

# INTRODUÇÃO AS MEDIDAS EM FÍSICA

Aula VIII - Maio 2018

Exp. 5a – Curvas Características

Prof. Cristiano L. P. Oliveira  
Ed. Basilio Jafet, sala 202  
[crislpo@if.usp.br](mailto:crislpo@if.usp.br)

## Experiência V Curvas Características

- Objetivos:
  - Medidas de grandezas elétricas:
    - Estudar curvas características de elementos resistivos
    - Utilização de um multímetro
    - Influência do aparelho medidor no resultado da medida
  - Análise de dados:
    - Análise Gráfica
    - Comparação com um modelo

# Eletromagnetismo

- A eletricidade e o magnetismo são fenômenos da natureza observados há muito tempo pelo homem.
- 900 aC - Magnus, um pastor grego, caminhava por um campo cheio de pedras negras que puxavam os pregos de metal de suas sandálias (lenda?). Essa região ficou conhecida por Magnesia.  
 → (*magnetismo*)
- 600 aC - Thales de Mileto esfregou pedaços de **ambar** (*elektron* em grego) com diferentes materiais e conseguiu levantar punhados de penas com eles.  
 → (*eletricidade*)



# Eletromagnetismo

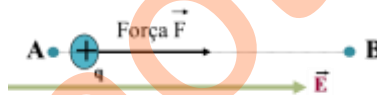
- O estudo da eletricidade e do magnetismo sempre envolveu a observação de fenômenos e a elaboração de leis empíricas.
- Só no **século XIX** os fenômenos eletromagnéticos foram melhor compreendidos a partir de leis quantitativas básicas, deduzidas com as pesquisas experimentais de **Oersted**, **Ampère**, **Faraday** e os trabalhos de síntese teórica de **Maxwell**.
- É um ótimo exemplo de como a física evolui a partir da *experimentação*.



## Conceitos básicos

- A tensão elétrica ( $V$ ) é uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos
- Ela é definida como o trabalho por unidade de carga realizado durante o deslocamento de uma carga positiva de um ponto a outro sob a ação de um campo elétrico ( $E$ )
- Se o campo elétrico ( $E$ ) é uniforme entre dois pontos que estão a uma distância  $d$  um do outro, podemos escrever:

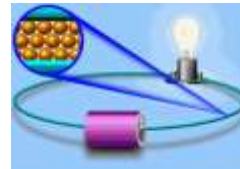
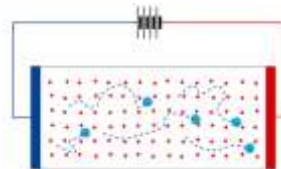
$$V = E \cdot d$$



## Conceitos básicos

- A corrente elétrica ( $i$ ) é definida como o movimento de cargas elétricas numa direção preferencial
- O caso mais comum de corrente elétrica é o movimento de elétrons livres em um material condutor
- Sua unidade no SI é o ampere que é a quantidade de carga ( $\Delta Q$  em Coulombs) que atravessa a seção reta do condutor por unidade de tempo ( $\Delta t$  em segundos):

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$



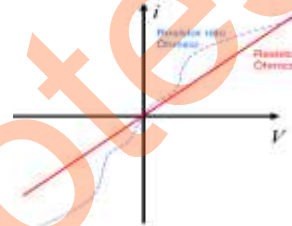
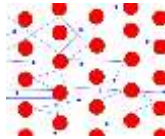
# Elemento Resistivo

Ao se movimentarem, os elétrons sofrem choques sucessivos com outros elétrons e os átomos do material

Essa dificuldade de trânsito dos elétrons é chamada de resistência elétrica do material ( $R$ )

Ela é definida como a razão entre a tensão ( $V$ ) e a corrente ( $i$ ) que passa pelo elemento:

$$R = \frac{V}{i}$$



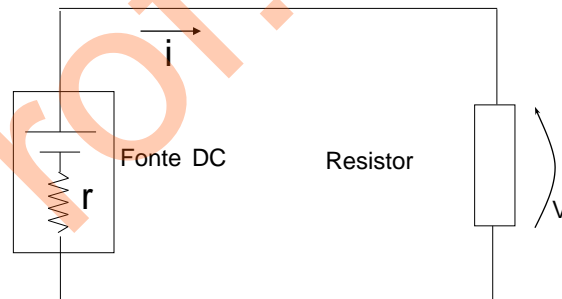
Um elemento resistivo pode ser:

**Ôhmico:** quando a resistência é constante para todo par ( $V, i$ ), ou seja, a corrente varia linearmente com a tensão

**Não-ôhmico:** quando a resistência não é constante para todo par ( $V, i$ ), ou seja, a corrente varia não-linearmente com a tensão

## Circuito elétrico

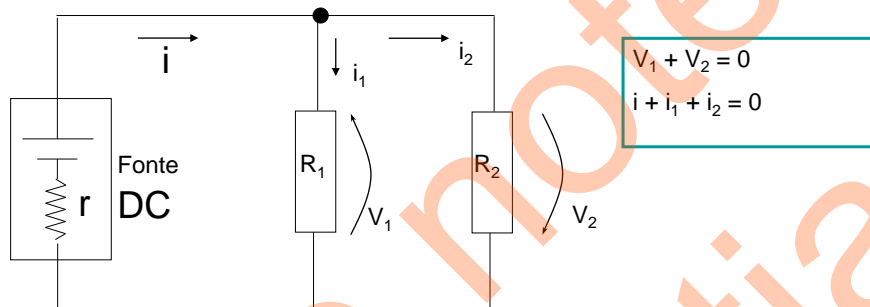
- É uma associação de elementos elétricos (resistivos ou não), normalmente formando uma rede fechada por onde passa uma corrente elétrica ( $i$ )



Circuitos elétricos são extremamente importante para a nossa tecnologia, estando presentes em basicamente qualquer aparelho eletrônico

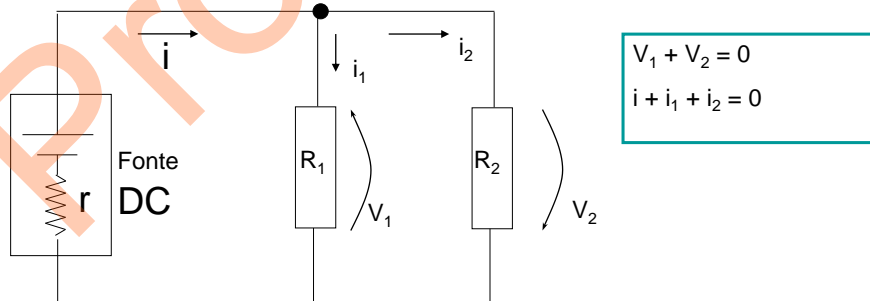
## Leis de Kirchhoff

- A soma das tensões em todos os elementos do circuito fechado são iguais a zero;
- A soma das correntes em um nó do circuito é igual a zero;



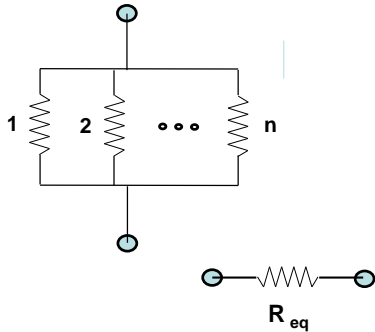
## Leis de Kirchhoff

- Portanto:  $V_1 = -V_2$ .
- Por exemplo, se desejo medir  $V_1$ , posso medir  $V_2$  através de  $i_2$  e  $R_2$ , que me levará a  $V_1$ .



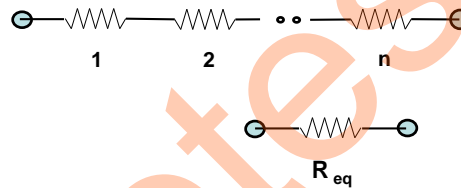
# Resistência Equivalente

## Resistores em paralelo



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

## Resistores em série



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

## Curva Característica

- Para estudar elementos resistivos em um circuito levantamos sua curva característica
- Ela corresponde ao gráfico da corrente ( $i$ ) em função da tensão ( $V$ )
- Esse gráfico nos permite caracterizar o comportamento do elemento resistivo e, portanto, do circuito

**Como é possível medir grandezas elétricas, como corrente, tensão e resistência?**

### Multímetro

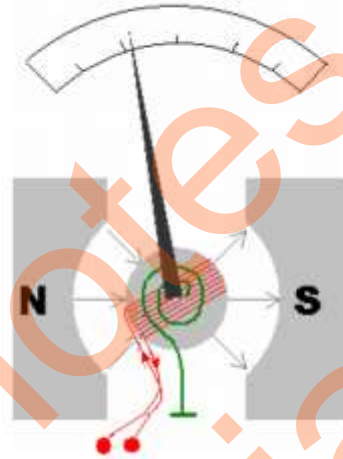
Instrumento para medida de tensão, corrente e resistência

Na realidade é um detector sensível a intensidade de corrente

A origem do multímetro é um aparelho chamado galvanômetro

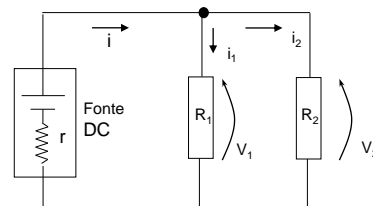
## Galvanômetro

- O galvanômetro, inventado por William Sturgeon em 1836 (cujo nome é uma homenagem a Luigi Galvani), é um detector sensível a intensidade de corrente;
- Interação entre a corrente elétrica em uma bobina e um campo magnético
  - Torque proporcional à corrente elétrica



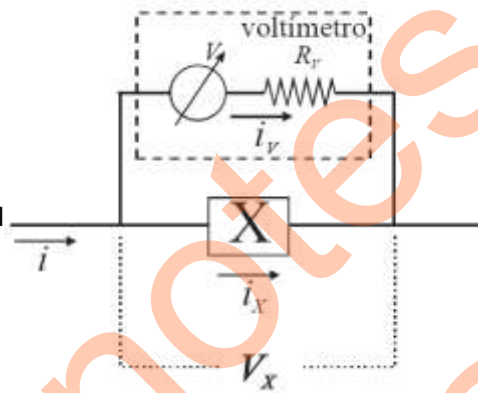
## Multímetro

- Como utilizar um multímetro para medir correntes e tensões elétricas?
  - Faz-se circuitos simples de forma que a corrente elétrica que passa pelo multímetro seja proporcional à corrente ou tensão elétrica que queremos medir
  - Ajusta-se a escala de modo a converter a corrente no multímetro para a grandeza medida



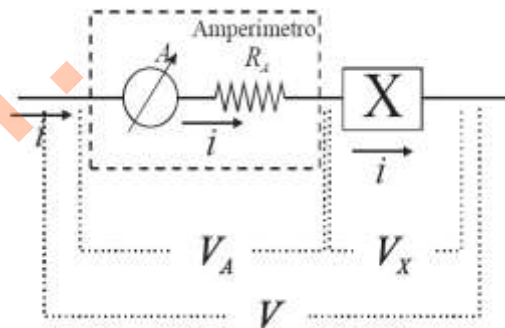
## Voltímetro

- Quando o multímetro está operando para medir tensão
- Ele sempre é montado em paralelo ao elemento do qual se quer medir a tensão



## Amperímetro

- Quando o multímetro está operando para medir corrente
- Ele sempre é montado em série ao elemento do qual se quer medir a corrente

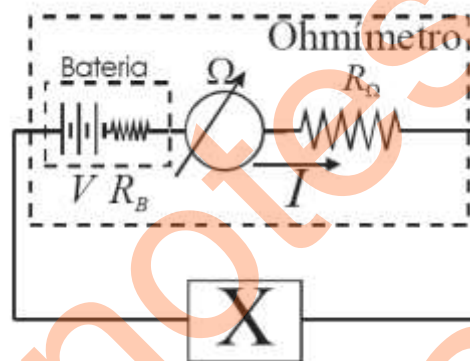




# Ohmímetro

• Quando o multímetro está operando para medir resistência

• Ele sempre é montado em paralelo ao elemento do qual se quer medir a resistência e sem fonte de tensão ligada ao mesmo.



## Uma consequência importante

- Voltímetros, amperímetros e ohmímetros possuem resistência
- Voltímetros, amperímetros e ohmímetros medem através do desvio de um pouco de corrente para o instrumento
- Voltímetros, amperímetros e ohmímetros MODIFICAM as tensões e correntes em um circuito. Eles alteram as medidas...

## Medida de resistência elétrica

- O objetivo da 1ª parte do experimento é medir a resistência elétrica de um resistor ôhmico;
- Vamos realizar essa tarefa de três maneiras diferentes, comparando e discutindo os resultados de cada medida e observando o efeito do instrumento de medida sobre a mesma.

## Medida de resistência elétrica

- Utilizar três maneiras diferentes
  - verificar para que situações cada um dos procedimentos é mais adequado e porque

### Procedimento 1: Direto

Multímetro = Ohmímetro

$$R_{resistor} = R_{medido}$$

### Procedimento 2 e 3: Circuito

Multímetro 1 = Voltímetro

Multímetro 2 = Amperímetro

$$R_{resistor} = \frac{V_{resistor}}{I_{resistor}} \approx \frac{V_{voltim}}{I_{amperim}}$$

## Procedimento Experimental

- 1º Procedimento: inicialmente, meça a resistência dos resistores comerciais fornecidos pelo professor usando o multímetro na função de ohmímetro

2  
2

### O multí



## Aula de Hoje

Mediremos os valores das 3 resistências (**6,8M $\Omega$** , **1 $\Omega$**  e **100 $\Omega$** ) usando o **ohmímetro**. E depois, através da montagem de um circuito elétrico, medindo simultaneamente V e I.

Tomaremos apenas uma medida, pois a ênfase não é análise estatística, mas sim calcular a incerteza do multímetro pela fórmula dada no manual do equipamento.

### Montagem do Circuito

Para evitar correntes altas, iremos adicionar, adjacente à fonte, um resistor de **47 $\Omega$** , *que deverá permanecer para todas as medidas.*

Cada equipe receberá um **multímetro de capa azul e fundo de escala automático** (mas com posições diferentes para  $\mu\text{A}$ , mA e 10A) e um **multímetro de capa amarela com fundo de escala manual**.

Usar o **azul** como amperímetro e o **amarelo** como voltímetro.

## Máxima Potência/Corrente

Antes da montagem do circuito, deve-se **calcular a corrente máxima suportada por cada resistor**

Para isso, utiliza-se a potência máxima do resistor com um fator de segurança de 50%.

O aluno deve calcular a corrente máxima e conferir com o professor.

Para os resistores utilizados:

1 $\Omega$ : 5W . Com fator de segurança, 2,5W.

47 $\Omega$ : 5W,. Com fator de segurança, 2,5W.

100 $\Omega$ : 10W. Com fator de segurança, 5W.

6,8M $\Omega$ : 1/8W. Com fator de segurança, 1/16W.

**Havendo duas resistências no circuito, o de menor limite de corrente é que comandará o limite a ser imposto à corrente no circuito**

## Máxima Corrente/Tensão

Sabendo qual a corrente máxima que irá passar sobre os elementos estudados, os alunos devem também calcular o valor da máxima tensão que poderá ser lida no voltímetro.

**Não será preciso atingir estes valores máximos! Eles servem apenas de indicação para o limite superior.**

**Durante o Experimento Tomar o cuidado para que tanto a corrente no circuito quanto esta tensão não ultrapassem os valores calculados!**

## Procedimento 1

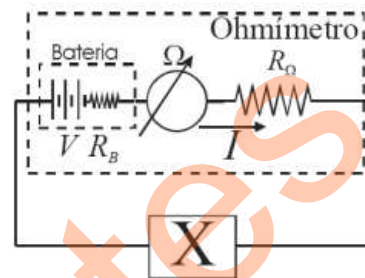
- A bateria do ohmímetro possui uma resistência interna ( $R_B$ ):

– Essa resistência não é levada em consideração pois varia com o uso do aparelho:

$$i = \frac{V}{R_X + R_B + R_\Omega}$$

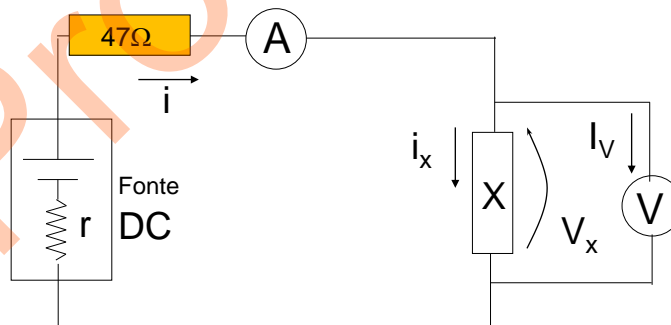
$$R_X = \frac{V}{i} - R_B - R_\Omega$$

Se  $R_X \gg R_B + R_\Omega$  essa resistência pode ser desprezada e a resistência medida é aproximadamente igual a  $R_X$



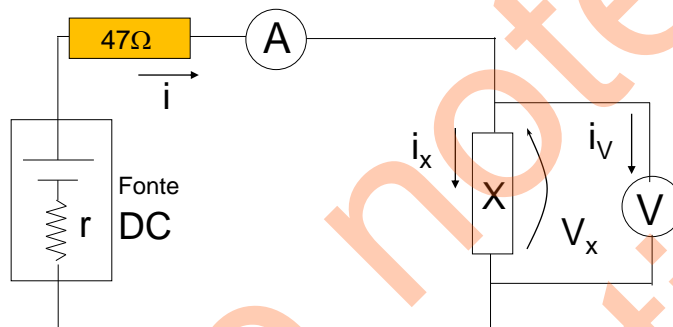
## Procedimento Experimental

- 2º Procedimento: monte o circuito abaixo, meça  $i$  com um amperímetro e  $V_x$  com um volímetro e obtenha  $R_x$  através da definição de resistividade, ou seja,  $R_x = V_x / i$ 
  - Escolha  $V_x$  de modo a ser, por exemplo, metade do valor máximo permitido



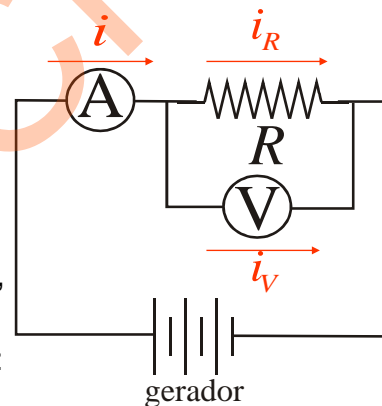
## Procedimento Experimental

- 2º Procedimento: note que estamos medindo  $i$  e não  $i_x$ . Qual a consequência disso? Para este procedimento ser preciso, que condições o circuito deve satisfazer?
  - Escolha  $i_x$  ou  $V_x$  de modo a ser, por exemplo, metade do valor máximo permitido



### Procedimento 2

- O Voltímetro possui resistência interna:
  - A resistência, por construção, é muito grande;
  - Provoca “desvio” de corrente:



$$V_{medido} = V_{volt} = V_{res}$$

$$i_{medido} = i_{amp} = i_{volt} + i_{res}$$

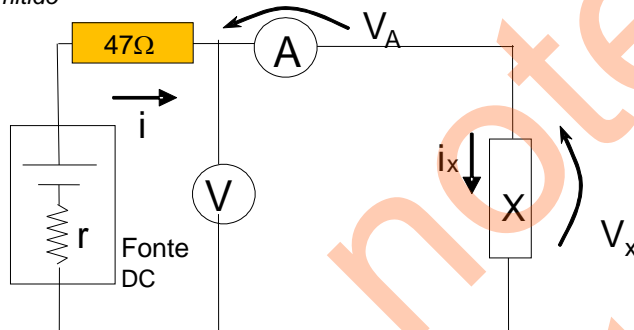
$$R_{medido} = \frac{V_{volt}}{i_{amp}} = \frac{V_{res}}{i_{volt} + i_{res}} < R_{res}$$

Se  $R_v \gg R$  implica em  $i_R \gg i_v$   
A resistência medida é aproximadamente igual a  $R$

## Procedimento Experimental

3º Procedimento: monte o circuito abaixo, meça  $i_x$  com um amperímetro e  $V (=V_A+V_x)$  com um voltímetro e obtenha  $R_x$  através da definição de resistividade,  $R_x = V / i_x$

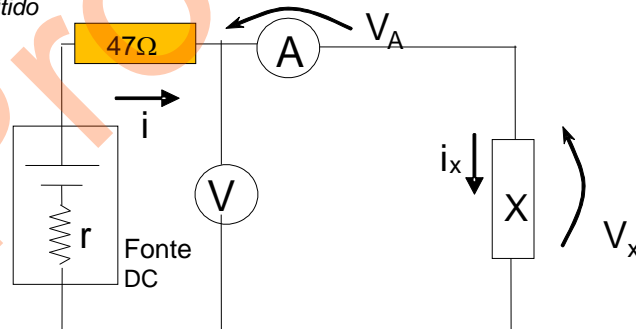
*Escolha  $i_x$  ou  $V_x$  de modo a ser, por exemplo, metade do valor máximo permitido*



## Procedimento Experimental

3º Procedimento: note que estamos medindo  $V (=V_A+V_x)$  e não  $V_x$ . Qual a consequência disso? Para este procedimento ser preciso, que condições o circuito deve satisfazer?

*Escolha  $i_x$  ou  $V_x$  de modo a ser, por exemplo, metade do valor máximo permitido*





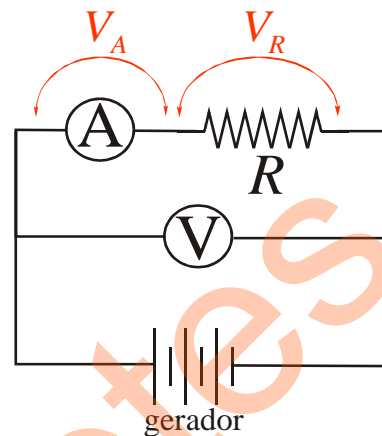
## Procedimento 3

- O Amperímetro possui resistência interna:
  - Resistência, por construção, muito pequena;
  - Provoca queda de tensão:

$$V_{medido} = V_{volt} = V_{amp} + V_{res}$$

$$i_{medido} = i_{amp} = i_{res}$$

$$R_{medido} = \frac{V_{volt}}{i_{amp}} = \frac{V_{amp} + V_{res}}{i_{amp}} = R_{amp} + R_{res}$$



Se  $R_A \ll R$   
A resistência medida  
é aproximadamente  
igual a  $R$

## Resistor de $6.8M\Omega$

Montar o **circuito 1** e medir **V** e **I**, **atentando** para os valores máximos de corrente que eles calcularam acima, **colocando o amperímetro na faixa de correntes adequada e o voltímetro no fundo de escala apropriado.**

Depois montar o **circuito 2** e medir **V** e **I**.

- Calcular as incertezas instrumentais,
- Determinar  $R=V/I$  com as incertezas para os 2 circuitos.

**Dica:** Para o **circuito 1**, se a tensão for de 30V, a corrente deve ser em torno de  $4.5\mu A$ . Se não obtiver isso desligar a fonte e chamar o professor!

## Resistor de $1\Omega$

Montar o **circuito 1** e medir V e I, mantendo o resistor de  $47\Omega$  ligado!

Depois montar o **circuito 2** e medir V e I.

- Calcular as incertezas instrumentais,
- Determinar  $R=V/I$  com as incertezas para os 2 circuitos.

## Resistor de $100\Omega$

Montar o **circuito 1** e medir V e I, mantendo o resistor de  $47\Omega$  ligado!

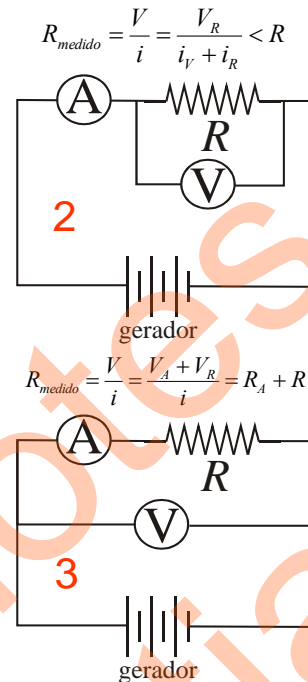
Depois montar o **circuito 2** e medir V e I.

- Calcular as incertezas instrumentais,
- Determinar  $R=V/I$  com as incertezas para os 2 circuitos.

**Colocar todos os dados no site por grupos!!!**

## Conclusões

- Dependendo do valor da resistência elétrica a ser estudada, um circuito é mais adequado que o outro
- Para altas resistências, o procedimento 1 e 3 são mais adequados que o 2 e vice-versa.
  - Altas resistências significam comparáveis à resistência do voltímetro



## Análise de Dados

- Calcule  $R_{medido}$  dos três resistores disponíveis das três maneiras sugeridas
- Verifiquem o manual dos multímetros para as incertezas nas medidas
- Os valores são iguais? Por quê?
- Qual o melhor procedimento de medida em cada caso? Por quê?

## Qual é a incerteza do voltímetro e do amperímetro?

- Como avaliar incerteza para uma medida de tensão = 1,840 V (escala de 2 V) ?
- Procurar no manual do instrumento a tabela relativa à função e escala utilizadas
  - Cada escala possui uma incerteza distinta
- Em geral, é fornecida a incerteza estatística (em porcentagem) e a sistemática (em dígitos)
  - Ex: para tensão elétrica contínua
  - Incerteza = 0,2% + 3D
    - O que isso significa?

### 0,2% + 3D - O que é isso?

- 0,2%
  - Incerteza estatística
  - Porcentagem do valor medido
  - Ex: valor medido: 1,840 V
  - Incerteza:  $0,2 / 100 * 1,840 = 0,004 \text{ V}$
- 3D
  - Três algarismos na última casa decimal da medida
  - Ex: valor medido: 1,840 V
  - Incerteza: 0,003 V
- Incerteza total da medida
  - Soma linear (superestimando) = 0,007 V

## Folha de dados

Folha de dados: valor nominal, Rohmímetro,  $\sigma_R$ ,  $V$ ,  
 $\sigma_V$ ,  $i$ ,  $\sigma_i$ ,  $R_{calc}$ ,  $\sigma_{R_{calc}}$

**Colocar todos os dados no site grupos!!!**

**<https://bit.ly/2lrh8d6>**

Para a próxima aula

- Fazer a leitura da apostila da página 40 a 45 que trata de instrumentos de medidas e circuitos.
- E tragam dúvidas para a próxima aula

# Exercícios – aula

Incerteza Instrumental com Multímetro

## Introdução às medidas físicas (4300152) Exercício aula 8

Nome: \_\_\_\_\_

**Exercício 1:** Para estimar as incertezas instrumentais quando se usa um multímetro é necessário realizar um cálculo, descrito no manual do instrumento, que leva em consideração erro percentual e erro absoluto. O cálculo depende do modelo do multímetro, da função na qual está sendo usado o multímetro (voltímetro, amperímetro etc.), e do fundo de escala que foi usado para realizar a medida.

A Tabela 1 tem dois exemplos. Para esses casos, escreva o valor final (valor com incerteza) das medidas mostradas na tabela usando a fórmula descrita na mesma tabela. Lembre-se que o mostrador do multímetro só possui 4 dígitos.

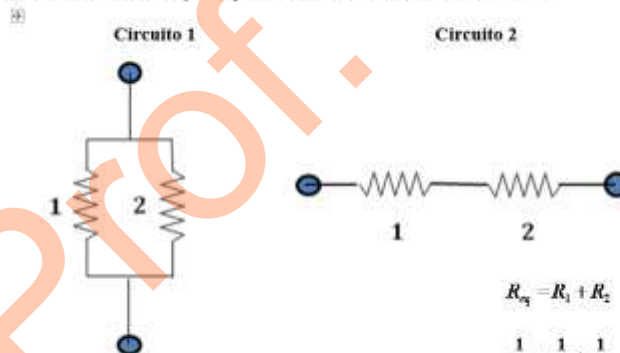
Tabela 1: Valores de tensão e corrente e respectivos fundos de escala, com a fórmula para cálculo de incertezas

Valor da Medida	Fundo de escala	Fórmula para incerteza	Valor final
1,987 V	2 V	$0,1\% + 3d$	
4,78 $\mu$ A	60 $\mu$ A	$2\% + 5d$	

valor final = valor com incerteza  
 $V \pm \sigma V$   
 $I \pm \sigma I$

# Exercícios – aula 8

**Exercício 2:** Calcule a resistência equivalente para os dois circuitos abaixo supondo que os valores dos resistores sejam aqueles da tabela 2. Calcule as incertezas.



$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

$$\sigma_{R_{eq}} = \sqrt{\sigma_{R_1}^2 + \sigma_{R_2}^2}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{\sigma_{R_{eq}}}{R_{eq}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{R_1}}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_2}}{R_2}\right)^2}$$

Tabela 2: Valores de resistência

Conjunto	R <sub>1</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>2</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>eq</sub> ( $\Omega$ ) Circuito 1	R <sub>eq</sub> ( $\Omega$ ) Circuito 2

# Mãos a obra!!!



Manuais dos Equipamentos:

<http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/manuais>

Planilha de dados de hoje:

<https://bit.ly/2lrh8d6>

Lecture notes  
Prof. Cristiano