

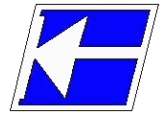
INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Circuitos Elétricos I



---

# GUIA DE ESTUDO

---

## - OBJETIVO DE APRENDIZAGEM - CIRCUITO SÉRIE-PARALELO

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, setembro de 2020.

---

## **CIRCUITO SÉRIE-PARALELO**

### **Objetivo de Aprendizagem**

Analisar circuito série-paralelo de resistores.

### **Objetivos parciais**

- Conhecer o circuito série-paralelo;
- Calcular a resistência total de circuitos em série-paralelo;
- Analisar circuitos série-paralelos de resistores;
- Resolver exercícios envolvendo circuitos série-paralelo de resistores.

### **Aulas relacionadas**

Este objetivo de aprendizagem está relacionado com a aula 07 da disciplina.

### **Pré-requisitos**

Ter estudado o objetivo de aprendizagem 08 relacionado a análise de circuitos em paralelo e Lei de Kirchhoff das Correntes.

### **Continuidade dos Estudos**

O próximo objetivo de aprendizagem será estudar a transformação de fontes.

### **Roteiro para estudos**

Os estudos referentes a este objetivo de aprendizagem consistem em:

1. Estudar este documento resumo, realizando as atividades propostas no mesmo;
2. Responder o quiz relacionado a este objetivo de aprendizagem;
3. Caso perceba necessidade, estudar a apresentação deste assunto ou ler o capítulo do livro texto usado na disciplina;
4. Realizar os exercícios deste tópico da matéria;
5. Realizar o laboratório virtual, se for possível, relacionado a este objetivo de aprendizagem;
6. Realizar a avaliação final para progredir ao próximo conteúdo.

### **Referências**

- Material disponibilizado para a disciplina de Circuitos Elétricos I – 2020/1. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.
- BOYLESTAD, Robert. Introdução à análise de circuitos. Tradução de Daniel Vieira, Jorge Ritter. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

---

## Check-list

Caro estudante, verifique se você completou as atividades deste objetivo de aprendizagem e obteve êxito para continuar seus estudos.

Assinale as atividades realizadas:

Estudo do documento resumo:

- Leitura do documento resumo;
- Exercícios do documento resumo;
- Atividade avaliativa do documento resumo.
- Obtive êxito e entendi o conteúdo deste documento;
- Ainda não entendi bem o conteúdo e estudarei o mesmo com mais profundidade.

Estou com dúvidas, irei estudar com mais detalhes este conteúdo:

- Assistir a apresentação relacionada ao conteúdo (apresentação 07);
- Ler o capítulo deste conteúdo no livro (capítulo 07).

Ainda estou com dúvidas:

- Entrarei em contato com o professor.

Obtive êxito, então seguirei em frente:

- Responder ao quiz deste conteúdo no Moodle;
- Informar ao professor que estou avançando com o conteúdo.

Parabéns, continue estudando com afinco e vamos em frente!!

---

# CONTEÚDO

---

## - OBJETIVO DE APRENDIZAGEM - CIRCUITO SÉRIE-PARALELO

## 1 Introdução

As aulas anteriores focaram no estudo dos circuitos com elementos em série e em paralelo. Agora continuaremos o estudo de circuitos onde ocorrem conexões em série e em paralelo simultaneamente, resultando em circuitos mistos.

### 1.1 Conteúdo – O que irei estudar

Estudaremos neste tópico:

- Circuito série-paralelo de resistores;
- Cálculo da resistência total;
- Análise de circuitos série-paralelo.

### 1.2 Metodologia – O que devo fazer e como fazer

Leia com atenção o conteúdo a seguir. Ao final deste tópico são apresentados exercícios resolvidos. Após são apresentados alguns exercícios propostos.

Ao realizar estas atividades e se sentir confiante para progredir, siga os passos indicados na primeira página deste documento.

Espera-se que após estudar este assunto, você consiga:

- Identificar um circuito em série-paralelo de resistores;
- Calcular a resistência total de um circuito em série-paralelo.

A atividade avaliativa deste objetivo de aprendizagem consistirá em apresentar ao aluno um circuito formado por resistores interconectados, sendo que deve ser feita a identificação do circuito, ou seja, verificar se o mesmo é um circuito misto, em seguida calcular a resistência total do circuito e a seguir determinar as correntes e tensões nos elementos do circuito.

Exemplo de atividade avaliativa:

1. Identifique se o exemplo a seguir é um circuito série-paralelo de resistores.
2. Calcule a resistência total do circuito série-paralelo de resistores;
3. Determine as correntes e tensões no circuito série-paralelo de resistores.

## 2 Circuito Série-Paralelo de Resistores

### 2.1 Introdução

Um circuito com resistores em série-paralelo tem a característica de que os terminais de alguns componentes são conectados no mesmo ponto, isto é, todos os terminais de entrada dos

resistores são conectados juntos em determinado ponto do circuito, enquanto os terminais de saída dos mesmos também são conectados juntos, mas em outro ponto do circuito; enquanto outros terminais de componentes são conectados em sequência, isto é, a saída de um componente é conectada a entrada do próximo componente, caracterizando assim um ramo série do circuito. Assim, a tensão elétrica será a mesma em todos os elementos que estão em paralelo, enquanto a corrente elétrica será a mesma nos componentes que estão em série. A associação série-paralela pode ser de fontes de tensão, fontes de corrente, resistores, indutores, capacitores ou outros elementos de circuitos.

A seguir apresentaremos o esquemático de circuitos em série-paralelo de resistores e também exemplos de partes de circuitos que possuem conexão em série-paralelo e sua análise em termos de circuitos elétricos.

## 2.2 Circuito série-paralelo de resistores

Um circuito em série-paralelo de resistores pode conter três ou mais elementos, sendo que necessariamente se terá componentes em série e outros em paralelo, conforme se estudou nos capítulos anteriores.

As características de um circuito em série-paralelo são:

- O circuito será formado por três ou mais elementos;
- A tensão em todos os elementos que estão em paralelo será igual;
- A corrente em todos os elementos que estão em série será igual.

O circuito mostrado na Figura 1 é um exemplo de circuito misto, isto é, série-paralelo, com resistores e fontes de tensão. Destaca-se que este circuito tem dois nós, que são pontos de conexão de três ou mais elementos de circuitos, e onde a corrente se divide. Ainda é importante observar no circuito da Figura 1 que há partes do circuito onde os elementos estão em série, que são:

- $V_1$  e  $R_1$  – ramo 1, onde estão em série a fonte de tensão 1 e o resistor  $R_1$ ;
- $V_2$  e  $R_3$  – ramo 2, onde estão em série a fonte de tensão 2 e o resistor  $R_2$ .

Ainda pelo circuito da Figura 1, pode-se identificar partes do circuito que estão em paralelo, que são:

- $V_1$  e  $R_1$  – ramo 1, onde estão em série a fonte de tensão 1 e o resistor  $R_1$ ; está em paralelo com o resistor  $R_2$  e com o ramo 2;
- $R_2$  – o resistor  $R_2$  está em paralelo com os ramos 1 e 2 do circuito;
- $V_2$  e  $R_3$  – ramo 2, onde estão em série a fonte de tensão 2 e o resistor  $R_2$ ; que por

sua vez estão em paralelo com o ramo 1 e o resistor  $R_2$ .

A Figura 2 mostra um exemplo real da aplicação de elementos em série-paralelo, que é um módulo fotovoltaico, que gera energia elétrica a partir da energia luminosa. Neste módulo, cada célula fotovoltaica gera correntes e tensões pequenas, sendo necessária a associação em série para aumentar a tensão do módulo e a associação em paralelo para aumentar a corrente resultante do conjunto. O exemplo da figura mostra um módulo de 20 W, que tem corrente da ordem de 1,14 A e tensão da ordem da 17,56 V.

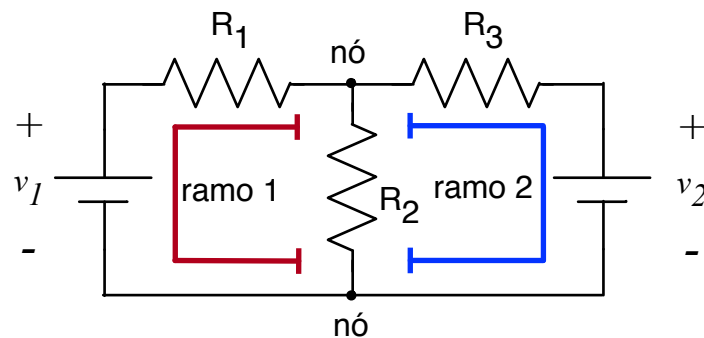


Figura 1 – Circuito misto com resistores e fontes de tensão.

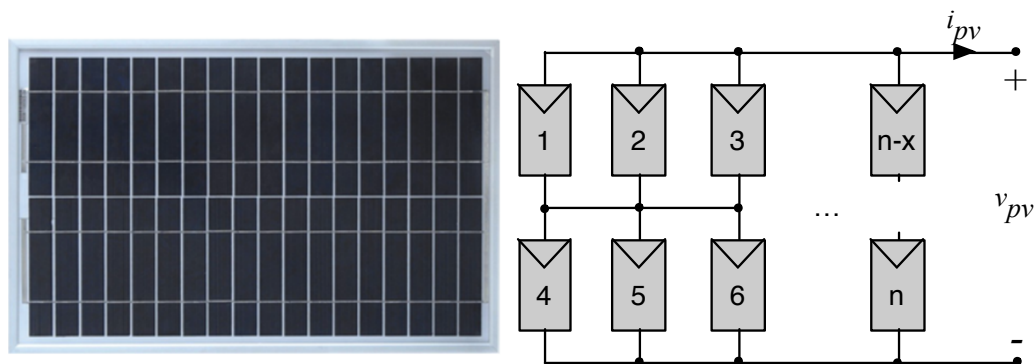


Figura 2 – Exemplo de circuito misto – módulo fotovoltaico.

Fonte: <https://www.energyshop.com.br/placa-solar/painel-solar-fotovoltaico-komaes-20w>.

## 2.3 Circuito série-paralelo com três resistores

O circuito com três resistores é mostrado na Figura 3 onde se tem  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ . Note que o terminal de  $R_1$  está conectado junto aos terminais de  $R_2$  e  $R_3$ , sendo o conjunto conectado na fonte de alimentação  $V_1$ .

A Figura 4 mostra os elementos que estão em série e aqueles que estão em paralelo. Nota-se que os resistores  $R_2$  e  $R_3$  estão em paralelo, onde seus terminais de entrada são conectados

juntos em um mesmo ponto do circuito. Já o conjunto de  $R_2$  em paralelo com  $R_3$  ( $R_2//R_3$ ) é conectado em série com  $R_1$ . A fonte de alimentação não será considerada na associação e identificação do circuito, visto estarmos estudando circuitos com resistores. Deste modo, deve-se focar nas conexões dos resistores entre si para identificar as partes em série e as partes em paralelo.

A Figura 3 mostra as junções (nós) formados nas conexões dos resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ . Note que no nó 1 se tem a conexão dos três resistores e no nó 2 apenas de  $R_2$  e  $R_3$ . De todo modo, para a análise do circuito, em termos de aplicação da Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC), estudada no capítulo anterior, pode-se utilizar qualquer um dos dois nós, visto que as correntes nos mesmos serem as mesmas.

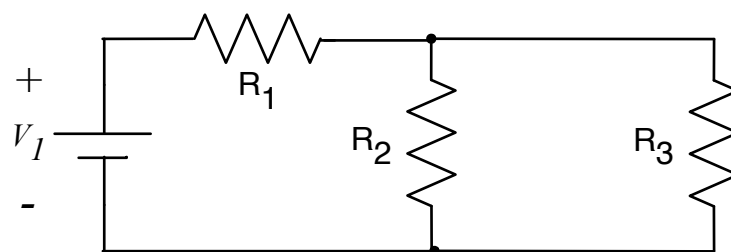


Figura 3 – Circuito misto com três resistores.

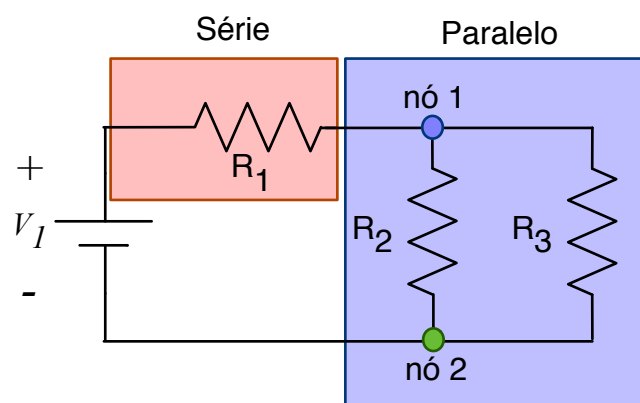


Figura 4 – Identificação dos elementos em série e em paralelo.

### 2.3.1 Cálculo da resistência total em circuito com três resistores

A resistência total do circuito mostrado na Figura 3 será calculada utilizando as expressões para circuitos em série e em paralelo, conforme a parte do circuito se estiver analisando.

Assim, a resistência equivalente/total da parte que está em paralelo será:

$$R_{T1} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

A seguir, pode-se obter a resistência total, somando-se a resistência encontrada



anteriormente com a resistência de  $R_1$ :

$$R_T = R_1 + R_{T1} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

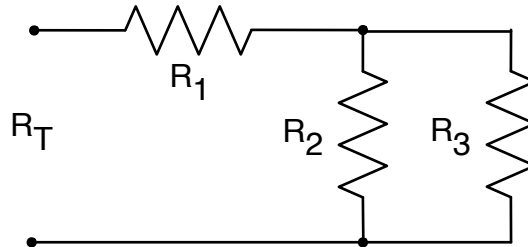


Figura 5 – Cálculo da resistência total de um circuito misto com três resistores.

### 2.3.1 Análise do circuito com três resistores

A análise do circuito misto com três resistores inicia pela identificação das correntes e tensões nos elementos, conforme mostrado na Figura 6.

A Figura 7 mostra o circuito reduzido para apenas um resistor, que é a resistência total calculada anteriormente. Assim, pode-se aplicar a Lei de Ohm na resistência total e obter:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T}$$

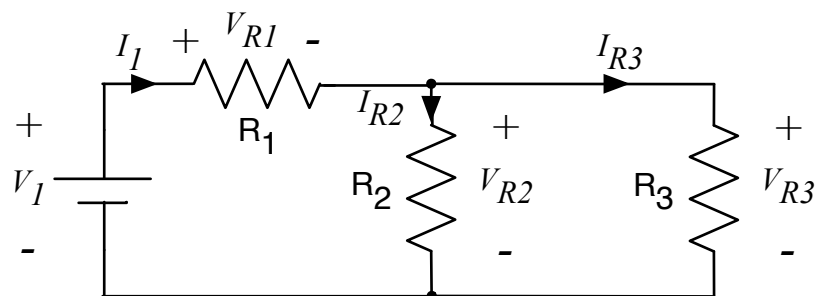


Figura 6 – Identificação das tensões e correntes no circuito com três resistores.

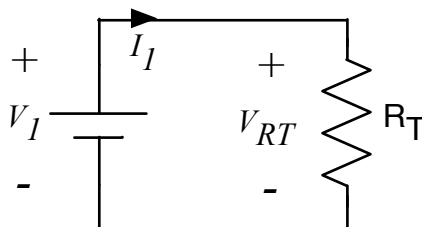


Figura 7 – Circuito reduzido a um resistor apenas.

Note que a corrente no resistor  $R_1$  é a corrente total do circuito. Deste modo, sua queda de tensão será obtida aplicando a Lei de Ohm neste elemento:

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_1$$

Agora, conhecendo-se a queda de tensão em  $R_1$  e sua corrente, pode-se obter a tensão resultante após este componente, que será a tensão sobre os resistores  $R_2$  e  $R_3$ . A Figura 8 mostra o circuito resultante do cálculo da resistência equivalente entre  $R_2$  e  $R_3$ , conectados em série com  $R_1$ . Note a presença do nó 1, onde será obtida a tensão, que é idêntica aquela sobre os resistores  $R_2$  e  $R_3$ . Aplicando-se a Lei de Kirchhoff das Tensões (LKT) ao circuito da Figura 8, iniciando pelo nó 1 em sentido horário, se tem:

$$+V_{R23} - V_1 + V_{R1} = 0 \rightarrow V_{R23} = V_1 - V_{R1}$$

Por fim, como se determinou a tensão sobre os resistores  $R_2$  e  $R_3$ , pode-se obter as correntes nos mesmos, conforme mostrado na Figura 9, que é na verdade o circuito da Figura 6. Assim, escrevendo novamente as tensões nos resistores em função do valor encontrado anteriormente, pois os resistores estão em paralelo e a tensão sobre os mesmos é igual, se encontra:

$$V_{R2} = V_{R3} = V_{R23} = V_1 - V_{R1}$$

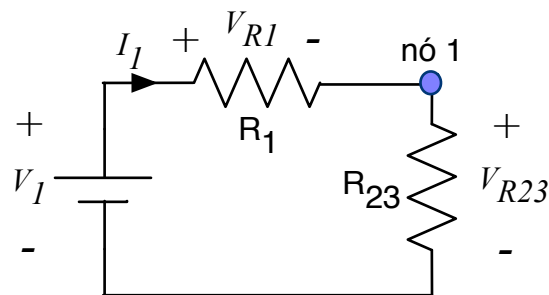


Figura 8 – Circuito reduzido a dois resistores.

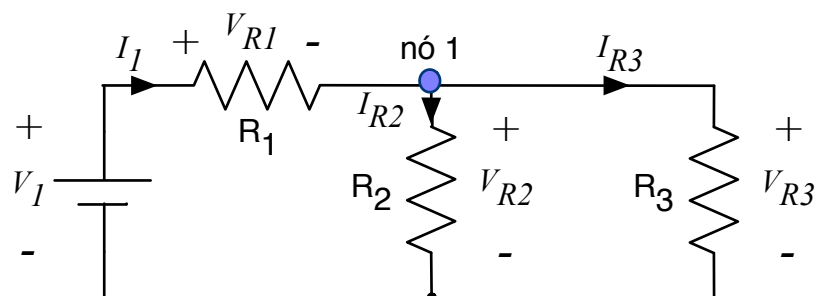


Figura 9 – Circuito original com todos os elementos.

Aplicando a Lei de Ohm em cada resistor, se determina as correntes nos mesmos:

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_1 - V_{R1}}{R_2}$$

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{V_1 - V_{R1}}{R_3}$$

### 2.3.2 Exemplo de análise de circuito com três resistores

#### Exemplo 1:

Seja um circuito série-paralelo com três resistores, interligados conforme a Figura 3, conectados em uma fonte de alimentação de 15 V. As resistências dos resistores são:  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = 220 \Omega$  e  $R_3 = 330 \Omega$ . Determine a resistência total do circuito e as tensões e correntes em todos os elementos.

A resistência total será:

$$R_T = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 100 + \frac{220 \cdot 330}{220 + 330} = 232 \Omega$$

A corrente total do circuito será:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T} = \frac{15}{232} = 64,7 \text{ mA}$$

Deste modo, a queda de tensão no resistor  $R_1$  será:

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 100 \cdot 64,7 \text{ mA} = 6,47 \text{ V}$$

Assim, a tensão resultante sobre  $R_2$  e  $R_3$  será:

$$V_{R2} = V_{R3} = V_{R23} = V_1 - V_{R1} = 15 - 6,47 = 8,53 \text{ V}$$

Então, as correntes nos resistores  $R_2$  e  $R_3$  serão:

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{8,53}{220} = 38,8 \text{ mA}$$

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{8,53}{330} = 25,8 \text{ mA}$$

Por fim, aplicando-se a Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC) no nó 1, podemos conferir se a análise anterior está correta:

$$+I_1 - I_{R_2} - I_{R_3} = 0 \rightarrow I_{R_2} + I_{R_3} = I_1$$

$$38,8mA + 25,8mA = 64,6mA \rightarrow 64,6mA \cong 64,7mA$$

A diferença se dá em virtude dos arredondamentos realizados nos cálculos; comprovando-se assim que a análise está correta.

## 2.4 Circuito série-paralelo com quatro resistores – tipo 1

O circuito com quatro resistores é mostrado na Figura 10 onde se tem  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ . Note que o terminal de  $R_1$  está conectado junto aos terminais de  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ , sendo o conjunto conectado na fonte de alimentação  $V_1$ . O circuito foi denominado de tipo 1, pois com quatro resistores outras configurações são possíveis, sendo este um exemplo de interconexão dos resistores  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ .

A Figura 11 mostra os elementos que estão em série e aqueles que estão em paralelo. Nota-se que os resistores  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$  estão em paralelo, onde seus terminais de entrada são conectados juntos em um mesmo ponto do circuito. Já o conjunto de  $R_2$  em paralelo com  $R_3$  e em paralelo com  $R_4$  ( $R_2//R_3//R_4$ ) é conectado em série com  $R_1$ .

A Figura 11 mostra as junções (nós) formados nas conexões dos resistores  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ . Note que no nó único se tem a conexão dos quatro resistores.

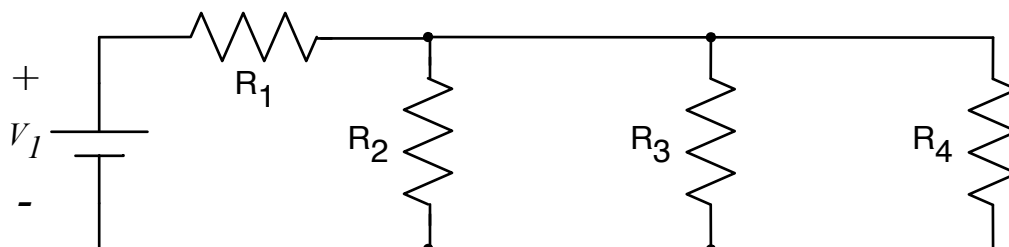


Figura 10 – Circuito misto com quatro resistores – tipo 1.

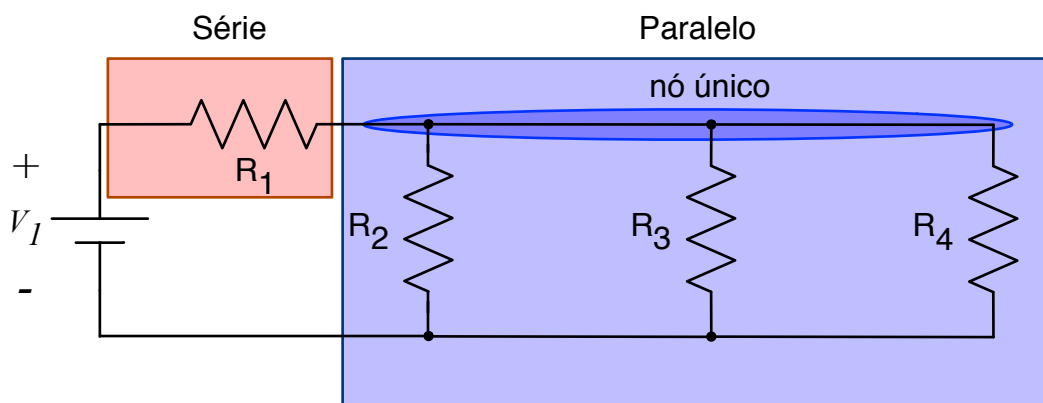


Figura 11 – Identificação dos elementos em série e em paralelo.

### 2.4.1 Cálculo da resistência total em circuito com quatro resistores – tipo 1

A resistência total do circuito mostrado na Figura 12 será calculada utilizando as expressões para circuitos em série e em paralelo, conforme a parte do circuito se estiver analisando.

Assim, a resistência equivalente/total da parte que está em paralelo será:

$$R_{T1} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

A seguir, pode-se obter a resistência total, somando-se a resistência encontrada anteriormente com a resistência de  $R_1$ :

$$R_T = R_1 + R_{T1} = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

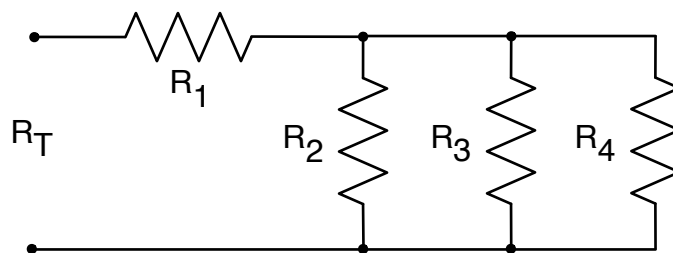


Figura 12 – Cálculo da resistência total de um circuito misto com quatro resistores – tipo 1.

### 2.4.2 Análise do circuito com quatro resistores – tipo 1

A análise do circuito misto com quatro resistores – tipo 1, inicia pela identificação das correntes e tensões nos elementos, conforme mostrado na Figura 13.

A Figura 14 mostra o circuito reduzido para apenas um resistor, que é a resistência total calculada anteriormente. Assim, pode-se aplicar a Lei de Ohm na resistência total e obter:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T}$$

Note que a corrente no resistor  $R_1$  é a corrente total do circuito. Deste modo, sua queda de tensão será obtida aplicando a Lei de Ohm neste elemento:

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_1$$

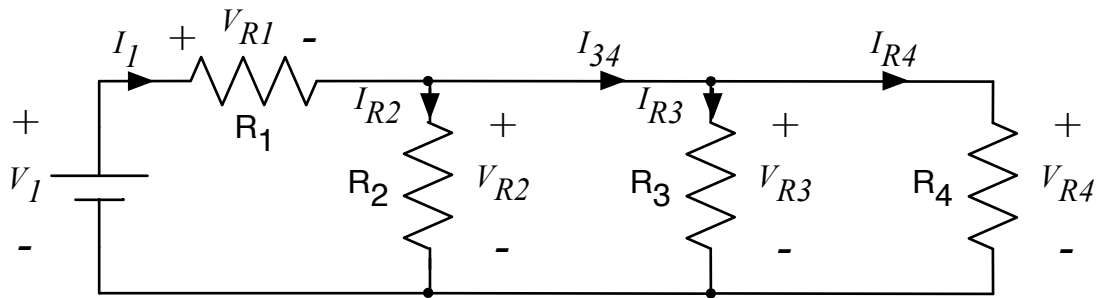


Figura 13 – Identificação das tensões e correntes no circuito com quatro resistores – tipo 1.

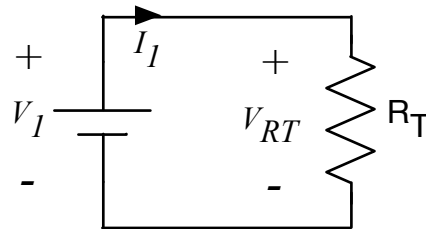


Figura 14 – Circuito reduzido a um resistor apenas.

Agora, conhecendo-se a queda de tensão em  $R_1$  e sua corrente, pode-se obter a tensão resultante após este componente, que será a tensão sobre os resistores  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ . A Figura 15 mostra o circuito resultante do cálculo da resistência equivalente entre  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ , conectados em série com  $R_1$ . Note a presença do nó único, onde será obtida a tensão, que é idêntica aquela sobre os resistores  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ . Aplicando-se a Lei de Kirchhoff das Tensões (LKT) ao circuito da Figura 15, iniciando pelo nó único em sentido horário, se tem:

$$+V_{R_{234}} - V_1 + V_{R_1} = 0 \rightarrow V_{R_{234}} = V_1 - V_{R_1}$$

Por fim, como se determinou a tensão sobre os resistores  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ , pode-se obter as correntes nos mesmos, conforme mostrado na Figura 16, que é na verdade o circuito da Figura 13.

Assim, escrevendo novamente as tensões nos resistores em função do valor encontrado anteriormente, pois os resistores estão em paralelo e a tensão sobre os mesmos é igual, se encontra:

$$V_{R_2} = V_{R_3} = V_{R_4} = V_{R_{234}} = V_1 - V_{R_1}$$

Aplicando a Lei de Ohm em cada resistor, se determina as correntes nos mesmos:

$$I_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{V_1 - V_{R_1}}{R_2}$$

$$I_{R_3} = \frac{V_{R_3}}{R_3} = \frac{V_1 - V_{R_1}}{R_3}$$

$$I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{V_1 - V_{R1}}{R_4}$$

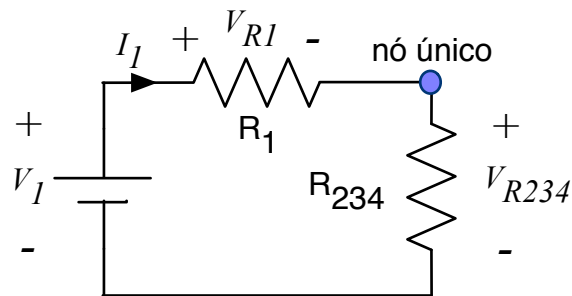


Figura 15 – Circuito reduzido a dois resistores.

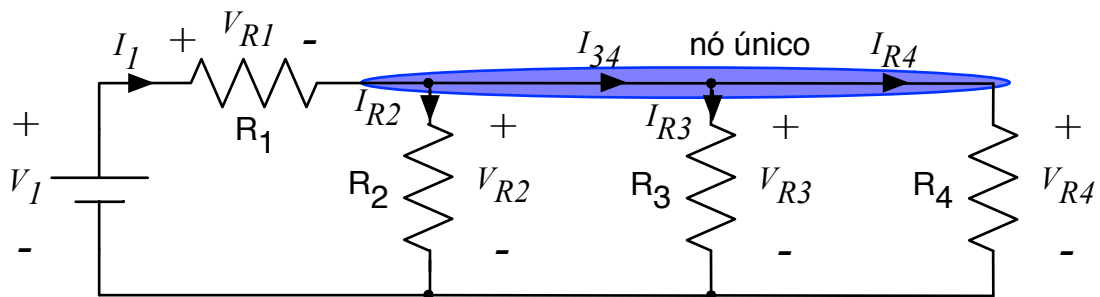


Figura 16 – Circuito original com todos os elementos.

### 2.4.3 Exemplo de análise de circuito com quatro resistores - tipo 1

#### Exemplo 2:

Seja um circuito série-paralelo com quatro resistores, interligados conforme a Figura 10, conectados em uma fonte de alimentação de 10 V. As resistências dos resistores são:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 3,3 \text{ k}\Omega$  e  $R_4 = 2,2 \text{ k}\Omega$ . Determine a resistência total do circuito e as tensões e correntes em todos os elementos.

A resistência total será:

$$R_T = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = 1k + \frac{1}{\frac{1}{2,2k} + \frac{1}{3,3k} + \frac{1}{2,2k}} = 1,825k\Omega$$

A corrente total do circuito será:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T} = \frac{10}{1,825k} = 5,48mA$$

Deste modo, a queda de tensão no resistor  $R_1$  será:

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 1k \cdot 5,48m = 5,48V$$

Assim, a tensão resultante sobre  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$  será:

$$V_{R2} = V_{R3} = V_{R4} = V_{R234} = 10 - 5,48 = 4,52V$$

Então, as correntes nos resistores  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$  serão:

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{4,52}{2,2k} = 2,05mA$$

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{4,52}{3,3k} = 1,37mA$$

$$I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{4,52}{2,2k} = 2,05mA$$

Por fim, aplicando-se a Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC) no nó único, podemos conferir se a análise anterior está correta:

$$+I_1 - I_{R2} - I_{R3} - I_{R4} = 0 \rightarrow I_{R2} + I_{R3} + I_{R4} = I_1$$

$$2,05mA + 1,37mA + 2,05mA = 5,47mA \rightarrow 5,47mA \cong 5,48mA$$

A diferença se dá em virtude dos arredondamentos realizados nos cálculos; comprovando-se assim que a análise está correta.

A corrente nos resistores  $R_3$  e  $R_4$ , chamada nos circuitos anteriores de  $I_{34}$ , pode ser obtida aplicando-se a Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC) no circuito da Figura 17.

Neste caso se tem:

$$+I_1 - I_{R2} - I_{34} = 0 \rightarrow I_{34} = I_1 - I_{R2} = 5,48m - 2,05m = 3,43mA$$

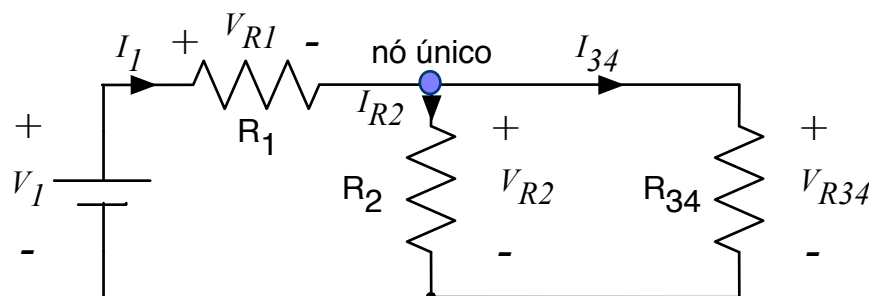


Figura 17 – Circuito reduzido a três resistores.



## 2.5 Circuito série-paralelo com quatro resistores – tipo 2

O circuito com quatro resistores é mostrado na Figura 18 onde se tem  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ . Note que o terminal de saída de  $R_1$  está conectado no terminal de entrada de  $R_2$ , configurando uma conexão série; já o terminal de saída de  $R_2$  está conectado aos terminais de  $R_3$  e  $R_4$ , sendo o conjunto conectado na fonte de alimentação  $V_1$ . O circuito foi denominado de tipo 2, pois com quatro resistores outras configurações são possíveis, sendo este um exemplo de interconexão dos resistores  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ .

A Figura 19 mostra os elementos que estão em série e aqueles que estão em paralelo. Nota-se que os resistores  $R_1$  e  $R_2$  estão em série; enquanto os resistores  $R_3$  e  $R_4$  estão em paralelo.

A Figura 19 mostra as junções (nós) formados nas conexões dos resistores  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ . Note que no nó 1 se tem a conexão de três resistores ( $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ) e no nó 2 apenas de  $R_3$  e  $R_4$ . De todo modo, para a análise do circuito, em termos de aplicação da Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC), estudada no capítulo anterior, pode-se utilizar qualquer um dos dois nós, visto que as correntes nos mesmos serem as mesmas.

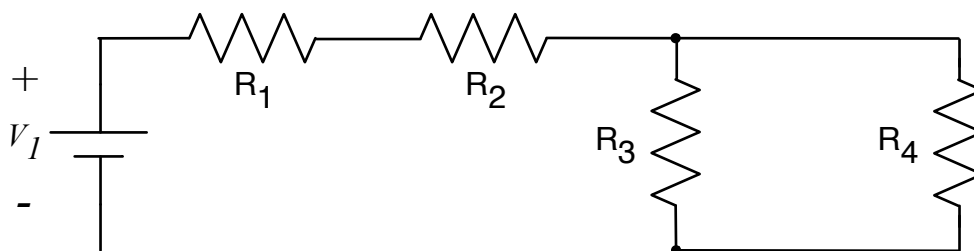


Figura 18 – Circuito misto com quatro resistores – tipo 2.

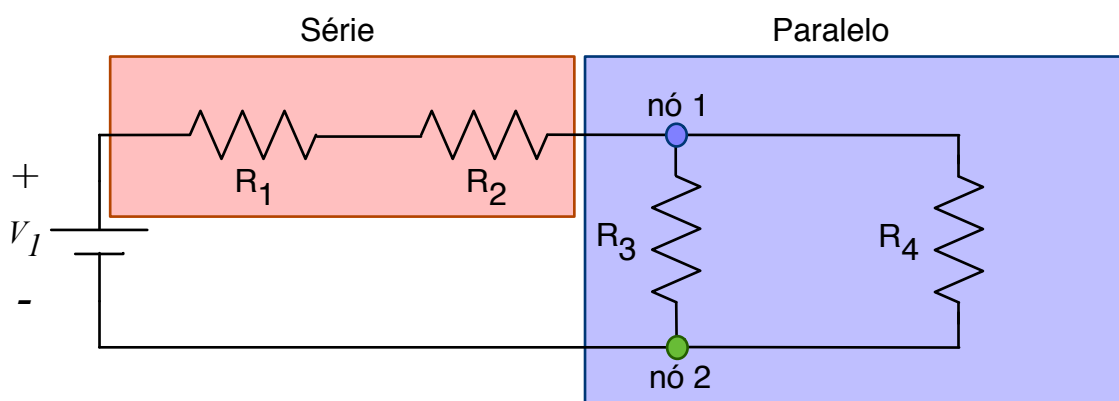


Figura 19 – Identificação dos elementos em série e em paralelo.

### 2.5.1 Cálculo da resistência total em circuito com quatro resistores – tipo 2

A resistência total do circuito mostrado na Figura 20 será calculada utilizando as expressões para circuitos em série e em paralelo, conforme a parte do circuito se estiver analisando.

Assim, a resistência equivalente/total da parte que está em paralelo será:

$$R_{T1} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

A parte em série terá como resistência total:

$$R_{T2} = R_1 + R_2$$

A seguir, pode-se obter a resistência total, somando-se a resistência encontrada anteriormente para cada parte, visto as mesmas estarem em série:

$$R_T = R_{T1} + R_{T2} = R_1 + R_2 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

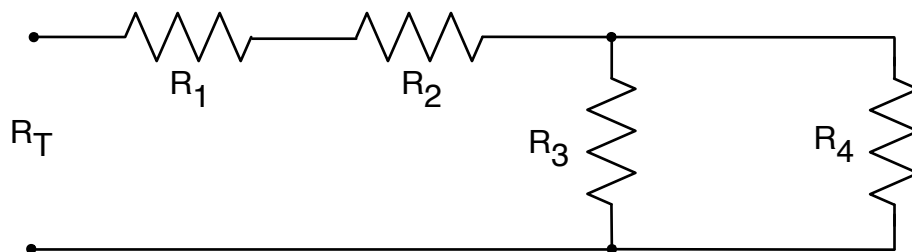


Figura 20 – Cálculo da resistência total de um circuito misto com quatro resistores – tipo 2.

### 2.5.2 Análise do circuito com quatro resistores – tipo 2

A análise do circuito misto com quatro resistores – tipo 2, inicia pela identificação das correntes e tensões nos elementos, conforme mostrado na Figura 21.

A Figura 22 mostra o circuito reduzido para apenas um resistor, que é a resistência total calculada anteriormente. Assim, pode-se aplicar a Lei de Ohm na resistência total e obter:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T}$$

Note que a corrente nos resistores  $R_1$  e  $R_2$  é a corrente total do circuito. Deste modo, sua queda de tensão será obtida aplicando a Lei de Ohm neste elemento:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_1$$

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_1$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I_1$$

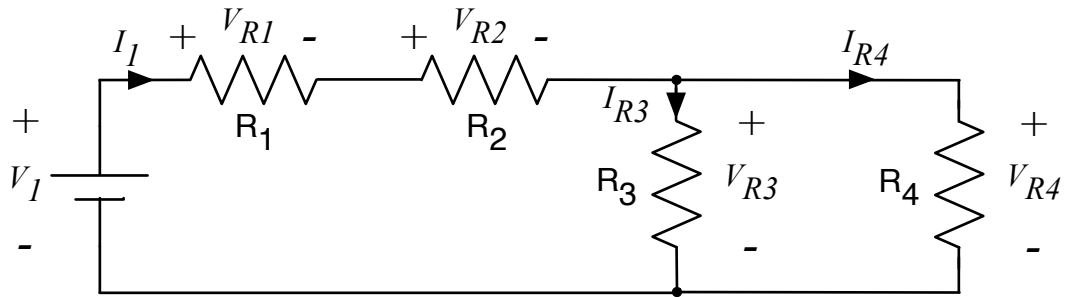


Figura 21 – Identificação das tensões e correntes no circuito com quatro resistores – tipo 2.

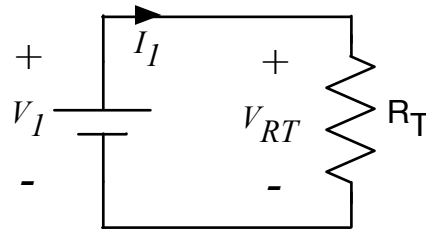


Figura 22 – Circuito reduzido a um resistor apenas.

Agora, conhecendo-se as quedas de tensão em  $R_1$  e  $R_2$ , pode-se obter a tensão resultante após estes componentes, que será a tensão sobre os resistores  $R_3$  e  $R_4$ . O circuito da Figura 23 mostra a redução do circuito série de  $R_1$  e  $R_2$  a um circuito equivalente, com um resistor apenas, que seria a resistência total calculada anteriormente ( $R_{T2}$ ), denominado aqui de  $R_{12}$ .

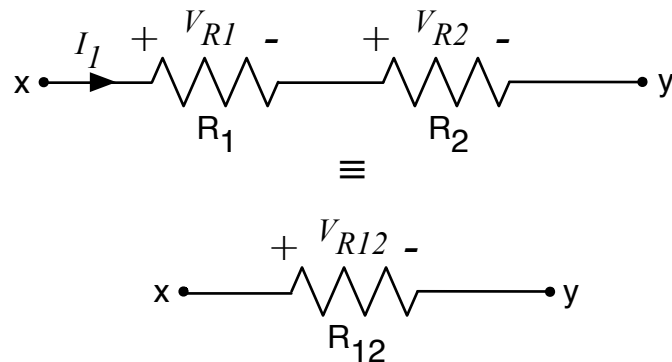


Figura 23 – Circuito equivalente dos resistores  $R_1$  e  $R_2$ .

A tensão o resistor equivalente é a tensão total do circuito série de  $R_1$  e  $R_2$ , portanto:

$$V_{R12} = V_{R1} + V_{R2}$$

A demonstração do resultado anterior é realizada aplicando-se a Lei de Kirchhoff das tensões entre os pontos x e y da Figura 23, como segue:

$$\begin{cases} -V_x + V_{R1} + V_{R2} + V_y = 0 \rightarrow V_{R1} + V_{R2} = V_x - V_y = V_{xy} \rightarrow V_{xy} = V_{xy} \rightarrow V_{R1} + V_{R2} = V_{R12} \\ -V_x + V_{R12} + V_y = 0 \rightarrow V_{R12} = V_x - V_y = V_{xy} \end{cases}$$

A Figura 24 mostra o circuito com as duas resistências equivalentes, ou seja, a resistência total da parte em paralelo ( $R_{T1}$ ) e a resistência total da parte série ( $R_{T2}$ ), que foram denominadas de  $R_{34}$  e  $R_{12}$ , respectivamente. Note a presença do nó 1, onde será obtida a tensão, que é idêntica aquela sobre os resistores  $R_3$  e  $R_4$ . Aplicando-se a Lei de Kirchhoff das Tensões (LKT) ao circuito da Figura 24, iniciando pelo nó 1 em sentido horário, se tem:

$$+V_{R34} - V_1 + V_{R12} = 0 \rightarrow V_{R34} = V_1 - V_{R12}$$

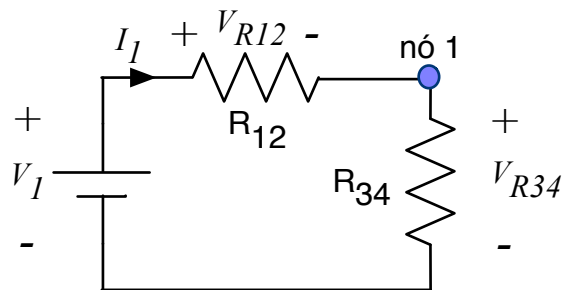


Figura 24 – Circuito reduzido a dois resistores equivalentes.

Por fim, como se determinou a tensão sobre os resistores  $R_3$  e  $R_4$ , pode-se obter as correntes nos mesmos, conforme mostrado na Figura 25, que é na verdade o circuito da Figura 21.

Assim, escrevendo novamente as tensões nos resistores em função do valor encontrado anteriormente, pois os resistores estão em paralelo e a tensão sobre os mesmos é igual, se encontra:

$$V_{R3} = V_{R4} = V_{R34} = V_1 - V_{R12} = V_1 - V_{R1} - V_{R2}$$

Aplicando a Lei de Ohm em cada resistor, se determina as correntes nos mesmos:

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{V_1 - V_{R1} - V_{R2}}{R_3}$$

$$I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{V_1 - V_{R1} - V_{R2}}{R_4}$$

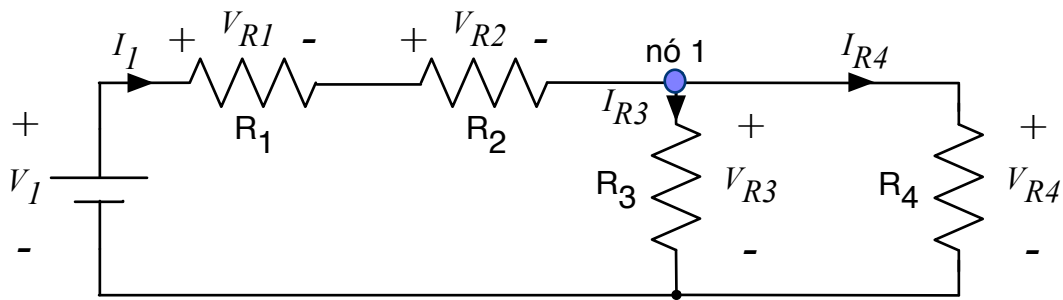


Figura 25 – Circuito original com todos os elementos.

### 2.5.3 Exemplo de análise de circuito com quatro resistores - tipo 2

#### Exemplo 3:

Seja um circuito série-paralelo com quatro resistores, interligados conforme a Figura 18, conectados em uma fonte de alimentação de 12 V. As resistências dos resistores são:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 3,3 \text{ k}\Omega$  e  $R_4 = 2,2 \text{ k}\Omega$ . Determine a resistência total do circuito e as tensões e correntes em todos os elementos.

A resistência total será:

$$R_T = R_1 + R_2 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 1k + 2,2k + \frac{3,3k \cdot 2,2k}{3,3k + 2,2k} = 4,52k\Omega$$

A corrente total do circuito será:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T} = \frac{12}{4,52k} = 2,65mA$$

Deste modo, as quedas de tensão nos resistores  $R_1$  e  $R_2$  serão:

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 1k \cdot 2,65m = 2,65V$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I_1 = 2,2k \cdot 2,65m = 5,83V$$

Assim, a tensão resultante sobre  $R_3$  e  $R_4$  será:

$$V_{R3} = V_{R4} = V_{R34} = V_1 - V_{R12} = V_1 - V_{R1} - V_{R2} = 12 - 2,65 - 5,83 = 3,52V$$

Então, as correntes nos resistores  $R_3$  e  $R_4$  serão:

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{3,52}{3,3k} = 1,07mA$$

$$I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{3,52}{2,2k} = 1,6mA$$

Note que somando as correntes dos resistores  $R_3$  e  $R_4$  se tem:

$$I_{R_3} + I_{R_4} = 1,07\text{mA} + 1,6\text{mA} = 2,67\text{mA} \cong I_1 = 2,65\text{mA}$$

Novamente o valor encontrado é um pouco diferente daquele calculado para a corrente que entra no nó 1, que é a corrente total do circuito. Esta diferença é devida aos arredondamentos realizados durante os cálculos das grandezas do circuito.

### 3 Exercícios

#### Exercícios Resolvidos

**ER 01.** Explique o que é um circuito em misto de resistores?

O circuito misto é formado por resistores em série-paralelo, isto é, alguns componentes estão em série, enquanto outros estão em paralelo.

**ER 02.** Considere o circuito da Figura 26. A fonte de alimentação é de 5 V. As resistências dos resistores são:  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 22 \Omega$ ,  $R_3 = 10 \Omega$  e  $R_4 = 33 \Omega$ . Identifique os elementos que estão em série e em paralelo no circuito mostrado.

O circuito é misto, tendo parte dos componentes em série e parte em paralelo. Os resistores  $R_1$  e  $R_2$  estão em paralelo entre si; do mesmo modo,  $R_3$  e  $R_4$  estão em paralelo entre si. No entanto, o conjunto  $R_1//R_2$  está em série com o conjunto  $R_3//R_4$ .

Utilizamos o símbolo // para identificar dois elementos que estão em paralelo entre si.

Os blocos que estão em série e em paralelo estão mostrados na Figura 27.

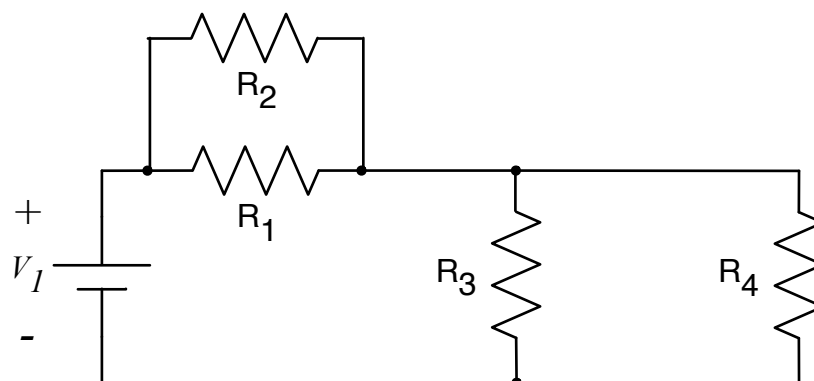


Figura 26 – Circuito para análise.

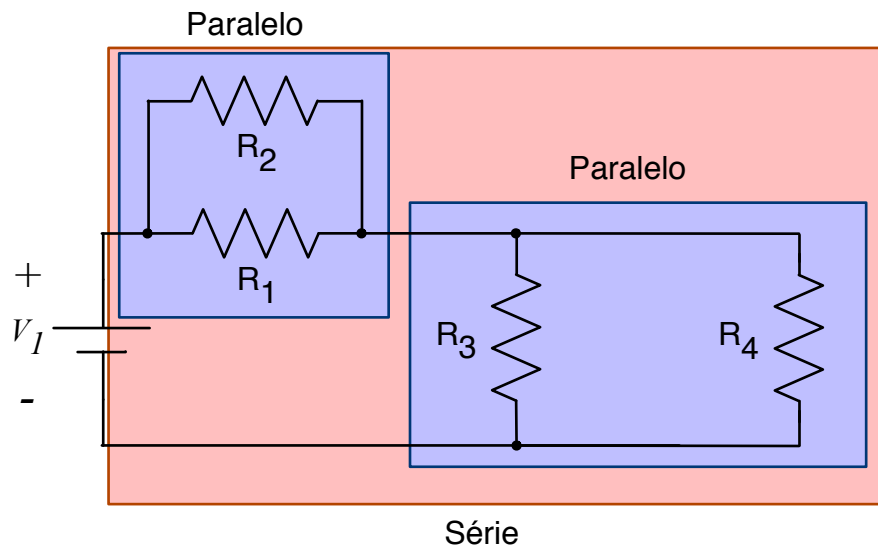


Figura 27 – Identificação das partes em série e das partes em paralelo do circuito em análise.

**ER 03.** Identifique todas as correntes e tensões no circuito da Figura 26.

Identificando-se correntes e tensões no circuito em análise se tem o circuito mostrado na Figura 28.

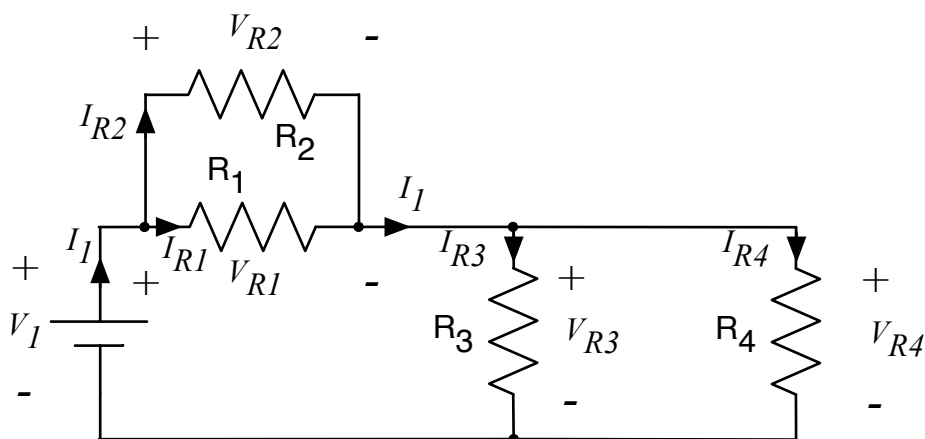


Figura 28 – Circuito com identificação das tensões e correntes nos elementos.

**ER 04.** Calcule a resistência total do circuito da Figura 26 com os valores dados na questão ER 02.

O circuito é formado por dois conjuntos de resistores associados. A resistência equivalente de  $R_1 // R_2$  será:

$$R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 22}{10 + 22} = 6,875 \Omega$$

Por sua vez, a resistência equivalente de  $R_3 // R_4$  será:

$$R_3 // R_4 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{10 \cdot 33}{10 + 33} = 7,67 \Omega$$

Por fim, os dois conjuntos de resistores estão em série entre si, então:

$$R_T = R_1 // R_2 + R_3 // R_4 = 6,875 + 7,67 = 14,545 \Omega$$

**ER 05.** Determine as correntes e tensões nos elementos do circuito da Figura 26, usando os valores da questão ER 02 e a identificação das grandezas conforme a Figura 28.

Como a resistência total do circuito foi determinada na questão 04, sendo de  $14,545 \Omega$ , pode-se calcular a corrente total do circuito:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_T} = \frac{12}{14,545} = 0,825 A$$

A tensão sobre o conjunto de resistores  $R_1 // R_2$ , será:

$$V_{R_1 // R_2} = (R_1 // R_2) \cdot I_1 = 6,875 \cdot 0,825 = 5,67 V$$

Do mesmo modo, como a corrente  $I_1$  se divide nos resistores  $R_1$  e  $R_2$ , mas volta a ser somada na conexão de saída destes resistores, como está mostrado na Figura 28, então a corrente que circula pelo conjunto  $R_3 // R_4$  é a mesma  $I_1$ ; assim, pode-se calcular a tensão sobre o conjunto  $R_3 // R_4$ :

$$V_{R_3 // R_4} = (R_3 // R_4) \cdot I_1 = 7,67 \cdot 0,825 = 6,33 V$$

Tendo-se as tensões sobre o conjunto de resistores, pode-se determinar a corrente nos elementos:

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{V_{R_1 // R_2}}{R_1} = \frac{5,67}{10} = 0,567 A$$

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_{R_1 // R_2}}{R_2} = \frac{5,67}{22} = 0,258 A$$

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{V_{R_3 // R_4}}{R_3} = \frac{6,33}{10} = 0,633 A$$

$$I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{V_{R_3 // R_4}}{R_4} = \frac{6,33}{33} = 0,192 A$$

## Exercícios Propostos

**EP 01.** Explique com suas palavras o que é um circuito em série-paralelo de componentes eletrônicos.

**EP 02.** Considere o circuito da Figura 29. A fonte de alimentação é de 10 V. As resistências dos



resistores são:  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$  e  $R_3 = 10 \Omega$ . Identifique os elementos que estão em série e em paralelo no circuito mostrado.

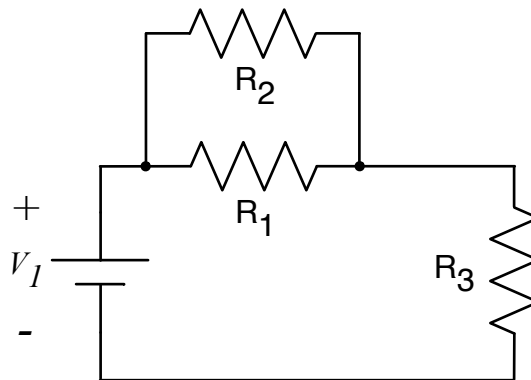


Figura 29 – Circuito para análise.

**EP 03.** Identifique todas as correntes e tensões no circuito da Figura 29.

**EP 04.** Calcule a resistência total do circuito da Figura 29 com os valores dados na questão EP 02.

**EP 05.** Determine as correntes e tensões nos elementos do circuito da Figura 29, usando os valores da questão EP 02.

## 4 Atividade Avaliativa

### 4.1 Introdução – O que preciso saber

Ao final deste objetivo de aprendizagem são apresentadas cinco questões, que devem ser respondidas sem consultar o material. Se você conseguir responder as questões e conferir as respostas com o gabarito abaixo, parabéns, você concluiu com êxito este tópico. Caso tenha errado alguma questão, revise o conteúdo relacionado com a mesma e refaça a questão, procurando se concentrar mais desta vez, para acertar a mesma e fixar bem o conteúdo.

**AA 01.** O circuito da Figura 30 pode ser considerado um circuito misto (série-paralelo)?

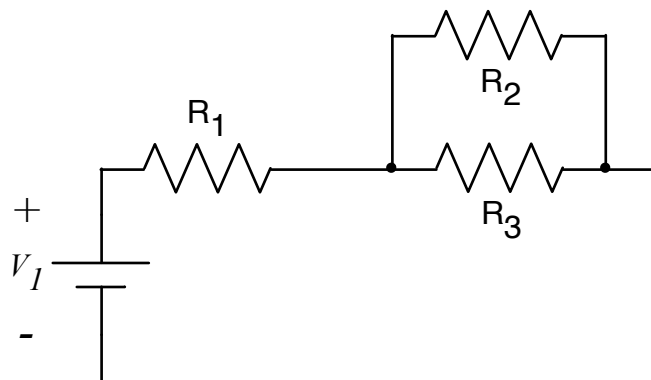


Figura 30 – Circuito para análise.

**AA 02.** Considere o circuito da Figura 30. A fonte de alimentação é de 12 V. As resistências dos resistores são:  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 22 \Omega$  e  $R_3 = 22 \Omega$ . Identifique os elementos que estão em série e em paralelo no circuito mostrado.

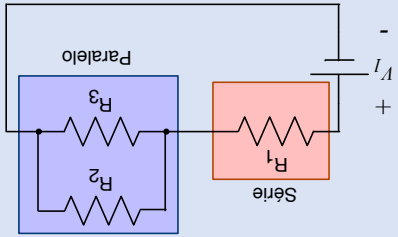
**AA 03.** Identifique todas as correntes e tensões no circuito da Figura 30.

**AA 04.** Calcule a resistência total do circuito da Figura 30 com os valores dados na questão AA 02.

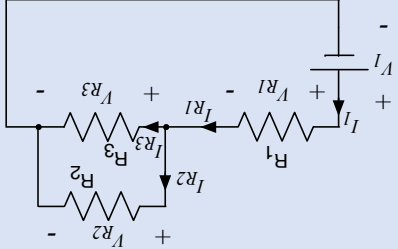
**AA 05.** Determine as correntes e tensões nos elementos do circuito da Figura 30, usando os valores da questão AA 02.

AA 01. Sim, o circuito é série-paralelo (misto), pois  $R_1$  está em série com  $R_2$  que está em paralelo com  $R_3$ .

AA 02. As partes em série e paralelo estão mostradas na figura abaixo.



AA 03. As tensões e correntes do circuito estão identificadas conforme a figura abaixo.



AA 04. A resistência total do circuito será:  $R_T = R_1 + \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = 10 + \frac{22 \times 22}{22 + 22} = 21 \Omega$ .

AA 05. A corrente total do circuito será:  $I_1 = V_1 / R_T = 12 / 21 = 0,57 \text{ A}$ . A queda de tensão em  $R_1$  será:  $V_{R1} = R_1 \times I_1 = 10 \times 0,57 = 5,7 \text{ V}$ . Então a tensão resultante nos resistores  $R_2 / R_3$  será:  $V_{R2} = V_{R3} = V_1 - V_{R1} = 12 - 5,7 = 6,3 \text{ V}$ . Assim, as correntes nos resistores  $R_2$  e  $R_3$  serão:  $I_{R2} = V_{R2} / R_2 = 6,3 / 22 = 0,286 \text{ A}$  e  $I_{R3} = V_{R3} / R_3 = 6,3 / 22 = 0,286 \text{ A}$ . Note que a soma de  $I_{R2} + I_{R3} = 0,286 \text{ A} + 0,286 \text{ A} = 0,57 \text{ A}$ , que é igual a corrente  $I_1$ .