

## **Sumário**

<b>Introdução</b>	<b>5</b>
<b>Primeira Lei de Kirchhoff</b>	<b>6</b>
<b>Características do circuito paralelo</b>	<b>6</b>
<b>Segunda Lei de Kirchhoff</b>	<b>12</b>
<b>Características dos circuitos série</b>	<b>12</b>
<b>Segunda Lei de Kirchhoff</b>	<b>17</b>
<b>Leis de Kirchhoff e Ohm em circuitos mistos</b>	<b>17</b>
<b>Apêndice</b>	<b>29</b>
<b>Questionário</b>	<b>29</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>29</b>



**Espaço SENAI**

### **Missão do Sistema *SENAI***

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

**Melhoria da Qualidade** – Buscar constantemente a melhoria do desempenho no trabalho, visando à excelência dos resultados.

# Introdução

---

Os circuitos eletrônicos em geral se caracterizam por se constituírem de vários componentes, todos funcionando simultaneamente. Ao abrir um rádio portátil, por exemplo, podem-se observar quantos componentes são necessários para que se possa obter o som. Assim é para a grande maioria dos equipamentos eletrônicos.

Ao ligar um aparelho, a corrente flui por muitos caminhos, e a tensão fornecida pela fonte de energia se distribui pelos diversos componentes. Esta distribuição de corrente e tensão obedece fundamentalmente a duas leis: as **Leis de Kirchhoff**.

Para que se possa compreender a distribuição das correntes e tensões em circuitos como o de um rádio portátil, primeiro é necessário estudar e compreender essa distribuição em circuitos simples, formados apenas por resistores, lâmpadas etc. Para isso, foi elaborado este fascículo que tratará das Leis de Kirchhoff.

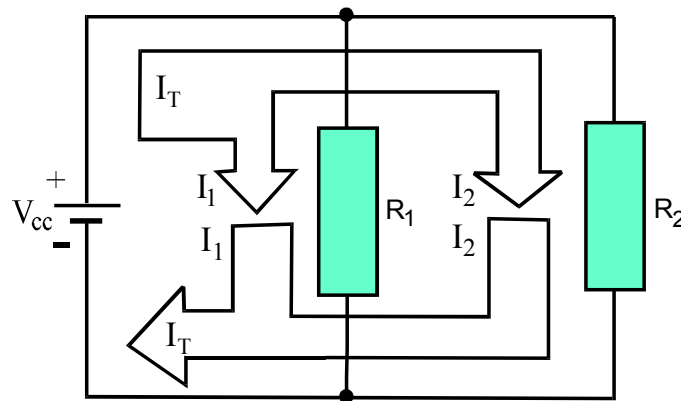


*Para ter sucesso no desenvolvimento do conteúdo e atividades deste fascículo, o leitor já deverá ter conhecimentos relativos a:*

- Associação de resistores.
- Lei de Ohm.

# Primeira Lei de Kirchhoff

A primeira Lei de Kirchhoff refere-se à forma como a corrente se distribui nos circuitos paralelos, como mostrado na **Fig.1**.



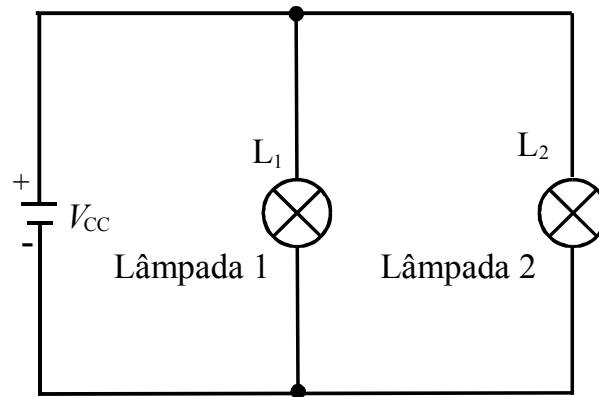
**Fig.1** Distribuição da corrente em um circuito paralelo.

Através da primeira Lei de Kirchhoff e da Lei de Ohm, pode-se determinar a corrente em cada um dos componentes associados em paralelo.

O conhecimento e compreensão da primeira Lei de Kirchhoff é indispensável para a manutenção e projeto de circuitos eletrônicos.

## CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO PARALELO

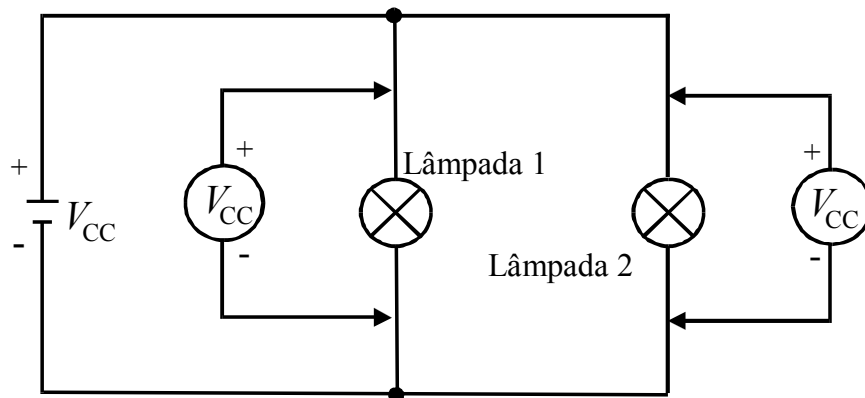
Os circuitos paralelos apresentam algumas características particulares, cujo conhecimento é indispensável para a compreensão da primeira Lei de Kirchhoff. Essas características podem ser analisadas, tomando-se como ponto de partida o circuito da **Fig.2**.



**Fig.2** Exemplo de circuito paralelo.

Observando-se o circuito, verifica-se que tanto a lâmpada 1 como a lâmpada 2 têm um dos terminais ligado diretamente ao pólo positivo da fonte de alimentação e o outro ligado ao pólo negativo.

Ligadas dessa forma, cada uma das lâmpadas ( $L_1$  e  $L_2$ ) está diretamente conectada à fonte de alimentação recebendo a mesma tensão nos seus terminais, como mostrado na **Fig.3**.



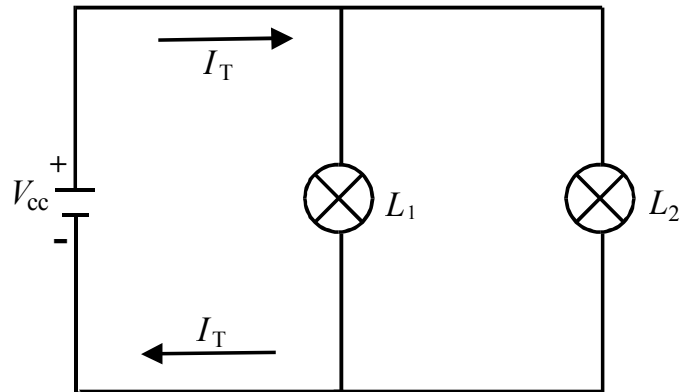
**Fig.3** Cada lâmpada submetida à mesma tensão  $V_{cc}$ .



**Em um circuito paralelo, a tensão sobre os componentes associados é a mesma.**

A função da fonte de alimentação nos circuitos é fornecer a corrente elétrica necessária para o funcionamento dos consumidores.

Quando um circuito possui apenas uma fonte de alimentação, a corrente fornecida por esta fonte é denominada de **corrente total**, representada pela notação  $I_T$  nos esquemas, como mostrado na Fig.4.



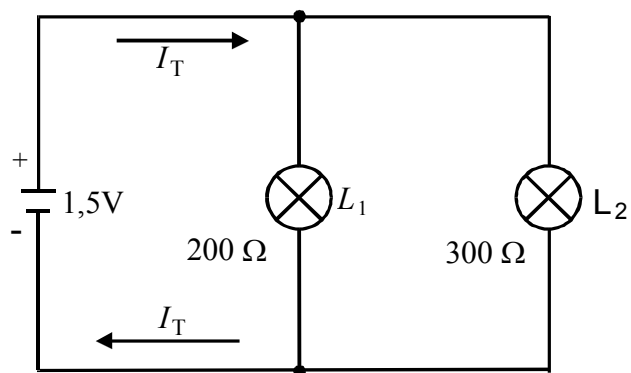
**Fig.4** Ilustração de corrente total em um circuito paralelo.

Para a fonte de alimentação, não é importante se os consumidores são lâmpadas, resistores ou aquecedores. A corrente que a fonte fornece ( $I_T$ ) depende apenas, segundo a Lei de Ohm, da sua tensão ( $V_T$ ) e da resistência total ( $R_T$ ) que os consumidores apresentam, ou seja :

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} \quad (1)$$

**Exemplo 1:**

Determinar a corrente total no circuito da figura abaixo.



Solução :

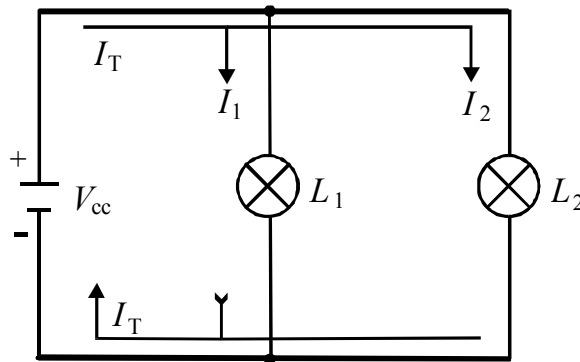
$$R_T = \frac{R_{L_1} \times R_{L_2}}{R_{L_1} + R_{L_2}} = \frac{200 \times 300}{200 + 300} = 120\Omega$$

Portanto, a corrente total é:

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{1,5}{120} = 0,0125\text{A}$$

Esse valor de corrente circula em toda a parte do circuito que é comum às duas lâmpadas.

A partir do nó (no terminal positivo da pilha) a corrente total  $I_T$  divide-se em duas partes, conforme ilustrado na **Fig.5**.

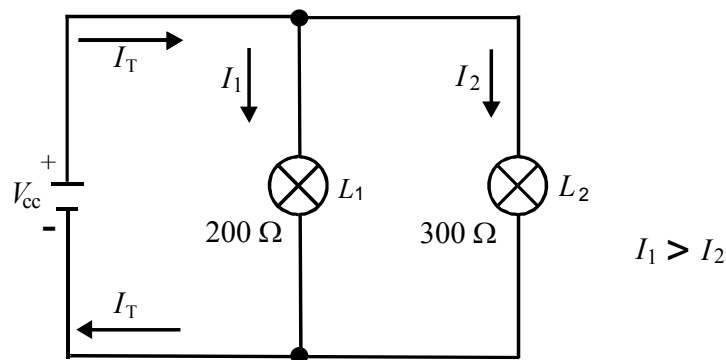


**Fig.5** Divisão da corrente total em correntes parciais.

Essas correntes são chamadas de **correntes parciais** e podem ser denominadas de  $I_1$  (para a lâmpada  $L_1$ ) e  $I_2$  (para a lâmpada  $L_2$ ).

A forma como a corrente  $I_T$  se divide a partir do nó depende unicamente das resistências das lâmpadas. A lâmpada de menor resistência permitirá a passagem de uma maior parcela da corrente.

Pode-se afirmar que a corrente  $I_1$  na lâmpada  $L_1$  (de menor resistência) será maior que a corrente  $I_2$  na lâmpada  $L_2$ , como pode ser visto na **Fig.6**.

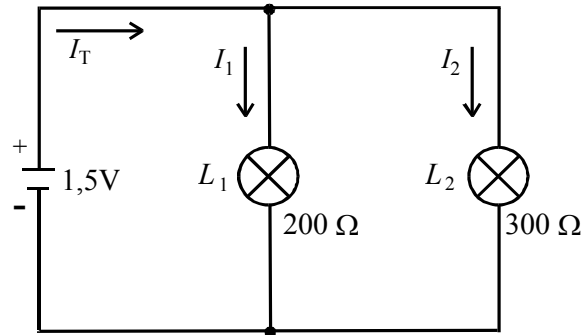


**Fig.6** Divisão da corrente total através das lâmpadas.

O valor da corrente que circula em cada ramal pode ser calculada através da Lei de Ohm, uma vez que se conhece a tensão aplicada e a resistência de cada lâmpada.

**Exemplo 2:**

Determinar o valor da corrente que circula em cada lâmpada e a corrente total do circuito da figura abaixo.



Solução :

Lâmpada 1

$$I_1 = \frac{V_{L_1}}{R_{L_1}} = \frac{1,5}{200} = 0,0075 \text{ A} \qquad I_1 = 7,5 \text{ mA}$$

Lâmpada 2

$$I_2 = \frac{V_{L_2}}{R_{L_2}} = \frac{1,5}{300} = 0,005 \text{ A} \qquad I_2 = 5 \text{ mA}$$

Observando-se os valores das correntes no nó, verifica-se que as correntes que saem, somadas, originam um valor igual ao da corrente que entra.

Essa afirmativa é válida para qualquer nó de um circuito elétrico, sendo conhecida como a primeira Lei de Kirchhoff.





***Primeira Lei de Kirchhoff : A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das que dele saem.***

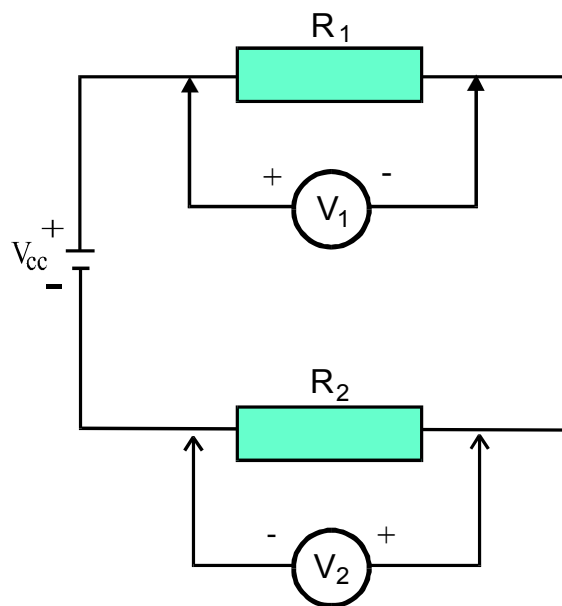
A primeira Lei de Kirchhoff é muito útil para se determinar um valor desconhecido de corrente quando se dispõe dos demais valores de corrente que chegam ou saem de um nó.

De modo resumido, pode-se então afirmar que o circuito paralelo apresenta duas características fundamentais:

- Fornece mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica.
- A tensão em todos os componentes associados é a mesma.

# Segunda Lei de Kirchhoff

A segunda Lei de Kirchhoff se refere à forma como a tensão se distribui nos circuitos série, como por exemplo, o mostrado na **Fig.7**.



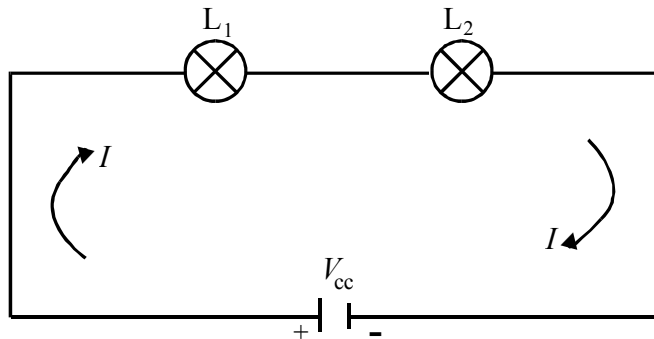
**Fig.7** Distribuição da tensão em um circuito série.

O conhecimento e compreensão da segunda Lei de Kirchhoff é importante porque é aplicada a todos os circuitos com componentes associados em série.

## CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS SÉRIE

Os circuitos série têm características particulares cujo conhecimento é indispensável para a compreensão da segunda Lei de Kirchhoff.

Tomando como referência um circuito simples, com duas cargas ligadas em série, essas características podem ser identificadas. A **Fig.8** mostra esse circuito.

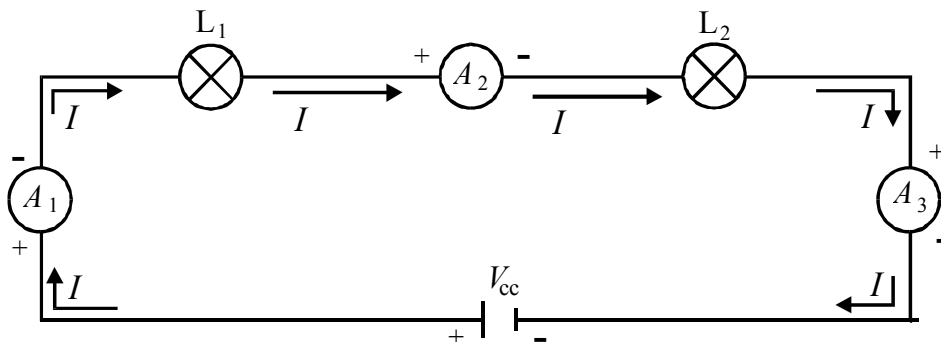


**Fig.8** Exemplo de circuito série.

O circuito série se caracteriza por possibilitar um caminho único para a circulação da corrente elétrica.

Como existe um único caminho, a mesma corrente que sai do pólo positivo da fonte passa através da lâmpada L<sub>1</sub>, da lâmpada L<sub>2</sub> e retorna à fonte pelo pólo negativo.

Isto significa que um medidor de corrente (amperímetro), pode ser colocado em qualquer parte do circuito. Em qualquer uma das posições, o valor indicado pelo instrumento será o mesmo, como indicado na **Fig.9**.



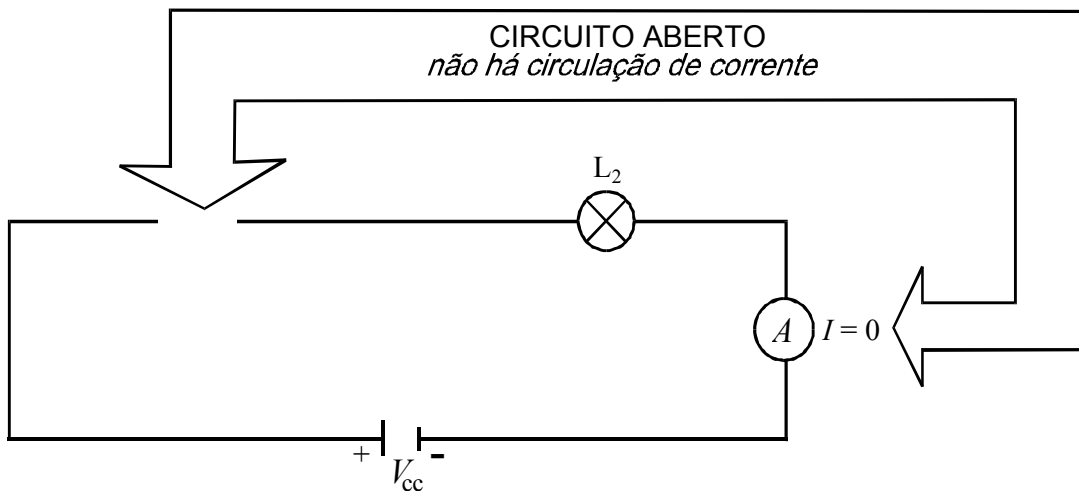
**Fig.9** Medição de corrente em um circuito série.



*A intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito série.*


Por essa razão, a corrente que circula em um circuito série é designada simplesmente pela notação  $I$ .

A forma de ligação das cargas, uma após a outra, dá ao circuito outra característica importante, como pode ser visto na **Fig.10**. Caso uma das lâmpadas (ou qualquer outro tipo de carga) seja retirada do circuito, ou tenha o seu filamento rompido, o circuito elétrico fica aberto e a corrente cessa.



**Fig.10** Circuito série aberto.

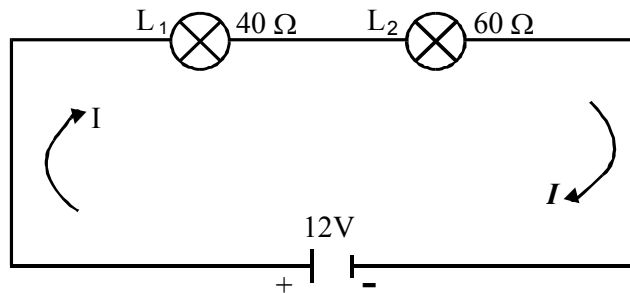
Em um circuito série, o funcionamento de cada um dos componentes depende do restante.

 ***O circuito série apresenta três características importantes : (1) fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica; (2) a corrente tem o mesmo valor em qualquer ponto do circuito e (3) o funcionamento de cada consumidor depende do restante.***

A corrente que circula em um circuito série cujo valor é único ao longo de todo o circuito, pode ser determinada com o auxílio da Lei de Ohm. Para determinar a corrente no circuito série através da Lei de Ohm, deve-se usar a tensão nos terminais da associação e a sua resistência total.

**Exemplo 3:**

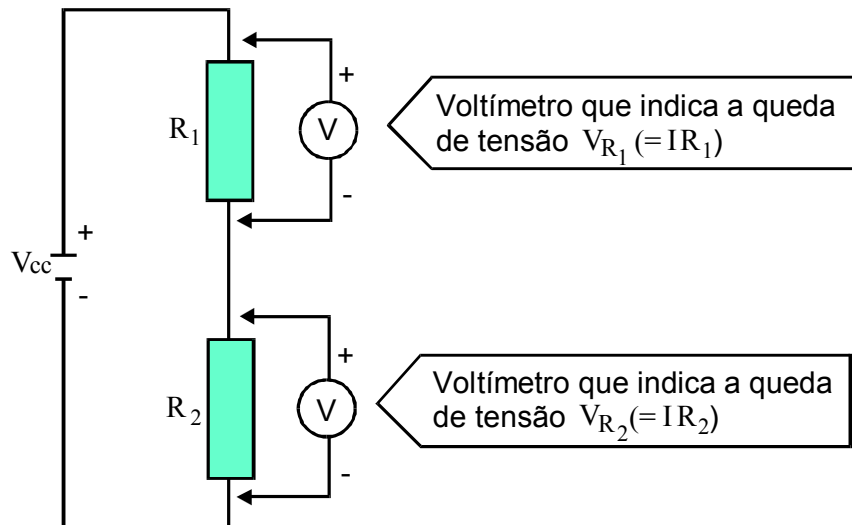
Determinar a corrente no circuito da figura abaixo.



Solução :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{100} = 120 \text{ mA}$$

Pelo fato de não estarem com os dois terminais ligados diretamente à fonte, a tensão nos componentes de um circuito série é diferente da tensão da fonte de alimentação. O valor da tensão em cada um dos componentes é sempre menor do que a tensão de alimentação. Esta parcela da tensão que fica sobre cada componente do circuito é denominada de **queda de tensão** no componente. A queda de tensão é representada pela notação **V**, como ilustrado na **Fig.11**.



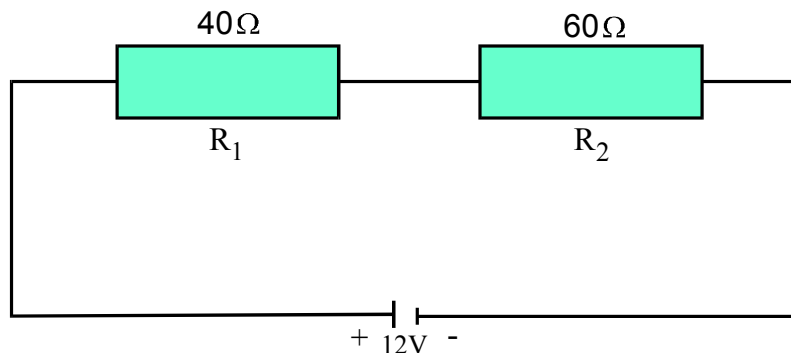
**Fig.11** Queda de tensão nos componentes  $R_1$  e  $R_2$ .



*A queda de tensão em cada componente de uma associação série pode ser determinada pela Lei de Ohm, quando se dispõe da corrente no circuito e dos seus valores de resistência.*

#### Exemplo 4:

Determinar a queda de tensão nos resistores  $R_1$  e  $R_2$  da figura abaixo.



Solução :

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{40 + 60} = 0,12 \text{ A}$$

$$V_{R_1} = I_{R_1} \times R_1 = 0,12 \times 40 = 4,8 \text{ V}$$

$$V_{R_2} = I_{R_2} \times R_2 = 0,12 \times 60 = 7,2 \text{ V}$$

Observando-se os valores de resistência e queda de tensão, verifica-se que:

- O resistor de maior valor fica com uma parcela maior de tensão.
- O resistor de menor valor fica com a menor parcela de tensão.

Pode-se dizer que, em um circuito série, a queda de tensão é proporcional ao valor do resistor, ou seja :

- Maior valor do resistor, maior queda de tensão.
- Menor valor do resistor, menor queda de tensão.

## SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF

Tomem-se como referência os valores de tensão nos resistores do circuito do Exemplo 4.

Somando-se as quedas de tensão naqueles dois resistores, tem-se :  $4,8V + 7,2V = 12V$ . Verifica-se que o resultado da soma é a tensão de alimentação.

A segunda Lei de Kirchhoff é baseada nesta conclusão.

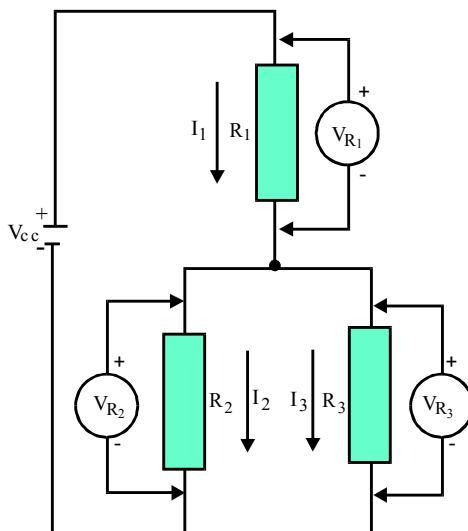


**Segunda Lei de Kirchhoff :** *A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos.*

A segunda Lei de Kirchhoff é utilizada com muita frequência como “ferramenta” para se determinarem quedas de tensão desconhecidas em circuitos eletrônicos.

## LEIS DE KIRCHHOFF E OHM EM CIRCUITOS MISTOS

As Leis de Kirchhoff, juntamente com a lei de Ohm, permitem que se determinem as tensões ou correntes em cada um dos componentes de um circuito misto, como mostrado na **Fig.12**.



**Fig.12** Exemplo de um circuito misto para o cálculo das tensões e correntes.

Os valores elétricos de cada componente do circuito podem ser determinados a partir da execução da seqüência de procedimentos a seguir:

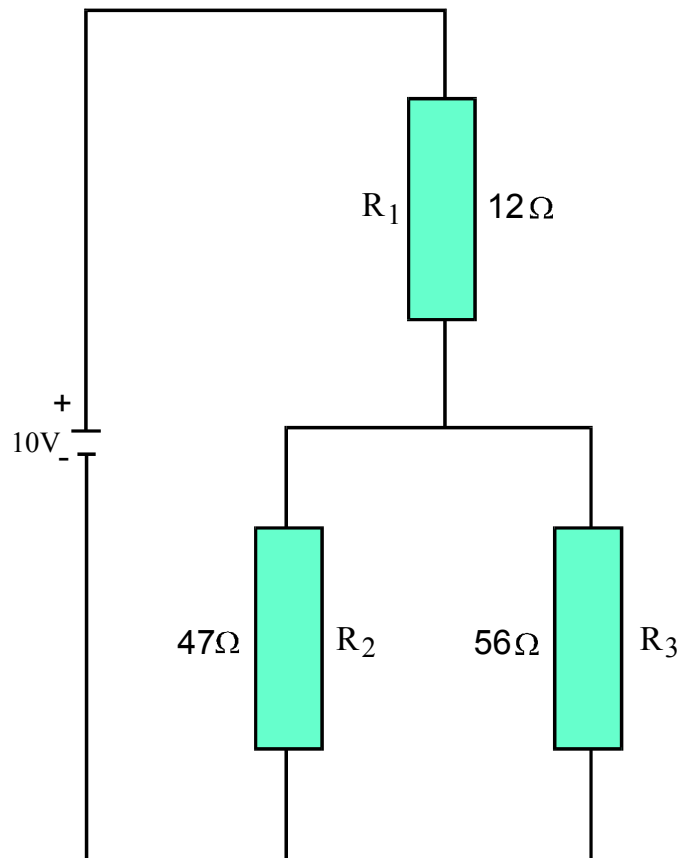
- Determinação da resistência equivalente.
- Determinação da corrente total.
- Determinação das tensões ou correntes nos elementos do circuito.

A utilização da seqüência de procedimentos será demonstrada a partir dos seguintes exemplos :

### **Exemplo 5:**

Para o circuito da figura abaixo, determinar :

- a) A resistência equivalente.
- b) A corrente total.
- c) As tensões e as correntes individuais.



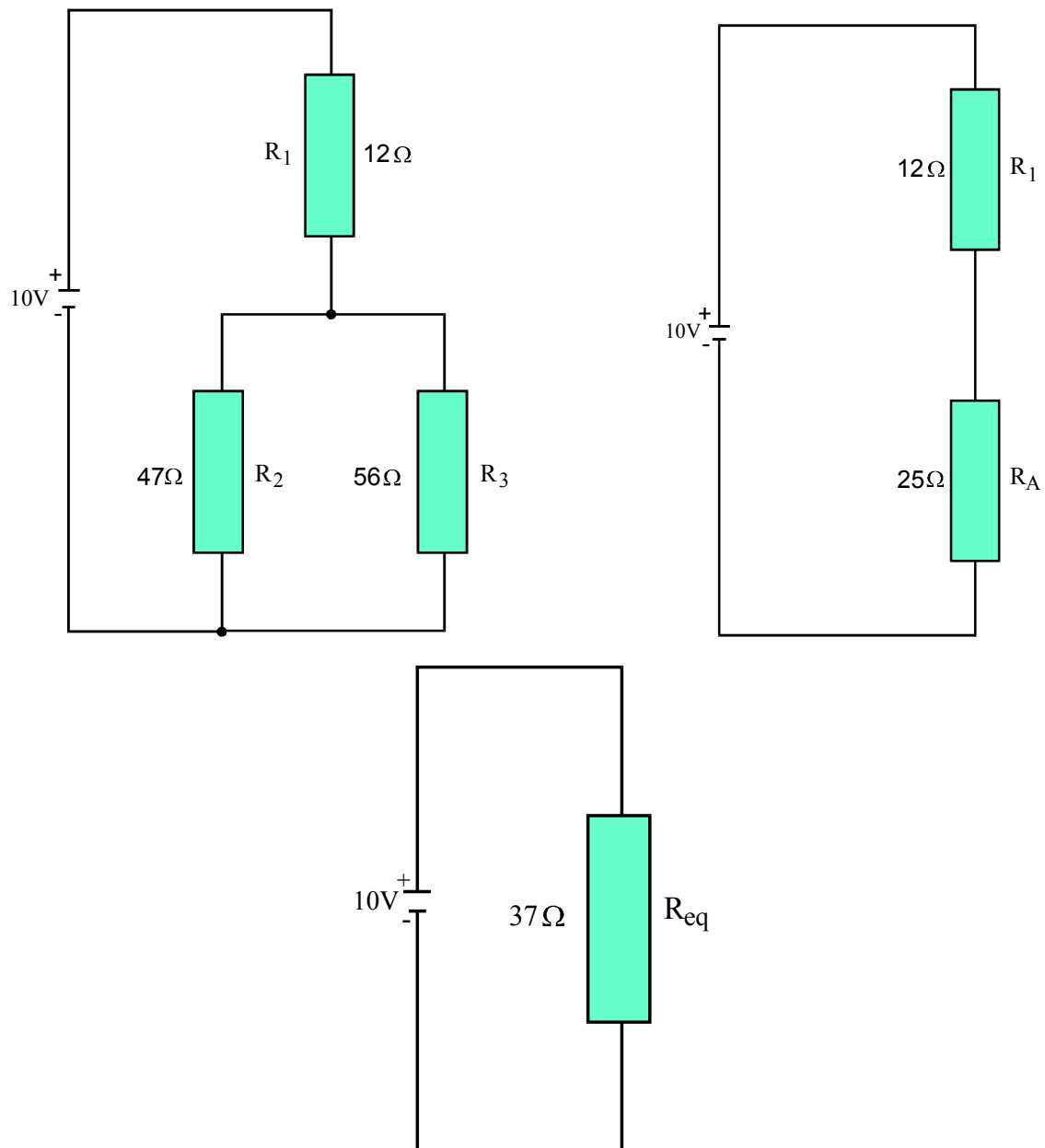


Solução :

**a) Determinação da resistência equivalente :**

Para se determinar a resistência equivalente ( $R_{eq}$ ) do circuito, empregam-se “circuitos parciais” através dos quais o circuito original é reduzido e simplificado até a forma de um único resistor.

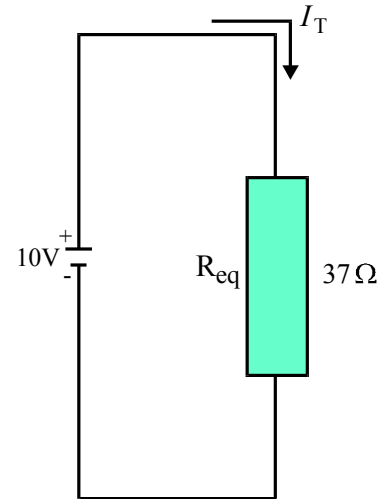
As figuras abaixo mostram os circuitos utilizados para a determinação da resistência equivalente.



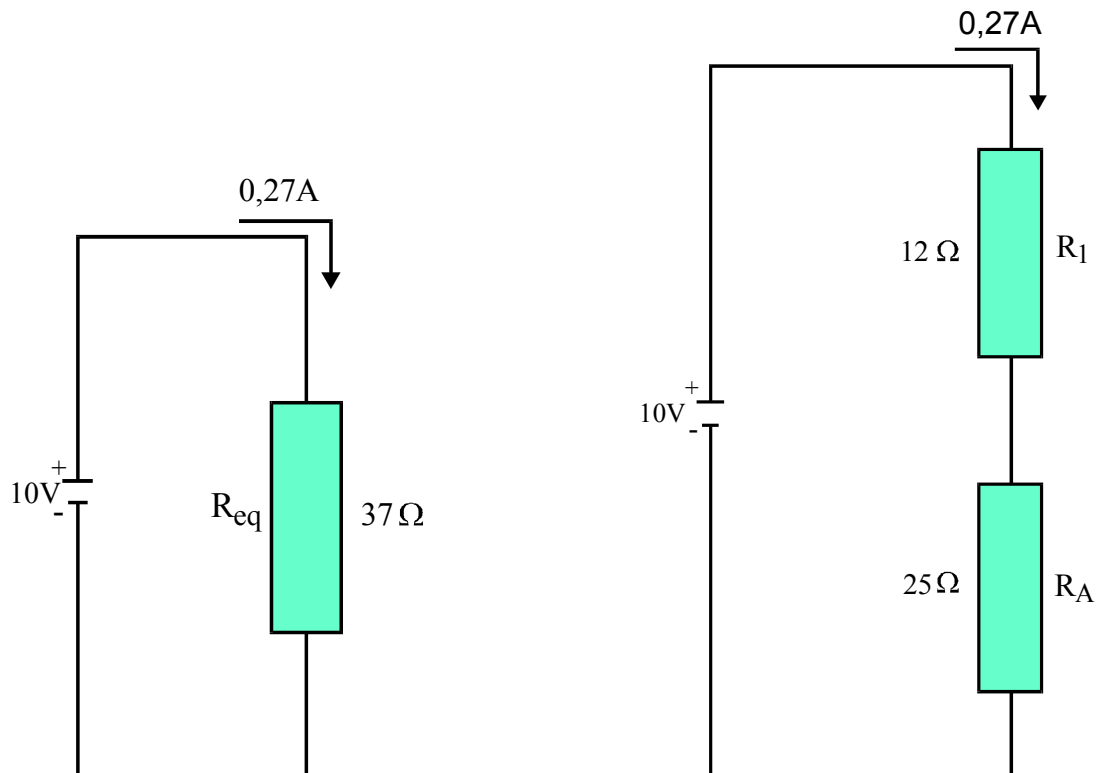
**b) Determinação da corrente total :**

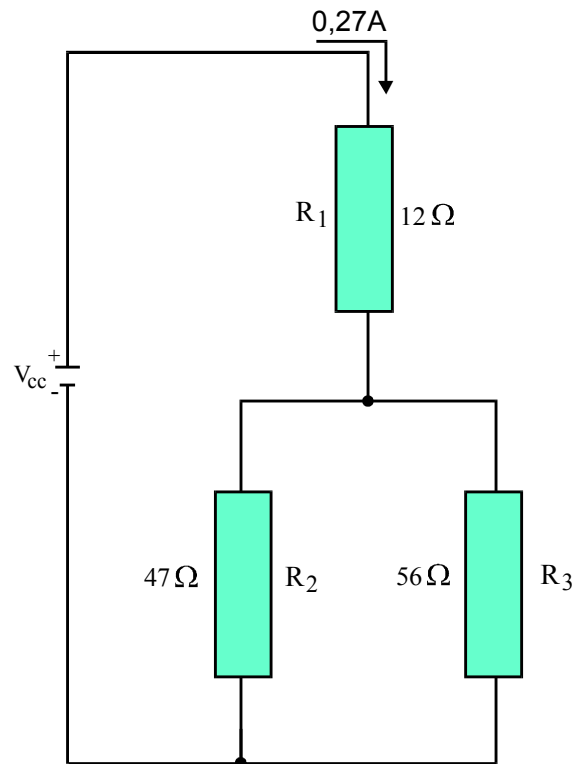
A corrente total pode ser determinada aplicando-se a Lei de Ohm no circuito equivalente final, mostrado na figura abaixo.

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{10}{37} = 0,27 \text{ A}$$



Uma vez que o circuito equivalente final é uma representação simplificada do circuito original (e do parcial) a corrente calculada também é válida para estes circuitos, conforme mostra a seqüência das figuras abaixo.





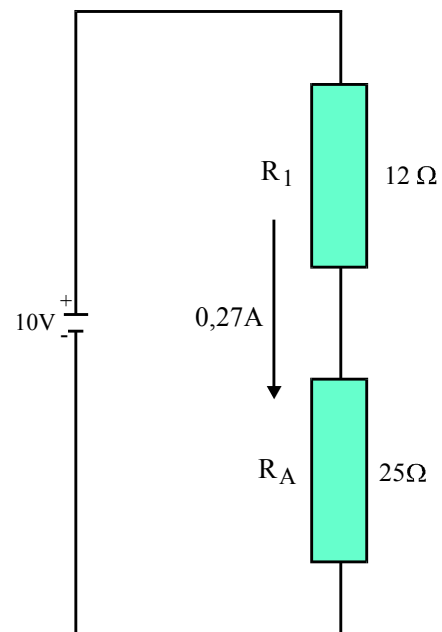
**c) Determinação das tensões e correntes individuais :**

A corrente total aplicada ao “circuito parcial” permite que se determine a queda de tensão no resistor  $R_1$ , como mostra a figura abaixo.

$$V_{R_1} = I_{R_1} \times R_1$$

$$V_{R_1} = 0,27 \times 12$$

$$V_{R_1} = 3,243 \text{ V}$$



A queda de tensão em  $R_A$  pode ser determinada pela 2.<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff (a soma das quedas de tensão em um circuito série é igual à tensão de alimentação) ou pela Lei de Ohm.

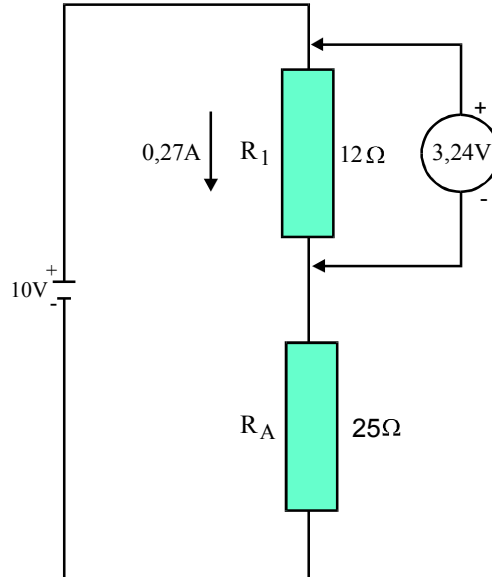
Pela 2.<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff

$$V = V_{R_1} + V_{R_A}$$

$$V_{R_A} = V - V_{R_1}$$

$$V_{R_A} = 10 - 3,243$$

$$V_{R_A} = 6,75 \text{ V}$$



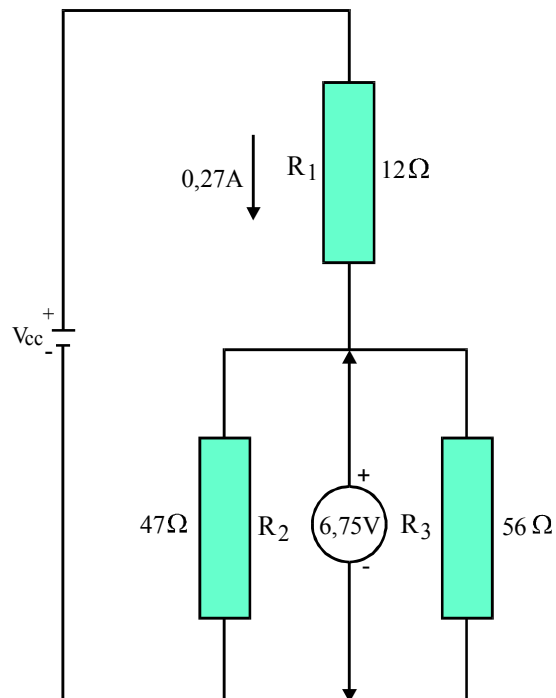
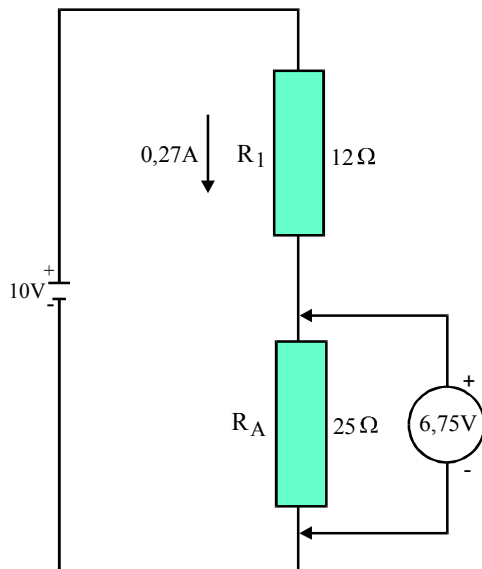
Pela Lei de Ohm

$$V_{R_A} = I_{R_A} \times R_A$$

$$V_{R_A} = 0,27 \times 25$$

$$V_{R_A} = 6,75 \text{ V}$$

Calculando-se a queda de tensão em  $R_A$ , calcula-se na realidade, a queda de tensão na associação paralela de  $R_2$  com  $R_3$ , mostrada nas figuras abaixo.

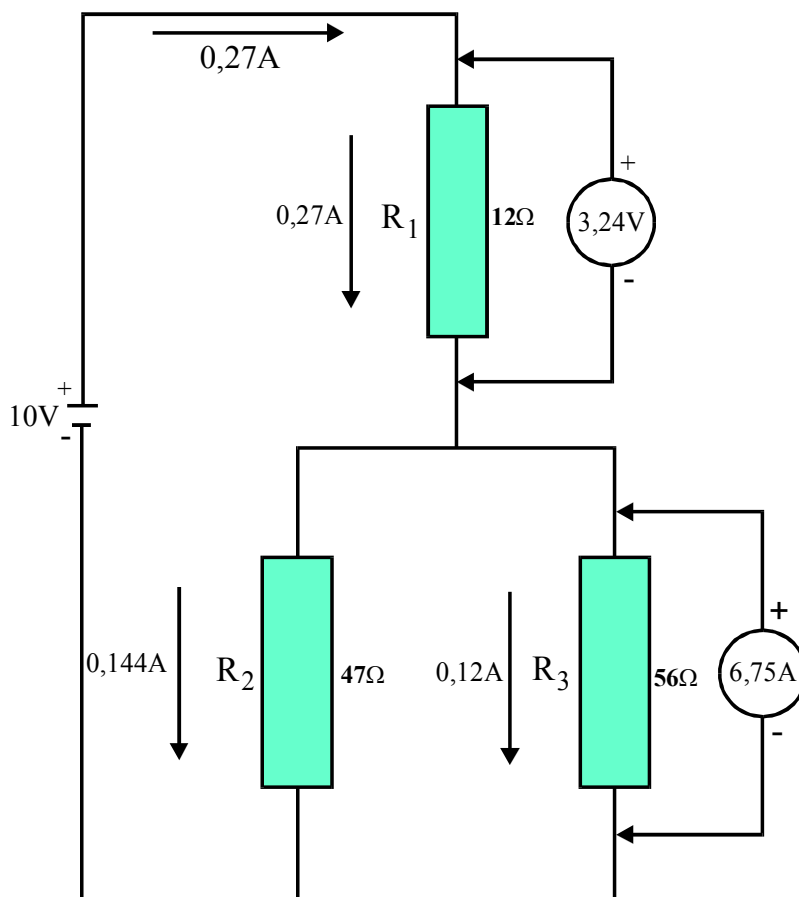


Os últimos valores a serem determinados são aqueles das correntes em  $R_2$  ( $I_{R_2}$ ) e  $R_3$  ( $I_{R_3}$ ).

$$I_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{6,75}{47} = 0,144 \text{ A}$$

$$I_{R_3} = \frac{V_{R_3}}{R_3} = \frac{6,75}{56} = 0,12 \text{ A}$$

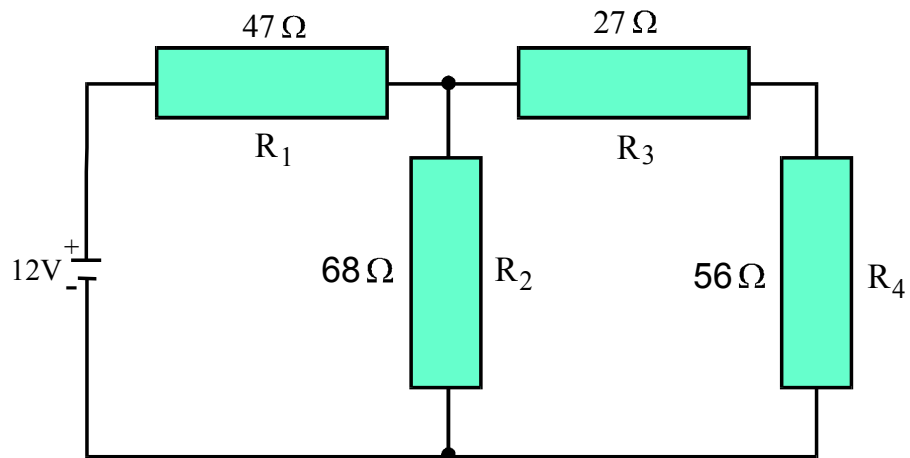
A figura abaixo mostra o circuito original com todos os valores de tensão e corrente.



**Exemplo 6:**

Para o circuito da figura abaixo, determinar :

- a) A resistência equivalente.
- b) A corrente total.
- c) As tensões individuais.
- d) As correntes individuais.

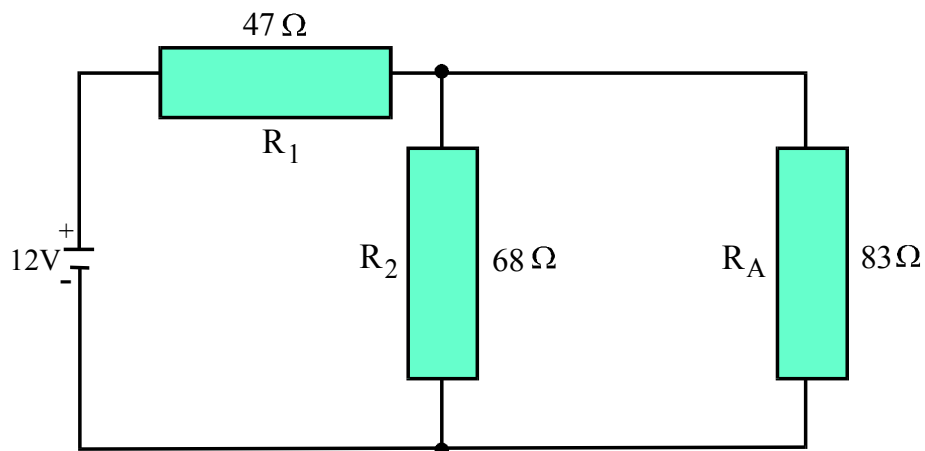


Solução :

**a) Determinação da resistência equivalente :**

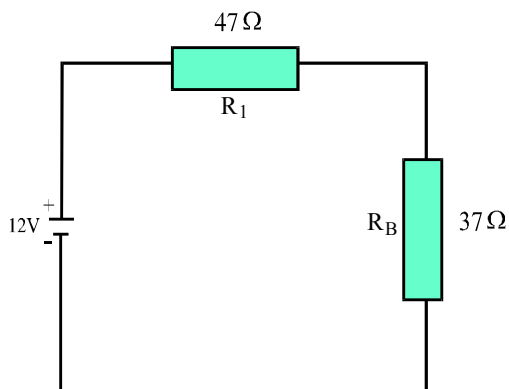
Substituem-se  $R_3$  e  $R_4$  em série no circuito por  $R_A$  , como mostrado na figura abaixo.

$$R_A = R_3 + R_4 = 83 \Omega$$

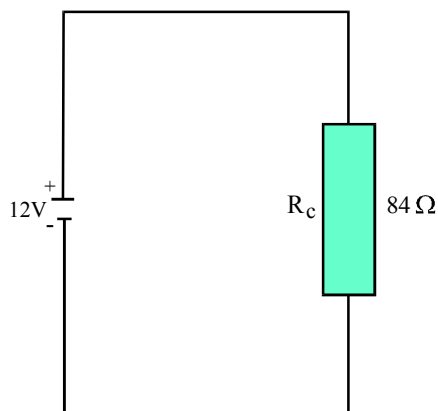


Substitui-se a associação paralela  $R_2 // R_4$  por um resistor  $R_B$  mostrado na figura abaixo.

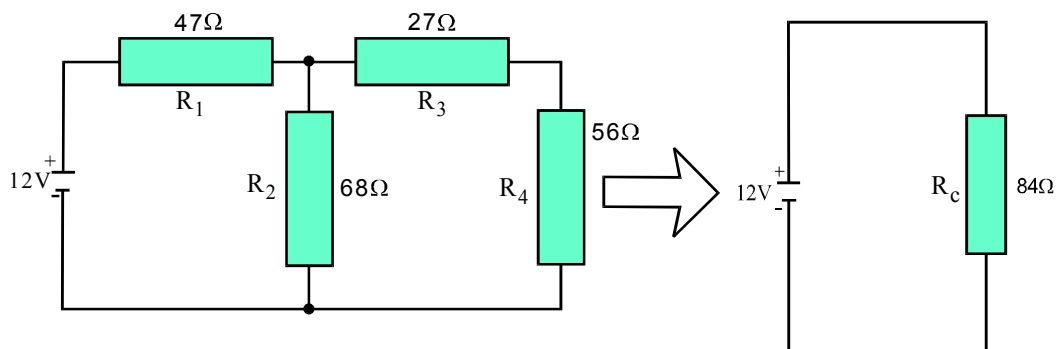
$$R_B = \frac{R_A \times R_2}{R_A + R_2} = 37\Omega$$



Em seguida, substitui-se a associação série de  $R_1$  e  $R_B$  por um resistor  $R_C$  como mostrado na figura abaixo.



$R_C$  pode ser denominado de  $R_{eq}$ , uma vez que representa a resistência total do circuito, ou seja :

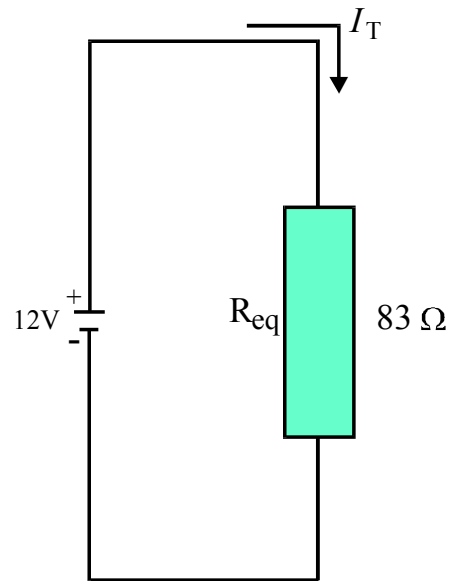


**b) Determinação da corrente total :**

Usam-se tensão de alimentação e a resistência equivalente, como mostrado na figura abaixo.

$$I_T = \frac{V_T}{R_{eq}}$$

$$I_T = \frac{12}{83} = 0,14239A$$



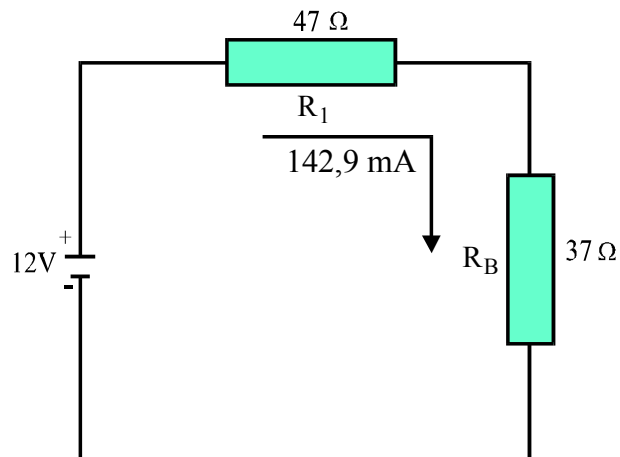
**c) Determinação da queda de tensão em  $R_1$  e  $R_B$  :**

$$V_{R_1} = I_{R_1} \times R_1$$

$$I_{R_1} = I_T$$

$$V_{R_1} = 0,1429 \times 47$$

$$V_{R_1} = 6,72 V$$



A queda no resistor  $R_B$  pode ser determinada pela 2.<sup>a</sup> Lei de **Kirchhoff** :

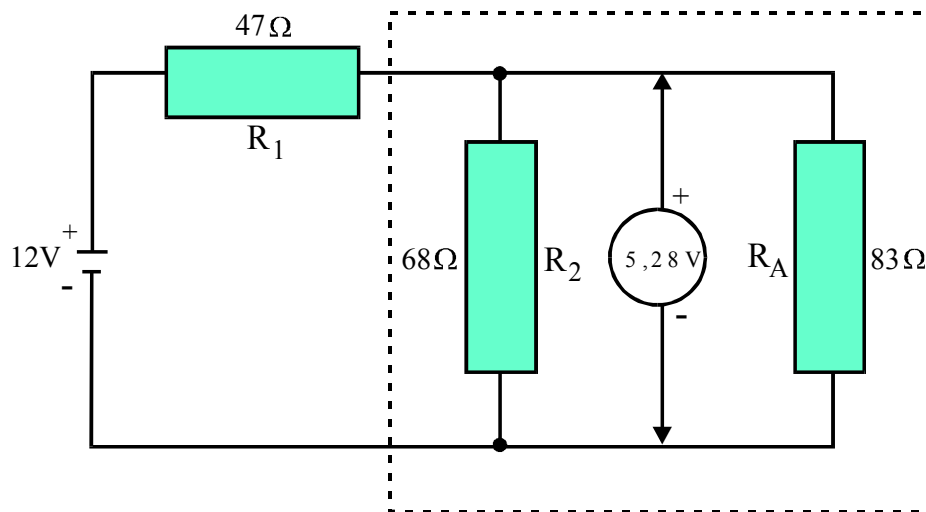
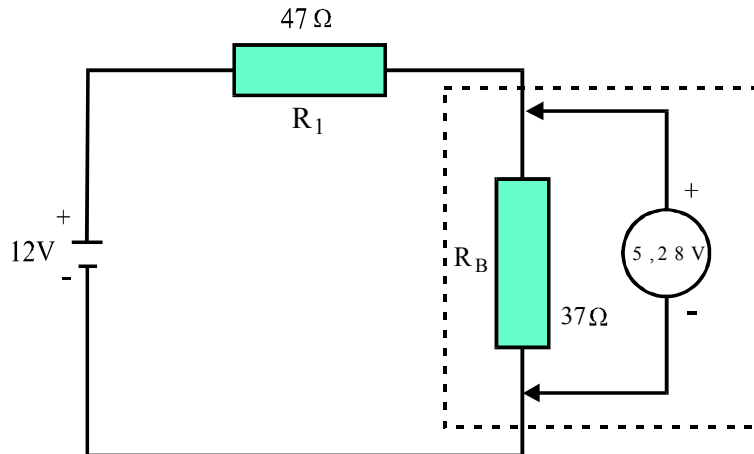
$$V = V_{R_1} + V_{R_B}$$

$$V_{R_B} = V - V_{R_1} = 5,28 V$$



**d) Determinação das correntes em  $R_2$  e  $R_A$  :**

O resistor  $R_B$  representa os resistores  $R_2$  e  $R_A$  em paralelo (primeiro circuito parcial). Portanto, a queda de tensão em  $R_B$  é, na realidade, a queda de tensão na associação  $R_2//R_A$ , como mostrado nas figuras abaixo.



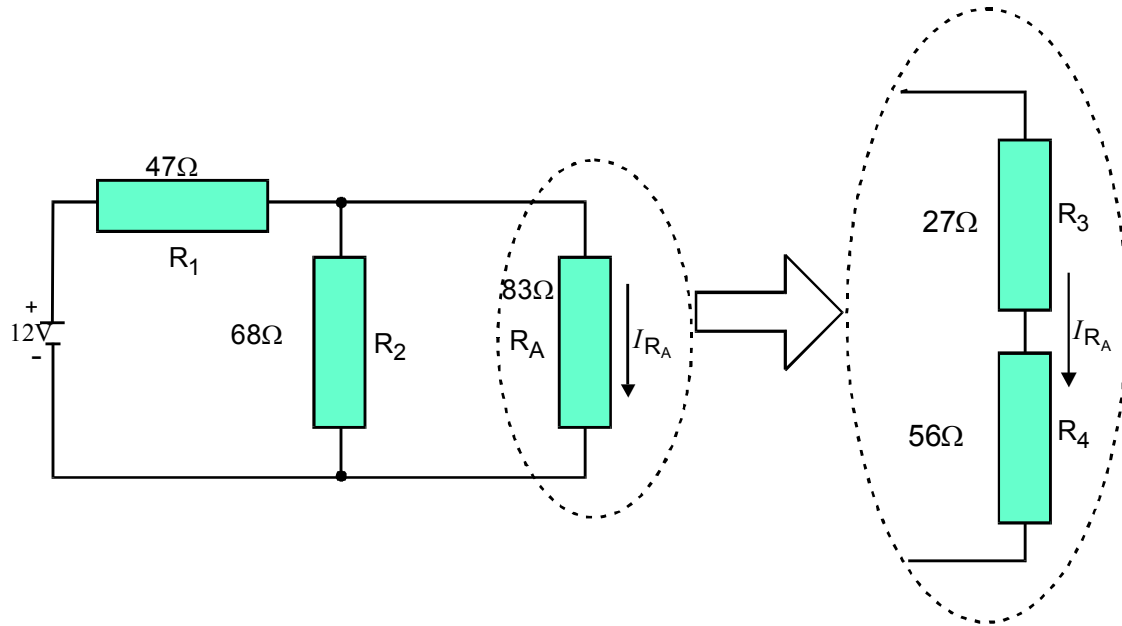
Usando-se a Lei de Ohm, podem-se calcular as correntes em  $R_2$  e  $R_A$ .

$$I_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{R_2} = 0,078 \text{ A}$$

$$I_{R_A} = \frac{V_{R_A}}{R_A} = 0,064 \text{ A}$$

e) Determinação das quedas de tensão em  $R_3$  e  $R_4$  :

O resistor  $R_A$  representa os resistores  $R_3$  e  $R_4$  em série, como mostrado na figura abaixo.



Assim, a corrente determinada  $I_{R_A}$  é, na realidade, a corrente que circula nos resistores  $R_3$  e  $R_4$  em série.

Com o valor da corrente  $I_{R_A}$  e as resistências de  $R_3$  e  $R_4$ , calculam-se as suas quedas de tensão pela Lei de Ohm.

$$V_{R_3} = I_{R_A} \times R_3 = 1,73 \text{ V}$$

$$V_{R_4} = I_{R_A} \times R_4 = 3,58 \text{ V}$$

# Apêndice

## QUESTIONÁRIO

1. Enuncie a 1.<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff.
2. Enuncie a 2.<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff.

## BIBLIOGRAFIA

- KOLLER, ALLOIS. As Leis de Kirchhoff EP.05 {Die Kirchhoffschen Gesetze} Trad. e Adap. pelo Setor de Divulgação Tecnológica, Siemens. São Paulo - Siemens/Edgar Blücher, 1977, 59p.
- VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. Eletricidade Básica. 12.<sup>a</sup> ed., São Paulo, Freitas Bastos, 1970, vol.2.