

2 OS CIRCUITOS ELÉTRICOS

A análise de fenômenos, produzidos por cargas elétricas em movimento, dá início ao estudo da corrente elétrica e dos circuitos elétricos. A expressão corrente elétrica está relacionada a uma antiga concepção: a de que a eletricidade (GASPAR, 2000) seria um fluido e, como tal, poderia ser canalizado por condutores (encanamentos hipotéticos desse fluido elétrico). Na verdade, embora essa analogia ainda seja usada, esses fenômenos têm características bastante diferentes. A corrente elétrica tem como elemento básico os portadores de cargas elétricas livres: elétrons nos sólidos; e, elétrons ou íons, positivos ou negativos, nos líquidos e gases.

No mundo moderno, a energia elétrica tem um papel fundamental. A corrente elétrica está presente nos sistemas urbanos de iluminação, na indústria, nos aparelhos de comunicação, nos veículos de transporte e nos eletrodomésticos em geral.

2.1 A CORRENTE ELÉTRICA

A corrente elétrica é definida como sendo o movimento ordenado de portadores de carga elétrica (BISCOULA, 2001) causado por uma diferença de potencial elétrico (**ddp**), ou seja, por uma tensão elétrica.

Para que a corrente elétrica circule de modo apreciável, através de um material, este precisa ser um condutor elétrico. Existem três tipos de condutores:

- os metais, em que os portadores móveis de carga elétrica são elétrons livres;
- as soluções eletrolíticas, em que os portadores móveis são íons positivos e negativos;
- os gases ionizados, em que os portadores móveis podem ser íons positivos, íons negativos e elétrons livres.

2.1.1 A Intensidade da Corrente Elétrica

A figura (1) representa uma corrente de cargas elétricas que se movem para a direita, ao longo de uma região cilíndrica (condutor cilíndrico).

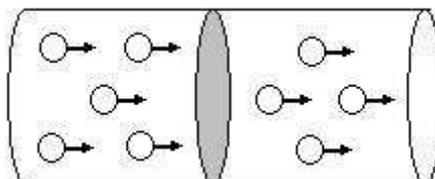


Figura 1: Corrente elétrica em condutor cilíndrico.

A intensidade média da corrente elétrica é definida por

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t},$$

sendo q o módulo da carga elétrica (dada em coulombs, **C**) que passa por uma secção reta S , num intervalo de tempo Δt (dado em segundos, **s**).

A unidade de medida da corrente é o ampère. Tem-se que $1 \text{ A} = 1 \text{ C}/1 \text{ s}$ (veja a Lista de Símbolos).

2.1.2 O Sentido Convencional da Corrente

O movimento de uma carga elétrica negativa, movendo-se com uma certa velocidade dirigida para a direita, é equivalente ao movimento de uma carga positiva, de mesmo valor absoluto, deslocando-se com a mesma velocidade, para a esquerda.

Este fato deu origem a uma convenção (MÁXIMO, 2000) para o estudo da corrente elétrica: *uma carga negativa em movimento será sempre imaginada como uma carga positiva movendo-se em sentido contrário.*

Dessa convenção, para um condutor metálico, decorre que, em uma corrente elétrica qualquer, as cargas negativas em movimento deverão ser

substituídas por cargas positivas movendo-se em sentido contrário. Essa corrente (Figura 2) imaginária, equivalente à corrente real, é chamada corrente convencional.

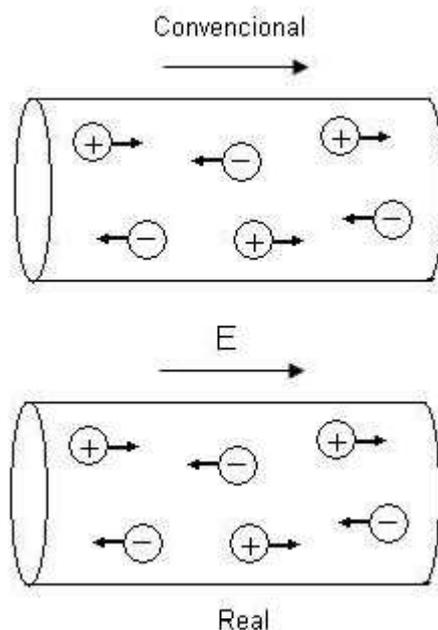


Figura 2: Corrente real e convencional

2.1.3 A Corrente Contínua e a Corrente Alternada

A motivação, para o estudo de tópicos físico-matemáticos que integram este material didático, é feita a partir de medições experimentais com um protótipo. Este texto apresenta, exclusivamente, os casos em que a intensidade da corrente elétrica é constante. Esta corrente é chamada de **corrente contínua (CC)**. O gráfico de sua intensidade em função do tempo, função constante, está indicado (Figura 3) abaixo. Porém, há casos em que a intensidade da corrente não é constante. Por exemplo, a corrente elétrica enviada pelas usinas às indústrias e às residências varia em intensidade e sentido (Figura 3). E, dentro do fio condutor, os elétrons executam um movimento de vai-e-vem. Essa corrente é chamada de **corrente alternada (CA)**, e é representada por funções senoidais.

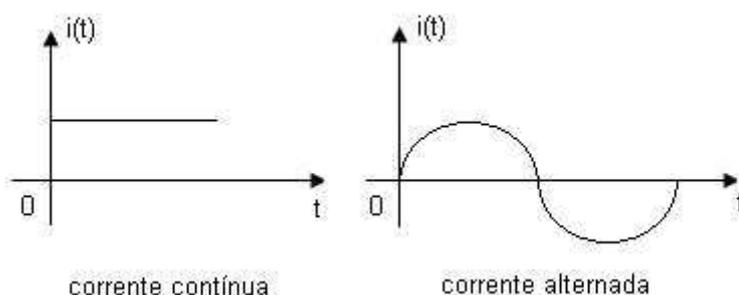


Figura 3: Corrente contínua e alternada

Neste momento, cabe a questão: dado que a corrente na sala de aula é alternada, como, utilizando o protótipo, é medida a corrente contínua?

A resposta é: basta que seja usado um transformador com entrada **CA** e saída **CC**.

2.1.4 Os Efeitos da Corrente Elétrica

A passagem da corrente elétrica, através de condutores, produz diferentes efeitos que dependem da natureza do condutor e da intensidade da corrente (BISCOULA, 2001). Os principais são:

a) o efeito fisiológico – é o efeito que corresponde à passagem da corrente elétrica por organismos vivos e age diretamente no sistema nervoso, provocando contrações musculares; é o que comumente chamamos de choque elétrico.

O valor mínimo de intensidade de corrente que se percebe pela sensação de formigamento é de **1 mA**.

b) o efeito térmico – também conhecido como efeito Joule – é produzido pelo choque dos condutores de carga elétrica contra os átomos dos condutores. Ao receberem energia, os átomos vibram com mais intensidade, aumentando a temperatura do condutor. Este é o efeito que produz energia térmica nos condutores e pode ser verificado nos aquecedores em geral.

c) o efeito químico – é o que corresponde a certas reações químicas, quando a corrente elétrica atravessa as soluções eletrolíticas; é amplamente aplicado em siderurgia, no recobrimento de metais.

d) o efeito magnético – conhecido como a Lei de Ampère – é o que produz um campo magnético na região em torno do condutor, atravessado pela corrente elétrica; tem aplicação nos motores.

2.1.5 A Energia e a Potência da Corrente Elétrica

O movimento de cargas elétricas (q dada em coulomb, **C**), entre dois pontos **A** e **B** de um circuito elétrico, só é possível se for mantida uma diferença de potencial **U** ($V_A - V_B$) entre esses pontos. Diz-se (AMALDI, 1992), então, que a **ddp** **U** (dada em Volt, **V**) é a causa da passagem da corrente elétrica. A energia elétrica consumida é a diferença entre as energias potencial elétrica nos pontos, dada por

$$\tau_{AB} = E_A - E_B,$$

onde a energia é dada por

$$E_A = \Delta q V_A \quad \text{e} \quad E_B = \Delta q V_B.$$

Tem-se,

$$\tau_{AB} = \Delta q V_A - \Delta q V_B$$

ou

$$\tau_{AB} = \Delta q (V_A - V_B).$$

Assim,

$$\tau_{AB} = \Delta q U.$$

A unidade de medida da energia é o Joule e $1 \text{ J} = 1 \text{ C} \cdot 1 \text{ V}$ (veja a Lista de Símbolos).

A potência elétrica consumida é dada pela razão entre a energia consumida e o tempo de consumo

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad P = \frac{\Delta q U}{\Delta t}.$$

Como $\frac{\Delta q}{\Delta t} = i$, pode-se escrever que

$$P = U i.$$

A unidade de medida da potência é o watt, com: $1 \text{ w} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ (veja a Lista de Símbolos).

2.2 OS ELEMENTOS DO CIRCUITO ELÉTRICO

De um modo geral (RAMALHO JUNIOR, 1991), o circuito elétrico é um conjunto de caminhos que permite a passagem da corrente elétrica. Para a existência da corrente elétrica são necessários: uma fonte de energia, condutores em circuito fechado e um elemento para usar a energia da fonte. Alguns elementos que compõem um circuito elétrico são descritos a seguir:

a) Gerador elétrico é o dispositivo capaz de transformar em energia elétrica outra modalidade de energia. O gerador não gera ou cria cargas elétricas. A sua função é fornecer energia às cargas elétricas que o atravessam. Os geradores (Figura 4) mais comuns são os químicos e os mecânicos.

b) Receptor elétrico é o dispositivo que transforma energia elétrica em outra modalidade de energia não, exclusivamente, térmica. O principal receptor (Figura 4) é o motor elétrico que transforma energia elétrica em energia mecânica, além de dissipar uma parcela de energia sob a forma de calor.

c) Resistor elétrico é o dispositivo (Figura 4) destinado, em geral, a limitar a intensidade da corrente elétrica nos circuitos. Os resistores também podem ser usados como conversores de energia elétrica em energia térmica, quando forem concebidos para tal finalidade. Este é o caso de ferros elétricos, chuveiros elétricos, etc.

d) Dispositivos de manobra são elementos (Figura 4) que servem para acionar ou desligar um circuito elétrico, tais como as chaves e os interruptores.

e) Dispositivos de segurança são dispositivos (Figura 4) que protegem os demais elementos do circuito, interrompendo a passagem da corrente elétrica ao serem atravessados por uma corrente de intensidade maior que a prevista. Os mais comuns são os fusíveis e os disjuntores.

f) Dispositivos de controle são dispositivos usados nos circuitos elétricos para medir as várias grandezas elétricas ou para, simplesmente, detectá-las. Os mais usados são o Amperímetro: aparelho (Figura 4) que serve para medir a intensidade da corrente elétrica; o Voltímetro: aparelho (Figura 4) que serve para medir a

diferença de potencial entre dois pontos do circuito elétrico; e, o Multímetro: aparelho que pode ser usado tanto com amperímetro ou como voltímetro.

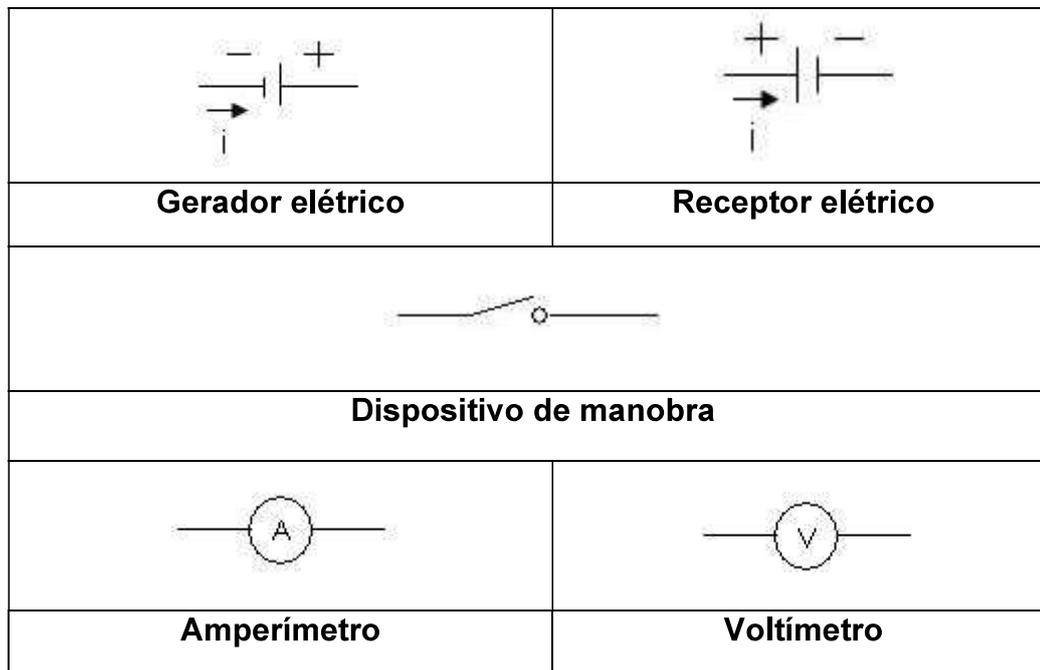


Figura 4: Elementos do circuito elétrico

2.3 A LEI DE OHM

2.3.1 Os Resistores e a Lei de Ohm

O físico alemão George Simon Ohm verificou experimentalmente (1827) que, a uma temperatura constante, o quociente entre a **ddp** aplicada **U** e a intensidade de corrente elétrica **i** permanece constante.

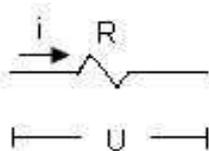


Figura 5: Resistor elétrico

$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_{21}}{i_{21}} = \frac{U_3}{i_3} = \dots = R$$

A medida **R**, assim obtida, é chamada de **resistência elétrica** e mede a oposição do condutor à passagem da corrente elétrica. A razão

$$R = \frac{U}{i} \quad \text{ou} \quad U = R i$$

é conhecida como a **Lei de Ohm**: “o quociente entre a **ddp U** nos terminais de um resistor e a intensidade de corrente elétrica **i** que o atravessa é constante”. Ou seja, “a resistência de um condutor é constante”.

A unidade de medida da resistência elétrica é o **ohm** e $1 \Omega = \text{V} / \text{A}$ (veja a Lista de Símbolos).

Ao transformar energia elétrica, exclusivamente, em energia térmica, o resistor (Figura 5) dissipa a energia elétrica que recebe do circuito. Assim, a potência elétrica consumida por um resistor é a energia dissipada. Como a potência elétrica **P** é dada por

$$P = i U,$$

da Lei de Ohm, tem-se que a potência elétrica dissipada no resistor é

$$P = R i^2.$$

E, a **energia elétrica consumida** pelo resistor é dada por

$$\tau = R i^2 \Delta t,$$

conhecida como a **Lei de Joule**: “A energia elétrica dissipada em um resistor, num dado intervalo de tempo, é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade de corrente que o percorre”.

A unidade de medida do consumo elétrico é o Joule e $1 \text{ J} = 1 \text{ w} \cdot 1 \text{ s}$ (veja a Lista de Símbolos). Na prática, por exemplo, nas contas de luz, usa-se como unidade de consumo elétrico o **Kwh**.

2.3.2 A Resistividade elétrica: uma propriedade do material

A resistência de um resistor depende do material que o constitui, de suas dimensões e de sua temperatura. Considere-se um resistor (Figura 6) de comprimento **l** e seção transversal de área **S**.

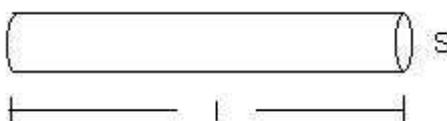


Figura 6: Resistor de fio

Dos resultados da experimentação com condutores metálicos de diversas formas e constituídos dos mais diversos materiais, infere-se que “à temperatura constante, a resistência elétrica do resistor é diretamente proporcional ao seu comprimento l e inversamente proporcional à área de sua secção transversal S ”. Ou seja,

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

onde o coeficiente de proporcionalidade, denotado por ρ , é a **resistividade elétrica**, uma grandeza característica do material que constitui o resistor.

2.3.3 Associação de Resistores

Os circuitos elétricos podem ser compostos por mais de um resistor. Isto acontece, quando se faz necessário aumentar ou diminuir a resistência do circuito elétrico. Os resistores componentes do circuito podem ser associados de duas maneiras distintas: em **série** ou em **paralelo**, ou numa **combinação de ambas**.

O resistor que produz o mesmo efeito dos resistores associados, ou seja, que submetido à mesma tensão (**ddp**) deixa passar a mesma intensidade de corrente elétrica é chamado de **resistor equivalente**, denotado por R_e .

2.3.3.1 Associação em Série

Os resistores estão associados em série (Figura 7), quando formam um único caminho para a passagem da corrente elétrica.

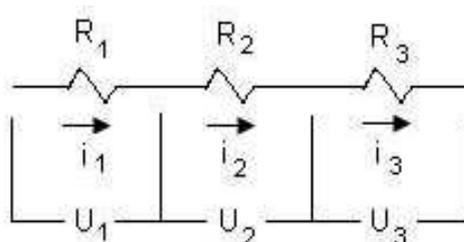


Figura 7: Associação em série

Características da associação em série:

- a intensidade da corrente elétrica i é a mesma em todos os resistores, pois eles estão ligados em seqüência. Assim,

$$i = i_1 = i_2 = i_3$$

- a **ddp** na associação, U , é igual à soma das **ddp** em cada resistor, isto é,

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Aplicando-se a Lei de Ohm na última equação, determina-se a resistência do resistor equivalente da associação. Mais especificamente, como $U = R i$, então

$$R_e i = R_1 i + R_2 i + R_3 i = i (R_1 + R_2 + R_3).$$

E, resulta que

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3.$$

Portanto, *a resistência do resistor equivalente da associação em série é igual à soma das resistências dos resistores associados.*

2.3.3.2 Associação em Paralelo

Os resistores estão associados em paralelo (Figura 8), quando estão ligados pelos seus terminais, ficando submetidos a uma mesma diferença de potencial e oferecendo caminhos separados para a corrente elétrica.

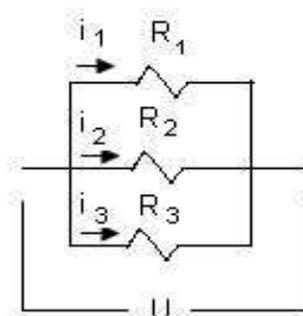


Figura 8: Associação em paralelo

Características da associação em paralelo:

- a **ddp** U é a mesma em todos os resistores, pois eles estão ligados aos mesmos pontos. Assim,

$$U = U_1 = U_2 = U_3.$$

- A corrente elétrica i da associação é igual à soma das correntes elétricas que atravessam os resistores, ou seja,

$$i = i_1 + i_2 + i_3.$$

Aplicando-se a lei de Ohm na expressão anterior, pode-se determinar a resistência do resistor equivalente da associação. Deste modo, sendo

$$i = \frac{U}{R},$$

tem-se,

$$\frac{U}{R_e} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

ou

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Portanto, *o inverso da resistência do resistor equivalente da associação em paralelo é igual à soma dos inversos das resistências dos resistores associados.*

2.4 OS GERADORES

Em um circuito elétrico (JOHNSON, 1968), deve existir um dispositivo externo responsável pelo movimento dos portadores de carga elétrica. Este agente externo é o gerador (Figura 9), um dispositivo que realiza uma força eletrostática sobre os portadores de carga elétrica, repondo a energia consumida pelos portadores de carga em outras partes do circuito.

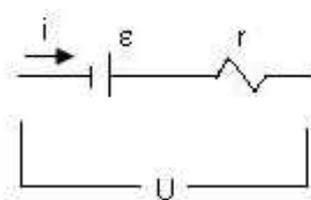


Figura 9: Gerador elétrico

Força eletromotriz (ϵ) é a razão entre o trabalho de uma força não eletrostática (dado em Joule, **J**) realizado pelo gerador e a carga deslocada entre os terminais do gerador (dada em coulomb, **C**), isto é,

$$\varepsilon = \frac{\Delta\tau}{\Delta q}.$$

Resistência interna (r) é a resistência (dada em ohm, Ω) oferecida à passagem da corrente elétrica dentro do gerador.

A diferença de potencial, que o gerador aplica ao circuito elétrico, é dada pela diferença entre a força eletromotriz produzida e a **ddp** consumida internamente pelo mesmo. Assim, a **ddp** resultante, conhecida como a **equação do gerador**, é

$$U = \varepsilon - ri.$$

Cabe ressaltar, que a força eletromotriz (**fem**) não é uma força. É o trabalho de uma força não eletrostática por unidade de carga transportada entre os terminais do gerador.

2.4.1 A Potência e o Rendimento do Gerador

Para complementar o estudo do gerador, será estabelecido, a seguir, o conceito e a caracterização de cada potência envolvida.

- Potência total fornecida pelo gerador: $P_t = \varepsilon i$.
- Potência útil, potência fornecida pelo gerador ao circuito elétrico: $P_u = U i$.
- Potência dissipada sob a forma de calor no interior do gerador: $P_d = r i^2$.

O rendimento do gerador é dado pela relação entre a potência elétrica útil, fornecida ao circuito externo, e a potência elétrica total gerada: $\eta = \frac{P_u}{P_t}$.

2.5 OS RECEPTORES

Os receptores são dispositivos que fazem o papel oposto ao do gerador (MÁXIMO, 2000), ou seja, transformam a energia elétrica recebida por unidade de carga em outras formas de energia. Por exemplo, os motores dos ventiladores. No receptor (Figura 10), a força eletromotriz atua no sentido oposto ao da corrente elétrica. As cargas elétricas realizam trabalho sobre o aparelho.

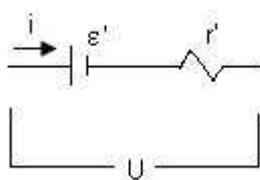


Figura 10: Receptor elétrico

Ao se estabelecer uma **ddp U** nos terminais de um receptor, uma parte da energia elétrica recebida é transformada em outra modalidade. Essa parte útil é chamada de **força contra-eletromotriz (ε')**. A parte restante é transformada em calor, porque o receptor oferece uma resistência, chamada **resistência interna (r')**, à passagem da corrente.

A **ddp** que o receptor recebe do circuito elétrico é dada pela soma da força contra-eletromotriz com a **ddp** consumida internamente. Assim, a **ddp** recebida, representada pela **equação do receptor**, é dada por

$$U = \varepsilon' + r' i.$$

2.5.1 A Potência e o Rendimento do Receptor

Para complementar o estudo do receptor, será estabelecido, a seguir, o conceito e a caracterização de cada potência envolvida.

- Potência total recebida pelo receptor: $P_t = U i$.
- Potência útil, potência absorvida pelo receptor: $P_u = \varepsilon' i$.
- Potência dissipada é a convertida em calor no interior do receptor: $P_d = r' i^2$.

O rendimento do receptor é dado pela relação entre a potência elétrica útil e a potência elétrica total fornecidas: $\eta = \frac{P_u}{P_t}$.

2.6 OS CIRCUITOS ELÉTRICOS

O caminho fechado, percorrido por portadores de carga, possui geradores, receptores e resistores ligados entre si. Este conjunto caminho-elemento constitui um circuito elétrico e possibilita a passagem da corrente elétrica. Os circuitos são classificados conforme os elementos que os compõem e o tipo de ligação entre os mesmos.

2.6.1 Os Circuitos Elétricos de Corrente Contínua e a Matemática

Um circuito elétrico (Figura 11), onde todos os elementos estão em série, consiste em circuito de caminho único (MACDONALD, 1971). Aqui, é importante lembrar que os geradores fornecem energia às cargas, elevando o potencial; e, os receptores e resistores retiram energia das cargas, diminuindo o potencial.

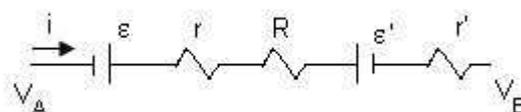


Figura 11: Circuito elétrico em série

Quando se analisa um trecho desse circuito, no sentido da corrente, devem ser adicionadas algebricamente todas as variações de potencial que ocorrem em seus elementos. Este fenômeno é equacionado através de

$$V_A + \varepsilon - r i - R i - \varepsilon' - r' i = V_B.$$

Então, a diferença de potencial, nas extremidades, é

$$V_B - V_A = \varepsilon - \varepsilon' - i (R + r + r').$$

E, diante da existência de vários geradores, receptores e resistores, tem-se a forma geral

$$V_B - V_A = \Sigma \varepsilon - \Sigma \varepsilon' - \Sigma (R + r + r') i.$$

Esta equação expressa uma importante lei da física que é a Lei da Conservação de Energia.

2.6.2 Um Circuito Completo

Se os pontos **B** e **A** do circuito anterior forem ligados por um fio condutor metálico de resistência desprezível, a corrente elétrica percorre um caminho fechado de **A** para **B**. Como não existe perda de energia entre os pontos **B** e **A**, $V_A = V_B$. Em conseqüência, $V_B - V_A = 0$. Deste modo, decorre que

$$0 = \Sigma \varepsilon - \Sigma \varepsilon' - \Sigma (R + r + r') i.$$

Esta equação linear permite o estudo de circuitos elétricos de apenas um caminho para o percurso da corrente elétrica: os circuitos elétricos simples.

Como exemplo, será determinada a intensidade da corrente elétrica total no circuito (Figura 12) completo. Neste, percebe-se dois possíveis geradores. Entretanto, apenas um deles funcionará como gerador (60 V), segundo a forma de ligação, ficando o outro como receptor (20 V). O sentido da corrente elétrica será do gerador para o receptor, portanto no sentido horário.

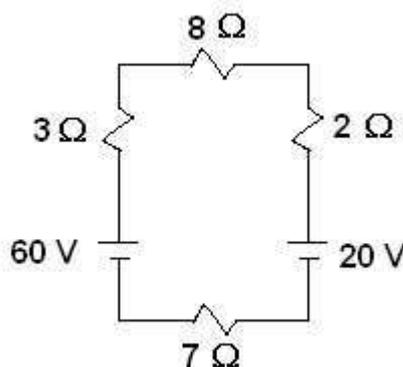


Figura 12: Circuito completo

$$\varepsilon = 60 \text{ V}, \varepsilon' = 20 \text{ V}, R_1 = 8 \text{ } \Omega, R_2 = 7 \text{ } \Omega, r = 3 \text{ } \Omega \text{ e } r' = 2 \text{ } \Omega$$

Por se tratar de um circuito de caminho único, é válida a relação

$$0 = \Sigma \varepsilon - \Sigma \varepsilon' - \Sigma (R + r + r') i.$$

Com o somatório dos elementos (fem, fcem e resistência), isto é,

$$\Sigma \varepsilon = 60 \text{ V}, \Sigma \varepsilon' = 20 \text{ V} \text{ e } \Sigma (R + r + r') = 20 \text{ } \Omega,$$

ou seja,

$$0 = 60 - 20 - 20 i,$$

resulta que a intensidade da corrente elétrica

$$i = 2 \text{ A}.$$

Se existirem ramificações, partes do circuito ligados em paralelo, duas alternativas são possíveis. Uma delas é substituir as ramificações por trechos equivalentes, o que simplifica o circuito e a equação de circuito completo, acima, é aplicável. Se esta simplificação não for possível, o que acontece quando se tem um circuito multimalhas, devem ser usadas equações específicas, conhecidas como as Leis de Kirchhoff.

2.6.3 As Leis de Kirchhoff

Os circuitos elétricos, que não podem ser reduzidos a um circuito de caminho único (GONÇALVES FILHO, 2007), são chamados de circuitos multimalhas (Figura 13). Aqui, as Leis de Kirchhoff são utilizadas para determinar a intensidade da corrente em cada parte do circuito. A seguir, serão caracterizadas as componentes de um circuito multimalhas:

- **nó**, ponto comum a três ou mais condutores, por exemplo, o ponto B;
- **ramo**, trecho entre dois nós; caminho EFAB;
- **malha**, conjunto de ramos, ABEFA, formando um circuito fechado.

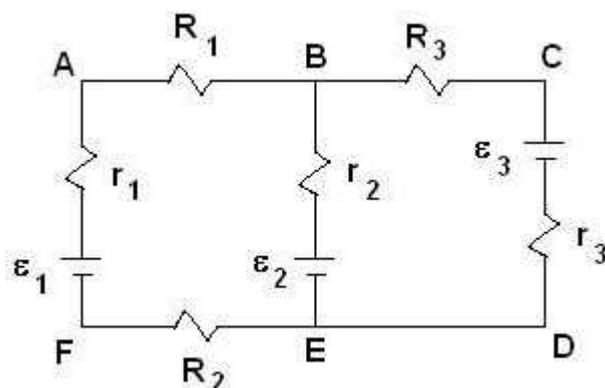


Figura 13: Rede elétrica

A Primeira Lei de Kirchhoff – A Lei dos Nós: “A soma das intensidades das correntes elétricas que chegam a um nó é igual à soma das intensidades das correntes que deixam o nó”. Esta lei é uma consequência imediata do Princípio da Conservação da Carga.

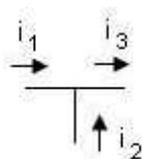


Figura 14: Representação da Lei dos Nós

A Segunda Lei de Kirchhoff - Lei das Malhas: “Percorrendo uma malha, num mesmo sentido, é nula a soma algébrica das tensões encontradas em cada elemento do circuito”. Esta lei é uma consequência imediata do Princípio da Conservação da Energia.

Para as variações de potencial são adotadas as mesmas regras dos circuitos de caminho único.

- No caso dos resistores, quando se percorre a malha no sentido da corrente, a **ddp** é negativa ($- R i$) e, no sentido contrário ao da corrente, a **ddp** é positiva ($+ R i$).
- No caso de geradores e receptores, o sinal da **fem** ou o da **fcem**, será o do pólo de saída, de acordo com o sentido escolhido.

Ao se usar as leis de Kirchhoff, para resolver circuitos elétricos, obtém-se um sistema de equações lineares.

Como exemplo, serão determinadas as intensidades da corrente elétrica em cada um dos ramos do circuito representado na Figura 15.

Considere-se o nó A, representado na figura 14, acima, onde, conforme a Lei dos Nós, $i_1 + i_2 = i_3$. Assim, tem-se a primeira equação do sistema

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0. \quad (1)$$

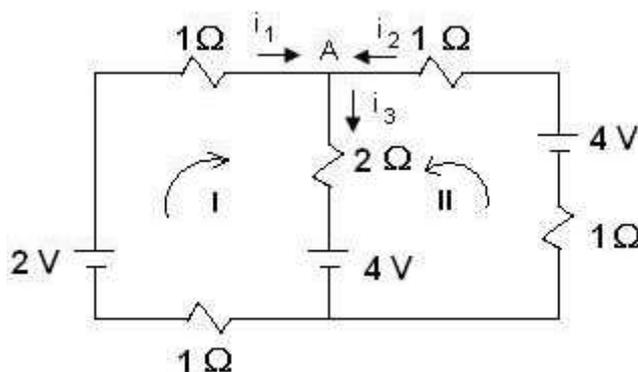


Figura 15: Circuito de duas malhas com especificação dos valores

Da malha I, no sentido horário, e da malha II, no sentido anti-horário, com a Lei Malhas, tem-se

$$-1 i_1 + 2 - 1 i_1 - 2 i_3 - 4 = 0 \quad \text{e} \quad -1 i_2 + 4 - 1 i_2 - 2 i_3 - 4 = 0.$$

Agrupando-se os termos semelhantes, decorrem as equações (2) e (3) do sistema

$$i_1 + i_3 = -1 \quad (2) \quad \text{e} \quad -i_2 - i_3 = 0 \quad (3).$$

Deste modo, resulta o sistema 3x3 de equações lineares

$$\begin{cases} i_1 + i_2 - i_3 = 0 \\ i_1 + i_3 = -1 \\ -i_2 - i_3 = 0 \end{cases}$$

Este é um sistema possível e determinado. Portanto, tem solução única que pode ser calculada com o uso da regra de Cramer ou do método algébrico da substituição ou, ainda, com métodos matriciais. As operações nos levam aos seguintes valores

$$i_1 = -2/3 \text{ A}$$

$$i_2 = 1/3 \text{ A}$$

$$i_3 = -1/3 \text{ A}$$

É importante observar que as correntes elétricas i_1 e i_3 possuem sentidos contrários aos atribuídos inicialmente. De fato, a solução do sistema é o terno ordenado $s = (-2/3, 1/3, -1/3)$.

A fundamentação teórica para o cálculo da solução, objetivo maior deste trabalho, será desenvolvida em um capítulo específico.