

# **CAPÍTULO 1**

## **Corrente contínua – Leis gerais do circuito elétrico**

*A melhor forma de prever o futuro é criá-lo. – Peter Drucker*

**Tópicos principais** deste capítulo:

- Leis gerais do circuito elétrico
- Energia elétrica
- Redes elétricas

# 1. Potencial elétrico. Diferença de potencial

Como sabemos, o átomo de qualquer elemento químico é constituído basicamente por um núcleo, com prótons (carga elétrica positiva) e neutrões (sem carga elétrica), em torno do qual giram os elétrons (carga elétrica negativa). A carga elétrica de cada elétron é igual, em módulo, à do próton.

No **estado neutro** de qualquer átomo, o número de prótons é igual ao número de elétrons, pelo que a sua carga elétrica total é nula.

Se **retirarmos elétrons** a um átomo, ele fica com mais prótons do que elétrons e, portanto, carregado positivamente (+Q).

Se **fornecermos elétrons** a um átomo, ele fica com mais elétrons do que prótons e, portanto, carregado negativamente (-Q).

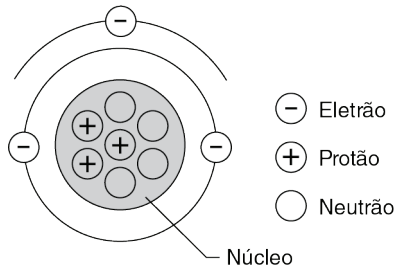


Figura 1 – Estrutura de um átomo.

Concluimos portanto que os **corpos** podem encontrar-se carregados **positivamente** (se têm falta de elétrons), **negativamente** (se têm elétrons em excesso) e ainda no **estado neutro**. Na figura 2 representamos dois corpos diferentemente carregados, um positivamente e outro negativamente.

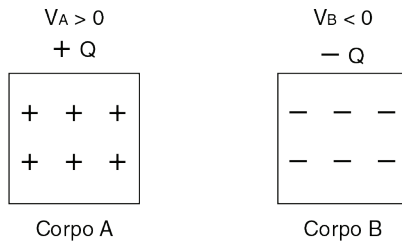


Figura 2 – O corpo A tem uma carga elétrica positiva +Q, a que corresponde um potencial elétrico positivo  $V_A$ ; o corpo B tem uma carga elétrica negativa -Q, a que corresponde um potencial elétrico negativo  $V_B$ .

Quando um corpo se encontra carregado eletricamente diz-se que possui um determinado **potencial elétrico V**, que se expressa em volts (V), no Sistema Internacional de Unidades (S.I.). O potencial elétrico de um corpo é, dito de uma

forma simples, a capacidade que esse corpo tem de fornecer ou receber elétrons de outro corpo.

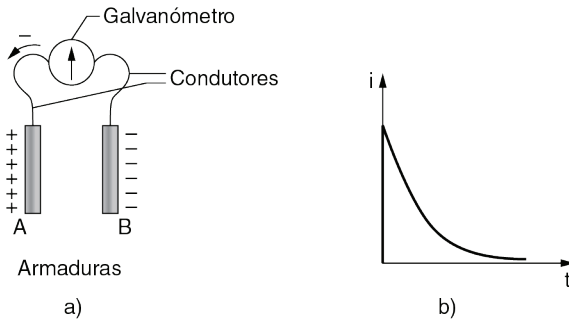
Assim, na figura 2, o corpo A tem o potencial elétrico  $V_A$  positivo, pois a carga  $Q$  é positiva; o corpo B tem o potencial elétrico  $V_B$  negativo, pois a carga  $-Q$  é negativa. Diz-se então que entre os dois corpos A e B existe uma **diferença de potencial (d.d.p.)**  $V_A - V_B$ . À diferença de potencial também se dá o nome de tensão elétrica. A diferença de potencial ou **tensão elétrica** é expressa em **volts (V)**.

## 2. Corrente elétrica

O que acontece, então, se ligarmos os corpos A e B, diferentemente carregados, por meio de um fio condutor?

Suponhamos por exemplo que temos, no laboratório, um condensador carregado eletricamente, isto é, uma das armaduras metálicas (A) está carregada positivamente, e a outra (B) está carregada negativamente, tal como se sugere na figura 3. Se as ligarmos por meio de dois fios condutores a um galvanômetro, verificamos que o ponteiro do galvanômetro irá deslocar-se bruscamente, indicando que houve movimento de cargas elétricas. Ao fim de breves segundos, o movimento cessa.

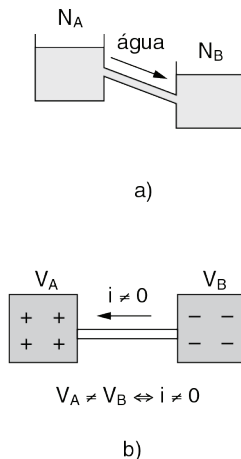
Todos sabemos já que são os elétrons que se deslocam nos condutores; os prótons não se deslocam. No caso particular da figura 3, iriam deslocar-se os elétrons da armadura B para a armadura A, através dos condutores, de forma a anularem as cargas positivas de A, ficando ambas com a mesma carga final ( $Q_A = Q_B$ ), o mesmo potencial elétrico ( $V_A = V_B$ ) e, portanto, uma diferença de potencial nula ( $V_A - V_B = 0$ ). Esta diferença de potencial nula poderá ser confirmada com um **voltímetro – aparelho que mede a diferença de potencial ou tensão elétrica**.



**Figura 3 – a)** Os eletrões deslocam-se de B para A, até as armaduras ficarem com a mesma carga; **b)** A corrente elétrica  $i$  tende para zero, ao fim de pouco tempo.

**Nota:** O galvanómetro é um aparelho que indica que há movimento de cargas elétricas no circuito.

A este movimento orientado dos eletrões, do potencial elétrico negativo para o positivo, dá-se o nome de **corrente elétrica**. A corrente elétrica cessa (deixa de existir) quando os dois potenciais elétricos se igualam. Este fenómeno é semelhante àquilo que acontece, em hidráulica, quando ligamos, através de um tubo ou conduta, dois depósitos de água, com níveis diferentes, conforme se sugere na figura 4.



**Figura 4 – a)** Os depósitos têm níveis de água diferentes, pelo que a água corre para o depósito B até ficarem ao mesmo nível; **b)** Há corrente elétrica entre os dois corpos porque têm potenciais elétricos diferentes, tal como entre os depósitos.

# **CAPÍTULO 2**

## **Condensadores em corrente contínua**

*«Não basta conquistar a sabedoria; é preciso saber usá-la!»*

**Tópicos principais** deste capítulo:

- Carga e descarga do condensador
- Associação de condensadores
- Tipos de condensadores e suas propriedades

# 1. Constituição do condensador

Um condensador é um componente elétrico passivo constituído por duas superfícies condutoras, chamadas armaduras, separadas por uma substância isolante, designada dielétrico. Na figura 1 fez-se a representação esquemática de um condensador dito plano.

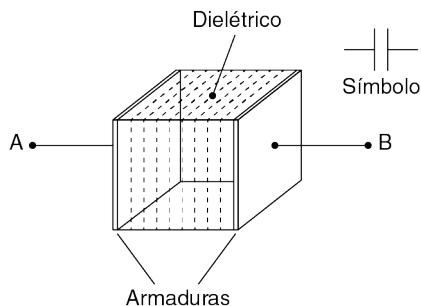


Figura 1 – Constituição do condensador.

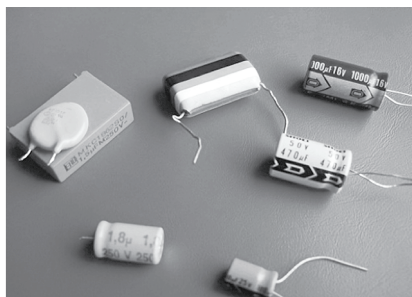


Figura 2 – Vários tipos de condensadores.

Os materiais mais utilizados na constituição das armaduras são: alumínio, estanho, ligas de estanho e chumbo, prata, papel metalizado. Como dielétricos utilizam-se substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, como por exemplo: ar, vidro, papel parafinado, plástico (poliéster), material cerâmico, óleo, etc.

## 2. Carga e descarga de um condensador

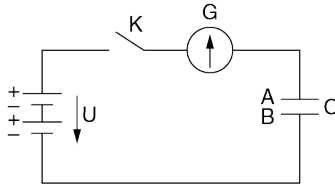
Dada a sua constituição (duas armaduras metálicas separadas por um isolador), o condensador é um componente que, quando se lhe aplica uma tensão contínua, fica ao fim de algum tempo com as suas armaduras carregadas, uma positiva e outra negativamente – é a **carga do condensador**.

Se desligarmos a fonte de alimentação e ligarmos as duas armaduras, entre si, através de um fio condutor, elas descarregam-se rapidamente, ficando ambas com carga nula – é a **descarga do condensador**.

Mas vejamos melhor os dois fenómenos, carga e descarga, em corrente contínua.

### 2.1 Carga do condensador

Façamos no laboratório a experiência sugerida pela figura. O circuito é constituído por um condensador C (com armaduras A e B) ligado em série com um galvanómetro G (de zero ao centro), alimentado por uma fonte de corrente contínua de tensão U.



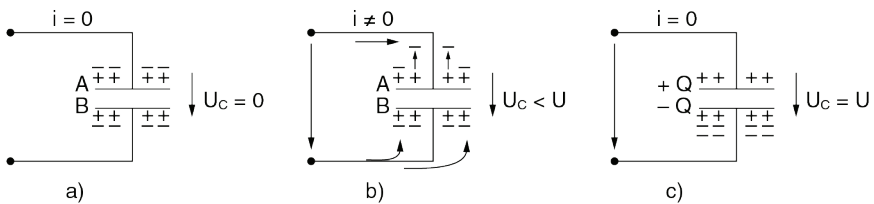
**Figura 3** – Circuito elétrico com o condensador que se pretende carregar.

Inicialmente, o condensador encontra-se descarregado, isto é, sem tensão elétrica entre as armaduras A e B. Ao aplicar ao circuito a tensão  $U$  da fonte, ligando  $K$ , o circuito irá ser percorrido por uma corrente  $i$  decrescente (observada no galvanómetro) que vai carregar o condensador; isto é, uma armadura vai ficar positiva ( $+Q$ ) e a outra negativa ( $-Q$ ). Deste modo, a diferença de potencial entre as armaduras vai aumentando. Logo que a diferença de potencial  $U_c$ , aos terminais do condensador, atinge o valor da tensão  $U$  da fonte, deixa de haver corrente no circuito (o ponteiro do galvanómetro marcará zero).

Na figura 4 exemplificamos a carga de um condensador, em três etapas:

- 1.º – Condensador **descarregado**, em repouso (fig. a)).
- 2.º – Condensador **durante a carga** (fig. b)).
- 3.º – Condensador **totalmente carregado** (fig. c)).

**Em a)**, o condensador está descarregado e em repouso ( $i = 0$ ) – em cada armadura, o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas ( $Q = 0$  e  $U_c = 0$ ).



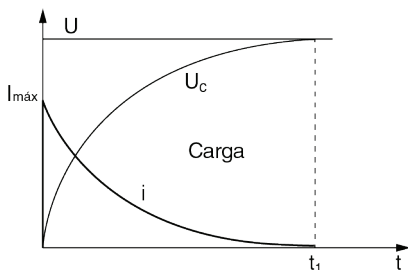
**Figura 4** – a) Condensador descarregado; b) Condensador a carregar; c) Condensador carregado.

**Em b)**, aplicou-se uma tensão  $U$  ao condensador – polo positivo da fonte ligado à armadura A e polo negativo ligado à armadura B. O polo positivo atrai eletrões da armadura A, os quais se movimentam em direção à fonte; o polo negativo da fonte, por sua vez, fornece eletrões à armadura B do condensador. Há, assim, um movimento de eletrões ( $i \neq 0$ ) num determinado sentido (da armadura A para a armadura B, pelo circuito exterior ao dielétrico).

**Em c)**, as armaduras ficaram então diferentemente carregadas – a **armadura A ficou com deficiência de eletrões**, isto é, carregada **positivamente** ( $+Q$ ); a

**armadura B** ficou com excesso de elétrons, isto é, carregada negativamente ( $-Q$ ). O **condensador** fica **completamente carregado quando** a diferença de potencial entre as armaduras iguala o valor da tensão da fonte, isto é, quando se verifica que  $U_c = U$ . Quando isto acontece, deixa de haver corrente no circuito, isto é,  $i = 0$ .

Graficamente, a carga do condensador representa-se como é indicado na figura 5. Pode observar-se que, no instante em que se liga o interruptor K, a corrente de carga atinge o valor máximo  $I_{m\acute{a}x}$ . À medida que o condensador vai carregando,  $U_c$  aumenta e a corrente  $i$  vai diminuindo. Quando o condensador está completamente carregado, verifica-se que  $U_c = U$  e  $i = 0$ .



**Figura 5** – Evolução da corrente e da tensão no condensador, durante a carga.

## 2.2 Descarga do condensador

A descarga do condensador consiste em fazer com que as armaduras fiquem sem qualquer carga, isto é, com uma diferença de potencial nula. Para descarregar o condensador, ligam-se as armaduras A e B através de um condutor («shunt»), tal como se sugere na figura 6. A figura representa a descarga, em duas etapas: a) – condensador a descarregar; b) – condensador completamente descarregado.

A armadura B que está carregada negativamente irá fornecer elétrons (sentido contrário ao da carga) que se vão deslocar através do «shunt» para a armadura A até neutralizar completamente as cargas positivas. Quando isso acontece, o condensador fica completamente descarregado, a tensão  $U_c$  será nula e a corrente  $i$  no circuito também será igual a zero.



# **CAPÍTULO 3**

## **Magnetismo e eletromagnetismo**

*A melhor forma de se livrar de um problema é resolvê-lo!*

**Tópicos principais** deste capítulo:

- Campo magnético criado por ímanes, condutores e bobinas
- Forças eletromagnéticas
- Indução eletromagnética

# 1. Campo magnético

## 1.1 Ímanes naturais e artificiais

Desde há milhares de anos que são conhecidas substâncias que atraem pedaços de ferro. Essas substâncias são constituídas por óxidos de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Foi em Magnésia (na Ásia) que, pela primeira vez, foram observadas as propriedades dessas substâncias, daí que se tenha dado o nome de **magnetite** a esses óxidos de ferro. As suas propriedades de atraírem o ferro ficaram, por isso, também conhecidas por **propriedades magnéticas**.

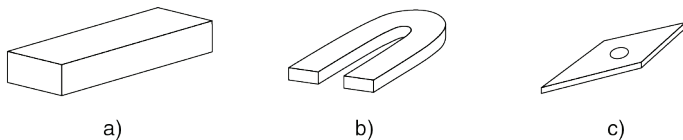
O **magnetismo** não é mais do que a propriedade que determinadas substâncias possuem (como, por exemplo, a **magnetite** ou **íman natural**) de atraírem materiais como: o ferro macio, o aço, o ferro fundido, o níquel, o cobalto, o crómio, etc.

Dada a importância do magnetismo no funcionamento de grande variedade de aparelhagem e maquinaria elétrica, na prática usa-se mais frequentemente o **íman artificial**, com vantagens sobre o íman natural. O íman artificial não é mais do que um corpo em ferro ou aço que adquire propriedades magnéticas (permanentes ou não) quando submetido à ação de uma corrente elétrica intensa. O íman artificial pode assim adquirir diferentes intensidades de magnetização, consoante as necessidades dos equipamentos e aparelhagem.

A todas estas substâncias magnetizáveis (temporária ou permanentemente) dá-se o nome de **substâncias ferromagnéticas**. Mais tarde, veremos que o magnetismo tem ações diferenciadas sobre todas as outras substâncias: umas não sofrem qualquer ação magnética (ex.: madeira), outras são fracamente magnetizáveis, outras ainda repelem as linhas de força do campo magnético e, finalmente, as ferromagnéticas que são fortemente magnetizáveis.

## 1.2 Formas dadas aos ímanes

Os ímanes que utilizamos nas nossas experiências laboratoriais apresentam-se com as seguintes formas: forma paralelepípedica, forma de U e forma de agulha. Na figura representam-se os três tipos referidos.



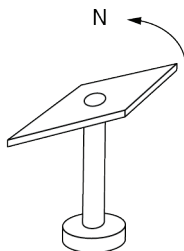
**Figura 1** – Formas de ímanes: a) Paralelepípedica; b) Em U; c) Em agulha.

## 1.3 Polos magnéticos do íman

Já todos experimentámos colocar uma agulha magnética sobre um apoio, tal como se sugere na figura, e deixámo-la girar livremente. Verificámos que ela apontava uma das extremidades para o norte terrestre e a outra, evidentemente, para o sul.

Como sabemos, a Terra comporta-se como um íman gigante, tendo no norte um polo magnético e no sul outro polo magnético. O facto de a agulha se orientar para os polos magnéticos da Terra quer dizer que a agulha tem também os seus próprios polos magnéticos.

Convencionou-se então dar o nome de **polo norte magnético N** à extremidade da agulha que se orienta para o norte terrestre e dar-se o nome de **polo sul magnético S** à outra extremidade que se orienta para o sul terrestre. Verifica-se, no entanto, que a agulha não se orienta rigorosamente na **direção norte-sul geográfica**, mas sim numa direção cerca de  $10^\circ$  a oeste, a qual tem o nome de **direção norte-sul magnética**.



**Figura 2** – A agulha magnética orienta-se na direção norte-sul (N-S).

Na figura representa-se, simbolicamente, um íman com os seus polos magnéticos, sendo o polo N normalmente representado graficamente a negro ou a cinzento.



**Figura 3** – Representação dos polos magnéticos do íman.

## 1.4 Propriedades dos ímanes

Os ímanes exercem entre si, ou sobre substâncias ferromagnéticas, um conjunto de ações que constituem as suas propriedades magnéticas. Vejamos algumas delas.

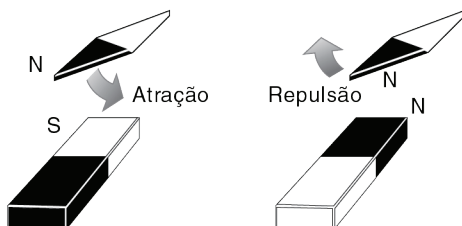
### 1.4.1 Atração e repulsão entre ímanes

Façamos a seguinte experiência: aproximemos o polo S de um íman paralelepipedico do polo N de um íman em agulha. Verificamos que o polo N da agulha roda, aproximando-se do polo S do íman paralelepipedico, ficando como que «coladas» essas extremidades.

Aproximemos agora o polo N do íman paralelepipedico do polo N da agulha. Verifica-se que estas duas extremidades se repelem. Estas duas experiências, que são facilmente realizáveis, servem para demonstrar as **leis da atração e repulsão magnéticas**, que dizem que:

- Polos magnéticos de nomes contrários atraem-se.
- Polos magnéticos do mesmo nome repelem-se.

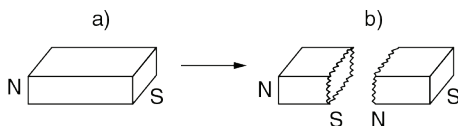
Se afastarmos da agulha o íman paralelepipedico, então a agulha regressará à sua orientação normal que é a de norte-sul magnética terrestre.



**Figura 4** – Leis da atração e repulsão magnéticas: polos de nome contrário atraem-se; polos do mesmo nome repelem-se.

### 1.4.2 Indivisibilidade dos polos magnéticos

Se partirmos um íman em duas partes, cada uma das partes continuará com dois polos magnéticos, isto é, os polos magnéticos não desaparecem, vão-se mantendo em cada íman, por mais que se divida o íman original em partes. Na figura sugere-se a forma como os polos magnéticos se mantêm, depois de se ter partido um íman em duas partes.



**Figura 5** – a) Íman original; b) Íman partido (cada parte fica com dois polos magnéticos).

Na zona de fratura, criou-se um par de polos magnéticos (de nome contrário, entre si). Se aproximarmos, de uma agulha magnética, cada uma dessas partes, verificaremos que cada uma delas continua a comportar-se como um íman.