



## Capítulo 2: Conceitos Fundamentais sobre Circuitos Elétricos

### 2.1. CARGA ELÉTRICA E CORRENTE ELÉTRICA

Já nas primeiras experiências realizadas com esferas eletrizadas no século 17 constatou-se que existem na natureza duas espécies de cargas elétricas, que se atraem se forem de espécies diferentes e se repelem se forem de mesma espécie. À princípio essas "eletricidades" eram chamadas de *vítrea* e *resinosa*, conforme fossem produzidas pelo atrito de um bastão ou esfera de **vidro** ou de resinas como o **âmbar** e o **enxofre**. A partir de 1749, Benjamim Franklin introduziu as denominações de "negativa" (resinosa) e "positiva" (vítrea), nomenclatura que se usa até o momento. É importante ressaltar que a denominação de "positiva" ou "negativa" foi feita por Franklin de forma totalmente aleatória, não existindo nenhuma modificação nas leis dos circuitos elétricos se ele tivesse optado por chamá-las de "azul" e "vermelha" ou qualquer outro nome. Na verdade, sabe-se hoje em dia que a escolha de Franklin foi de certa forma inconveniente, pois dá uma idéia de que os pólos positivos das baterias teriam um "excesso" de eletricidade, quando na verdade ali existe um *déficit de elétrons*. Somente após 1897, quando Joseph John Thomson descobre o elétron, ficou constatado que as partículas com carga positiva (os *prótons*) são entidades exclusivamente nucleares, ou seja, normalmente não se observa transporte de prótons em um condutor metálico. Ou seja, as únicas partículas que se movem, na condução da corrente elétrica pelos metais, são os *elétrons*, que possuem carga elétrica **negativa** à partir da convenção lançada por Franklin.

Em um circuito elétrico permanece válido o Princípio da Conservação da Carga Elétrica; ou seja, a carga elétrica total é constante, não sendo destruída nem gerada. A unidade da carga elétrica é o **coulomb** (símbolo **C**), sendo a carga de um elétron igual a  $-1,602 \times 10^{-19}$  **C**. Como os elétrons possuem massa, o seu deslocamento implica na movimentação dessa massa, ou seja, a realização de um trabalho.

Vamos supor que um observador tivesse a capacidade de observar os elétrons em movimento através de um arame metálico. Se num intervalo de tempo  $\Delta t$  ele observa a passagem de elétrons que totalizam uma carga elétrica  $\Delta q$ , define-se a seguinte quantidade:

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{Eq.2.1}$$

Supondo agora que o intervalo de tempo  $\Delta t$  seja muito pequeno, ou seja, **dt**, tem-se portanto a definição da corrente elétrica:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{Eq.2.2}$$

Ou seja, a unidade da corrente elétrica pela Eq.2.2 é **coulomb por segundo**, ao que se dá o nome de **ampère** (símbolo **A**). Por convenção, considera-se que o sentido **positivo** da corrente elétrica é o sentido de fluxo das **cargas positivas**.

### 2.2. TENSÃO ELÉTRICA

Para que exista um fluxo de elétrons num condutor, é necessário existir uma **força** que desloque os elétrons. À essa força se dá o nome de **tensão elétrica**, cuja unidade é **volt** (símbolo **V**). Como se trata de uma *força*, a tensão é freqüentemente chamada também de **força eletromotriz (F.E.M.)**. Outra interpretação da tensão veio da época em que se considerava a corrente elétrica como se fosse um fluxo de um fluido invisível, de onde veio a idéia de **potencial elétrico**, em analogia ao potencial gravitacional. Como a água desce pelos canos de uma instalação hidráulica, considera-se que a corrente elétrica flui dos pontos de *maior potencial elétrico* para os pontos de *menor potencial elétrico*. Esse é o motivo da tensão elétrica ser muitas vezes chamada também de **diferença de potencial elétrico**.

Apesar de que atualmente sabe-se que a corrente elétrica não é um fluxo de fluido mas um fluxo de *partículas discretas* (os elétrons), o conceito de potencial elétrico continua sendo útil para a explicação de diversos fenômenos elétricos. Surge daí o relacionamento da unidade **volt** com as demais grandezas físicas: a tensão elétrica é a responsável pelo **trabalho** realizado ao se deslocar as cargas de um ponto para outro de um arame condutor. Ou seja, sendo **W** o trabalho (medido em **joules**) que se faz para se deslocar uma carga **Q**, a tensão elétrica que fez tal trabalho é:

$$V = \frac{W}{Q} \quad \text{Eq.2.3}$$

A unidade da tensão elétrica **volt** é, portanto, igual a **joule por coulomb**.

**Exemplo:**

Uma carga de 5 kC passa através de um elemento de circuito, requerendo-se uma energia total de 20 MJ. Calcular a tensão elétrica sobre tal elemento.

Solução: 
$$v = \frac{w}{q} = \frac{20 \times 10^6}{5 \times 10^3} = 4 \text{ kV}$$

**Exemplo:**

Uma corrente constante de 2 ampères circula através de um elemento. A energia requisitada para mover tal corrente por 1 segundo é 10 joules. Obter a tensão sobre o elemento.

Solução: Inicialmente calcula-se a carga transferida no intervalo de tempo considerado:

$$i = \frac{q}{t} \Rightarrow q = i \cdot t = 2 \times 1 = 2 \text{ C}$$

Em seguida tem-se: 
$$v = \frac{w}{q} = \frac{10}{2} = 5 \text{ V}$$

**2.3. DEFINIÇÕES**

- **Elemento de Circuito:** Componente elétrico com dois terminais e características elétricas definidas. Pelo fato de ter dois terminais, esse elemento é chamado muitas vezes de **bipolo**.

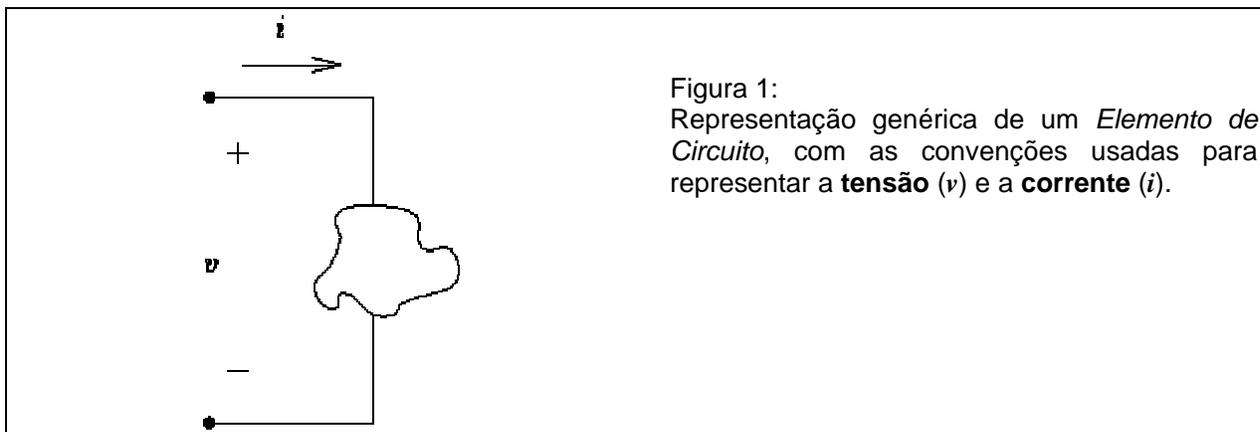


Figura 1:  
Representação genérica de um *Elemento de Circuito*, com as convenções usadas para representar a **tensão (v)** e a **corrente (i)**.

- **Circuito Elétrico:** Rede formada pela interconexão de **dois ou mais** Elementos de Circuito, onde exista pelo menos um caminho fechado por onde a corrente elétrica possa circular.
- **Análise de Circuitos Elétricos:** conjunto de técnicas matemáticas que permite determinar valores de tensão, corrente e potência em um circuito elétrico. Tais técnicas surgiram de medidas experimentais e hoje em dia podem ser encaradas como uma simplificação da Teoria Eletromagnética (Leis de Maxwell). Foram desenvolvidas por Kirchoff (em corrente contínua) e estendidas para corrente alternada por Steinmetz.
- **Nó:** ponte de interligação entre **dois ou mais** elementos de um circuito elétrico.

- **Ramo:** nome genérico de um caminho ente dois nós, por onde a corrente possa circular.
- **Corrente contínua:** corrente que flui de forma constante por um intervalo de tempo, compatível com o tempo de análise do circuito. Na prática não existem fontes totalmente de corrente contínua, pois em algum instante no passado ou no futuro se observará algum tipo de variação.

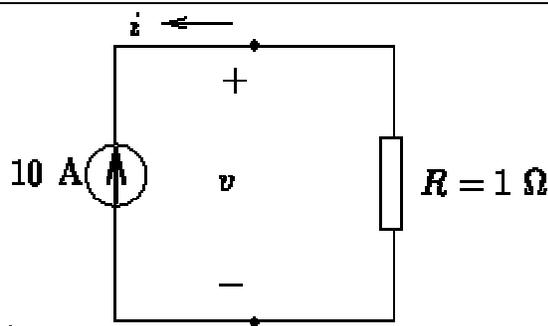


Figura 2.2:  
Circuito elétrico com dois ramos e dois nós.

Figura 2.3:  
Corrente contínua ideal (a) e corrente contínua real (b) produzida por um dínamo (gerador de corrente contínua).

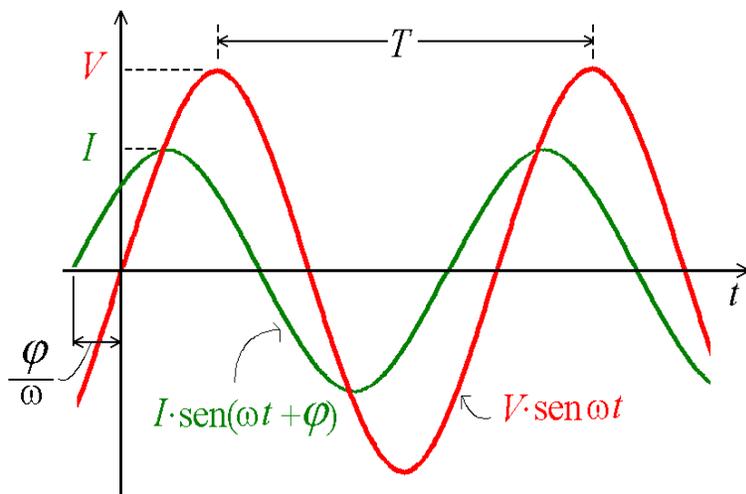
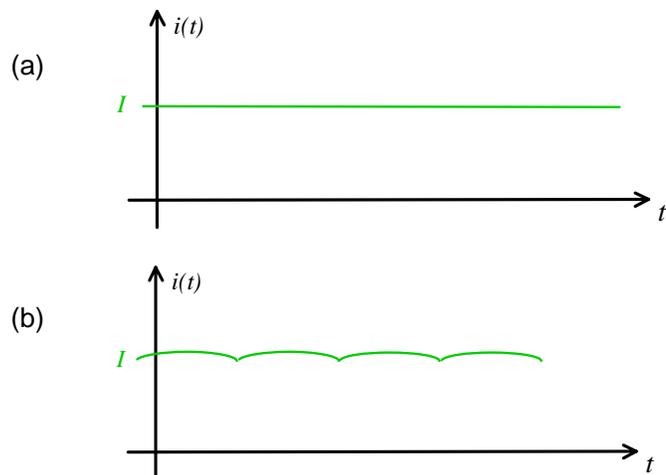


Figura 2.4:  
Corrente e tensão alternada senoidal.

- **Corrente Alternada:** à rigor, seria qualquer corrente não contínua. Na maioria dos casos, o termo refere-se à **corrente alternada senoidal**, ou seja, aquela que evolui no tempo obedecendo a função trigonométrica **seno**. Vide a Figura 2.4.

## 2.4. POTÊNCIA E ENERGIA

A potência e a energia são as principais grandezas na Engenharia Elétrica, pois de modo geral o que se deseja num circuito é produzir potência (por exemplo, desejamos obter uma boa iluminação por meio de uma lâmpada elétrica) ao mesmo tempo que o custo desse intento é expresso na forma de energia (ou seja, a energia implica no valor da fatura de energia elétrica que o consumidor recebe por ter usado a lâmpada). Nesse exemplo, a potência está associada à capacidade de se realizar um trabalho (produzir luz), enquanto que a energia refere-se à extensão desse trabalho ao longo do tempo (relacionada com o número de horas que a lâmpada está produzindo luz). A potência é medida em **watt** (símbolo **W**).

A potência pode ser definida como a taxa de geração ou de absorção de energia em um determinado elemento de circuito, onde  $p$  é dado em **watts**,  $w$  é a energia em **joules** e  $t$  é o tempo em **segundos**:

$$p = \frac{dw}{dt} \quad \text{Eq.2.4}$$

Através de uma simples substituição algébrica chega-se a uma expressão mais conveniente para circuitos elétricos:

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} \Rightarrow p = v \cdot i \quad \text{Eq.2.5}$$

Usando a representação genérica da Figura 2.1, a potência será considerada como **positiva** quando estiver sendo **absorvida** pelo elemento de circuito.

A energia é definida como o produto da potência elétrica pelo intervalo de tempo considerado, ou seja:

$$w = p \cdot t \quad \text{Eq.2.6}$$

Apesar da unidade da energia ser o **joule**, em Engenharia Elétrica é mais comum que considere-se a energia absorvida por uma instalação ao longo de um período relativamente longo, de modo que utiliza-se a unidade **watt-hora** (símbolo **Wh** ou **W.h**).

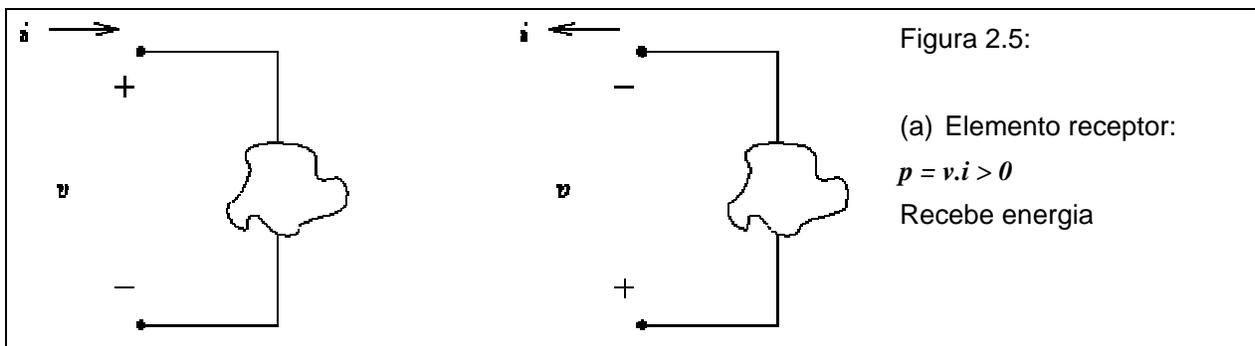
A Eq.6 é, na verdade, um caso particular no qual a potência  $p$  permanece constante ao longo do período de tempo  $t$  considerado. Rescrevendo a Eq.2.4 tem-se:

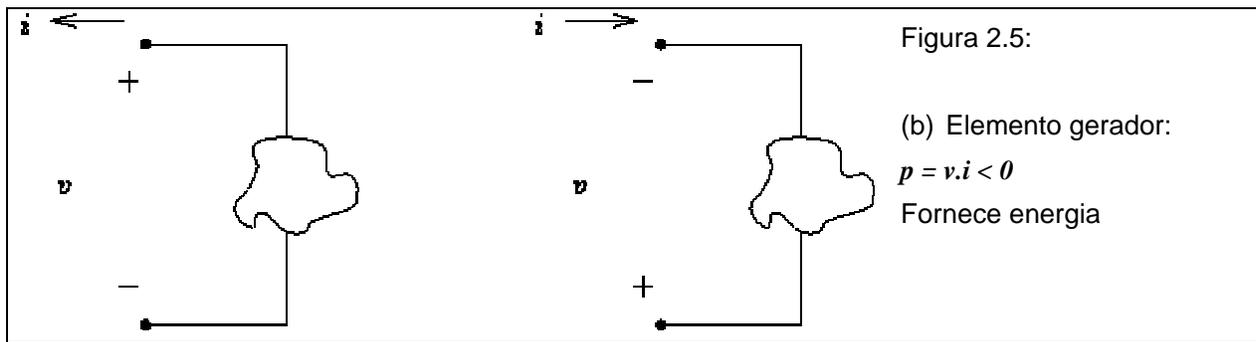
$$dw = p \cdot dt \quad \text{Eq.2.7}$$

Supondo que o circuito tenha sido energizado no instante  $t = 0$ , a energia é obtida pela integral:

$$w = \int_0^{\infty} p \cdot dt \quad \text{Eq.2.8}$$

A Figura 2.5 ilustra a convenção adotada para a potência em um elemento genérico do circuito. O elemento é denominado **receptor** ou **elemento passivo** no caso (a), pois *absorve energia* do circuito elétrico; o elemento é um **gerador** ou **elemento ativo** em (b), pois *fornece energia* para o circuito elétrico.





### Exemplo:

Considere-se um elemento **passivo** no qual  $v = 4 \text{ V}$  e  $i = 10 \text{ A}$ . Calcular a potência absorvida pelo elemento e a energia absorvida pelo elemento no intervalo de tempo de  $t = 0$  até  $t = 10 \text{ s}$ .

Solução: A potência absorvida pelo elemento é

$$p = v \cdot i = 4 \times 10 = 40 \text{ W}$$

A energia absorvida no intervalo considerado é

$$w = \int_{t_1}^{t_2} p \cdot dt = \int_0^{10} 40 \cdot dt = 40 \cdot [10 - 0] = 40 \times 10 = 400 \text{ J}$$

Como o tempo foi dado em **segundos**, a unidade é **joule**. Para utilizar a unidade **watt-hora (Wh)**, temos que lembrar que uma hora tem 3600 segundos. Ou seja:

$$400 [\text{J}] = \frac{400}{3600} [\text{Wh}] = 0,11 [\text{Wh}]$$

### Bibliografia

- [1] DORF, Richard C. *Introduction to electric circuits*. John Wiley, New York, 1989. 592p.
- [2] BURIAN JÚNIOR, Yaro. *Circuitos Elétricos*. UNICAMP, Campinas, 1993 - Edição do Autor