



Alexandre Dezem Bertozzi

**Técnico em Telecomunicações;
Engenheiro Eletricista e Eletrônico;
Eng. de Segurança do Trabalho;
Esp. em Redes de Computadores;
Esp. em Engenharia de Telecomunicações;
Licenciado Pleno em Matemática.**

**Todo e qualquer material acadêmico
será/está disponibilizado em:**

www.bertozi.com

Conceitos Fundamentais da Eletricidade

A palavra “elétrico” é, na realidade, uma palavra derivada do grego e que significa ÂMBAR. O âmbar é um mineral translúcido (semitransparente, amarelado) o qual, em sua forma natural, é composto de resina fossilizada. Os antigos gregos usavam as palavras “força elétrica” para se referirem às misteriosas forças de atração e repulsão demonstradas pelo âmbar, quando ele era esfregado com um pano. Eles não compreendiam a natureza fundamental desta força. Eles não podiam responder à pergunta, aparentemente simples — o que é a eletricidade? Esta pergunta permanece ainda sem resposta. Embora você possa definir eletricidade como “aquela força que move os elétrons”, isto seria o mesmo que definir um motor como “aquela força que move um automóvel”. Você descreveu o efeito, não a força.

Nós, presentemente, sabemos pouco mais do que sabiam os antigos gregos acerca da natureza fundamental da eletricidade, mas passos tremendos foram dados no sentido de dominá-la e usá-la. Laboriosas teorias, concernentes à natureza e comportamento da eletricidade, foram desenvolvidas e ganharam larga aceitação, em virtude de suas aparentes veridades e demonstradas funcionalidades.

Ao longo dos anos, vários cientistas descobriram que a eletricidade parece se comportar de maneira constante e previsível em dadas situações, ou quando sujeitas a determinadas condições. Estes cientistas, como Faraday, Ohm, Lenz e Kirchhoff, para citar apenas alguns, observaram e descreveram as características previsíveis da eletricidade e da corrente elétrica, sob a forma de certas regras. Estas regras recebem comumente o nome de “leis”. Assim, embora a eletricidade em si nunca tenha sido definida com clareza, sua natureza previsível e sua forma de energia facilmente utilizável tornaram-na uma das mais largamente empregadas fontes de energia dos tempos modernos. Pelo aprendizado das regras ou leis aplicáveis ao comportamento da eletricidade, e aprendendo os seus métodos de produção, controle e uso, você terá “apreendido” eletricidade, sem nunca ter determinado sua identidade fundamental.

A MOLÉCULA

Uma das mais antigas e, provavelmente, a mais geralmente aceita teoria, referente ao fluxo da corrente elétrica, é aquela que compreende o movimento de elétrons. Isto é, a TEORIA ELETRÔNICA. Elétrons são partes extremamente pequenas ou partículas de matéria. Para estudar os elétrons, você deve, conseqüentemente, estudar a natureza estrutural da matéria em si. (Qualquer coisa tendo massa e inércia e que ocupa uma porção do espaço é composta de matéria.) Para estudar a estrutura fundamental ou composição de qualquer tipo de matéria, ela deve ser reduzida às suas frações fundamentais.

Considere que a gota de água da figura 2-1 (A) foi reduzida sempre a sua metade. Continuando o processo durante um longo tempo, você poderia obter eventualmente a menor partícula possível de água – a molécula. Todas as moléculas são compostas de átomos.

Uma molécula de água (H_2O) é composta de um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio, conforme apresentado na figura 2-1 (B). Se a molécula de água fosse ainda mais subdividida, restariam somente átomos dissociados de oxigênio e hidrogênio e a água não mais existiria como tal. Este exemplo ilustra o seguinte fato: a molécula é a menor partícula à qual a substância pode ser reduzida e ainda ser chamada pelo mesmo nome. Isto se aplica a todas as substâncias – líquidas, sólidas e gasosas.

Quando moléculas inteiras são combinadas ou separadas umas das outras, a mudança é geralmente chamada de mudança FÍSICA. Em uma mudança QUÍMICA, as moléculas da substância são alteradas de tal forma que resultem em novas moléculas. A maioria das mudanças químicas envolvem íons positivos e negativos e, desta forma, são de natureza elétrica. Toda matéria é dita ser essencialmente elétrica em forma pura.

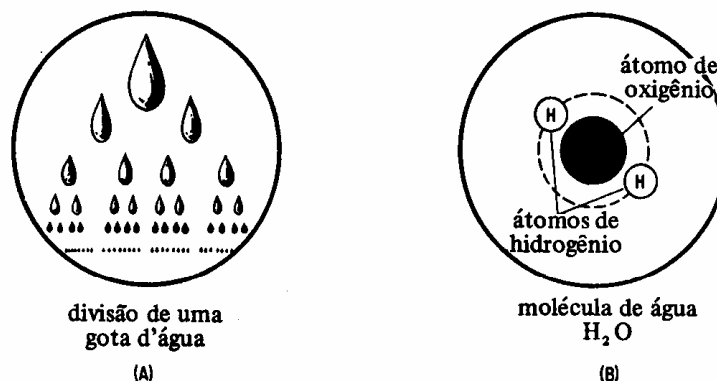


Fig. 2-1. – A matéria é constituída de moléculas.

O ÁTOMO

No estudo da química, torna-se logo aparente que a molécula está longe de ser a última partícula na qual a matéria pode ser dividida. A molécula de sal pode ser decomposta em substâncias radicalmente diferentes – sódio e cloro. Estas partículas, que constituem as moléculas, podem ser isoladas e estudadas separadamente. Elas são chamadas ÁTOMOS.

O átomo é a menor partícula que forma aquele tipo de material chamado um ELEMENTO. O elemento retém suas características quando subdividido em átomos. Mais de 100 elementos já foram identificados. Eles podem ser arranjados em uma tabela de peso crescente e podem ser agrupados em famílias de materiais que têm propriedades similares. Este arranjo é chamado de TABELA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS.

A idéia que toda matéria é composta de átomos data de mais de 2000 anos e é devida aos gregos. Muitos séculos se passaram antes que o estudo da matéria provasse que a idéia básica da estrutura atômica fosse correta. Os físicos exploraram o interior do átomo e descobriram nele muitas subdivisões. O âmago do átomo é chamado NÚCLEO. A maior parte da massa do átomo está concentrada no núcleo. Este é comparável ao

sol no sistema solar, em torno do qual os planetas giram. O núcleo contém PRÓTONS (cargas carregadas positivamente) e NÊUTRONS que são eletricamente neutros.

A maior parte do peso do átomo está nos prótons e neutrons no núcleo. Girando em torno do núcleo estão uma ou mais partículas menores de carga elétrica negativa. São os ELÉTRONS. Normalmente, existe um próton para cada elétron no átomo inteiro. A carga positiva resultante do núcleo é contrabalanceada pela carga negativa resultante dos elétrons que giram em torno do núcleo. ASSIM, O ÁTOMO É, ELETRICAMENTE, NEUTRO.

Os elétrons não caem dentro do núcleo, muito embora eles sejam fortemente atraídos para ele. Seu movimento evita isso, da mesma forma como os planetas são impedidos de se dirigirem para o sol em virtude de suas forças centrífugas de rotação.

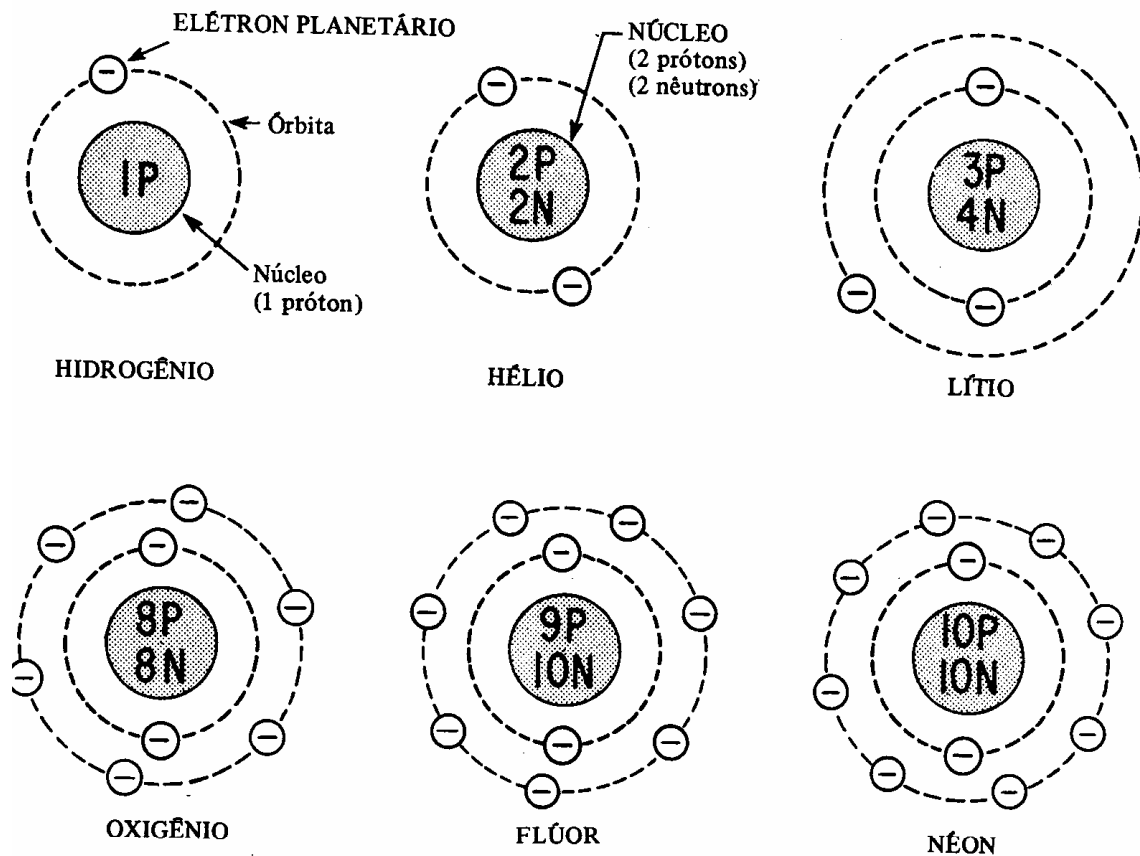


Fig. 2-2. — Estrutura atômica dos elementos.

O número de prótons, que é normalmente o mesmo número de elétrons, determina a espécie do elemento em questão. A figura 2-2 mostra um desenho simplificado de diversos átomos, baseado na concepção de elétrons planetários que descrevem órbitas em torno do núcleo.

Por exemplo, o hidrogênio apresenta um núcleo que consiste de 1 próton em torno do qual gira 1 elétron. O átomo de hélio tem um núcleo contendo 2 prótons e 2 nêutrons com 2 elétrons circundando o núcleo. Próximo do outro extremo da lista de elementos está o cúrio (não mostrado na figura), um elemento descoberto em 1940 que tem 96 prótons e 96 elétrons em cada átomo.

A Tabela Periódica dos Elementos é uma disposição ordenada dos elementos, segundo a ordem crescente do número atômico (número de elétrons planetários) e também de peso atômico (número de prótons e nêutrons no núcleo). As várias espécies de átomos apresentam massas distintas ou pesos, um em relação ao outro. O elemento que mais se aproxima da unidade (significado 1) é o hidrogênio cujo peso atômico é 1,008 quando comparado com o oxigênio, cujo peso atômico é 16. O hélio tem um peso atômico de aproximadamente 4, o lítio 7, o flúor 19 e o néon 20, conforme mostrado na figura 2-2.

A figura 2-3 é uma soma pictórica da discussão que foi até agora apresentada. A matéria visível à esquerda da figura é reduzida primeiramente a uma de suas moléculas básicas e então, posteriormente, a um dos átomos da molécula. O átomo é então reduzido às suas partículas subatômicas, os prótons, os nêutrons e os elétrons. As partículas subatômicas são elétricas por natureza. Quer dizer, elas são as partículas de matéria mais afetadas por uma força elétrica. Enquanto que a molécula inteira ou um átomo inteiro são eletricamente neutros, a maior parte das partículas subatômicas não são neutras (com exceção do nêutron). Os prótons são inerentemente positivos e os elétrons são inerentemente negativos. São essas características próprias que fazem as partículas subatômicas sensíveis à força elétrica.

Quando uma força elétrica é aplicada a um meio condutor, tal como um fio de cobre, os elétrons das órbitas externas do átomo de cobre são arrancados de suas órbitas

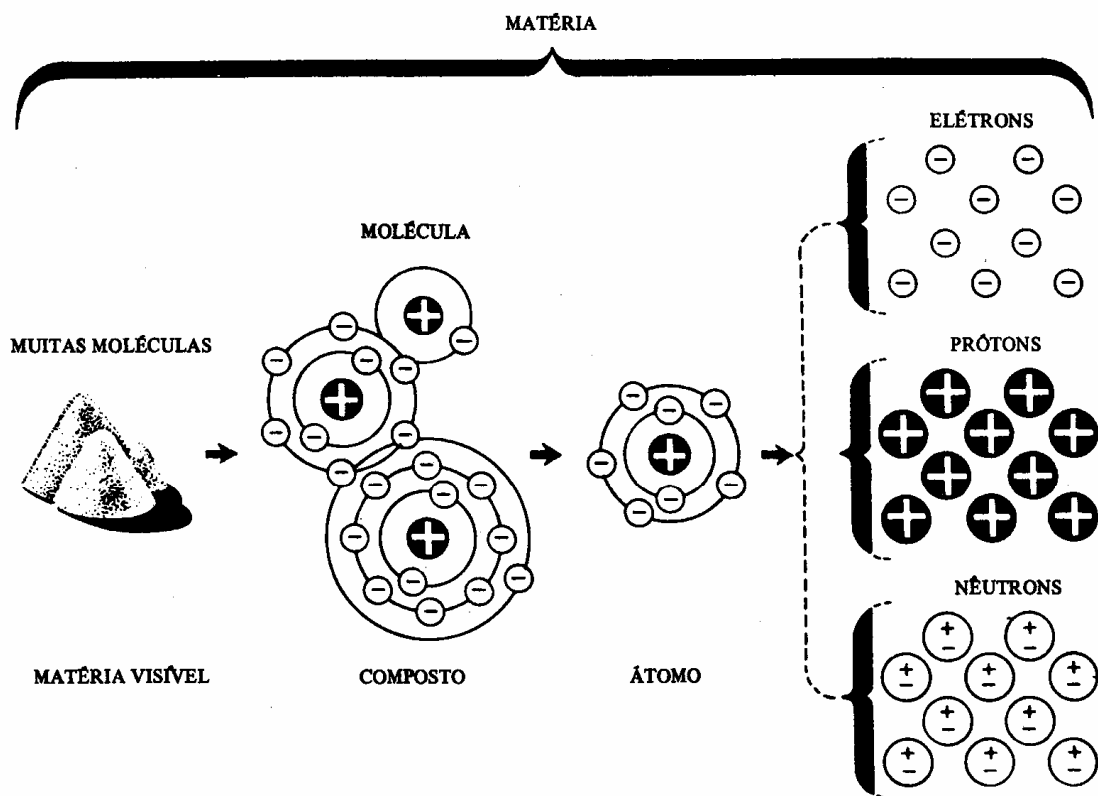


Fig. 2-3. — Divisão da matéria visível em suas partículas elétricas

e impelidos através do fio. O sentido do movimento do elétron é determinado pelo sentido da força impulsora. Os prótons não se movem, principalmente porque eles são extremamente pesados. O próton do mais leve elemento, o hidrogênio, é aproximadamente 1850 vezes mais pesado que um elétron. Então, é o relativamente leve elétron que é mais prontamente movido pela eletricidade.

Condutores, semicondutores e isolantes

As substâncias que permitem o livre movimento de um grande número de elétrons são chamadas **CONDUTORES**. O cobre em fio é considerado um bom condutor porque possui muitos elétrons livres. A energia elétrica é transferida através dos condutores por meio do movimento de elétrons livres que emigram de átomo para átomo dentro do condutor. Cada elétron move-se uma distância muito pequena até o átomo vizinho, onde ele substitui um ou mais elétrons, deslocando-os para fora de suas órbitas. Os elétrons substituídos repetem o processo em outros átomos próximos até que o movimento seja transmitido através do comprimento total do condutor. Quanto maior o número de elétrons que se movem em um material submetido à aplicação de uma força, melhores serão as qualidades condutoras desse material. Um bom condutor é aquele que apresenta uma fraca oposição ou baixa resistência ao fluxo de corrente. Entre os metais mais conhecidos como condutores estão a prata, o cobre e o alumínio. O melhor condutor é a prata seguida do alumínio e cobre. Entretanto, o cobre é o mais usado por ser mais barato. A habilidade de um material em conduzir eletricidade depende também das suas dimensões.

Em contraste com os bons condutores, algumas substâncias como a borracha, o vidro e a madeira seca possuem muito poucos elétrons livres. Nesses materiais, grandes quantidades de energia devem ser despendidas a fim de libertar os elétrons da influência do núcleo. Substâncias contendo muito poucos elétrons livres são chamados **CONDUTORES POBRES, NÃO-CONDUTORES** ou **ISOLANTES**. Não há, evidentemente, uma linha divisória fixa entre condutores e isolantes. Existe, pelo menos, algum movimento de elétrons em todas as matérias. Os eletricitistas simplesmente usam os melhores condutores como fios para conduzir corrente e os condutores mais pobres como isolantes para evitar que a corrente seja desviada dos fios.

Enumerados a seguir estão alguns dos melhores condutores e isolantes, dispostos em concordância com suas respectivas capacidades de conduzir ou de resistir ao fluxo de elétrons.

Condutores

Prata
Cobre
Alumínio
Zinco
Latão
Ferro

Isolantes

Ar seco
Vidro
Mica
Borracha
Amianto
Baquelite

Semicondutores são materiais que não sendo bons condutores, não são tampouco bons isolantes. O germânio e o silício são substâncias semicondutoras. Esses materiais, devido às suas estruturas cristalinas, podem, sob certas condições, se comportar como condutores e, sob outras, como isolantes. Com o aumento da temperatura, um número limitado de elétrons fica disponível para condução.

ELETRICIDADE ESTÁTICA

Em estado natural ou neutro, cada átomo pertencente a uma porção de matéria apresentará o número apropriado de elétrons orbitando em torno dele. Consequentemente, a porção total de matéria, composta de átomos neutros, será também eletricamente neutra. Neste estado, diz-se que ela possui “carga zero” e não atrairá nem repelirá outra matéria em suas proximidades. Os elétrons não abandonarão o corpo carregado neutramente, nem nele penetrarão, se esse corpo entrar em contato com outros corpos neutros. Se, entretanto, um número qualquer de elétrons for removido dos átomos de um corpo de matéria, lá restarão mais prótons que elétrons, e o corpo inteiro de matéria tornar-se-á eletricamente positivo. Desde que o corpo carregado positivamente entre em contato com outro corpo que possua carga normal ou que tenha uma carga negativa (elétrons em demasia), uma corrente elétrica fluirá entre eles. Os elétrons deixarão o corpo carregado mais negativamente e entrarão no corpo positivo. O fluxo de elétrons continuará até que ambos os corpos tenham cargas iguais.

Quando dois corpos de matéria que têm cargas desiguais estão próximos um do outro, uma força elétrica é exercida entre eles em virtude de suas cargas desiguais. Contudo, desde que eles não estejam em contato, suas cargas não podem se igualar. A existência de tal força elétrica, onde a corrente não pode circular, é denominada eletricidade estática. “Estática” quer dizer “sem movimento”. Esse fenômeno é também chamado de FORÇA ELETROSTÁTICA.

Um dos processos mais fáceis de criar uma carga estática é através do método de fricção. No método de fricção, dois pedaços de matéria são esfregados, um contra o outro, e os elétrons são “arrancados” de um deles e entram no outro. Se forem usados materiais bons condutores, será muito difícil obter uma carga perceptível em qualquer um deles. A razão disso é que correntes de equalização circularão facilmente nos condutores e entre os materiais condutores. Estas correntes igualam as cargas à medida que elas são criadas. Uma carga estática é mais fácil de ser obtida esfregando-se um material isolante duro com um isolante macio ou felpudo. Os elétrons são arrancados de um dos materiais e entram no outro material. Isto é ilustrado na figura 2-4.

Quando o bastão duro de ebonite é esfregado com uma camurça, o bastão acumula elétrons. Sendo que ambas, a camurça e a ebonite, são condutores pobres, uma pequena corrente de equalização pode circular e uma carga eletrostática é formada. Quando a carga é suficientemente grande, correntes de equalização circularão, a despeito da pobre condutividade do material. Estas correntes causarão centelhas visíveis, se vistas na escuridão, e produzirão estalidos.

Corpos carregados

Uma das leis fundamentais da eletricidade diz que CARGAS IGUAIS SE REPELEM e que CARGAS DIFERENTES SE ATRAEM. Uma carga positiva e uma negativa, sendo opostas, tendem a se mover, uma em direção à outra. No átomo, os elétrons negativos são atraídos pelos prótons positivos do núcleo. Esta força atrativa é balanceada pela força centrífuga do elétron, causada pela sua rotação em torno do núcleo. Como resultado, os elétrons permanecem em órbita e não são atirados de encontro ao núcleo. Os elétrons se repelem entre si, em virtude de suas cargas negativas iguais, e os prótons se repelem entre si por causa de suas cargas positivas iguais.

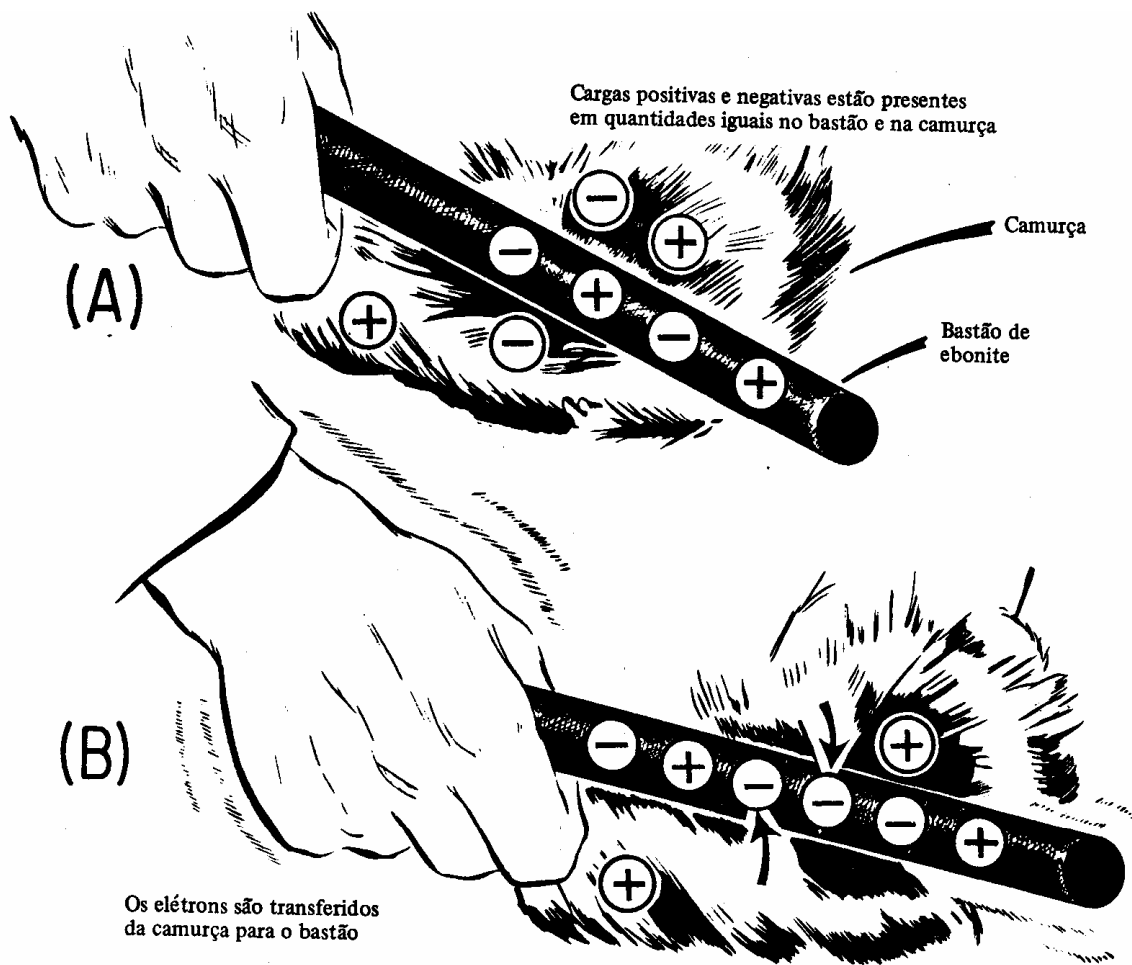


Fig. 2-4. — Produção de eletricidade estática pela fricção.

A lei dos corpos carregados pode ser demonstrada por uma experiência simples. Duas bolas de rolha ou polpa de papel são suspensas, próximas uma da outra, por fios de linha, como mostrado na figura 2-5.

Se o bastão de ebonite for esfregado de forma a se obter nele uma carga negativa e, em seguida, ele for encostado na bola da direita, como mostra a parte (A) da figura, o bastão comunicará sua carga negativa à bola. Quando forem soltas, as duas bolas se atrairão, conforme mostrado na figura. Elas se atrairão e permanecerão em contato até que a bola da esquerda adquira uma porção da carga negativa da bola da direita. Nesse instante, elas se afastarão uma da outra, tal como na parte (C) da figura, já que as cargas serão iguais. Se cargas positivas forem colocadas em ambas as bolas, parte B da figura, elas se afastarão.

Lei de Coulomb relativa às cargas

A grandeza da força de atração ou de repulsão que age entre dois corpos eletricamente carregados, no espaço livre, depende de duas coisas: (1) das duas cargas, e (2) da distância entre elas. A relação entre carga e distância, para a força eletrostática, foi

descoberta e estabelecida por um cientista francês chamado Charles A. Coulomb. A Lei de Coulomb estabelece que **CORPOS CARREGADOS SE ATRAEM OU SE REPELEM ENTRE SI, COM UMA FORÇA QUE É DIRETAMENTE PROPORCIONAL AO PRODUTO DE SUAS CARGAS E É INVERSAMENTE PROPORCIONAL AO QUADRADO DA DISTÂNCIA ENTRE ELES.**

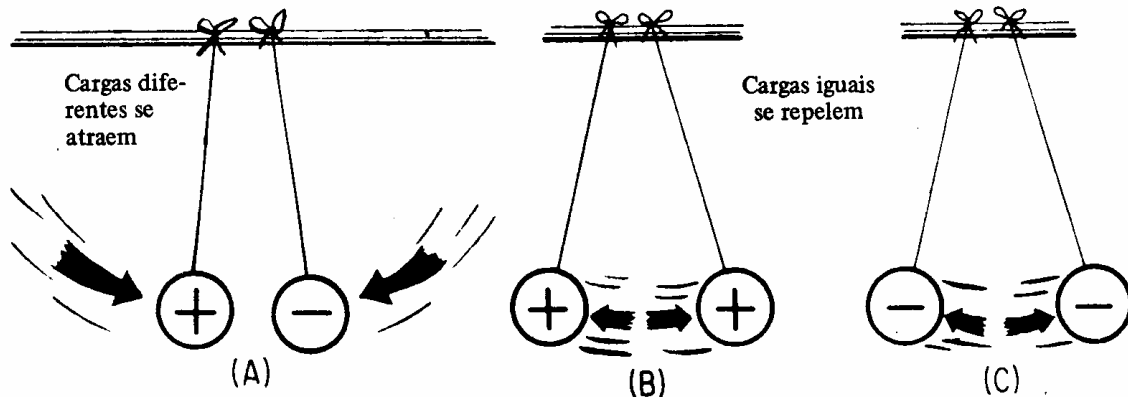


Fig. 2-5. — Reação entre corpos carregados.

Campos elétricos

O espaço entre corpos carregados e em torno deles no qual sua influência é sentida, é denominado **CAMPO ELÉTRICO DE FORÇA**. O campo elétrico é sempre limitado a objetos materiais e se estende entre cargas positivas e negativas. Ele pode existir no ar, vidro, papel ou no vácuo. **CAMPO ELETROSTÁTICO** e **CAMPO DIELÉTRICO** são outros nomes usados para denominar essa região de força.

Os campos de força se espalham no espaço, circundando seus pontos de origem e, em geral, **DIMINUEM EM PROPORÇÃO AO QUADRADO DA DISTÂNCIA DE SUA FONTE**.

O campo em torno de um corpo carregado é geralmente representado por linhas que são chamadas **LINHAS ELETROSTÁTICAS DE FORÇA**. Essas linhas são imaginárias e são usadas simplesmente para representar a direção e grandeza do campo. Por convenção, as linhas do campo eletrostático são representadas sempre saindo da carga positiva e entrando na carga negativa. A figura 2-6 ilustra o uso das linhas para representar o campo em torno dos corpos carregados. A parte (A) representa a repulsão de corpos carregados com a mesma carga e seus campos associados. A parte (B) representa a atração entre corpos carregados com cargas opostas e seus campos associados.

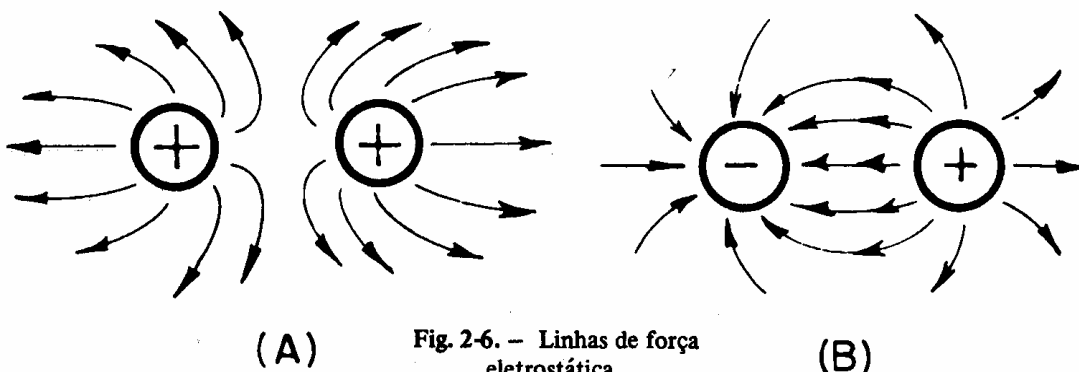


Fig. 2-6. — Linhas de força eletrostática.

MAGNETISMO

Uma substância é dita imantada se ela apresenta a propriedade do magnetismo — isto é, se ela tem poder de atrair substâncias, tais como ferro, aço, níquel ou cobalto, que são conhecidas como **MATERIAIS MAGNÉTICOS**. Uma agulha de coser, de aço, magnetizada por um processo a ser descrito posteriormente, apresenta dois pontos de máxima atração (um em cada extremidade) e nenhuma atração no centro. Os pontos de máxima atração são chamados **PÓLOS MAGNÉTICOS**. Todos os ímãs têm sempre dois pólos. Se a agulha for suspensa pelo centro, de tal forma que possa girar livremente no plano horizontal em torno do seu centro, ela se fixa em uma direção aproximada norte-sul. O mesmo pólo apontará sempre para o norte e o outro apontará sempre para o sul. O pólo magnético que aponta para o norte é chamado **PÓLO NORTE** e o outro, **PÓLO SUL**.

Um **CAMPO MAGNÉTICO** existe em torno de uma simples barra magnética. O campo consiste de linhas imaginárias, ao longo das quais age uma **FORÇA MAGNÉTICA**. Estas linhas emanam do pólo norte do ímã e entram no pólo sul, voltando ao pólo norte através do próprio ímã, formando circuitos fechados.

Um **CIRCUITO MAGNÉTICO** é um caminho ou percurso completo através do qual as linhas de força magnética podem ser estabelecidas sob a influência de uma força de magnetização. A grande maioria dos circuitos magnéticos é composta de materiais magnéticos a fim de manterem o fluxo magnético. Esses circuitos são semelhantes ao **CIRCUITO ELÉTRICO**, que é um caminho completo através do qual a corrente é forçada a circular sob a influência de uma força eletromotriz.

Os ímãs podem ser convenientemente divididos em três grupos.

1. **ÍMÃS NATURAIS**, encontrados em estado natural, sob a forma de minério chamado magnetita.

2. **ÍMÃS PERMANENTES**, barras de aço endurecido (ou alguma forma de liga, como o alnico) que tenham sido permanentemente magnetizados.

3. **ELETROÍMÃS**, compostos de núcleos de ferro doce em torno dos quais são enroladas bobinas de fio isolado. Quando uma corrente elétrica circula através da bobina, o núcleo se torna imantado. Quando a corrente pára de circular, o núcleo perde a maior parte do seu magnetismo.

Os ímãs permanentes e os eletroímãs são algumas vezes denominados **ÍMÃS ARTIFICIAIS**, para distingui-los dos ímãs naturais.

Ímãs naturais

Por muitos séculos, sabia-se que certas pedras (magnetita, Fe_3O_4) tinham a capacidade de atrair pequenos pedaços de ferro. Em virtude de muitas destas melhores pedras (ímãs naturais) terem sido encontradas em Magnésia, na Ásia Menor, os gregos chamaram a substância **MAGNETITA** ou **MAGNÉTICA**.

Antes disso, os antigos chineses observaram que, quando pedras semelhantes eram suspensas livremente ou flutuavam em substância leve em um receptáculo de água, elas tendiam a assumir a posição aproximada norte-sul. Provavelmente, os navegadores chineses usaram pedacinhos de magnetita, presos em madeira e flutuando dentro de um vaso com líquido, funcionando como bússolas rudimentares. Naquela época, não era conhecido que a própria Terra age como um ímã, e aquelas pedras eram encaradas com

considerável temor supersticioso. Em virtude de pedacinhos desta substância serem usados como bússolas de navegação, elas eram chamadas LOADSTONE (ou lodestone), que quer dizer “pedras guias”.

Os ímãs naturais são também encontrados nos Estados Unidos, Noruega e Suécia. Um ímã natural, mostrando a força atrativa nos pólos, é apresentado na figura 2-7 (A).

Ímãs artificiais

Os ímãs naturais não apresentam valor prático, pois os ímãs permanentes, de formato mais conveniente e mais potentes, podem ser produzidos artificialmente. Os ímãs permanentes comerciais são feitos de aços especiais e ligas – por exemplo, o alnico, feito principalmente de alumínio, níquel e cobalto. O nome é formado pelas duas primeiras letras dos três elementos principais com os quais ele é composto. Um ímã artificial é mostrado na figura 2-7 (B).

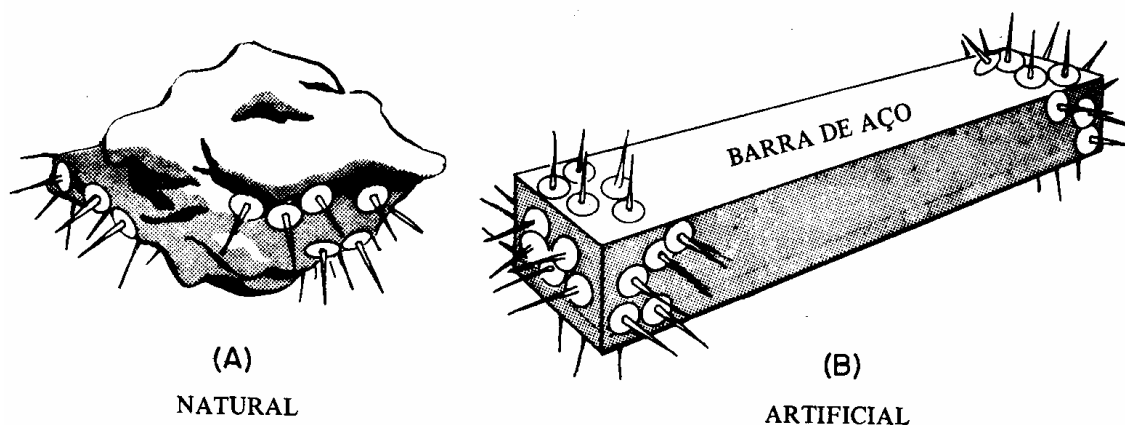


Fig. 2-7. – (A) Ímã natural, (B) Ímã artificial

Uma barra de ferro, aço, ou liga, pode ser imantada, inserindo-se-a dentro de uma bobina de fio isolado e fazendo-se passar uma forte corrente contínua através da bobina, como mostrado na figura 2-8 (A). Este aspecto do magnetismo é abordado mais adiante no capítulo. A mesma barra pode também ser imantada, se ela for atritada durante certo tempo com uma barra magnética, conforme mostrado na figura 2-8 (B). Ela então adquirirá a mesma propriedade magnética que tem o ímã usado para induzir o magnetismo. Mais precisamente, haverá dois pólos de atração, um em cada extremidade. Este processo produz um ímã permanente por INDUÇÃO, quer dizer, o magnetismo é induzido na barra pela influência da barra magnética que utilizamos para atritá-la.

Os ímãs artificiais podem ser classificados como “permanentes” ou “temporários”, dependendo da capacidade em reter sua força magnética após a remoção da força de magnetização. Aços duros e certas ligas são relativamente difíceis de serem imantadas, e diz-se que têm uma BAIXA PERMEABILIDADE, em virtude das linhas de força não penetrarem facilmente ou se distribuírem, elas mesmas, prontamente, através do aço. Uma vez imantados, entretanto, esses materiais retêm uma grande parte de sua força magnética e são chamados ÍMÃS PERMANENTES. Os ímãs permanentes são usados extensivamente em instrumentos elétricos, medidores, receptores de telefone, alto-

falantes de ímãs permanentes e em magnetos. Por outro lado, substâncias que são facilmente imantáveis – tais como o ferro doce e o aço-silício temperado – são ditas terem uma **ALTA PERMEABILIDADE**. Tais substâncias retêm somente uma pequena parte de seu magnetismo após a remoção da força magnetizante e, assim, são chamados **ÍMÃS TEMPORÁRIOS**. O aço-silício e materiais semelhantes são usados em transformadores, onde o magnetismo é variado constantemente, e em geradores e motores, onde as intensidades dos campos podem ser variados com facilidade.

O magnetismo que permanece em um ímã temporário após a remoção da força magnetizante é chamado **MAGNETISMO RESIDUAL**. O fato dos ímãs reterem uma quantidade, ainda que pequena, de magnetismo, é um fator importante no estabelecimento da tensão nos geradores CC auto-excitados.

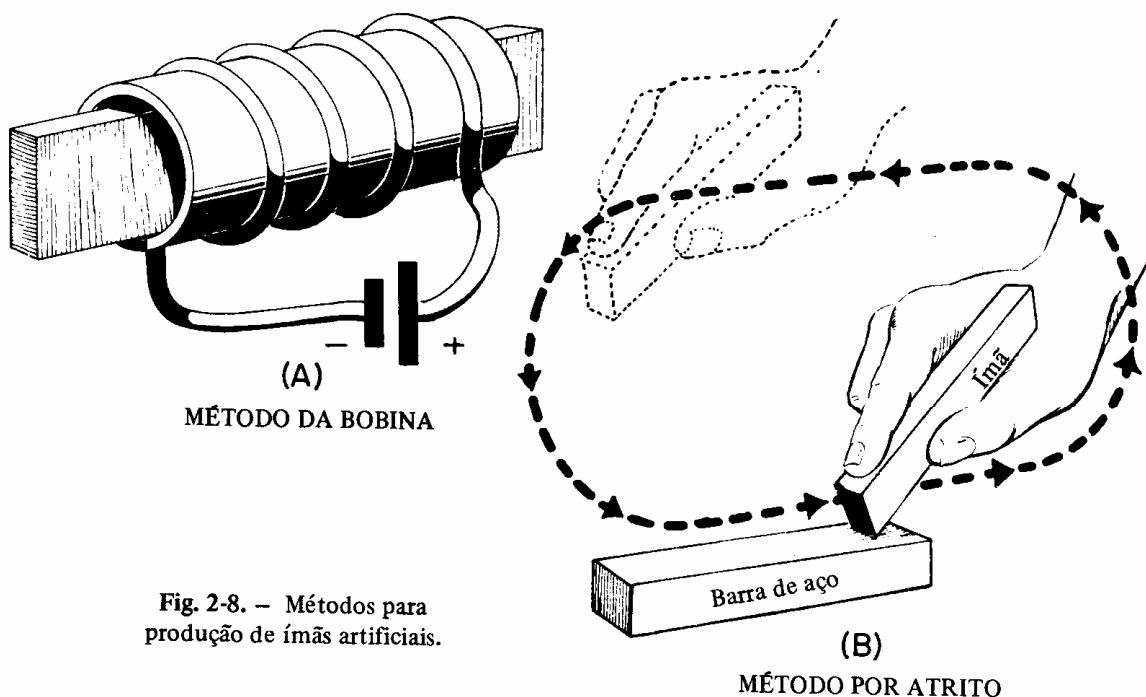


Fig. 2-8. – Métodos para produção de ímãs artificiais.

Natureza do magnetismo

Uma teoria popular do magnetismo considera o alinhamento molecular do material. Essa teoria é conhecida como Teoria de Weber e afirma que todas as substâncias magnéticas são constituídas de pequenos ímãs moleculares. Todos os materiais não magnetizados têm as forças magnéticas das suas moléculas magnéticas neutralizadas pela molécula magnética adjacente, eliminando-se assim qualquer efeito magnético. Um material imantado apresenta todas as moléculas magnéticas alinhadas de maneira que o pólo norte de cada molécula aponta para uma direção e o pólo sul para a direção oposta. Um material com as duas moléculas assim alinhadas apresenta efetivamente um pólo norte e um pólo sul.

A figura 2-9 (A) ilustra a teoria de Weber onde uma barra de aço foi magnetizada por fortes batidas. Quando uma barra de aço é batida diversas vezes por um ímã, mantendo-se a barra sempre na mesma direção, a força magnética do ímã faz as moléculas

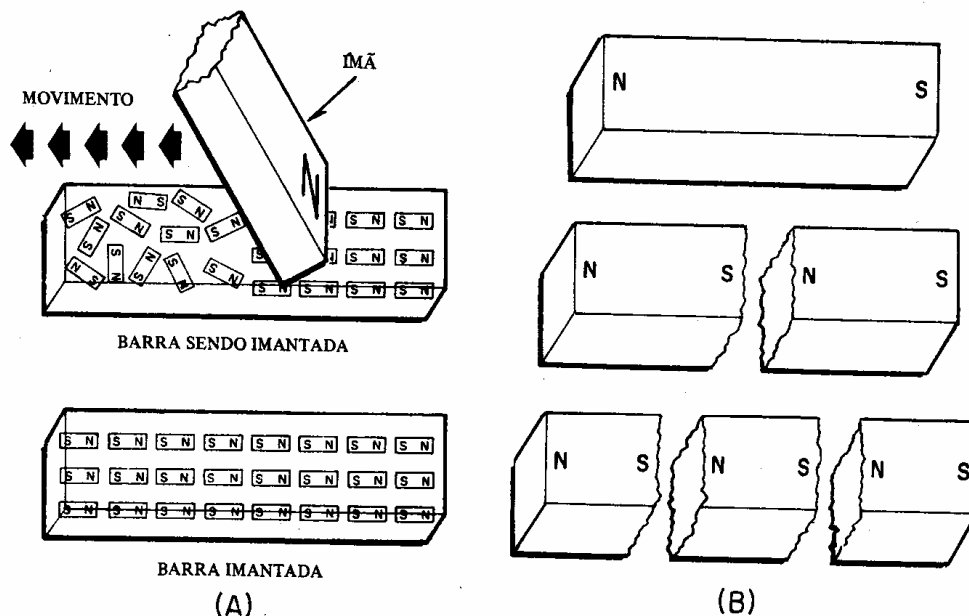


Fig. 2-9. — (A) Moléculas de ímã, (B) Ímã seccionado.

da barra se alinharem, transformando a barra de aço em um ímã. A polaridade do ímã produzido depende do sentido da força magnética aplicada sobre as moléculas magnetizadas ao acaso.

Algumas afirmações da teoria de Weber são confirmadas quando se corta um ímã em duas metades. Verifica-se que as duas partes resultantes, isoladamente, apresentam pólos norte e sul, conforme mostrado na figura 2-9 (B). As polaridades de cada ímã são mantidas. Se o ímã for totalmente dividido até a última molécula, teoricamente ela apresentará também pólos norte e sul, já que todas as partes têm características magnéticas.

Uma outra justificativa para esta afirmação resulta do fato de que, quando uma barra imantada é mantida fora do alinhamento com o campo da terra e é repetidamente abalada, aquecida ou exposta a um potente campo alternado, o alinhamento molecular é desfeito e o ímã se torna desmagnetizado. Por exemplo, os instrumentos de medidas elétricos tornam-se imprecisos se os seus ímãs permanentes perderem parte do seu magnetismo em virtude de violentos choques ou de exposição a campos magnéticos opostos.

Teoria domínio

Uma teoria mais moderna do magnetismo é baseada no giro orbital do elétron. Do estudo da estrutura atômica, sabe-se que toda matéria é constituída de átomos e que cada átomo contém um ou mais elétrons orbitais. Os elétrons orbitam em várias camadas e subcamadas dependendo da sua distância do núcleo. A estrutura do átomo foi anteriormente comparada com o sistema solar. Os elétrons correspondem aos planetas que giram em torno do sol. Além de girarem em torno do sol, os planetas giram em torno do seu eixo. Acredita-se que os elétrons também tenham um movimento de rotação como os planetas.

Foi provado experimentalmente que um elétron apresenta um campo magné-

tico com o seu campo elétrico. A presença de campo magnético em um átomo é determinado pelo número de elétrons que se deslocam em um dado sentido. Se o átomo tem iguais números de elétrons girando em direções opostas, os campos magnéticos que envolvem os elétrons se cancelam e o átomo é desmagnetizado. Entretanto, se houver mais elétrons girando em um sentido do que no outro, o átomo fica imantado. Um átomo tal como o ferro, com um número atômico de 26, é dotado de 26 prótons no seu núcleo e 26 elétrons orbitais. Se 13 elétrons giram no sentido horário e 13 giram no sentido anti-horário, os campos em oposição se cancelam. Quando mais de 13 giram no mesmo sentido, o átomo fica imantado. Um exemplo de imantação do átomo de ferro é mostrado na figura 2-10. Observe que nesta ilustração específica, os campos magnéticos do ferro em todas as camadas se cancelam exceto na camada M. Como ilustrado, há 15 elétrons girando em um sentido e apenas 11 elétrons no sentido oposto. Desta forma, os 4 elétrons sem oposição fazem com que o átomo do ferro se transforme num ímã infinitamente pequeno. Quando um determinado número de átomos são agrupados para formar uma

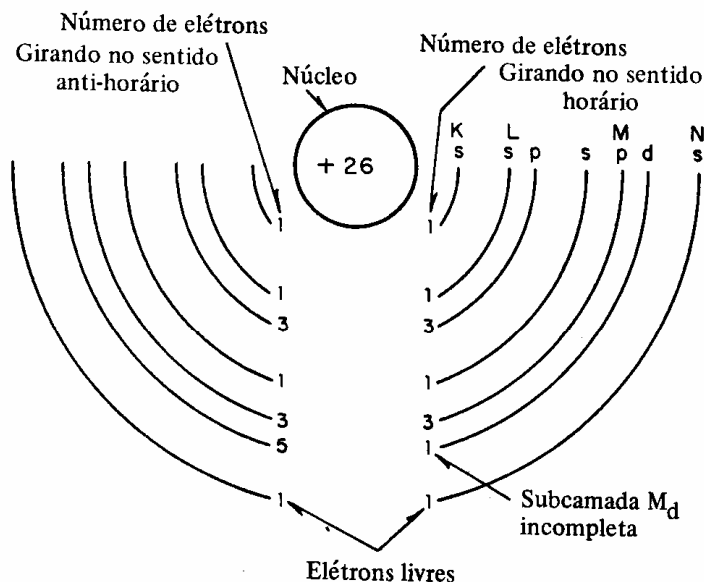


Fig. 2-10. – Átomo de ferro.

barra, ocorre uma interação entre as forças magnéticas dos vários átomos. A pequena força magnética do campo que envolve um átomo afeta o átomo adjacente produzindo um pequeno campo de átomos com campos magnéticos paralelos. Esse grupo, de 10^{14} a 10^{15} átomos imantados, com os seus pólos orientados no mesmo sentido são conhecidos como DOMÍNIO. Em um domínio há um campo magnético intenso sem a influência de qualquer campo magnético externo. Considerando que 10 milhões de domínios ocupam 1 milímetro cúbico, aparentemente, cada material magnético é feito de um grande número de domínios. Os domínios de qualquer substância estão permanentemente imantados até à saturação mas ficam desorientados no material. Assim, o intenso campo magnético de cada domínio é neutralizado por forças magnéticas opostas de outros domínios. Quando um campo externo é aplicado numa substância magnética, os domínios se alinham com o campo externo. Como os domínios estão imantados até à saturação, a intensidade de imantação do material é determinada pelo número de domínios alinhados pela força magnetizante.

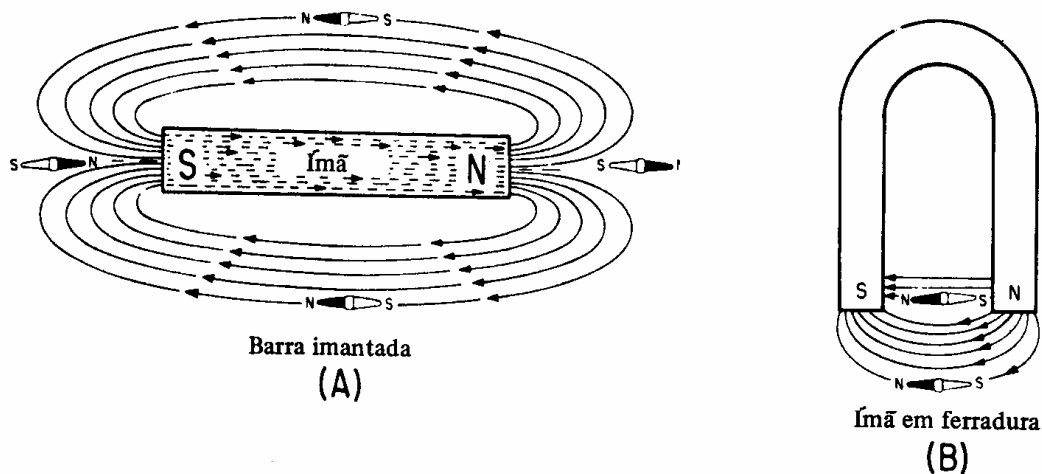


Fig. 2-11. — Linhas de força magnética.

Campos magnéticos e linhas de força

Se uma barra imantada for mergulhada em limalhas de ferro, a maioria das partículas de limalha será atraída para as extremidades da barra, mas nenhuma limalha será atraída para o centro do ímã. Conforme mencionado previamente, as extremidades do ímã, onde a força atrativa é maior, são chamadas **PÓLOS** do ímã. Utilizando-se uma bússola, pode-se observar a linha de direção da força magnética em vários pontos próximos ao ímã. A própria agulha da bússola é um ímã. A extremidade norte da agulha aponta sempre para o pólo sul, S, como mostrado na figura 2-11 (A), e, então, o sentido de direção (em relação à polaridade da barra imantada) é também indicado. No centro, a agulha da bússola se orienta em uma direção que é paralela à barra imantada.

Quando a bússola é colocada sucessivamente em diversos pontos nas proximidades da barra imantada, a sua agulha se alinha com o campo em cada posição. O sentido do campo é indicado pelas setas e representa o sentido para o qual o pólo norte da agulha apontará quando a bússola for colocada nesse campo. Assim, a linha ao longo da qual uma agulha imantada se orienta é chamada **LINHA DE FORÇA MAGNÉTICA**. Conforme mencionado anteriormente, assume-se que as linhas de força magnética emanam do pólo norte do ímã, passam pelo espaço exterior próximo e entram no pólo sul. As linhas de força então passam do pólo sul para o pólo norte, por dentro do ímã, a fim de formarem um “loop” fechado. Cada linha de força forma um “loop” independente e não se une ou cruza com outras linhas de força. As linhas de força entre os pólos de um ímã em forma de ferradura são mostradas na figura 2-11 (B).

Apesar de as linhas de força magnética serem imaginárias, através de uma versão simplificada muitos fenômenos magnéticos podem ser esclarecidos supondo-se que as linhas magnéticas apresentam certas propriedades. As linhas de força podem ser comparadas com tiras elásticas que se estendem para fora quando uma força é aplicada e se contraem quando a força é removida. As características das linhas magnéticas podem ser descritas conforme abaixo:

1. As linhas de força magnéticas são contínuas e sempre formam circuitos fechados.
2. As linhas de força magnéticas nunca se cruzam.
3. As linhas de força magnéticas paralelas no mesmo sentido se repelem. As linhas

de força em oposição tendem a se unirem uma com a outra e formarem linhas únicas posicionadas em um sentido que é determinado pelos pólos magnéticos que as produzem.

4. As linhas de força magnéticas tendem a se encontrar. Dessa forma, as linhas existentes entre dois pólos opostos fazem com que os pólos sejam atraídos um de encontro ao outro.

5. As linhas de força atravessam todos os materiais, sejam eles magnéticos ou não.

O espaço que circunda um ímã, no qual a força magnética age, é denominado CAMPO MAGNÉTICO. Michael Faraday foi o primeiro cientista a visualizar o campo magnético como sendo deformável e consistindo de linhas de força uniformemente distribuídas. O número total de linhas em torno de um ímã é denominado FLUXO MAGNÉTICO. O fluxo, em um circuito magnético, corresponde à corrente em um circuito elétrico.

O número de linhas de força por unidade de área é chamado DENSIDADE DE FLUXO e é medido em linhas por polegada quadrada ou em linhas por centímetro quadrado. A densidade de fluxo é expressa pela equação:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

onde B é a densidade de fluxo, Φ (phi grego) é o número total de linhas de fluxo e A é a área da seção reta do circuito magnético. Se A for expresso por centímetro quadrado B o será por linhas em centímetro quadrado, ou GAUSS. O termo FLUXO é freqüentemente usado nos livros. Entretanto, o magnetismo não é encarado como sendo uma corrente de partículas em movimento, mas, simplesmente, um campo de força que se exerce no espaço.

Uma representação visual do campo magnético em torno de um ímã pode ser obtido colocando-se uma placa de vidro sobre um ímã e espalhando-se limalha de ferro sobre o vidro. As partículas de limalha se dispõem, elas próprias, em caminhos definidos entre os pólos.

Esta disposição das limalhas mostra a configuração do campo magnético em torno do ímã, como aparece na figura 2-12.

O campo magnético em torno de um ímã de configuração simétrica possui as seguintes propriedades:

1. O campo é simétrico, a menos que perturbado por outra substância magnética.
2. As linhas de força possuem direção e são representadas como se saíssem do pólo norte e entrassem no pólo sul.

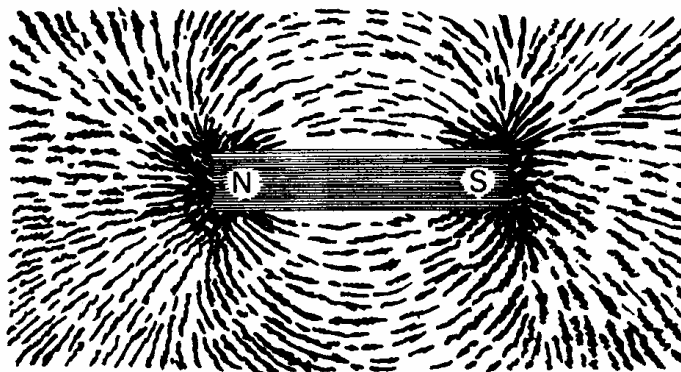


Fig. 2-12. — Desenho do campo magnético de um ímã.

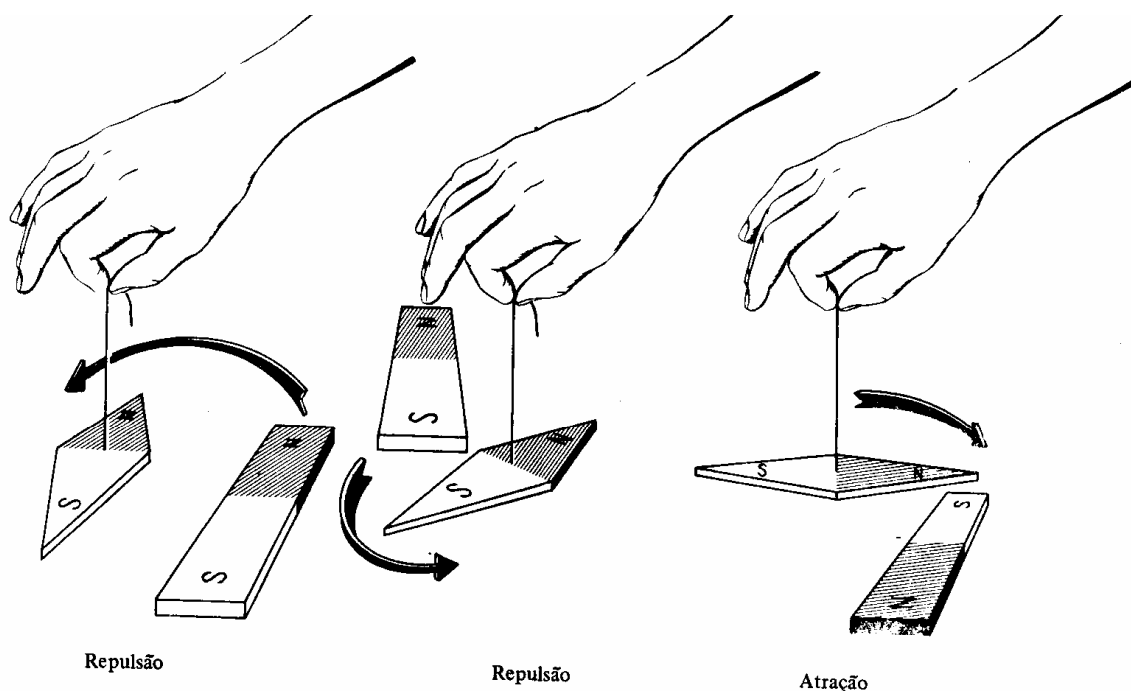


Fig. 2-13. — Leis da atração e repulsão.

Leis de atração e repulsão

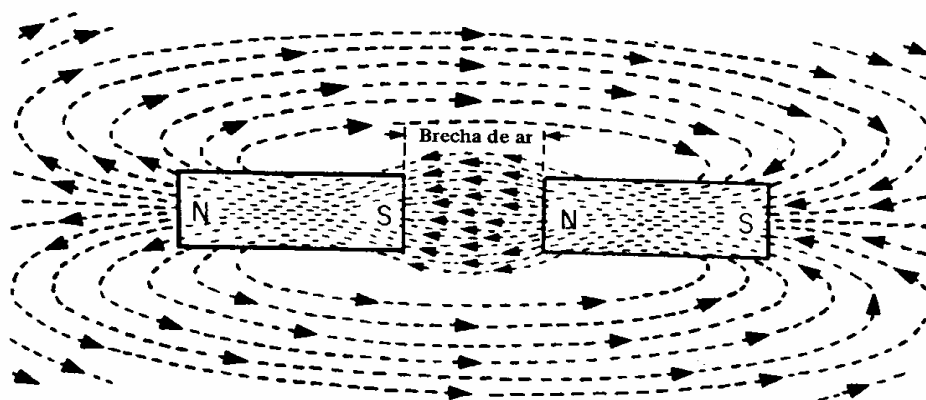
Se uma agulha imantada for suspensa próximo de um ímã, como na figura 2-13, verificar-se-á que um pólo sul repele o outro pólo sul, ao passo que um pólo norte repele o outro pólo norte. Pólos opostos, entretanto, se atrairão. Assim, as duas primeiras leis de atração e repulsão magnéticas são:

1. Pólos magnéticos IGUAIS se REPELEM.
2. Pólos magnéticos DIFERENTES se ATRAEM.

As configurações do fluxo entre pólos DIFERENTES adjacentes de um ímã, indicados por linhas, são mostradas na figura 2-14 (A). Uma configuração similar para pólos adjacentes IGUAIS é mostrada na parte (B) da figura. As linhas não se cruzam em nenhum ponto e se repelem.

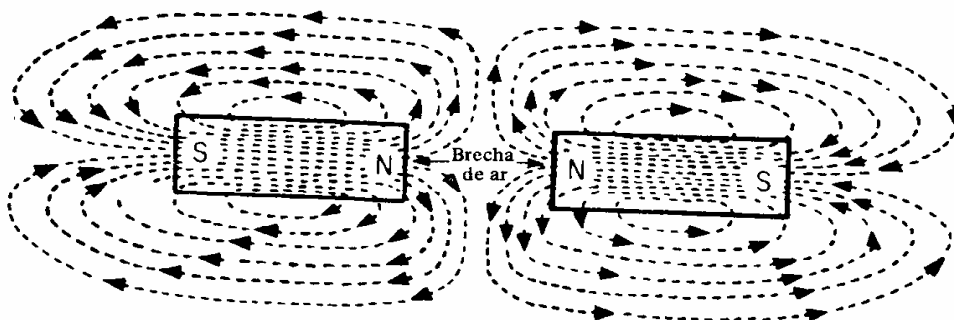
A figura 2-15 mostra a configuração do fluxo (indicado por linhas) em torno de duas barras magnéticas colocadas próximas e paralelas entre si. A figura 2-15 (A) mostra a configuração do fluxo quando os pólos diferentes estão adjacentes, e a figura 2-15 (B) mostra a configuração do fluxo quando os pólos iguais são adjacentes.

A TERCEIRA LEI de atração e repulsão magnéticas estabelece efetivamente que a força de atração ou repulsão que existe entre dois pólos magnéticos decresce rapidamente à medida que os pólos se afastam um do outro. A força de atração ou repulsão varia diretamente com o produto das intensidades dos pólos separados e inversamente com o quadrado da distância que separa os pólos magnéticos, desde que os pólos sejam bastante pequenos para serem considerados como pontos. Por exemplo, se a distância entre dois pólos norte é aumentada de 2 pés para 4 pés, a força de repulsão entre eles é diminuída a um quarto do seu valor original. Se, por outro lado, a intensidade de um dos pólos for dobrada, permanecendo constante a distância, a força entre os pólos será dobrada.



Pólos diferentes se atraem

(A)

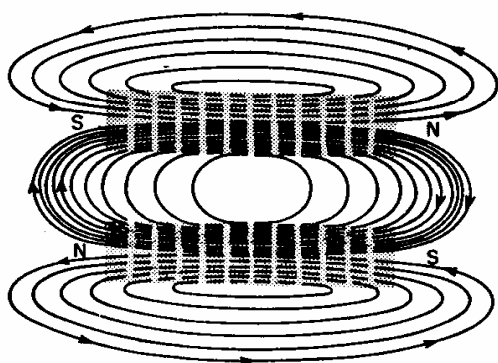


Linhas de força

Pólos iguais se repelem

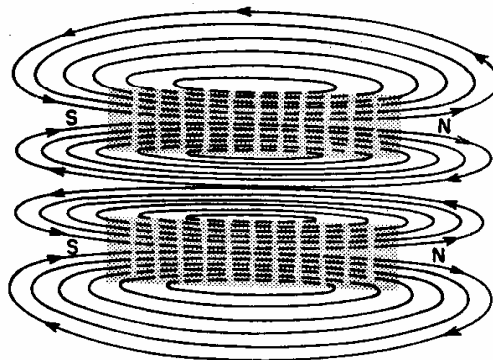
(B)

Fig. 2-14. – Linhas de força entre pólos iguais e diferentes.



Padrão do fluxo – Atração

(A)



Padrão do fluxo – Repulsão

(B)

Fig. 2-15. – Configurações do fluxo de barras magnéticas adjacentes e paralelos.

O magnetismo terrestre

Como já foi dito, a Terra é um grande ímã, e circundando-a está o campo magnético produzido pelo magnetismo terrestre. As polaridades magnéticas da Terra são as indicadas na figura 2-16. Os pólos geográficos são também mostrados em cada extremidade do eixo de rotação da Terra. O eixo magnético não coincide com o eixo geográfico e, desta forma, os pólos magnéticos e geográficos não estão no mesmo lugar sobre a superfície da Terra.

Os antigos usuários da bússola encaravam a extremidade da agulha da bússola que aponta na direção aproximadamente norte como sendo um pólo norte. A outra extremidade foi encarada como um pólo sul. Em alguns mapas, o pólo magnético da Terra, para o qual o pólo norte da agulha apontava, foi designado como pólo magnético. Esse pólo magnético foi obviamente chamado de pólo norte, em virtude de sua proximidade com o pólo norte geográfico.

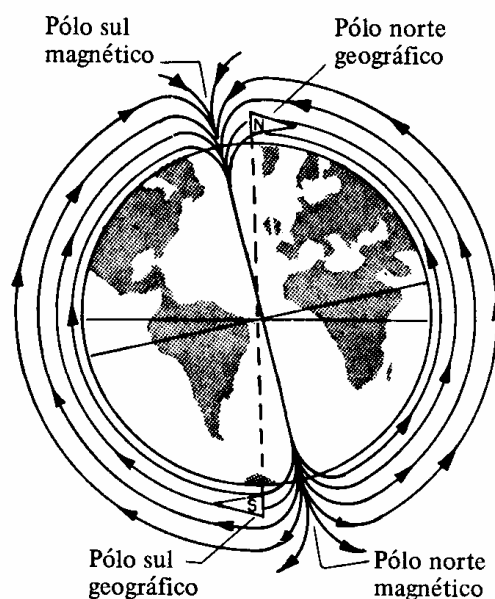


Fig. 2-16. – Pólos magnéticos da terra.

Quando se soube que a Terra era um ímã e que pólos opostos se atraíam, foi necessário denominar o pólo magnético localizado no hemisfério norte como **PÓLO SUL MAGNÉTICO** e o pólo magnético localizado no hemisfério sul como **PÓLO NORTE MAGNÉTICO**. A razão das denominações foi arbitrária. Obviamente, a polaridade da agulha da bússola que aponta para o norte deve ser oposta à polaridade do pólo magnético terrestre ali situado.

Como já determinado, assumiu-se que as linhas de força magnética saem do pólo norte de um ímã e entram no pólo sul como circuitos fechados. Em virtude da terra ser um ímã, as linhas de força emanam de seu pólo norte magnético e entram no pólo sul magnético como loops fechados. A agulha da bússola se orienta de tal forma que as linhas de força terrestre entram no seu pólo sul e deixam o seu pólo norte. Dado o motivo do pólo norte da agulha ser definido como a extremidade que aponta em direção norte, segue-se que o pólo magnético nas vizinhanças do pólo magnético geográfico é, na verdade, um pólo sul magnético, e vice-versa.

Em virtude de os pólos magnéticos e geográficos não coincidirem, uma bússola (exceto em algumas posições na terra) apontará para uma direção (geográfica) verdadeira. Quer dizer, ela não se alinhará segundo uma linha de direção que passe pelos pólos geográficos norte e sul, mas sim segundo uma linha de direção que faz um ângulo com aquela. Este ângulo é chamado o ângulo de VARIAÇÃO ou DECLINAÇÃO.

Blindagem magnética

Não existe um ISOLANTE conhecido para o fluxo magnético. Se um material não magnético for colocado em um campo magnético, não haverá mudança apreciável no fluxo — isto é, o fluxo penetra no material não magnético. Por exemplo, uma placa de vidro colocada entre os pólos de um ímã em forma de ferradura não exercerá nenhum efeito apreciável no campo, embora o vidro em si seja um bom isolante em um circuito elétrico. Se um material magnético (por exemplo, ferro doce) for colocado em um campo magnético, o fluxo pode ser reorientado a fim de se aproveitar a maior permeabilidade do material magnético, como mostrado na figura 2-17. Permeabilidade é a qualidade de uma substância que determina a facilidade com que ela pode ser magnetizada.

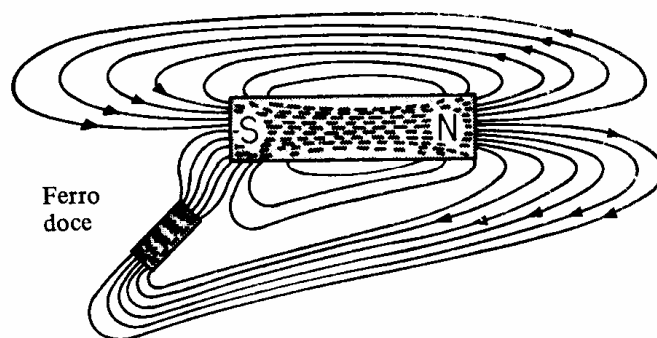


Fig. 2-17. — Efeitos de uma substância magnética em um campo magnético.

O mecanismo sensível de instrumentos elétricos e medidores pode ser influenciado por campos magnéticos espúrios que causarão erros em suas leituras. Em virtude dos mecanismos dos instrumentos não poderem ser isolados contra o fluxo magnético, é necessário empregar algum processo de dirigir o fluxo em torno do instrumento. Isto é feito colocando-se um invólucro de ferro doce, chamado REDE ou BLINDAGEM MAGNÉTICA, em torno do instrumento. Tendo em vista que o fluxo se estabelece mais facilmente através do ferro (mesmo que o trajeto seja mais longo) do que através do ar dentro do invólucro, o instrumento é efetivamente blindado, conforme é mostrado na figura 2.18.

Materiais magnéticos

Os estudos anteriores sobre magnetismo classificavam os materiais simplesmente como magnéticos ou não magnéticos. Atualmente se classificam as substâncias em três grupos: paramagnéticas, diamagnéticas e ferromagnéticas.

Os materiais PARAMAGNÉTICOS são aqueles que se magnetizam pouco, mesmo

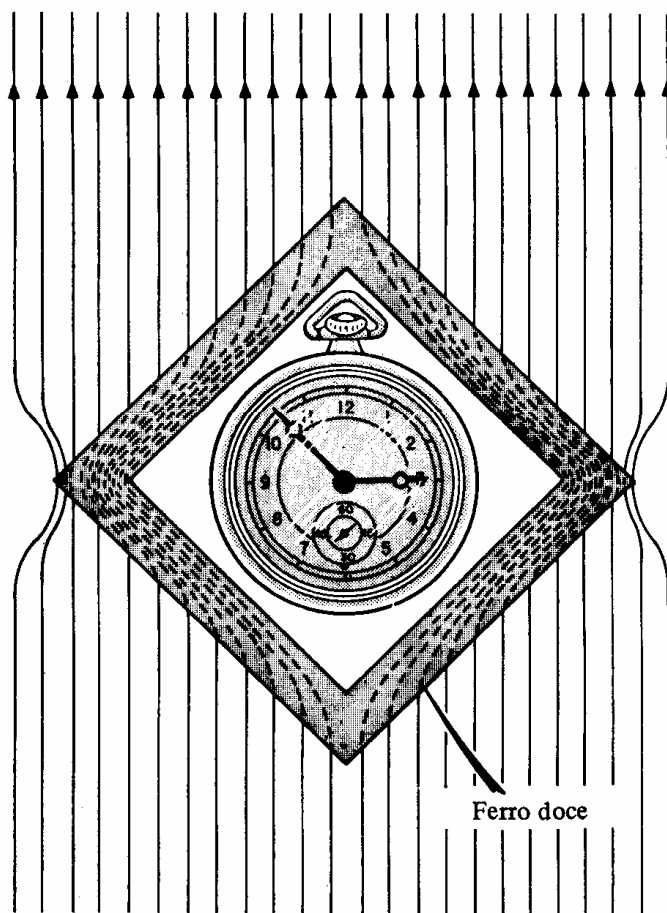


Fig. 2-18. — Blindagem magnética.

fins práticos, como materiais não magnéticos.

O grupo mais importante de materiais que encontram aplicação na eletricidade e eletrônica é o das substâncias FERROMAGNÉTICAS. As substâncias ferromagnéticas são relativamente fáceis de serem imantadas. Estão nesse grupo o ferro, aço, cobalto, alnico e permalói, sendo os dois últimos ligas metálicas. O alnico consiste de alumínio, níquel e cobalto. Essas novas ligas podem ser intensamente imantadas. O alnico pode, ao imantar, adquirir força magnética capaz de levantar um peso quinhentas vezes superior ao seu.

Os materiais ferromagnéticos apresentam uma alta permeabilidade. Entretanto, conforme previamente afirmado, um material tal como o aço usado para fazer um ímã permanente, é considerado como tendo uma permeabilidade relativamente baixa quando comparado com outras substâncias ferromagnéticas.

Formatos dos ímãs

Em virtude do grande número de aplicações, os ímãs são fabricados com diversos formatos e tamanhos. De um modo geral, entretanto, os ímãs são encontrados sob três classificações gerais: barra, ferradura e anel.

O ímã em barra é mais comumente usado nas escolas e laboratórios para o estudo

quando sujeitos a um forte campo magnético. Essa ligeira magnetização é feita no mesmo sentido do campo magnetizante. São paramagnéticas as substâncias: alumínio, cromo, platina e ar.

As substâncias DIAMAGNÉTICAS podem também ficar ligeiramente à influência de um forte campo. Estas substâncias, quando ligeiramente imantadas, ficam magnetizadas em sentido oposto ao campo magnetizante. Algumas substâncias diamagnéticas são o cobre, a prata, o ouro e o mercúrio.

As substâncias paramagnéticas e diamagnéticas apresentam uma muito baixa permeabilidade. As paramagnéticas têm permeabilidade pouco maior do que 1. As substâncias diamagnéticas têm permeabilidade menor do que 1. Em virtude da dificuldade em se magnetizarem, as substâncias paramagnéticas e diamagnéticas são consideradas, para

das propriedades e efeitos do magnetismo. No teste anteriormente descrito a barra foi útil na demonstração dos efeitos magnéticos.

Um outro tipo de ímã é circular e usado como núcleo de memória dos computadores. Uma aplicação comum para o ímã temporário em anel é como blindagem de instrumentos elétricos.

O formato do ímã mais freqüentemente usado nos equipamentos elétricos e eletrônicos é o de ferradura. O ímã ferradura é similar ao ímã em barra. Apenas o seu formato difere. O ímã em ferradura apresenta uma intensidade de campo muito maior do que o em barra do mesmo tamanho em virtude da proximidade dos seus pólos. A intensidade magnética de um pólo é sensivelmente aumentada devido à concentração do campo magnético em área reduzida. Os instrumentos de medida elétrica usam freqüentemente ímãs com formato de ferradura.

Cuidado com os ímãs

Uma peça de aço que foi imantada pode perder muito da sua imantação por manuseio inadequado. Se agitado ou aquecido, ocorrerá um desalinhamento dos domínios, resultando na perda de imantação. Se o ímã de um medidor for alterado, a indicação elétrica não será precisa. Dessa forma, deve-se tomar certas precauções ao utilizar os instrumentos de medida. Submeter o instrumento a forte agitação ou a alta temperatura avariará o instrumento.

Um ímã pode enfraquecer pela perda do fluxo. Assim, quando guardados, deve-se evitar excesso na dispersão do fluxo magnético. Um ímã ferradura deve ser guardado com um dispositivo na forma de barra para unir os pólos. Com a barra entre os pólos, o fluxo flui continuamente através do ímã e haverá dispersão no espaço.

Para armazenar os ímãs, o mesmo princípio deve ser adotado. As barras devem ser guardadas sempre aos pares com o pólo norte de um ímã fazendo contato com o pólo sul do outro. Isso permite que seja mantido um circuito fechado para o fluxo, evitando-se a sua dispersão.

O estudo de eletricidade e magnetismo, assim como as suas interações, será feito de maneira mais completa posteriormente. O estudo de magnetismo até este ponto foi feito para esclarecer certos termos e significados tais como “polaridade”, “campos”, “linhas de força”, etc. Apenas uma relação fundamental entre magnetismo e eletricidade será discutida neste capítulo. Essa relação se refere ao magnetismo quando usado para gerar tensão e será estudada a seguir.

DIFERENÇA DE POTENCIAL

A força que ocasiona o movimento de elétrons livres em um condutor, formando uma corrente elétrica, é chamada (1) força eletromotriz (FEM), (2) tensão ou (3) diferença de potencial. Quando existe uma diferença de potencial entre dois corpos carregados que são ligados por um condutor, os elétrons fluirão ao longo do condutor. Esse fluxo de elétrons se fará do corpo carregado negativamente para o corpo carregado positivamente, até que as duas cargas sejam igualadas e que não mais exista diferença de potencial.

Uma analogia desta ação é mostrada através dos tanques de água ligados por um tubo com válvula, como representado na figura 2-19. Inicialmente, a válvula está fechada e toda a água está contida no tanque A. A pressão da água sobre a válvula é máxima. Quando a válvula é aberta, a água escoará através do tubo de A para B, até que o seu nível

se torne o mesmo em ambos os tanques. A água, então, pára de circular no tubo porque não há mais diferença de pressão da água entre os dois tanques.

A circulação de corrente em um circuito elétrico é diretamente proporcional à diferença de potencial através do circuito, da mesma forma como a circulação de água através do tubo da figura 2-19 é diretamente proporcional à diferença do nível de água nos dois tanques.

Uma lei fundamental da corrente elétrica diz que **A CORRENTE É DIRETAMENTE PROPORCIONAL À TENSÃO APLICADA.**

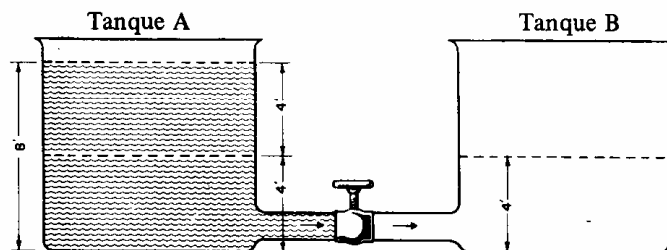


Fig. 2-19. — Analogia hidráulica da diferença elétrica de potencial.

Métodos primários para a produção de tensão

Presentemente, há seis métodos comumente usados para produzir força eletromotriz. Alguns desses métodos são mais largamente usados do que outros. Os métodos de utilização de cada fonte de energia serão discutidos, e suas mais comuns aplicações serão citadas. O que segue é uma relação dos seis métodos mais comuns de produção de tensão:

1. **FRICÇÃO** — Tensão produzida friccionando-se dois materiais.
2. **PRESSÃO** — (Piezoelectricidade) — Tensão produzida por pressão mecânica exercida sobre os cristais de certas substâncias.
3. **CALOR** — (Termoelectricidade) — Tensão produzida pelo aquecimento de uma união (junção) onde dois metais diferentes são postos em contato.
4. **LUZ** — (Fotoelectricidade) — Tensão produzida fazendo-se incidir luz sobre substâncias fotossensitivas.
5. **AÇÃO QUÍMICA** — Tensão produzida por reação química em uma célula de bateria.
6. **MAGNETISMO** — Tensão produzida em um condutor quando o mesmo se move dentro de um campo magnético, ou quando um campo magnético se move em relação ao citado condutor, de tal maneira que ele corte as linhas de força magnética do campo.

Tensão produzida por fricção

Este é o processo menos usado dos seis métodos de produzir f.e.m. Sua aplicação principal é nos geradores de Van de Graf, empregados em alguns laboratórios para produzir altas tensões. Como regra, a eletricidade de fricção (algumas vezes denominada estática) é prejudicial. Por exemplo, um avião voando acumula cargas elétricas resul-

tantes da fricção entre a sua estrutura e o ar que passa. Essas cargas interferem algumas vezes com a comunicação de rádio e, em algumas circunstâncias, podem mesmo causar avarias físicas à aeronave. Você provavelmente já recebeu choques desagradáveis resultantes de eletricidades por fricção, quando atritando a roupa em uma cobertura seca de poltrona, ou caminhando sobre um tapete seco e, em seguida, entrando em contato com um outro objeto.

Tensão produzida por pressão

O processo de produção de f.e.m. por pressão emprega o fenômeno denominado piezoelectricidade. A tensão é obtida mediante a compressão ou distensão de cristais de certas substâncias. Para estudar esta forma de eletricidade você deverá primeiramente entender o significado da palavra “cristal”. Em um cristal, as moléculas são dispostas de maneira ordenada e uniforme. Uma substância em seus estados cristalino e não cristalino é mostrada na figura 2-20.

Com o intuito de simplificar, considere que as moléculas desta substância particular são esféricas. No estado não cristalino, parte (A) da figura, as moléculas são dispostas irregularmente. No estado cristalino, parte (B) da figura, as moléculas são dispostas de maneira regular e uniforme. Isto ilustra a diferença física mais importante entre as formas de matéria cristalina e não-cristalina. Matéria cristalina natural é rara. Um exemplo de matéria que é cristalina em sua forma natural é o diamante, que é carbono cristalino. A maioria dos cristais é manufaturado.

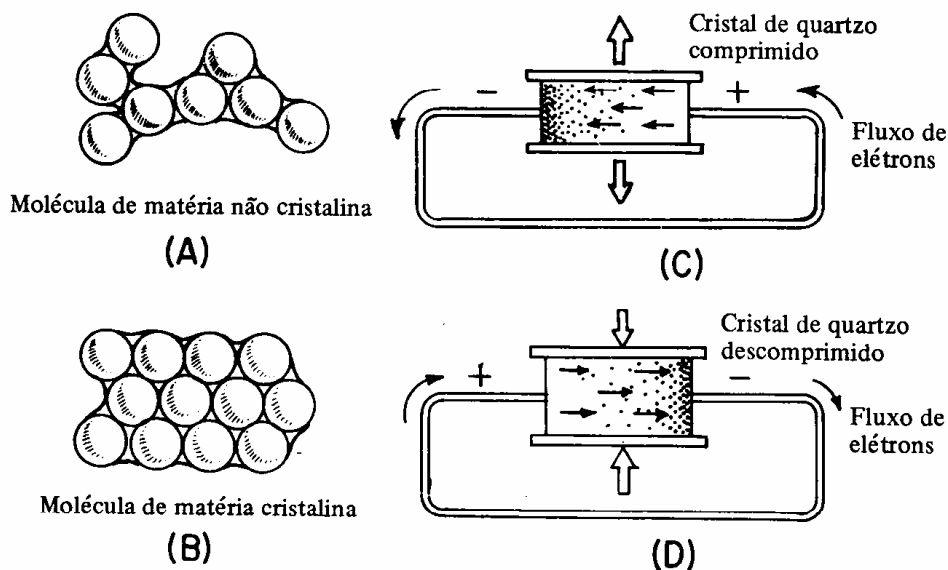


Fig. 2-20. – (A) Estrutura não cristalina, (B) Estrutura cristalina
(C) Compressão de um cristal, (D) Descompressão de um cristal

Cristais de certas substâncias, tais como o sal de Rochelle ou o quartzo, apresentam características elétricas peculiares. Essas características ou efeitos são denominadas “piezoelétricos”. Por exemplo, quando um cristal de quartzo é comprimido, conforme é mostrado na figura 2-20 (C), os elétrons tendem a se mover através do cristal. Essa tendência cria uma diferença elétrica de potencial entre as duas faces opostas do cristal. (As razões fundamentais para essa ação são desconhecidas. Entretanto, a ação

é previsível e, assim, utilizável). Se um fio externo é conectado enquanto a pressão e a f.e.m. estão presentes, os elétrons circularão. Se a pressão é mantida constante, o fluxo de elétrons continuará até que as cargas se igualem. Quando a força é removida, o cristal é descomprimido e imediatamente dá origem a uma força elétrica em direção oposta, como mostrado na parte D da figura. Dessa forma, o cristal é capaz de converter força mecânica, seja ela pressão ou tensão, em força elétrica.

A capacidade de potência de um cristal é extremamente pequena. Contudo, eles são úteis em virtude de sua grande sensibilidade às variações de força mecânica ou às alterações de temperatura. Devido a outras características não mencionadas aqui, os cristais são mais largamente empregados em equipamentos de comunicação.

Tensão produzida pelo calor

Quando um pedaço de metal, tal como o cobre, é aquecido em uma extremidade, os elétrons tendem a se mover, afastando-se da extremidade aquecida, e se dirigem para a extremidade mais fria. Isto é verdadeiro para a maioria dos metais. Entretanto, em alguns, tal como o ferro, a ação é contrária e os elétrons tendem a se mover EM DIREÇÃO à extremidade quente. Essas características são ilustradas na figura 2-21. As cargas negativas (elétrons) movem-se no cobre no sentido de se afastarem da região quente, e no ferro, no sentido daquela região. Elas passam do ferro para o cobre através da junção quente, e do cobre, através do medidor de corrente, para o ferro, pela junção fria. Este dispositivo é geralmente denominado de termocuplo (par termoeletrico).

Os pares termoeletricos apresentam capacidades de potência algo maiores que

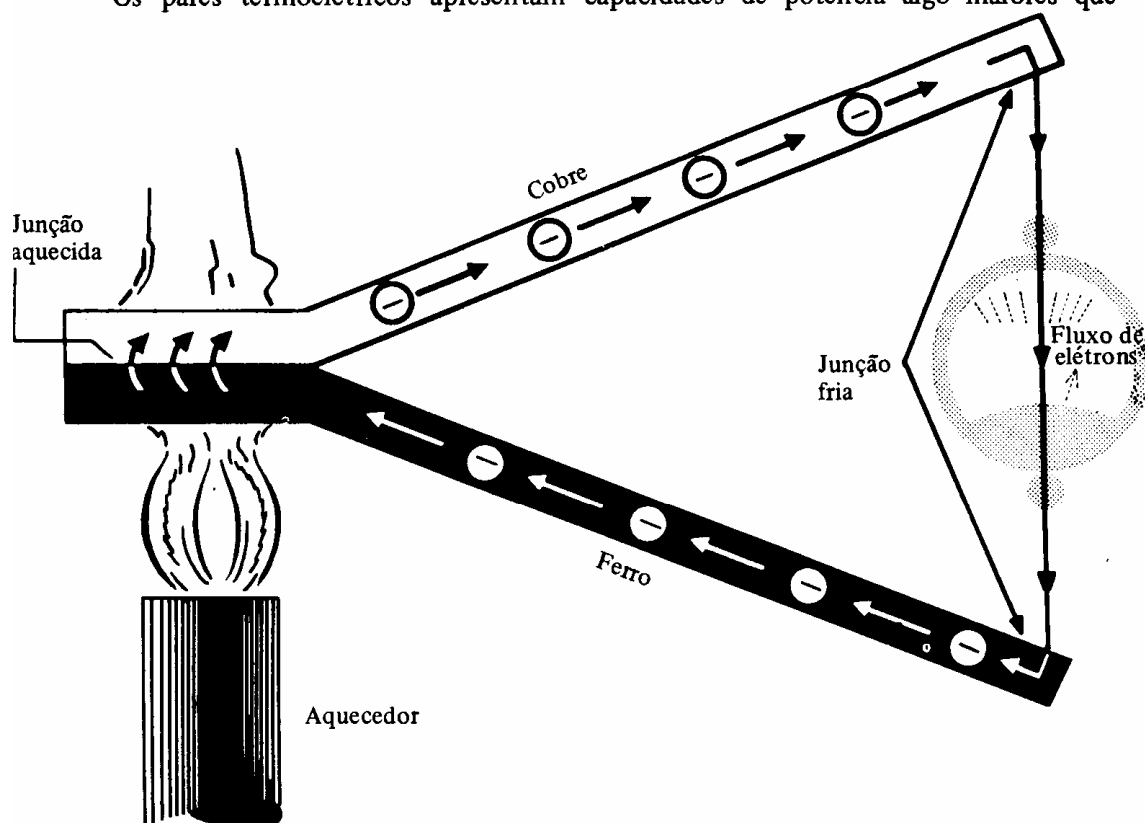


Fig. 2-21. — Produção de tensão pelo calor.

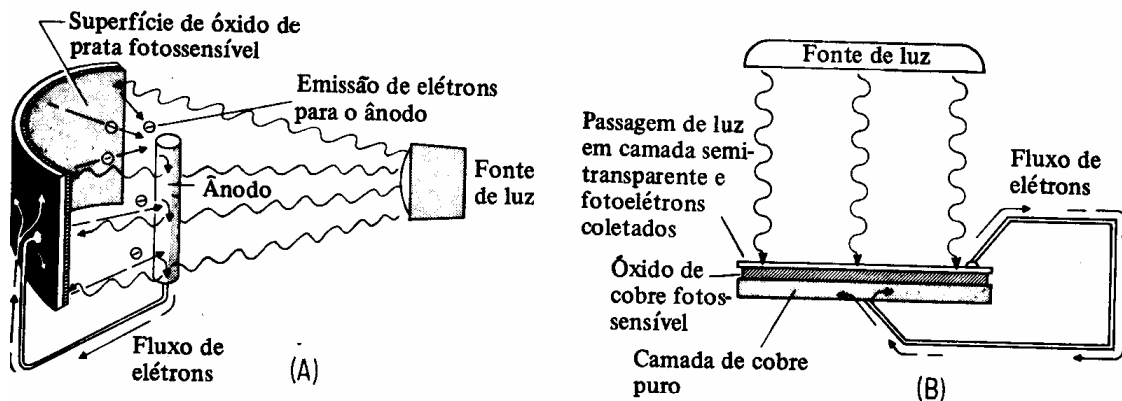


Fig. 2-22. — Produção de tensão pela luz.

os cristais, mas sua capacidade ainda é muito pequena, se comparada com algumas outras fontes de energia. A tensão termoeétrica em um termopar depende, principalmente, da diferença de temperatura entre as junções quente e fria. Conseqüentemente largamente empregado para medir temperatura e, como instrumento sensível ao calor, em equipamento automático de controle de temperatura. Os pares termoeletricos geralmente podem ser submetidos a muito maiores temperaturas que os termômetros comuns, tais como os tipos de mercúrio ou de álcool.

Tensão produzida pela luz

Quando a luz incide sobre a superfície de uma substância, ela pode deslocar elétrons de suas órbitas nos átomos superficiais da substância. Isso ocorre porque a luz, como qualquer força de movimento, possui energia.

Algumas substâncias, normalmente metálicas, são muito mais sensíveis à luz do que outras. Quer dizer, maior número de elétrons será deslocado e emitido da superfície de um metal altamente sensível, com uma determinada quantidade de luz, do que o número de elétrons que será emitido de uma substância menos sensível. À medida que perde elétrons, o metal fotossensível (sensível à luz) torna-se carregado positivamente, e uma força elétrica é criada. A tensão produzida desta forma é denominada “tensão fotoelétrica”.

Os materiais fotossensíveis mais comumente usados para produzir uma tensão fotoelétrica são vários compostos de óxido de prata ou óxido de cobre. Um dispositivo completo que opera segundo o princípio fotoelétrico é chamado de “célula fotoelétrica”. Há muitos tamanhos e tipos de células fotoelétricas em uso, cada uma das quais servindo a um fim especial para o qual foi projetada. Aproximadamente todas, entretanto, possuem alguns detalhes básicos das células fotoelétricas, mostrados na figura 2-22.

A célula mostrada na parte (A) da figura possui uma superfície fotossensível curvada, cujo foco é um ânodo central. Quando a luz, vinda de uma direção como mostrada, incide sobre a superfície fotossensível, esta emite elétrons na direção do ânodo. Quanto mais intensa for a luz, maior será o número de elétrons emitidos. Quando um fio é ligado entre o filamento e a parte posterior ou lado negro, os elétrons acumulados fluirão para esse lado. Esses elétrons, eventualmente, passarão através do metal do refletor e substituirão os elétrons que deixam a superfície fotossensível. Dessa maneira, a energia luminosa é convertida em um fluxo de elétrons, e uma corrente utilizável é desenvolvida.

A célula mostrada na parte (B) da figura é constituída de camadas. Uma placa-

base de cobre puro é coberta com óxido de cobre fotossensível. Uma camada adicional de metal é colocada sobre o óxido de cobre. Essa camada adicional serve para dois propósitos:

1. Ela é **EXTREMAMENTE** fina, a fim de permitir a penetração da luz até o óxido de cobre.
2. Ela também acumula os elétrons emitidos pelo óxido de cobre.

Um fio conectado externamente completa o caminho para os elétrons, da mesma forma que na célula tipo refletor. A tensão da fotocélula é utilizada conectando-se os fios externos a algum outro dispositivo que a amplifica (aumenta) até um nível utilizável para o fim que se desejar.

A capacidade de potência da fotocélula é muito pequena. Contudo, ela reage às variações de intensidade de luz em tempo extremamente curto. Essa característica torna a fotocélula muito útil na detecção ou controle preciso de um grande número de processos ou operações. Por exemplo, a célula fotoelétrica, ou alguma forma de princípio fotoelétrico, é usada em câmeras de televisão, reprodução do som cinematográfico, controle de processo automático de manufatura, travas de porta, alarmes automáticos, etc.

Tensão produzida por ação química

Até este ponto, foi mostrado que os elétrons podem ser removidos dos átomos a que pertencem e postos em movimento pela energia derivada de uma fonte de fricção, pressão, luz ou calor. Em geral, essas formas de energia não alteram as moléculas das substâncias atuantes no processo. Isto é, nesses processos, não são adicionadas, retiradas ou divididas as moléculas das matérias envolvidas no processo. A ação envolve tão-somente elétrons.

Quando as moléculas de uma substância são alteradas, a ação é conhecida como **QUÍMICA**. Por exemplo, se as moléculas de uma substância se combinam com átomos de outra substância, ou se ela cede alguns dos seus átomos, a ação é de natureza química. Tal ação sempre altera o nome e as características da substância afetada. Assim, quando átomos de oxigênio do ar entram em contato com o ferro que não possua camada protetora e são por ele absorvidos, o ferro se “oxida”, a substância se altera, e surge a ferrugem. Neste caso, as moléculas do ferro se alteraram por ação química.

Em alguns casos, quando átomos são adicionados ou retirados das moléculas de uma substância, a mudança química fará com que a substância adquira uma carga elétrica. O processo de produção de tensão por ação química é usado em baterias e será discutido no Capítulo 3 desta coletânea.

Tensão produzida pelo magnetismo

Os ímãs ou dispositivos magnéticos são usados em milhares de aplicações. Uma das aplicações mais freqüentes e útil é na produção de grandes quantidades de energia elétrica, utilizando-se, no processo, uma fonte de energia mecânica. A potência mecânica pode ser fornecida por diferentes fontes, tais como máquinas a diesel ou a gasolina, turbinas hidráulicas ou a vapor. A conversão final dessas fontes de energia em eletricidade é feita por geradores que empregam o princípio da indução eletromagnética. Esses geradores, de diversos tipos e tamanhos, serão discutidos posteriormente neste livro. O importante, no momento, é conhecer os princípios fundamentais de **TODOS** os geradores que utilizam a indução eletromagnética.

Três condições são essenciais para que seja produzida f.e.m. por meio do mag-

netismo. Você poderá aprendê-las bem porque as encontrará com bastante frequência.

1. Deve existir um CONDUTOR, no qual a tensão será produzida.
2. Deve existir um CAMPO MAGNÉTICO nas proximidades do condutor.
3. Deve haver MOVIMENTO RELATIVO entre o campo e o condutor. O condutor deve ser movido de maneira a cortar as linhas de campo magnético, ou o campo magnético deverá ser movido de maneira que suas linhas de força sejam cortadas pelo condutor.

De acordo com essas condições, quando um ou mais condutores ATRAVESSAM um campo magnético, de forma tal que cortam as suas linhas de força, os elétrons que estão NO INTERIOR do condutor são impelidos em um ou outro sentido. É criada, desta forma, uma força elétrica ou tensão.

Observe, na figura 2-23, a presença de três condições necessárias à produção da tensão.

1. Há um campo magnético entre os pólos do ímã.
2. Há um condutor (um fio de cobre).
3. Há movimento relativo. O fio move-se para a frente e para trás CORTANDO as linhas de força.

Na parte (A) da figura, o condutor se move NO SENTIDO DO LEITOR. No condutor, elétrons fluem da esquerda para a direita criando uma diferença de potencial entre os extremos. Tal fato é provocado por uma força eletromotriz (FEM) induzida magneticamente e que exerce sua ação sobre os elétrons do cobre. A extremidade direita do condutor torna-se negativa e a esquerda, positiva. Na parte (B) da figura, o condutor parou de se mover e desaparece a tensão. Na parte (C), o condutor se desloca no sentido contrário. Novamente uma tensão é induzida, desta feita com polaridade trocada. Os elétrons se movem da direita para a esquerda. Observe que uma inversão na direção do movimento do condutor provoca uma inversão no deslocamento de elétrons no condutor, invertendo assim a polaridade da tensão induzida.

Se o circuito elétrico for fechado por meio de um condutor externo, como é mostrado na figura na parte (D), elétrons fluirão no terminal negativo para o terminal positivo do condutor. O fluxo de elétrons será mantido enquanto houver diferença de potencial. Observe que a tensão induzida poderia também ser produzida mantendo-se estacionário o condutor e deslocando-se o campo magnético para frente e para trás.

Em capítulos posteriores desta coletânea, sob o título de “Geradores”, você estudará os aspectos mais complexos da produção de energia elétrica, usando-se movimento mecânico e o magnetismo.

CORRENTE ELÉTRICA

O deslocamento ou fluxo de elétrons no condutor é denominado CORRENTE ELÉTRICA. Nos estudos antigos da eletricidade assumiu-se erroneamente que a corrente era produzida pelo movimento de elétrons do potencial positivo para o potencial negativo. Essa suposição denominada “fluxo convencional da corrente”, marcou profundamente a mente de muitos cientistas, técnicos e autores. Conseqüentemente, essas polaridades para o fluxo de corrente são indicadas em muitos livros textos e esse conceito de movimento dos elétrons deve ser compreendido. Foi provado que o sentido de movimento dos elétrons é de uma região de potencial negativo para uma região de potencial menos negativo, ou seja, potencial mais positivo. Vários termos poderão ser

encontrados neste e em outros livros se referindo ao fluxo de corrente. Os termos corrente, fluxo de corrente, fluxo de elétrons, corrente de létrons, etc. podem ser usados para descrever o mesmo fenômeno. Entretanto, o leitor deverá compreender que, independentemente do termo usado, o movimento dos elétrons será sempre de um potencial negativo para um potencial positivo.

A corrente elétrica é geralmente classificada como sendo de dois tipos: (1) corrente contínua (CC) e (2) corrente alternada (CA). A corrente contínua flui sempre no mesmo sentido ao passo que a corrente alternada periodicamente inverte o sentido. Esses dois tipos de corrente serão estudados em detalhe neste manual. A fim de determinar a quantidade de elétrons que fluem em um determinado condutor, é necessário seja adotado uma unidade de medida para esse fluxo. O termo AMPÈRE foi adotado e é usado como unidade de medida para expressar o fluxo de elétrons. Seu símbolo é

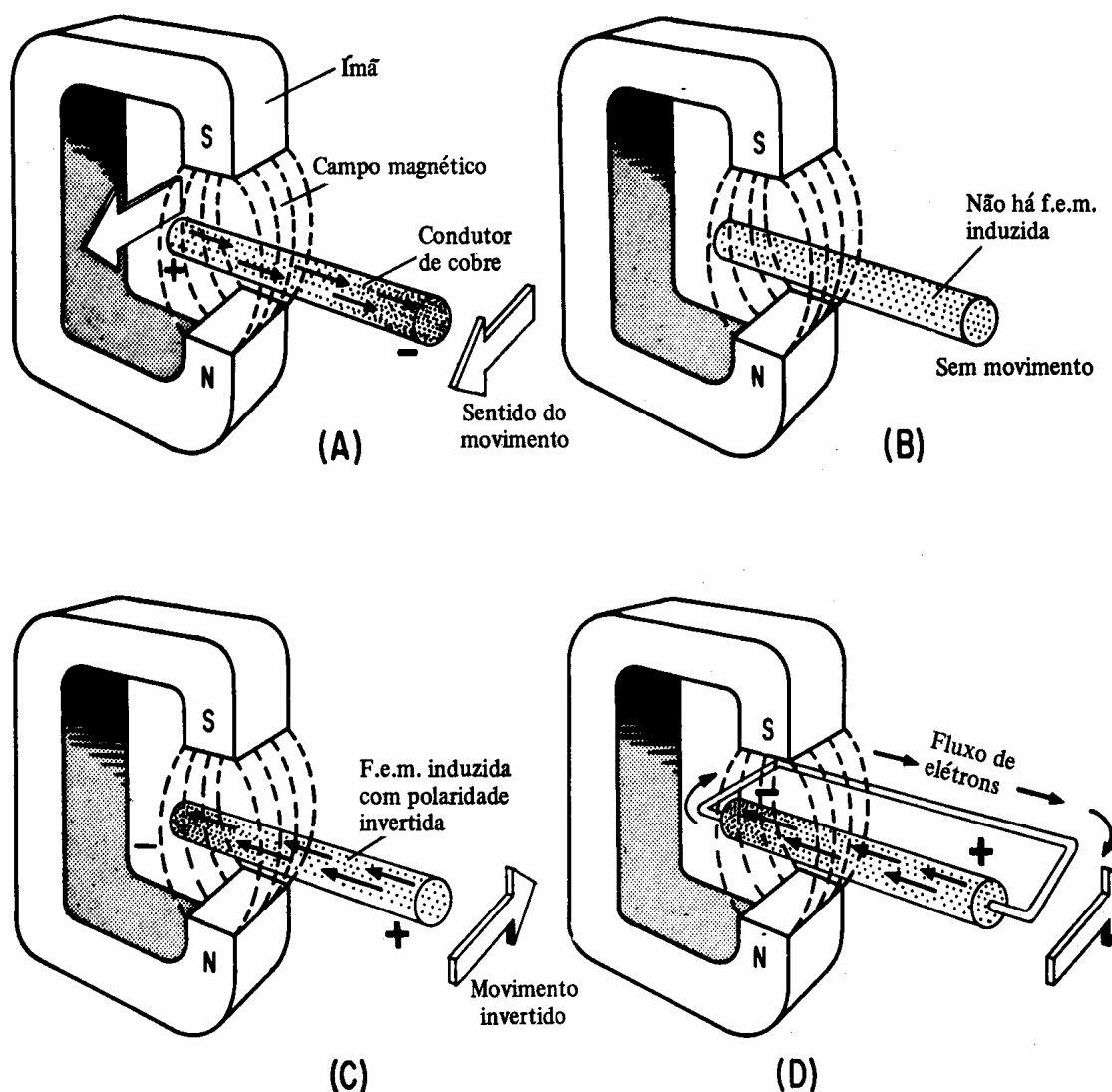


Fig. 2-23. — Tensão produzida pelo magnetismo.

o I. O fluxo de corrente é medido em ampères. Um ampère pode ser definido como sendo o fluxo de $6,28 \times 10^{18}$ elétrons passando por um determinado ponto do condutor.

Uma unidade de quantidade de eletricidade é deslocada no circuito elétrico quando flui um ampère de corrente durante o tempo de 1 segundo. A unidade é equivalente a $6,28 \times 10^{18}$ elétrons e é denominada COULOMB. O coulomb está para a eletricidade assim como o litro está para a água. O símbolo para o coulomb é Q. O fluxo de corrente em ampères e a quantidade de eletricidade que se move no circuito guardam um fator comum de tempo. Assim, a quantidade de carga elétrica, em coulombs, que se move através do circuito é igual ao produto da corrente em ampères, I, e a duração do fluxo em segundos t. Expresso na forma de equação:

$$Q = It$$

Por exemplo, se uma corrente de 2 ampères flui em um circuito durante 10 segundos, a quantidade de eletricidade deslocada no circuito é de 2×10 ou 20 coulombs. Inversamente, a corrente pode ser expressa em termos de coulombs e o tempo em segundos. Assim, se 20 coulombs se deslocar em um circuito no tempo de 10 segundos, a corrente será de $20/10$ ou 2 ampères. Observe que o fluxo de corrente em ampères se refere à razão do fluxo em coulombs ou de segundos. Uma corrente de 2 ampères é equivalente ao fluxo de 2 coulombs por segundo.

RESISTÊNCIA

Todos os materiais oferecem uma certa resistência ou oposição à passagem da corrente elétrica. Bons condutores, tais como o cobre, prata e alumínio, oferecem pouquíssima resistência. Condutores pobres ou isolantes, tais como o vidro, a madeira e o papel, oferecem alta resistência ao fluxo de corrente.

O tamanho e o tipo do material a ser usado como fio em um circuito elétrico é escolhido de maneira a manter tão baixa quanto possível a resistência elétrica. Dessa maneira, a corrente pode fluir facilmente pelo condutor, como a água flui pelo cano que liga os dois tanques da figura 2-19. Se a pressão da água permanecer constante, o fluxo de água no cano dependerá do quanto a válvula está aberta. Quanto menor a abertura, maior será a oposição ao fluxo e menor a razão de vazão em litros por segundo.

No circuito elétrico, quanto maior o diâmetro do fio, menor a resistência elétrica ao fluxo de corrente. Fazendo analogia com a água, a oposição no condutor é equivalente ao atrito no cano. Essa fricção mecânica é semelhante à resistência elétrica. A resistência do cano à passagem da água depende (1) do comprimento do cano, (2) do diâmetro do cano e (3) da natureza das partes internas do cano — lisa ou corrugada. Similarmente, a resistência elétrica dos condutores depende (1) do comprimento do condutor, (2) do diâmetro do condutor e (3) do material com que é feito o condutor — cobre, alumínio, etc.

A temperatura também afeta a resistência dos condutores elétricos. Na maioria dos condutores — cobre, alumínio, ferro, etc. — a resistência aumenta com o aumento da temperatura. O carbono é uma exceção. No carbono, a resistência ôhmica diminui com o aumento da temperatura. Certas ligas de metais, tais como o manganês e o constantan, têm uma resistência que não se altera apreciavelmente com a mudança de temperatura.

A resistência relativa de diversos condutores, de mesmo comprimento e diâmetro, é dada na tabela abaixo, usando-se a prata como referência de valor igual a 1. Os outros metais são relacionados na ordem ascendente de resistência.

Prata.	1
Cobre	1,08
Ouro.	1,4
Alumínio.	1,8
Platina.	7,0
Chumbo	13,5

A resistência no circuito elétrico é expressa pelo símbolo R. Componentes elétricos fabricados especialmente para apresentarem uma resistência definida, são chamados RESISTORES. A resistência é medida em OHMS. Um ohm é definido como a resistência de um elemento do circuito que permite a passagem constante de corrente igual a um ampère (1 coulomb por segundo) quando é aplicada ao circuito uma força eletromotriz constante cujo valor é igual a um (1) volt.

CONDUTÂNCIA

A eletricidade é um estudo que freqüentemente é explicada em termos de opostos. O termo exatamente oposto da resistência é a condutância. A condutância (G) é a capacidade de um material deixar passar elétrons. A unidade da condutância é o *mho*, que é "ohm" de trás para diante. Ao passo que o símbolo da resistência é a letra grega Ω (omega), e o da condutância é $\Uparrow$, omega de cabeça para baixo. A relação entre a resistência e a condutância é recíproca:

$$R = \frac{1}{G} \quad \text{e} \quad G = \frac{1}{R}$$

Se a resistência de um material é conhecida, a divisão de um por seu valor dará a condutância. Analogamente, se a condutância é conhecida, dividindo-se um por seu valor, dará a resistência.