



2011
PROF: ELOISA
www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex/
<ftp://lfa.if.usp.br/LabFlex/eloisa>

Curvas Características: Lâmpada de filamento e gerador

Geradores

- Um gerador é qualquer dispositivo que possa gerar e manter uma tensão elétrica a partir da conversão de outras formas de energia.
- Um **gerador ideal** é aquele que fornece sempre a mesma diferença de potencial independente da carga: ele mantém a diferença de potencial para qualquer valor de corrente.

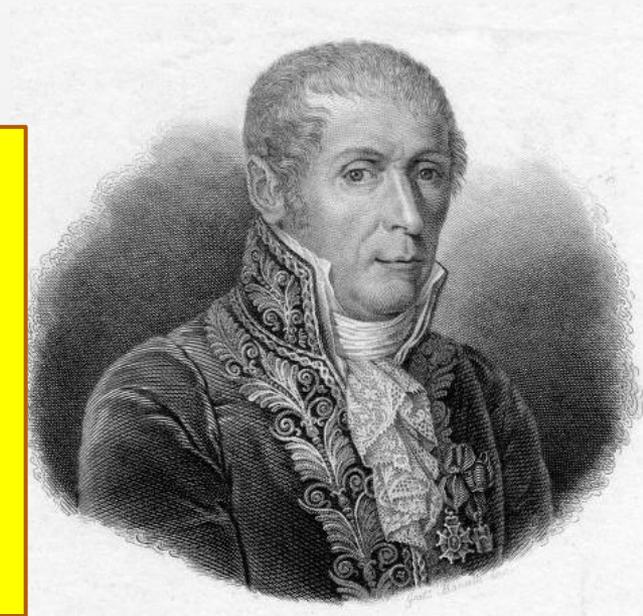
Esse gerador não existe, é um modelo que é útil quando se vai modelar um gerador real

Geradores

- A pilha é um gerador que converte energia química em energia elétrica.
 - Uso de reações químicas para gerar eletricidade data desde o Egito antigo
 - Alessandro Volta inventou a pilha: (1798)
 - Duas tiras de metais diferentes em solução levemente ácida → tensão elétrica

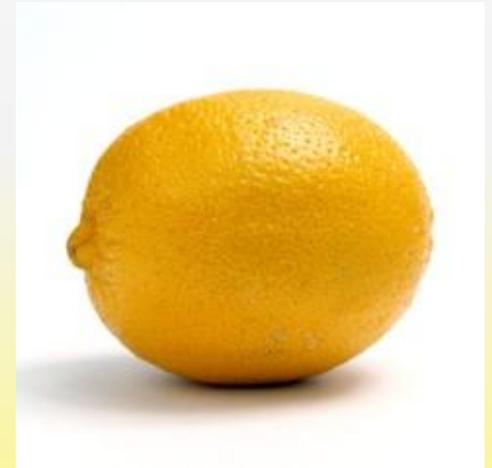
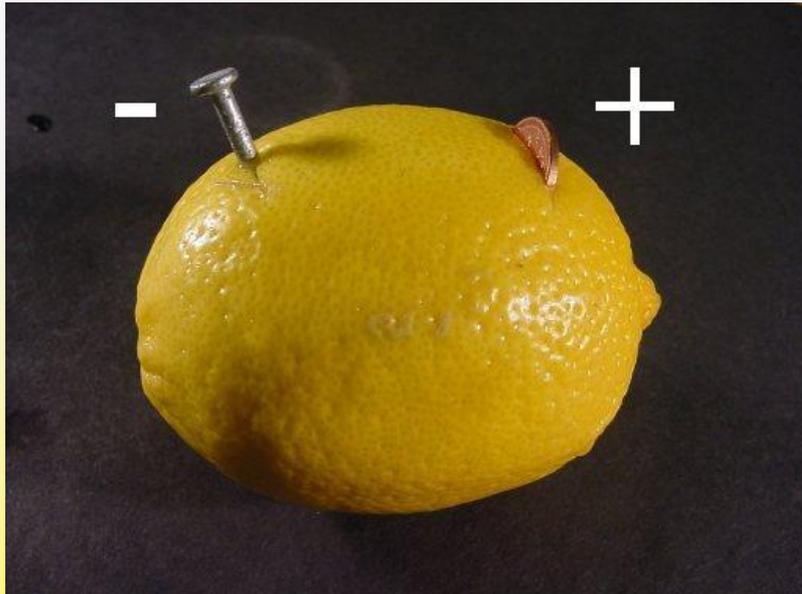


1746 – 1827: prof de física na escola real
zinc descobriu o metano,
 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ de estudar a carga
sulfuric acid e descobriu a Lei da
 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ esses trabalhos a
o volt.
Inventou a pilha voltaica com Zn e Ag



Construindo um gerador

- Geradores podem ser dispositivos muito simples:
 - Pegue um prego galvanizado (recoberto de zinco)
 - Moedas de cobre
 - + 1 limão (de preferência um siciliano)
- E você tem um gerador!



Construindo um gerador

- O prego e a moeda são os eletrodos do seu gerador e o suco do limão é o eletrólito:
 - Os elétrons vão fluir do terminal negativo para o terminal positivo através do eletrólito

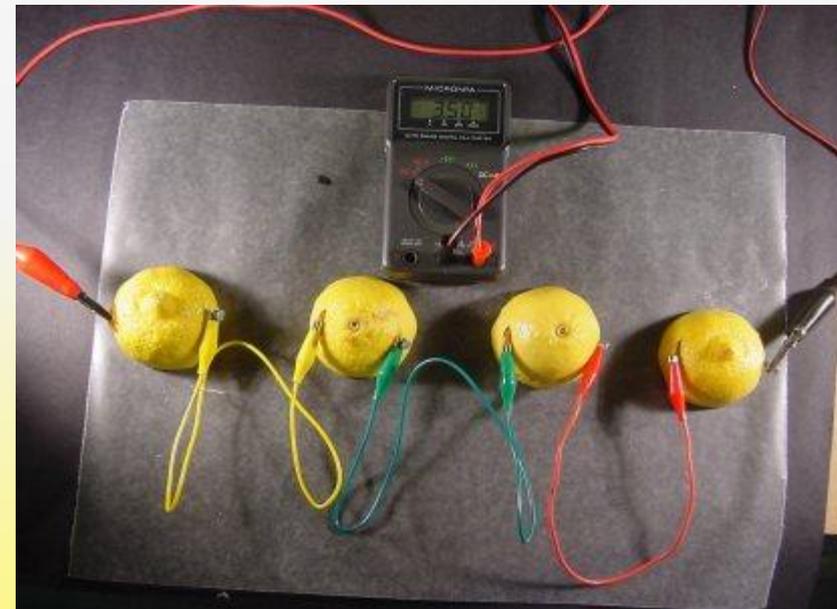
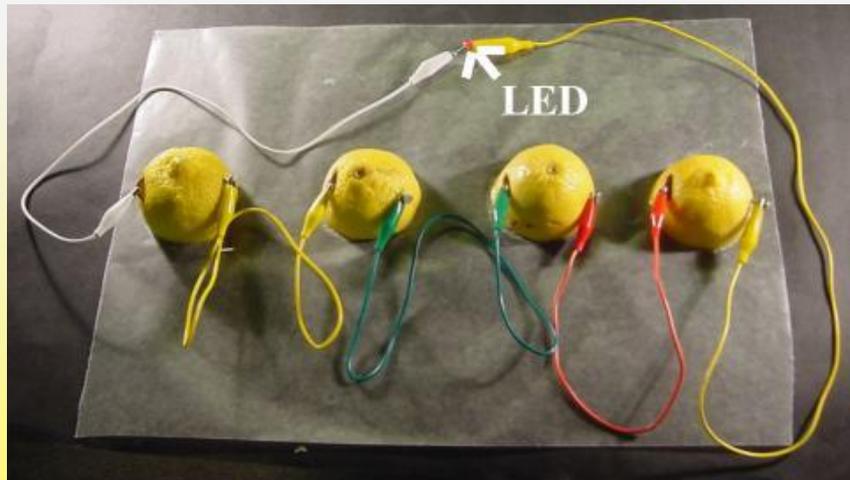
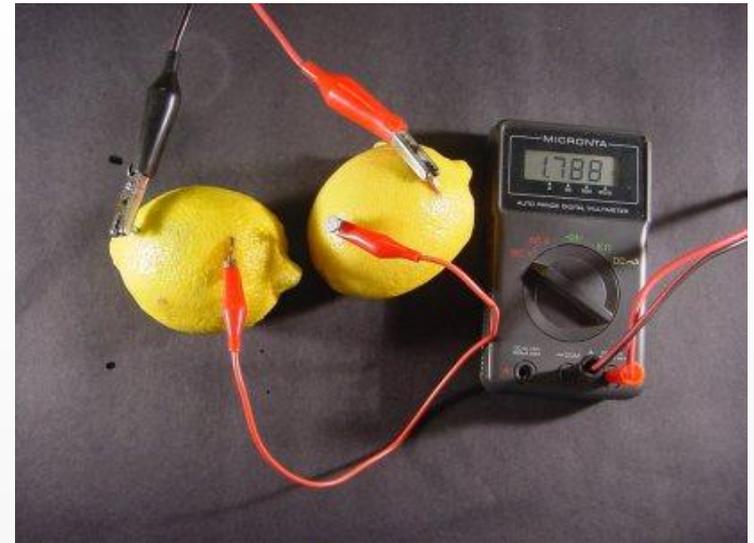
limão siciliano
de 0,9V



Gerador de limão:

- Você pode colocar geradores em série para aumentar força eletromotriz disponível:

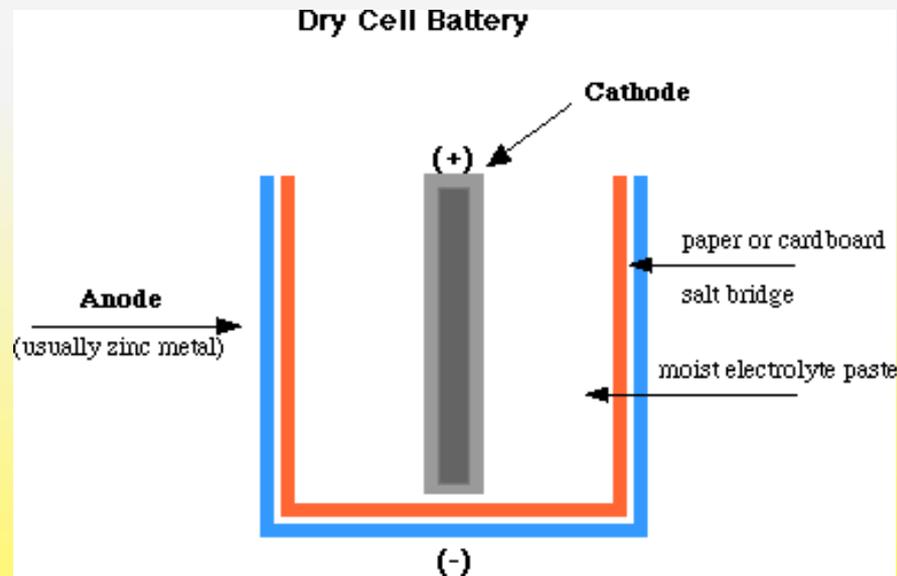
4 limões em série proporcionam uma voltagem de 3,5 volts e são capazes de acender um led de baixa potência



Vocês vão trabalhar com uma pilha

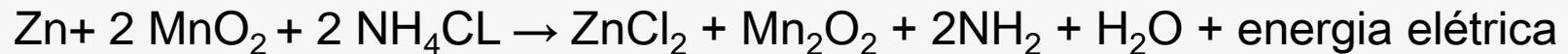
■ Pilha comercial:

- Pilha seca -> Georges Lelanché em 1866
- ela produz eletricidade quando um lado do anodo e um lado do catodo são imersos num eletrólito sob forma de pasta (cloreto de amônia, óxido de manganês ou cloreto de zinco)



A pilha ácida

- A pilha moderna usa, em geral, zinco e cobre (ou carvão) como eletrodos. O zinco é o elemento principal para gerar a tensão entre os terminais
 - A tensão é sempre **1,5 V**, independente do tamanho da pilha
→ características químicas dos eletrodos



-vida média curta em uso e de prateleira
-zinco se torna poroso
-vasa material corrosivo

A pilha alcalina

- **Pilha alcalina:** o cloreto de amônia é substituído por por hidróxido de potássio (**KOH**) ou hidróxido de sódio (**NaOH**):



- A pilha alcalina dura muito mais que a ácida, porque o **Zn** é corroído muito mais lentamente num meio alcalino que num meio ácido, não vasa material corrosivo, melhor performance em baixas ou altas temperaturas, mantém a potência por mais tempo, etc.

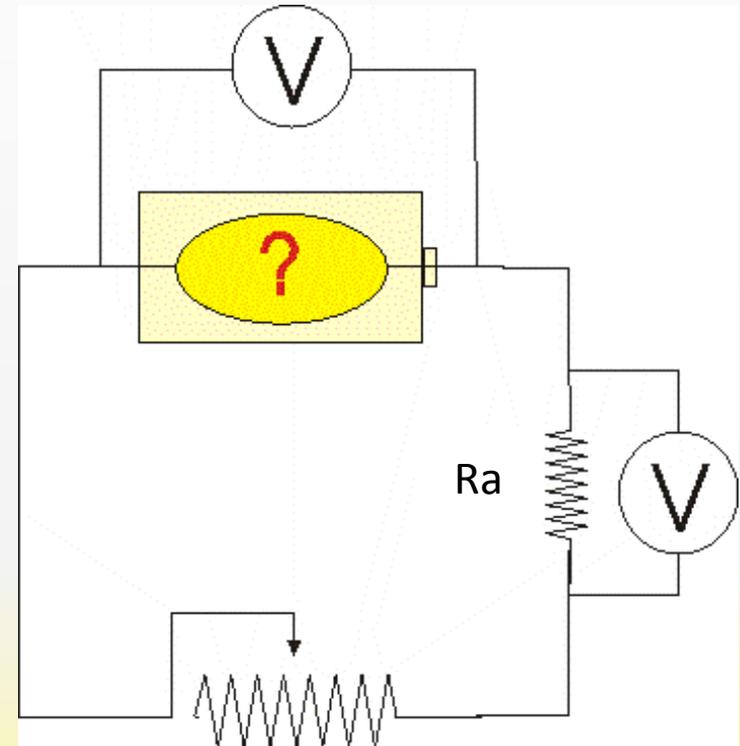
Pilha seca

- Vamos “bolar” um modelo que simule o comportamento elétrico de uma pilha comum.
- Tendo o modelo, calculo com ele parâmetros mensuráveis.
- Em seguida, é preciso testá-lo. Como?
 - Tomar dados e analisá-los.
 - Compará-los com as previsões do modelo.

por exemplo: o modelo deve explicar porque você não leva choque se pegar nos **2** polos (2 extremidades) da pilha

Medindo curvas características de pilhas

- A pilha é um gerador cuja tensão é fixa.
- Como fazer uma medida de tensão em função da corrente?
 - Resistor variável
 - O amperímetro pode ser danificado se a escala for ultrapassada, para evitar:
 - Substituir por um resistor auxiliar R_a + Voltímetro



Resistor
variável

Medidas: pilha

- O resistor variável:
 - pode usar reostatos com valores máximos de **89Ω** ou **300Ω**
 - Pode usar resistores em série e/ou paralelo – há resistores de muitos valores diferentes
- Planeje sua experiência:
 - Qual a ordem de grandeza das tensões que vai medir?
 - Qual a ordem de grandeza das correntes que vai medir?
 - Quais os intervalos?

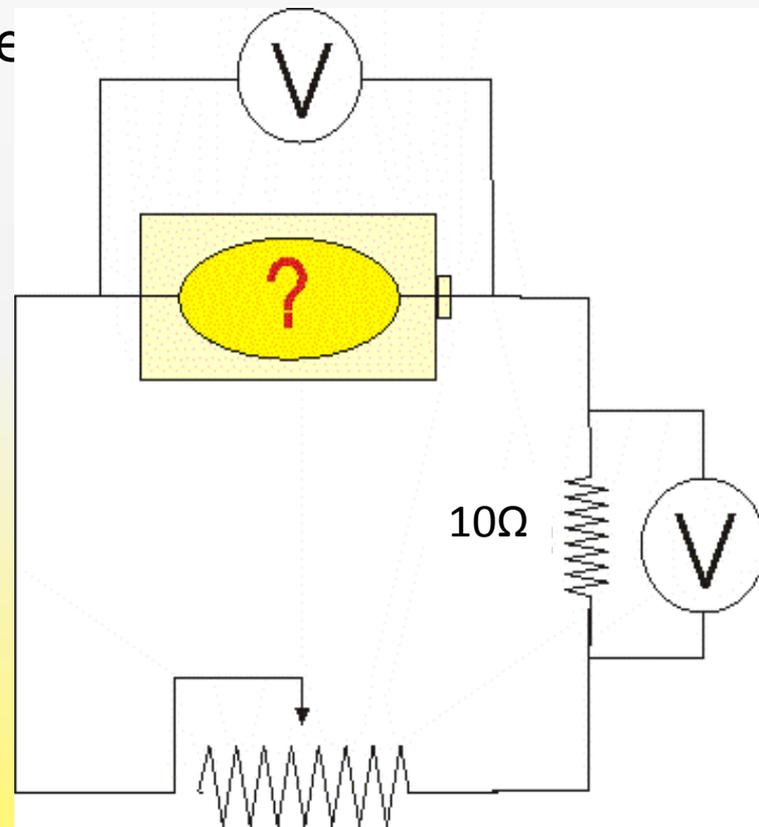
1 Para esta semana: pilha

- 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?

Pilha: o circuito

- Fonte não precisa, aliás não pode. Porque?
- Resistor variável de $R_{\max} \sim 89$ ou 300Ω .
- Resistor auxiliar de 10Ω , $10W$
- 2 voltímetros que podem ser os da inte

- Use o programa Origin!
- Se precisar de ajuda, os monitores estão aí para isso e uma vez que vocês aprendem a usar esse programa é pouco provável que queiram usar outro....





Dicas

- Extrapolações podem e devem ser feitas, desde que elas tragam um ganho no entendimento daquilo que está sendo estudado:
 - mas tome cuidado, extrapolações são perigosas, sabe porque?
- Use o programa Origin
- Se precisar de ajuda, os professores e monitores estão aí para isso e uma vez que vocês aprendem a usar esse programa é pouco provável que queiram usar outro....

Parte 2 da experiência

- Estudo da lâmpada incandescente



O que é uma lâmpada? Para que ela serve?



- Para que serve é fácil: para tornar objetos visíveis ao olho humano.
- Como o olho vê?
 - Quando o objeto reflete
 - ou emite luz de comprimentos de ondas aos quais sensível (espectro visível)
- Nas temperaturas em que vivemos ou (relativamente) pouco acima, a maioria dos objetos são visíveis pela luz que refletem
- Em temperaturas suficientemente altas eles passam a ter luz própria



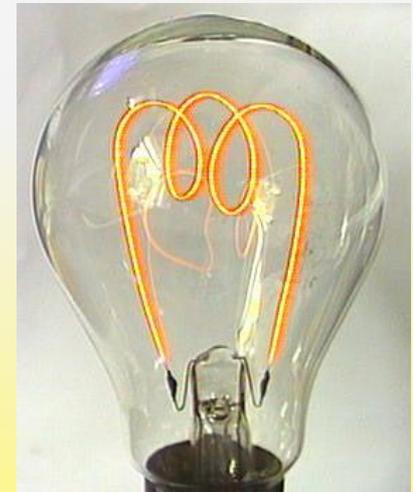
Sobre a lâmpada

- Uma lâmpada de filamento metálico: o filamento é um elemento resistivo não linear, embora a variação da resistência, nesse caso, seja efeito da variação de condições ambientais externas.
- Filamento mais comum é de tungstênio, ele é aquecido a uma temperatura suficientemente elevada para que luz visível seja emitida.
- O filamento é aquecido pela passagem de corrente elétrica.



Lâmpada incandescente

- **Lâmpada:** filamento metálico envolto por um bulbo de vidro selado que contém um gás a baixa pressão.
- **Tipos de lâmpadas de filamento:**
 - Lâmpadas a vácuo
 - Lâmpadas de gás inerte
 - Lâmpadas halógenas



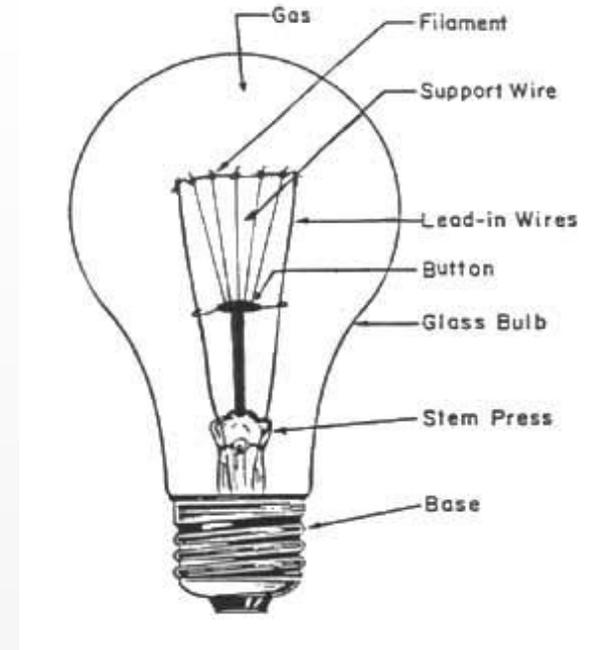
Lâmpadas a vácuo

- O bulbo de vidro, é evacuado a baixa pressão de maneira a 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.

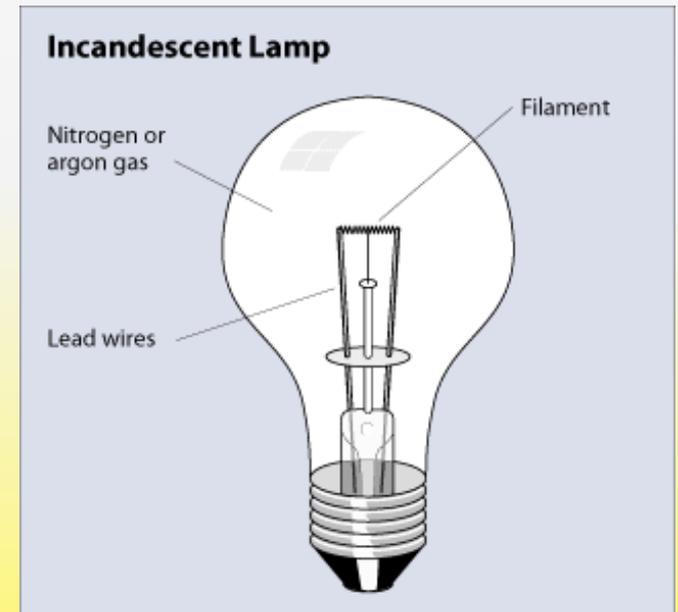
- **Desvantagem:** o metal do filamento sofre evaporação e se deposita nas paredes do bulbo, escurecendo-o. Quanto mais alta é a temperatura do filamento mais intensa é a evaporação e mais curta a vida do filamento.

Esse tipo de lâmpada é uma das fontes de luz mais ineficientes, mas é um bom aquecedor!



Lâmpada de gás inerte

- O filamento opera numa atmosfera de gás inerte (nitrogênio, argônio, criptônio ou xenônio), essa atmosfera dificulta a evaporação do filamento, sendo tanto mais efetiva quanto mais pesado é o gás.
- **Vantagem:** permite a operação em temperaturas mais elevadas (luz mais branca), o que produz mais luz por watt fornecido.
- **Desvantagem:** requer mais potência para operar na mesma temperatura que a lâmpada a vácuo, porque aquece o gás à sua volta perdendo mais calor para o meio ambiente



Lâmpada halógena

- É similar à lâmpada de gás inerte, a diferença é que contém uma pequena quantidade de um gás halógeno como o bromo. O gás inerte suprime a evaporação do tungstênio, enquanto que o gás halógeno reduz o depósito de tungstênio nas paredes do bulbo. Em geral tem um revestimento nas paredes laterais que reflete calor.
- **Vantagem:** a luminosidade é mais estável que a da halógena, e o filamento dura mais. Tem uma temperatura de cor mais elevada (mais para o amarelo e alaranjado).

O revestimento direciona calor para o filamento, mantendo-o aquecido com menor consumo de energia. Reproduz melhor as cores dos objetos.

- **Desvantagem:** é consideravelmente mais cara, converte fração consideravelmente maior da energia em calor.



A resistência da lâmpada

- De acordo com o fabricante, uma lâmpada de **100W** funciona em:
 - **$V = 110\text{ V}$ e $P = 100\text{ W}$**
 - Se usarmos **$P = V^2/R$** obtemos:
 - **$R = 121\Omega$.**
- Vocês mediram com o ohmímetro a resistência da lâmpada de **100W**, quanto deu?
- Porque a discrepância entre a medida realizada e o valor calculado a partir dos dados do fabricante?

Curva característica da lâmpada

- Para descobrir o porque da discrepância no valor da resistência vamos estudar a lâmpada:
 - **Levantando a sua curva característica**
- Como esta potência transferida à lâmpada é utilizada:
 - **Produção de luz e calor**
 - Isto afeta as características da lâmpada? Como?

Potência

- A potência elétrica transferida de um circuito para o filamento de uma lâmpada, percorrido por uma corrente i_L e sob tensão V_L é dada por:

$$P = V_L i_L$$

- A energia correspondente a essa potência se transforma em calor no filamento, e, em regime estacionário, parte é perdido sob forma de calor e parte é irradiado.

A conversão de energia na lâmpada

- **◆ Emissão de radiação eletromagnética**, conforme a lei de da radiação de corpo negro (emissão de luz visível, infravermelha ou ultravioleta).
- **◆ Condução de calor** aos corpos sólidos adjacentes.
- **◆ Condução de calor a um fluido (gás ou líquido) e convecção do fluido aquecido.**
 - No caso da lâmpada de gás inerte, que vamos utilizar, a energia é transferida, por emissão de radiação eletromagnética: infravermelho e visível e convecção de calor através do gás.

As medidas

- Levantar a curva característica de **2** lâmpadas:
 - lampadinha de **1,2V** de lanterna
 - e de uma lâmpada de **12V, 10W** de freio de automóvel
- Como esse tipo de resistor é variável, vamos colocar um resistor de **10 Ω , 10W** para proteger a fonte e permitir a leitura da corrente, nos circuitos.

Para as medidas: ~~amperímetro~~

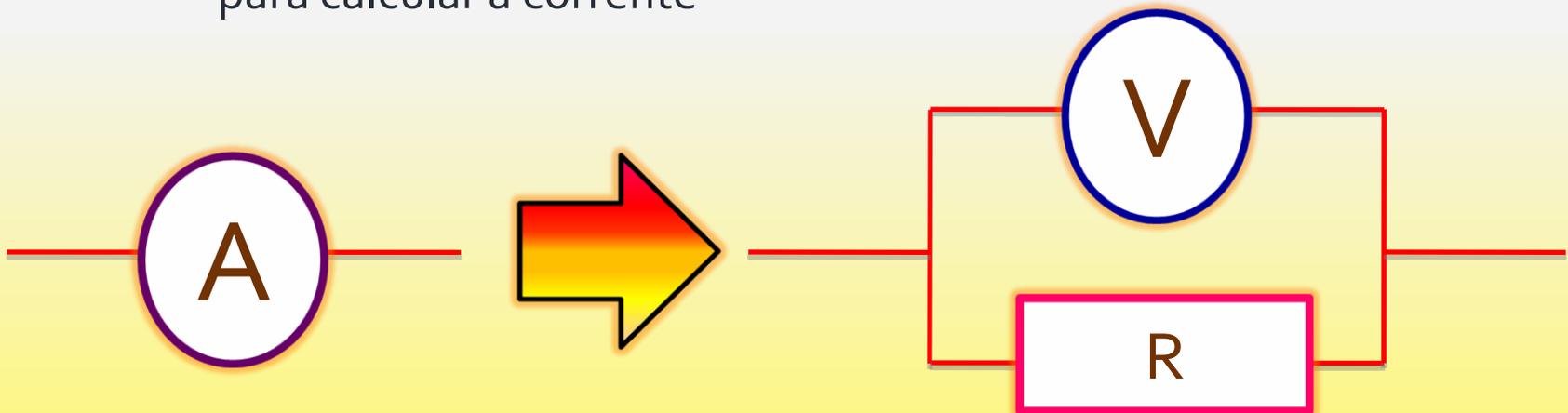
- Amperímetros são instrumentos sensíveis

- Evite usar amperímetros
- O que fazer?
 - Substituir um amperímetro por um resistor em paralelo. Meça a voltagem

temos o resistor de proteção,
podemos usá-lo para medir a
corrente

$$R = V/i$$

para calcular a corrente



Material com as lâmpadas:

- Meça a curva característica das lâmpadas usando:
 - fonte de **30V**
 - resistor auxiliar **10Ω, 10W**
 - **2** voltímetros na escala apropriada
 - A curva deve ir até **~1,5 V** para a lampadinha de **1,2V**
 - E até **~12V** na de **12V, 10W**
- Quantos pontos?
 - o necessário para ter uma curva bem definida

2 Para esta semana: lâmpadas

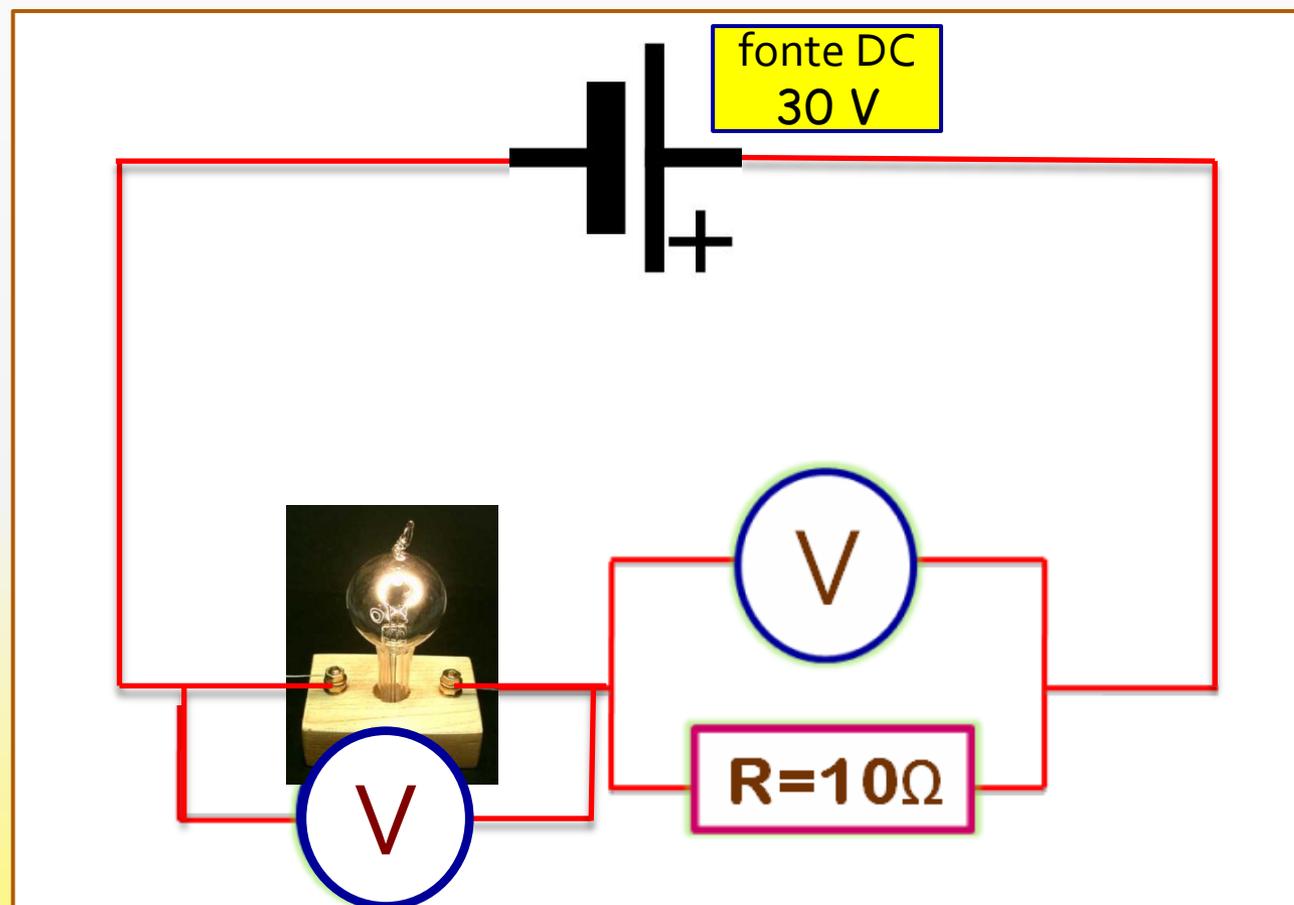
- Meça a curva característica da lâmpada de **12V, 10W**:
 - não ultrapasse **12V**: **$R_a=10\Omega$, 10W $\rightarrow i_{\max}=1A$** , isso não deve ser ultrapassado mesmo que não chegue a **12V** na lâmpada
 - faça o gráfico e discuta os erros
 - faça a curva de potência como função da resistência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



Importante!

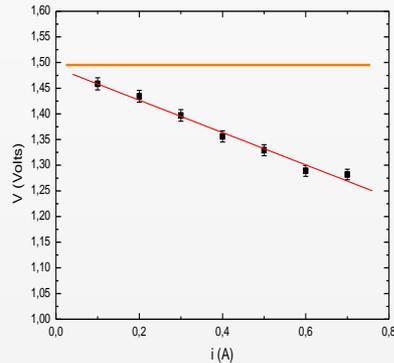
- **Importante** : cada vez que subir a voltagem tem que esperar um pouquinho até a temperatura do filamento estabilizar para fazer a medida. Estará estabilizada quando a leitura do voltímetro sobre a lâmpada estiver estabilizada.
- 

O circuito:

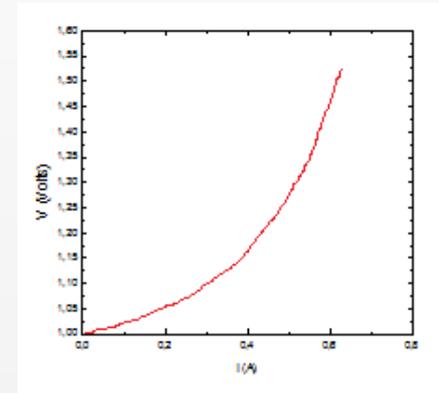


Dá para prever qual vai ser a tensão na lâmpada?

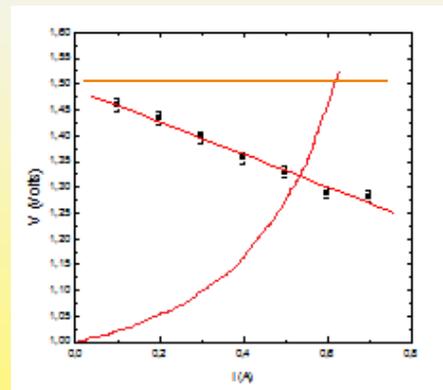
Sabemos como a pilha funciona: temos a sua curva característica.



E também como a lâmpada funciona: a curva característica



Vamos sobrepô-las na mesma escala: veja a seguir



O ponto de operação do circuito

- O que significa o ponto de intersecção das curvas características do gerador com a lâmpada?
 - nesse ponto a tensão na lâmpada é exatamente a tensão que a pilha está fornecendo:

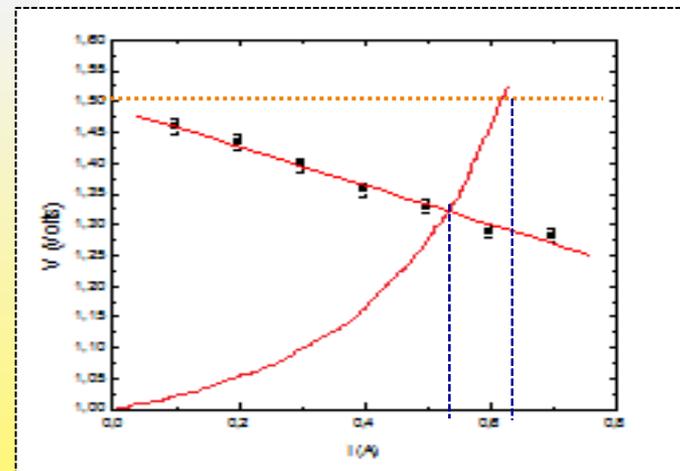
$$V = Ri$$

essa não é a Lei de Ohm, vale para qualquer resistor

- Se eu ligar a lâmpada na pilha, tensão na pilha deve ser igual à tensão sobre lâmpada .

Se a pilha for um gerador ideal de 1,5V, $V_{\text{lâmpada}}$ será 1,5V.

Mas e se a pilha não for um gerador ideal?



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.

Boa semana!

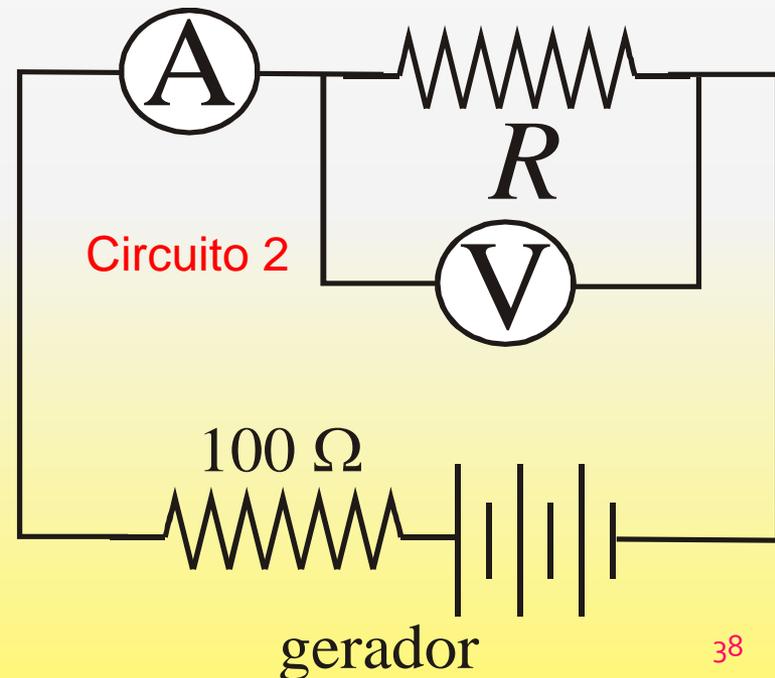
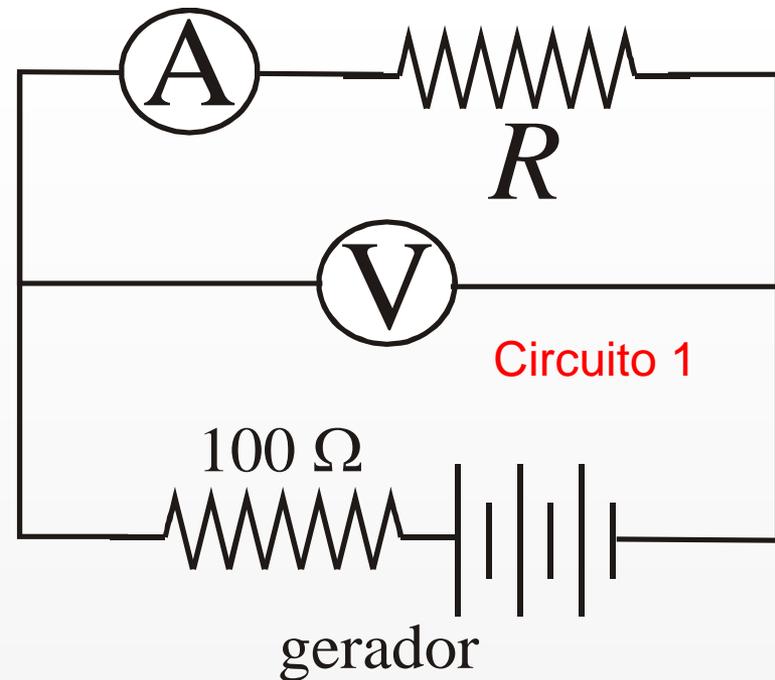


Da semana passada: a questão do multímetro

- Em um multímetro ideal
 - $R_V = \text{infinito}$
 - $R_A = 0$
- Em um multímetro **real** isto não ocorre
 - Devemos avaliar qual é a condição de uso mais próxima do ideal.
 - Se não for possível, devemos conhecer as características do circuito e corrigir os dados.

Experiência da semana passada

- Dois circuitos distintos que, em situações ideais, seriam idênticos
- A pergunta é: há situações em que um é mais adequado que o outro?
- **Vamos verificar**



Circuito 1

- A corrente medida é a própria corrente no resistor R :

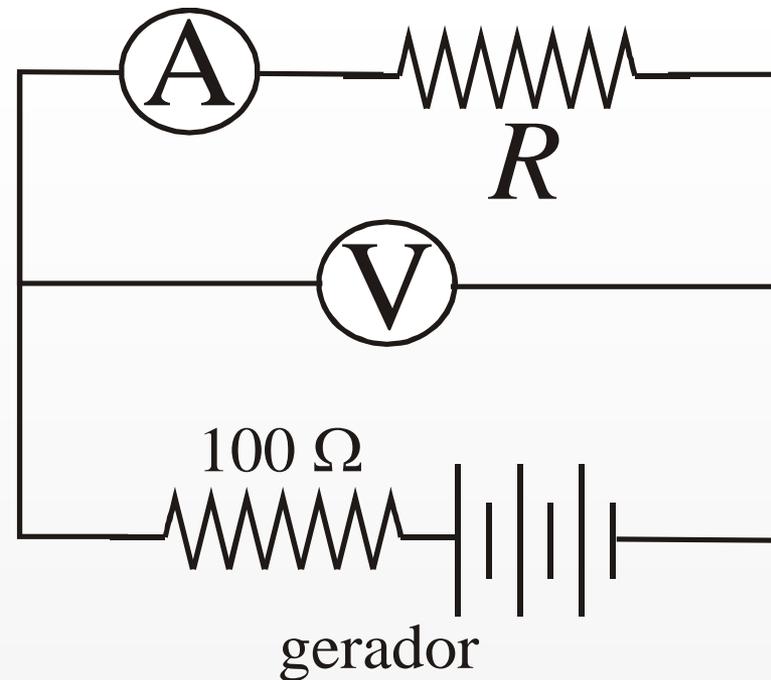
$$i = i_A = i_R$$

Mas a tensão medida é a soma das tensões em R e A :

$$V = V_A + V_R$$

Portanto:

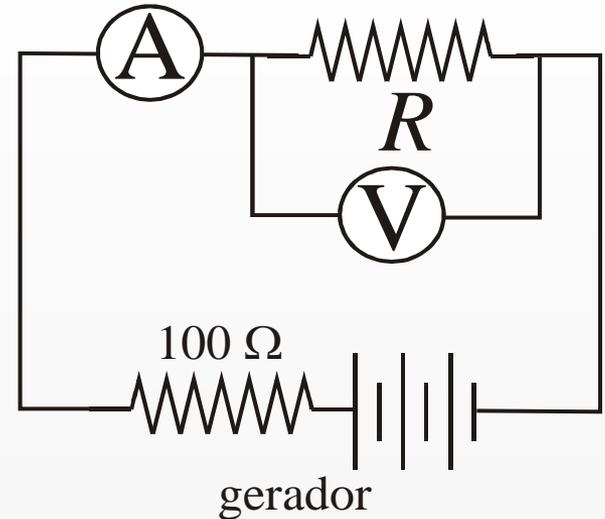
$$R_{medido} = \frac{V}{i} = \frac{V_A + V_R}{i} = R_A + R$$



Circuito 2

- A tensão medida é a própria tensão no resistor **R**:

$$V = V_R$$



- Mas a corrente medida é a soma das correntes em **R** e **V**:

$$i = i_V + i_R$$

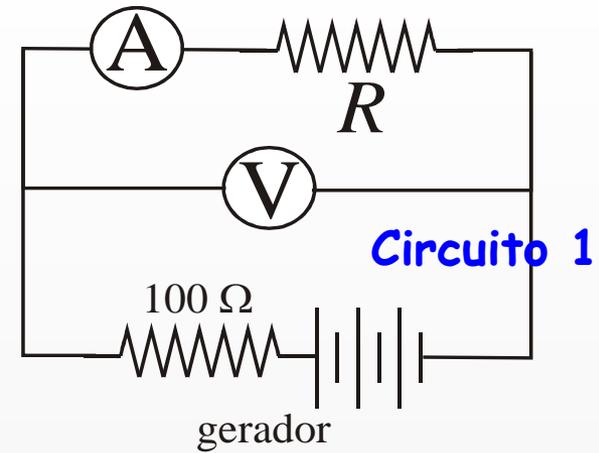
Portanto:

$$R_{medido} = \frac{V}{i} = \frac{V}{i_V + i_R} \Rightarrow \frac{1}{R_{medido}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}$$

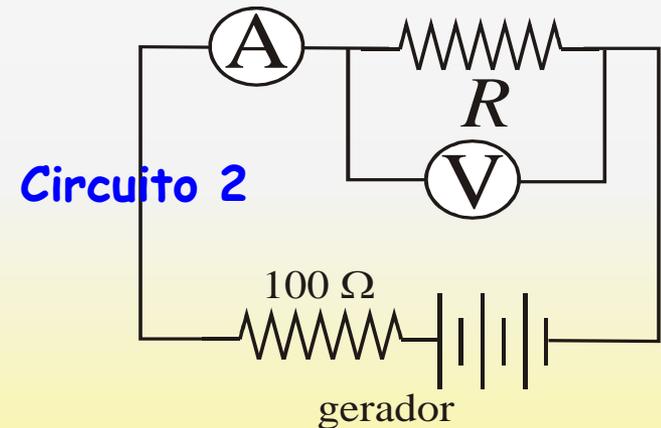
$$R_{medido} = \frac{R_V R}{R_V + R}$$

Conclusão

- Se $R \sim R_V$ e portanto, $R \gg R_A$, o **primeiro** circuito é mais adequado: $R_{med} = R_A + R \sim R$
- Se $R \sim R_A$ e portanto, $R \ll R_V$ o **segundo** circuito é mais adequado: $1/R_V \sim 0 \gg R_{med} \sim R$
- Mas, como vamos escolher se não sabemos de antemão o valor das resistências que vamos medir ?



$$R_{medido} = R_A + R$$



$$\frac{1}{R_{medido}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}$$

Planejando a experiência: qual circuito?

- **Podemos medir experimentalmente**
 - Realizamos vários experimentos, similares aos que foram feitos até observar desvios (resíduos) incompatíveis com o esperado
- **Resolver teoricamente**
 - Sabemos resolver o circuito teoricamente, incluindo as resistências internas (ou outros efeitos) dos aparelhos de medida, o que pode tornar o cálculo muito trabalhoso.
- **Simulações**
 - Em geral o caminho mais rápido.

O que é uma simulação?



Vamos simular o circuito 2

■ Dados de entrada

- V_G (tensão no gerador)
- R_p , R_A , R e R_V

■ Conhecimentos teóricos

- Definição de resistência elétrica:

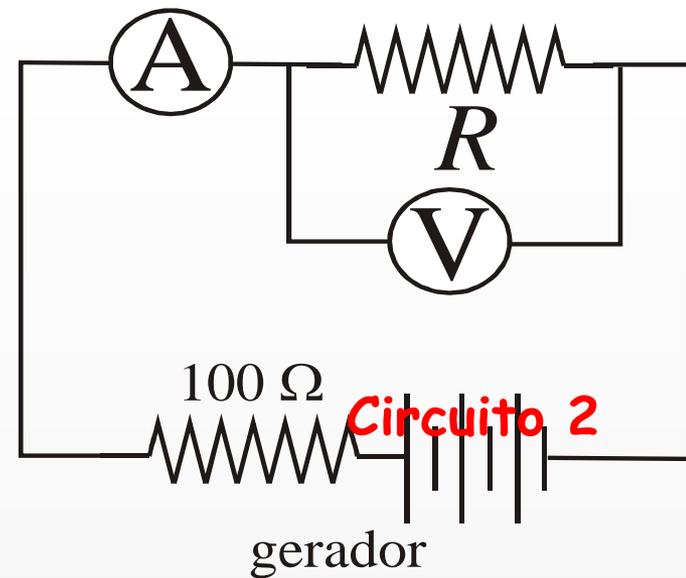
$$R_x = \frac{V_x}{i_i}$$

- Associação de resistores (série e paralelo)

■ Conhecimentos experimentais:

- Incertezas dos instrumentos:

$$\sigma_V = 0.8\% \cdot V \quad \sigma_i = 0.08\% \cdot i$$



Vamos simular o circuito 2

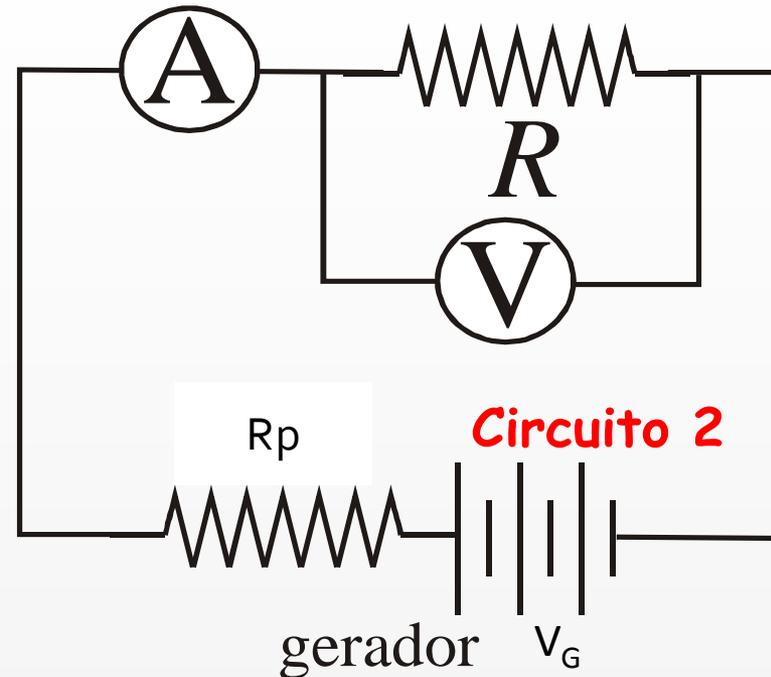
- Vamos calcular a corrente total no circuito:

$$i_{\text{real}} = \frac{V_G}{R_{\text{EQ}}}$$

- A resistência equivalente é:

$$R_{\text{EQ}} = R_P + R_A + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}}$$

- A corrente total é a própria corrente medida pelo amperímetro, a menos das incertezas.



Vamos simular o circuito 2

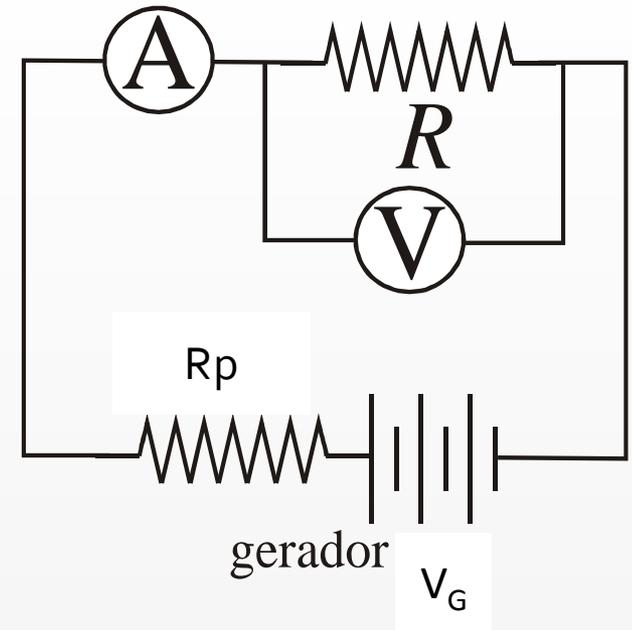
- Precisamos agora calcular a tensão medida pelo voltímetro:

$$V_{\text{real}} = V_G - V_{R_P} - V_A$$

- Quem é V_{R_P} e V_A ?

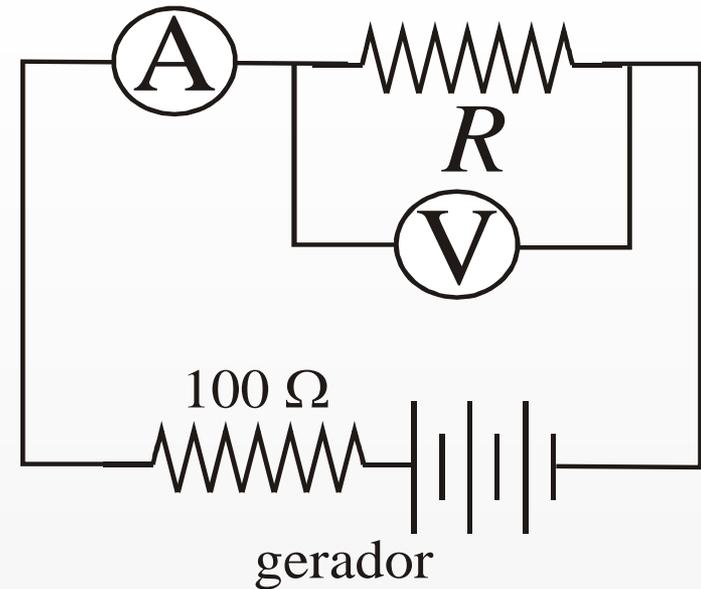
$$\begin{aligned} V_{\text{real}} &= V_G - R_P i_{\text{real}} - R_A i_{\text{real}} \\ &= V_G - i_{\text{real}} (R_P + R_A) \end{aligned}$$

- Agora já sabemos a tensão sobre o resistor: já temos o par corrente e tensão nos instrumentos. Falta alguma coisa?
 - **SIM!!!!** → Simular os efeitos experimentais (incertezas)



Vamos simular o circuito 2

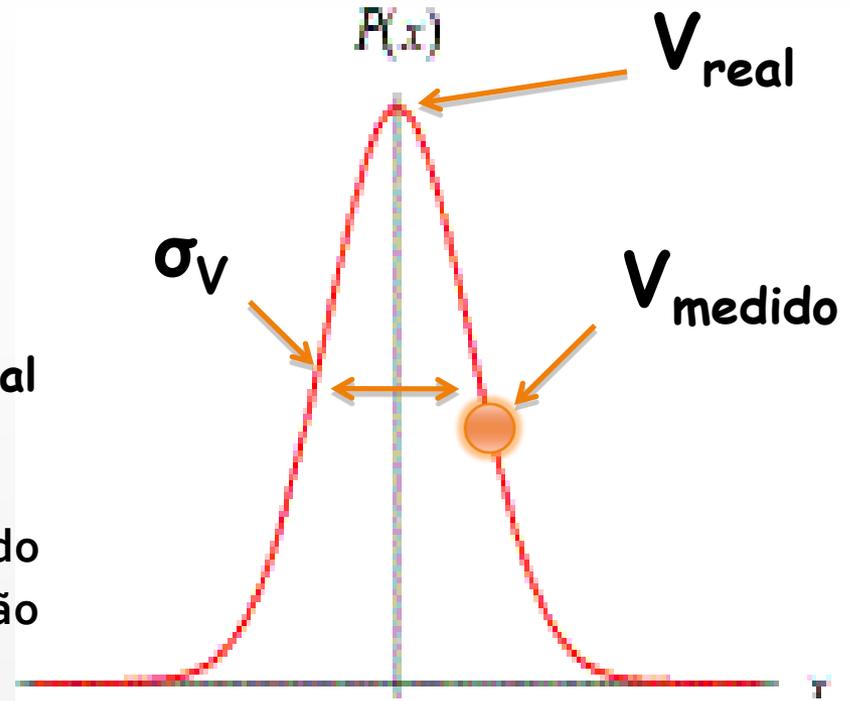
- Como transformar V_{real} e i_{real} em medidas?



- Ou seja, como incluir os efeitos das incertezas instrumentais?
- Qual é a diferença entre V_{real} e i_{real} e V_{medido} e i_{medido} ?

Simulando o circuito 2:

- Qual é a diferença entre V_{real} e i_{real} e V_{medido} e i_{medido} ?
- O valor medido se distribui em torno do valor real obedecendo a uma distribuição gaussiana



- Ou seja, devemos sortear (simular) a medida de tensão e corrente com base no seu valor verdadeiro e na sua incerteza, com uma distribuição de probabilidades Gaussiana.
 - No Excel, use a função:
 - **NORMINV(RAND(), média, sigma)**

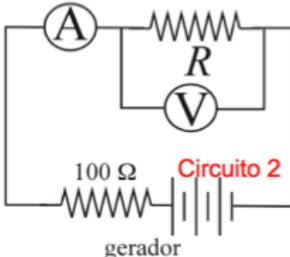
Baixar .xls do site

simulacao.xls

New Open Save Print Import Copy Paste Format Undo Redo AutoSum Sort A-Z Sort Z-A Gallery Toolbox Zoom Help

Sheets Charts SmartArt Graphics WordArt

1
2 **Simulação de um circuito não ideal composto de fontes e resistores**
3 Neste exemplo, consideramos as resistências internas do voltímetro e amperímetro
4 Para avaliar o efeito das mesmas nos resultados obtidos para R
5
6
7
8 **RV =** 8.0E+06
9 **RA =** 1.0E+00
10
11 **RP =** 1.0E+02
12
13 **R =** 5.0E+05
14
15 **Req =** 4.7E+05
16
17
18



gerador

$$i_{real} = \frac{V_G}{R_{EQ}}$$

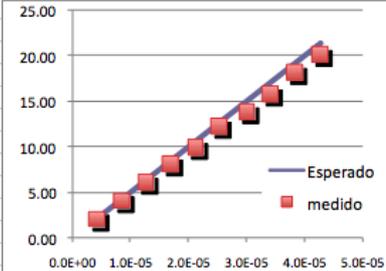
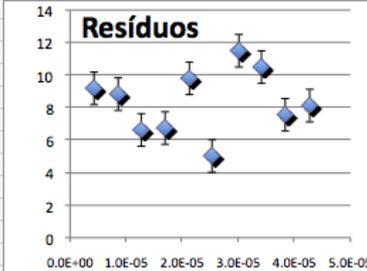
$$R_{EQ} = R_{RP} + R_A + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}}$$

$$V_{real} = V_G - V_{RP} - V_A$$

$$V_{real} = V_G - i_{real}(R_{RP} + R_A)$$

VG (V)	V (real)	I (real)	V (med)	sV	I (med)	sI	V=Ri	Resíduo
2	2.0	4.2E-06	2.0	0.02	4.3E-06	3.4E-08	2.13	9.18219
4	4.0	8.5E-06	4.0	0.03	8.6E-06	6.8E-08	4.29	8.82773
6	6.0	1.3E-05	6.0	0.05	1.3E-05	1.0E-07	6.35	6.62572
8	8.0	1.7E-05	8.0	0.06	1.7E-05	1.4E-07	8.47	6.74318
10	10.0	2.1E-05	9.9	0.08	2.1E-05	1.7E-07	10.64	9.80225
12	12.0	2.5E-05	12.2	0.10	2.5E-05	2.0E-07	12.65	5.02568
14	14.0	3.0E-05	13.8	0.11	3.0E-05	2.4E-07	15.05	11.4929
16	16.0	3.4E-05	15.7	0.13	3.4E-05	2.7E-07	17.06	10.4896
18	18.0	3.8E-05	18.1	0.14	3.8E-05	3.1E-07	19.18	7.55777
20	20.0	4.2E-05	20.1	0.16	4.3E-05	3.4E-07	21.36	8.12419

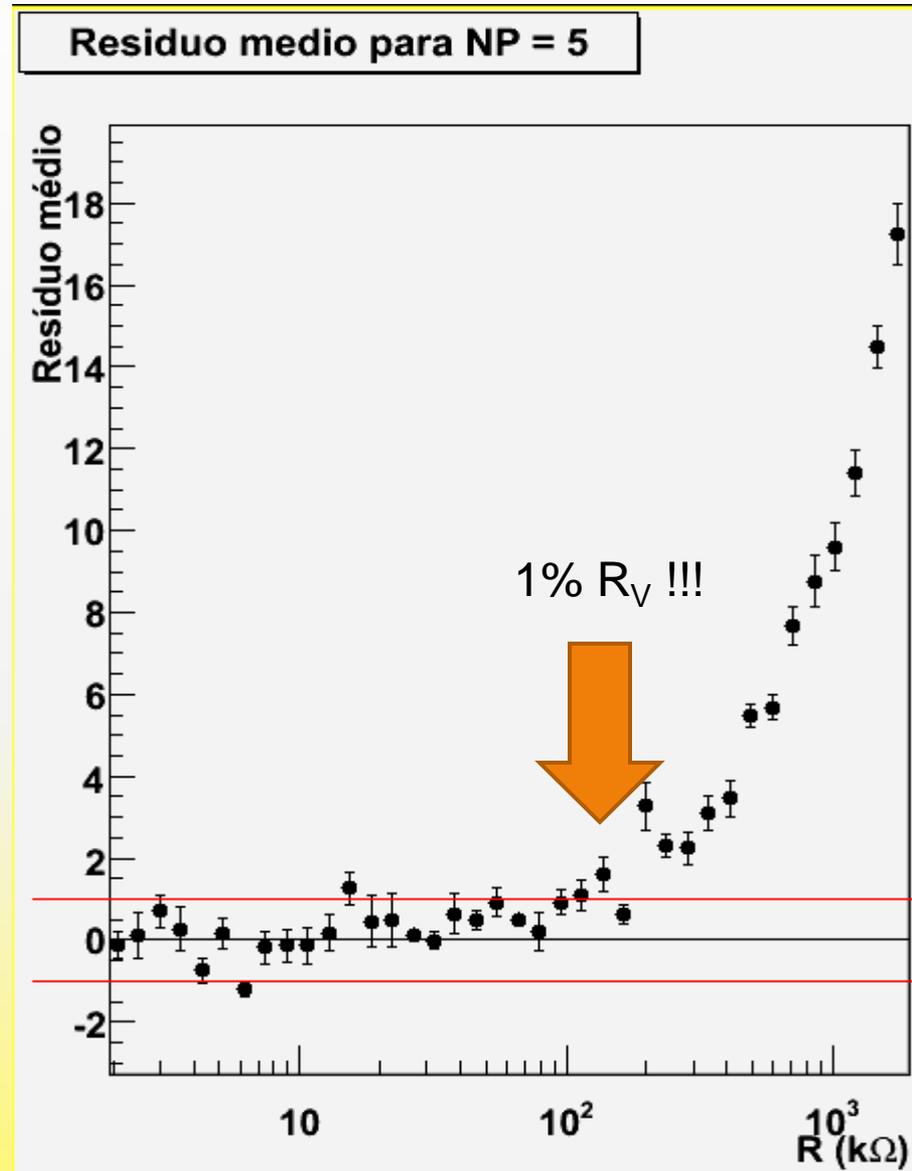
Resíduo médio = 8.38713

Sheet1

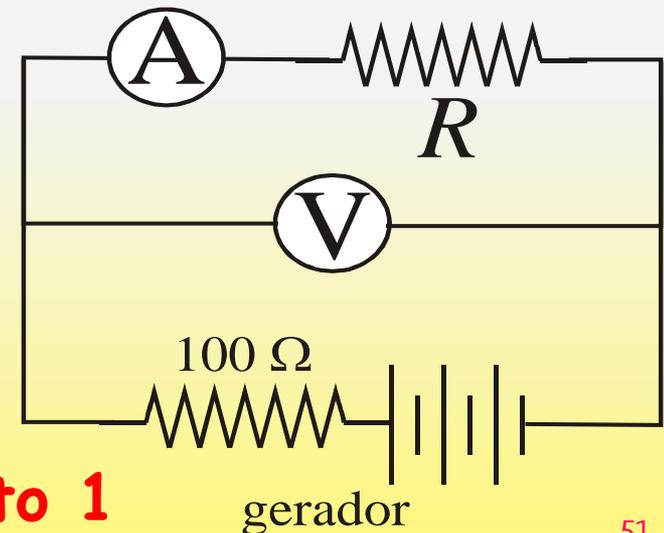
Simulação detalhada:

- Fazendo uma simulação mais detalhada »
- A única diferença é considerar uma distribuição Gaussiana de incertezas ao invés de uniforme.
- Gráfico do resíduo médio em função de R mostra o limite →



Tarefa extra para quem quiser fazer

- Fazer a simulação no caso do circuito **1**
- Incluir apêndice com descrição detalhada da simulação e gráfico
 - Similar ao que foi feito para o circuito **2**
 - Slide anterior!



Circuito 1

gerador