

DISCUSSÃO

Circuitos

Notas de aula: www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

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

Profa. Eloisa Szanto
eloisa@dfn.if.usp.br
Ramal: 7111
Pelletron

Prof. Henrique
Barbosa
hbarbosa@if.usp.br
Ramal: 6647
Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin
nelson.carlin@dfn.if.usp.br
Ramal: 6820
Pelletron

Prof. Paulo Artaxo
artaxo@if.usp.br
Ramal: 7016
Basílio, sala 101

Física Exp. 3 **Aula 3, Experiência 1**

Experiência 1: Circuitos

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? Curvas características, força eletromotriz e resistência interna

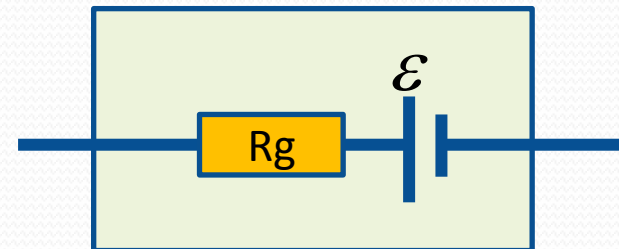
3. Capacitores

- Como é o campo elétrico de um capacitor real de placas paralelas? Simulações, medidas e teoria.

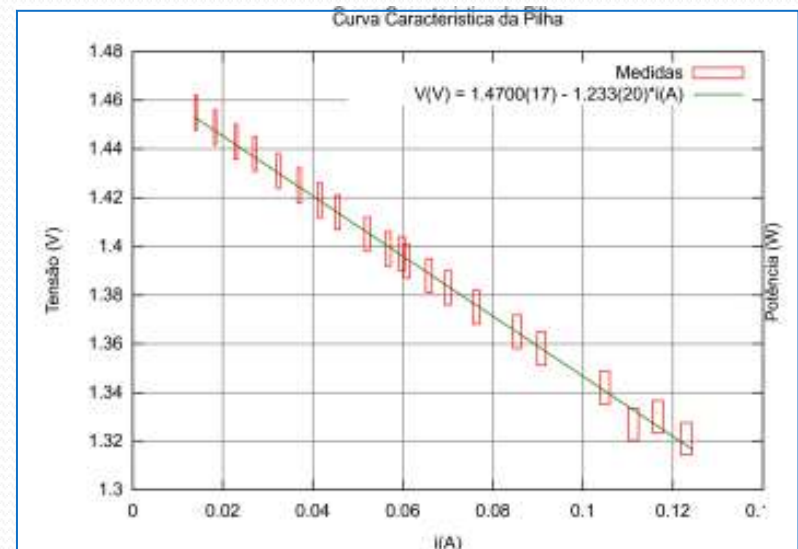
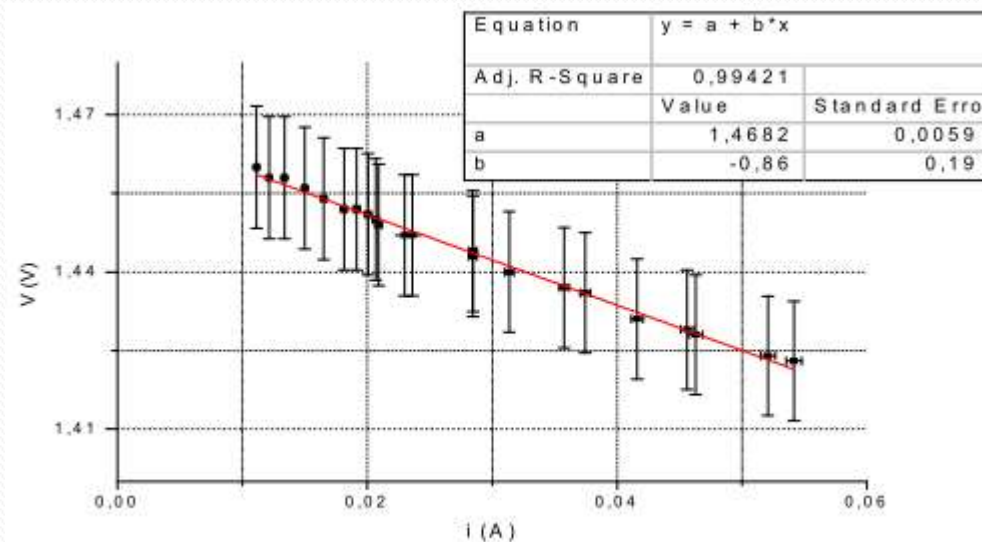
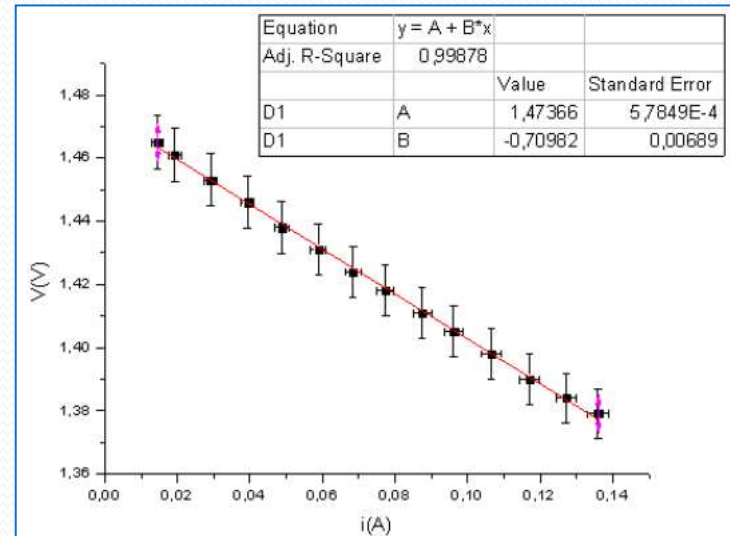
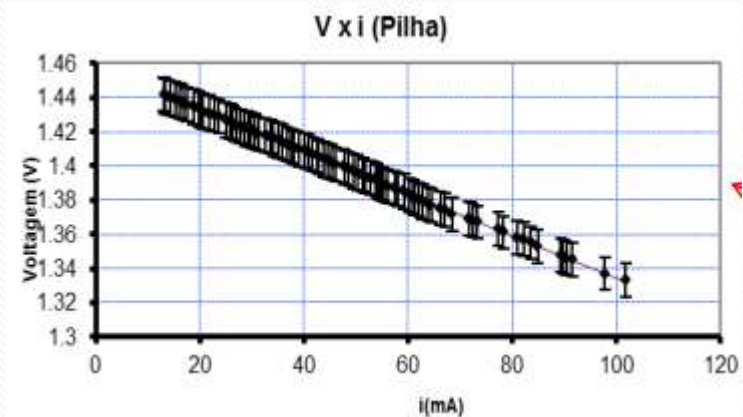
Atividades da semana (parte 1)

- Medir a curva característica da pilha desde correntes baixas até correntes da ordem de **200mA**.
 - se usar um resistor de 5 ou 10 Ω e se a pilha fosse ideal, em quanto estaria limitada a corrente?
- Como varia a tensão da pilha em função da corrente que ela fornece? Usando um ajuste aos dados obtidos acima, encontre através de extrapolação:
 - a força eletromotriz \mathcal{E}_0 ,
 - a resistência interna **Rg** e
 - a corrente máxima i_{\max} .
- Qual o significado físico de i_{\max} ?

$$V = \mathcal{E} - R_g i$$



Curva Característica da Pilha



Com o ajuste da Lâmpada

Quando a bateria envelhece, R aumenta e \mathcal{E} fica aproximadamente constante

	E_0 (V)	R (ohm)		E_0 (V)	R (ohm)
H1	1.4579 (26)	1.24 (48)	H11	1.4300 (7)	0.610 (12)
H2	1.45 (4)	2.97 (2)	H12	1.569 (5)	1.33 (5)
H3	1.4636 (4)	0.7681 (65)	H13	1.445 (1)	0.64 (2)
H4	1.4 (?)	0.54 (45)	H14	1.46 (5)	1.29 (8)
H5	1.445 (3)	0.37 (2)	H15	1.4511 (5)	2.43 (1)
H6	1.44(1)	0.4 (7)	H16	1.4405 (7)	0.45 (1)
H7	1.445 (4)	1.6 (1)	H17	1.99 (92)	1.46 (5)
H8	1.5559 (5)	1.068 (8)	H18	1.4558 (?)	1.2374 (?)
H9	1.44 (3)	0.72 (41)	H19	1.45639 (8)	0.418 (9)
H10	1.40865 (366)	0.62885 (2908)			

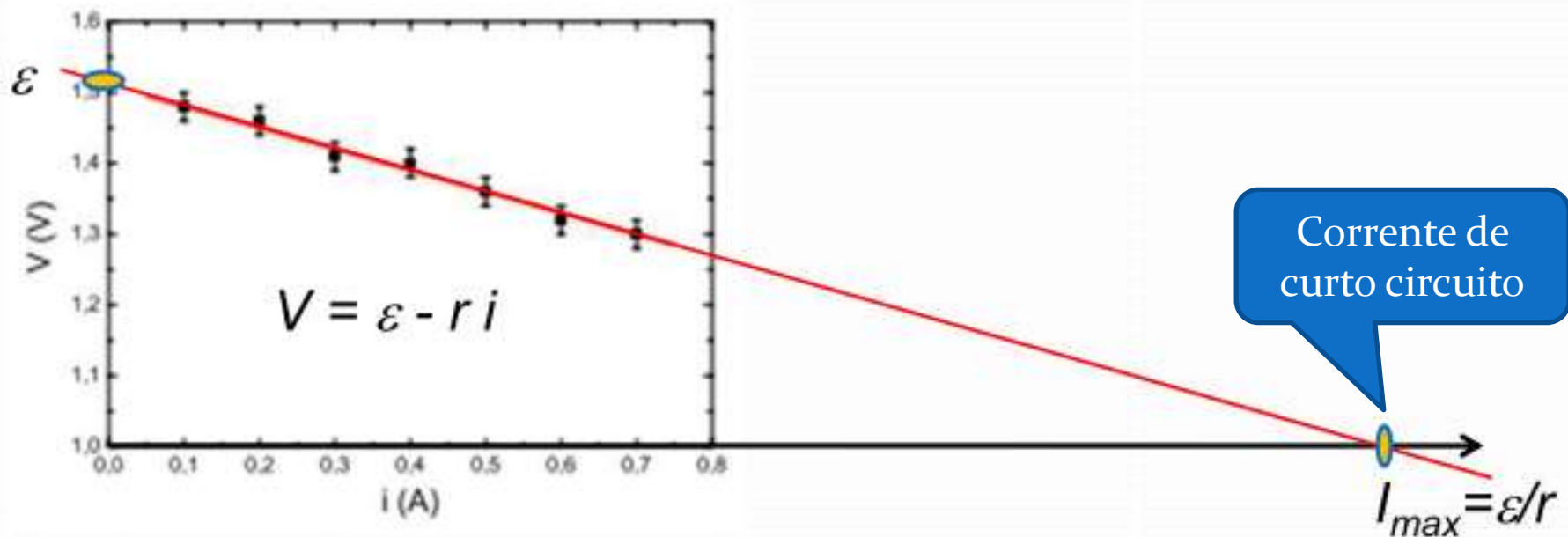
Poucos grupos erraram as incertezas!

Os valores de E_0 são MUITO próximos!

Mas os valores das resistências, não!

Consistência da análise

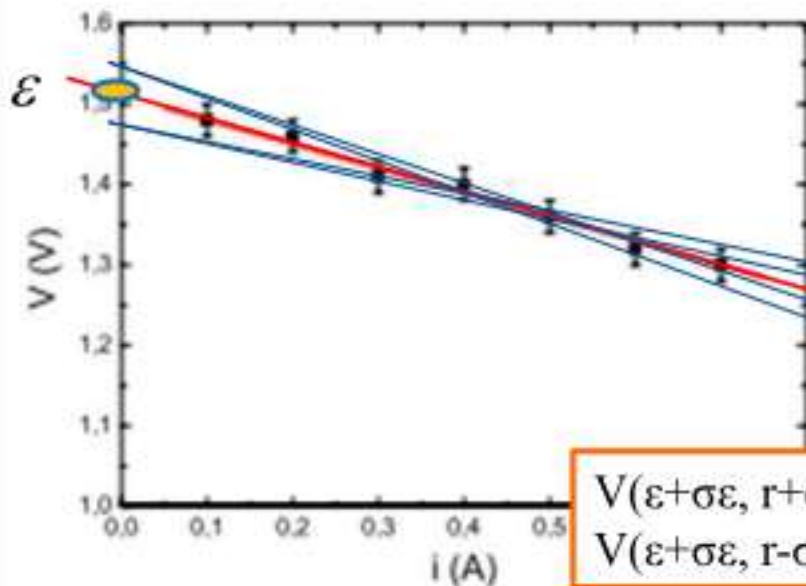
- Medimos V e i
 - De maneira independente, com erros não correlacionados
- Há uma dependência linear.
 - Podemos usar MMQ para determinar os parâmetros ε, r
 - $\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$ e $r \pm \Delta r$



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

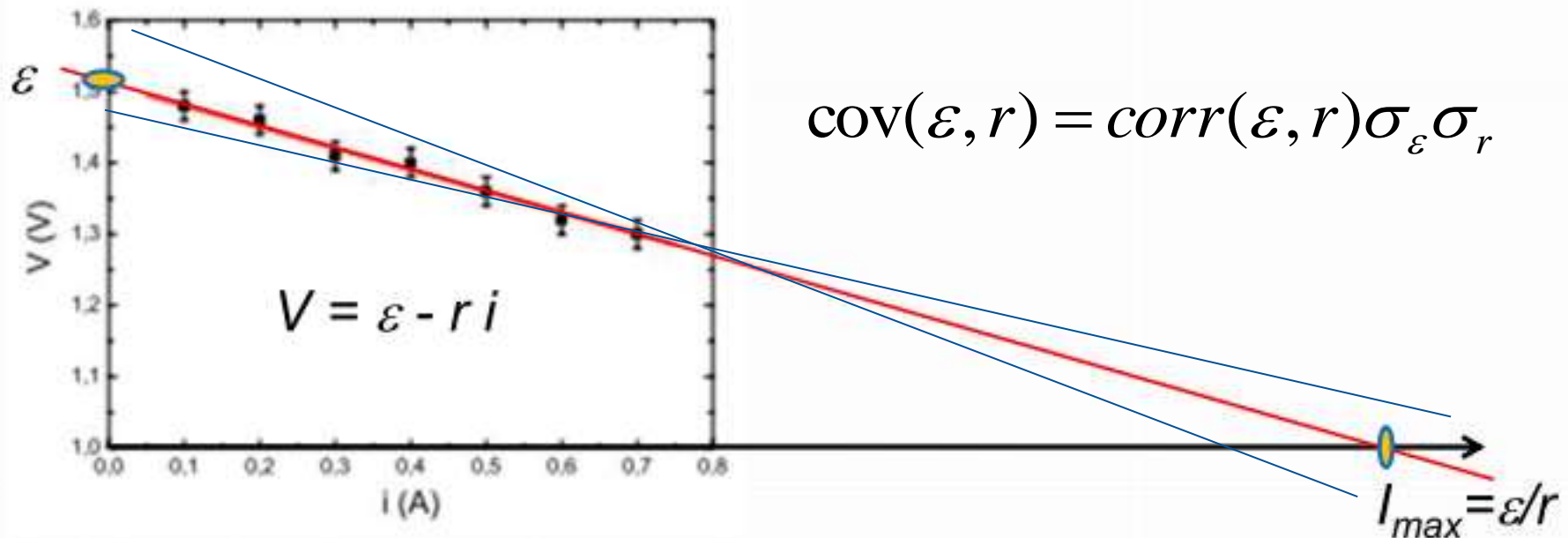
Podemos calcular: $I_{\max} = \varepsilon/r$... Não podemos calcular ΔI_{\max} pela propagação!

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

Consistência da análise

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

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

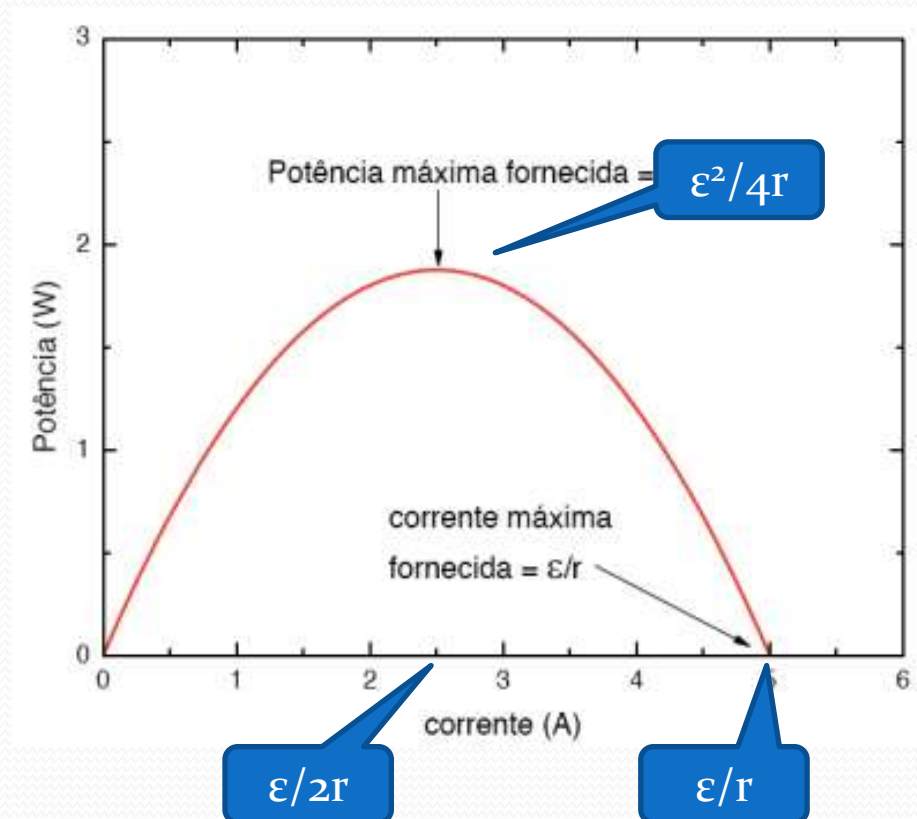


Atividades da semana (parte 2)

- Calcule a potência fornecida pela pilha ao circuito e faça o gráfico de $P \times i$. Que equação descreve esta curva experimental?
- Utilizando um ajuste adequado, encontre:
 - \mathcal{E}_0 e R_g e compare com os valores anteriores. Comente as diferenças se houver.
- Extrapolando a curva ajustada, se necessário, encontre:
 - Qual a máxima potência fornecida, P_{\max} ?
 - Qual a corrente para a qual isto acontece, $i(P_{\max})$? Porque isso não corresponde à situação de maior corrente?
 - Qual a corrente máxima possível, i_{\max} ? Comente as diferenças em relação ao resultado anterior, se houver.
- Discuta as incertezas ao se fazer a extrapolação

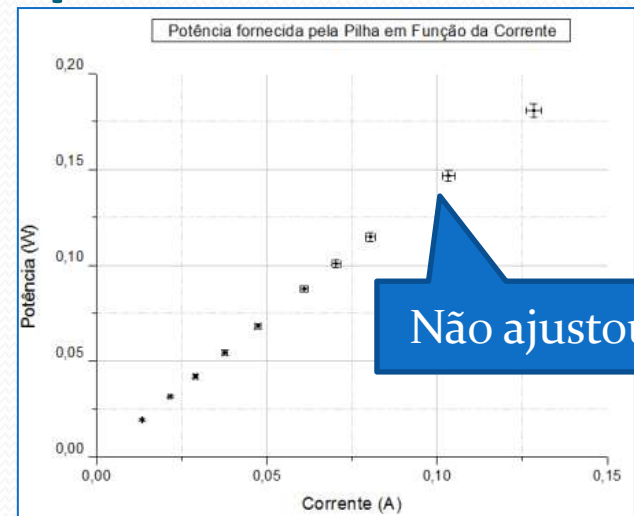
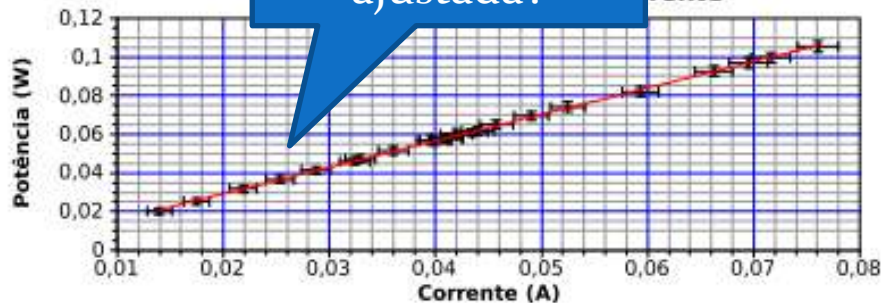
Potência entregue pela pilha

- Já que a tensão na pilha era: $V = \varepsilon - R_g i$
- A potência fica simplesmente: $P = V \cdot i = \varepsilon i - R_g i^2$



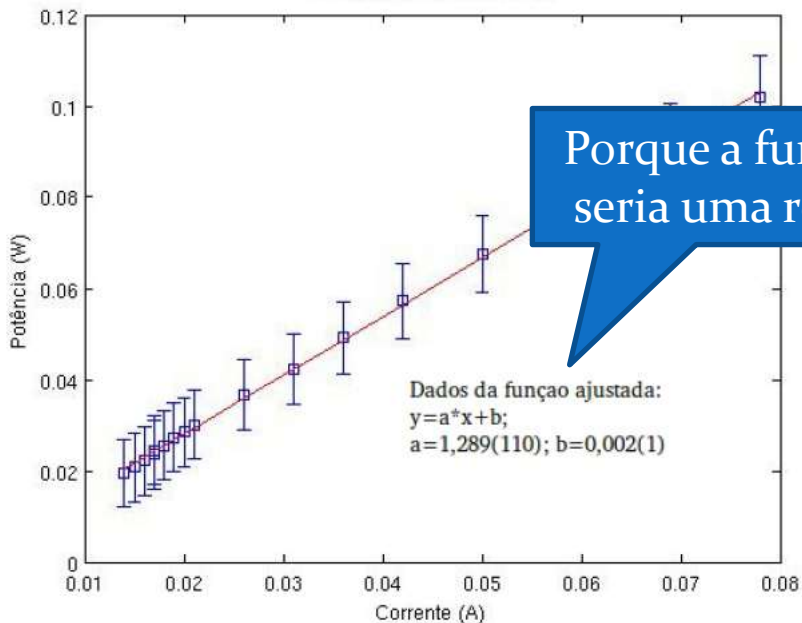
Potência entregue pela pilha

Qual a função ajustada?



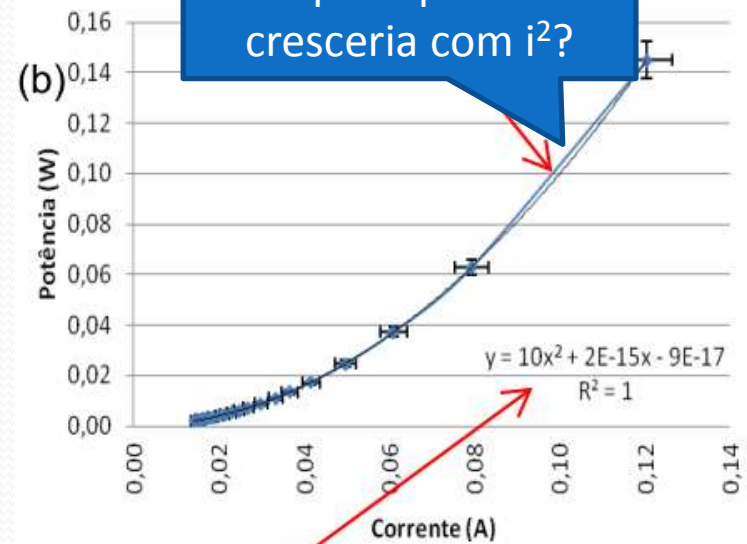
Não ajustou

Potência x Corrente - Pilha



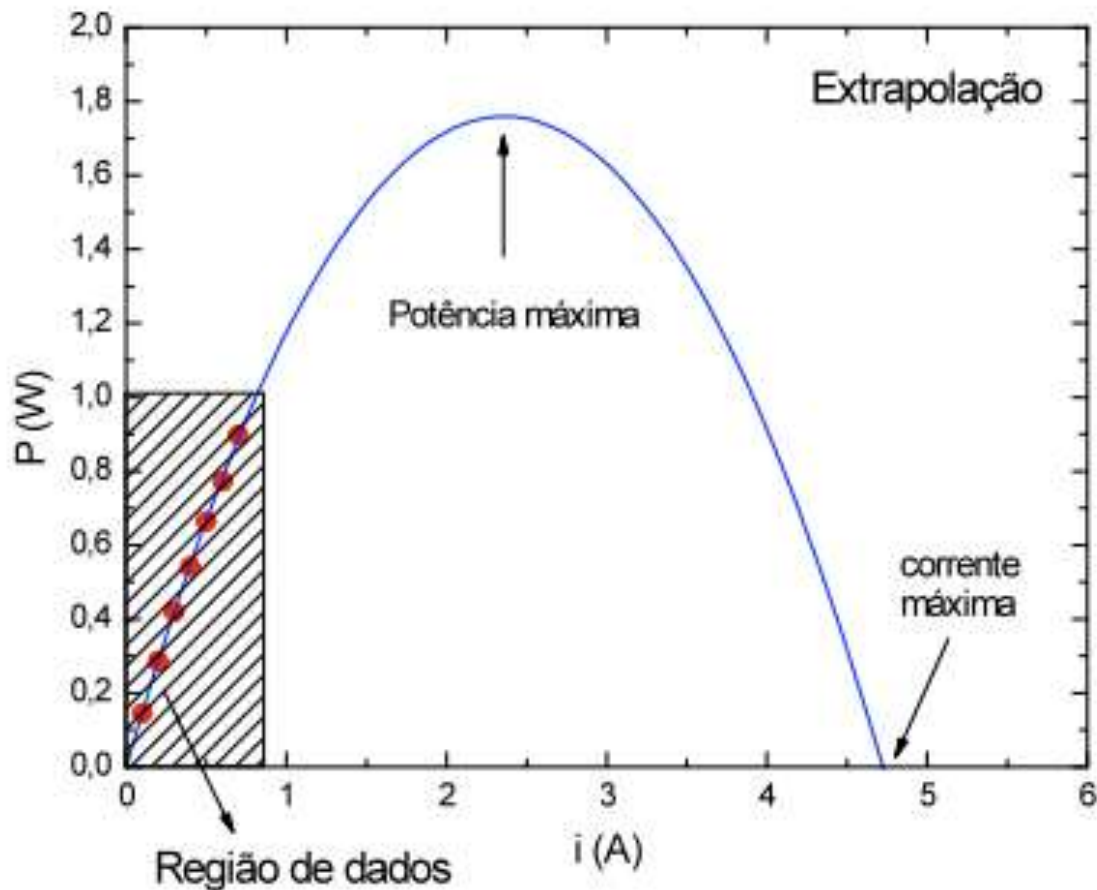
Porque a função seria uma reta?

Porque a potência cresceria com i^2 ?



Extrapolação de curvas (2)

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

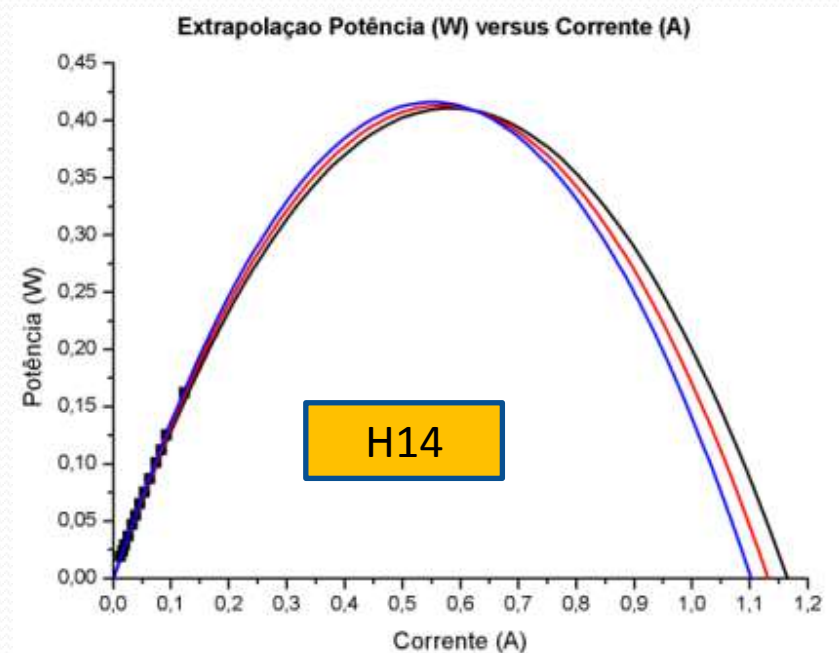
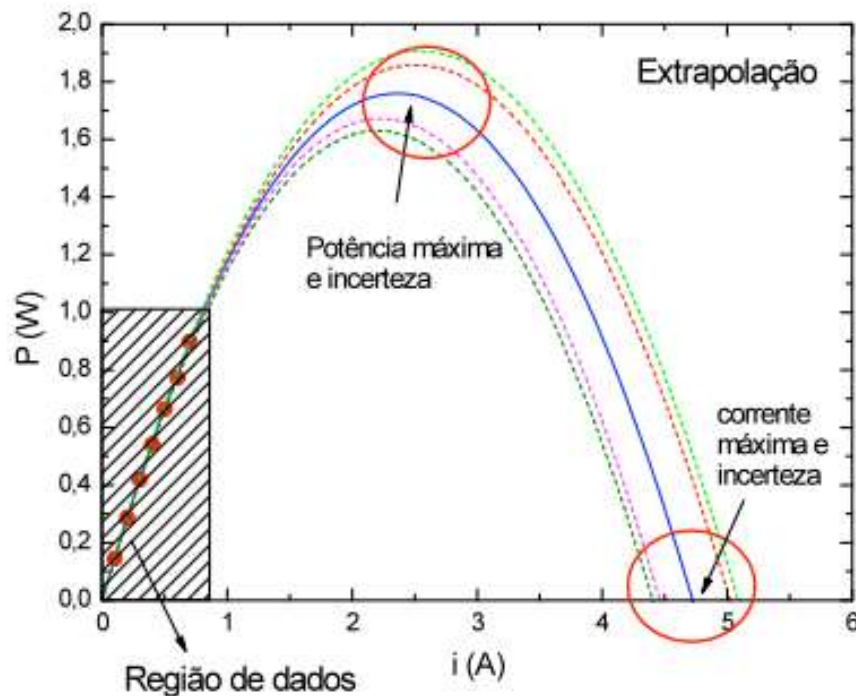


Extrapolação de curvas (2)

- Como obter a incerteza na potência máxima ou na corrente máxima? As seguintes curvas dão uma idéia:

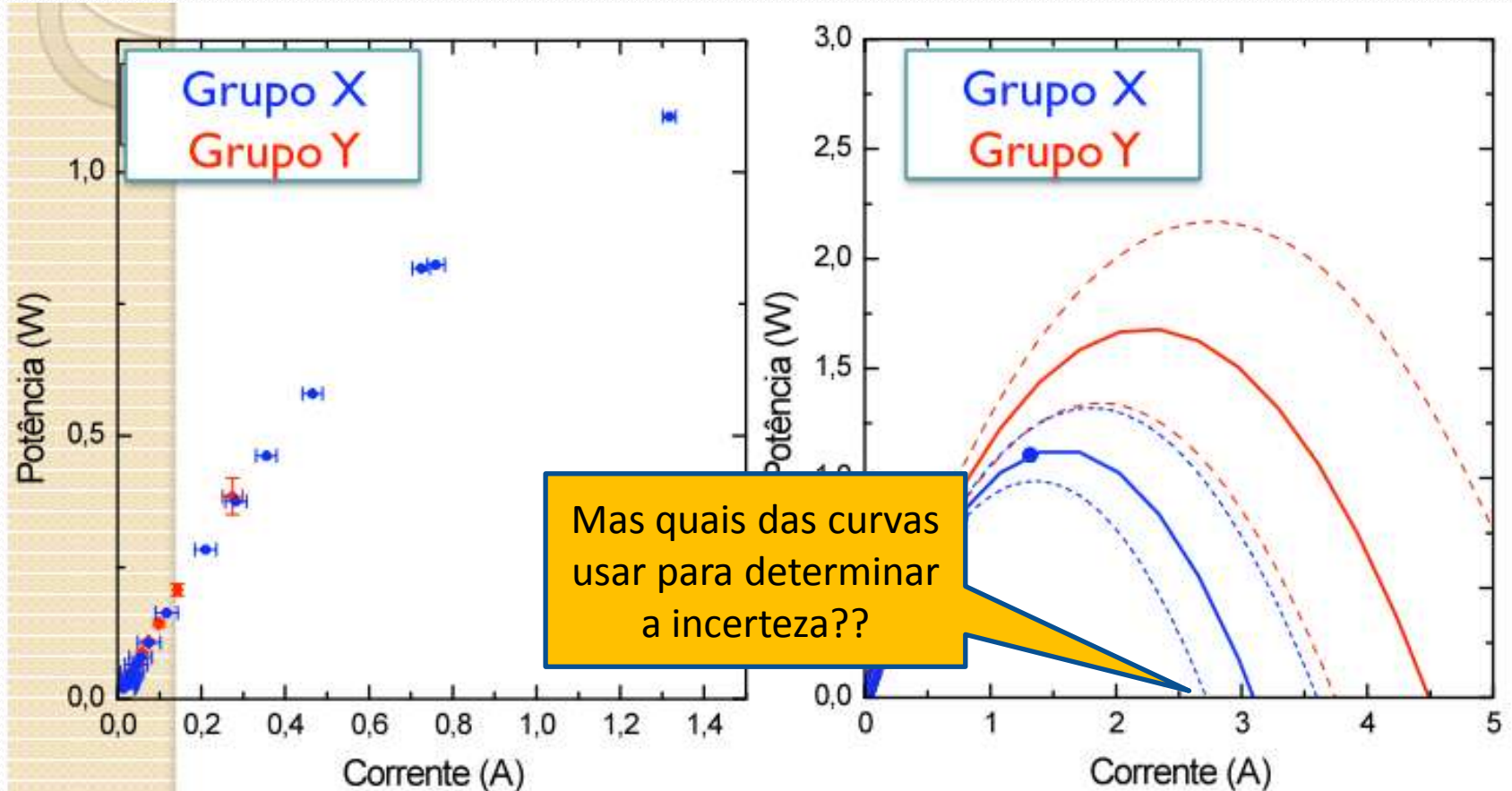
$$P(\varepsilon + \sigma_\varepsilon, r + \sigma_r); P(\varepsilon + \sigma_\varepsilon, r - \sigma_r)$$

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



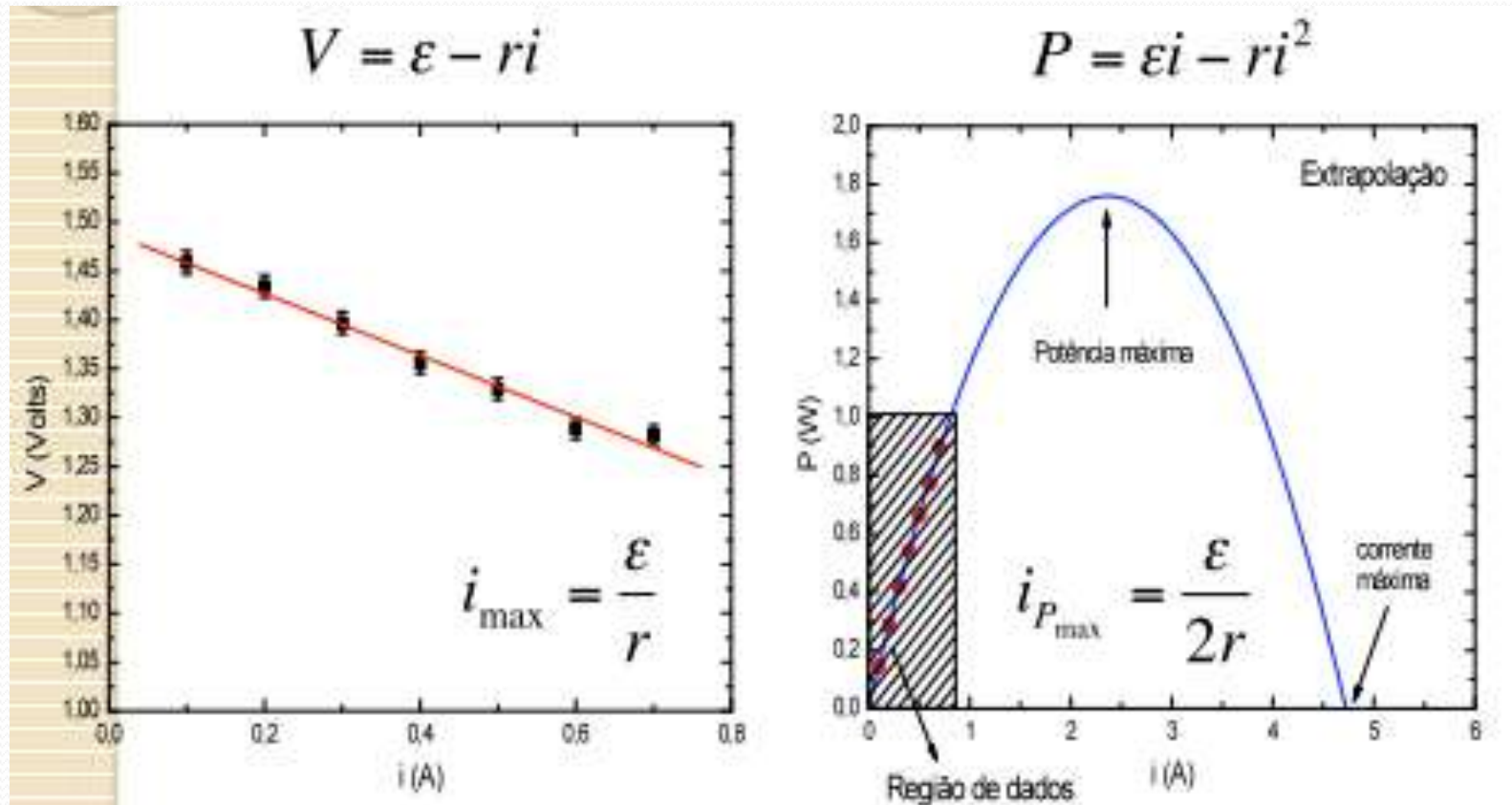
Extrapolação de curvas (2)

- Neste caso, fazia muita diferença medir correntes um pouco maiores, pois reduzia a distância ao ponto onde queríamos extrapolar!



Comparação de resultados: teste de consistência da análise

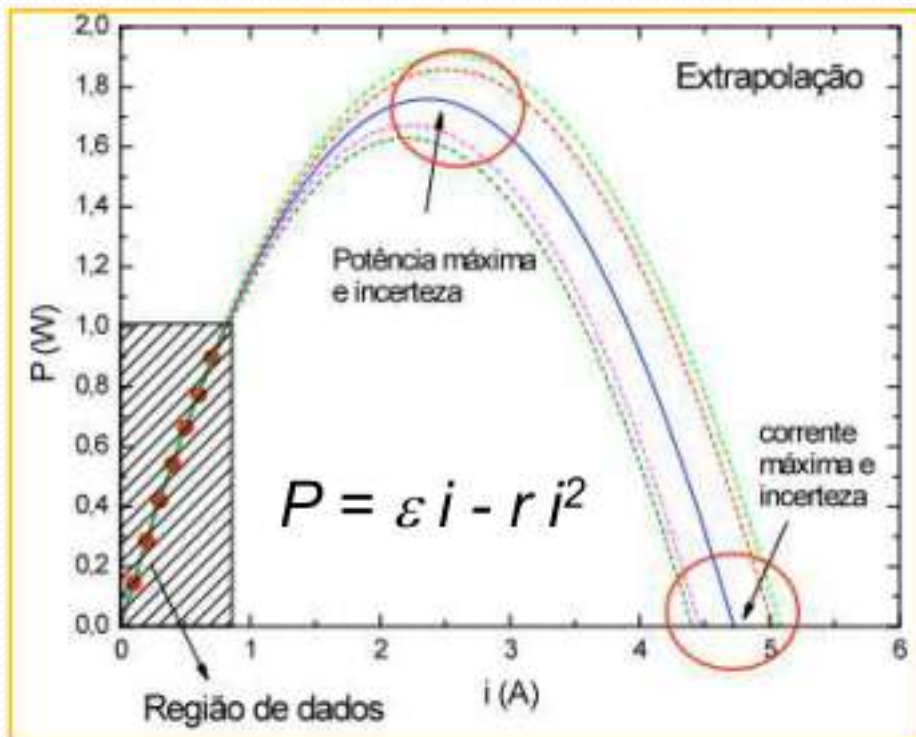
- Os parâmetros obtidos dos ajustes são consistentes?



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 $P = v \cdot i$ e $\Delta P = P \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}$
 - P , i , e suas incertezas, NÃO são independentes!!



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

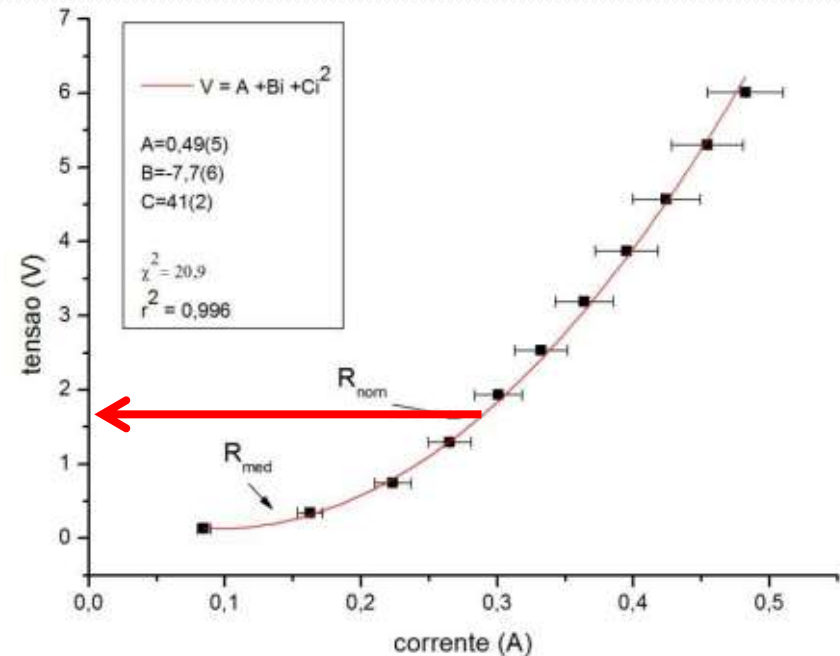
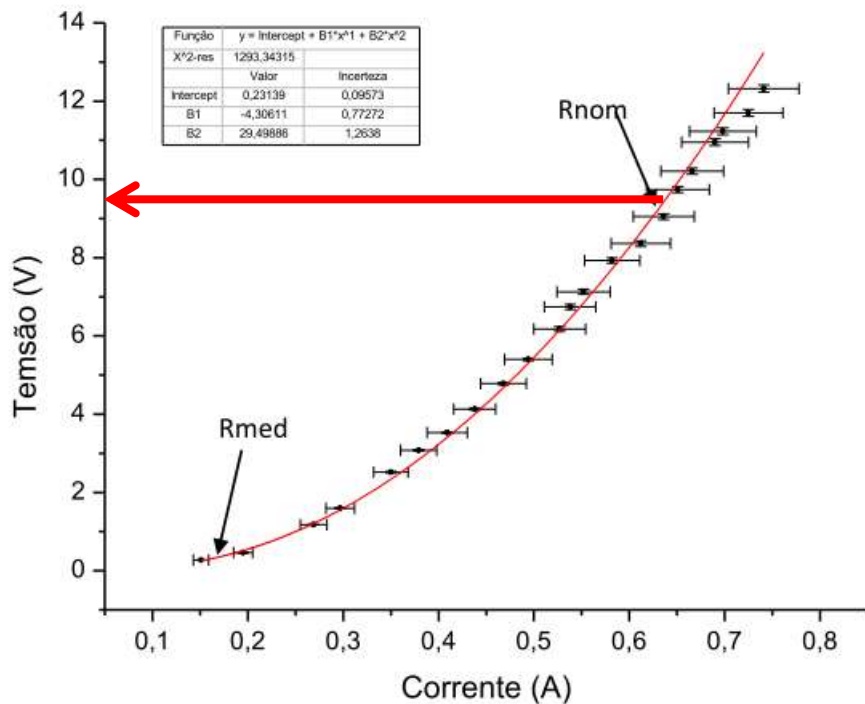
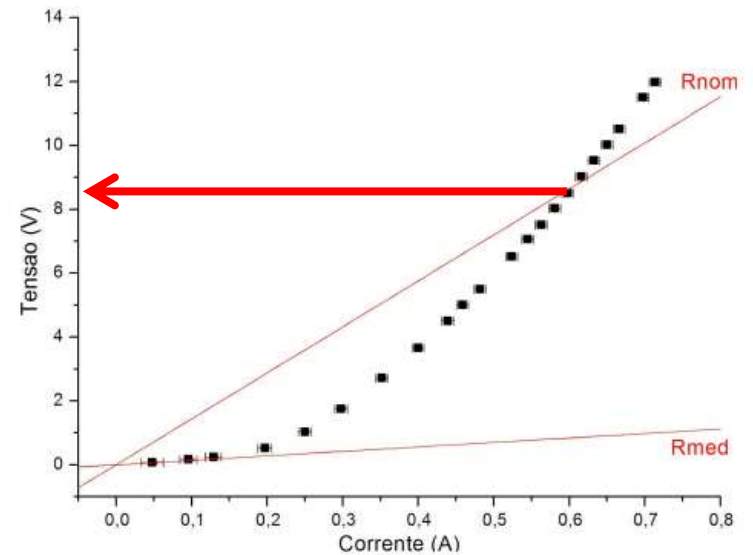
O correto é usar algo como **Máximo Vero Semelhança**...

Atividades da Semana (parte 3)

- Para uma lâmpada de carro de 10W e 12V, obtenha o valor da resistência usando:
 - O ohmímetro (R_{med})
 - A potência nominal (R_{nom}).
- Medir a curva característica desta lâmpada
 - Qual circuito (1 ou 2) é mais adequado? Discuta.
 - Levantar a curva característica desde tensões baixas na lâmpada até a tensão de operação (na lâmpada).
- A lâmpada é ôhmica? Discuta quantitativamente!
- Indique no gráfico de $V \times i$, onde estão R_{med} e R_{nom} medidos acima.

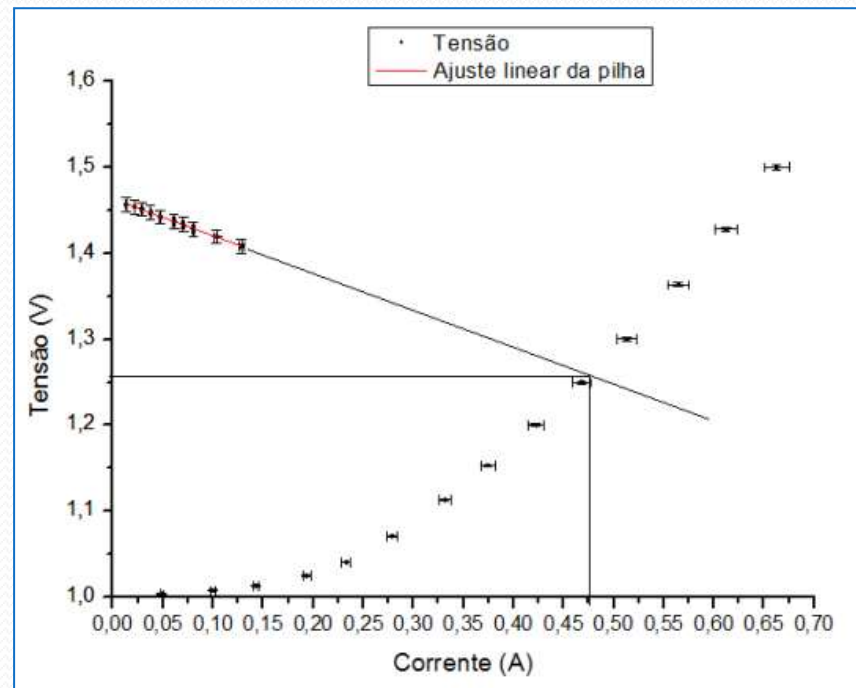
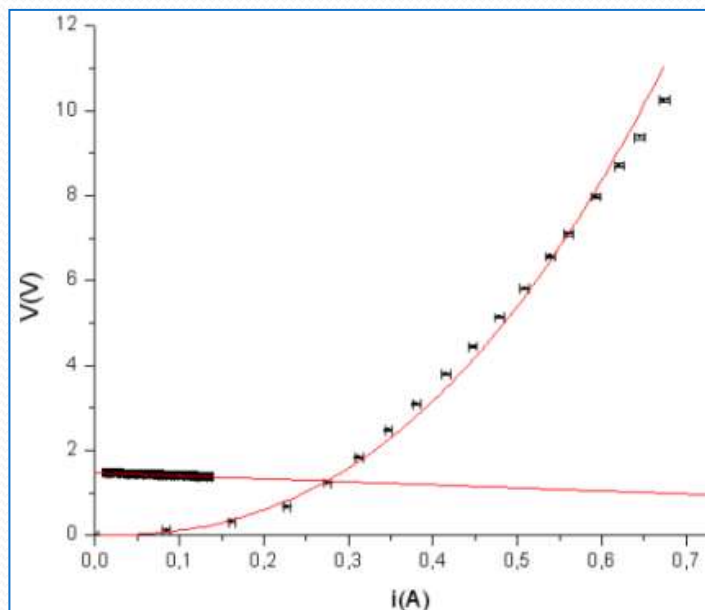
Lâmpada de 12V

- Se a lâmpada era de 12V, então o Rnom tinha que estar em 12V, certo???



Ponto de operação

- E se a gente ligasse a pilha na lâmpada de 12V, o que aconteceria? Como prever qual a tensão na lâmpada?
- Simples, basta sobrepor as duas curvas características!



A lâmpada

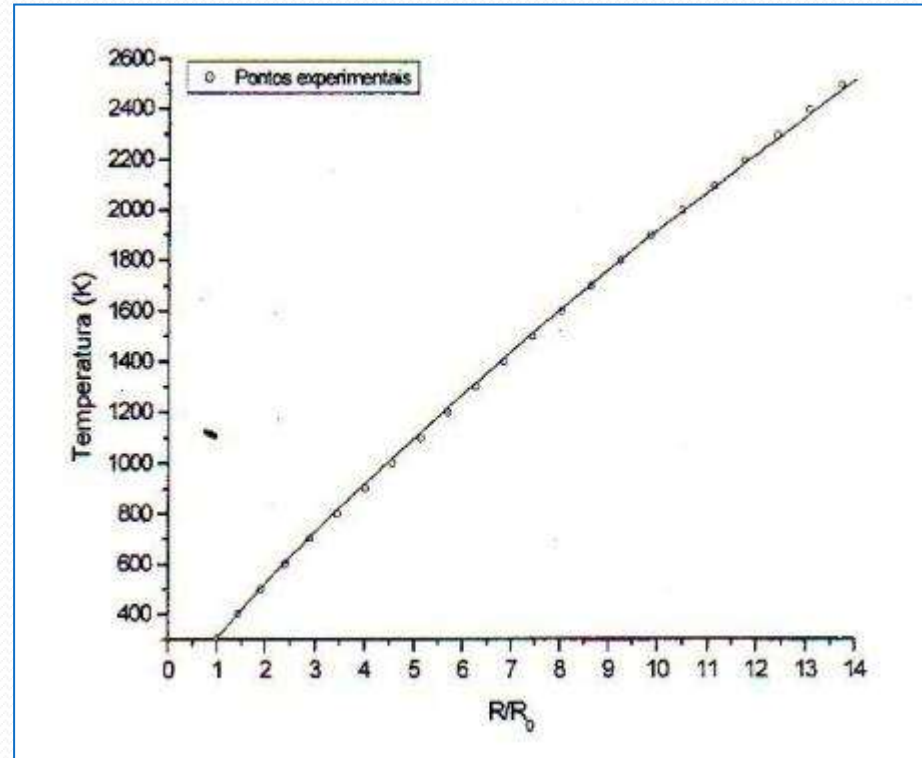
- As nossas medidas confirmaram nossa hipótese:
 - A lâmpada NÃO é um resistor ôhmico.
- De fato, a resistência de um filamento de tungstênio varia com a temperatura, como mostram vários trabalhos científicos:
 - W. E. Forsythe and A. G. Worthing, *Astrophys. J.* 61, 146 (1925).
 - H. A. Jones, *Phys. 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