

Lâmpada

Parte 3 – Potência irradiada

Aula 8

Prof. Henrique Barbosa

Edifício Basílio Jafet - Sala 100

Tel. 3091-6647

hbarbosa@if.usp.br

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

Experiência 2: 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?

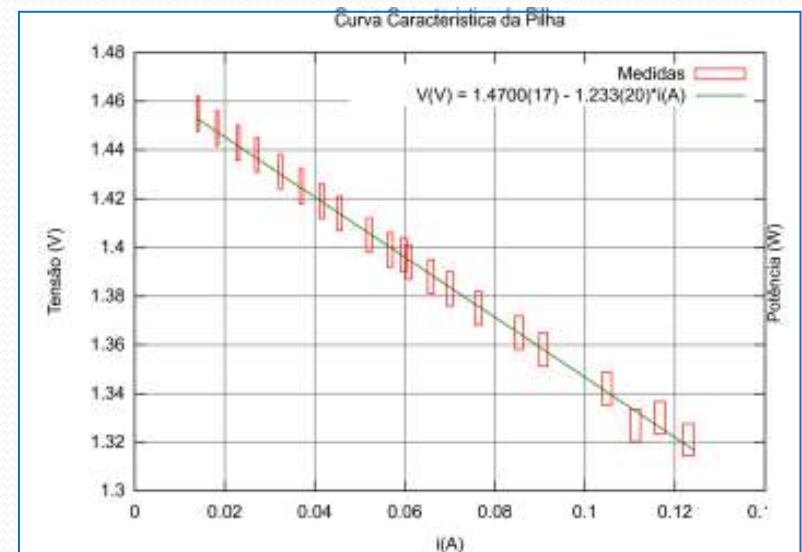
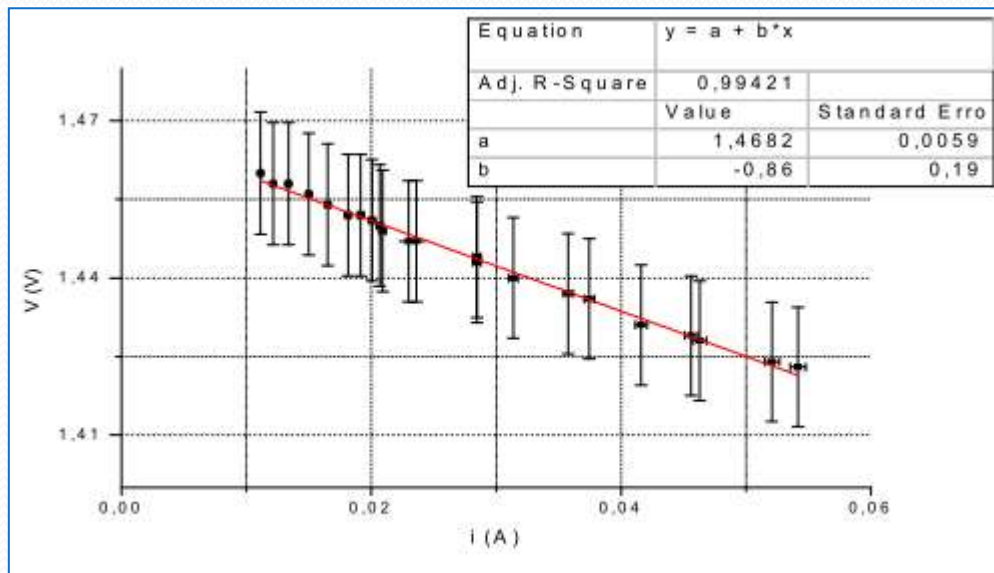
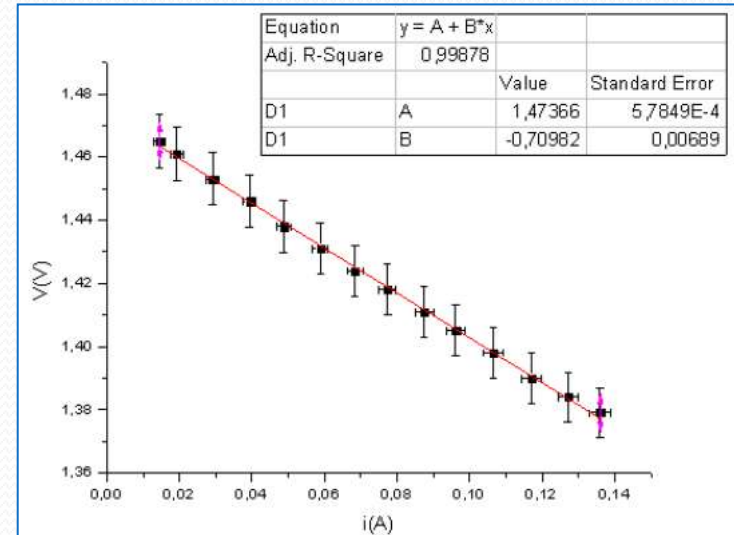
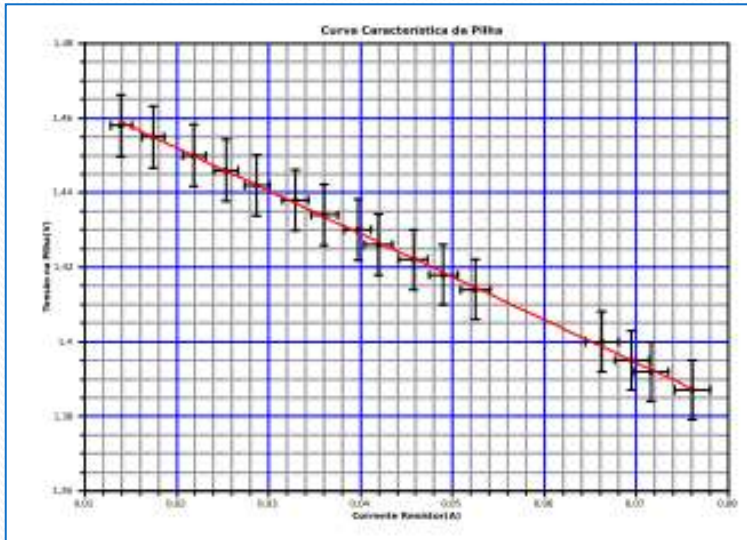
4. Radiação emitida por uma lâmpada

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

1 Para esta semana: pilha

- Medir a curva característica da pilha desde correntes baixas até correntes da ordem de **200mA**.
 - se usar um resistor de $10\ \Omega$ e se a pilha fosse ideal, em quanto estaria limitada a corrente?
- Estabelecer um modelo para pilha e verificar se os dados podem ser descritos por este modelo. Obter os parâmetros relevantes.
 - Dica: ver no site do Laboratório Aberto as apostilas dos anos anteriores
- Fazer a curva de potência fornecida pela pilha como função da corrente fornecida. Quando a potência fornecida é máxima? Isto corresponde à situação de maior corrente?

Curva Característica da Pilha



$$V = \varepsilon - Ri$$

	Aberto	ε	R
H1	1.50 (11)	1.48 (1)	? (?)
H2	? (?)	1.47 (?)	0.71 (?)
H3	? (?)	1.4682 (59)	0.86 (19)
H4	1.455(7) – 1.319 (6)	1.470 (17)	1.233 (20)
H5	? (?)	1.4600 (7)	? (?)
H6	? (?)	1.48887 (362)	0.75803 (8857)
H7	1.487 (8)	1.477 (5)	1.053 (67)
H8	? (?)	1.470 (2)	2.458 (45)
H9	? (?)	1.544 (3)	1.55 (7)
H10	? (?)	1.4624 (8)	0.4145 (118)
H12	? (?)	? (?)	? (?)
H14	? (?)	? (?)	? (?)

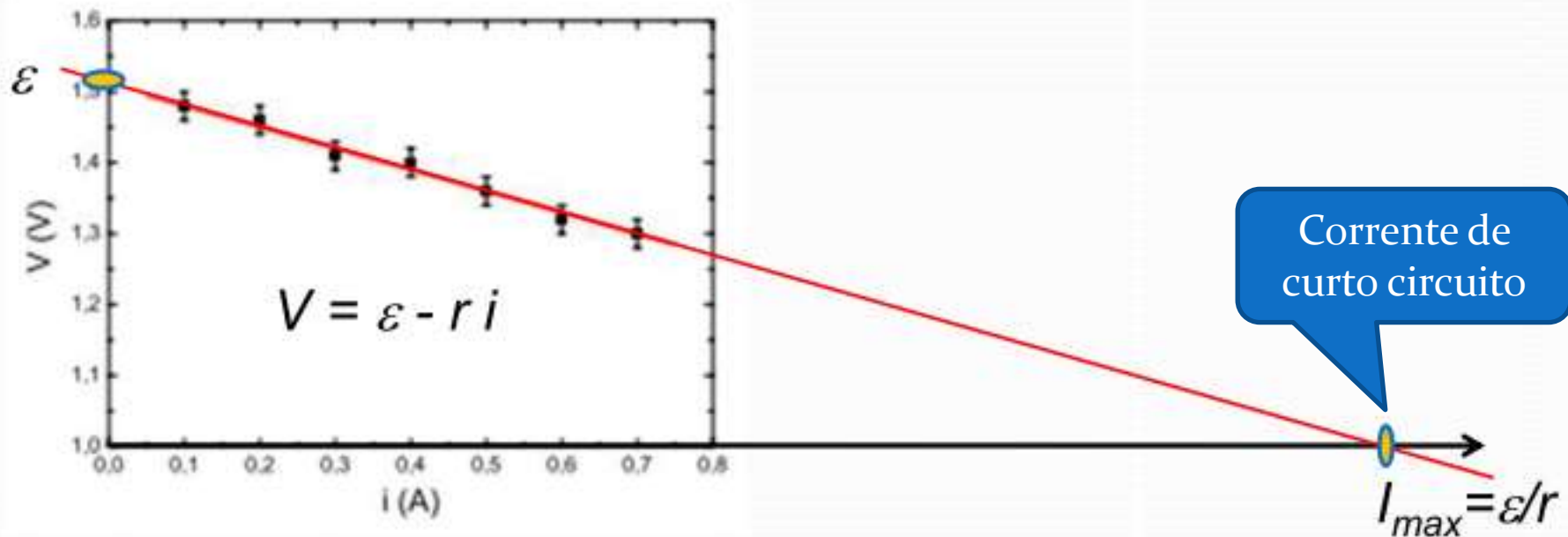
Quando a bateria envelhece, **R** aumenta e **ε** fica aproximadamente constante

$$\varepsilon = 1.48(2)$$

$$R = 1.1(6)$$

Consistência da análise

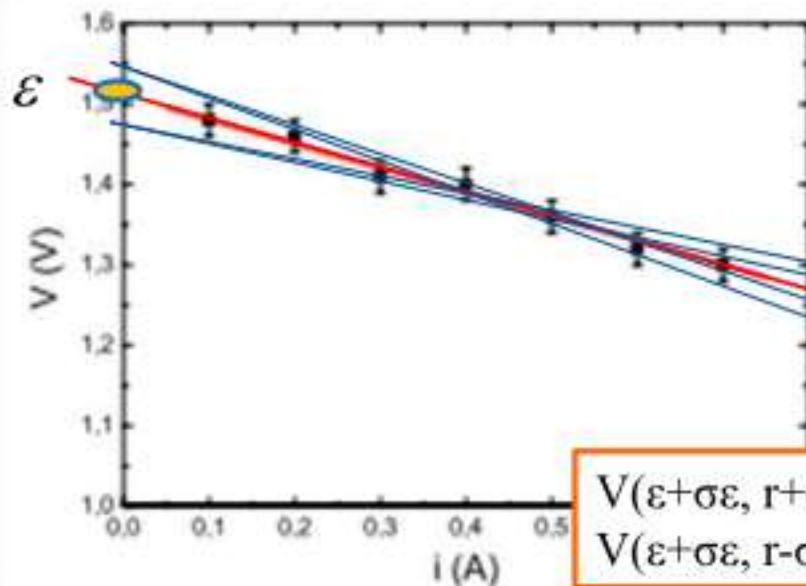
- Medimos V e i
 - De maneira independente, com erros não correlacionados
- Há uma dependência linear.
 - Podemos usar MMQ para determinar os parâmetros ε, r
 - $\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$ e $r \pm \Delta r$



Consistência da análise

- $\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$ e $r \pm \Delta r$
- Mas qual o erro em I_{\max} ?
 - Podemos propagar os erros?
 - **NÃO! Pois ε e r não são independentes!!**

$$V = \varepsilon - r i$$



$V(\varepsilon + \sigma_\varepsilon, r + \sigma_r)$; $V(\varepsilon - \sigma_\varepsilon, r - \sigma_r)$;
 $V(\varepsilon + \sigma_\varepsilon, r - \sigma_r)$ e $V(\varepsilon - \sigma_\varepsilon, r + \sigma_r)$

```

After 5 iterations the fit converged.
final sum of squares of residuals : 1.24456e-008
rel. change during last iteration : -5.58296e-015

degrees of freedom (FIT_NDF)      : 28
rms of residuals (FIT_STDFIT)    : 2.10828e-005
reduced chisquare) = WSSR/ndf    : 4.44485e-010

Final set of parameters  Asymptotic Standard Error
=====
a          = -0.000277589  +/- 3.313e-006  (1.194%)
b          =  0.00340543   +/- 1.072e-005  (0.3148%)

correlation matrix of the fit parameters:
      a      b
a      1.000
b     -0.933  1.000
    
```

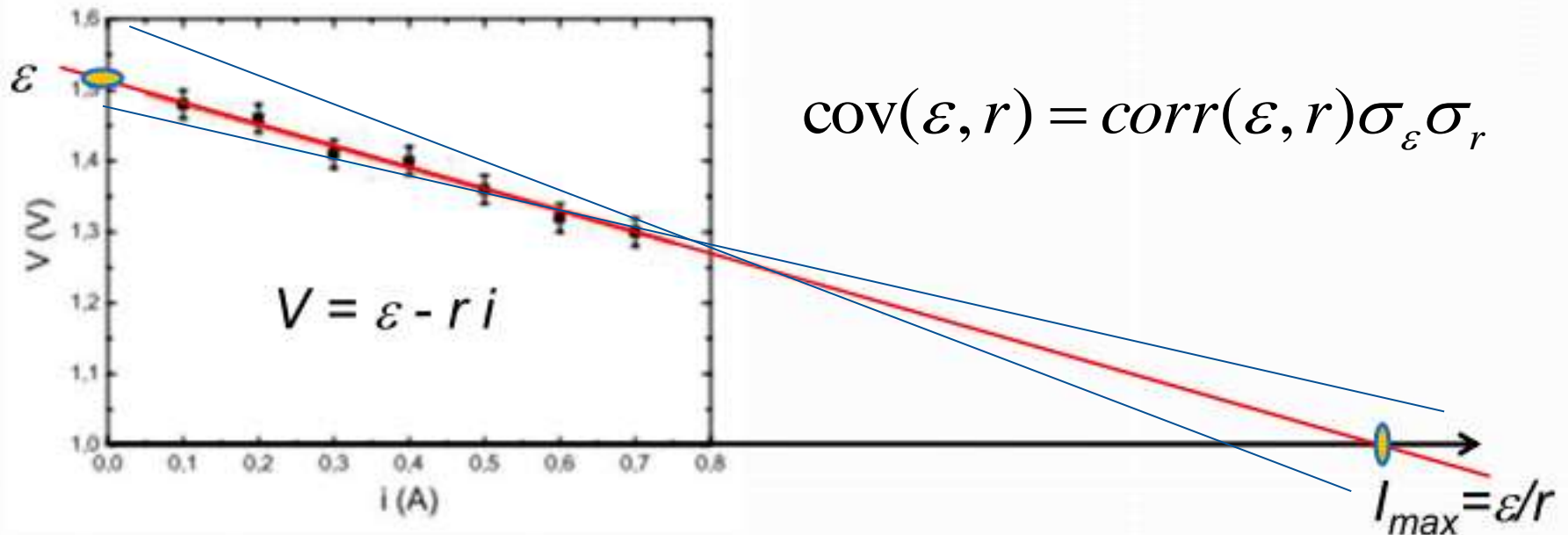
Podemos calcular: $I_{\max} = \varepsilon / r \dots$ Não podemos calcular ΔI_{\max} pela propagação!

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

Consistência da análise

- Neste caso, precisaríamos levar em conta esta covariância: $i_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}$

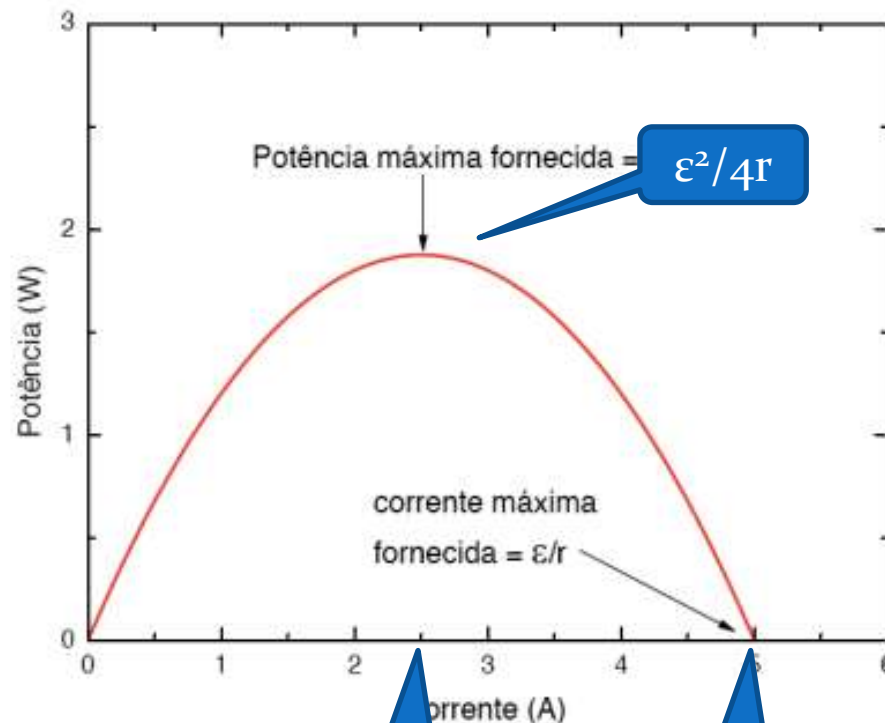
$$\left(\frac{\sigma_{i_{\max}}}{i_{\max}} \right)^2 = \left(\frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{r} \right)^2 - 2 \frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon} \frac{\sigma_r}{r} \text{corr}(\varepsilon, r)$$



Potência fornecida por uma pilha

- Podemos escrever que

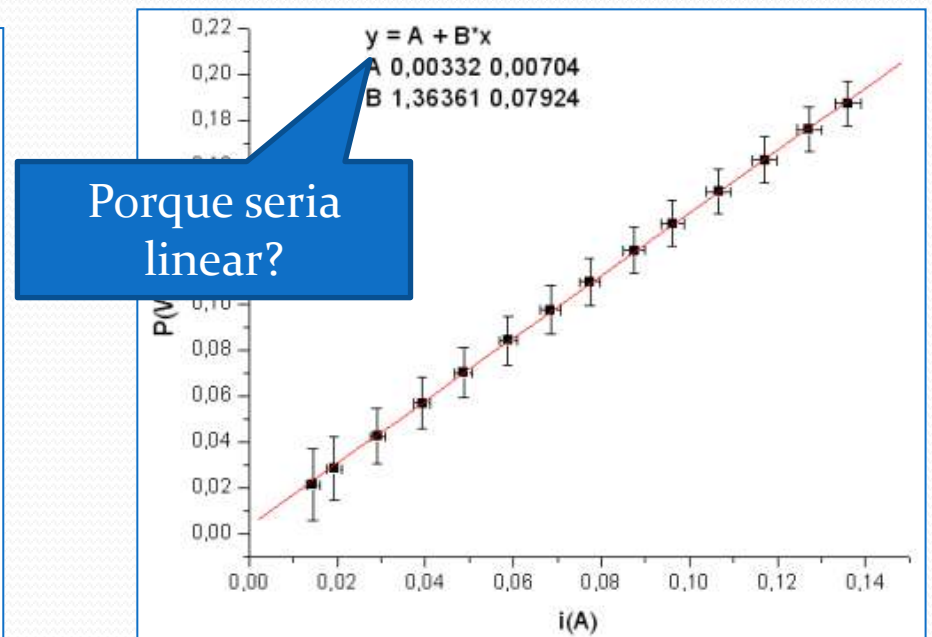
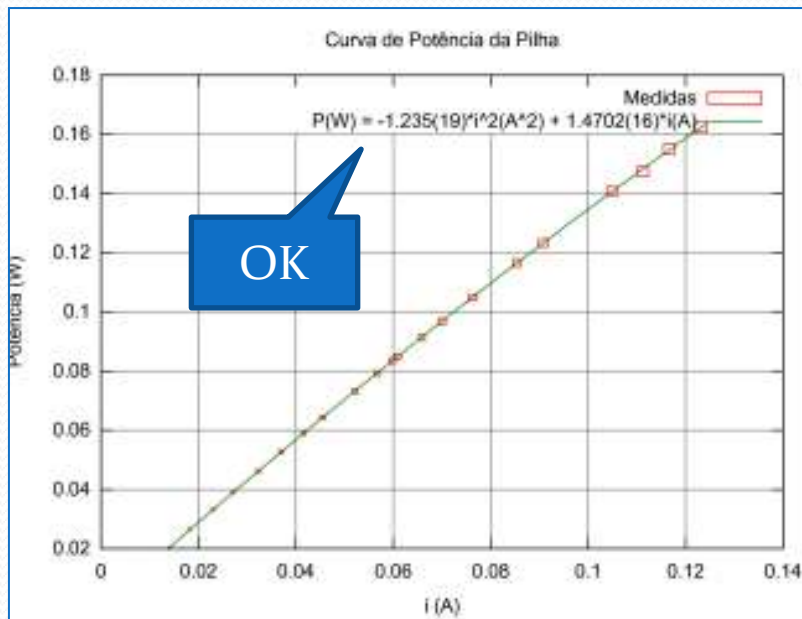
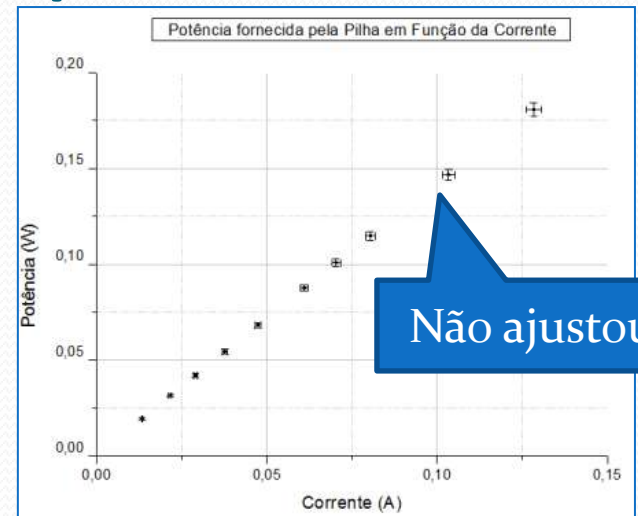
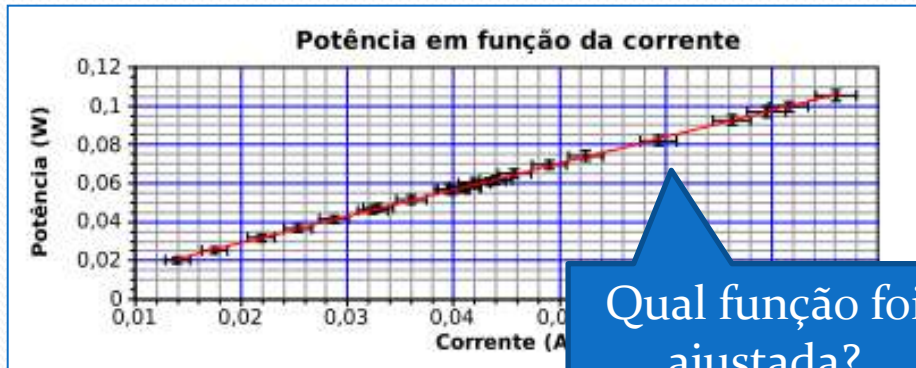
$$P = Vi = (\varepsilon - ri) \cdot i = \varepsilon i - ri^2$$



$$\varepsilon/2r$$

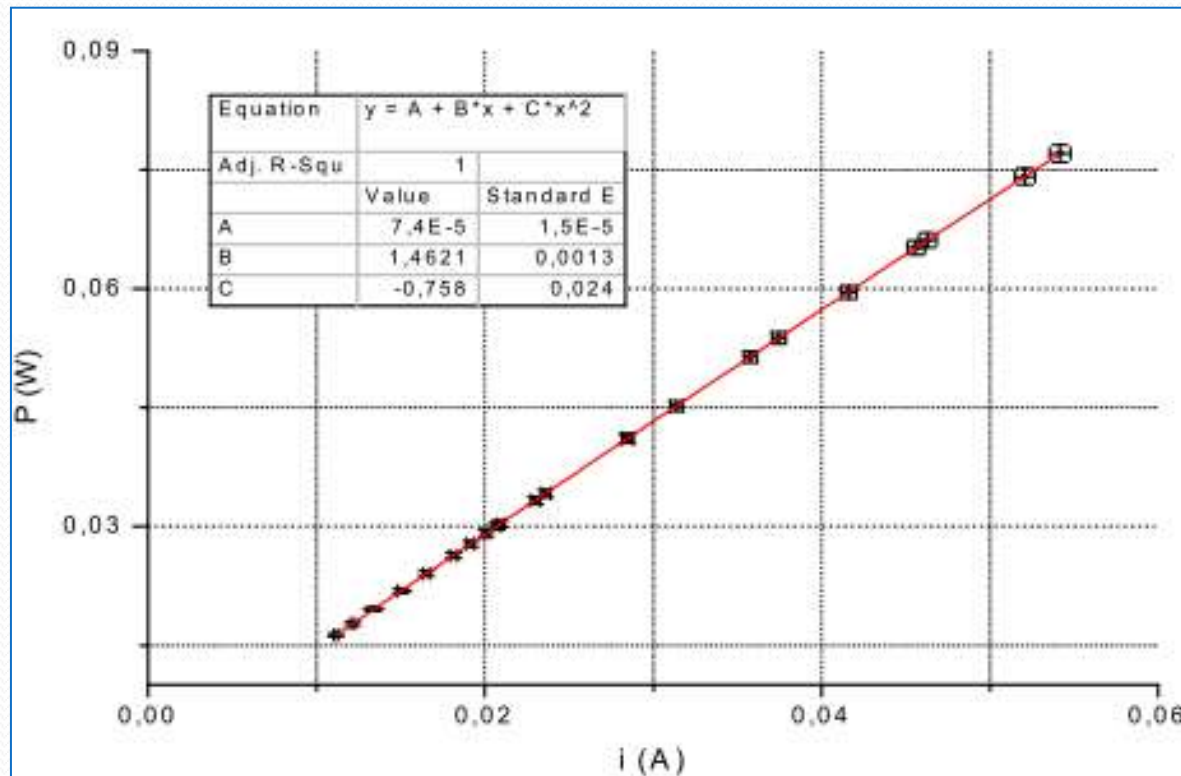
$$\varepsilon/r$$

Potência entregue pela pilha



Potência entregue pela pilha

Inicialmente, tentou-se ajustar uma reta para o gráfico da potência. Observando certa tendência nos resíduos, percebeu-se que um ajuste linear não era adequado. Utilizou-se então uma parábola. Pelos gráficos 2 e 3 fica evidente que a potência fornecida pela pilha tem um formato parabólico com concavidade para baixo, indicando uma potência máxima, no qual a partir dali se a corrente aumentar a potência irá diminuir. Para achar tal valor de corrente é preciso derivar a função do ajuste e igualar a zero. Feito isso, acha-se que



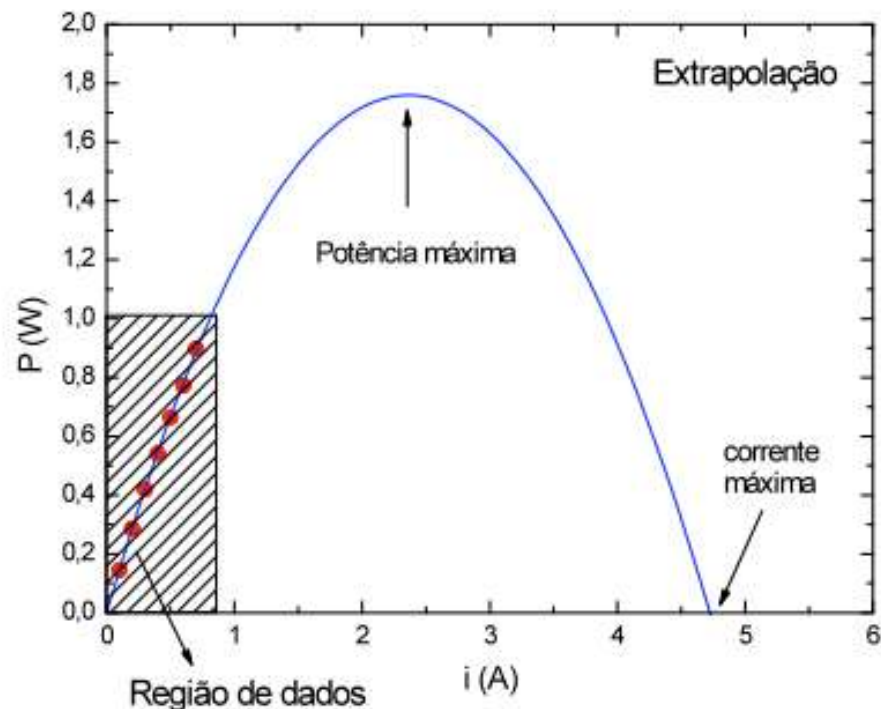
$$i = -\frac{B}{2C} = 1,881(60) A$$

$$V = \varepsilon + ri,$$

$$P(i) = \varepsilon i + ri^2.$$

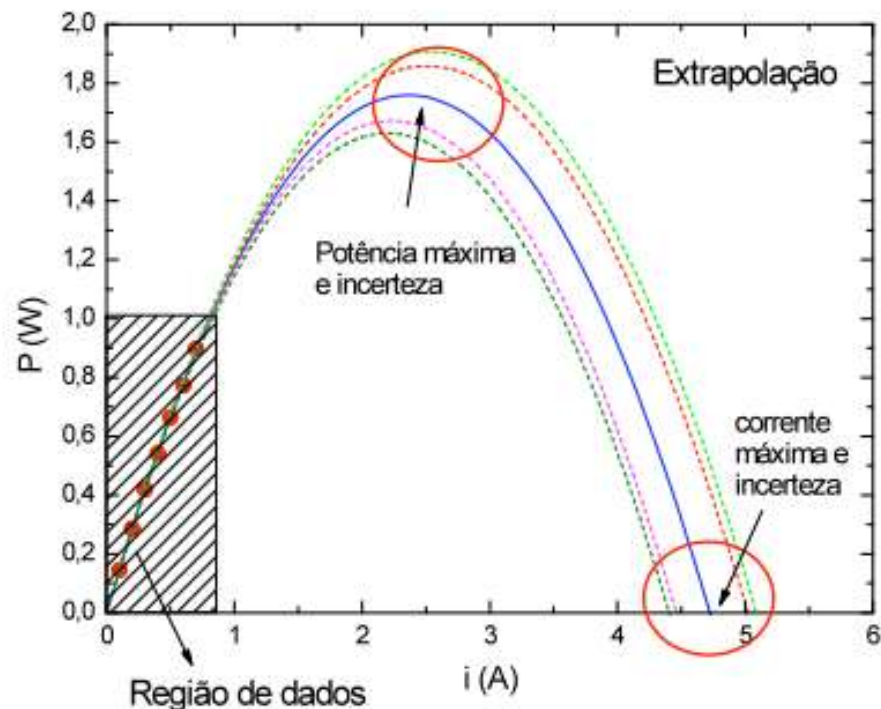
Extrapolação de curvas

- Muitas vezes o experimento impõe limitações quanto ao alcance dos dados. Temos que fazer extrapolações.



Extrapolação de curvas

- Como obter a incerteza na potência máxima 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 $P(\varepsilon-\sigma_\varepsilon, r+\sigma_r)$



Boa análise

A partir da equação 2 podemos determinar a potência fornecida pela pilha, em que:

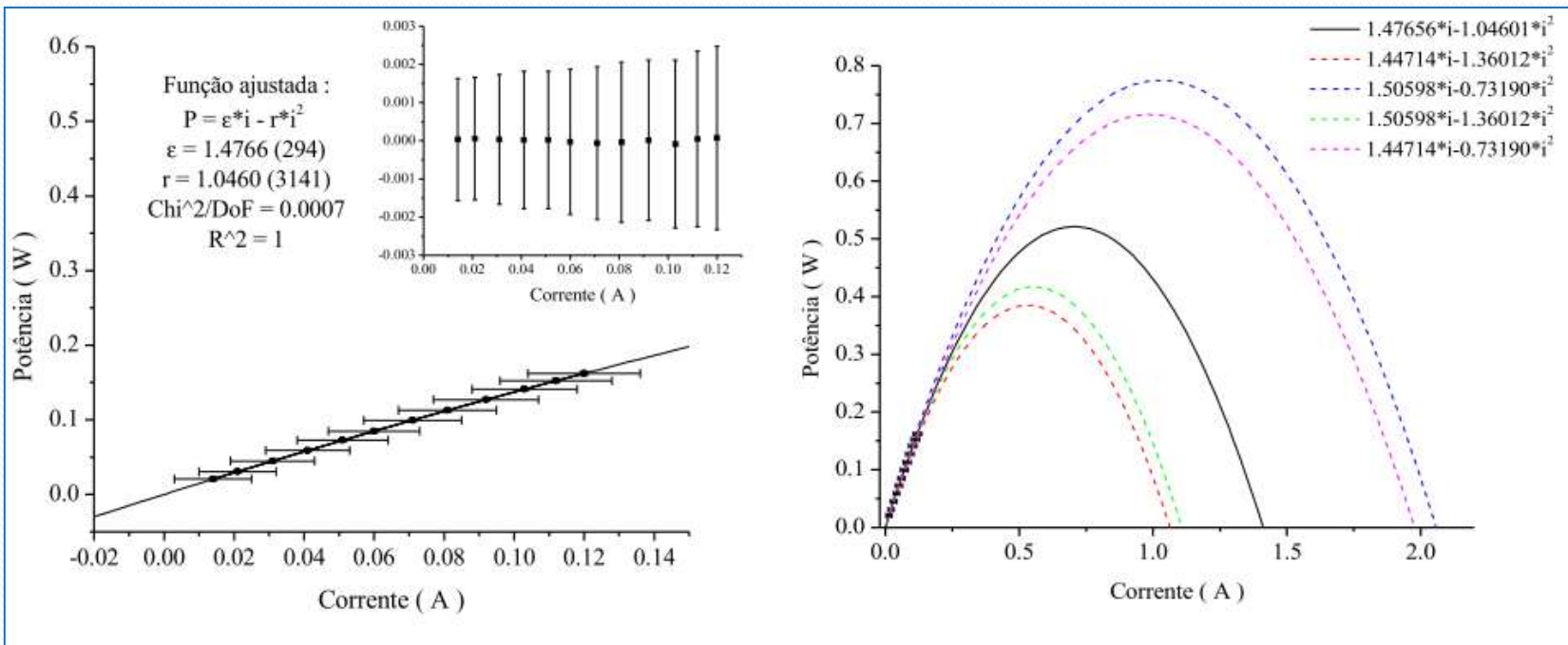
$$P(i) = Vi = (\varepsilon - ri)i = \varepsilon i - ri^2 \quad (3)$$

A potência máxima fornecida é:

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

E por fim, chega-se que a corrente máxima possível de ser fornecida pela pilha é:

$$I_{MAX} = \varepsilon / r \quad (5)$$



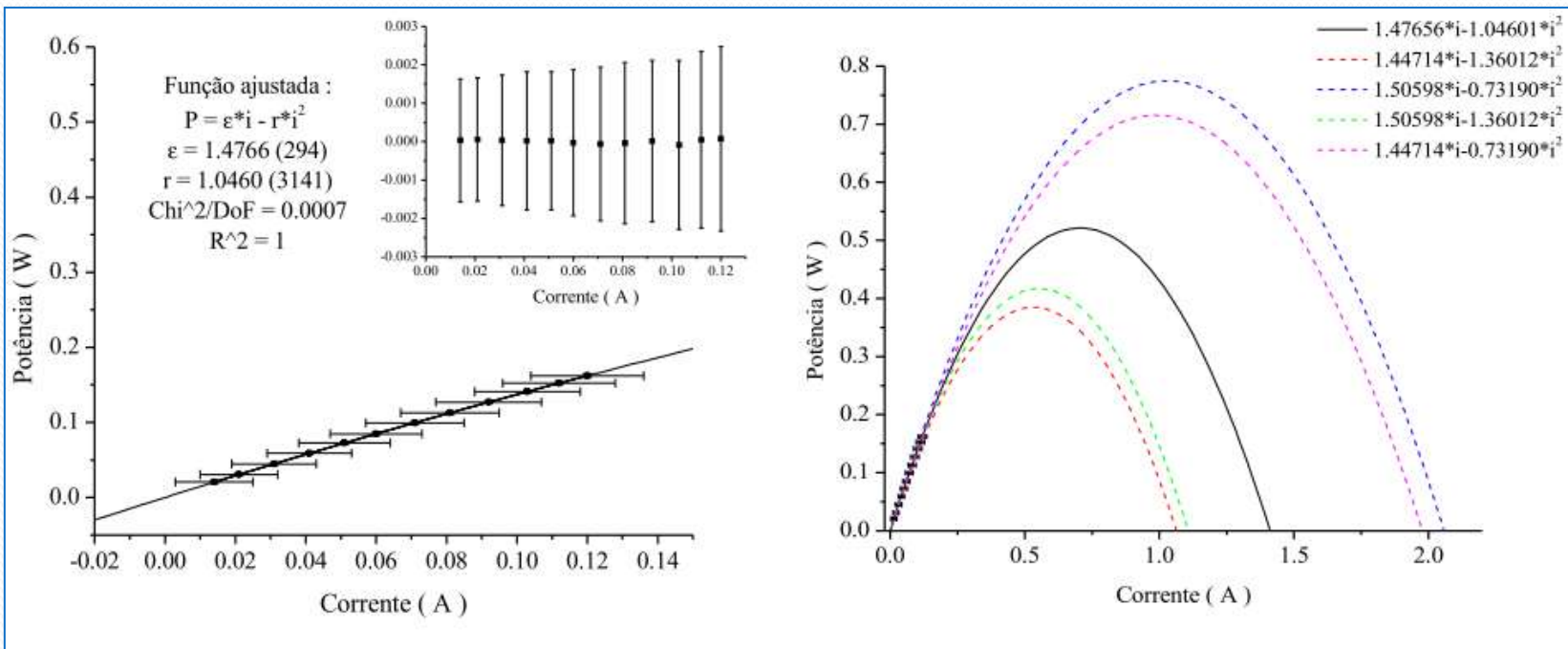
Boa análise

Da figura 1.2 obtemos a potência máxima e a corrente máxima, respectivamente, 0.521 (251) W e 1.412 (646) A. As incertezas não são simétricas pelo gráfico de extrapolação e dependem do alcance dos pontos.

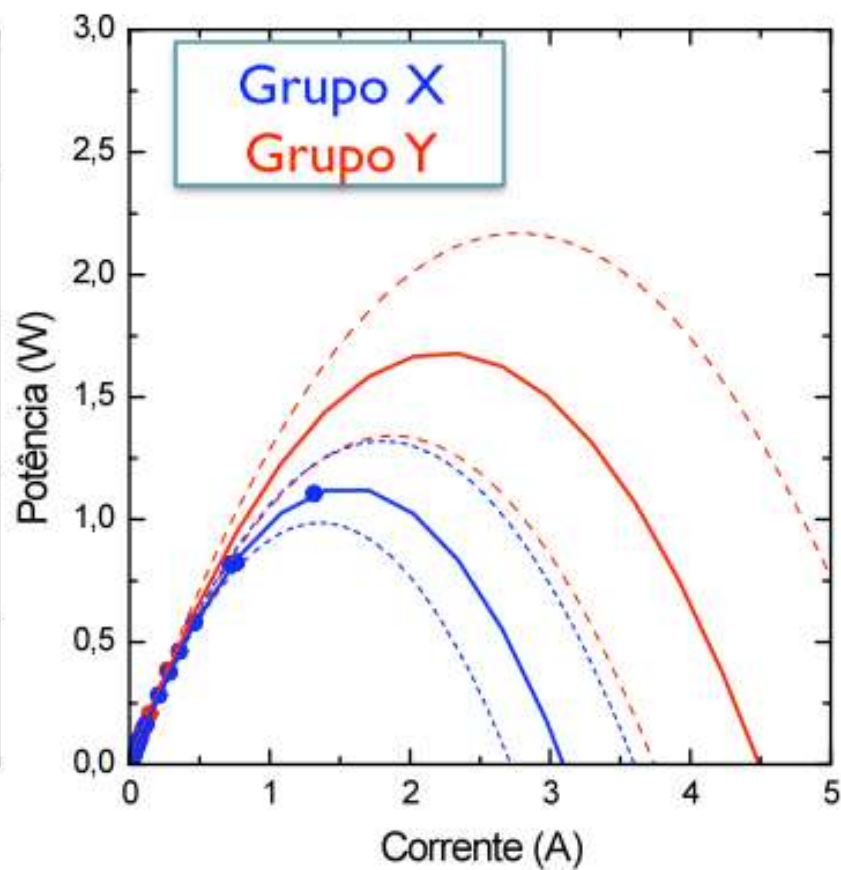
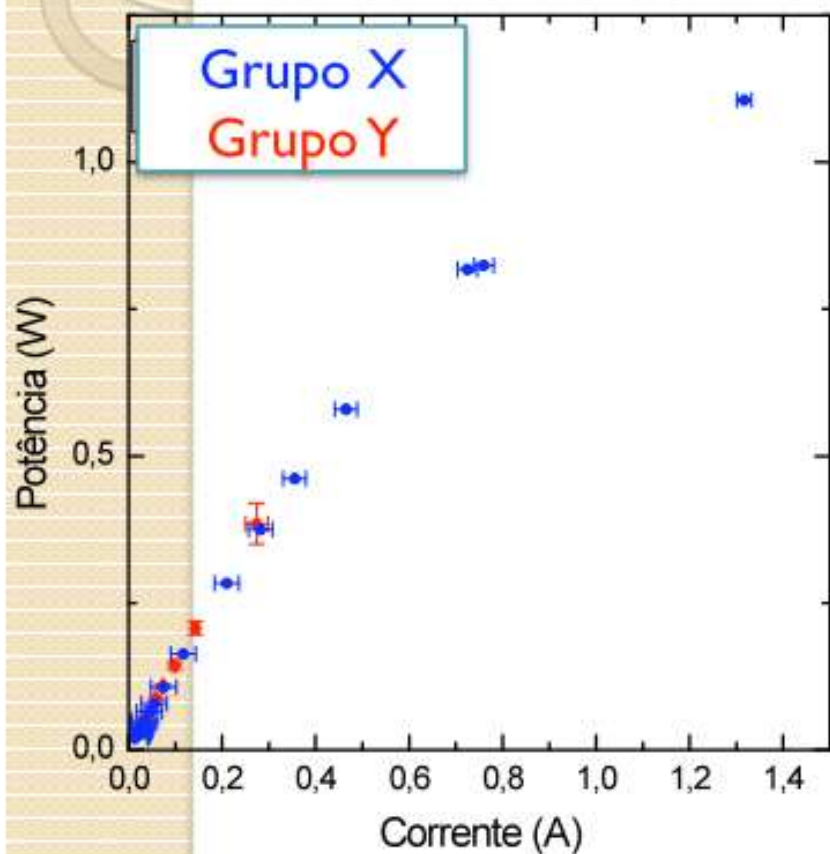
TABELA 1

	Ajuste tensão	Ajuste potência	Compatibilidade
Resistência	1.053 (67) Ω	1.0460 (3141) Ω	0.02
ε	1.477 (5) V	1.4766 (294) V	0.01

Tabela 1. Teste de compatibilidade entre os ajustes para tensão e potência.



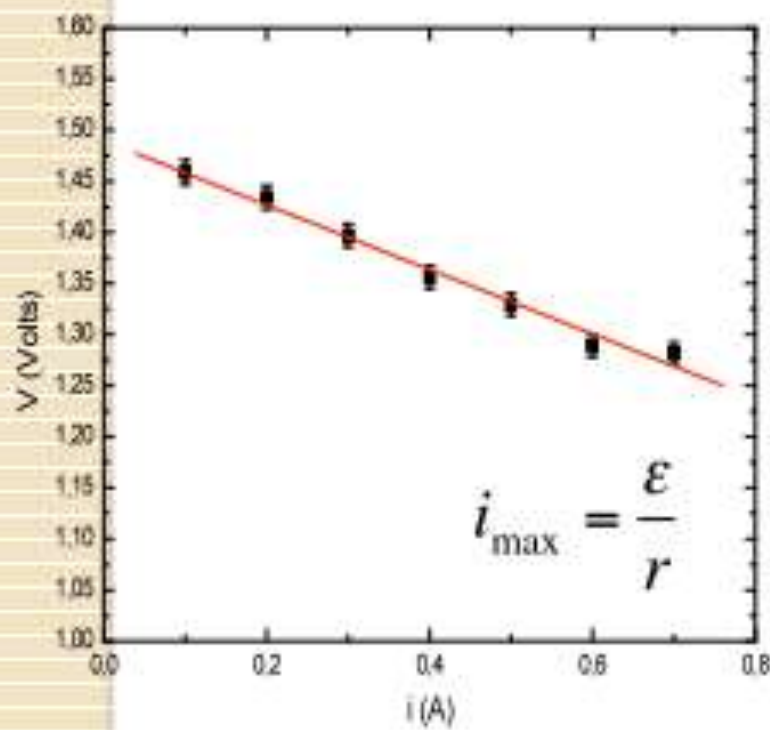
Comparação dos resultados. Incertezas em extrapolações



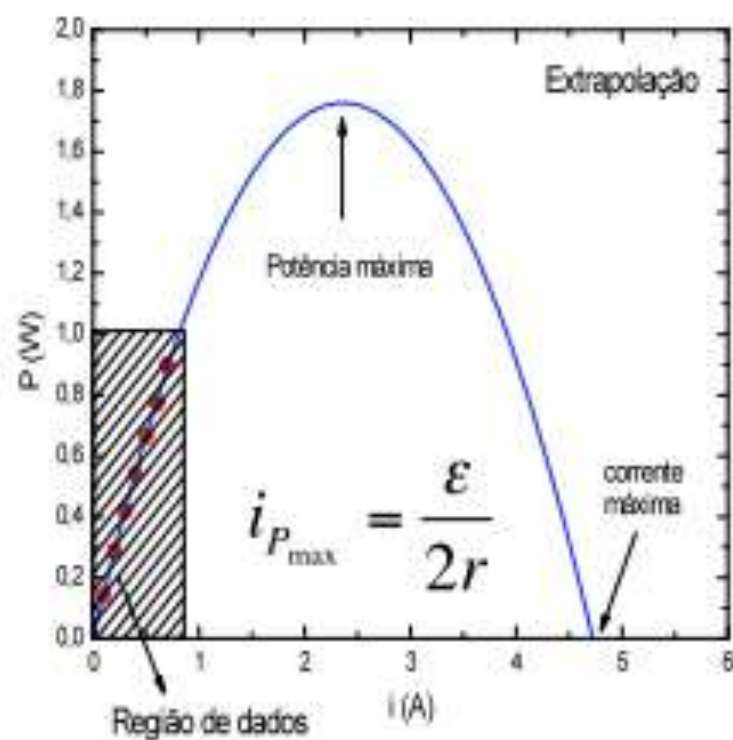
Comparação de resultados: teste de consistência da análise

- Os parâmetros obtidos dos ajustes são consistentes ?

$$V = \varepsilon - ri$$

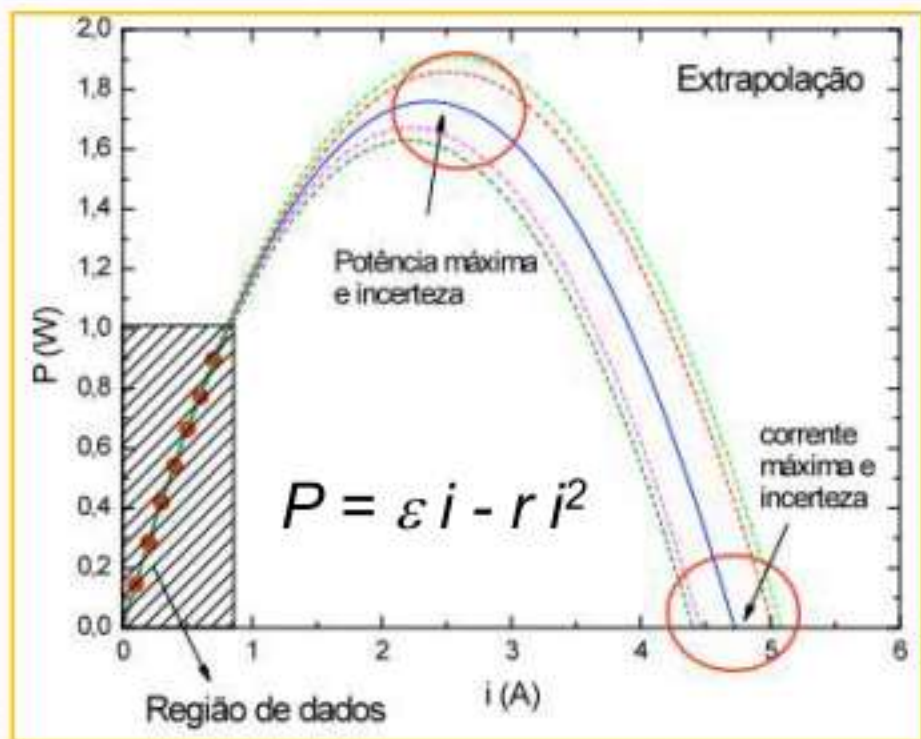


$$P = \varepsilon i - ri^2$$



Consistência da análise

- Porque o ajuste de $P \times i$ não dá exatamente o mesmo resultado que o ajuste de $V \times i$??
- Medimos V e i , mas calculamos $P=V*i$ e $\Delta P = P \sqrt{(\frac{\Delta I}{I})^2 + (\frac{\Delta V}{V})^2}$
 - P , i , e suas incertezas, NÃO são independentes!!



NÃO podemos usar o *Método dos Mínimos Quadrados* (MMQ) !!

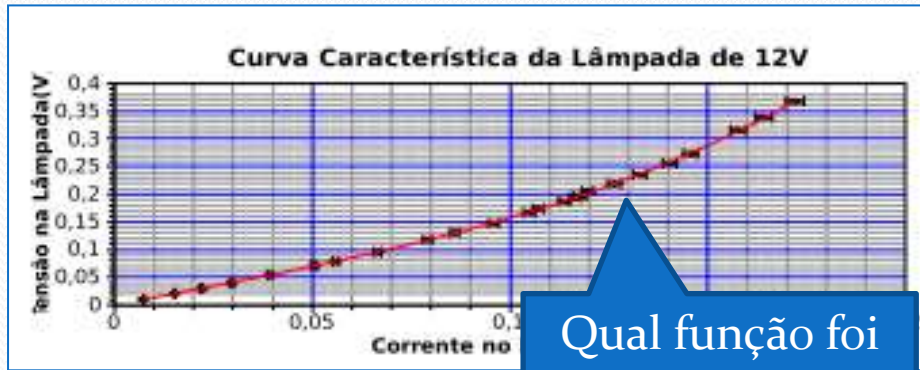
O correto é usar algo como *Máximo Vero Semelhança*....

Como antes, também não podemos calcular ΔP_{max} e ΔI_{max} por propagação de erros se houver correlação entre os parâmetros)

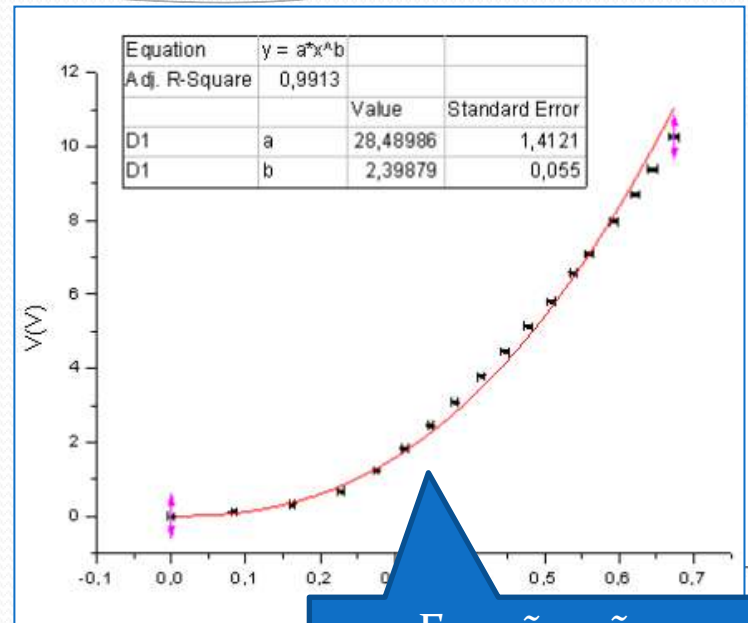
2 Para esta semana: lâmpadas

- Meça a curva característica da lâmpada de **12V, 10W**:
 - não ultrapasse **12V**: $R_a=10\Omega$, **10W** $\rightarrow i_{\max}=1A$, isso não deve ser ultrapassado mesmo que não chegue a **12V** na lâmpada
 - faça o gráfico e discuta os erros
 - faça a curva de potência como função da resistência da lâmpada
- Meça a curva característica da lâmpada de **1,2V**:
 - a curva deve ir até **~1,5 V** para a lampadinha de **1,2V**
- Quantos pontos medir?
 - o necessário para ter curvas bem definidas

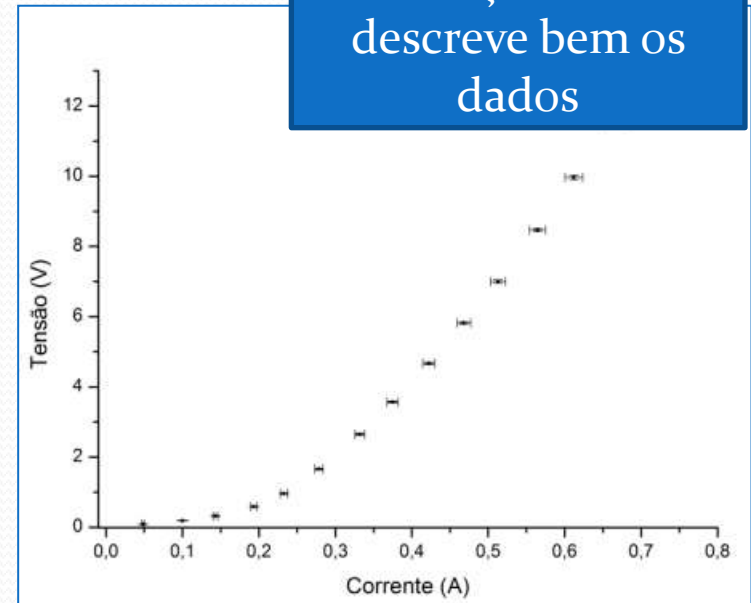
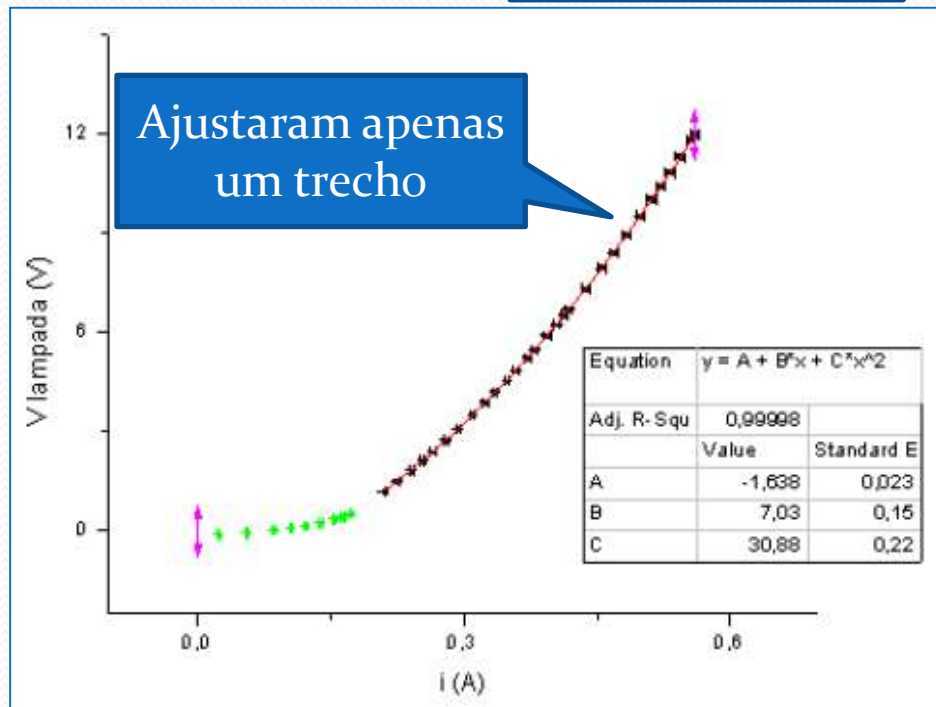
Lâmpada de 12V



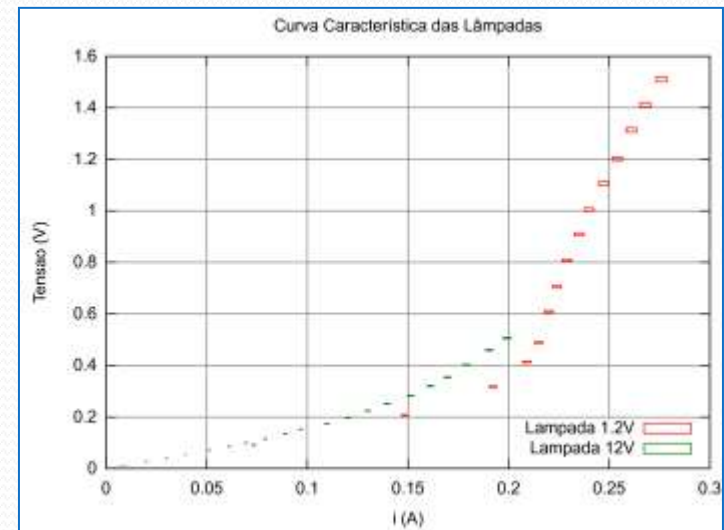
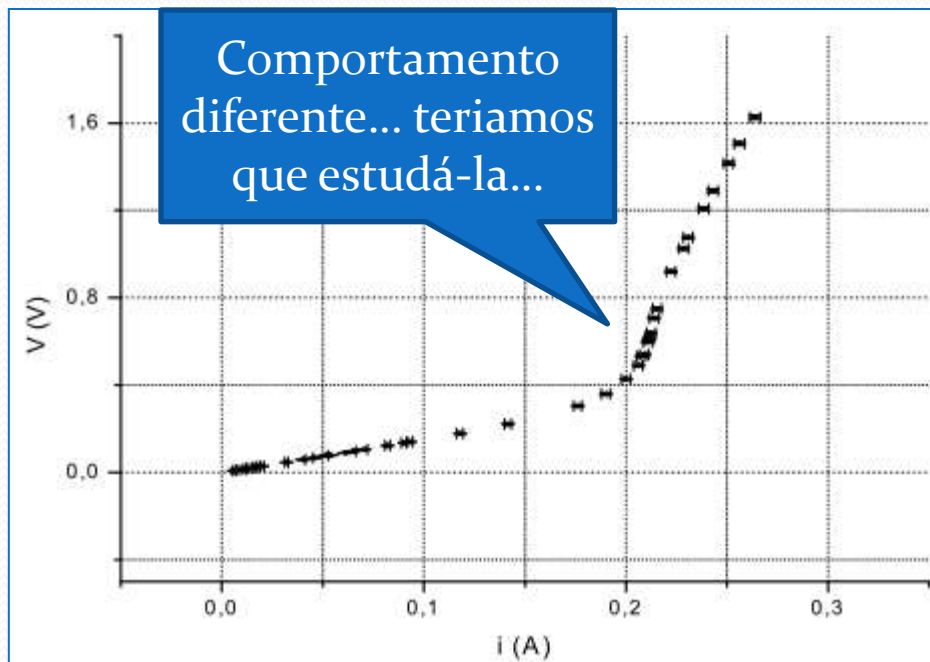
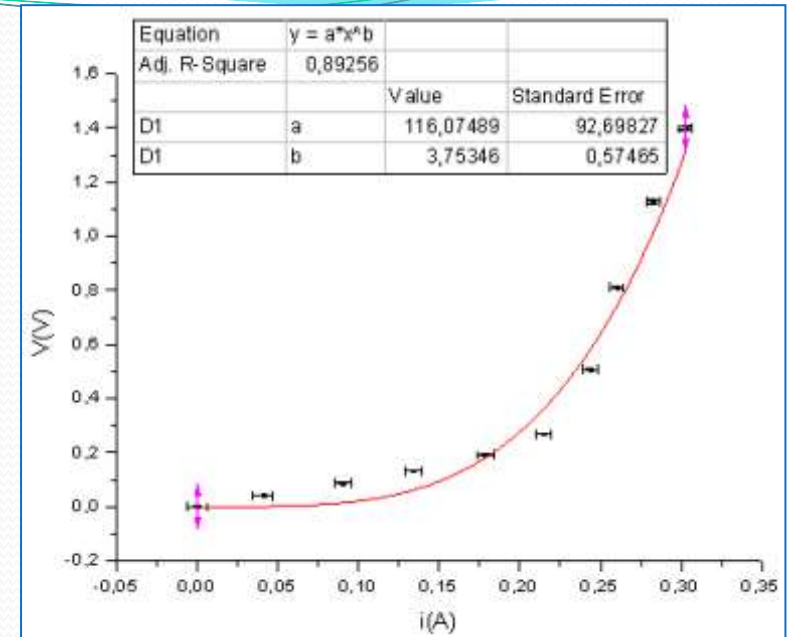
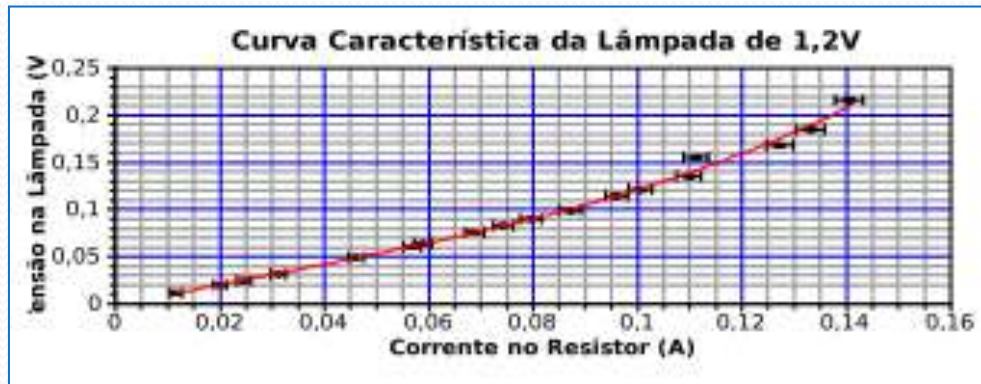
Qual função foi ajustada?



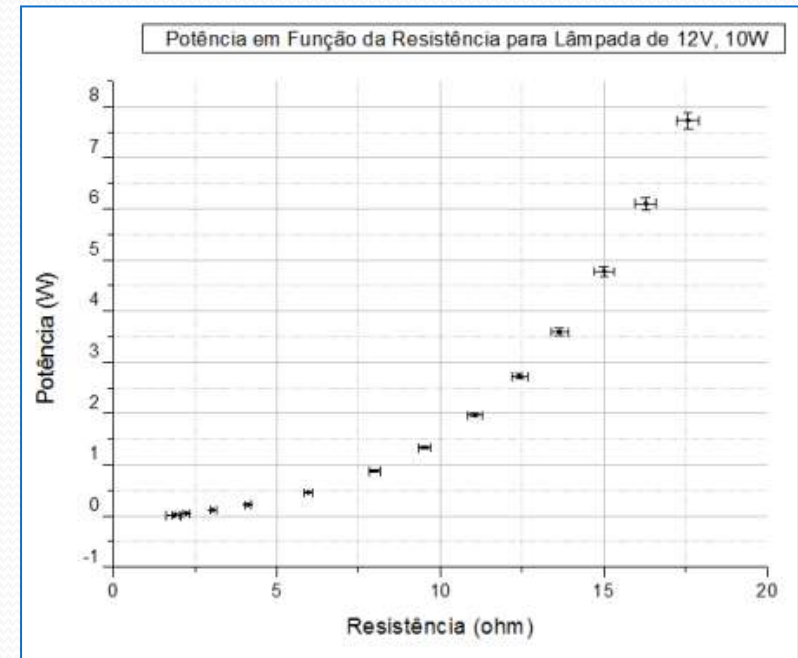
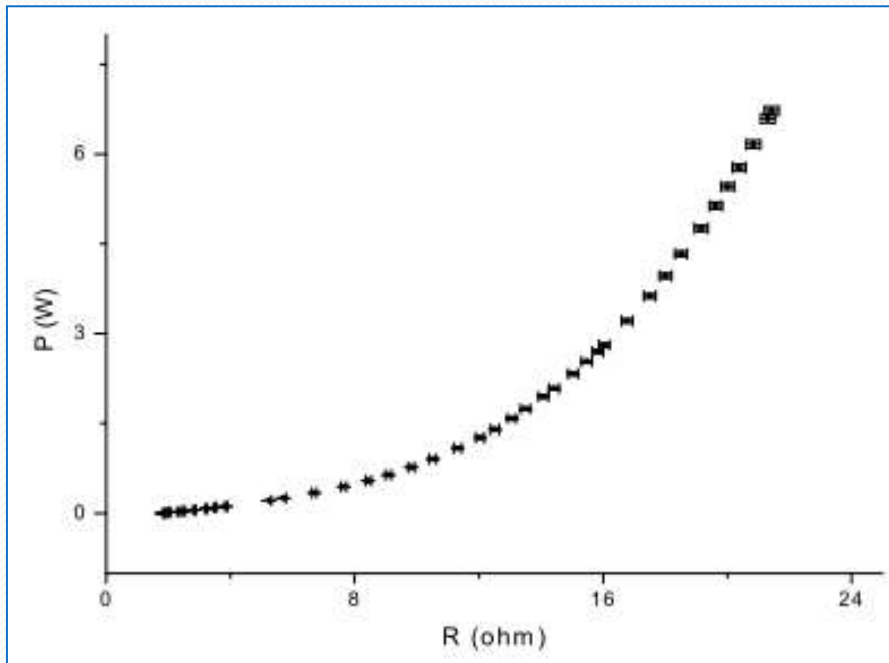
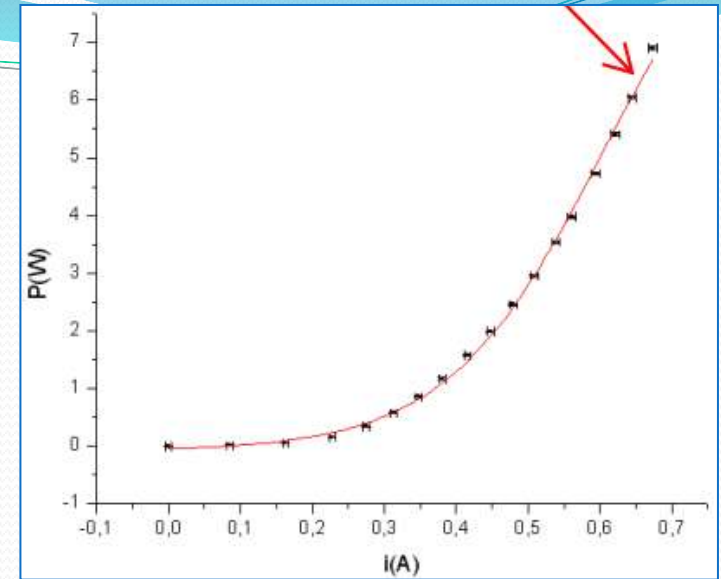
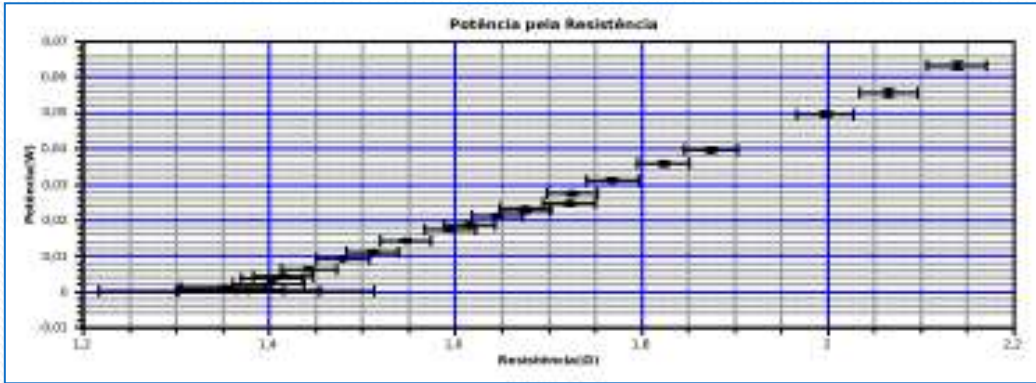
Função não descreve bem os dados



Lâmpada de 1.2V



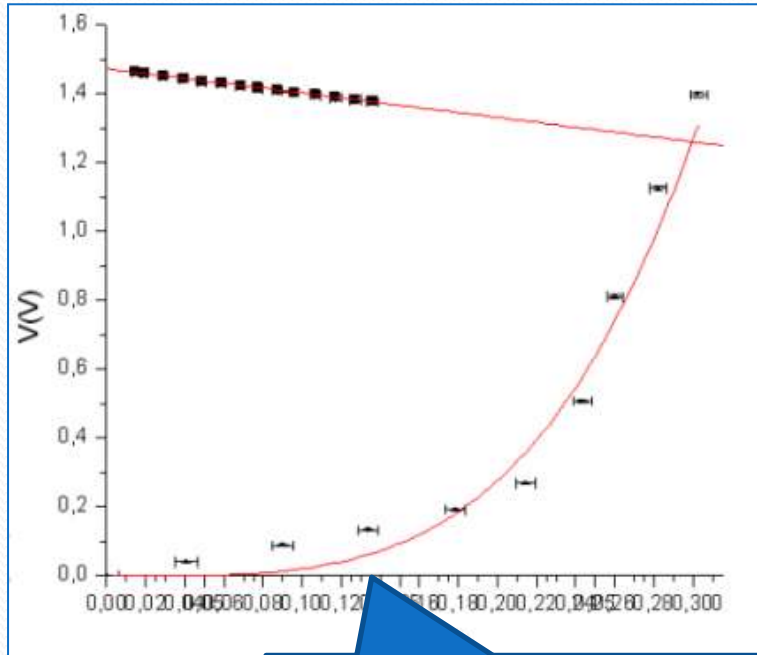
Potência – 12V



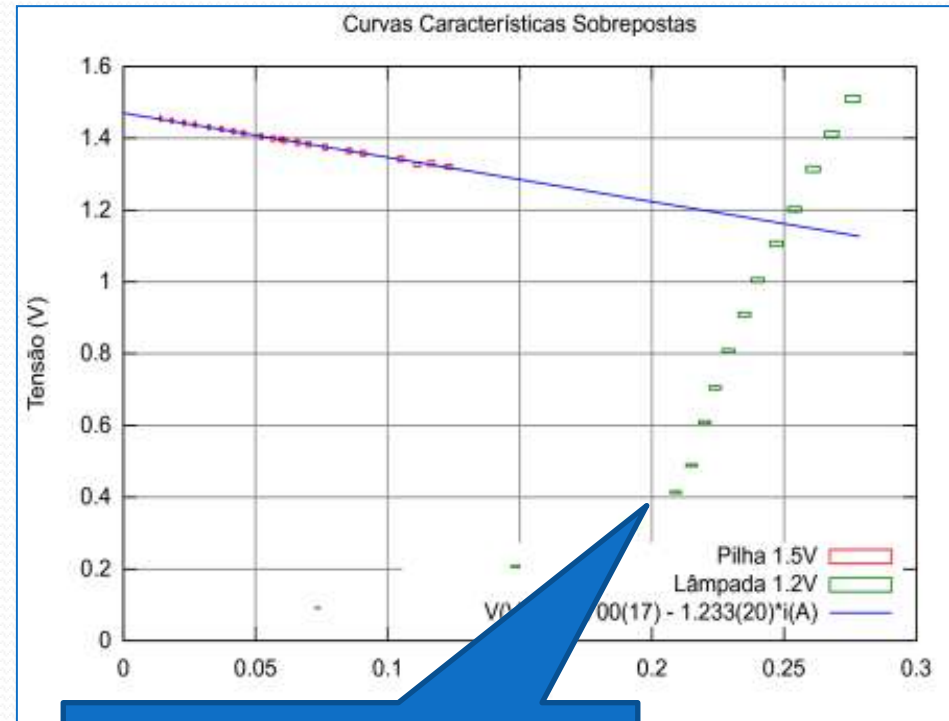
3 Para esta semana: ponto de operação

- Determine o ponto de operação (V, i) do circuito **pilha + lâmpada** e verifique, (medindo a tensão sobre a lâmpada), se a tensão do ponto de operação está correta.
- A corrente também é dada pelo ponto de operação, mas nesse caso não dá para medir, porque não sabemos a resistência da lâmpada em cada ponto.
- Tendo as curvas características de elementos de circuito podemos determinar a corrente e a tensão, sem precisar ligar o circuito.
 - isso vale também para circuitos de mais de 2 elementos, porque curvas características podem ser somadas ou subtraídas dependendo do tipo de ligação.

Com lâmpada de 1.2V

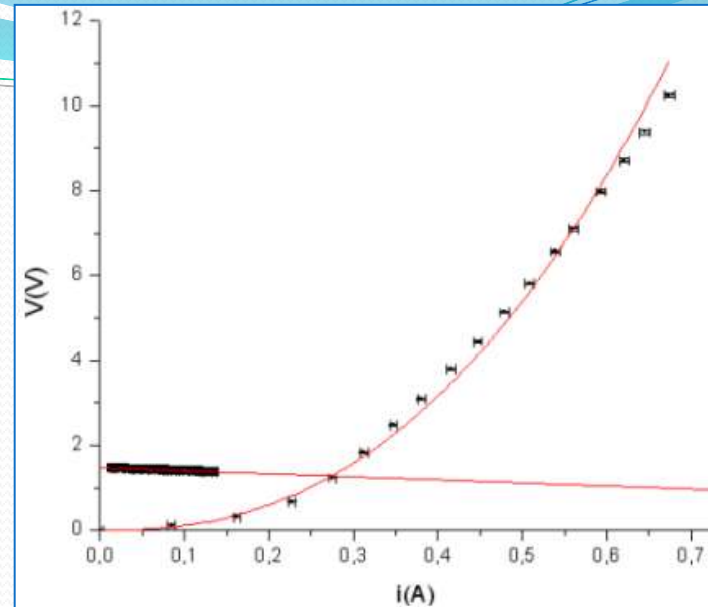
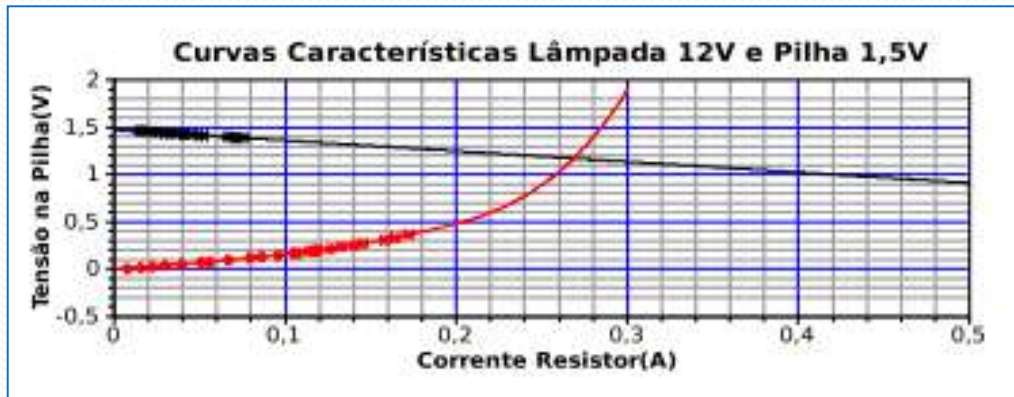


A função não descreve bem os pontos, como confiar na intersecção?

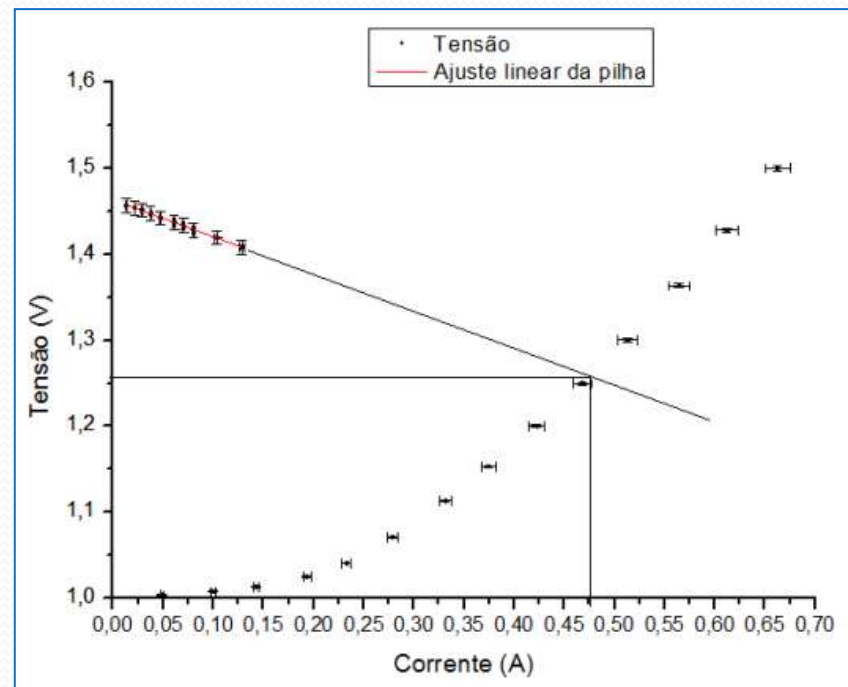
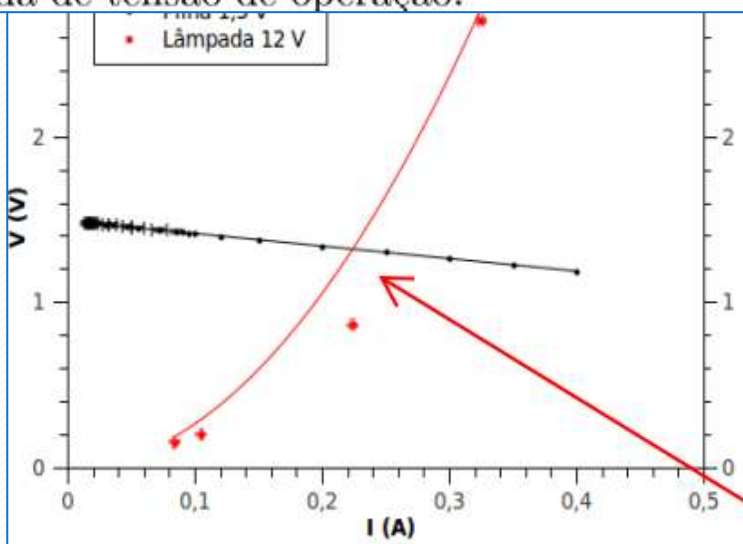


Precisava ajustar uma função para de alguma maneira calcular a intersecção

Com lâmpada de 12V



Após a construção das curvas características de cada um dos componentes foram associados a lâmpada de 12V à pilha de 1,5V e ao medir a tensão na lâmpada foi encontrado o valor de $1,24 \pm 0,01V$, chamada de tensão de operação.



Tensão de operação c/ pilha

	12V		1.2V	
	V medido	V calculado	V medido	V calculado
H1	1.24 (1)	1.17 (1)	(?)	(?)
H2	(?)	1.261 (2)	(?)	1.294 (2)
H3	(?)	(?)	(?)	(?)
H4	(?)	(?)	(?)	1.62 (3)
H5	1.47(2)-0.93(1)	1,26 (?)	(?)	(?)
H6	(?)	1.31 (27)	(?)	(?)
H7	0.890 (5)	1.1913 (?)	(?)	(?)
H8	(?)	(?)	(?)	(?)
H9	(?)	(?)	(?)	(?)
H10	(?)	1.282 (6)	(?)	1.350 (7)
H12	(?)	(?)	(?)	(?)
H14	(?)	(?)	(?)	(?)

Experiência 2: 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?

A resistência da lâmpada



- Vocês mediram com o ohmímetro a resistência da lâmpada de 100W ,na primeira aula:
 - Era de **25-30 Ω**
- De acordo com o fabricante, uma lâmpada de 100W funciona em:
 - **$V = 127\text{ V}$ e $P = 100\text{ W}$**
 - Se usarmos **$P = V^2/R$** obtemos:
 - **$R = 161\Omega$**
- Porque a discrepância entre a medida realizada e o valor calculado a partir dos dados do fabricante?

Resistor não linear. Resistência depende da temperatura do filamento!

Luz

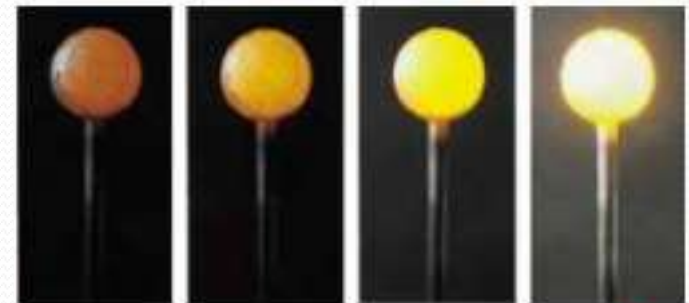


- Luz é uma parte do espectro eletromagnético a qual o nosso olho é sensível
- Os objetos são visíveis ao olho humano porque:
 - Refletem a luz incidente
 - Emitem luz
- Nas temperaturas em que vivemos a maioria dos objetos são visíveis pela luz que refletem
- Em temperaturas suficientemente altas eles passam a ter luz própria



Radiação Térmica

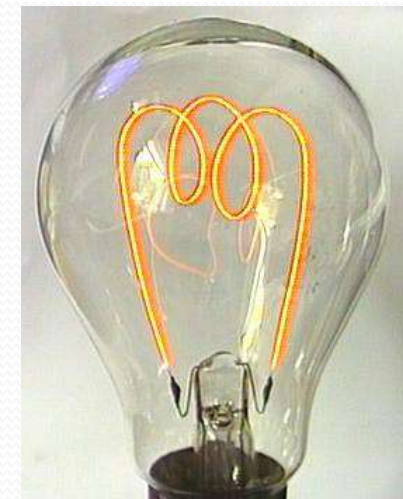
- O objeto aquecido a uma temperatura relativamente baixa: irradia calor (Infra Ver.) que não é visível para nós
- Aumentando a temperatura a quantidade de radiação emitida aumenta rapidamente e se nota que a cor da luz emitida também muda
- Na verdade um objeto aquecido emite e absorve radiação térmica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



$T(K)$

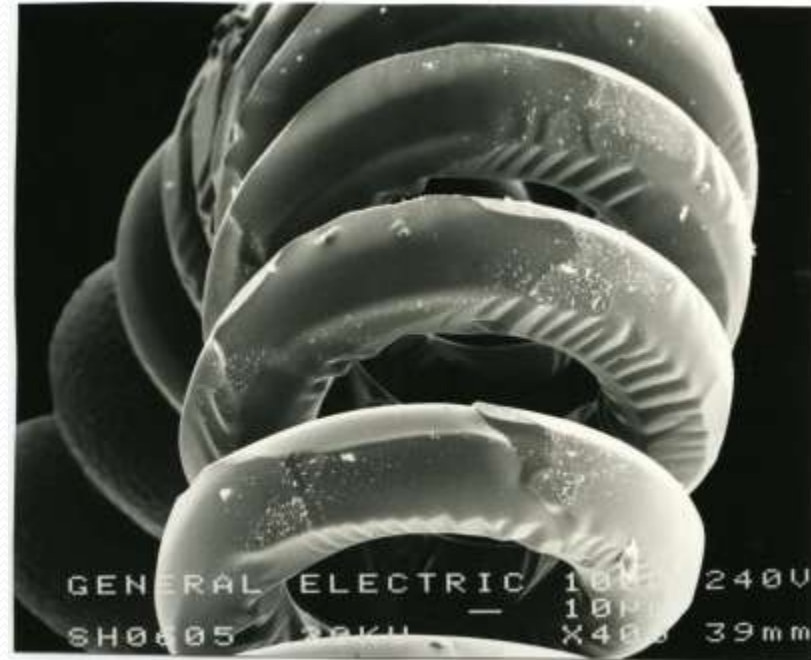
Lâmpada incandescente

- 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 luz é amarelada, perde calor para o meio ambiente.



O filamento

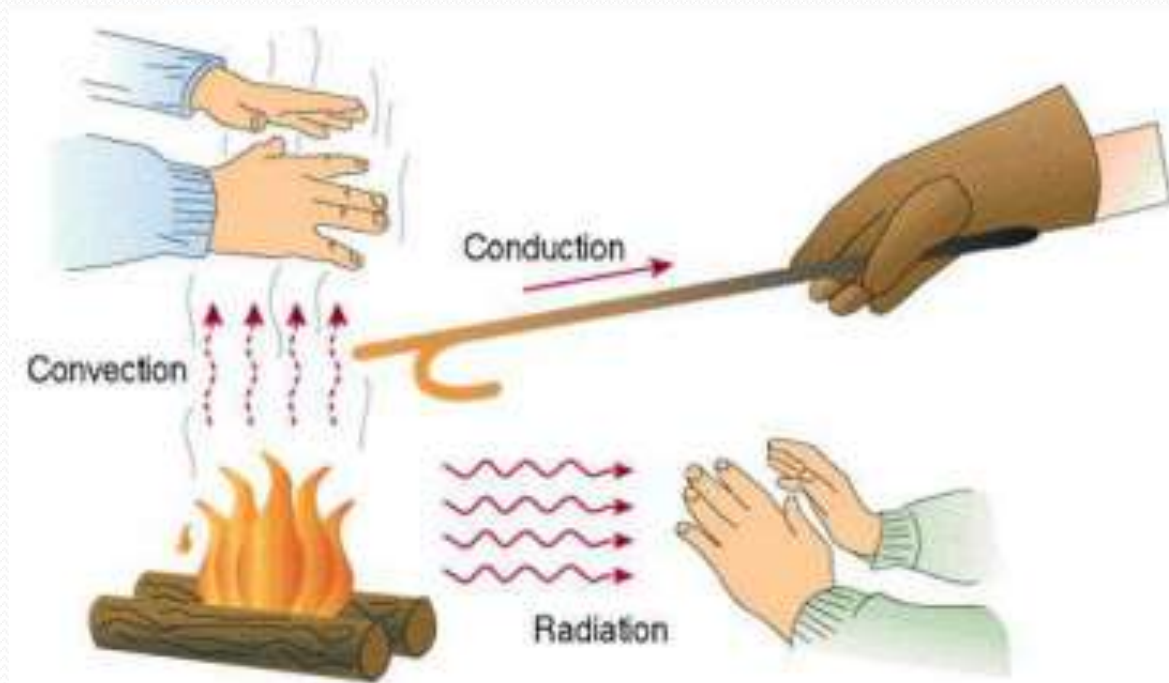
- O filamento é aquecido pela
- passagem de corrente elétrica.
 - O mais comum é de tungstênio, ele é aquecido a uma temperatura suficientemente elevada
 - para que luz visível seja emitida.
 - O tungstênio tem o ponto de fusão mais elevado de todos os metais (3410°C).
 - E mantém suas características físicas (dureza, elasticidade) mesmo em altas temperaturas



**O tungstênio é ideal
para filamento de
lâmpada
incandescente**

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

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

\vec{q} = fluxo de calor [W/m²]

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 fluído: 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:

$$P_{convec} \propto (T - T_0)^\alpha$$

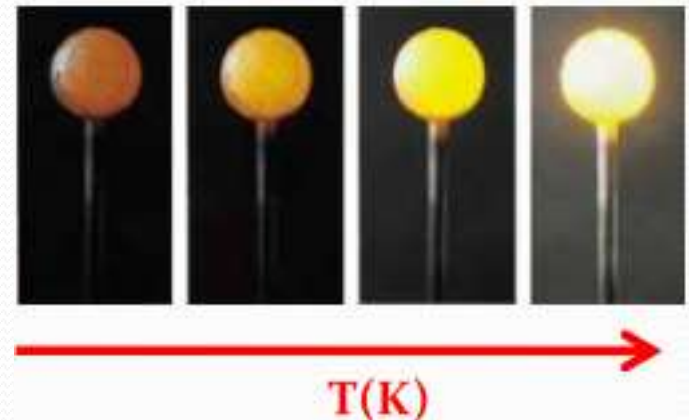
- Onde **T** é a temperatura do filamento, **T₀** é a temperatura ambiente e o coeficiente **α** é da ordem de 1,38.
 - B. S. N. Prasad and Rita Mascarenhas, Am. J. Phys. 46, 420 (1978).
- Para temperaturas mais altas, a emissão por radiação deve predominar

Radiação

- 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:

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

- P_{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 **T₀**.
 - Emite radiação para o meio mas também absorve radiação do próprio meio!
- Emissão de radiação (Lei de S.B.)

$$P_{rad}^{Emitida} = S\varepsilon\sigma T^4$$

- **ε** é a emissividade do corpo e depende do material. **ε = 1** significa um corpo negro ideal. **S** é um fator geométrico.

$$P_{rad}^{Absorvida} = S\mu\sigma T_0^4$$

- Absorção de radiação do meio (Lei de S.B.)
 - **μ** é a absorptância do corpo e depende do material. **μ = 1** significa um corpo negro ideal. **S** é um fator geométrico

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 SUPOR que a condução seja baixa, ou seja:

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

- Assim, temos que:

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

- 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?

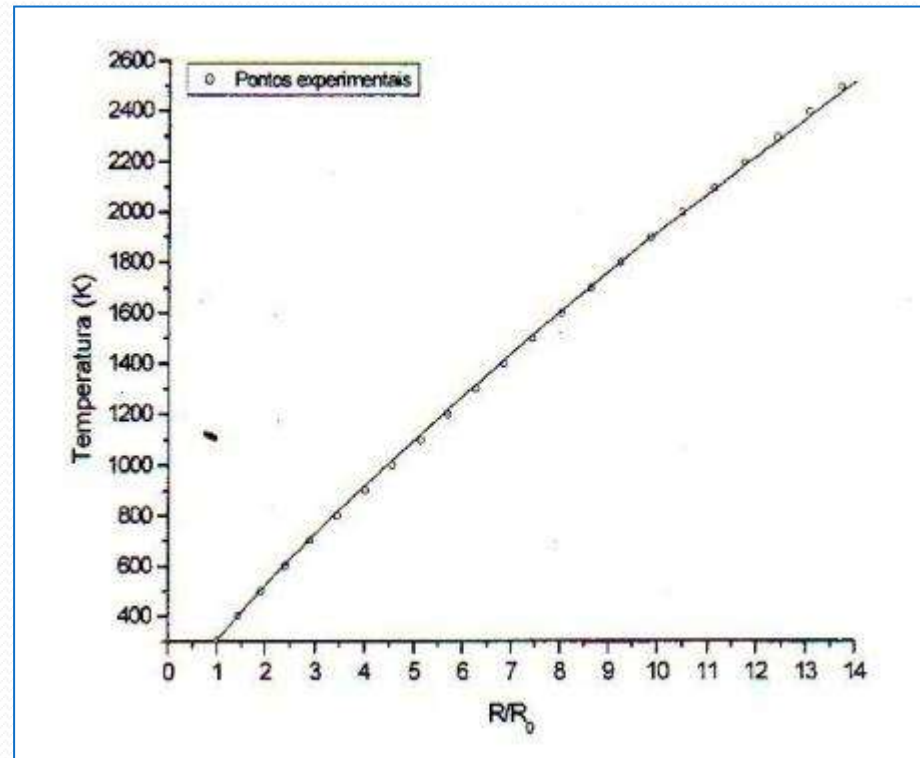
- Precisamos medir **P**. Como?
 - Basta medir **V** e **i** e calcular **$P=V i$**
- Precisamos medir **T**. Como?
 - Termômetro?
 - A temperatura do filamento é a mesma do invólucro da lâmpada?
 - Que outras alternativas nós temos?
- A resistência não depende da temperatura (ou vice-versa)?
Será que 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:

$$\frac{R}{R_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1,24}$$

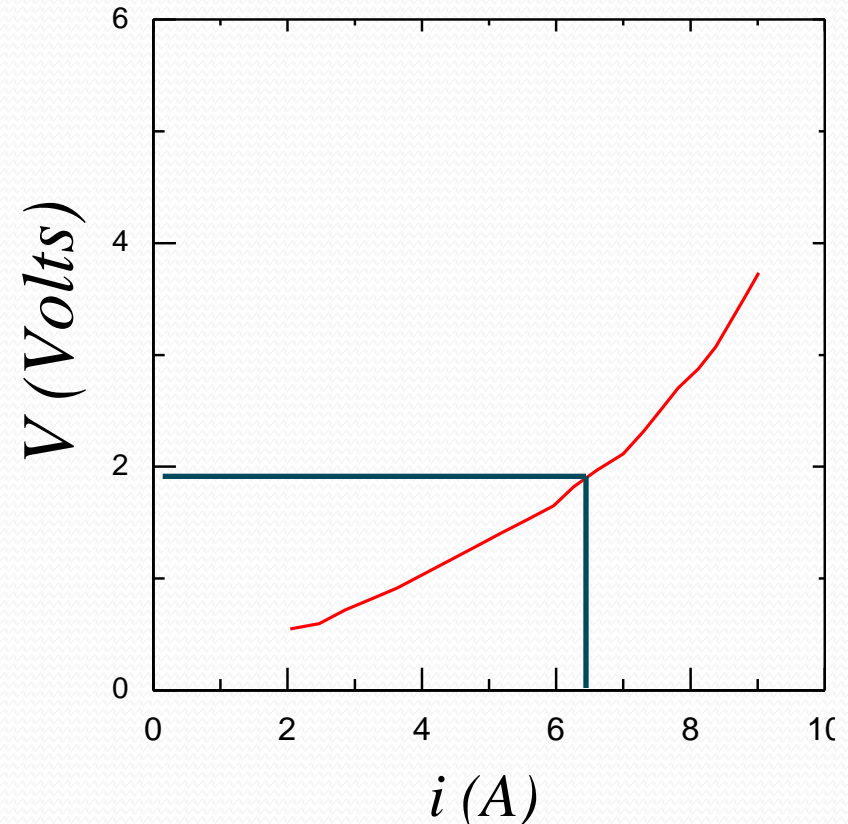
- **R** = resistência do filamento na temperatura **T**
- **R₀** = resistência do filamento na temperatura **T₀**
 - **T₀** = temperatura da sala
 - **R₀** depende da fabricação da lâmpada, para a lâmpada usada é **1.2Ω(±5%)**, mas vão medir.



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

Medindo a resistência

- Com a resistência do filamento e com o valor da resistência à temperatura ambiente (vão medir) determina-se a temperatura naquela condição.
- Então, na verdade, é preciso medir o valor de R para cada condição de potência fornecida. Como?
 - Fazendo a curva característica da lâmpada.
 - E medindo o valor de R em cada ponto: $R=V/i$.



Tarefas da semana (1)

Vamos medir R_0 . Mas como?

- 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 pode-se obter $R \times i$ e extrapolar para $i = 0$.
 - Qual a precisão desse procedimento? Vocês já tem dados suficientes?
- Realizar medidas em correntes realmente baixas
 - Limitar a corrente utilizando resistores elevados entre **5 e 10 k Ω** .
 - Qual a precisão desse método já que $V_{\text{lâmpada}} \ll V_R$?

O valor esperado é **1.0-1.2 ohm**. Se seu valor for muito diferente, discuta!!
... e depois use **$R_0=1.1\text{ohm}$** no cálculo da temperatura, para que os outros resultados não fiquem ruins.

Tarefas da semana (2)

- Usando os dados da semana passada e uma função apropriada, faça 2 gráficos: da potência ($V \cdot i$) em função da temperatura, T , (calculada pelo R_0) e outro da potência em função de $(T - T_0)$
 - Vão precisar de pontos desde $U = 12V$ até $U \approx 0V$, meçam novamente caso não tenha dados suficientes.
- Analise as 2 curvas e veja se é possível identificar as regiões onde predomina a convecção e onde predomina a irradiação
 - Qual é o valor do coeficiente angular?
 - Lembre-se da conservação de energia e das diferentes maneiras da lâmpada dissipar a energia recebida

Potência irradiada

- No gráfico di-log de $P \times T$ e $P \times (T - T_0)$, essa potência é a potência fornecida pelo circuito e não a potência que o filamento da lâmpada irradia, pois ele perde uma parte por convecção.
- Então é necessário avaliar quanto vale a fração da potência fornecida que é perdida por convecção P_{conv} , para obter a potência que o filamento da lâmpada de fato irradia, P_{irr} , e então, verificar se a lâmpada pode ser descrita como um corpo negro.
 - Em temperaturas mais baixas a lâmpada também emite no infravermelho, mas a convecção predomina.
 - Para temperaturas mais altas, a emissão P_{rad} predomina, mas não é o único termo importante.

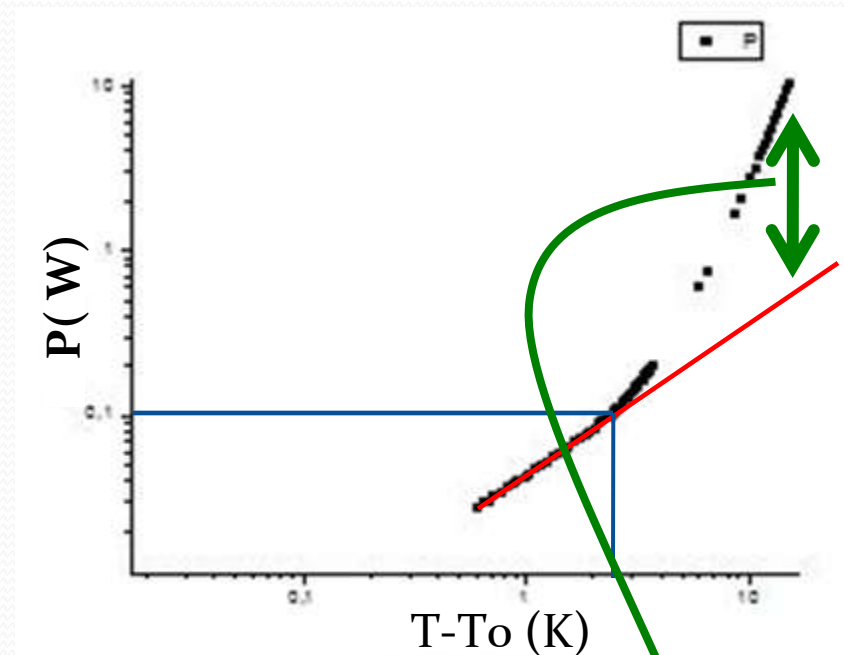
Potência perdida por convecção

- Para baixas temperaturas a potência irradiada é desprezível

$$P \approx P_{conv} \propto (T - T_0)^n$$

$$\text{Log}(P) \propto n \log(T - T_0)$$

- Do ajuste da parte linear da curva obtemos **n**



Subtraindo a potência perdida por convecção (extrapolação do ajuste) da potência total obtemos a potência irradiada (para altas temperaturas)

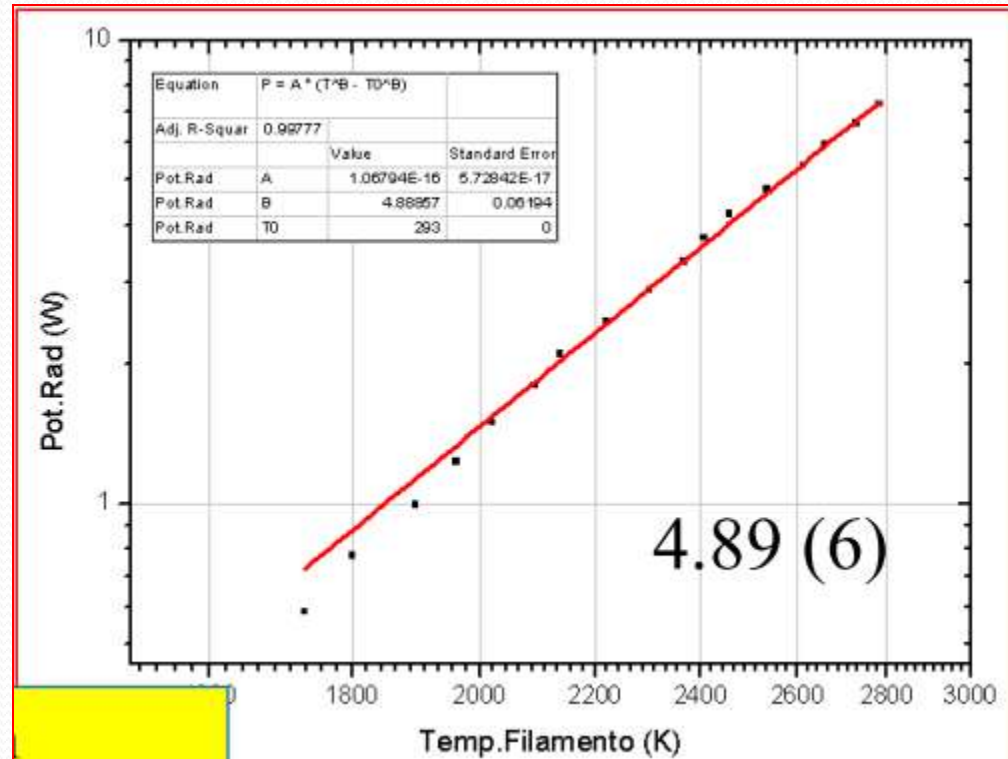
Potência Irrradiada

- Para altas temperaturas

$$P - P_{conv} = P_{rad} = \sigma T^4$$

$$\text{Log}(P_{rad}) = \text{cte} + 4 \log(T)$$

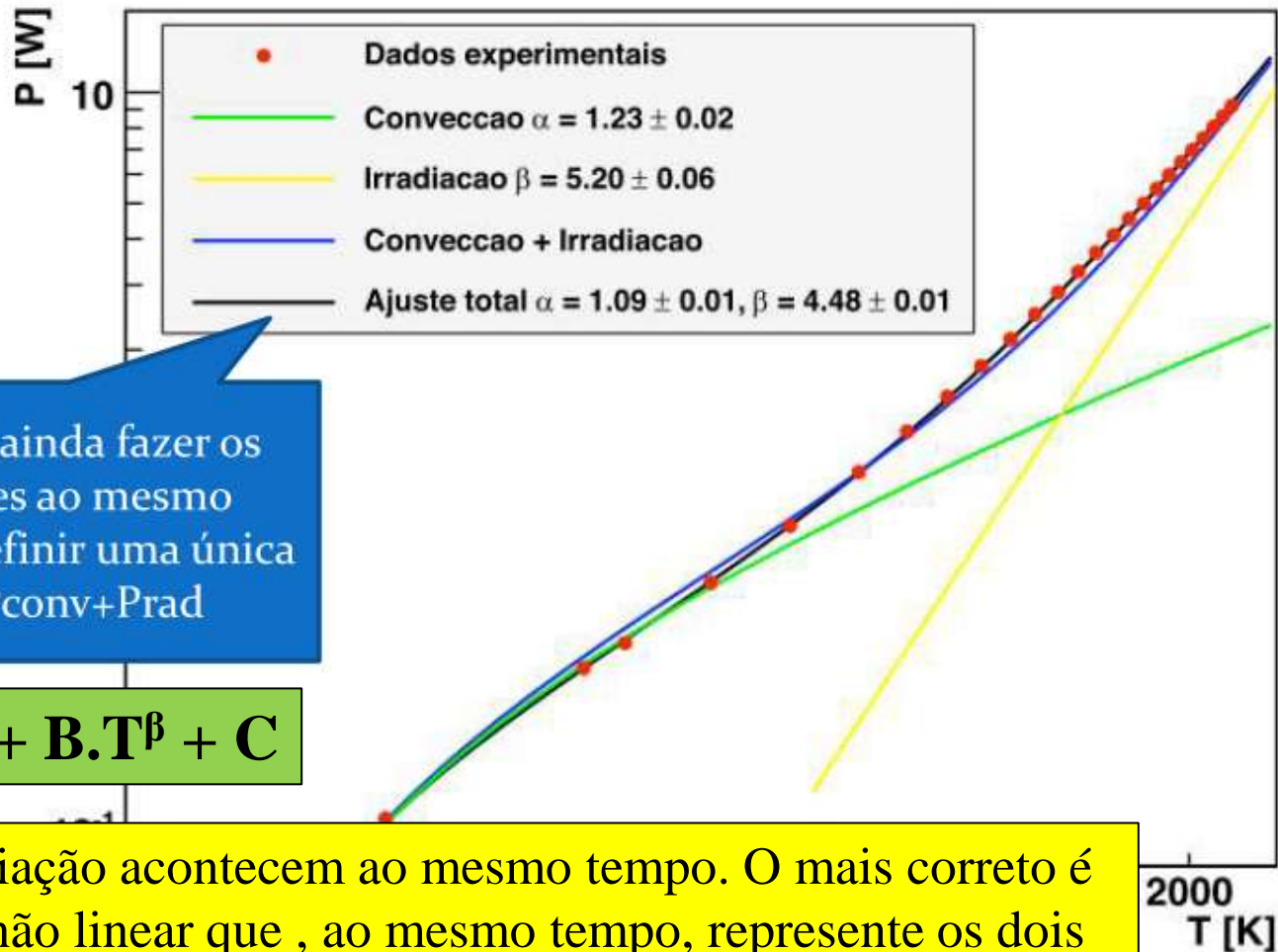
- Do ajuste podemos verificar se o expoente é realmente 4.



Este resultado é do ano passado.

Os dois ajustes ao mesmo tempo...

Curva de potencia de uma lampada incandescente



Era melhor ainda fazer os dois ajustes ao mesmo tempo, i.e, definir uma única função $P_{conv+Prad}$

$$P_{total} = A \cdot \Delta T^\alpha + B \cdot T^\beta + C$$

A convecção e a radiação acontecem ao mesmo tempo. O mais correto é ajustar uma função não linear que, ao mesmo tempo, represente os dois fenômenos.

Tarefas da semana (3)

- Usando os dados da medida de **P** e **T**, ajuste a função esperada:

$$P_{\text{total}} = A.\Delta T^{\alpha} + B.T^{\beta} + C$$

- Compare o coeficiente **α** obtido com valores da literatura, como **1.38** medido por B.S.N. Prasad and Rita Mascarenhas, Am. J. Phys. 46, 420 (1978).
- Compare o coeficiente **β** obtido com o valor teórico esperado pela lei de Stefan-Boltzmann.
- Comente os resultados, principalmente se os coeficientes não derem compatíveis com os valores esperados.
 - Esquecemos algo que pode influenciar o resultado?

DICAS IMPORTANTES

- Meça a curva característica da lâmpada diretamente no **DataStudio** , utilizando a fonte de corrente contínua de 30V, um **resistor auxiliar** e os **voltímetros da interface**.
 - Você pode usar a função KEEP, mas ela só guarda o valor instantâneo
 - Você pode pedir para o **DS** te mostrar a média e o desvio das medidas que ele está fazendo
- Substitua um amperímetro por um voltímetro e um resistor em paralelo. Meça a voltagem no resistor e use a relação **$R = V/i$** para calcular a corrente
- A lâmpada é um modelo para luz traseira de automóvel, de **10W** e **12V**:
 - Você não pode queimar a lâmpada, portanto preste atenção no que está fazendo e não passe de **10W** e **12V**
- Cada vez que subir a voltagem tem que esperar até a temperatura do filamento estabilizar para fazer a medida.