolação da curva para correntes muito pequenas
  - Da curva característica posso obter  $R \times i$  e extrapolar para  $i = 0$ .
  - Qual a precisão desse procedimento?
- Realizar medidas em correntes realmente baixas
  - Como limitar a corrente?
    - Utilizando um resistor elevado entre 5 e 10 k $\Omega$ .
  - Qual a precisão desse método já que  $V_{\text{lâmpada}} \ll V_R$ ?

# Objetivos da Semana

- Estudar quais os mecanismos de consumo de energia pela lâmpada.
  - Quais são os mecanismos principais de transferência de calor?
  - Apenas Convecção e irradiação?
  - Iniciar o estudo da irradiação térmica de uma lâmpada.
    - A Lei de S.B. se aplica à lâmpada?
    - Quando de irradiação se torna importante como mecanismo de transferência de energia?

# Atividades da Semana (parte 1)

- Medir o valor de  $R_0$  da lâmpada usando os três métodos discutidos
  - Compare os resultados e discuta qual é o resultado mais adequado a ser utilizado
  - Cuidado com lâmpada quente – Isso aumenta o  $R_0$ .
- Obter o gráfico mais adequado de potência em função da temperatura da lâmpada
  - Há convecção? Há irradiação? Discuta o gráfico obtido.

# Atividades da Semana (parte 2)

- Havendo convecção, estabeleça um procedimento para subtrair a potência correspondente do gráfico. Discuta esse procedimento.
  - Dica: O mecanismo de convecção depende de  $\Delta T$  enquanto irradiação depende de  $T$ .
  - Dica: Veja “outros documentos” no site para um artigo de um experimento parecido a esse.
- Obtenha o gráfico de  $P_{\text{irradiação}}$  em função da temperatura do filamento.
  - Faça o ajuste necessário e discuta se essa potência é compatível com a lei de S.B.