
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

PSI3663 – Experiência 3

Medidas Elétricas Básicas e Lei de Ohm



Objetivos da Aula

- Medir tensões DC
- Medir correntes DC
- Medir resistências
- Verificar experimentalmente a lei de Ohm
- **Concentrar-se na parte experimental. Deixar cálculos para o final da aula ou para fazer em casa.**

Circuitos utilizados

- **Circuito divisor de tensão** (dois resistores em série com uma fonte de tensão) – para avaliar a influência do multímetro na leitura de tensão (figs. 3 e 4)
- **Circuito com lâmpada** – para verificação experimental da lei de Ohm (fig. 10)
- **Circuito com transistor** – para medir tensões, correntes e resistências (fig. 1)

Organização da aula

- **1ª parte teórica**

- Incertezas em medidas
- Multímetro digital

- **1ª parte experimental**

- Circuitos das figs. 3 e 4
- Circuito da fig. 10

- **2ª parte teórica**

- Discussão das medidas da lei de Ohm
- Apresentação do amplificador a transistor

- **2ª parte experimental**

- Circuito da fig. 1

- **1ª parte teórica**

- Incertezas em medidas
- Multímetro digital

PSI-EPUSP

Incertezas em medições

- A **incerteza** em uma medida decorre da **impossibilidade** de se obter uma indicação **exata** do valor de uma grandeza
- A incerteza também é chamada de erro
- *Exatidão não é o mesmo que precisão*
- **Precisão** é a capacidade de **repetir** um valor medido **em uma série de medições** da grandeza nas mesmas condições
- *Precisão traduz repetibilidade*

Medição de uma grandeza

- Valores que se pode associar a uma dada grandeza:
 - **Valor verdadeiro** → é o que supostamente ela deveria ter
 - Por predições teóricas
 - Por especificação de projeto
 - **Valor convencional** → Usa-se no lugar do valor verdadeiro
 - É fruto de alguma **convenção estabelecida**
 - **Valor medido** → é o que resulta de uma medição

Erros nas medições

- Erro absoluto

$$E = X_m - X_v$$

- $E \rightarrow$ erro absoluto
- $X \rightarrow$ grandeza a ser medida
 - $X_m \rightarrow$ **valor medido** da grandeza
 - $X_v \rightarrow$ **valor verdadeiro** da grandeza (**desconhecido**)
 - Como o valor verdadeiro é desconhecido, usa-se o valor **convencional** (fruto de um acordo)

Erros nas medições

- Erro relativo

$$E_r = \frac{E}{X_v} = \frac{X_m - X_v}{X_v}$$

- E_r → erro relativo
- E → erro absoluto
- X → grandeza a ser medida
 - X_m → **valor medido** da grandeza
 - X_v → **valor verdadeiro** da grandeza (**desconhecido**)
 - Geralmente expresso como porcentagem (%) do valor verdadeiro (ou convencional)

Tipos de erros

- Tipos de erros
 - **Erros grosseiros** → decorrem no mal uso dos instrumentos ou de um mal condicionamento da medição
 - **Erros sistemáticos** → originam-se dos instrumentos e do condicionamento da medição
 - **Erros aleatórios** → originam-se da flutuação estatística (estocástica) da grandeza ou das condições de medição

Tipos de erros

- Como se lida com esses erros
 - **Erros grosseiros** → cuidar para que não ocorram
 - **Erros sistemáticos** → propagação de erros (ver apêndice 1 – apostila)
 - **Erros aleatórios** → tratamento estatístico

Erros sistemáticos → Incertezas

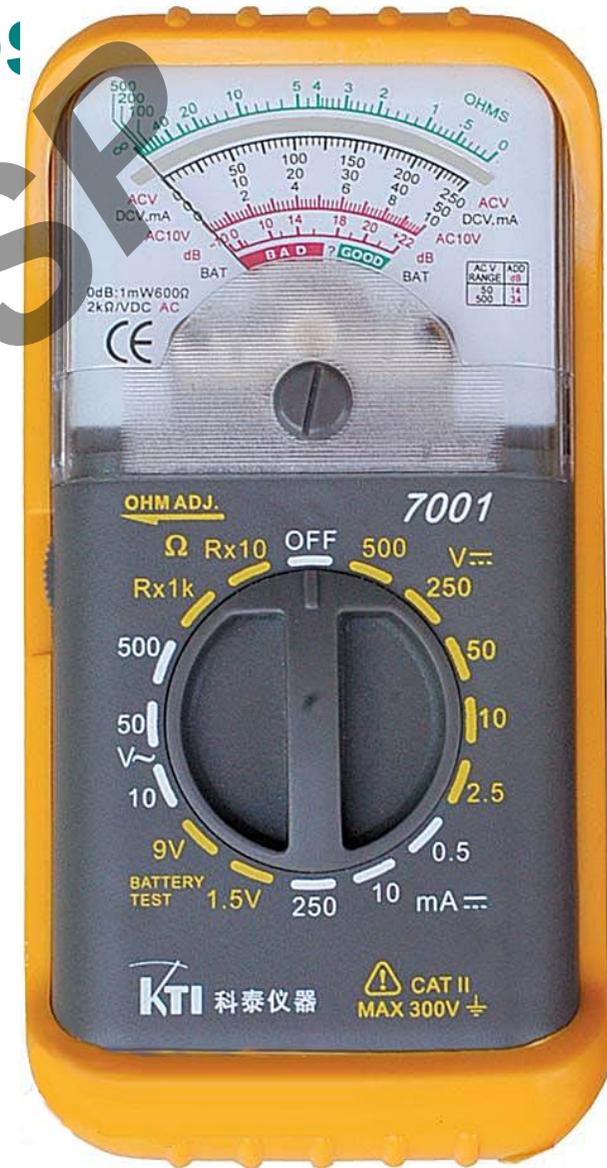
- Incertezas instrumentais
 - Instrumentos são compostos de componentes que apresentam tolerâncias de fabricação
 - Instrumentos estão sujeitos a modificações decorrentes de:
 - Condições de uso distintas da especificada
 - Envelhecimento
- Conseqüentemente, um instrumento pode apresentar um erro intrínseco, inerente às suas medidas → **Incerteza do instrumento**

Incerteza do instrumento

- **É especificada pelo fabricante**
- Determinada através de processo de calibração
 - Prepara-se um arranjo experimental para realizar a medida de um valor tomado como **padrão de referência**
 - Ex: **aferrir uma escala de tensão**
 - Ajusta-se uma tensão com valor “conhecido” (estatisticamente conhecido → valor médio e desvio)
 - Mede-se essa tensão diversas vezes ao longo de um período (1 ano por exemplo) e observa-se sua dispersão

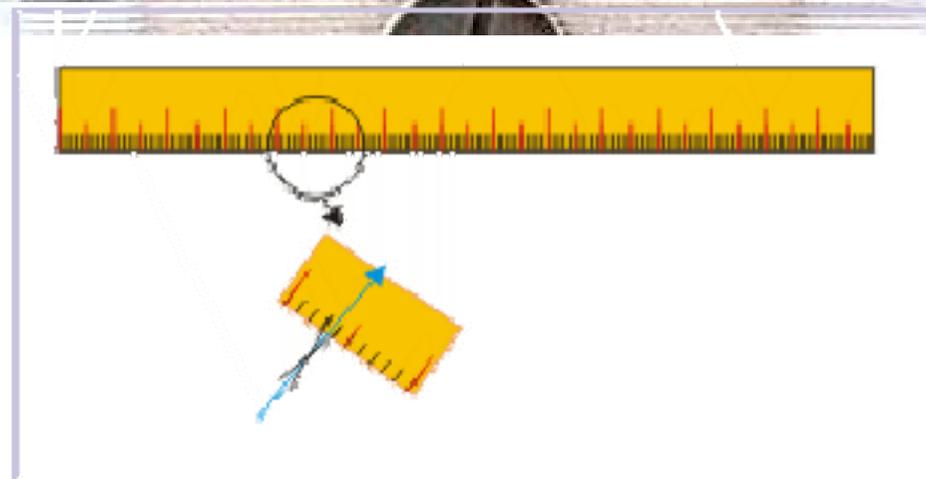
Instrumentos analógicos

- Apresentam mostrador (escalas) analógico
- Seu funcionamento emprega circuitos analógicos e/ou eletromecânicos



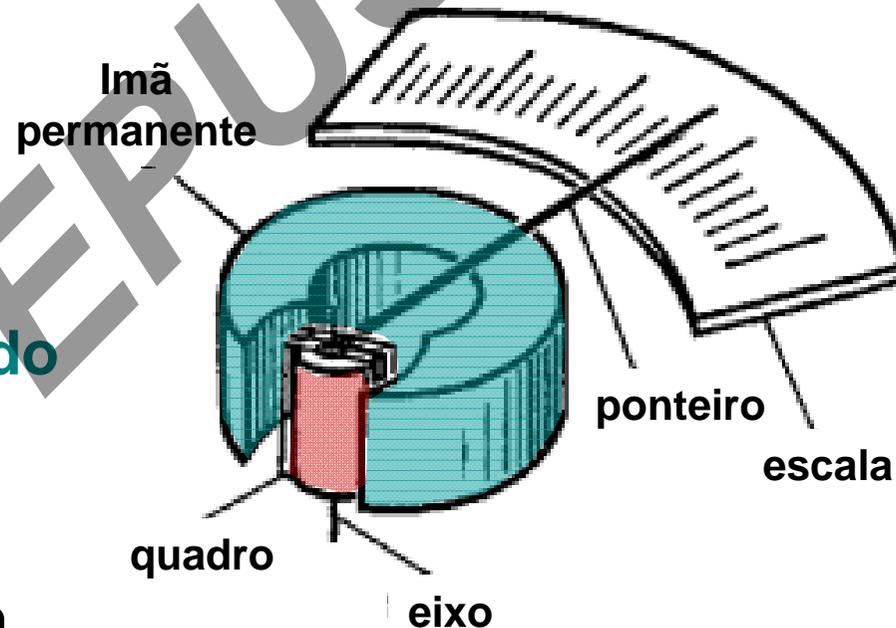
Instrumentos analógicos

- A incerteza é fornecida em relação à escala
 - (% do fundo de escala ou % do valor medido na escala)
 - O último algarismo da leitura é estimado visualmente



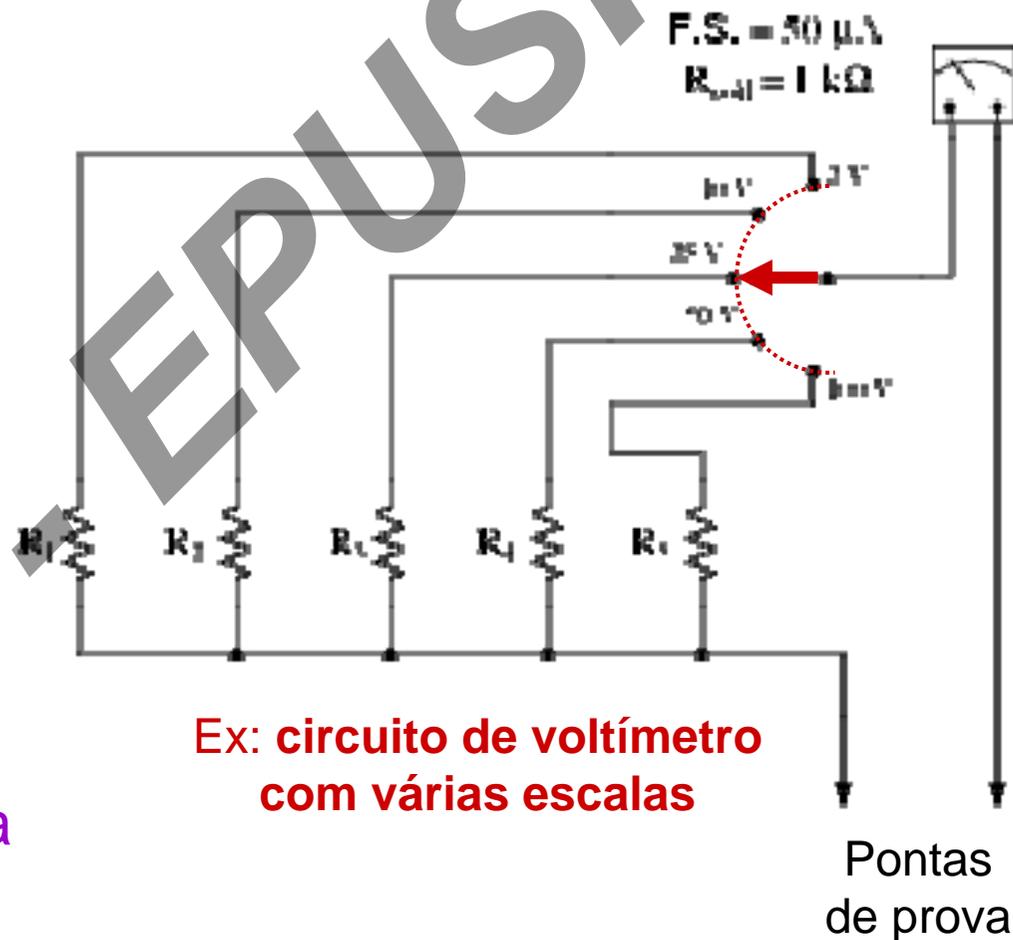
Instrumentos analógicos

- O instrumento básico é o **galvanômetro**
- Os voltímetros, amperímetros e ohmímetros **são** **construídos a partir do galvanômetro**, acrescentando-se **circuitos adicionais** que o transformam em cada um desses instrumentos



Instrumentos analógicos

- Para trabalhar com diversas escalas é necessário acrescentar ao galvanômetro circuitos que o protejam
- Isso define a **sensibilidade** e a **incerteza** de cada escala



Analógicos x Digitais

- Medidas com **instrumentos analógicos** são lidas em uma escala
- A incerteza é dada como % do valor medido ou do fundo de escala

○ Exemplo :

- Incerteza fornecida – 1% do valor medido
- Leitura obtida: 6,95 V
- Incerteza: 1% de 6,9 → 0,0695
- Medida: **6,95 ± 0,07 volt**



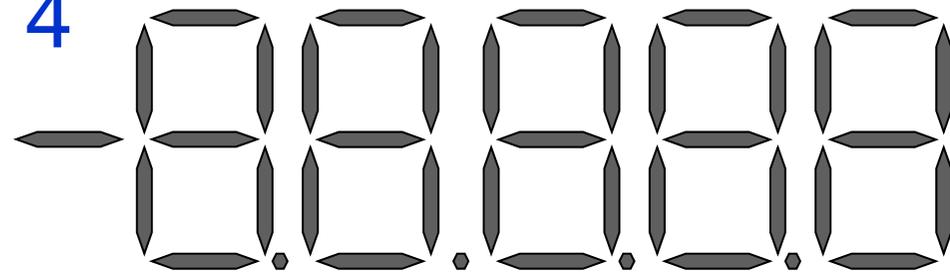
- Medidas em **instrumentos digitais** são lidas em um mostrador numérico (display)

○ Como fica a incerteza ?



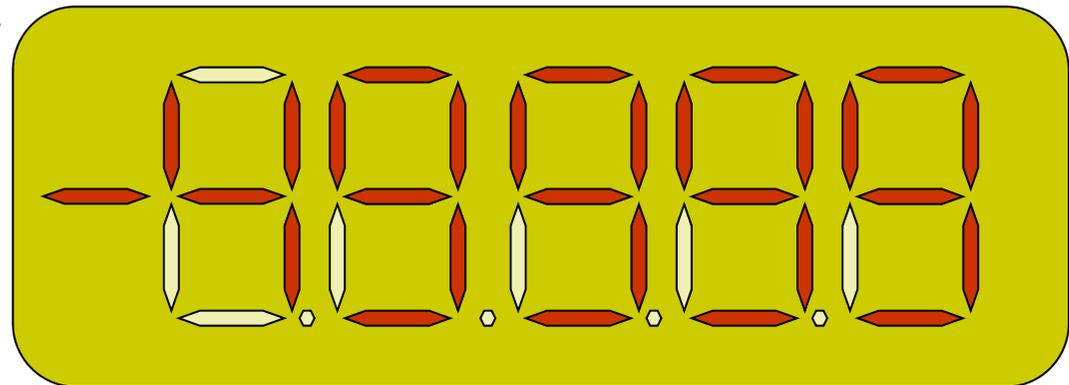
Multímetro digital

- Aparelho Digital
- Display de 4 grupos de 7 segmentos e 1 grupo de 8 segmentos
- Os grupos de 7 segmentos exibem números de 0 a 9
- O grupo de 8 segmentos exibe o sinal e números de 0 a 4



Multímetro digital de 4 ½ dígitos

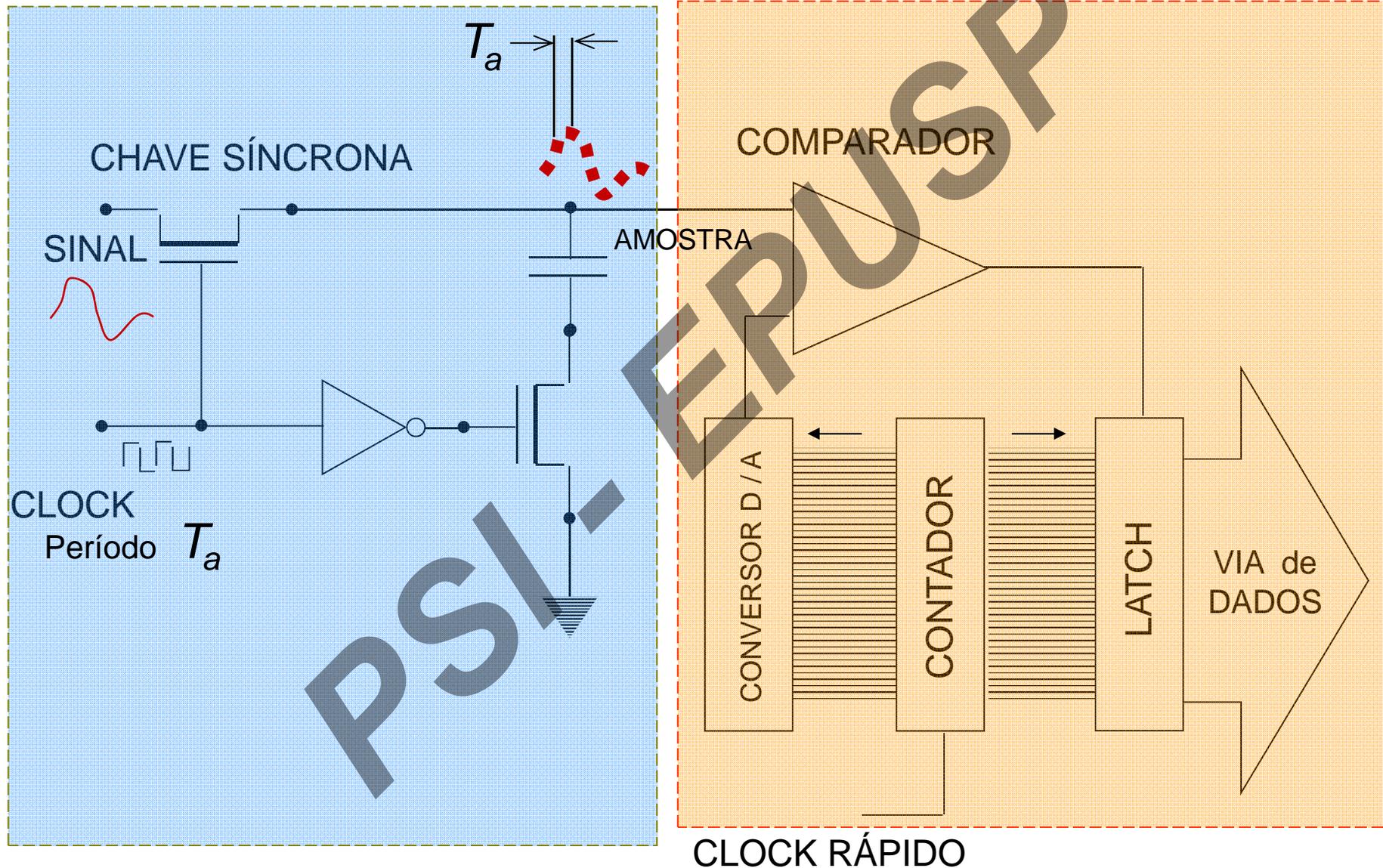
- Leituras entre: -49999 e 49999
- Chamado de “4 e meio dígitos”
- Escalas de tensão, corrente e resistência



Tek TX 3 – incertezas das escalas

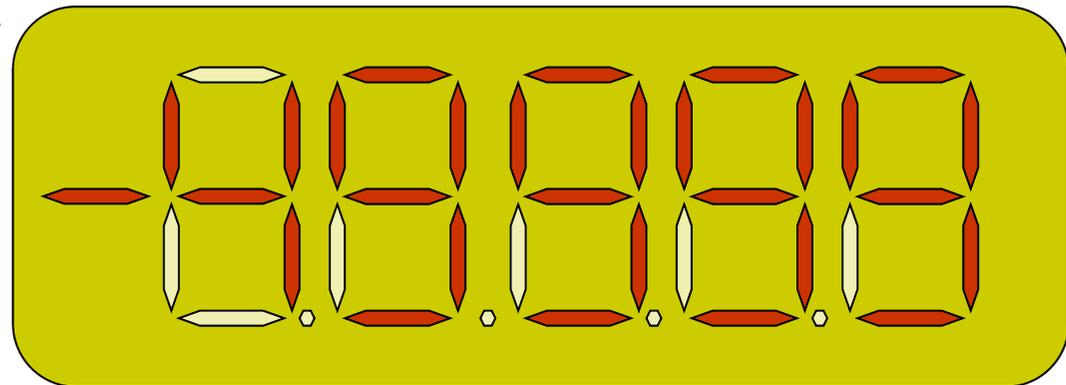
- A escala define a posição do ponto decimal
 - Tensão DC: para todas escalas
 - Exatidão: $\pm (0,05\% \text{ valor medido} + 10 \text{ dígitos})$
 - Corrente DC:
 - Escala de 500 μA
 - Exatidão: $\pm (0,2\% \text{ valor medido} + 40 \text{ dígitos})$
 - Escalas de 5 mA e 500 mA
 - Exatidão: $\pm (0,2\% \text{ valor medido} + 20 \text{ dígitos})$
 - Resistências
 - Escalas até 500 k Ω
 - Exatidão: $\pm (0,1\% \text{ valor medido} + 20 \text{ dígitos})$

Amostrador e Conversor A/D



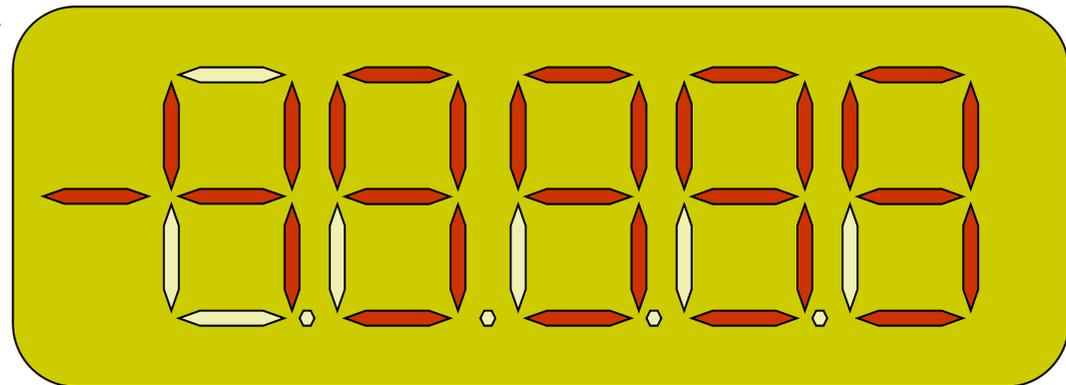
Multímetro – Escalas de tensão DC

- A escala define a posição do ponto decimal
- Exatidão: \pm (0,05% valor medido + 10 dígitos)
- Ex.: escala de 5 Volts \rightarrow de -4.9999 a 4.9999
 - Seja a leitura de 1.5 V
 - 0,05 % de 1,5 V = $0,0005 \times 1,5 = 0,00075$ V
 - 10 dígitos nessa escala = 0,0010 V
 - Valor = $1,5 \pm 0,00175$ V



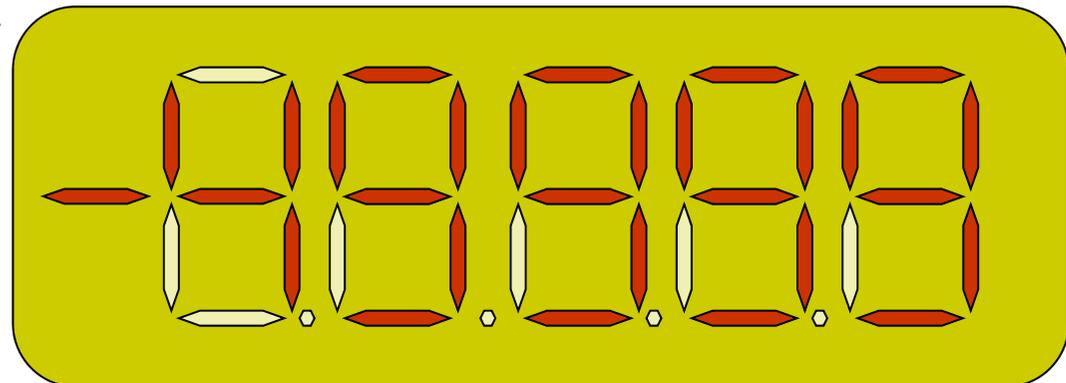
Multímetro – Escalas de tensão DC

- A escala define a posição do ponto decimal
- Exatidão: \pm (0,05% valor medido + 10 dígitos)
- Ex.: escala de 500 mV \rightarrow de -499.99 a 499.99
 - Seja a leitura de 150 mV
 - 0,05 % de 150 mV = $0,0005 \times 150 = 0,075$ mV
 - 10 dígitos nessa escala = 000,10 mV
 - Valor = $150 \pm 0,175$ mV



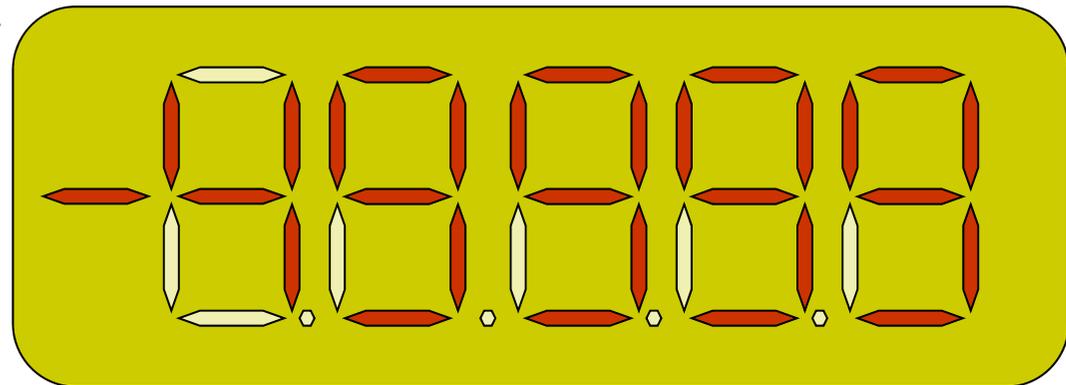
Multímetro – Escalas de corrente DC

- Escala de 500 μA
- Exatidão: \pm (0,2% valor medido + 40 dígitos)
- Ex.: escala de 500 μA \rightarrow de -499.99 a 499.99
 - Seja a leitura de 150 μA
 - 0,2 % de 150 μA = 0,002 x 150 = 0,3 μA
 - 40 dígitos nessa escala = 000,40 μA
 - Valor = 150 \pm 0,7 μA



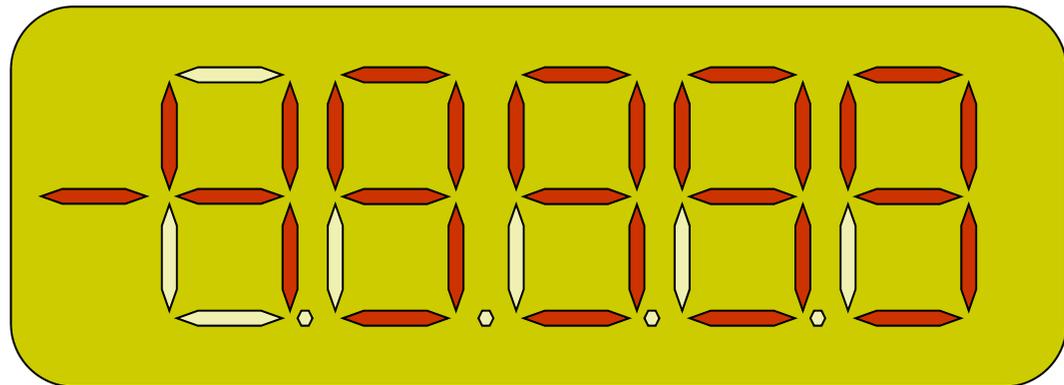
Multímetro – Escalas de corrente DC

- Escalas de 5 mA e 500 mA
- Exatidão: \pm (0,2% valor medido + 20 dígitos)
- Ex.: escala de 500 mA \rightarrow de -499.99 a 499.99
 - Seja a leitura de 150 mA
 - 0,2 % de 150 mA = $0,002 \times 150 = 0,3$ mA
 - 20 dígitos nessa escala = 000,20 mA
 - Valor = $150 \pm 0,5$ mA



Multímetro – Escalas de corrente DC

- Escalas de 5 mA e 500 mA
- Exatidão: \pm (0,2% valor medido + 20 dígitos)
- Ex.: escala de 5 mA \rightarrow de -4.9999 a 4.9999
 - Seja a leitura de 1.5 mA
 - 0,2 % de 1.5 mA = $0,002 \times 1.5 = 0,003$ mA
 - 20 dígitos nessa escala = 0,0020 mA
 - Valor = $1,5 \pm 0,005$ mA



- **1ª parte experimental**

- Circuitos das figs. 3 e 4
- Circuito da fig. 10

- **Antes de começar**, vamos discutir os circuitos e ver como montá-los com o equipamento disponível

Efeito da resistância interna do multímetro

Figura 3 – página 5 da apostila

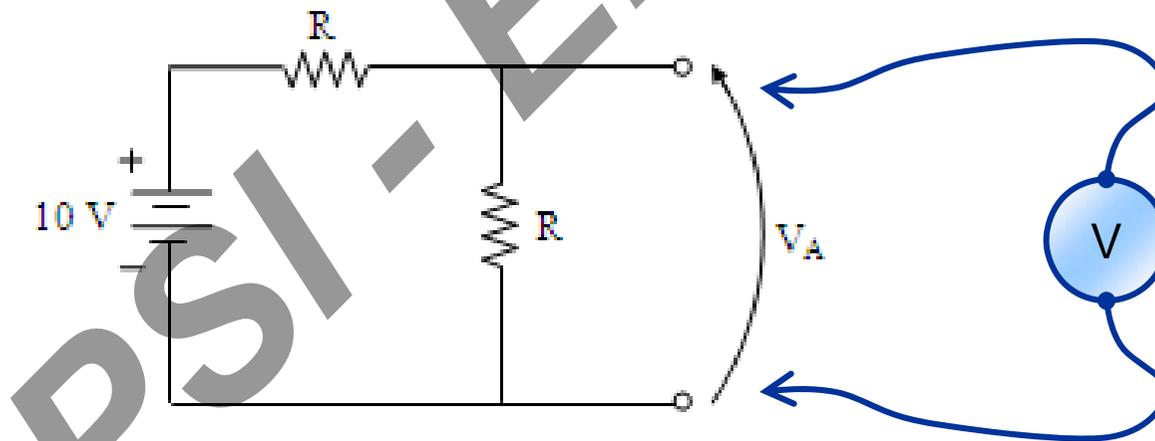


Figura 3 – Circuito para Verificação da Influência do Multímetro no Circuito sob Teste

Este circuito é o mesmo ainda (só que mais detalhado)

Figura 4 – pág. 6 da apostila

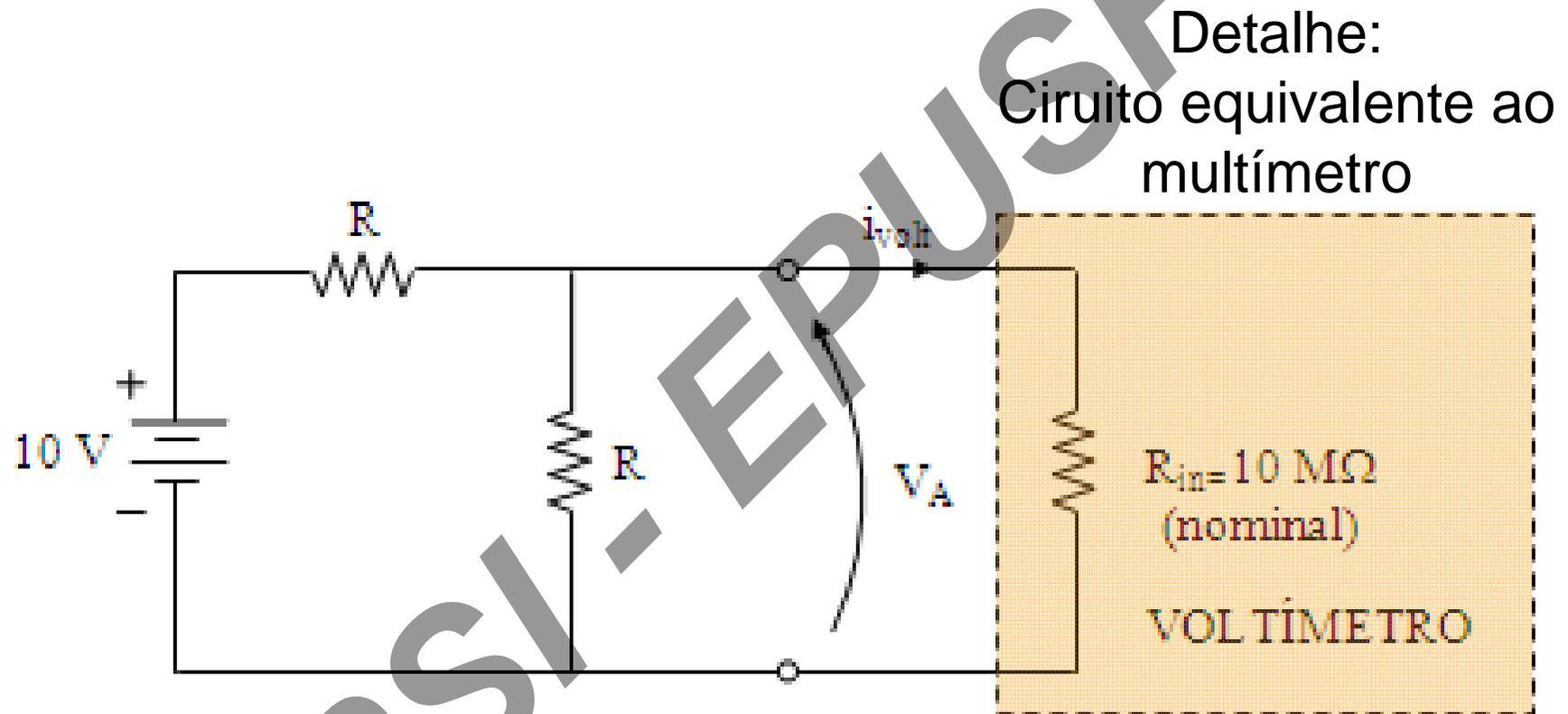


Figura 4 – Resistência Interna do Voltímetro

Efeito da resistência interna do multímetro → **testaremos 2 situações**

1ª situação – as duas resistências são de $4,7 \text{ k}\Omega$

2ª situação – as duas resistências são de $10 \text{ M}\Omega$

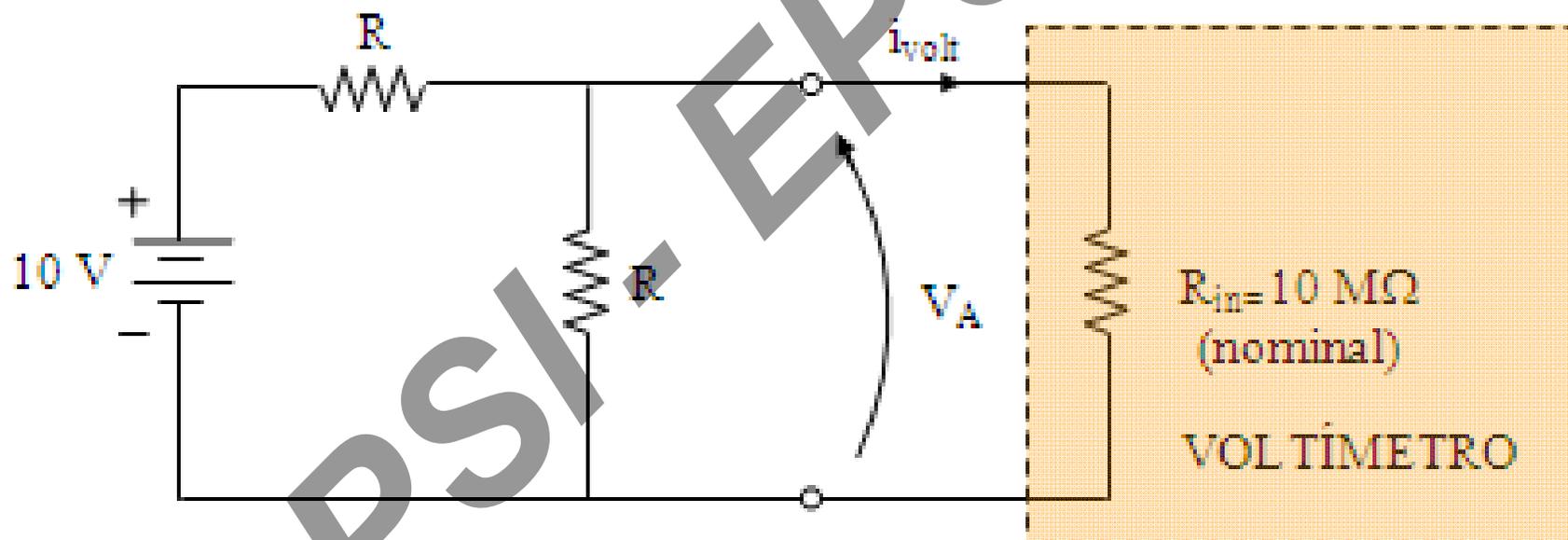
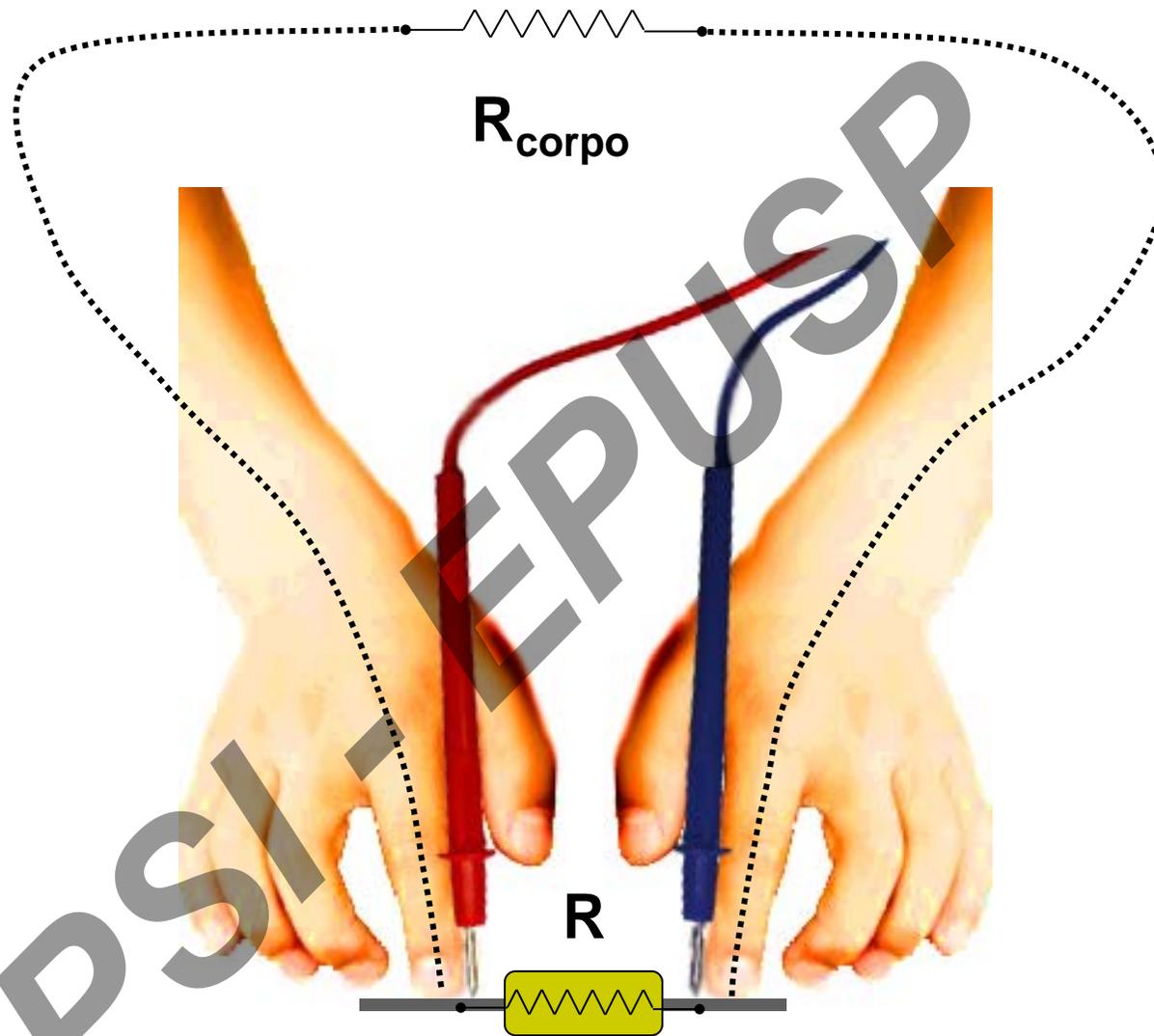


Figura 4 – Resistência Interna do Voltímetro



Efeito da resistência do corpo

Multímetro – Escalas de resistência

- Escalas até 500 k Ω
- Exatidão: \pm (0,1% valor medido + 20 dígitos)
- ***NUNCA USAR O OHMÍMETRO COM O CIRCUITO ENERGIZADO***

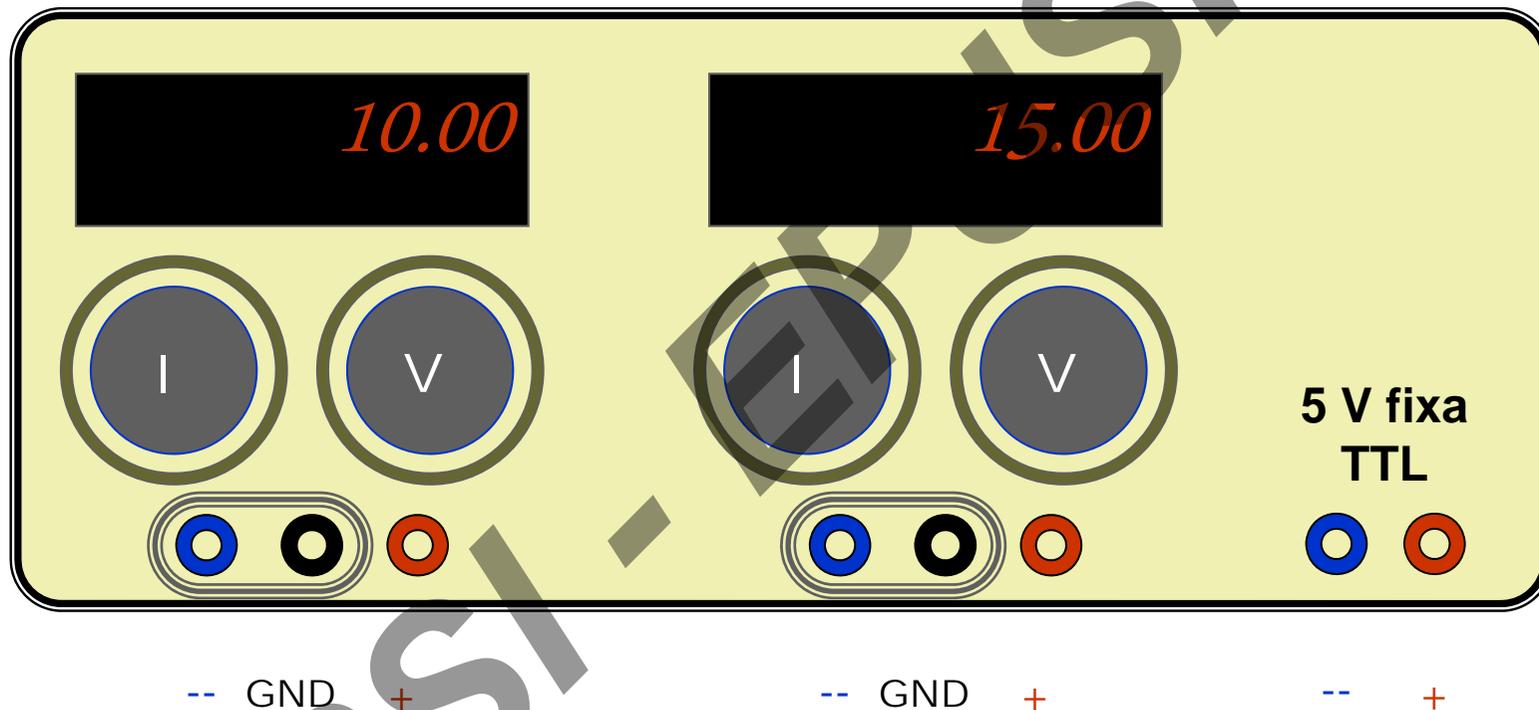


Equipamentos

- Placa de montagem com pinos *bergstick*
- Fonte de tensão ajustável
- Multímetro digital *Tektronix*

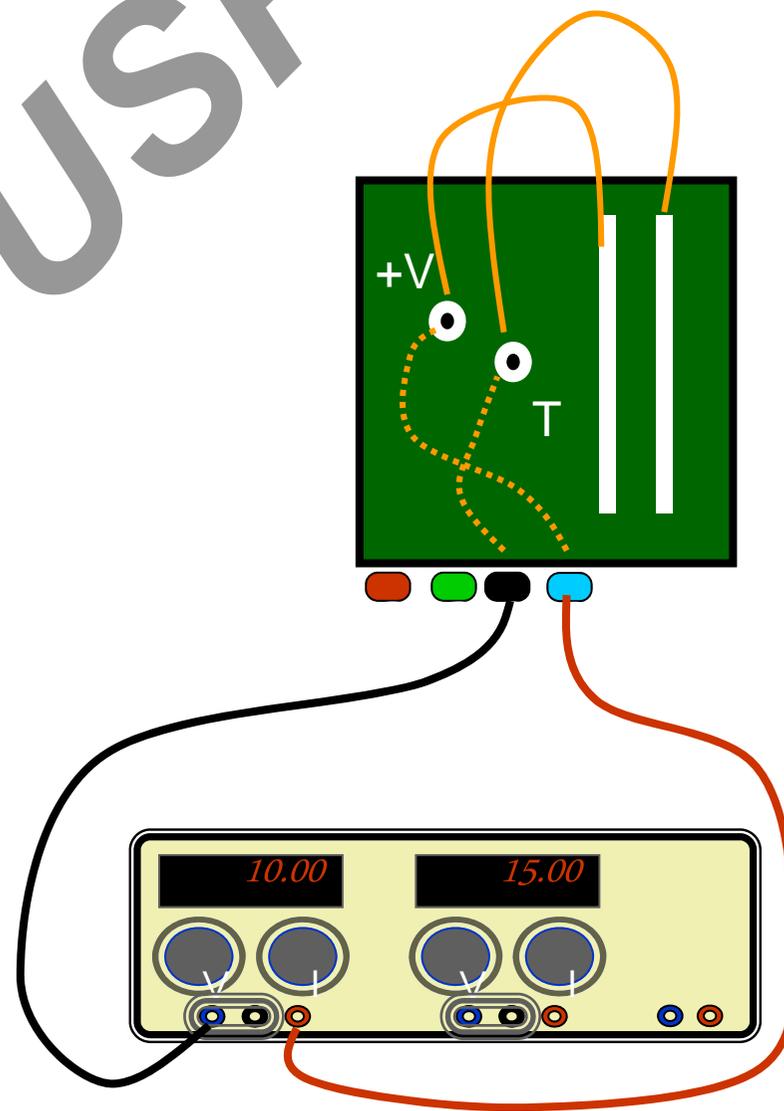
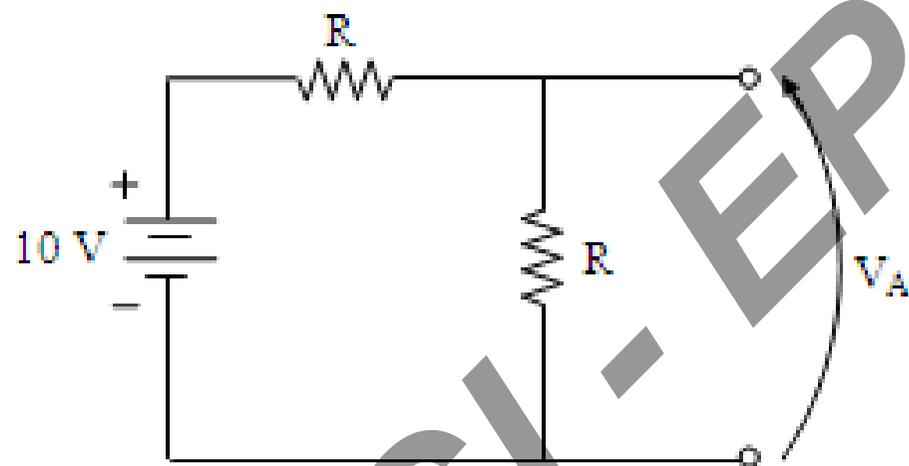
PSI-ERUSP

Fonte de tensão ajustável (*dupla*)

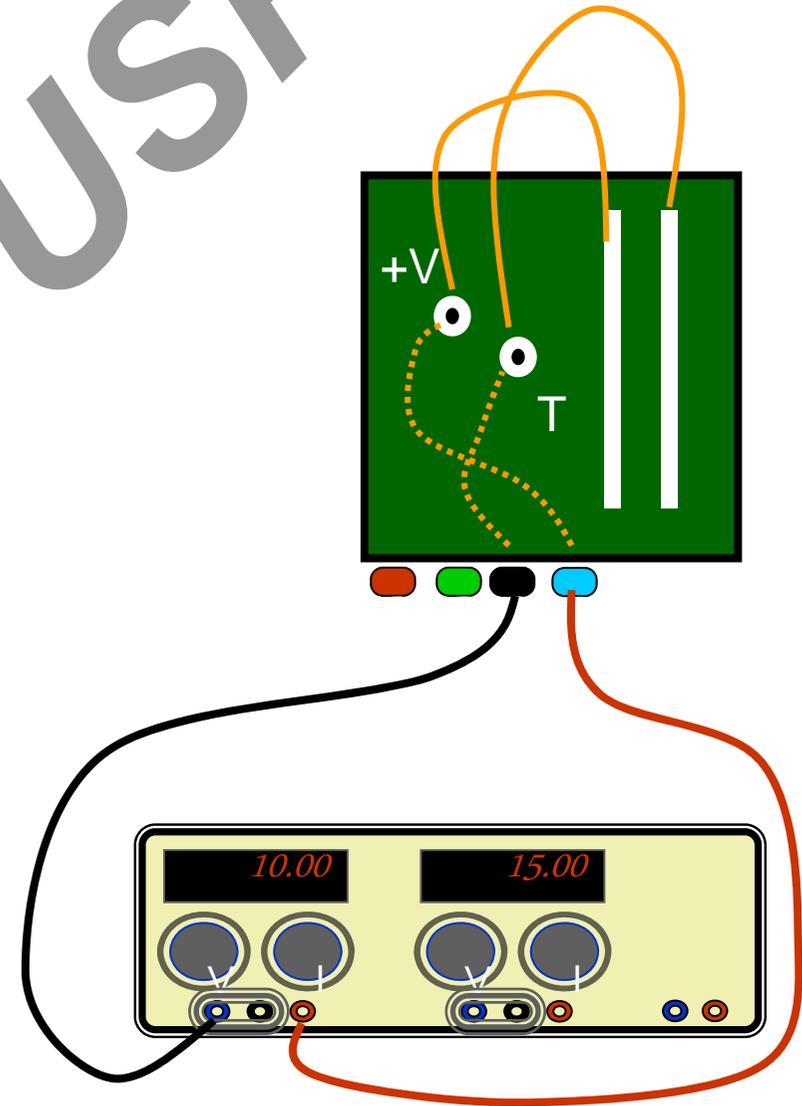
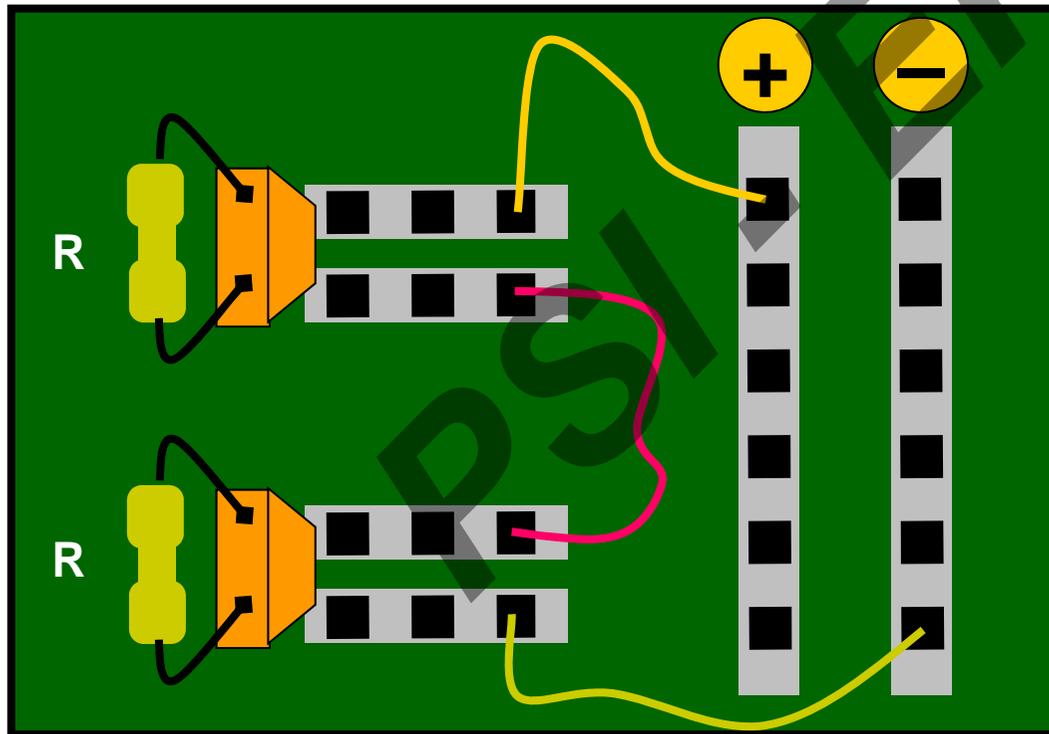
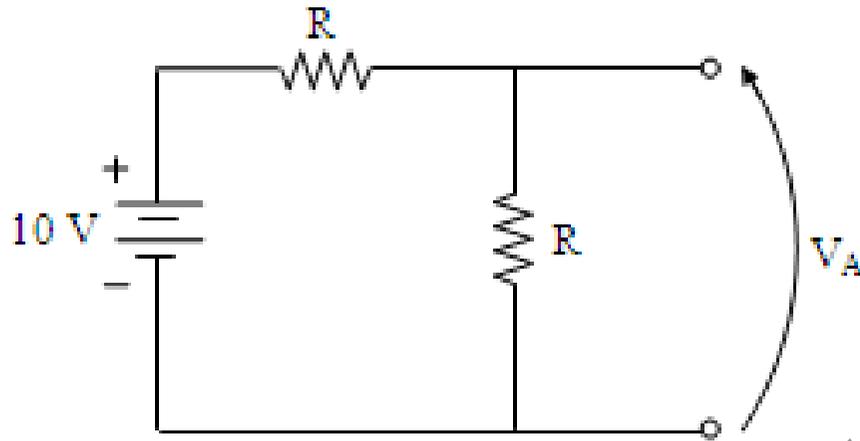


O botão de corrente serve para ajustar o limitador de corrente máxima

Montagem do circuito



Montagem do circuito



Deve-se conhecer a **tensão** e a **corrente**

- A **tensão** será **ajustada com o mostrador da fonte**
- A **corrente** será **medida com o multímetro**

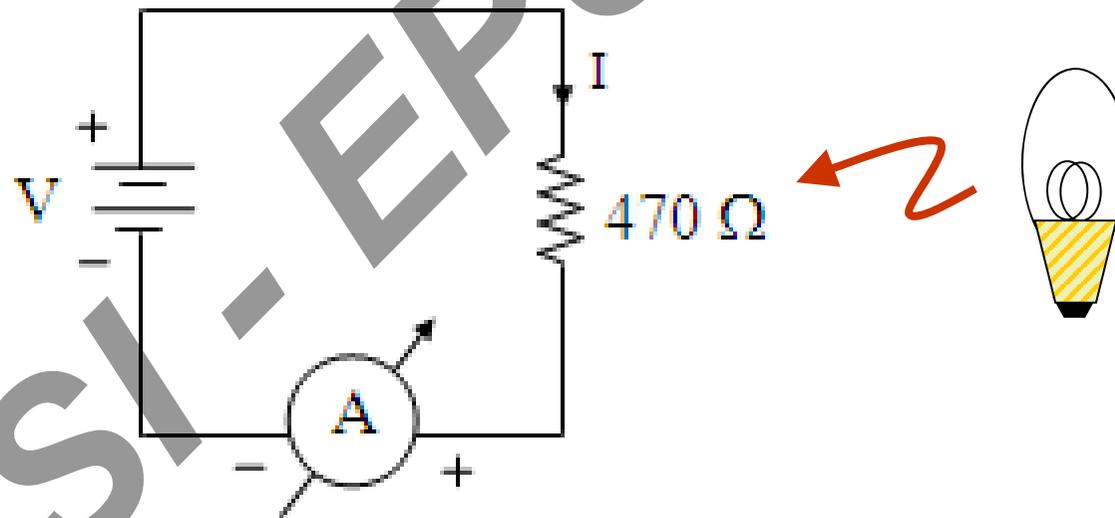
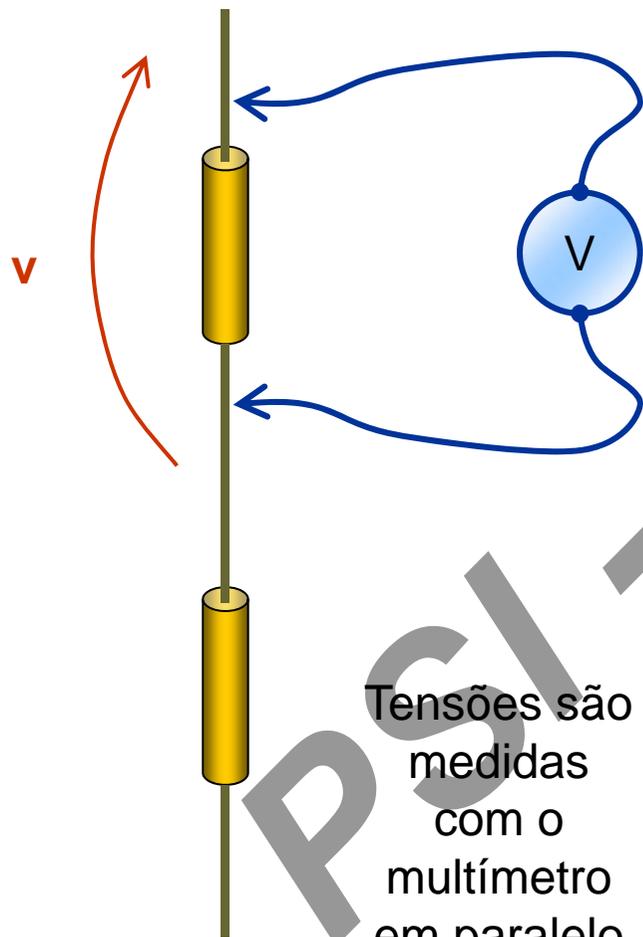
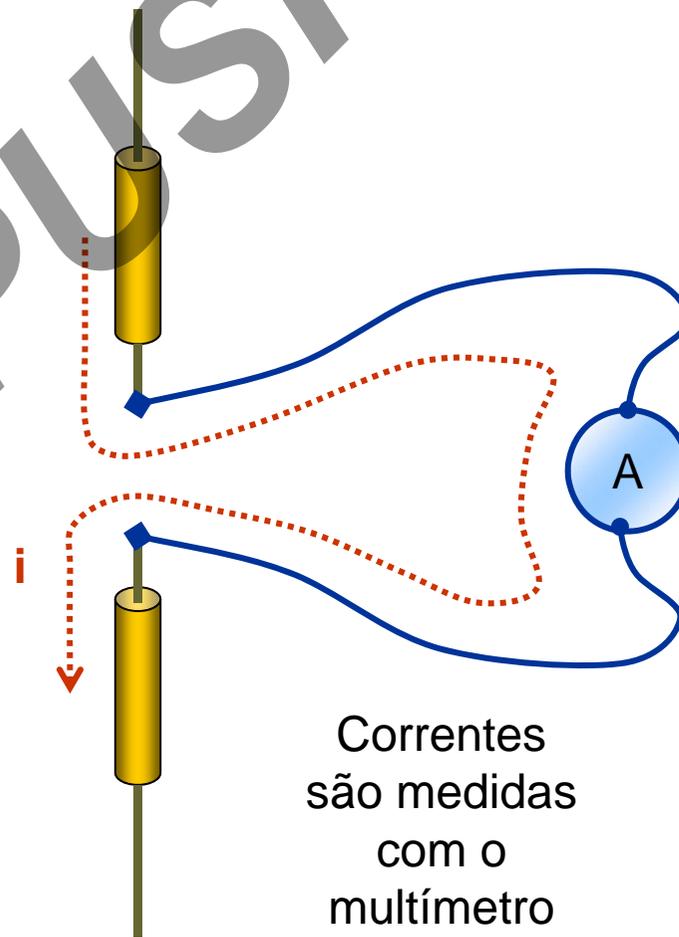


Figura 10 – Circuito para Verificação da Lei de Ohm

Medidas de Tensão e Corrente

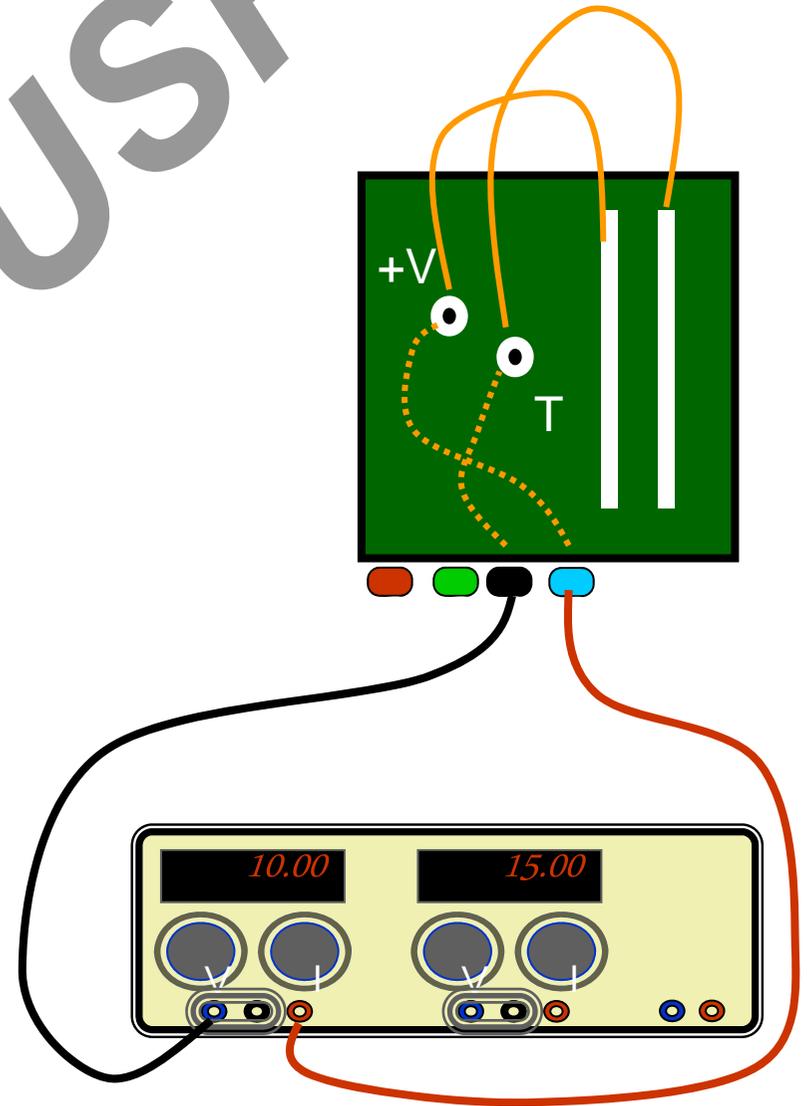
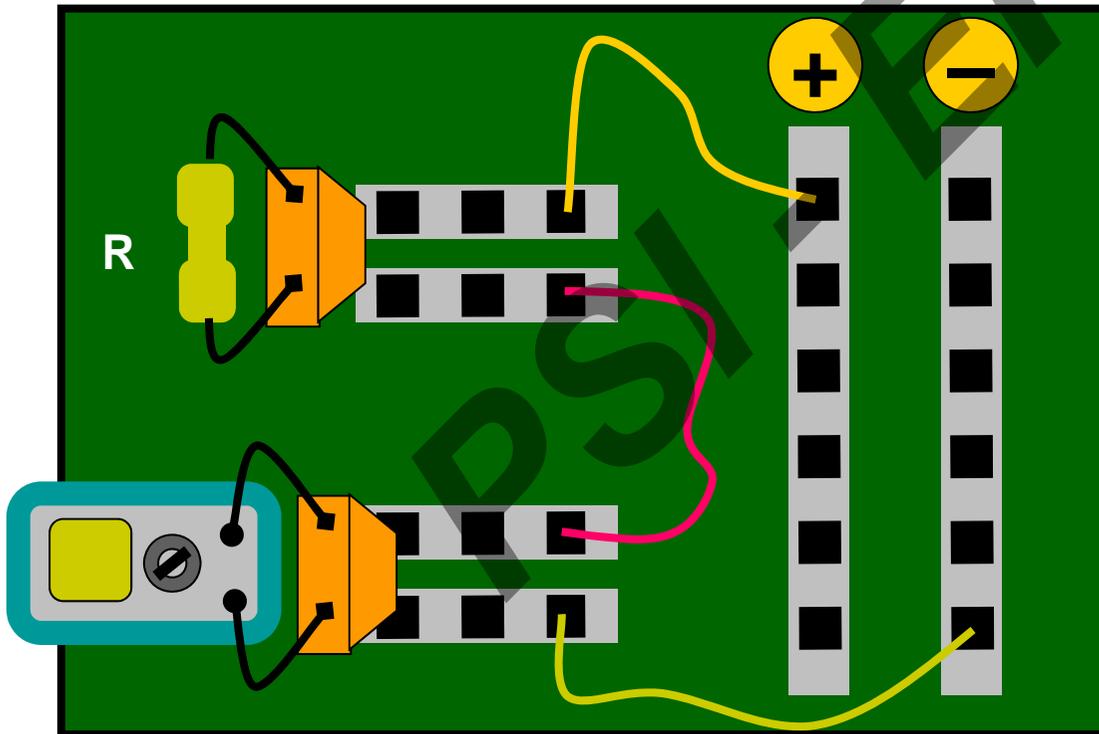
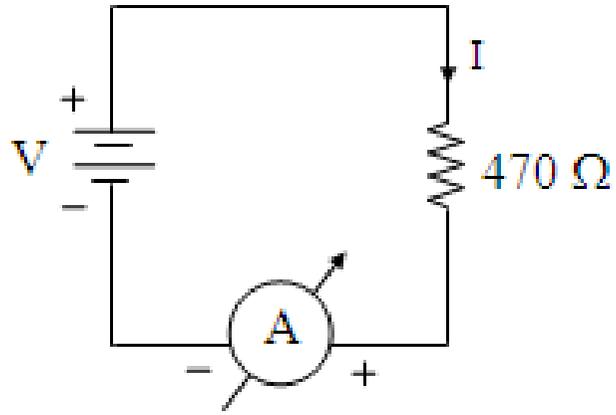


Tensões são medidas com o multímetro em paralelo com o ramo



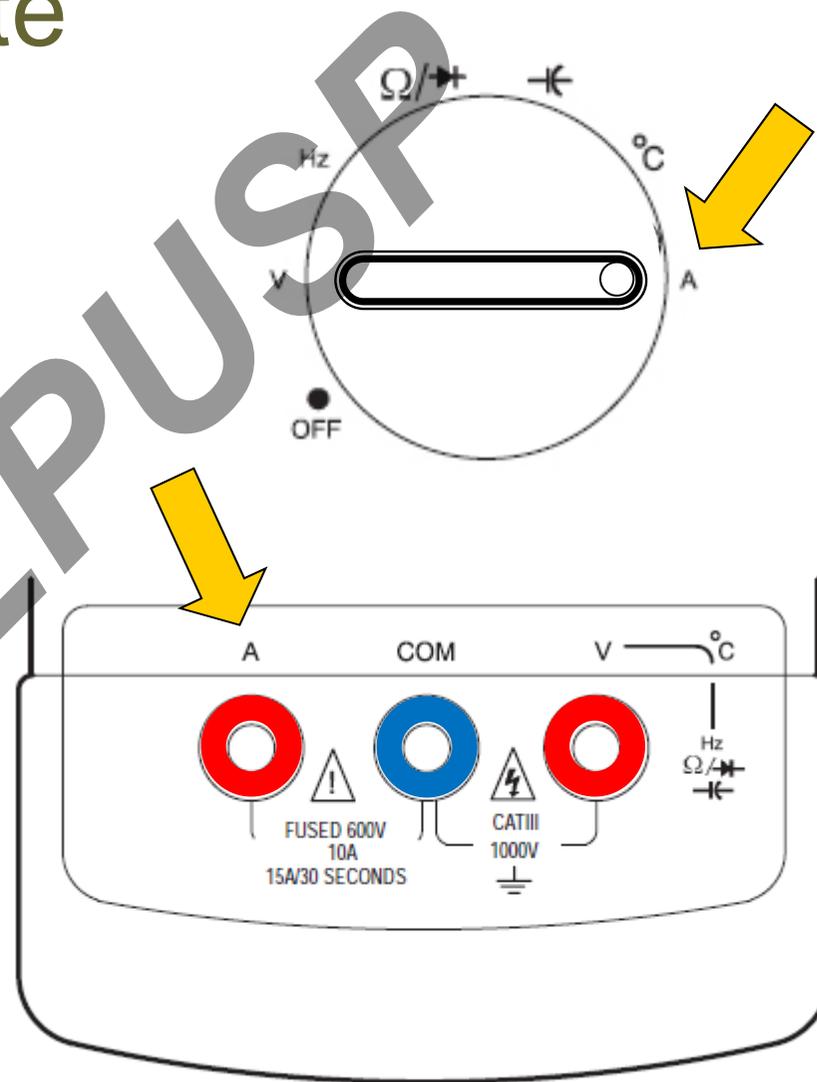
Correntes são medidas com o multímetro em série com o ramo

Montagem do circuito



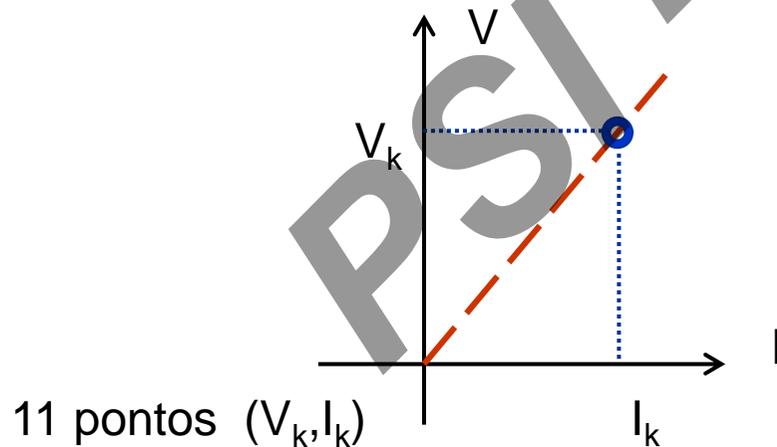
Medição de corrente

- Usar o terminal **positivo** para corrente e o terminal **comum** (negativo)
- Chave seletora em **A** (Amperes)



Lei de Ohm

- $V = R \cdot I$
- Você vai levantar vários pontos de um gráfico V versus I



V_k	I_k
0	0
1	2,1
2	4,3
3	6,7
4	8,6
5	10,6
6	12,9
7	15,1
8	17,2
9	19,4
10	21,6

1ª parte experimental

- **Uso do multímetro para medir tensões**
(como voltímetro)
 - Circuitos das figs. 3 (pág.5) e 4 (pág.6)
 - Item 1.2 da folha de respostas
- **Verificação experimental da lei de Ohm**
 - Circuito da fig. 10 (pág.11)
 - Item 3 da folha de respostas (faça o gráfico e os cálculos em casa)

● 2ª parte teórica

- Discussão das medidas da lei de Ohm
- Apresentação do amplificador a transistor

PSI-EPUSP

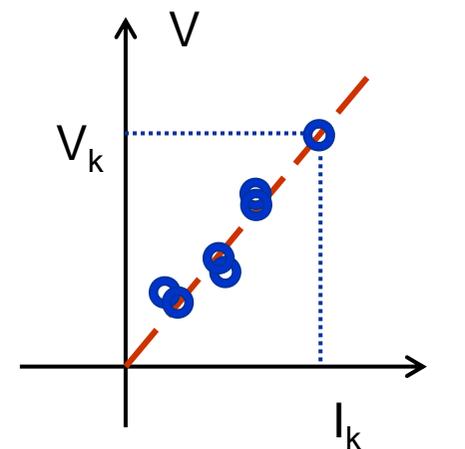
Lei de Ohm

V_k	I_k	R_k
0	0	0
1	2,1	0,48
2	4,3	0,47
3	6,7	0,45
4	8,6	0,47
5	10,6	0,47
6	12,9	0,47
7	15,1	0,47
8	17,2	0,47
9	19,4	0,46
10	21,6	0,46

- Você preencheu uma tabela como a ao lado para o resistor de 470Ω
- Deseja-se então estimar valor da resistência R tal que

$$V_k = R \cdot I_k$$

pontos (V_k, I_k)



Lei de Ohm

A lei de Ohm caracteriza um bipolo ôhmico
Como tendo resistência constante, isto é,
Independente dos valores de tensão e da
corrente

Mas seus resultados mostram que **o valor de R flutua** com a
tensão e a corrente devido a incertezas

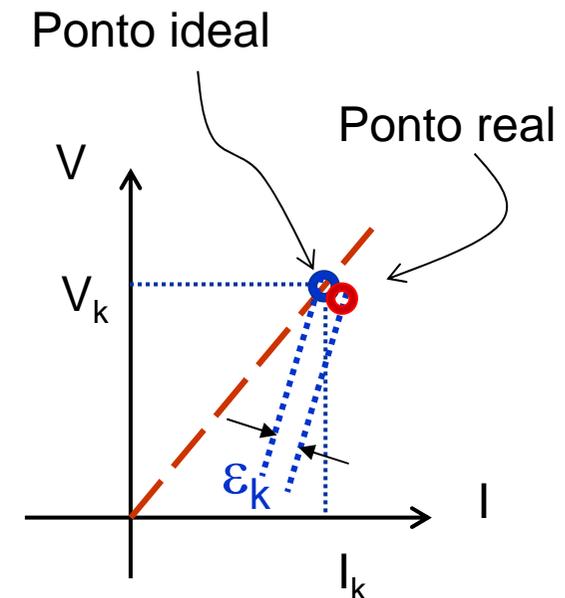
portanto,

$$V_k - R \cdot I_k = \varepsilon_k \text{ (erro)}$$

Erro quadrático total: (para todos os pontos
experimentais)

$$\varepsilon_{\text{tot}}^2 = \sum_k \varepsilon_k^2$$

$$\varepsilon_{\text{tot}}^2 = \sum_k (V_k - R \cdot I_k)^2$$



Lei de Ohm

$$\varepsilon_{\text{tot}}^2 = \sum_k (V_k - R \cdot I_k)^2$$

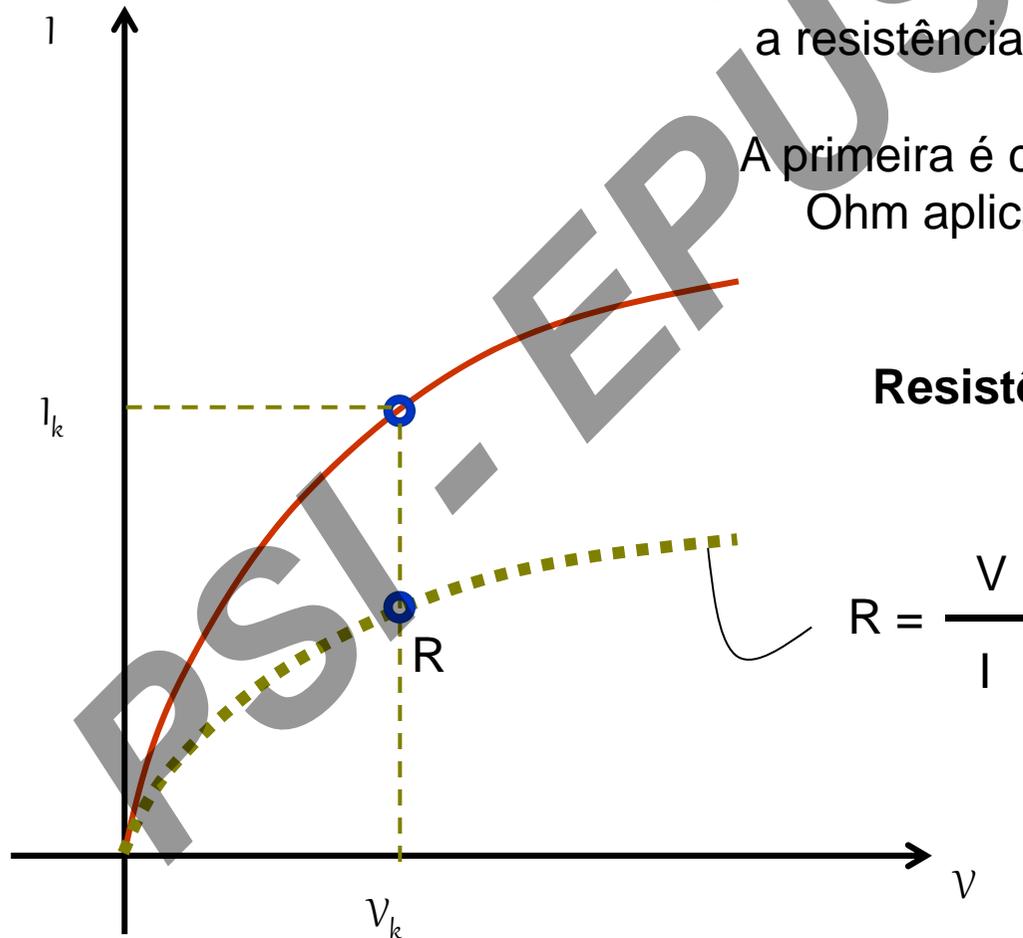
Nosso objetivo é achar o valor de R que melhor retrate os pontos experimentais. Isto é, R tal que o erro seja o menor possível (mínimo).

Podemos então achar o valor de R que minimiza o erro quadrático total:

$$\frac{d\varepsilon_{\text{tot}}^2}{dR} = \frac{d}{dR} \sum_k (V_k - R \cdot I_k)^2$$

Resistência da Lâmpada (não linear)

Há duas formas de considerarmos a resistência de um bipolo não linear:
A primeira é calcular pela lei de Ohm aplicada a cada ponto:

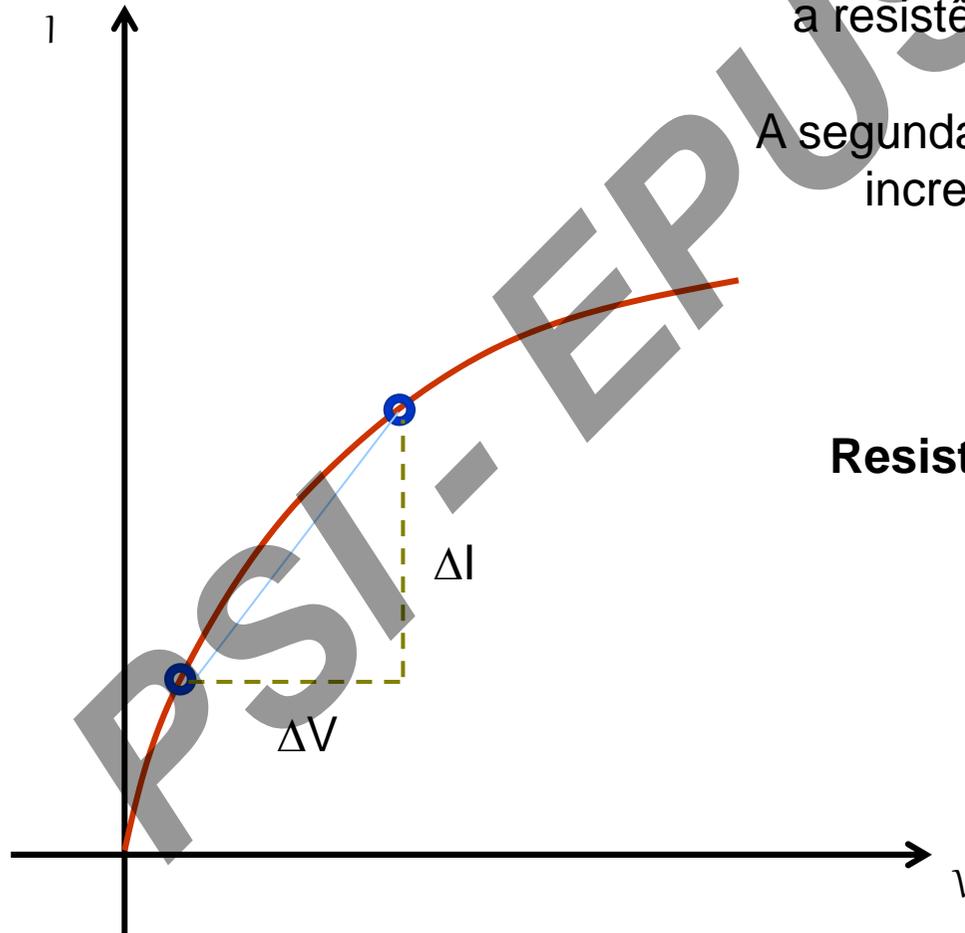


Resistência (lei de Ohm):

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

Resistência da Lâmpada (não linear)

Há duas formas de considerarmos a resistência de um bipolo não linear:
A segunda é calcular resistência incremental em cada ponto

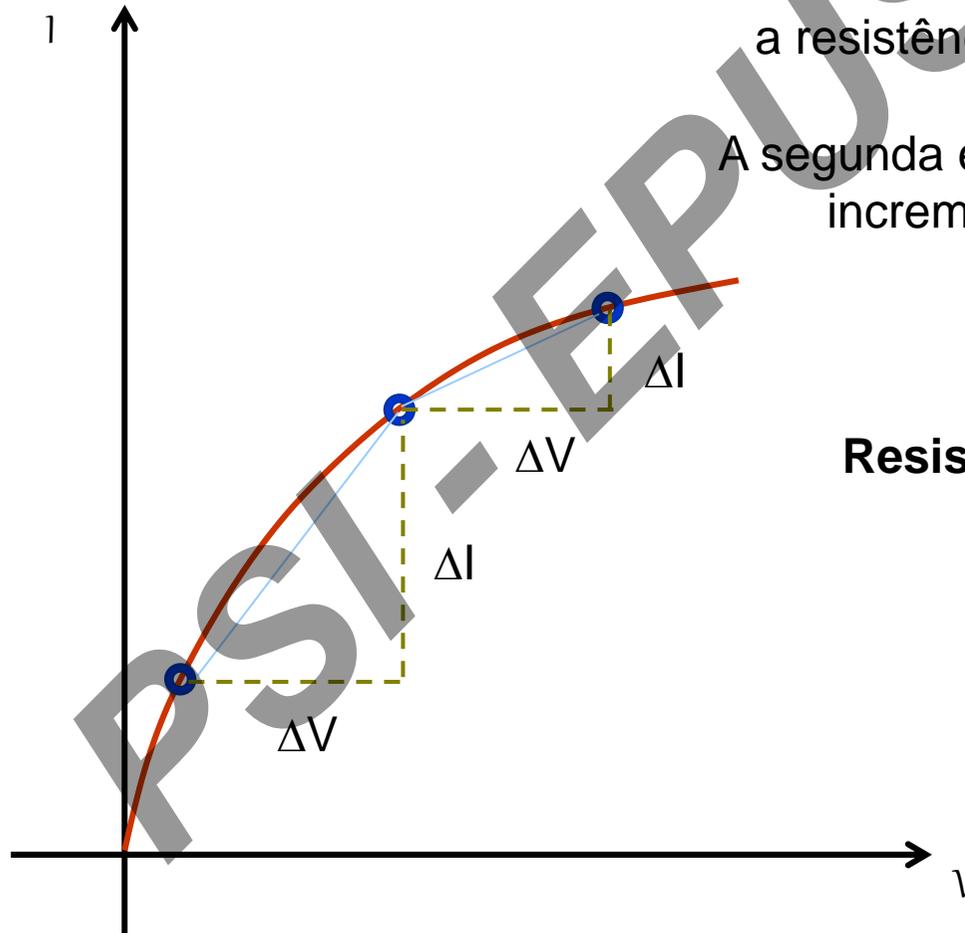


Resistência (incremental):

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Resistência da Lâmpada (não linear)

Há duas formas de considerarmos a resistência de um bipolo não linear:
A segunda é calcular resistência incremental em cada ponto

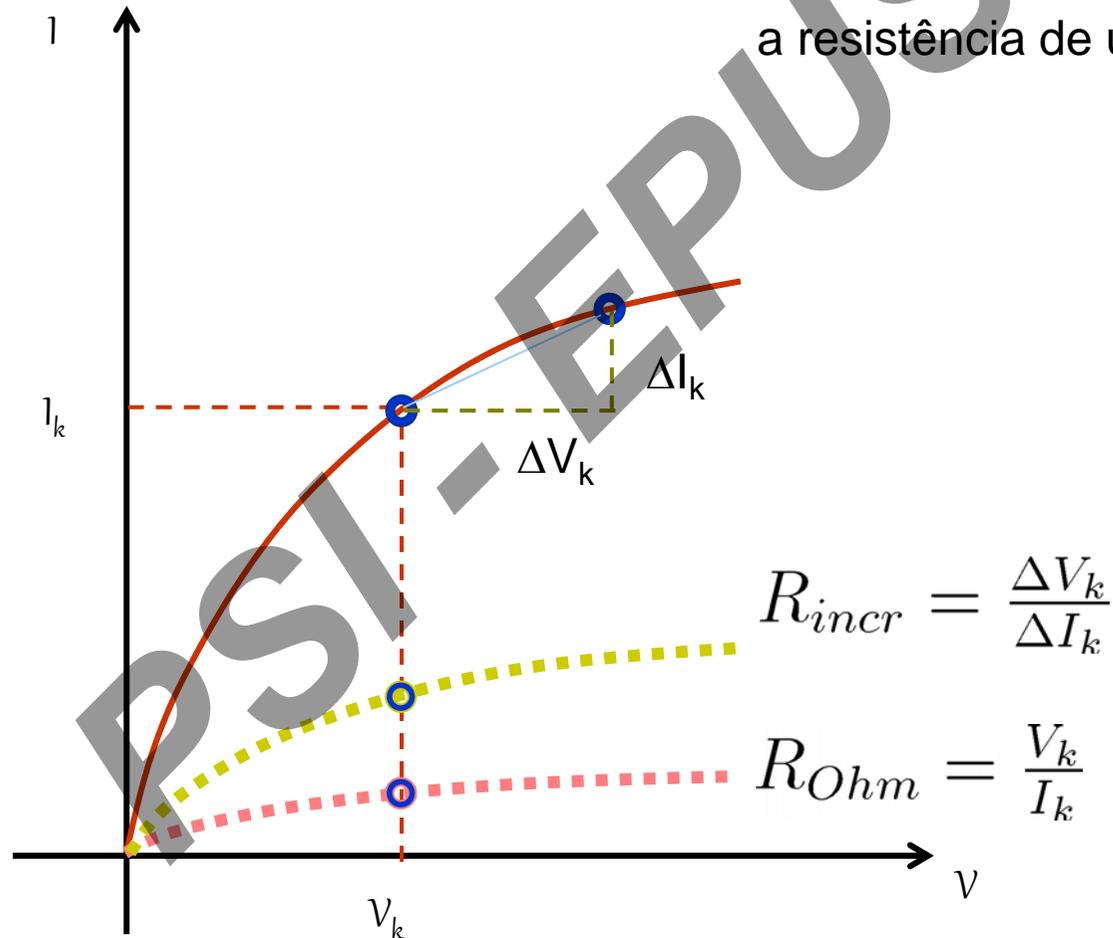


Resistência (incremental):

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Resistência da Lâmpada (não linear)

Há duas formas de considerarmos a resistência de um bipolo não linear:



Amplificador transistorizado

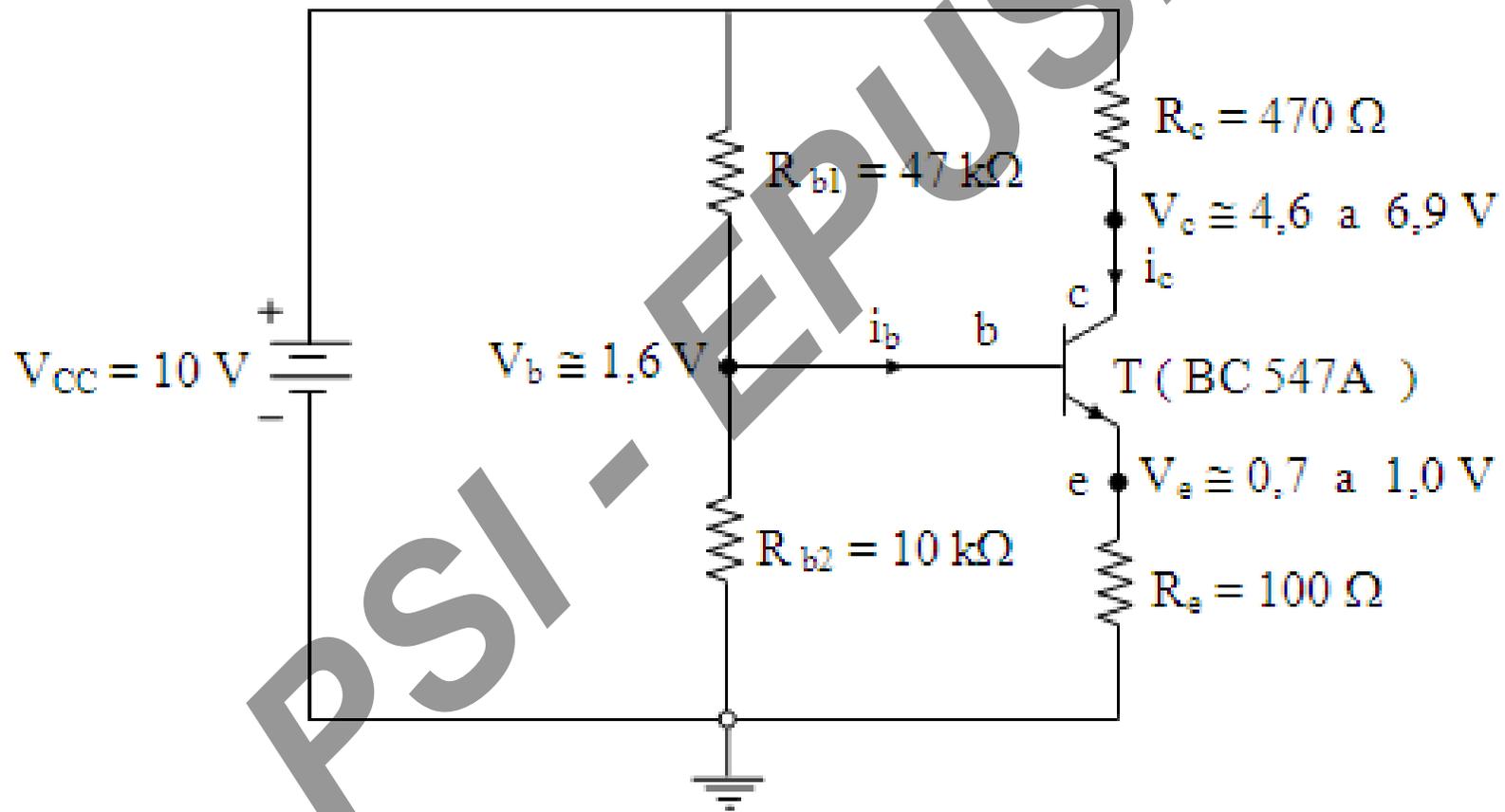
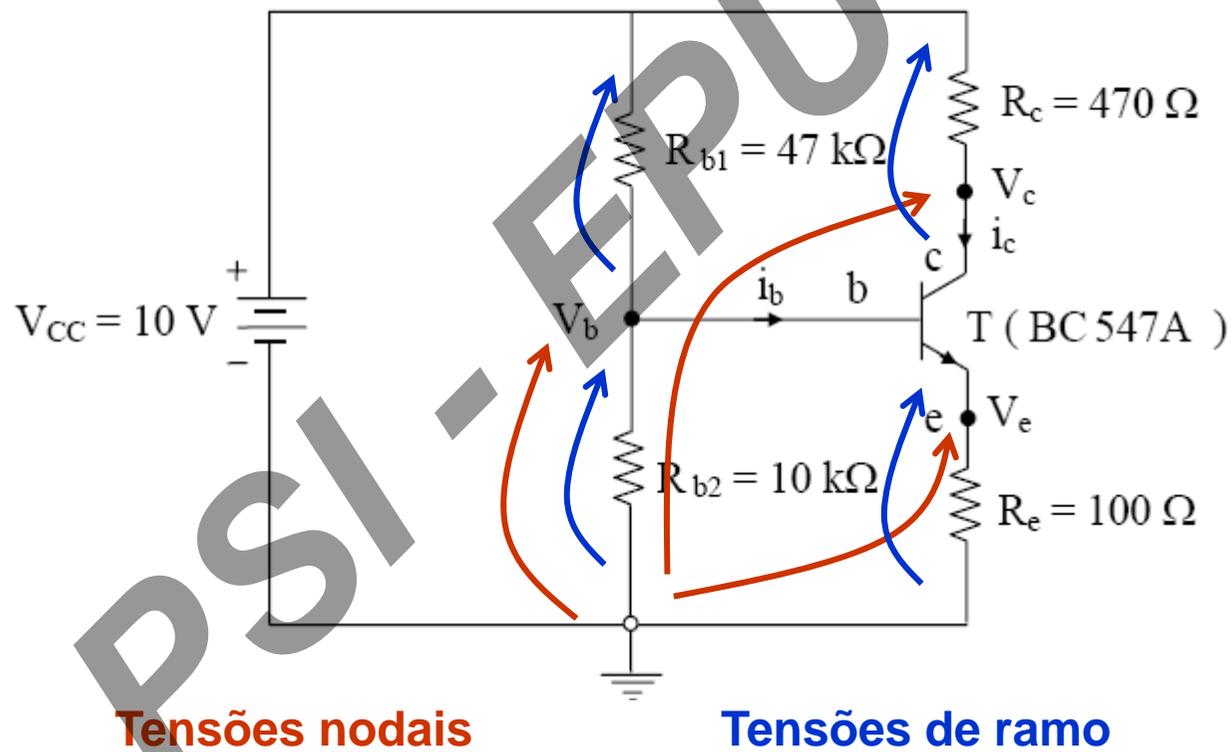
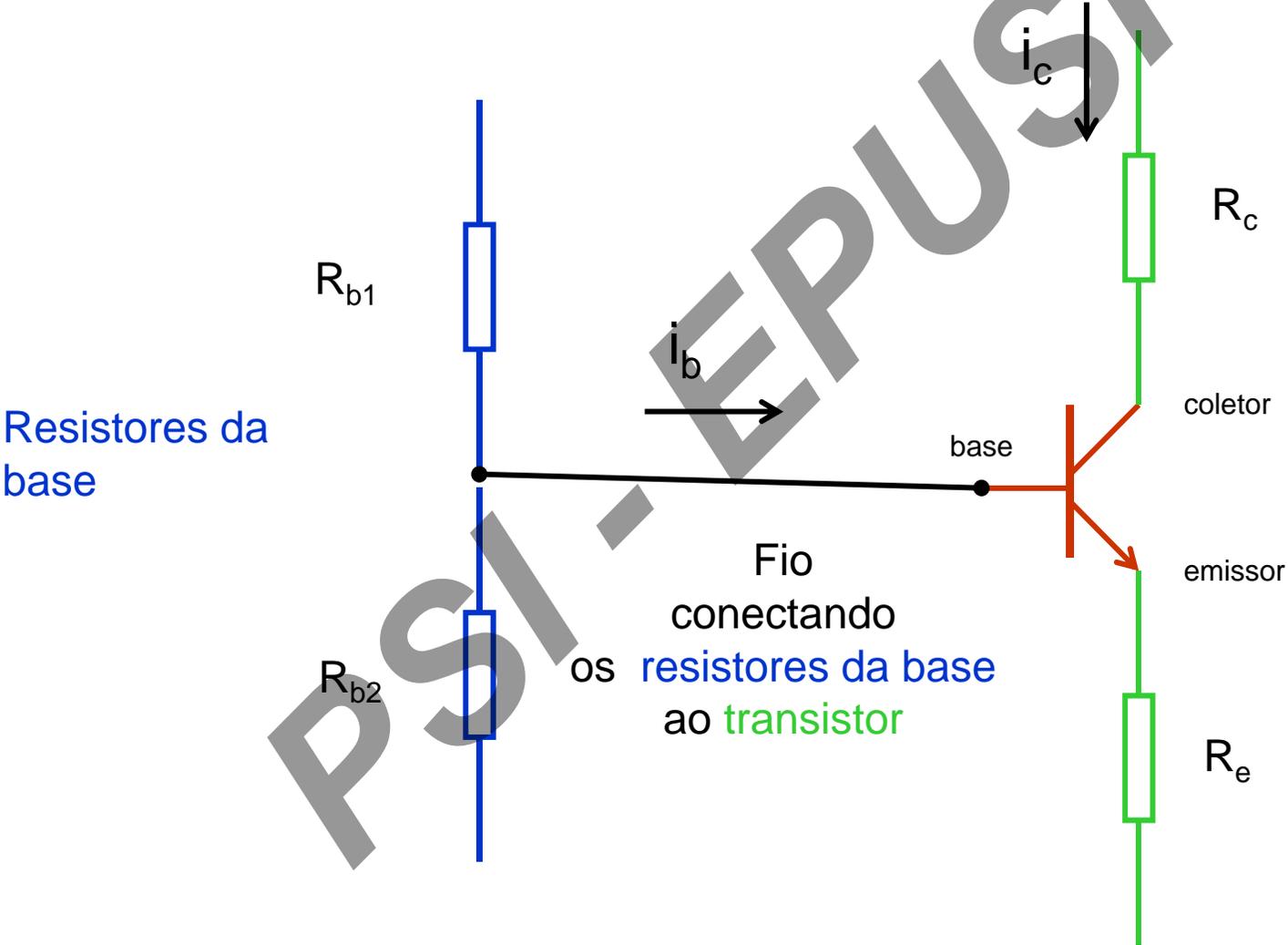


Figura 1 – Amplificador Transistorizado

Tensões a serem medidas



Ganho de corrente do transistor



Resistores da base

Fio conectando os resistores da base ao transistor

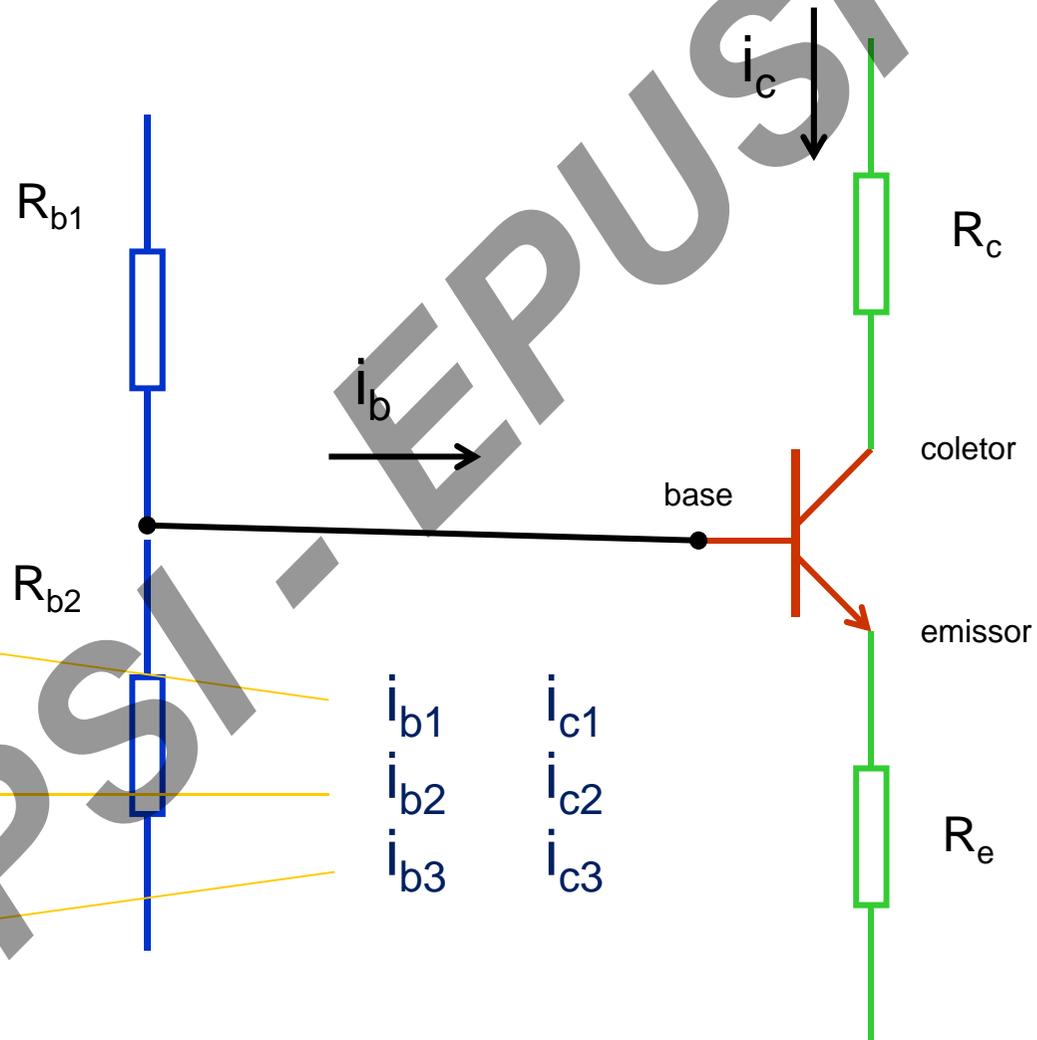
Ganho de corrente do transistor

Resistores da base:

Situação 1:
 $R_{b1} = 47 \text{ k}\Omega$

Situação 2:
 $R_{b1} = 80 \text{ k}\Omega$

Situação 3:
 $R_{b1} = 33 \text{ k}\Omega$

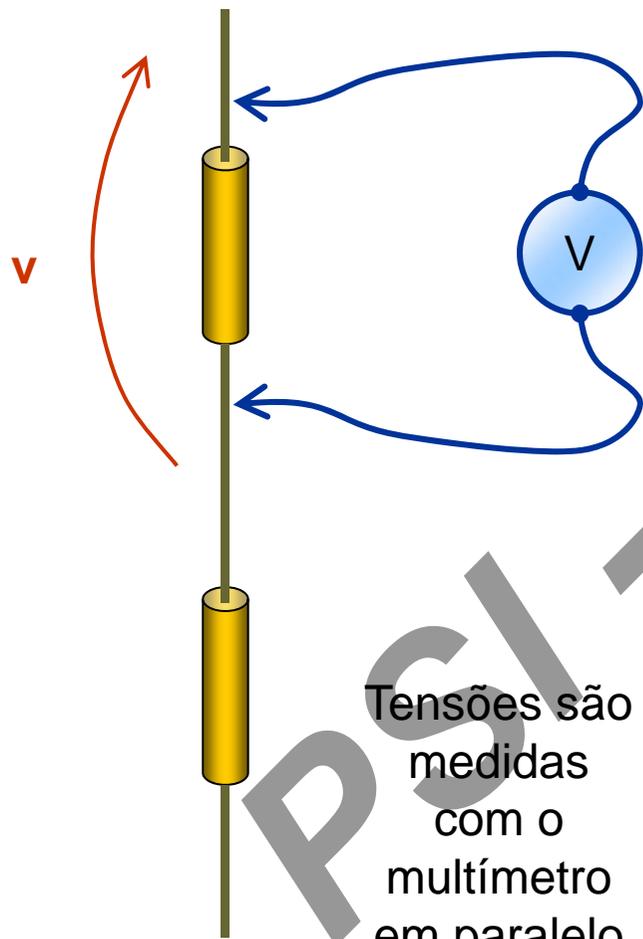


- **2ª parte experimental**

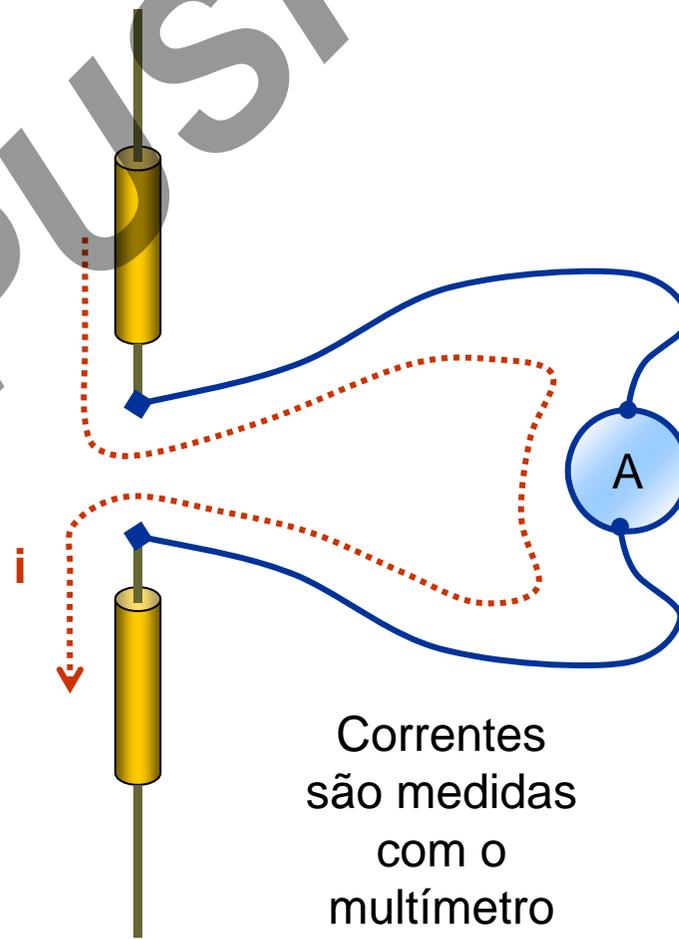
- Circuito da fig. 1

- **Antes de começar**, vamos discutir o circuito e ver como montá-lo com o equipamento disponível

Medidas de Tensão e Corrente



Tensões são medidas com o multímetro em paralelo com o ramo

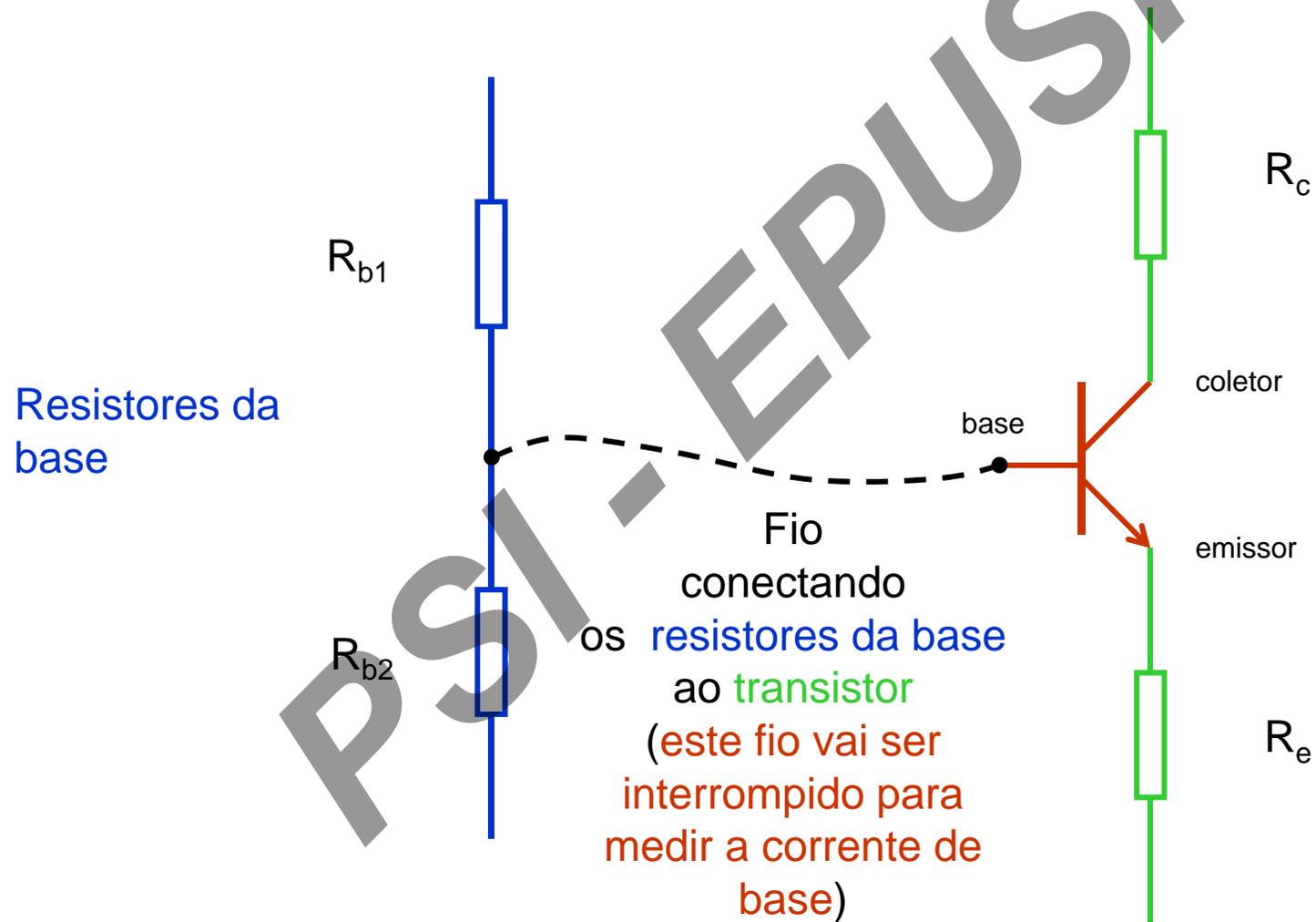


Correntes são medidas com o multímetro em série com o ramo

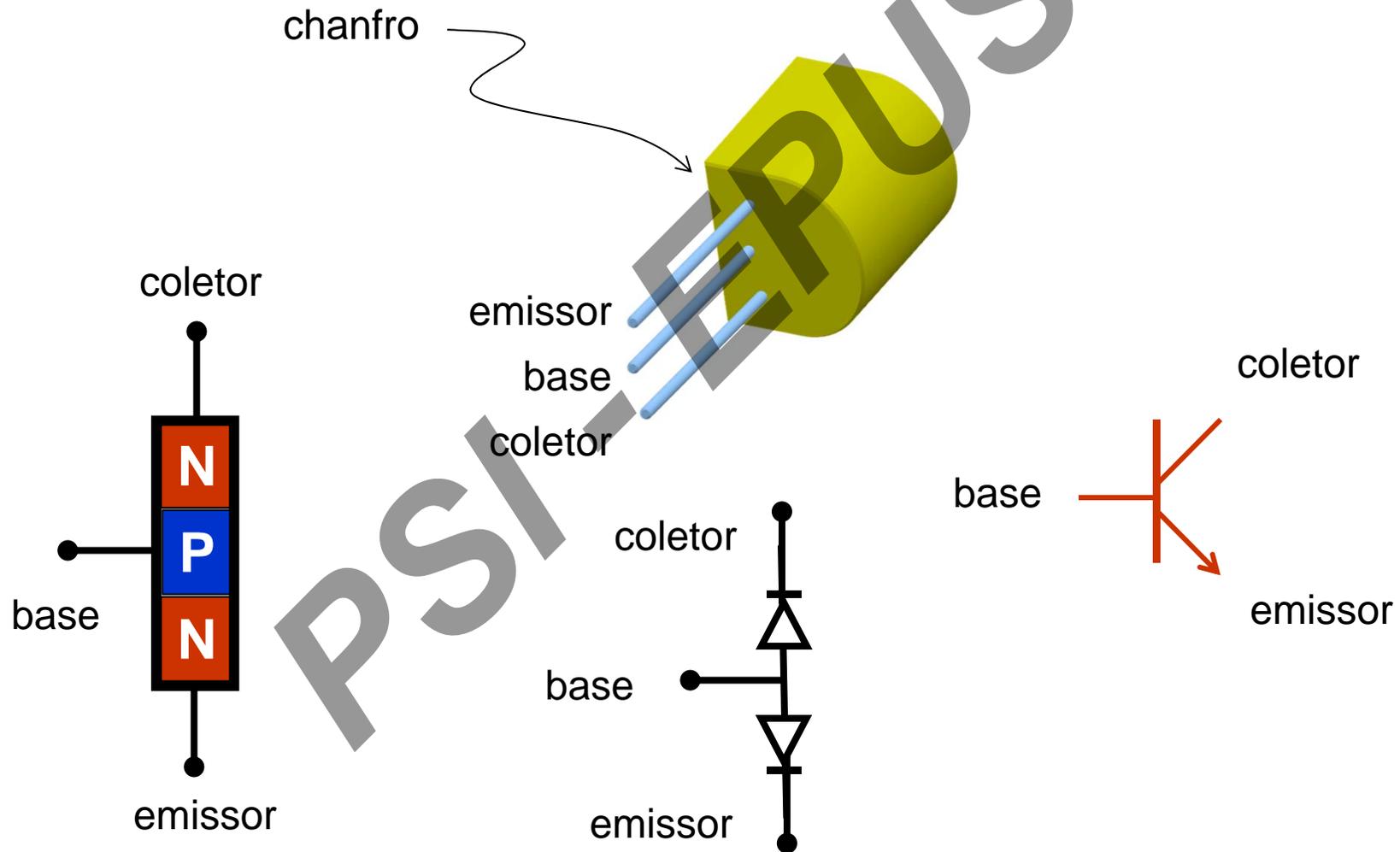
Medidas de Corrente

- Lembrar: para medir uma corrente é preciso abrir o circuito no ramo em que quer medir e inserir o multímetro (isto é, retire o fio e feche o circuito com o amperímetro)
- Faça os cálculos em casa (será preciso usar propagação de erros relativos para comparar os ganhos)

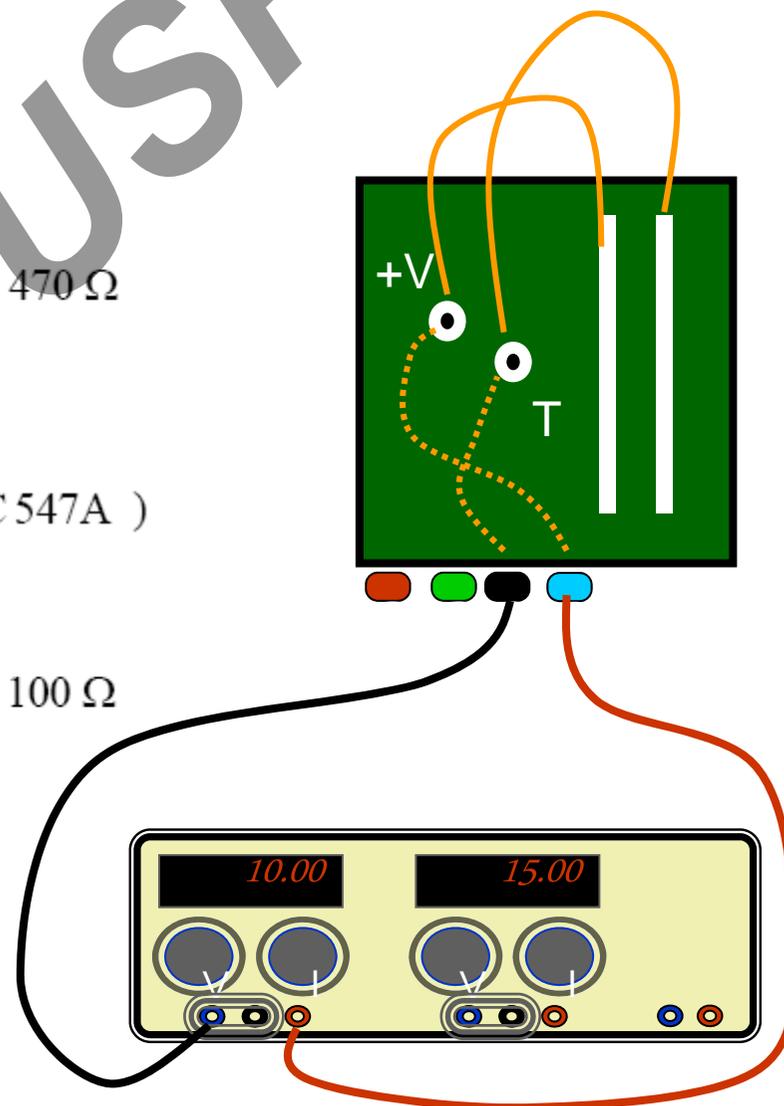
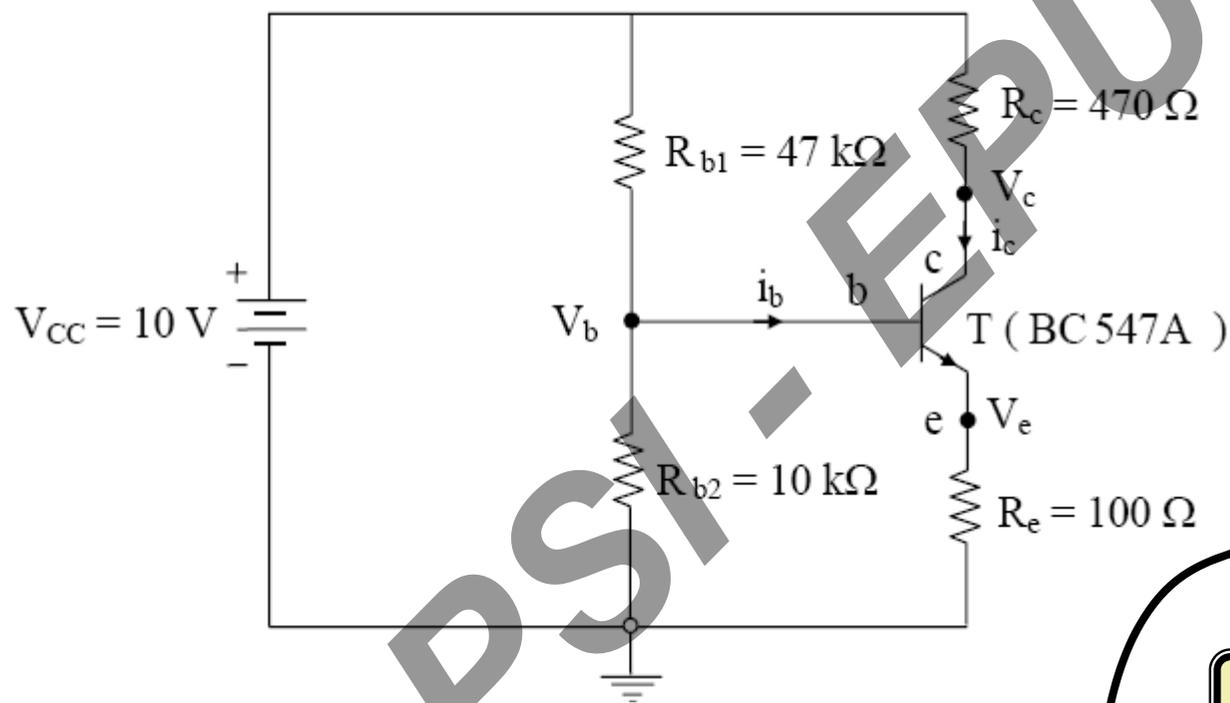
Montagem do circuito com transistor



Transistor – BC 547 A - npn



Montagem dos circuitos



Medidas de resistências – etapas:

1. Não desmonte o circuito antes de começar o item 3. Use $R_{b1} = 33 \text{ k}\Omega$.
2. **Desconecte apenas a fonte** (lembre-se: nunca medir circuito energizado)
3. Meça as resistências com o circuito montado primeiramente (sem a fonte)
4. Depois desmonte o circuito (isto é, tire os fios)
5. Meça agora as resistências com o circuito desmontado