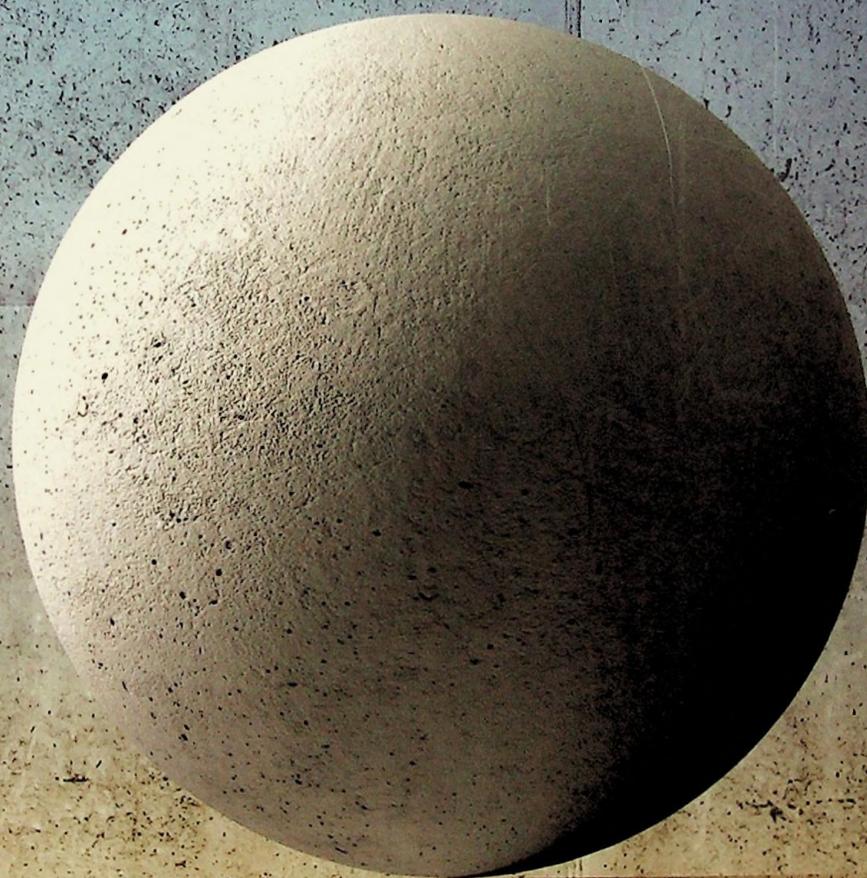


L. A. FALCÃO BAUER

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

JOÃO FERNANDO DIAS
COORDENADOR



 **LTC**

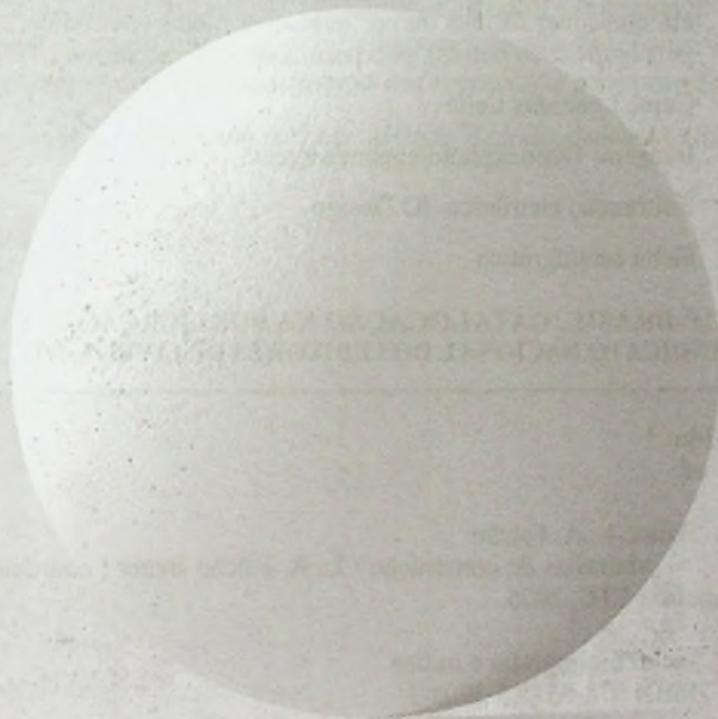
**SÉTIMA
EDIÇÃO**

L. A. FALCÃO BAUER

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

JOÃO FERNANDO DIAS

COORDENADOR



LTC



**SÉTIMA
EDIÇÃO**

22

METAIS

**Prof. Arq. Enlo José Verçosa •
Prof. Dr. Eduvaldo Paulo Sichieri**

- 22.1 Obtenção, 495**
- 22.2 Constituição, 499**
- 22.3 Ligas, 501**
- 22.4 Propriedades Importantes e Ensaos, 503**
- 22.5 Estudo Particular do Alumínio, 511**
- 22.6 Estudo Particular do Chumbo e do Estanho, 514**
- 22.7 Estudo Particular do Cobre e do Zinco, 515**
- 22.8 Ferragens, 517**
- 22.9 Algumas Normas da ABNT, 522**

Neste capítulo, serão estudadas as generalidades dos metais produzidos e utilizados pela indústria metalúrgica e aqueles comumente usados na construção civil.

A indústria metalúrgica é uma atividade de base e abrangente, produzindo vários tipos de metais e seus produtos, a partir dos minérios correspondentes, como alumínio, chumbo, estanho, cobre e zinco.

Já a indústria siderúrgica é a que produz ferro, suas ligas e seus produtos, a partir do minério de ferro. Por sua especificidade, o ferro e o aço serão tratados no Capítulo 32 – Produtos Siderúrgicos.

Ambas, metalúrgica e siderúrgica, são indústrias de base que produzem barras, fios e chapas, que, posteriormente, serão utilizados pela indústria em geral e, especialmente, como tratado aqui, pela indústria da construção civil.

22.1 OBTENÇÃO

22.1.1 Conceito de Metal

Os metais são elementos químicos que têm facilidade em perder elétrons para formar cátions metálicos, podendo, assim, realizar **ligações iônicas** e as **ligações metálicas** que originam suas matrizes cristalinas.

A **ligação iônica** ocorre entre metais e não metais, como oxigênio, carbono, fósforo, enxofre etc. Nesta reação química, o metal perde elétrons (oxidação) e o elemento não metálico ganhará esses elétrons (redução). Ocorre, portanto, uma reação de oxidação/redução.

A **ligação metálica** ocorre entre os átomos de um único elemento metálico formando reticulados

cristalinos [Fig. 22.1(a)]. As ligas intermetálicas ocorrem a partir da solubilização do elemento de menor teor dentro da matriz cristalina formada pelos átomos do elemento em maior teor, conforme mostrado na Figura 22.2. É a chamada solução sólida substitucional.

Na ligação metálica, os elétrons presentes na camada de valência dos átomos do metal se despreendem desse orbital, fazendo com que o átomo do metal fique deficiente de elétrons, tornando-se um cátion. Esses elétrons provenientes do metal passam a rodear os cátions, formando uma nuvem de elétrons que tem a capacidade de se mover pelo retículo cristalino [Fig. 22.1(b)]. Por isso, os metais são bons condutores de eletricidade. Da mesma maneira, como os átomos não ficam presos entre si por uma ligação covalente, os metais têm boa condutibilidade térmica, são capazes de sofrer deformações sem se romper, são dúcteis e, como formam reticulados cristalinos, apresentam equivalentes resistências tanto à compressão quanto à tração.

Características gerais dos metais:

- são sólidos em temperatura ambiente, com exceção do mercúrio;
- apresentam alto brilho;
- fundem em altas temperaturas;
- com exceção do ouro, que é dourado, e do cobre, que é avermelhado, apresentam cor prateada;
- os metais constituídos de um único elemento formam sempre reticulados cristalinos.

As propriedades físicas dos metais são, portanto, justificadas pela ligação metálica:

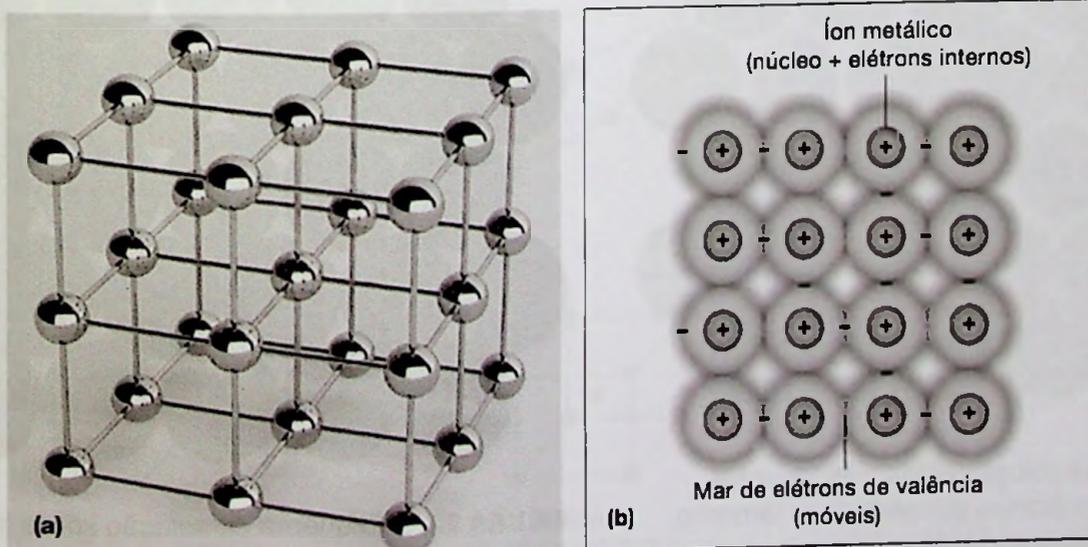


FIGURA 22.1 Esquemas do (a) retículo cristalino e da (b) nuvem de elétrons de valência.

a) Plasticidade (capacidade de sofrer deformações sem se romper)

Os átomos do retículo cristalino podem migrar para uma nova posição por meio de uma força externa sem que haja ruptura. Assim, podemos produzir lâminas, chapas grossas e finas, perfis laminados etc.

b) Condutibilidade elétrica e térmica

De modo geral, os metais são bons condutores de corrente elétrica e calor. Quando um metal qualquer está em contato com uma fonte de calor, os cátions têm grande liberdade para vibrar, conduzindo, assim, o calor. No caso de ser submetido a uma diferença de potencial elétrica, as nuvens de elétrons migram para o polo positivo, conduzindo a eletricidade.

c) Ductilidade

A capacidade de o metal se deformar sem romper é chamada ductilidade. Podemos deformá-lo para dar formas diversas e produzir fios.

22.1.2 Ligas

Como foi dito anteriormente, os metais não fazem ligação química com outros elementos metálicos diferentes. Porém, eles não são normalmente empregados puros, mas fazendo parte de ligas.

As **ligas intermetálicas** são soluções sólidas em que outro elemento metálico (soluto) é dissolvido na matriz metálica originária (solvente) por meio da fusão. Durante o processo de resfriamento, o soluto irá ocupar o lugar do metal original (solvente) da matriz durante o resfriamento. Essa substituição é possível graças aos tamanhos similares entre os

átomos dos metais. Porém, como os elementos metálicos têm tamanhos diferentes, esse átomo que “substitui” o átomo original irá provocar distorções na rede cristalina. As distorções ocorrerão se o átomo adicionado for menor (como na Fig. 22.2) ou maior. Essa distorção na rede cristalina provoca tensões internas no cristal, aumentando sua resistência mecânica. As ligas intermetálicas são, portanto, **soluções sólidas substitucionais** com resistência mecânica maior do que o metal puro.

Nas adições durante a fusão de **elementos de liga não metálicos**, os átomos adicionados são muito menores que os átomos da matriz metálica. Nesse caso, durante o resfriamento, o elemento químico adicionado com tamanho muito menor do que os átomos da matriz somente poderá ocupar os interstícios da rede cristalina. A solução sólida assim formada é chamada **solução sólida intersticial**, conforme a Figura 22.3. É o que ocorre, por exemplo, com parte do carbono adicionado ao ferro para formar o aço.

Tanto no caso das soluções sólidas substitucionais quanto nas soluções sólidas intersticiais há um limite para a dissolução do elemento químico adicionado na matriz cristalina do metal. Esse limite é chamado **limite de solubilidade substitucional** ou **limite solubilidade sólida intersticial**.

O limite de solubilidade sólida intersticial se dá quando não existem mais interstícios disponíveis para serem ocupados pelo elemento não metálico adicionado, por exemplo, dissolução do açúcar na água. Ao adicionarmos açúcar à água, observa-se que o produto vai sendo dissolvido até determinado teor, a partir do qual o açúcar não é mais dissolvido na água

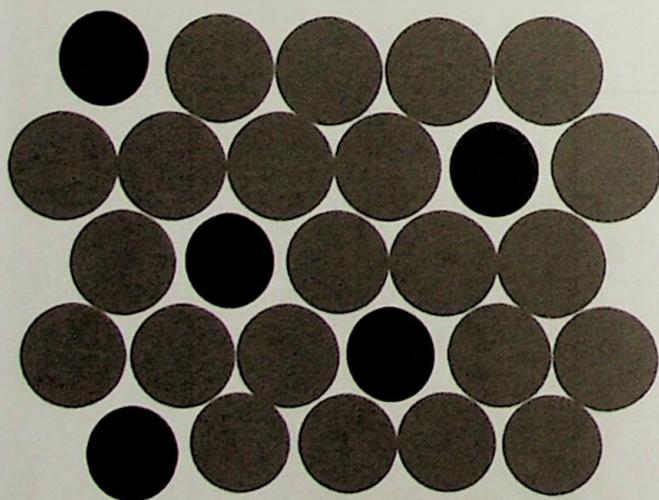


FIGURA 22.2 Na solução sólida substitucional, os átomos do soluto (com tamanho diferente do átomo da matriz) ocupam o lugar de átomos do solvente (matriz).

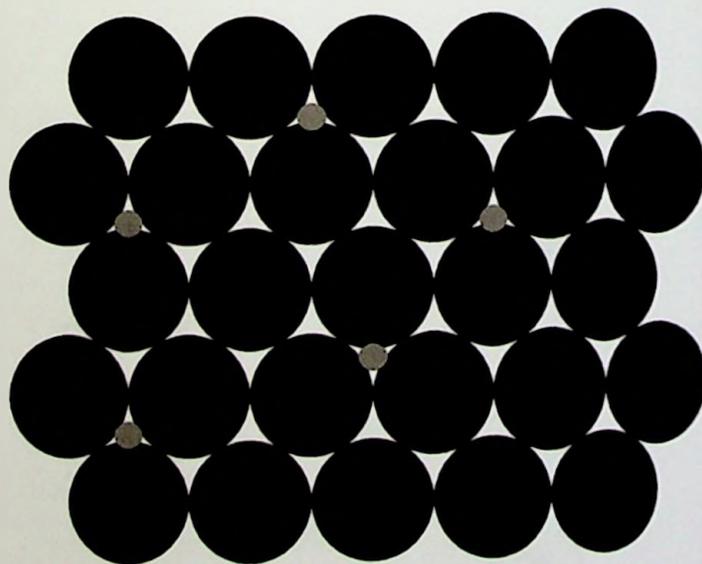


FIGURA 22.3 Esquema da solução sólida intersticial. No aço, parte do carbono ocupa os interstícios da rede cristalina.

e precipita saturado de água no fundo do copo. Esse teor é chamado limite de solubilidade. Da mesma maneira, normalmente o elemento não metálico em excesso irá formar um composto metal/não metal que irá se precipitar nos contornos de grãos da matriz.

Aqui, devemos lembrar que a microestrutura cristalina dos metais após solidificação é formada por inúmeros cristais que crescem de maneira independente, uns em direção aos outros. Ao se encontrarem, há uma descontinuidade da rede cristalina, formando os chamados “contornos de grãos”, cuja carência de átomos favorece a aglomeração de elementos químicos estranhos à matriz.

O aumento da temperatura aumenta o limite de solubilidade.

Nas soluções substitucionais, quando atingido o limite de solubilidade, ocorrerá a formação de novos reticulados cristalinos, ou uma nova fase cristalina. Uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado, por exemplo, pode se distorcer tanto que pode se precipitar como tetragonal de corpo centrado. **Esses fenômenos ocorrem por difusão na matriz cristalina. A formação dessas novas fases cristalinas sempre se iniciam nos contornos de grãos e se difundem para o interior destes.** Adições de elementos de liga metálicos podem, portanto, provocar precipitações de novas fases cristalinas, que, somadas às distorções provocadas pelos átomos que permaneceram em solução substitucional no reticulado cristalino, de uma maneira geral, produzirão ligas com maiores resistências mecânicas.

As “fases cristalinas” mais comuns são aquelas cujos reticulados cristalinos assumem as formas cúbicas, cúbicas de corpo centrado, cúbicas de face centrada e tetragonal de corpo centrado (Fig. 22.4).

22.1.3 Minério

Os metais aparecem na natureza em estado livre ou, mais comumente, como compostos. Em geral, para serem explorados economicamente, devem estar concentrados em jazidas.

Chama-se jazida a uma massa de substâncias minerais ou fósseis, existentes na superfície ou no interior da Terra, que venham a ser ou sejam valiosas para a mineração.

Mina é a jazida na extensão concedida pelo governo. Toda a mineração é controlada pelo Código de Minas, sob a supervisão da Divisão de Fomento da Produção Mineral, do Ministério de Minas e Energia.

Seja no estado livre, seja na forma de compostos, dificilmente as substâncias portadoras são encontradas puras, como acontece com as pepitas de ouro ou prata. Em conjunto com as substâncias portadoras geralmente estão impurezas, genericamente chamadas gangas. A essa mistura de metal, compostos de metal e impurezas é que se chama minério: é o modo como o metal se encontra naturalmente.

A partir do minério, a obtenção de um metal passa por duas fases distintas: a mineração e a metalurgia.

Mineração é a extração do minério, normalmente compreendendo duas etapas: a colheita do minério e a sua concentração. Já a metalurgia, tem por finalidade obter o metal puro, a partir do composto portador.

22.1.4 Mineração

De acordo com o modo como se apresenta a jazida, a colheita pode ser feita a céu aberto ou ser subterrânea.

A concentração tem por finalidade separar os minérios utilizáveis dos economicamente pobres e eliminar a ganga que não faz parte da sua constituição

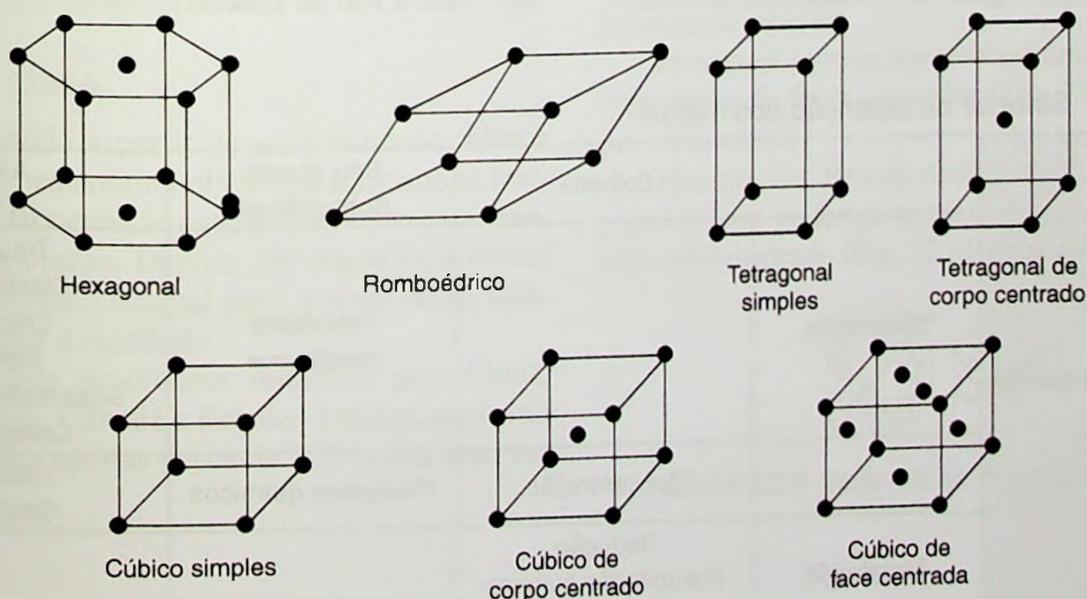


FIGURA 22.4 Estruturas cristalinas.

(areia, argila, organismos etc.). É uma purificação do minério, que pode ser executada por processos mecânicos ou químicos.

Entre os processos mecânicos, estão a fragmentação ou trituração (o minério é quebrado em pedaços menores), classificação (são separadas as pedras inúteis), levigação (o minério é posto em água corrente; como o metal é normalmente mais pesado que a ganga, afunda; a ganga é recolhida na superfície), flotação (quando a ganga é mais pesada que o minério, são misturados com óleo e água, e depois recebem uma insuflação de ar; forma-se uma espuma rica em minério, que é colhida na superfície, enquanto a ganga se deposita no fundo), separação magnética (o ímã, ao passar sobre os pedaços, atrai o metal e deixa as impurezas), lavagem simples etc.

Os processos químicos transformam os minérios em substâncias facilmente recuperáveis e eliminam a ganga. Entre eles, temos a ustulação (aquecimento do minério sob forte jato de ar) e a calcinação (sob fogo direto).

22.1.5 Metalurgia

O metal puro é extraído do minério por um dos seguintes processos: redução, precipitação química ou eletrólise.

O processo de redução mais comum é feito com carbono ou óxido de carbono a altas temperaturas, em fornos, do qual resulta o metal puro ou quase puro, em estado de fusão.

O processo de precipitação simples usa alguma reação simples, da qual resulta o metal puro.

O processo eletrolítico só pode ser empregado em minérios que possam ser dissolvidos na água. A eletrólise é usada também para purificação (refinação) de metais obtidos por alguns dos processos anteriores.

22.1.6 Sinopse de Obtenção dos Metais

Com base no que foi exposto anteriormente, pode-se organizar o Quadro 22.1.

22.1.7 Principais Minérios e Ocorrências dos Metais Não Siderúrgicos

22.1.7.1 Alumínio

O alumínio constitui um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre; mas, geralmente, é encontrado em forma tal que sua extração não é economicamente recomendável. É o caso, por exemplo, das argilas, das quais o alumínio é parte integrante, mas em proporção tal que não compensa a extração.

O minério normalmente explorado é a bauxita, óxido, que se apresenta em duas formas: $O_2Al_2(HO)_3$ ou $Al_2(HO)_3$. O metal puro é deles extraído por eletrólise.

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de alumínio primário, precedido pela China, pela Rússia, pelo Canadá e pelos Estados Unidos. Além de abrigar a terceira maior jazida de bauxita do planeta, o Brasil também é grande produtor de alumina e hidróxido de alumina.

No mercado interno, a maior parte da aplicação do alumínio e seus produtos destina-se aos segmentos de embalagens e transportes, de acordo com a Associação Brasileira de Alumínio (Abal). Na sequência, vêm os segmentos de eletricidade, construção civil, bens de consumo, máquinas e equipamentos. A produção de semimanufaturados de alumínio no país está concentrada na região Sudeste (Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro).

QUADRO 22.1 Sinopse de obtenção dos metais

Obtenção dos metais		Colheita	Céu aberto Subterrânea	A ferro A fogo
	Mineração		Processos mecânicos	Trituração Classificação Levigação Flotação Separação magnética Lavagem etc.
		Concentração	Processos químicos	Ustulação Calcinação
	Metalurgia	Redução Precipitação química Eletrólise		

22.1.7.2 Chumbo

O principal minério de chumbo é a galena, sulfeto, de fórmula PbS . O metal puro é extraído por fundição redutora.

Os principais produtores mundiais são: China, Estados Unidos, Austrália, Peru, México, Canadá, Índia, Bolívia e Polônia.

O Brasil, que não é autossuficiente em chumbo, dispõe de minas deste minério em São Paulo, Paraná, Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

22.1.7.3 Cobre

O cobre é obtido a partir de diversos minérios: calcosina Cu_2S (sulfato), cuprita Cu_2O (óxido), calcopirita $Cu_2S-Fe_2S_3$ (sulfato), malaquita e azurita (carbonatos). O metal puro é extraído por calcinação e fusão.

Seus maiores produtores são: Chile, Indonésia, Peru, Austrália, Argentina e Canadá. No Brasil, há ocorrências importantes no Pará, Alagoas, Rio Grande do Sul (Caçapava, Camaquã, Seival e Bagé), Bahia e Goiás.

O Brasil é o 10º maior produtor mundial de cobre e espera para breve uma balança comercial positiva no comércio desse metal.

22.1.7.4 Estanho

Seu minério é a cassiterita SnO_2 , dióxido, ou eventualmente, em forma livre, piritas.

Seus maiores produtores mundiais são: China, Indonésia, Peru, Bolívia, República Democrática do Congo e Brasil.

Os principais estados brasileiros produtores de estanho são Amazonas e Rondônia, com cerca de 43 e 35 %, respectivamente.

22.1.7.5 Zinco

O zinco é obtido a partir de seus minérios: blenda ZnS (sulfato), calamina (silicato) e smithsonita (carbonato). Inicialmente, se aquece o minério para separá-lo das impurezas. Depois, ele segue para fornos especiais, nos quais o metal puro, por ser muito volátil, se sublima e é recolhido.

Os maiores produtores mundiais são: China, Austrália, Peru, Canadá e Estados Unidos, enquanto o Brasil detém apenas cerca de 1,2 % das reservas mundiais.

22.2 CONSTITUIÇÃO

22.2.1 Cristalização

Todas as substâncias são formadas de átomos. Sabe-se que esses átomos giram e vibram com velocidades maiores ou menores, conforme maiores ou menores sejam as temperaturas dessas substâncias. Essa atividade atômica manifesta-se, então, pela coesão, levando as substâncias aos estados gasoso, líquido, pastoso ou sólido. O agrupamento de átomos forma a molécula.

Nos corpos sólidos, que é o caso dos metais no estado normal, os átomos podem agrupar-se de maneira ordenada, quando se têm os corpos cristalinos, ou de maneira desordenada, como no caso dos corpos amorfos.

Todos os metais têm estrutura cristalina no estado sólido.

Os corpos amorfos são isotrópicos, isto é, suas propriedades físicas e mecânicas não dependem de direção.

Os corpos cristalinos são anisotrópicos: as propriedades variam com a orientação dos cristais. Mas, como há muitos cristais, distribuídos desuniformemente, os metais apresentam uma "falsa isotropia". Quanto menores os grãos, maior a falta de orientação e, portanto, maior a falsa isotropia.

As deformações a frio, nos metais, tendem a orientar os grãos, aumentando a anisotropia.

22.2.2 Exame Cristalográfico

É possível determinar a estrutura cristalina de um metal com a análise de seu espectro aos raios X. Os raios X mostram os planos de cristalização, o que permite medir o seu afastamento e também localizar os nós, nos quais estão os átomos. Com isso, tem-se a constante reticular.

Os metais comuns apresentam uma estrutura em rede cúbica de faces centradas (Fig. 22.5), composta por 14 átomos.

Há exceções. Para os alcalinos e alcalinoterrosos, e para o ferro na temperatura de forja, a disposição é a de cubo centrado (Fig. 22.6), com nove átomos.

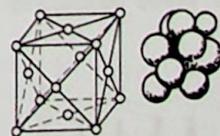


FIGURA 22.5 Rede cúbica de faces centradas.

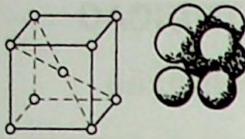


FIGURA 22.6 Cubo centrado.

E há ainda, em certos estados alotrópicos, a rede hexagonal compacta, com os cristais nos vértices de um prisma hexagonal, mais um no centro de cada topo, e mais três átomos presos no interior do conjunto (Fig. 22.7).

22.2.3 Formação dos Grãos

Os átomos se reúnem formando os cristais, que são as moléculas dos metais. Essas moléculas são pequeníssimas, não visíveis. Agrupam-se entre si, formando os grãos ou dendritas (do grego, *dendron* = árvore), que, em certos casos, são visíveis a olho nu.

Seja um metal em fusão, que depositamos em um recipiente à temperatura normal (Fig. 22.8). Em razão de as correntes de esfriamento (tendência a estabelecer-se o equilíbrio térmico entre o conteúdo e o continente) terem direção perpendicular à superfície de contato, em uma primeira etapa os primeiros grãos que se resfriam formam agulhas no sentido normal à parede [Fig. 22.8(a)]. Por terem esfriado, essas agulhas geram novas correntes de esfriamento, agora perpendiculares a si, e aparecem ramificações, como se vê na Figura 22.8(b). As novas ramificações irão sucessivamente formando outras, de maneira a dar uma aparência geral de árvore [Fig. 22.8(c)], até que cada dendrita encontra as ramificações da dendrita vizinha e não há mais metal a solidificar [Fig. 22.8(d)]. Entre as dendritas, se estabelece uma separação, facilmente visível, chamada filme ou película intercrystalina, de muita importância na resistência do metal.

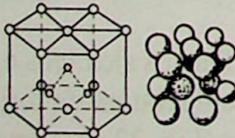


FIGURA 22.7 Rede hexagonal compacta.

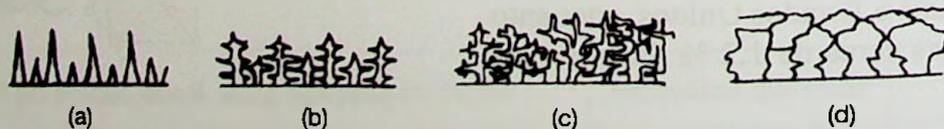


FIGURA 22.8 Formação e crescimento da dendrita.

Em função das correntes citadas, o corte de uma peça fundida (por exemplo, um lingote) apresentará as zonas gerais que se veem na Figura 22.9. Há uma camada externa de grãos dispostos irregularmente, mas muito finos e achatados e geralmente de menor coesão com a massa; é a casca de fundição, facilmente destacável. Essa camada se forma instantaneamente ao contato do metal quente com a lingoteira fria e, então, os grãos se desenvolvem tão rapidamente que não há tempo de se desenvolverem ou entrelaçarem. Segue-se uma zona intermediária, em que os grãos têm direção geral orientada perpendicularmente à superfície. Essa tendência é menor à medida que se aproxima do centro, onde a disposição já é completamente irregular.

A observação desse fenômeno explica o fato de que as quinas, em metais, são mais fracas e, portanto, devem ser evitadas. Em uma quina reta [Fig. 22.10(a)], há uma bissetriz geral, em que a

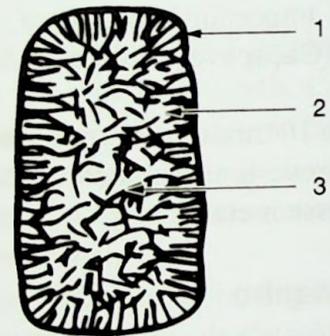


FIGURA 22.9 Formação irregular das dendritas em um lingote após solidificação.

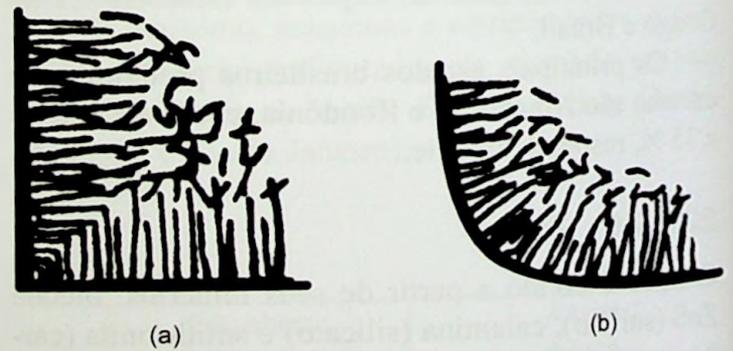


FIGURA 22.10 Esquema de crescimento das dendritas em moldes com cantos vivos e arredondados.

tendência é um filme intercrystalino contínuo, sem o entrelaçamento necessário à coesão. Uma forma com quinas arredondadas, como na Figura 22.10(b), constituiria melhor solução.

Convém registrar também que a obtenção de granações finas depende da velocidade de esfriamento e do estado de agitação do metal fundido. O resfriamento lento ou calmo produz dendritas maiores. Ora, quanto menores os grãos, menor a falsa isotropia, e, por isso, a granulação fina é preferível à granulação graúda; há maior homogeneidade.

22.2.4 Filme Intercristalino

O filme intercrystalino não é ausência de matéria. É uma fina película que, tendo sido solicitada simultaneamente pelas duas dendritas vizinhas, se solidificou de forma amorfa, não cristalina. Em geral, o filme tem constituição química diferente, e nele se localizam as impurezas e as substâncias estranhas.

Em consequência da cristalização amorfa, o filme intercrystalino geralmente tem, na temperatura ordinária, maior coesão que as dendritas. Nessas condições, a ruptura de um metal se dá por meio dos cristais. Porém, à medida que aumenta a temperatura, o filme perde rapidamente suas propriedades mecânicas – o que não acontece com os cristais, pois são mais estáveis –, e então ocorre a ruptura.

22.3 LIGAS

Em geral, os metais não são empregados puros, mas fazendo parte de ligas.

Liga é a mistura, de aspecto metálico e homogêneo, de um ou mais metais entre si ou com outros elementos. Deve ter constituição cristalina e comportamento como metal.

As ligas, geralmente, têm propriedades mecânicas e tecnológicas melhores que as dos metais puros.

As ligas podem classificar-se em: misturas mecânicas, soluções sólidas ou compostos químicos.

Diz-se que há mistura mecânica quando os cristais dos metais componentes estão simplesmente

misturados, por exemplo, a liga estanho-chumbo na solda de funileiro.

Quando ocorre interligação dos cristais durante a solidificação, há o que se chama solução sólida. Elas podem ser soluções sólidas substitucionais, quando os átomos do metal dissolvido ocupam o lugar do átomo da matriz que é o solvente, ou soluções sólidas intersticiais, quando um pequeno átomo de um não metal ocupa os vazios da rede cristalina do metal. O exemplo típico é o aço, em que o átomo pequeno do carbono ocupa os vazios do cristal de ferro.

Há também casos em que os dois metais formam um composto químico diverso, como a liga de cobre e zinco.

Os processos gerais de obtenção das ligas são: fusão, pressão, eletrólise, aglutinação e metalurgia associada.

22.3.1 Diagramas de Equilíbrio

À medida que se aquece um metal, vai aumentando a vibração dos átomos e a atividade orbital, até que chega a um ponto em que começa a fusão [Fig. 22.11(a)]. Enquanto toda a massa não está fundida, a temperatura permanece constante; depois da fusão total, a temperatura recomeça a ascensão.

A temperatura também permanece constante quando há esfriamento: a temperatura permanece estável durante a solidificação [Fig. 22.11(b)].

Normalmente, porém, a temperatura de solidificação fica abaixo da temperatura de fusão: é o fenômeno da sobrefusão [Fig. 22.11(c)]. Em alguns casos, ainda, é preciso que se chegue a temperaturas menores e, quando iniciada a solidificação, a temperatura do metal sobe para um patamar em que permanece constante durante a transformação [Fig. 22.11(d)].

Sabe-se que os patamares do diagrama de esfriamento ou aquecimento correspondem aos momentos em que há formação de tipos diferentes de cristais. No caso do ferro puro (Fig. 22.12), por exemplo, há vários patamares que correspondem a diversas formações de cristais.

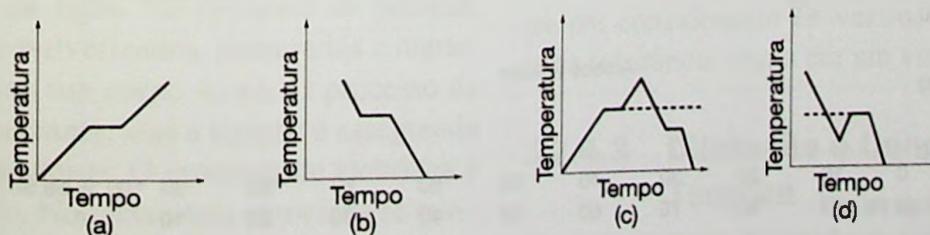


FIGURA 22.11 Esquemas de diagramas de fusão e solidificação de metais puros.

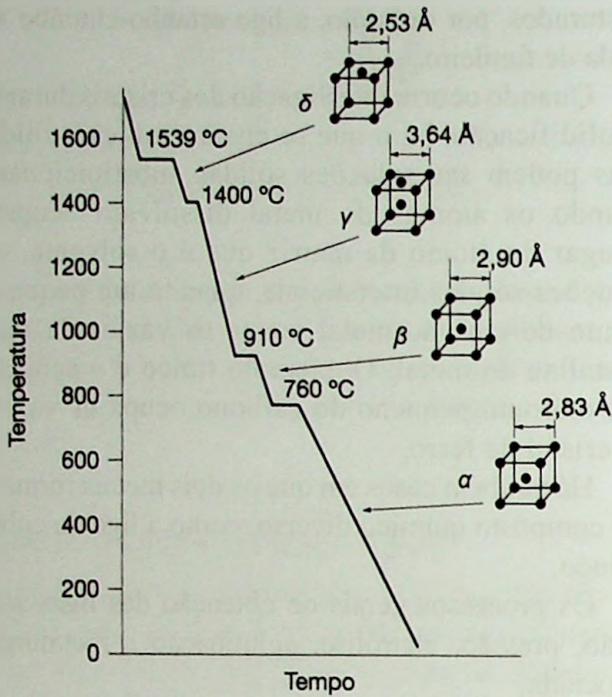


FIGURA 22.12 Formação de diferentes reticulados cristalinos durante a solidificação do ferro puro.

Ao se tomar uma liga de dois metais e ao se traçarem os diagramas de esfriamento para as diversas composições, obtém-se um sistema de curvas que pode, por exemplo, ser igual ao da Figura 22.13, para a liga chumbo-antimônio.

Os pontos de deflexão e patamares correspondem à formação de cristais e estados distintos.

Ao se representar no eixo vertical a temperatura e no horizontal a porcentagem de um dos metais componentes, ter-se-á o diagrama de equilíbrio da liga (Fig. 22.14).

Há quatro tipos fundamentais de diagramas de equilíbrio [Fig. 22.15(a)]. A experiência demonstrou que as propriedades mecânicas e físicas se relacionam intimamente com esses diagramas. Na Figura 22.15(b), aparecem as curvas típicas da resistência à ruptura e da dureza para os respectivos diagramas.

Como se vê, podem-se ali escolher as propriedades desejadas e saber, então, a composição da liga que as tenha.

O ponto 0 da Figura 22.14, em que as linhas de sólidos e líquidos coincidem, é chamado ponto

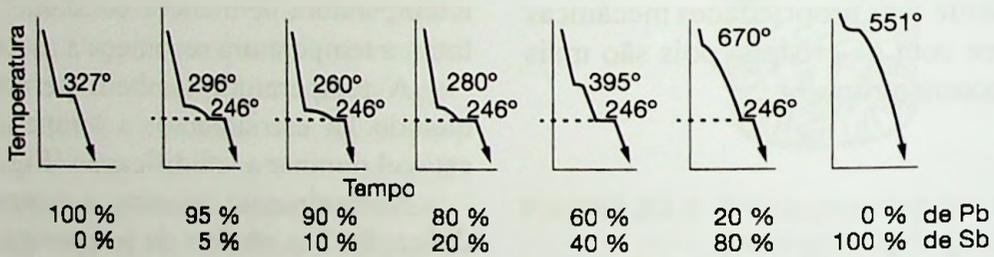


FIGURA 22.13 Exemplos de diagramas de solidificação de diferentes ligas de chumbo-antimônio.

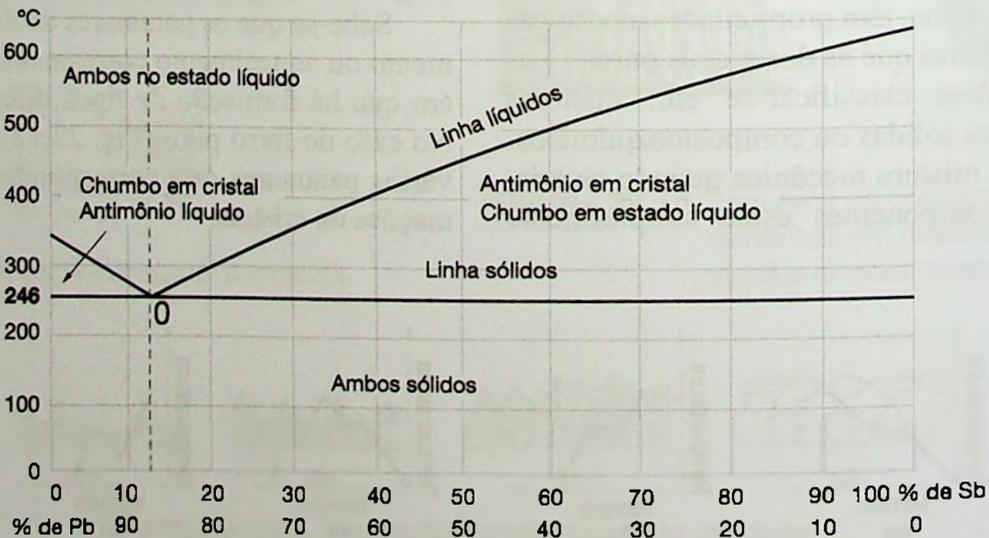


FIGURA 22.14 Diagrama de equilíbrio para ligas chumbo-antimônio.

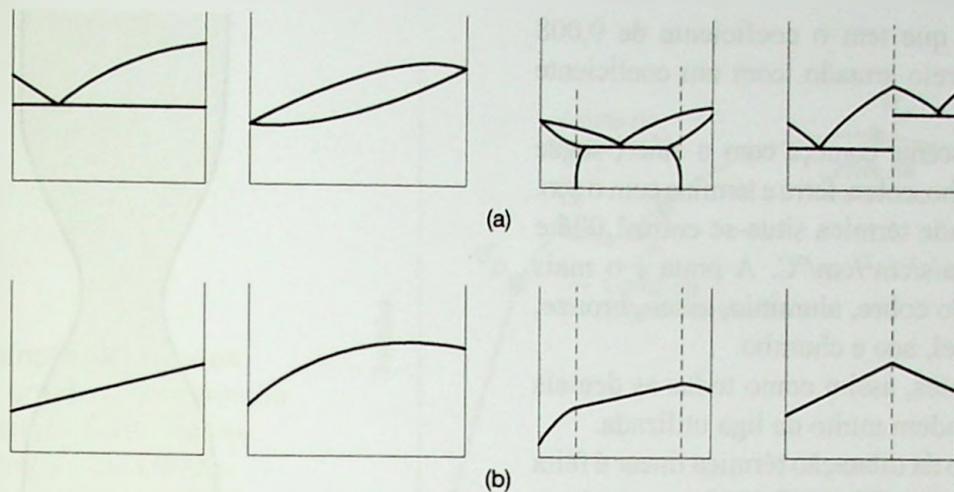


FIGURA 22.15 Exemplos de diagramas de equilíbrio (a) e curvas típicas da resistência à ruptura e da dureza para os respectivos diagramas (b).

eutético. É um ponto de particular importância. As composições que lhe ficam à esquerda (menos de 13 % de antimônio) são chamadas hipoeutéticas, enquanto as que ficam à direita, hipereutéticas.

22.3.2 Obtenção das Ligas

O processo mais simples de obtenção de ligas é o de fusão. Consiste em misturar os componentes fundidos na proporção desejada. Pode ser também a mistura de um metal infusível, pulverizado, com outro metal no estado de fusão.

Mas há ligas em que esses processos não são aplicáveis, ou porque antes da solidificação há separação, ou porque os pontos de solidificação são muito diferentes, ou porque há decantação rápida.

No caso de metais que se misturam bem a altas temperaturas e mal a temperaturas baixas, formam-se, na solidificação, dois tipos de cristais, em que os menores enchem os espaços dos maiores. É um caso normal, visto que apenas na liga eutética a solidificação é simultânea.

Ora, é bastante comum que, nos casos não eutéticos, a liga resultante tenha maior porcentagem nas camadas externas do metal que se solidifica primeiro. É a segregação, liquação ou distribuição desuniforme.

Quando isso ocorre, são usados outros processos de formação de ligas. No processo de pressão, os dois metais são pulverizados, misturados e martelados, até formarem um corpo único. O processo de aglutinação é semelhante, mas a ligação é assegurada por um cimento qualquer. O processo de eletrólise é bastante conhecido. Na metalurgia associada se purifica minério já composto dos metais de que se quer fazer a liga ou a mistura de seus minérios.

22.4 PROPRIEDADES IMPORTANTES E ENSAIOS

Para o emprego na construção civil, as propriedades que interessam são: aparência, densidade, resistência à tração e compressão, dureza, dilatação e condutibilidade térmica, condutibilidade elétrica, duração, resistência ao choque, à fadiga e à oxidação.

22.4.1 Aparência

Todos os metais comuns são sólidos à temperatura ambiente, com exceção do mercúrio, que é líquido. A porosidade não é aparente. Apresentam brilho característico, que pode ser aumentado por polimento ou tratamentos químicos.

22.4.2 Massa Específica

A massa específica μ dos metais comuns varia entre 2,56 e 11,45 g/cm³ (a platina alcança 21,30) à temperatura ordinária. Essa massa específica depende muito das ligas utilizadas.

A massa específica para os metais é sempre calculada a partir de uma quantidade de metal em determinado volume, sem vazios, ou seja, maciço, bastando dividir o peso de um bloco pelo seu volume maciço. Cada substância tem sua correspondente massa específica.

O cálculo da densidade é feito da mesma maneira, porém considerando os vazios, ou partes ocas, que uma substância ocupa em um volume.

22.4.3 Dilatação e Condutibilidade Térmica

O coeficiente de dilatação dos metais situa-se entre 0,10 e 0,030 mm/m/°C. Como comparação, pode

ser citado o vidro, que tem o coeficiente de 0,008 mm/m/°C, e o concreto armado, com um coeficiente de 0,01 mm/m/°C.

A ordem decrescente começa com o zinco, segue com o chumbo, estanho, cobre, ferro e termina com o aço.

A condutibilidade térmica situa-se entre 1,006 e 0,080 caloria grama/s/cm²/cm/°C. A prata é o mais condutor, seguida do cobre, alumínio, zinco, bronze, ferro, estanho, níquel, aço e chumbo.

Esses coeficientes, assim como todas as demais propriedades, dependem muito da liga utilizada.

A determinação da dilatação térmica linear é feita pelo método da ABNT NBR 6637:2013, que, embora específico para materiais refratários, é aplicável para metais. Trata-se de um dilatômetro especial, aplicado a um corpo de prova cilíndrico, e colocado em um forno. O aparelho tem medidores para a temperatura e comprimento. Com esses valores é fácil traçar a linha de dilatação ou calcular o coeficiente.

22.4.4 Condutibilidade Elétrica

Os metais são muito bons condutores de eletricidade. O cobre, por exemplo, tem sido usado tradicionalmente na transmissão de energia elétrica, e recentemente, por questões econômicas, vem sendo substituído pelo alumínio.

22.4.5 Resistência à Tração

Esta é uma das propriedades mais importantes na construção.

Quando se submete uma barra do metal à tração axial, aparecem tensões internas. A tensão de tração é obtida dividindo-se a força aplicada pela área inicial da seção transversal. Essa tensão determina o aumento do comprimento da barra, o que é chamado deformação.

Chama-se alongamento a expressão:

$$\frac{L - L_0}{L_0} 100 \% \quad (22.1)$$

em que L_0 é a base de medida marcada no corpo de prova antes do ensaio, e L , a distância entre essas marcas, após a ruptura e uma vez reajustadas as duas partes da barra rompida da melhor maneira possível.

O alongamento determina, no corpo de prova, uma redução da seção variável ao longo do comprimento. A seção que sofre maior redução será também a que terá maior tensão, o que determinará ainda maior diminuição da seção naquele local. Formar-se-á uma estrição (Fig. 22.16) e a zona de menor área é chamada seção estrita.

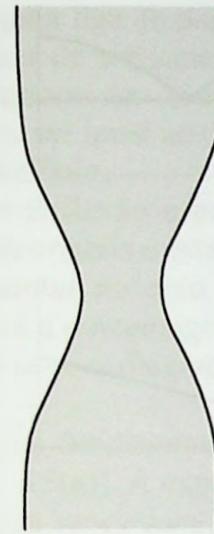


FIGURA 22.16 Esquema da redução de área do corpo de prova (estrição) durante a deformação plástica.

A densidade da estrição é dada, em porcentagem, por:

$$\frac{S_0 - S}{S_0}, \quad (22.2)$$

em que S_0 é a seção inicial do corpo de prova e S , a área de seção estrita.

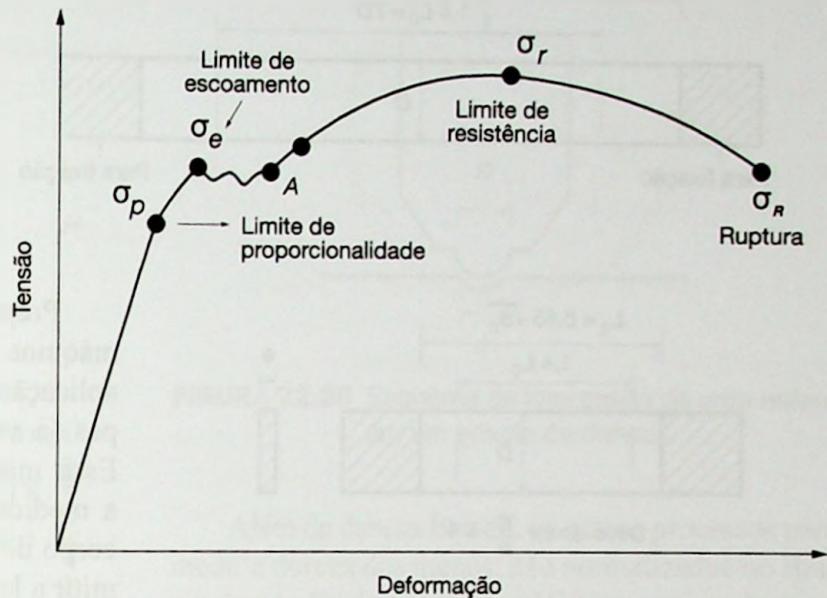
Levando-se a um sistema de coordenadas as tensões e as deformações, tem-se o diagrama tensão-deformação. Os metais apresentam dois tipos de diagramas para a tração.

Em alguns metais, particularmente os aços doces, o diagrama tem a forma da Figura 22.17. Há um período inicial (de 0 a p) em que as deformações são diretamente proporcionais às tensões – período elástico – e o valor p é o limite de proporcionalidade. Dividindo-se este pela deformação da unidade de comprimento, obtém-se o módulo de elasticidade.

Aumentando-se a tensão, chega-se a um valor e , a partir do qual começa a haver grandes deformações, mesmo que a carga estacione ou até diminua. O valor e chama-se limite de escoamento. Neste período, as deformações se tornam permanentes, o que não ocorreria no período anterior. Nessa zona, forma-se uma espécie de patamar, que é o escoamento (trecho entre o limite de escoamento e o ponto A).

Segue-se um revigoramento; a linha torna-se uniforme, mas curva. Nesse trecho, alcança-se a tensão σ mais alta do ensaio: é o limite de resistência. Na realidade, não é que a tensão tenha aumentado, mas houve estrição e a seção diminuiu; mesmo que a carga aplicada seja a mesma ou menor, a tensão

FIGURA 22.17 Exemplo das regiões em um diagrama tensão \times deformação. Nesse exemplo, utilizamos como simbologia para tensão a letra grega σ . Na Engenharia Civil, utiliza-se a letra f como símbolo da tensão.



realmente aumenta, porque a seção diminui. No gráfico, parece aumentar porque não é levada em conta a estricção. Finalmente, em σ_R o metal se rompe; é a tensão de ruptura, que tem pequeno valor prático, pois normalmente é inferior à tensão máxima.

Na maioria dos metais, entretanto, o diagrama tem a forma da Figura 22.18. Nota-se aí o trecho elástico OA , mas não aparece o escoamento. Convencionou-se, então, adotar para ele um valor

chamado limite n , obtido do seguinte modo: estabelece-se uma deformação porcentual $n\%$ e traça-se uma paralela à inclinação do período elástico. Essa reta vai cortar a curva em n . A reta é traçada a $n\%$ de deformação. O valor n adotado normalmente é 0,2% para os aços, e entre 0,1 e 0,5% para os outros metais (ou seja, com as notações 0,2 ou 0,1 a 0,5). É também o limite de elasticidade, até o qual as deformações não são permanentes.

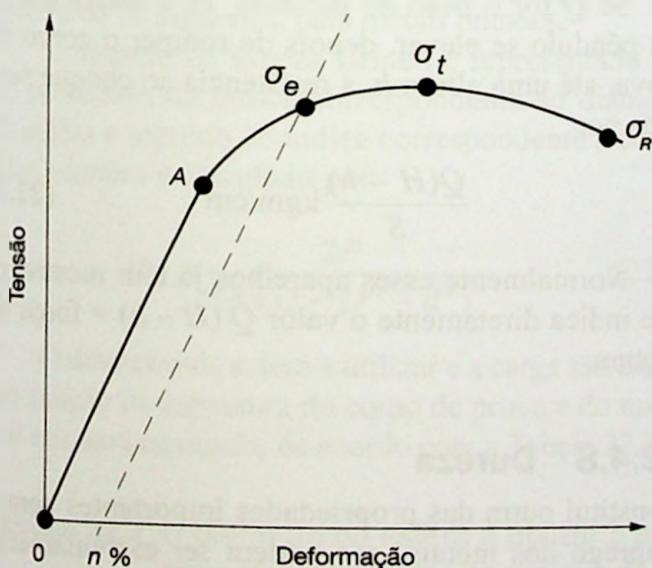


FIGURA 22.18 Para metais com tensão de escoamento não claramente definido, utiliza-se uma porcentagem da deformação como referência para sua determinação. Traça-se uma linha paralela à deformação elástica. A tensão de escoamento σ_e é então encontrada. O valor de n normalmente adotado para aços é 0,2.

22.4.6 Ensaio de Tração

De acordo com ABNT NBR ISO 6892-1:2024, a forma do corpo de prova varia conforme se trate de barras ou de material usinado de seção circular, de chapas, arames ou tubos. As medidas são normalmente com base no valor L_0 inicial, chamado base de medida, que é o trecho a ser submetido ao ensaio. Esse valor deve ser igual a $5,65 S_0$, sendo S_0 a área da seção transversal do corpo de prova. Aplicando-se a fórmula para uma barra de seção circular, encontra-se que $L_0 = 5D$. Os corpos de prova devem ter as formas apresentadas nas Figuras 22.19 a 22.23.

Para chapas com espessura superior a 5 mm, do tipo CD , há uma tabela que fornece os valores da espessura e largura do corpo de prova e do valor da base de medida (há figuras indicando as demais medidas).

No caso de arames de até 6 mm de diâmetro, a base de medida será 250 mm.

Em tubos de pequeno diâmetro, a base de medida terá 50 mm. Se o diâmetro for grande, serão extraídas tiras para ensaio, formando-se corpos de prova iguais a algum dos anteriores (barras, chapas).

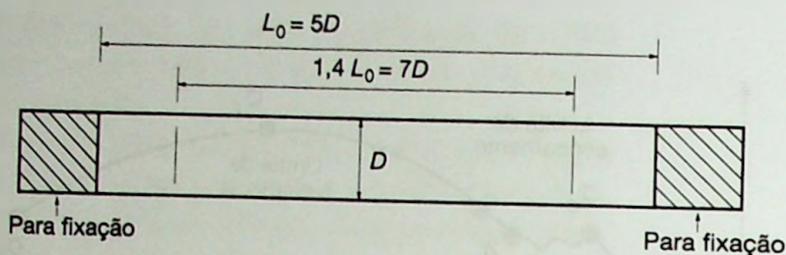


FIGURA 22.19 Para barras de seção circular.

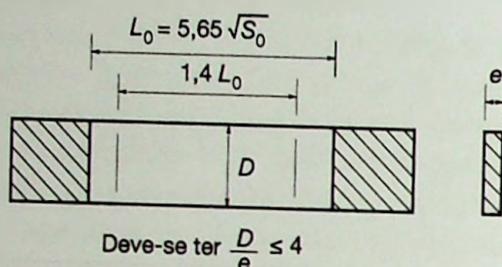


FIGURA 22.20 Para barras de seção retangular.

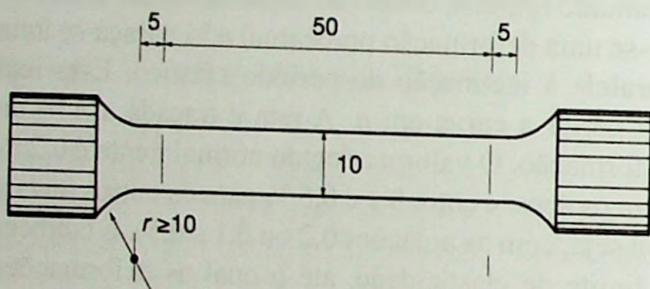


FIGURA 22.21 Corpo de prova usinado, normal, de seção circular, do tipo A.

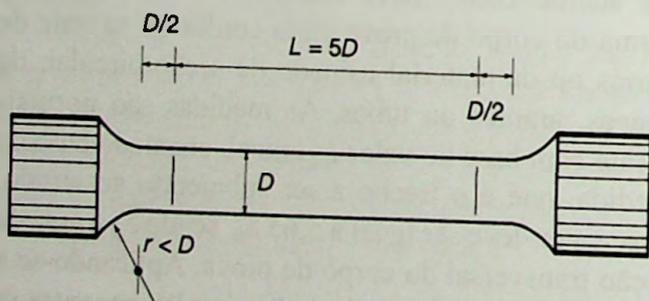


FIGURA 22.22 Corpo de prova usinado, de seção circular, proporcional ao normal, do tipo AD. Serão usados, de preferência, corpos de prova D = 8 ou 6 mm (A8 ou A6).

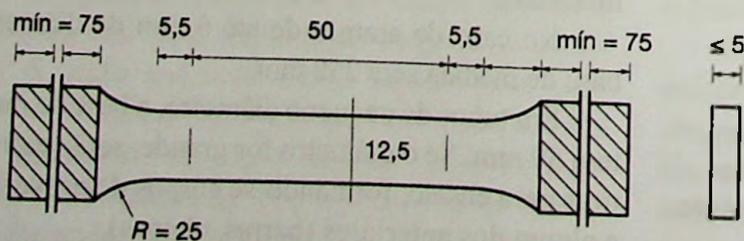


FIGURA 22.23 Chapas com espessura igual ou inferior a 5 mm, do tipo B (mm).

Preparado, o corpo de prova é levado a uma máquina de ensaios que permita tração axial, com aplicação dos esforços progressivamente e sem golpes (a velocidade recomendada é de 1 kg/mm²/s). Essa máquina deve ter dispositivos que permitam a medida dos esforços, comando e regulação. No corpo de prova é colocado o extensômetro para permitir a leitura da deformação.

O ensaio tem por finalidade determinar o limite de escoamento, o limite *n*, o alongamento e a estricção.

22.4.7 Resistência ao Choque

A resistência ao choque é a resistência que o metal opõe à ruptura na ação de uma carga considerada instantânea. O ensaio é realizado pelo aparelho chamado pêndulo de Charpy (Fig. 22.24). O corpo de prova deve ter a forma ali indicada.

O corpo de prova é posicionado de modo que o entalhe fique oposto à superfície que recebe o choque.

Se *Q* for o peso do pêndulo, *H*, a altura inicial e o pêndulo se elevar, depois de romper o corpo de prova, até uma altura *h*, a resistência ao choque será dada por

$$\frac{Q(H - h)}{S} \text{ kgm/cm}^2. \quad (22.3)$$

Normalmente esses aparelhos já têm mostrador que indica diretamente o valor $Q(H - h) =$ força de ruptura.

22.4.8 Dureza

Constitui outra das propriedades importantes para o emprego dos metais, que podem ser extremamente duros, ou relativamente moles.

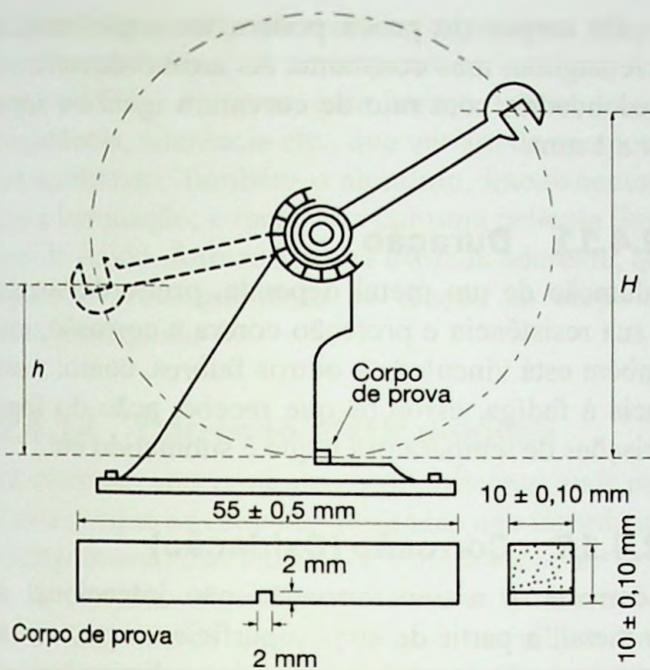


FIGURA 22.24 Esquema de uma máquina para ensaio de impacto (choque).

No Brasil, a ABNT adota, para os metais, a dureza Brinell.

O aparelho Brinell (Fig. 22.25) consta, essencialmente, de uma prensa com uma esfera de aço temperado, de diâmetro D , que se faz penetrar no metal em ensaio com uma carga estabelecida P . Sob o efeito da força, a esfera imprime uma marca de diâmetro d . O tempo de duração do ensaio deve ser de 10 segundos para metais duros e de 30 segundos, para metais brandos.

O número de dureza Brinell é representado por H_B , precedido do índice correspondente ao diâmetro da esfera e seguido do índice correspondente à carga. Esse número é calculado por:

$$H_B = \frac{2P}{D(\pi D - D^2 - d^2)} \quad (22.4)$$

O diâmetro da esfera a utilizar e a carga são dados em função da espessura do corpo de prova e do material que será ensaiado, de acordo com a Tabela 22.1.

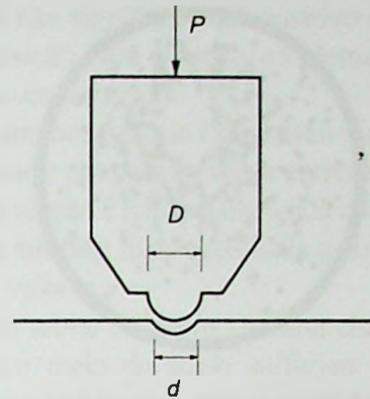


FIGURA 22.25 Esquema da impressão de uma esfera em um ensaio de dureza.

Além da dureza Brinell, há outros processos para medir a dureza dos metais, não normalizados no Brasil: dureza Rockwell, dureza Vickers e microdureza.

A dureza Rockwell é obtida de maneira semelhante à Brinell, mas o cálculo é em função da penetração.

A dureza Vickers é mais apropriada para o capeamento superficial e há coincidência com o número Brinell até o número 450.

A microdureza é para camadas de pequena espessura ou peças muito pequenas.

22.4.9 Fadiga

Conforme o metal, a resistência à fadiga pode ser bastante baixa.

A ruptura por fadiga é a que ocorre quando o metal é solicitado repetidas vezes por cargas menores ou em sentidos variados. O exemplo típico é o do arame, que consegue romper simplesmente torcendo-se para um e outro lado repetidas vezes.

A causa dessa ruptura é a desagregação progressiva da coesão entre os cristais, que vai diminuindo a seção resistente, até chegar ao limite (Fig. 22.26).

Existem diversos tipos de processos para medir a resistência à fadiga, conforme se trate de tração, flexão etc., ou de barras, lâminas, blocos etc., de maneira

TABELA 22.1 O diâmetro da esfera a utilizar e a carga para medir dureza são dados em função da espessura do corpo de prova e do material que será ensaiado

Espessura do corpo de prova (mm)	Diâmetro D da esfera (mm)	Carga (kg)			
		O diâmetro da esfera deve ser tal que o diâmetro da impressão fique entre 0,3 e 0,6 D			
		30 D^2 para aço e ferro	10 D^2 para cobre duro, latão, bronze	5 D^2 para metais brandos	2,5 D^2 para metais mais brandos
6	10	3000,0	1000,0	500,0	250,0
6-3	5	750,0	250,0	125,0	62,5
3	2,5	178,5	62,5	31,2	15,6



FIGURA 22.26 Esquema do aspecto da desagregação entre os cristais em um ensaio de fadiga.

que cada caso requer a escolha de ensaio adequado. Como exemplos, podemos citar Máquinas Piezoelétricas para Ensaio de VHCF (*Very High Cycle Fatigue*) e Máquinas de Flexão Rotativa.

22.4.10 Ensaio de Dobramento

Há dois tipos de ensaio de dobramento: o dobramento simples e o dobramento alternado.

O ensaio de dobramento simples, também muito importante, não tem relação com a fadiga. Tem por finalidade verificar a capacidade do metal em ser dobrado até determinado ângulo, sem se romper. Nesse ensaio, regulado pela ABNT NBR ISO 7438:2022, o metal (barra ou chapa) é dobrado em torno de um pino cilíndrico de diâmetro definido até as duas pontas ficarem paralelas. É o dobramento de 180°. A amostra não deverá fissurar nem se romper. Trata-se de um ensaio de verificação (Fig. 22.27).

No ensaio de dobramento alternado, não normalizado, a amostra, sujeita a um torno, é levada a dobramentos alternados em um ângulo de 90° para cada lado até a fissuração ou ruptura. A máquina de ensaios deve aplicar os esforços progressivamente, sem golpes, e permitir regular a velocidade de aplicação. É um ensaio para observar em campo se uma zona tracionada de um corpo de prova irá sofrer trincas ou descontinuidade (Fig. 22.28).

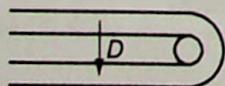


FIGURA 22.27 Dobramento simples.

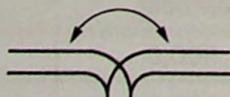


FIGURA 22.28 Dobramento alternado.

Os corpos de prova podem ter seção circular ou retangular, mas constante. As arestas deverão ser arredondadas, com raio de curvatura igual ou superior a 1 mm.

22.4.11 Duração

A duração de um metal depende, primordialmente, de sua resistência e proteção contra a corrosão, mas também está vinculada a outros fatores, como: resistência à fadiga, esforços que recebe, ação do fogo, variações de temperatura a que é submetido etc.

22.4.12 Corrosão (Oxidação)

A corrosão é a transformação não intencional de um metal, a partir de suas superfícies expostas, em compostos não aderentes, solúveis ou dispersíveis no ambiente em que o metal se encontra. Quase todos os metais apresentam corrosão, mas há exceções, como o ouro e a platina.

Tome-se o ferro como exemplo. Na atmosfera ambiente, ele sofre reações químicas que dão, como produto, o $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_n$, óxido férrico hidratado, comumente chamado ferrugem. A ferrugem não tem grande adesão nem grande coesão, soltando-se facilmente na forma de pó ou escamas, e tem maior volume que o ferro original. É a corrosão.

Há dois tipos de corrosão: a corrosão química e a corrosão eletroquímica. Em qualquer caso, o metal doa elétrons a alguma substância oxidante existente no meio ambiente (O, H, H_2O , H_2S etc.), formando óxidos, hidróxidos, sais etc. Mas, na corrosão química, os elétrons perdidos pelo metal se combinam no mesmo lugar em que são produzidos, e na corrosão eletroquímica os elementos são liberados em um local e captados em outro; há um circuito galvânico.

22.4.13 Corrosão Química

Seja um metal exposto ao ar. Conforme o metal e a temperatura, pode ocorrer que o metal perca elétrons, transformando-se em catiote: $M - e = M^+$; esses elétrons são perdidos em favor do oxigênio, que se transforma em aniote: $\text{O} + e = \text{O}^-$. Antes da transformação, o metal e o oxigênio não reagem; agora, a reação é imediata, porque O^- e M^+ se combinam, formando óxidos.

Por exemplo, o cobre, ao ar livre e temperatura elevada (ou com o passar do tempo), combina-se com o oxigênio do ar, formando película de óxido cuproso vermelho e óxido cúprico negro. O aço bem

polido não apresenta corrosão ao ar seco, na temperatura normal, mas, se a temperatura se eleva, formam-se óxidos diversos, com características de cor, consistência, aderência etc., que variam de composto para composto. Também o alumínio, imediatamente após a laminação, é recoberto por uma película finíssima de óxido, formando uma camada aderente, que impede o prosseguimento da reação ao corpo do metal, protegendo-o.

22.4.14 Corrosão Eletroquímica

Já a corrosão eletroquímica, normalmente mais perniciosa porque as camadas formadas não impedem o prosseguimento das reações, é mais complexa.

A corrosão eletroquímica é um fenômeno da mesma natureza do que se processa nas pilhas. Consiste em um movimento de eletricidade entre áreas de potencial elétrico diferente, sempre que existir um meio condutor externo e um contato (curto-circuito) interno. A solução condutora externa pode ser a própria umidade atmosférica, de modo que é quase impossível eliminá-la.

Todas as substâncias entre si já têm um potencial de oxidação diferente. Eis o potencial de alguns elementos puros, tomando-se para zero o do hidrogênio:

Íon metálico	Potencial
Li ⁺	+2,96
básico	(anódico)
K ⁺	+ 2,92
Ca ²⁺	+ 2,90
Na ⁺	+ 2,71
Mg ²⁺	+ 2,40
Al ³⁺	+ 1,70
Zn ²⁺	+ 0,76
Cr ²⁺	+ 0,56
Fe ²⁺	+ 0,44
Ni ²⁺	+ 0,23
Sn ²⁺	+ 0,14
Pb ²⁺	+ 0,12
Fe ³⁺	+ 0,045
H ⁺	0,000 (referência)
Cu ²⁺	- 0,34
Cu ⁺	- 0,47
Ag ⁺	- 0,80
Pt ⁺⁺	- 0,86
Au ⁺	- 1,50
nobre	(catódico)

O sinal não significa valor positivo ou negativo, mas sua posição com relação ao elemento que foi estabelecido como zero.

Normalmente, quando dois metais ficam em contato, o de maior potencial tende a corroer o de menor potencial. A reação é tanto mais rápida quanto maior a diferença, e também mais acentuada quanto mais baixos os seus valores.

Seja um rebite de cobre em uma chapa de zinco puro, em um meio de ácido sulfúrico diluído. Em razão da elevada diferença de potencial entre Zn e Cu, do curto-circuito estabelecido pelo contato dos dois metais e do meio condutor externo, estabelece-se uma corrente eletrolítica. O zinco perde elétrons: $Zn - 2e = Zn^{++}$. O zinco liberado, então, reage com o H_2SO_4 , elemento solúvel que se deposita sobre o zinco, e que é a sua corrosão. O cobre não se corrói, porque recebe o H que sobrou da reação e o liberta para o ar livre.

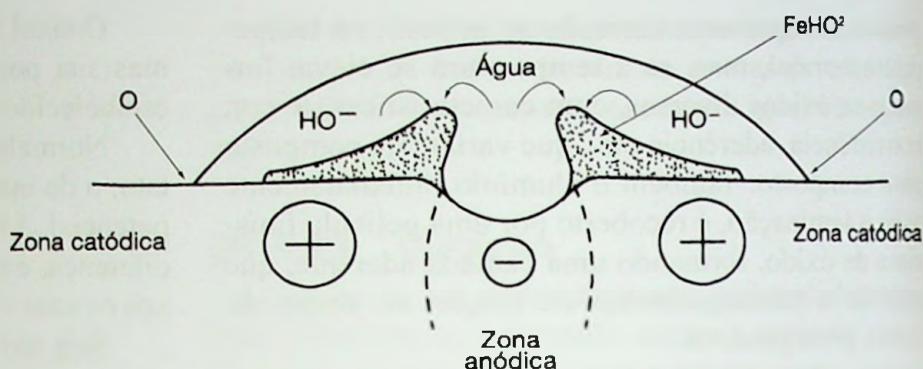
Por esta razão, deve-se evitar prender folhas ou telhas de alumínio com grampos de ferro. A corrosão é rápida, em função da grande diferença de potencial elétrico e dos baixos valores que ambos apresentam.

A diferença de potencial pode ocorrer até nos casos em que não ocorra contato de metais diferentes. Seja uma chapa de ferro com um ponto com uma forte amassadura (encruamento) e sobre a qual haja também uma gota ou película de água (Fig. 22.29). Em função do amassamento, também se formam zonas de potencial diferente: a zona comprimida fica com potencial mais alto e torna-se anódica (cede elétrons). Nessa zona, $Fe - 2e = Fe^{++}$. Na zona catódica, forma-se HO, e os elementos assim liberados reagem, dando $Fe(HO)_2$. Pela ação do oxigênio do ar, o hidróxido ferroso se transforma em hidróxido férrico e, finalmente, em ferrugem, $Fe_2O_3(HO)_n$.

A diferença de potencial pode ocorrer:

- nos locais em que metais diferentes estejam em contato;
- nas ligas, caso exista grande quantidade de cristais de composição diversa em contato; por isso, geralmente as ligas são mais suscetíveis que os metais puros, o que não impede que elas possam se tornar ótimos neutralizantes de corrente;
- quando existem impurezas no metal, pois são formados inúmeros pontos que podem originar corrosão;
- entre zonas em que o metal sofre ou sofreu tensões diferentes, como, por exemplo, no caso da rebiteagem (a zona ao redor dos rebites é geralmente mais atacada) e também de chapas dobradas (as arestas são muito atacáveis); diferença no polimento também está neste caso;

FIGURA 22.29 Abaixo de uma gota d'água ou de uma sujeira úmida é formada uma região anódica. A região externa se torna catódica, causando corrosão.



- peças em contato com meio ambiente diferente: a tendência à oxidação em ornatos é que as diferentes zonas ficam sujeitas a condições diversas de aeração, umidade, eletricidade ambiental etc. Outros exemplos que podem causar oxidação são areia levemente ácida sobre um metal, peças metálicas apoiadas sobre a água, metais enterrados, com zonas de umidade diferente etc.;
- em pontos nos quais o capeamento protetor está rompido, porque causa grande desequilíbrio de potencial com o resto estável e, assim, a tendência à corrosão torna-se muito forte;
- em locais com corrente elétrica próxima ou mesmo quando o metal é atravessado por correntes;
- quando o metal, além de já ter condições ótimas para corrosão, ainda sofre grandes tensões; é a *stress-corrosion*, de efeito geralmente devastador.

22.4.15 Proteção contra a Corrosão

É difícil a eliminação total da corrosão, porque normalmente os óxidos formados são mais estáveis que o metal puro. Logo, a tendência natural do metal é voltar a óxido, tanto assim que os minérios quase não incluem metais naturalmente puros. Podem-se, no entanto, procurar retardadores da oxidação.

Alguns métodos de proteção contra a corrosão são apresentados a seguir:

a) Escolha do metal ou liga adequada no meio em que vai atuar

Pode ser usado um metal que forme imediatamente uma camada de óxido protetora aderente e inibidora de corrosão. É o caso do alumínio, do chumbo (escurece logo, mas o ataque cessa), do cobre e do zinco em atmosferas normais. Também se podem adotar certas ligas, como a de aço-cromo-níquel (inoxidável) ou os aços cromo-cobre (patináveis), que formam óxidos protetores de boa estabilidade à corrosão.

b) Meio não corrosivo em que o metal vai atuar

Por exemplo, o ferro ao ar puro, mesmo úmido, não se oxida, mas bastam pequenos traços de SO_2

existentes nas atmosferas urbanas industriais para que haja reação. Eliminando-se esses traços, conseguir-se-á estabilidade. Outro exemplo é o ar marítimo, repleto de cloro, um elemento químico altamente corrosivo.

c) Recobrimento do metal

Revestir o metal com um óxido ou sal insolúvel e resistente impede a troca eletrolítica. Um exemplo é a anodização do alumínio, em que a camada de óxido protetor é muito aumentada, e a fosfatização, usada para ferro, zinco ou outros metais.

d) Capeamento metálico

Neste procedimento, o metal é recoberto por fina camada, não porosa, de outro metal. Nesse caso, pode-se usar proteção anódica ou proteção catódica. Na proteção anódica, usa-se metal de potencial elétrico mais elevado que o metal que se quer proteger. É o caso do recobrimento do aço por zinco. Nesse caso, o zinco irá se desgastar protegendo a matriz de aço. Mesmo discontinuidades não o atacarão, mas a camada protetora deve ser renovada periodicamente. Na proteção catódica, o metal de revestimento tem potencial elétrico mais baixo que o metal base. É o caso da niquelagem do ferro, em que qualquer fissura ou falha na niquelação irá causar rápida corrosão do aço.

Há diversas maneiras de fazer o capeamento: eletrólise, cementação na camada superficial, pulverização do recobrimento fundido, imersão no recobrimento fundido (chapeamento).

e) Proteção catódica

Consiste em transformar a estrutura que se quer proteger em cátodo, adicionando um ânodo conveniente. É uma solução que apresenta grandes dificuldades em projetar.

f) Adoção de cuidados especiais na construção

Não deixar em contato metais de potencial diferente e observar as tensões diferenciais, uniformidade no ambiente etc.

g) Pintura superficial com tintas apropriadas

O estudo da corrosão e das medidas protetoras é bem mais complexo do que se pensa. Camadas protetoras eficientes, em alguns casos, podem vir a se tornar ativadoras das reações, em outros. Ou, também, atmosferas oxidantes dentro de determinadas proporções podem vir a se tornar inibidoras da corrosão quando o teor aumenta.

Aqui, só se deu uma visão geral, tendo em vista que, em razão de sua importância, o fenômeno está sendo objeto de contínuos estudos. Diz-se até que a quarta parte da produção mundial do ferro destina-se a cobrir os estragos causados pela corrosão.

22.5 ESTUDO PARTICULAR DO ALUMÍNIO

O alumínio é um metal muito leve. Tem massa específica entre 2,56 e 2,67 kgf/dm³, com módulo de elasticidade de 7000 kgf/mm² e ruptura à tração entre 8 e 14 kgf/mm². Quando temperado, a ruptura à tração pode ir até 50 kgf/mm². Como se vê, são boas propriedades mecânicas.

A têmpera, na hora da fabricação, é um fator primordial da qualidade das peças.

É de difícil soldagem, e, quando se consegue soldar, perde 50 % de suas propriedades mecânicas, pois des-tempera. Para superar esse inconveniente, foram desenvolvidas colas sintéticas especiais, mas que perdem a resistência a temperaturas elevadas e não têm boa coesão na tração. Dureza Brinell do alumínio: 20.

O alumínio se funde entre 650 e 660 °C e tem excelente condutibilidade elétrica e térmica. Forma ligas importantes com diversos metais, nas quais se podem conseguir variegadas propriedades. O duralumínio, por exemplo, é uma liga de alumínio, cobre e magnésio, de grande resistência mecânica e leveza.

É um metal de cor cinza-claro, que aceita coloração de determinadas condições.

Ao ar livre, cobre-se imediatamente de uma camada de óxido, mas essa oxidação é impermeável e protege o núcleo, embora diminuindo a beleza.

Diante dessas qualidades particulares, das quais sobressaem a leveza, estabilidade, beleza e condutibilidade, o alumínio é um metal de amplo emprego na construção. Entre os metais, só perde em importância para o ferro, motivo pelo qual será examinado com mais cuidado.

22.5.1 Laminados e Extrudados

Normalmente o alumínio é usado em construção na forma de laminados e extrudados.

Os laminados são lâminas ou chapas, conforme tenham menos ou mais de 6 mm de espessura. Na realidade, existem dois tipos: os esticados, que são mais polidos, e os laminados propriamente ditos, mais toscos.

As chapas podem ser lisas, sem aplicação de película protetora, ou lavradas (laminadas a quente), conforme ilustrado nas Figuras 22.30 a 22.33.

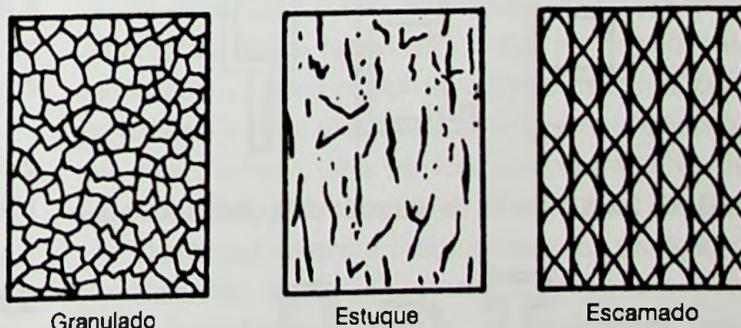


FIGURA 22.30 Exemplo de chapas de alumínio lavradas.

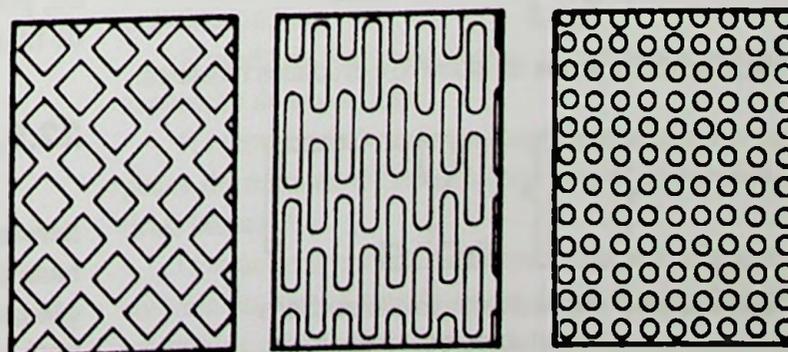


FIGURA 22.31 Outros exemplos de chapas de alumínio lavradas.

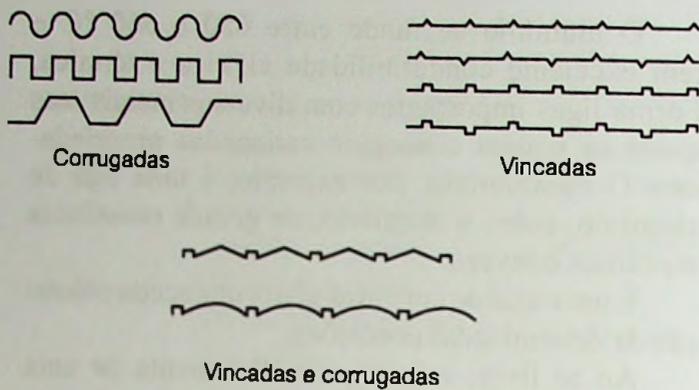


FIGURA 22.32 Chapas de alumínio lavradas.

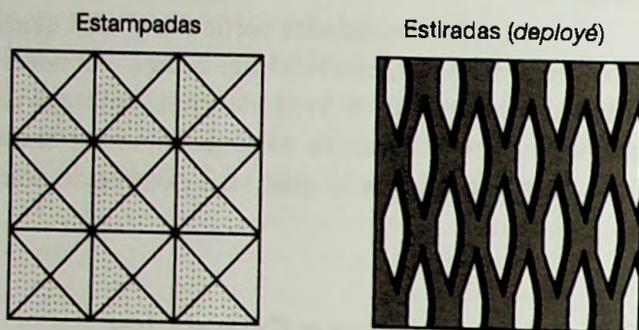


FIGURA 22.33 Chapas de alumínio lavradas.

Os perfis de alumínio extrudados são de três tipos: sólidos, quando totalmente abertos (Fig. 22.34), tubulares, quando totalmente fechados (Fig. 22.35), e semitubulares, no caso intermediário (Fig. 22.36). Também podem ser fabricados em forma de fios, barras redondas, quadradas ou chatas.

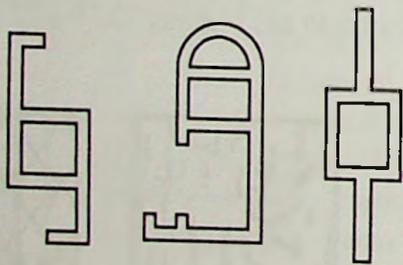


FIGURA 22.34 Perfis de alumínio extrudados sólidos.

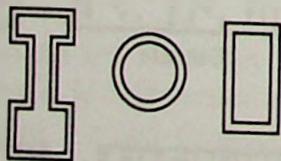


FIGURA 22.35 Perfis de alumínio extrudados tubulares.

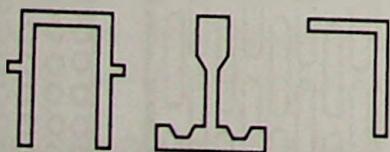


FIGURA 22.36 Perfis de alumínio extrudados semitubulares.

22.5.2 Ligas

Quanto mais puro o alumínio, maior a resistência à corrosão e menor a resistência mecânica.

Ligado ao magnésio, ou ao magnésio e silício, aumenta mais a resistência à corrosão, mas a resistência mecânica continua pequena. Ligado ao cobre-magnésio, aumenta a resistência mecânica, mas permanece a resistência inicial à corrosão (por exemplo, duralumínio). Ligado ao zinco-magnésio, tem elevada resistência mecânica e ótima resistência à corrosão; é quando apresenta as melhores condições.

O bronze de alumínio é uma liga muito maleável, com 90 a 95 % de cobre e 10 a 5 % de alumínio.

22.5.3 Acabamento das Superfícies

O acabamento das superfícies de alumínio não tem, normalmente, função protetora, porque para isso basta a camada natural de óxido. Na verdade, o acabamento é mais embelezador que protetor.

São adotados os seguintes tratamentos superficiais: acabamento mecânico, limpeza, tratamento químico, polimento, anodização, eletrodeposição e pintura.

22.5.4 Acabamentos Mecânicos

São processos para alterar a textura ou polimento liso iniciais, como os acabamentos martelado, mate, raiado ou acetinado.

O acabamento martelado é executado por processos mecânicos ou manuais, enquanto o polimento é realizado com abrasivos. Conforme o grau, é chamado de polimento propriamente dito, lustro ou coloração.

O acabamento mate é obtido com jatos de areia, e o acetinado e raiado são modalidades das técnicas anteriores, com disposições especiais.

22.5.5 Limpeza

Trata-se de lavagem simples, ou desengorduramento, ou, por vezes, de limpeza química, com a finalidade de tirar manchas do metal.

22.5.6 Tratamentos Químicos de Proteção

Servem para aumentar a camada de óxido, ou para base de pintura. Consistem em imersão em soluções, como a de carbonato de sódio e cromato de potássio.

22.5.7 Polimento Químico

Tem a finalidade de aumentar a reflexão e o brilho. É obrigatório antes da anodização. Caso esta não venha a ser feita, a superfície deverá ser protegida, senão perderá rapidamente o polimento. Este polimento pode ser químico ou eletroquímico. O mais usual é um banho em solução de ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido sulfúrico e ácido acético juntos. Forma-se uma reação eletroquímica que ataca somente os pontos altos da superfície, tornando-a plana.

22.5.8 Anodização

A anodização é um modo de conferir maior proteção que a camada natural de óxido, aumentando também a reflexão e o brilho e a resistência aos ataques químicos, como o resultante do cimento. Depois de polido, o metal sofre eletrólise, funcionando como ânodo. É imerso em um meio ácido, oxálico, bórico ou fosfórico. Conforme o ácido, será a qualidade. Depois da anodização, as superfícies ficam porosas, e é preciso selá-las em um banho de água quente. No caso de se desejar colorir, deve-se fazer a pintura antes do banho de selagem ou usar eletrólitos especiais. A anodização pode ser fosca ou brilhante (alto ou baixo brilho).

22.5.9 Pintura

A pintura pode ser direta, desde que seja feito um tratamento prévio com ácido fosfórico, o qual dá fosfato de alumínio, insolúvel e que aceita tingimento. A pintura deve ser iniciada com um "primer" de cromato de zinco ou tinta de alumínio.

A pintura também pode ser obtida do modo que se viu na anodização e no tratamento químico de proteção.

22.5.10 Eletrodeposição

A eletrodeposição não tem por finalidade apenas proteger, mas principalmente dar acabamento a uma peça. Cromo, níquel, cobre e zinco podem ser aplicados diretamente no metal a ser protegido/embelezado. Prata, latão, ouro etc. devem ser aplicados como segunda camada.

22.5.11 Emprego do Alumínio

Como já foi visto, o alumínio é um metal de muitas qualidades e usos. Na construção, é usado em transmissão de energia elétrica, coberturas, revestimentos, esquadrias, guarnições, elementos de ligação etc.

É preciso ter cuidado no seu uso, pois é muito eletrolítico: não deve ficar em contato direto com ferro ou aço, em especial, ou com outros metais. Os elementos de conexão devem ser de alumínio também, ou, se não for possível, de aço zincado ou cadmiado, para formar uma película isolante.

Em qualquer dos usos, deve-se cuidar para que as dobragens feitas no local tenham grande raio, de modo a evitar o fendilhamento do alumínio. É preferível que elas já sejam fundidas com a forma apropriada.

Na transmissão de energia elétrica, seu uso está se introduzindo agora no Brasil, embora já seja muito comum em outros países. É utilizado na forma de fios e cabos, que apresentam, sobre os de cobre, maior leveza, permitindo maior afastamento entre postes e suportes. É também mais barato. Tem o inconveniente de ser menos maleável para efeitos de dobramento.

É ótimo material para ponteiros de para-raios.

Em coberturas, é usado na forma de chapas onduladas para telhados e lâminas para impermeabilização.

As chapas onduladas são fabricadas nas espessuras a seguir relacionadas com os respectivos pesos: 0,5 mm – 1,50 kg/m²; 0,6 mm – 1,80 kg/m²; 0,7 mm – 2,15 kg/m²; e 0,8 mm – 2,45 kg/m².

As lâminas para impermeabilização, ou papel de alumínio, são ligas muito finas, podendo ser lisas ou corrugadas. As lisas têm 0,05 mm de espessura e pesam 0,167 kg/m². A corrugação tem por fim aumentar a aderência ao impermeabilizante e compensar efeitos de dilatação.

O alumínio é muito empregado em esquadrias. As diversas firmas fabricantes já têm perfis padronizados, com os quais compõem a forma desejada pelo projetista. Como o alumínio não deve entrar em contato com o reboco, deve ser feito um contramarco de ferro cadmiado ou zincado.

O alumínio também é muito usado em ferragens.

Bastante conhecido é seu emprego em persianas esmaltadas a fogo e em montantes, travessas e outros elementos de ligação em painéis pré-fabricados.

É usado na forma de chapas para revestimento e separação de superfícies.

Há também inúmeras aplicações do alumínio em peças de remates da construção, como cantoneiras, tiras, barras etc.

O alumínio moído também pode ser disperso em veículo oleoso, dando tintas de alumínio, de boa resistência e proteção.

22.6 ESTUDO PARTICULAR DO CHUMBO E DO ESTANHO

22.6.1 Chumbo

O chumbo é um metal cinza-azulado, muito maleável e macio, mas pouco dúctil.

Funde-se a 327 °C. Tem massa específica entre 11,20 e 11,45 kg/dm³ e módulo de elasticidade de cerca de 2000 kgf/mm². A ruptura à tração se dá aos 3,5 kgf/m² e à compressão, perto dos 5 kgf/mm². A condutibilidade térmica é relativamente baixa.

Difícilmente é vendido puro; encontra-se sempre com alguma liga. Exposto ao ar, cobre-se de uma camada de hidrogenocarbonato de chumbo, substância tóxica. Tem alta resistência elétrica e seu número de dureza Brinell é 4,6.

22.6.1.1 Emprego do chumbo

O chumbo já foi empregado em tubos e artefatos para canalizações, em arremates, coberturas, absorventes de choque e na indústria de tintas. Como é tóxico, teve sua utilização limitada a situações especiais.

As chapas planas de chumbo são numeradas de 1 a 22 (6,7 a 56,43 kg/m²) e vendidas em rolos de comprimento variável e largura de 2,20 m. É usual o revendedor retalhá-las em rolos de menor largura, para a venda a varejo.

Os tubos para canalização (Tab. 22.2) são vendidos normalmente nas bitolas a seguir indicadas, em que se mostram também os pesos por metro, usuais nos diferentes serviços. As bitolas indicadas são as mais comuns, porém existem outras. Os pesos são médios, porque é difícil a uniformidade.

As caixas (raios), quando de chumbo, devem ser feitas de chapa de mais de 2 mm de espessura (chapa 5 ou maior), ou seja, com mais de 20 kg/m².

O emprego do chumbo em canalizações para água corrente deve se limitar a pequenas extensões,

em função do carbonato de chumbo hidratado tóxico. Quando a água tiver estado muito tempo parada na canalização, recomenda-se não usá-la imediatamente, e sim depois de deixar correr a coluna que ficou na canalização de chumbo.

Em coberturas, é usado em impermeabilizações, na forma de chapas finas, soldadas entre si para tornar a superfície estanque.

Tempos atrás, também era bastante generalizado o uso de ornatos e remates de chumbo em coberturas metálicas, mas esse emprego está desaparecendo.

Em virtude de sua maciez, o chumbo em barras ou chapas de maior espessura é usado como absorvente de choque ou vibração no apoio de máquinas, pontes etc., embora o cobre seja preferido, porque apresenta maior resistência à compressão.

Os sais de chumbo tiveram preferência na indústria de tintas, porque proporcionavam ótimo cobrimento e durabilidade. Como são tóxicos, não são mais utilizados.

22.6.2 Estanho

Na indústria da construção, o estanho, raramente usado na sua forma pura, é muito empregado para formar ligas ou para proteção superficial de outros metais, em função de sua estabilidade.

Tem massa específica entre 7,29 e 7,5 kg/dm³, dureza Brinell entre 5 e 10, cor branca-acinzentada brilhante, e é muito maleável. Sua resistência à tração é de 3 a 4 kgf/mm², à compressão é de 11 kgf/mm², e o módulo de elasticidade de 4000 kgf/mm². Funde-se a 232 °C, e não se oxida facilmente.

Eventualmente, é usado como substituto do chumbo, nas suas aplicações. A condutibilidade térmica é quase igual à do ferro. O coeficiente de dilatação térmica é $\alpha = 0,0022942$ mm/m/°C.

O estanho é classificado pela ABNT NBR 6315:2016. É comercializado com cerca de 99,99 %

TABELA 22.2 Bitolas e pesos médios de tubos de chumbo

Bitola		Peso (kg/m)	
Em polegadas	Em milímetros	Tipo pesado	Tipo leve
3/8	10	0,944	0,570
1/2	13	1,410	0,798
3/4	20	3,029	1,902
1	25	4,045	2,670
1 e 1/4	32	5,365	3,370
1 e 1/2	40	7,814	4,790
2	50	13,400	5,050
2 e 1/2	64	17,910	7,250

de pureza para ser utilizado mais comumente, hoje em dia, como ânodo no banho eletrolítico de estanho para fins decorativos ou técnicos.

22.6.3 Solda de Encanador

O chumbo e o estanho facilmente formam liga. Conforme a proporção, essa liga tem diversos nomes.

A mais comum é a solda de encanador. Essa solda tem sua melhor proporção para os trabalhos comuns quando é de 2/3 de chumbo para 1/3 de estanho (2:1). Nessas condições, funde-se a 240 °C e é muito resistente. Em outras proporções, ou é mais quebradiça, ou menos ligante.

Em proporções adequadas, a liga chumbo-estanho é usada em fusíveis de segurança.

22.7 ESTUDO PARTICULAR DO COBRE E DO ZINCO

22.7.1 Cobre

É um metal de cor avermelhada, muito dúctil e maleável, embora duro e tenaz. Pode ser reduzido a lâminas e fios extremamente finos.

Ao ar, é coberto rapidamente por uma camada de óxido e carbonato, formando o azinhavre, muito venenoso, mas que protege o núcleo do metal, dando-lhe duração quase indefinida. Funde-se na faixa de 1050 a 1200 °C, tem massa específica entre 8,6 e 8,96 kg/dm³, e rompe-se à tração entre 20 e 60 kgf/mm². À compressão, rompe-se entre 40 e 50 kgf/mm². Tem módulo de elasticidade entre 10.000 e 13.000 kgf/mm². Possui grande condutibilidade térmica e elétrica, e dureza Brinell 35.

O cobre pode ser obtido, a partir de seus minérios, por via seca (calcopirita, calcosina) ou úmida (cuprita).

A metalurgia por via seca inclui: (i) a concentração, por flotação; (ii) a tostação, para eliminar enxofre e impurezas; (iii) a fusão, em fornos refletores de grande extensão e pequena altura, com temperatura superior a 1100 °C; (iv) a separação do cobre quase puro, feita em cilindros conversores em que há grande insuflação de ar; e (v) a refinação em fornos de revérbero (99,5 a 99,7 % de pureza) ou eletrólise (99,98 % de pureza).

A metalurgia por via úmida é realizada reduzindo-se o metal a pó, seguindo-se depois forte jato de água, que separa a ganga. O minério é, então, lavado com ácido sulfúrico, formando sulfato de cobre, de onde o metal é separado por eletrólise ou reação química.

22.7.1.1 Emprego do cobre

O cobre é largamente empregado em instalações elétricas como condutor. É também usado em instalações de água, esgotos, gás, pluviais, coberturas, forrações, ornatos etc.

Recomenda-se, sempre, que as canalizações de gás liquefeito sejam de cobre, porque resistem melhor quimicamente e são mais fáceis de soldar que as de aço galvanizado.

Pela mesma razão, o cobre é bastante empregado em redes de esgoto e pluviais. As caixas e ralos de cobre são muito mais resistentes que as de chumbo. Do mesmo modo, as calhas de cobre são bem superiores às de zinco ou galvanizado.

Em coberturas, pode ser usado para impermeabilização de terraços ou na forma de telhas.

É também empregado em paredes divisórias, como elemento vedante, altamente decorativo, e na manufatura de ornatos diversos.

22.7.1.2 Fios e cabos elétricos

Na transmissão de energia elétrica são usados fios e cabos de alumínio ou de cobre. Na instalação domiciliar, quase sempre se utiliza apenas o cobre, por ser mais flexível.

A variedade de condutores é muito grande, e aqui só serão apresentados alguns tipos básicos, com a finalidade de orientar o engenheiro não especializado para eventuais emergências.

O cobre eletrolítico, utilizado nos condutores, não é absolutamente puro. A ele são adicionadas substâncias diversas, com o fim de diminuir a formação de óxido cuproso, o qual, diminuindo a seção, reduz a condutibilidade. Essas substâncias não ultrapassam, no entanto, 0,1 % do total. A presença de maior quantidade de impurezas diminui bruscamente a condutibilidade elétrica. O cobre eletrolítico tem massa específica de 8,96 g/cm³.

Geralmente, nos fios e cabos, o cobre é capeado por uma camada delgada de estanho, para evitar a oxidação.

Para efeitos de consulta, seguem alguns exemplos de dados sobre as bitolas e o uso indicado para fios de cobre (Tab. 22.3).

É preciso distinguir entre fios e cabos. Os fios são condutores de um só elemento; já os cabos são formados de diversos fios, enrolados entre si.

22.7.1.3 Alguns tipos de fios e cabos

- *Fios e cabos nus.* Sem revestimento, são empregados em linhas aéreas de transmissão de energia, circuitos aéreos de comunicação telefônica ou telegráfica.

TABELA 22.3 Bitolas de fios de cobre e indicação de usos

Bitola (mm ²)	Indicação para circuitos com corrente máxima (A)
1,5	15,5
2,5	21,0
4,0	28,0
6,0	36,0
10,0	50,0
16,0	Fios de poste (rede de rua)

Nota: cabos de 10 mm² são utilizados normalmente para chuveiros, e os de 16 mm², para as entradas das residências até o quadro de distribuição.

- *Fios de contato.* São fios nus, que podem ser redondos, ranhurados ou em formato de 8. São usados como linha aérea para bondes, tróleis, trens elétricos. Para linhas mais solicitadas, estão disponíveis fios de contato de bronze.
- *Fios flexíveis.* Cada fio compõe-se de um cordel flexível de cobre, envolvido por uma espiral de seda ou algodão, e depois isolado com uma camada de borracha vulcanizada. Quando duplos ou triplos, são torcidos entre si. São denominados cordões FS.
- *Fios e cabos RCT.* O condutor de cobre estanhado é isolado por uma camada de borracha vulcanizada, depois coberto com uma ou duas (RCT-1 ou RCT-2) tranças de algodão, impregnadas de massa isolante à prova de tempo. A esse grupo pertencem os fios Vulcon.
- *Fios CCC.* São os fios com capa de chumbo. Cada condutor leva um isolamento reforçado de borracha vulcanizada. Se duplo ou triplo, as borrachas têm cores diferentes. O conjunto é recoberto com capa de chumbo. Se triplo, entre a borracha e a capa há um enchimento de papel-celulose e fita de algodão embebida em borracha.
- *Cabos RF.* Nesse tipo, os condutores de cobre nu são torcidos entre si e cobertos com papel impregnado. Depois, são envolvidos por uma capa de chumbo e outra de juta. A seguir, levam uma fita de ferro em espiral, para dar resistência mecânica, e a camada final de juta alcatroada.
- *Cabos RCFT.* Os condutores de cobre estanhado são isolados com duas camadas de borracha vulcanizada, fita isolante e trança de algodão impregnado, à prova de tempo.
- *Cabos WP (water-proof).* São condutores cobertos com duas (WP-2 ou WP-3) tranças de algodão impregnadas com massa preta à prova de umidade.

- *Fios e cabos plásticos.* São empregados em substituição aos fios anteriores, mas o isolamento é feito com plásticos. Em vista da variedade de tipos básicos e de plásticos que podem ser empregados, pode-se imaginar a quantidade de tipos que existem. Citamos o Pirastic, do tipo flexível, e os Plastiflex, do tipo correspondente ao RCT.
- *Fios com alma de aço.* Nesse caso, o cobre reveste um fio ou cabo de aço. Com isso, se consegue muito maior resistência mecânica.
- *Cabos concêntricos.* Nesse caso, a alma é um condutor de cobre estanhado, depois coberto com um isolamento adequado. A seguir, vai uma coroa de fios de cobre torcidos e novo isolamento. Os dois condutores (alma e coroa) formam um único cabo; qualquer tentativa de ligação fora das extremidades causará um curto-circuito.
- CA – Cabos de alumínio.
- CAA – Cabos de alumínio com alma de aço.

22.7.2 Bronze

O bronze é uma liga de 85 a 95 % de cobre e 15 a 5 % de estanho. Tem grande dureza e massa específica entre 7,8 e 9,2 kg/dm³.

É usado na construção de ferragens e ornatos. É de difícil oxidação, muito duro, mas bastante flexível. Muitas vezes, a liga tem também zinco ou chumbo, e a cor varia do vermelho-amarelado até quase o branco.

Seus valores mecânicos são: módulo de elasticidade, 6 a 10 kgf/mm²; limite de resistência à tração, 15 a 40 kgf/mm²; à compressão, 50 kgf/mm². Funde-se entre 900 e 950 °C. Tem alta condutibilidade térmica.

22.7.3 Zinco

É um metal cinza-azulado, que se funde a 400 a 420 °C. Em pouco tempo de exposição ao ar cobre-se de uma camada de óxido, que o protege. É bem mais pesado que o ferro (densidade de 7 a 7,2) e quatro vezes mais tenaz. Sua resistência à tração é de 16 kgf/mm², embora o limite de elasticidade para essa solicitação seja apenas de 2,5 kgf/mm². O módulo de elasticidade é de 9500 kgf/mm². Tem baixa resistência elétrica, e sua dureza Brinell é entre 30 e 40.

É muito atacável pelos ácidos. Assim, embora resistente à corrosão eletroquímica, as calhas, ornatos e telhas desse metal devem apresentar caimento uniforme, pois as bacias nas quais se deposita água de chuva podem trazer acidez.

Tem condutibilidade térmica de 110 W/mK e coeficiente de dilatação térmica linear de $35,0 \times 10^{-6} \times C^{-1}$.

Para efeito de comparação, a condutibilidade térmica do aço SAE 1020 é de 52 W/mK e sua expansão térmica é de $14,0 \times 10^{-6} \times C^{-1}$.

22.7.3.1 Aplicações do zinco

Na construção, o zinco é usado, principalmente, na forma de chapas lisas ou onduladas, para coberturas e revestimentos, em calhas e tubos condutores de fluidos. É ainda mais empregado como composto (alvaiade, pinturas) e ligas.

As chapas lisas têm, geralmente, 2,00 m de comprimento e larguras de 0,50; 0,65; 0,80; 1,00 m. São numeradas de 1 a 26 (0,05 a 2,68 mm), de acordo com a bitola própria ZG (*zinc gauge*). Alerta-se para o fato de que está muito generalizado o erro de se confundir telhas de zinco com as telhas de aço galvanizado.

O peso de algumas bitolas de chapas de zinco, em kg/m², é apresentado na Tabela 22.4.

Em geral, as telhas são feitas de chapa 14, e as calhas, de chapa 12.

22.7.4 Latão

O latão é uma liga de cobre e zinco, que já teve grande uso e importância na construção. A proporção é variável, podendo ir de 95 % de Cu por 5 % de Zn até 60 % de Cu por 40 % de Zn. Em geral, é usada a liga de 67 de Cu 33 % de Zn. Apresenta cor amarela, é muito dúctil e maleável a quente. Dificilmente se oxida e é muito resistente. Mais estável ao ar que o cobre, pode adquirir belo polimento.

Tem massa específica de 8,2 a 8,9 kg/cm³ e sua carga de ruptura à tração fica entre 2 e 8 MPa, mas o limite de elasticidade é apenas de 5 a 12 kgf/mm². A ruptura à compressão fica entre 50 e 90 kgf/mm², dependendo da composição. A frio, tem grande dureza e resistência ao desgaste. É muito empregado em

TABELA 22.4 Peso de algumas chapas de zinco

mm	Chapa	Lisa (kg/m ²)	Ondulada (kg/m ²)
0,50	10	3,50	-
0,58	11	4,05	-
0,66	12	4,60	-
0,74	13	5,20	-
0,82	14	5,75	6,76
0,94	15	6,75	7,83
1,08	16	7,55	8,90

ferragens: torneiras, tubos, fechaduras, ornatos etc. Tem módulo de elasticidade de 6500 a 10.000 kgf/mm². A Figura 22.37 mostra a relação entre a resistência à ruptura e a porcentagem dos elementos constituintes.

Os latões com chumbo (1 a 3 %) são fáceis de trabalhar; com estanho (1 %), possuem alta resistência à água do mar; com níquel, têm elevada resistência mecânica.

22.8 FERRAGENS

Nesta seção serão examinados dois grandes grupos de artefatos utilizados na construção predial: as ferragens de esquadrias e os metais sanitários. Esses artigos são tratados em especial, em função de seu grande emprego, variedade e importância.

22.8.1 Ferragens para Esquadrias

As ferragens mais comuns para esquadrias são os fechos, fechaduras, dobradiças e puxadores.

Os fechos são dispositivos em que uma barra metálica liga duas partes móveis, deixando-as solidárias.

Se, para movimentar esses fechos, for necessária a utilização de uma ferramenta especial, a chave, ter-se-á uma fechadura.

Para que as peças se tornem móveis em redor de um eixo, usam-se as dobradiças.

Aos acessórios que servem para fazer movimentar essas peças dá-se o nome de puxadores.

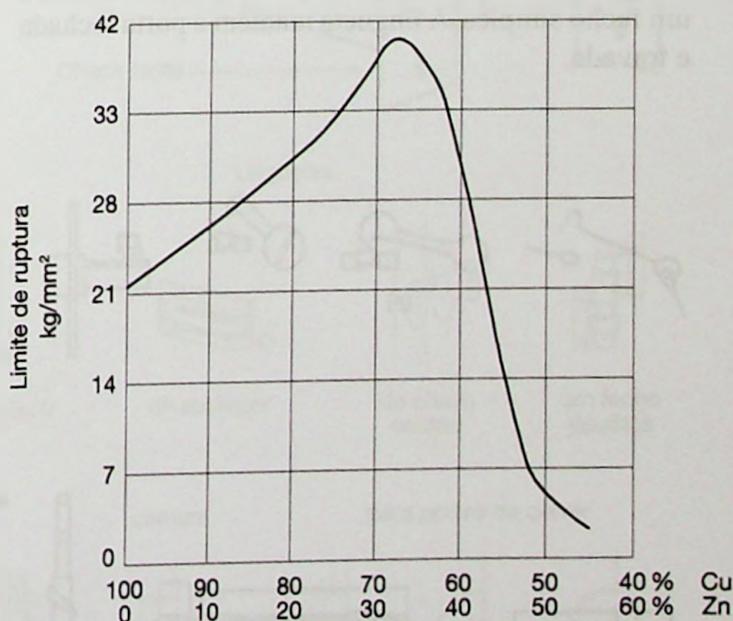


FIGURA 22.37 Comportamento mecânico das ligas de cobre-zinco, em função de suas porcentagens em peso.

Todos esses artigos devem ter algumas qualidades em comum: resistência mecânica elevada, resistência à oxidação, facilidade de manufatura, resistência ao desgaste, relativa leveza e facilidade de manuseio. Entre os metais, essas qualidades se encontram mais bem proporcionadas no latão. Daí a preferência por essa liga nas ferragens, de tal modo que se pode dizer que, quanto mais peças de latão tiver a fechadura, melhor será sua qualidade. É principalmente nas partes móveis que o latão deve dominar, para evitar que a ferrugem e o desgaste venham a emperrar as peças.

22.8.1.1 Fechos

Os fechos são dispositivos usados para manter fechados painéis que podem ser abertos. Há dois tipos básicos: os de girar e os de correr.

Entre os de girar estão os ganchos [Fig. 22.38(a)], as carrancas [Fig. 22.38(b)], que servem para prender os tampos de janelas, os fixadores de porta, as borboletas para janelas de guilhotina, fecho pega-ladrão com trinca e corrente etc.

Entre os de correr, existem as tranquetas de fio chato [Fig. 22.39(b)] ou de fio redondo [Fig. 22.39(a)], os cremonas internos ou de embutir [Fig. 22.39(c)] e o chamado fecho paulista [Fig. 22.39(d)].

Como se vê, todos esses fechos podem ser movimentados diretamente, sem dispositivo especial.

22.8.1.2 Fechaduras

As fechaduras têm, como partes essenciais, o trinco e a lingueta. O trinco mantém a porta apenas fechada; é um fecho simples. A lingueta mantém a porta fechada e travada.

Há três tipos básicos de fechaduras:

a) Fechadura de cilindro

Dos três, essa é a que apresenta maior segurança. Um sistema de pinos mantém o cilindro imóvel (Fig. 22.40) quando a chave não está no lugar. Ao se mover, o cilindro libera ou movimenta a lingueta.

Há três variedades de cilindros (Fig. 22.41): cilindro de encaixe, cilindro de rosca e cilindro monobloco. A segurança é maior para os últimos.

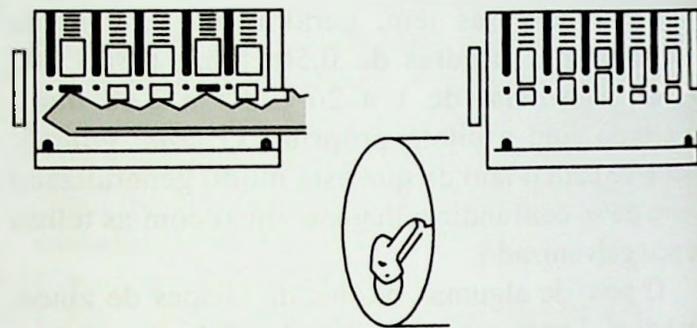


FIGURA 22.40 Fechadura de cilindro com pinos móveis.

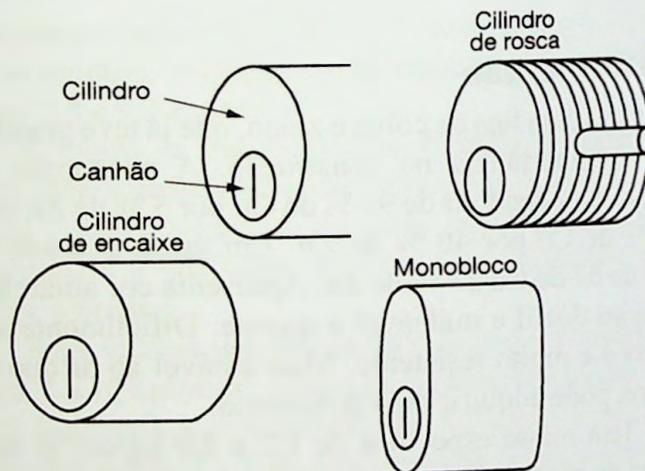


FIGURA 22.41 Tipos de cilindro.

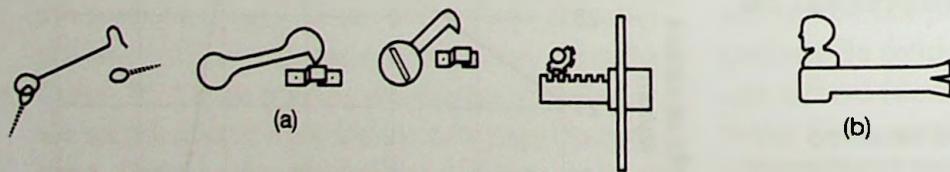


FIGURA 22.38 Fechos de girar, tipo (a) ganchos e (b) carrancas.

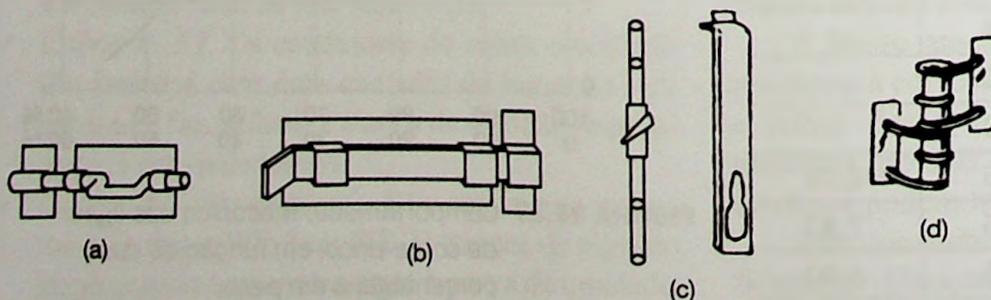


FIGURA 22.39 Tipos de fechos de correr.

b) Fechadura de segurança (ou de gorges)

A segurança é intermediária entre as fechaduras de cilindro e as normais. Nesse tipo, as chaves têm ranhuras longitudinais que fazem movimentar pinos (gorges) para soltar a lingueta. Logo, para haver movimento, a chave deve coincidir com a forma da entrada de chave e com a disposição dos gorges (Fig. 22.42).

c) Fechaduras normais

São as de menor segurança. Basta haver coincidência com a entrada de chave e no comprimento da placa para que se movimente a lingueta (Fig. 22.43).

Na Figura 22.44, estão os nomes das diversas peças de uma fechadura.

As fechaduras podem ser de uma ou de duas voltas de chave; as últimas ostentam maior segurança.

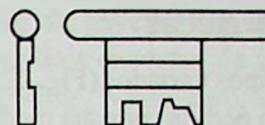


FIGURA 22.42 Fechadura de segurança intermediária.

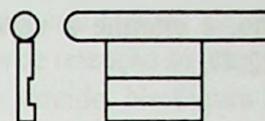


FIGURA 22.43 Fechadura de segurança baixa.

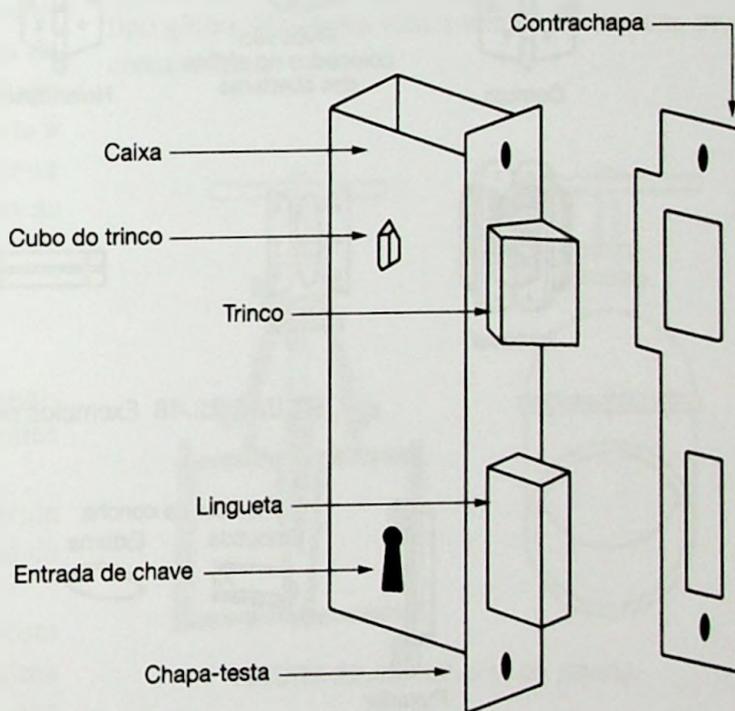


FIGURA 22.44 Nomenclatura dos diversos itens que compõem uma fechadura.

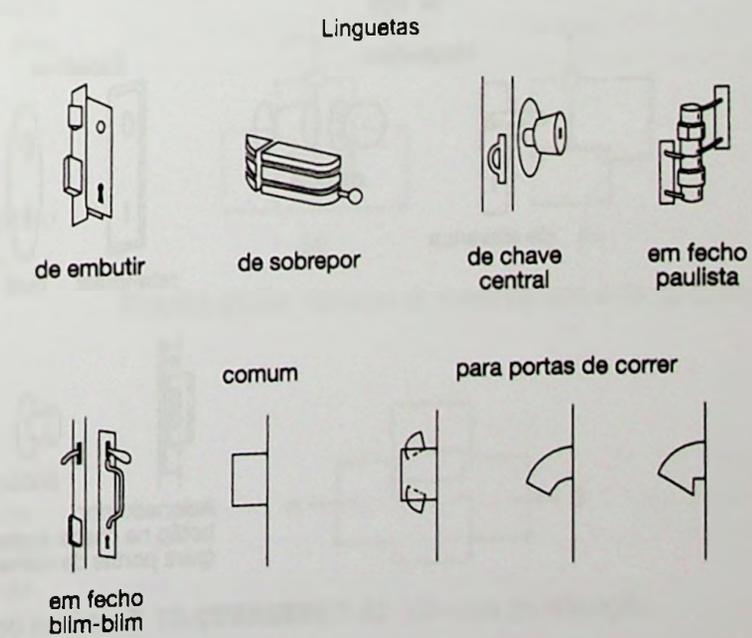


FIGURA 22.45 Exemplos de tipos de fechadura.

22.8.1.3 Dobradiças

Também são de tipos variados (Fig. 22.46). As dobradiças comuns são pedidas por sua medida em polegadas, abertas.

22.8.1.4 Puxadores e acessórios

Entre esses, então, é enorme a variedade. Alguns estão na Figura 22.47.

22.8.1.5 Mestria

Chama-se mestria à possibilidade de uma fechadura ser aberta por chaves diferentes. Nesse aspecto, podem-se encontrar em um edifício:

- todas as chaves diferentes: não há mestria;
- todas as chaves iguais; também não se considera mestria;
- todas as fechaduras precisam de chave diferente, mas todas as chaves abrem a porta de entrada;
- mestria simples: uma chave para cada fechadura, mas, também, uma chave-mestra abre todas as portas;
- grã-mestria: cada fechadura tem sua chave própria, mas existe uma chave-mestra que abre todas as portas do pavimento, não abrindo as de outro pavimento. Além disso, existe uma chave grã-mestra que abre todas as portas.

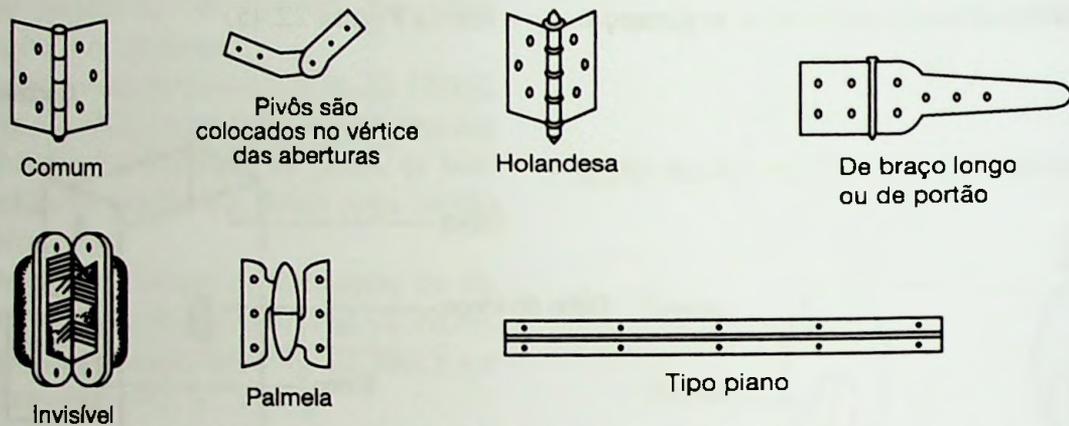


FIGURA 22.46 Exemplos de dobradiça.



FIGURA 22.47 Exemplos de puxadores.

22.8.2 Algumas Considerações de Ordem Geral

Na compra de ferragens, deve-se atentar para a segurança desejada, a qualidade do material, a espessura da esquadria e a direção da abertura.

Como se viu antes, há fechos de maior ou de menor segurança. É evidente que, de um modo geral, à maior segurança corresponda o maior preço.

Deve-se também cuidar para que o material empregado seja durável, de boa aparência e acabamento. Em zonas marítimas, por exemplo, recomenda-se que até as dobradiças sejam de latão.

Ao especificar uma fechadura de embutir, deve-se observar para que sua espessura seja, no mínimo, um centímetro menor que a espessura da porta, e para que a largura das dobradiças não seja maior que a da esquadria.

Em alguns casos, as ferragens têm lado de colocação. Há fechaduras que só servem para portas de abrir à direita ou à esquerda, senão a entrada de chave ficará para o lado errado. Para indicar se uma porta é de abrir à direita ou à esquerda, é preciso colocar-se em frente à mesma, do lado onde não aparecem as dobradiças (Fig. 22.48).

22.8.3 Metais Sanitários

Entre os metais utilizados em redes de água e esgotos, predominam as válvulas, nas suas diferentes modalidades.

Na realidade, é preciso distinguir entre válvula e torneira. As válvulas são instaladas no caminho da rede e servem para a retirada do fluido.

Ambas são normalmente feitas de latão, ou com corpo de bronze e partes essenciais de latão. Acima de uma polegada e meia são produzidas em aço galvanizado, mas com as partes essenciais sempre de latão. Há também torneiras de plástico, que têm demonstrado boas qualidades.

22.8.3.1 Válvulas

Há três tipos básicos de válvulas: de gaveta, de prato (chamadas comumente tipo globo) e de retenção.

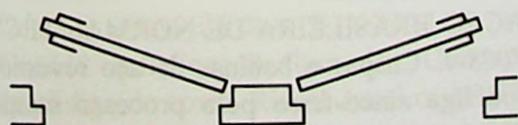


FIGURA 22.48 Na figura, observamos as situações de portas abrindo à direita (lado esquerdo da figura) e à esquerda (lado direito da figura).

Nas válvulas de gaveta (Fig. 22.49), um septo se introduz entre dois encostos de latão, vedando a passagem da corrente. Nesse caso, a perda de carga é mínima.

As válvulas de prato são mais estanques que as anteriores, mas apresentam grande perda de pressão na rede. São do tipo reta e de canto, representadas esquematicamente nas Figuras 22.50(a) e (b).

As válvulas de retenção só permitem a passagem da água em um sentido. Na Figura 22.51, quando a água vem de B para A, a pressão comprime a válvula e fecha a passagem.

22.8.3.2 Torneiras

Em princípio, são empregados dois tipos de torneiras. A Figura 22.52 mostra o tipo comum, que é a torneira com válvula de prato, geralmente chamada de tipo globo. Na figura está a nomenclatura das partes constituintes.

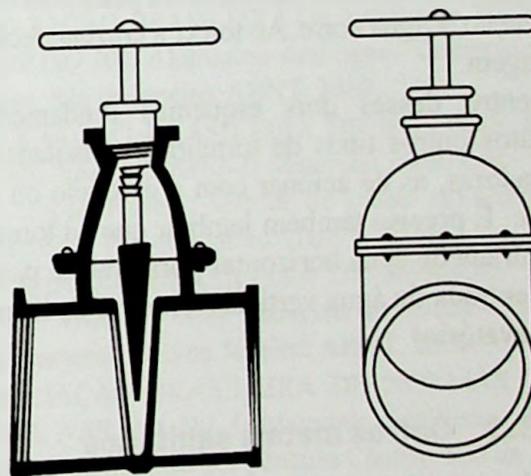


FIGURA 22.49 Válvulas de gaveta.

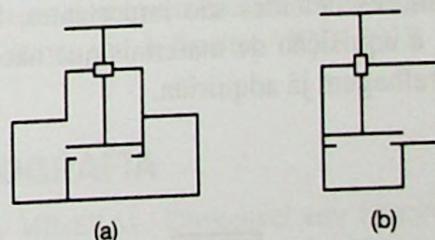


FIGURA 22.50 Válvulas de prato (a) reta e de (b) canto.

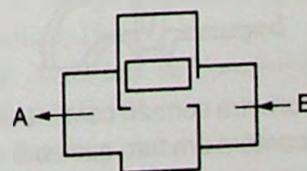


FIGURA 22.51 Válvulas de retenção.

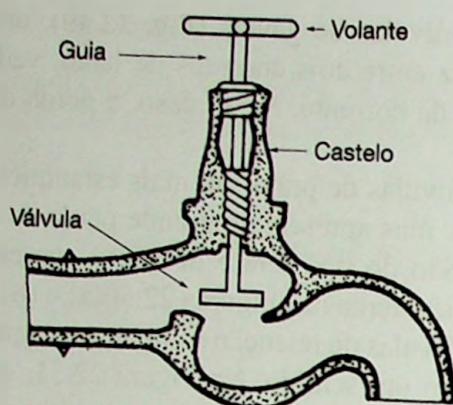


FIGURA 22.52 Torneira comum com válvula de prato.

A torneira do tipo Crê é uma variante, em que a válvula fica solidária com a cabeça. Quando se move uma alavanca lateral, a torneira desce, abrindo a passagem para a água.

O outro tipo de torneira é a de macho (Fig. 22.53), em que há um corpo central com uma passagem transversal. Quando há coincidência dessa passagem com a canalização, a água corre. Ao torcer a cruzeta, fecha-se a passagem.

Dentro desses dois esquemas fundamentais, há muitos outros tipos de torneiras: as isoladas, as misturadoras, as de acionar com o cotovelo ou com o pé etc. É preciso também lembrar que há torneiras com entrada de água horizontal (torneiras de parede) e com entrada de água vertical (torneiras de bancada ou de lavatório).

22.8.3.3 Outros metais sanitários

Além das torneiras, há uma infinidade de acessórios de metal usados nas instalações sanitárias. O projetista deve especificá-los com o máximo cuidado, porque os menores detalhes são importantes, levando, por vezes, à aquisição de materiais que não servem para a aparelhagem já adquirida.

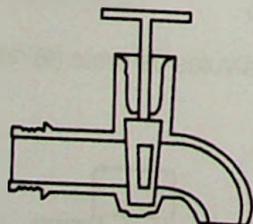


FIGURA 22.53 Torneira comum com macho. O macho contém um furo que abre ou fecha a passagem da água, conforme a torneira é girada.

22.9 ALGUMAS NORMAS DA ABNT

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5019*: Produtos e ligas de cobre – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5020*: Tubos de cobre sem costura para uso geral – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6157* (esta norma está cancelada e não possui substituta): Materiais metálicos – Determinação da resistência ao impacto em corpos de prova entalhados simplesmente apoiados. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6186* (esta norma está cancelada e não possui substituta): Chapa e tira de ligas cobre-zinco e cobre-zinco-chumbo. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6315*: Lingotes, barras, anodos e vergalhões de estanho – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6323*: Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6599*: Alumínio e suas ligas – Processos e produtos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6637*: Materiais refratários conformados – Determinação da dilatação térmica linear reversível. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6999*: Alumínio e suas ligas – Produtos laminados – Tolerâncias dimensionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7008-1*: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7008-2*: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 2: Aços de qualidade comercial e para estampagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7008-3*: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 3: Aços estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7008-4*: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 4: Aços endurecíveis em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7008-5*: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de

- imersão a quente – Parte 5. Aços refosforados. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7013*: Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente – Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7556*: Alumínio e suas ligas – Chapas – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7823*: Alumínio e suas ligas – Chapas – Propriedades mecânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8117*: Alumínio e suas ligas – Arames, barras, perfis e tubos extrudados – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8117*: Alumínio e suas ligas – Arames, barras, perfis e tubos extrudados – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8481*: Folhas-de-fiandres – Determinação do revestimento de estanho pelo método coulométrico (eletrolítico) – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10249*: Folhas-de-fiandres – Determinação da camada de estanho pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10821-1*: Esquadrias externas para edificações – Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10821-2*: Esquadrias externas para edificações – Parte 2: Requisitos e classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10821-3*: Esquadrias externas para edificações – Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10821-4*: Esquadrias externas para edificações – Parte 4: Requisitos adicionais de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10821-5*: Esquadrias externas para edificações – Parte 5: Instalação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14330*: Anteliga de alumínio – Composição química e código de cores. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15345*: Instalação predial de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15489*: Soldas e fluxos para união de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15757*: Tubos e conexões de cobre – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16284* (norma em revisão): Bobinas e chapas de aço bifásico revestidas com zinco. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16316*: Superfícies de cobre antimicrobiano – Requisitos e métodos todos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 148-1* (cancela e substitui a *NM 281-1:2003*): Materiais metálicos – Parte 1: Ensaio de impacto por pêndulo Charpy. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 148-2* (cancela e substitui a *NM 281-2:2003*): Materiais metálicos – Ensaio de impacto por pêndulo Charpy – Parte 2: Verificação de máquinas de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 209*: Alumínio e suas ligas – Composição química. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 6892-1*: Materiais metálicos – Ensaio de tração. Parte 1: Método de ensaio em temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 7438*: Materiais metálicos – Ensaio de dobramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 281-1*: Materiais metálicos – Parte 1: Ensaio de impacto por pêndulo Charpy. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 281-2*: Materiais metálicos – Parte 2: Calibração de máquinas de ensaios de impacto por pêndulo Charpy. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BIBLIOGRAFIA

- BRASIL MINERAL. Disponível em: <http://www.brasil-mineral.com.br>. Acesso em: 11 abr. 2024.
- BRIMELOW, E. I. *Aluminio en la construcción*. Bilbao, Espanha: Urmo, 1957.
- GRINTER, L. E. *Design of modern steel structures*. New York: Macmillan, 1941.
- PETRUCCI, E. *Materiais de construção*. Porto Alegre: Globo, 1975, p. 203-261.
- REINER, M. *Building materials*. Amsterdã: Nort-Holland, 1954, p. 125-188.