

MANUAL DO ALUNO

# DISCIPLINA TECNOLOGIA BÁSICA

Módulo 3

República Democrática de Timor-Leste  
Ministério da Educação



## FICHA TÉCNICA

TÍTULO  
MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE TECNOLOGIA BÁSICA  
Módulo 3

AUTOR  
NUNO BOAVIDA

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA  
XXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO



PEDRO VIEGAS, COORDENADOR DO CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA

DESIGN E PAGINAÇÃO  
UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA  
EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO  
XXXXXX

ISBN  
XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM  
XXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE  
2013



## Índice

<b>Tecnologia dos Materiais .....</b>	<b>5</b>
<b>APRESENTAÇÃO MODULAR .....</b>	<b>6</b>
APRESENTAÇÃO .....	6
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM .....	6
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS .....	6
<b>INTRODUÇÃO AOS MATERIAIS.....</b>	<b>8</b>
CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA .....	8
ESTADOS DA MATÉRIA .....	11
FORÇAS ATÔMICAS E MOLECULARES .....	12
MATERIAIS INDUSTRIAIS.....	13
ESTRUTURA DOS METAIS.....	19
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>24</b>
<b>MATERIAIS METÁLICOS.....</b>	<b>27</b>
MATERIAIS METÁLICOS FERROSOS .....	27
PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	31
TIPOS DE ESFORÇOS .....	32
PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	38
DEFORMAÇÃO DOS MATERIAIS METÁLICOS.....	39
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>49</b>
<b>TRATAMENTOS DOS MATERIAIS.....</b>	<b>55</b>
TRATAMENTOS MECÂNICOS .....	56
TRATAMENTOS TÉRMICOS.....	57
TRATAMENTOS TERMOQUÍMICOS.....	65
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>68</b>
<b>ESTUDO DOS AÇOS .....</b>	<b>71</b>
CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS .....	71
ELEMENTOS DE LIGA .....	73
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>77</b>
<b>MATERIAIS NÃO-FERROSOS.....</b>	<b>78</b>
ALUMÍNIO.....	78
COBRE.....	86
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS .....</b>	<b>93</b>







# Tecnologia dos Materiais

## Módulo 3

# APRESENTAÇÃO MODULAR

## APRESENTAÇÃO

No módulo de Tecnologia dos Materiais pretende-se que os alunos aprendam a distinguir os vários tipos de materiais utilizados na indústria, suas propriedades e tratamentos que se aplicam.

## OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

Identificar e distinguir as diferentes propriedades e aplicações dos materiais metálicos (ferrosos e não ferrosos) usados em construção mecânica.

## ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

Introdução aos materiais. Propriedades

- Generalidades
- Estrutura e propriedades dos materiais
- Propriedades mecânicas. Ensaios mecânicos de caracterização
- Deformação plástica
- Materiais metálicos e não metálicos. Distinção
- Relação dos materiais com os processos de fabrico

Ligas ferro-carbónicas. Aços

- Diagrama de equilíbrio. Noções
- Aços ao carbono
- Aços liga
- Tratamentos dos aços. Tratamentos térmicos
- Influência dos elementos de liga
- Classificação dos aços e designação dos aços. Normas
- Formas comerciais e aplicações dos aços
- Gusas e ferros fundidos



### Ligas metálicas não ferrosas

- Introdução
- Cobre e suas ligas
- Alumínio e suas ligas



# INTRODUÇÃO AOS MATERIAIS

## CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA

A matéria existe em três estados (fases) possíveis que se compõem por partículas em movimento contínuo, denominadas **moléculas**.



Figura 1 - A matéria é constituída por átomos e moléculas.



Numa determinada substância, as moléculas são idênticas quanto à massa, estrutura e outras propriedades.

Cada molécula de uma substância exerce sobre as outras uma determinada força. É, por isso, difícil de esmagar um corpo sólido (é necessário exercer uma compressão das suas moléculas contra as forças moleculares) assim como é difícil esticá-lo (exige uma separação forçada das moléculas).

Por sua vez, as moléculas são constituídas por átomos. O **átomo** é a mais pequena partícula que mantém as propriedades de um determinado elemento químico (Figura 2). O átomo é, por sua vez, constituído por três partículas: **elétrões**, **prótons** e **neutrões**.

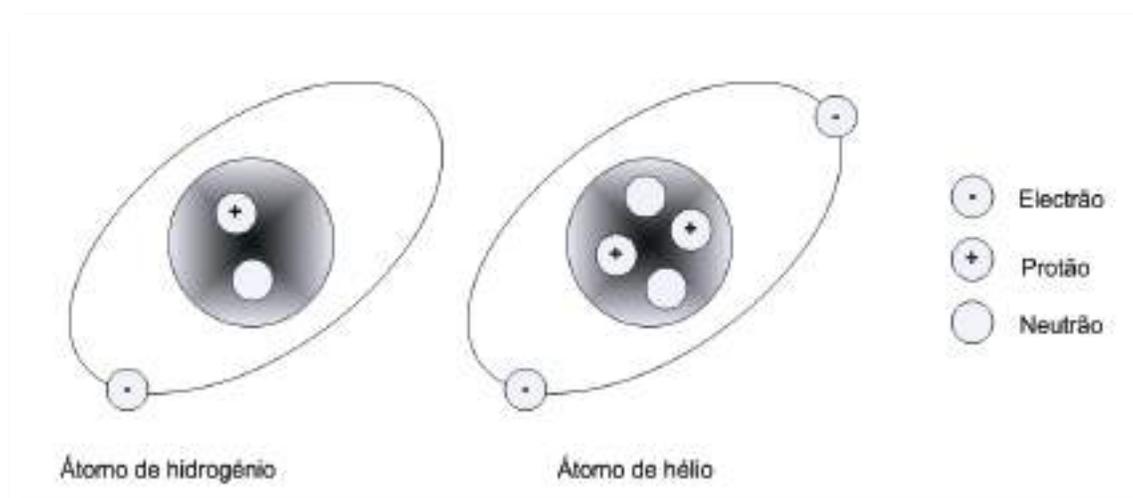


Figura 2 - Constituição de um átomo.

O átomo é, essencialmente, composto por espaço vazio. Para termos uma ideia a, se o núcleo de um átomo fosse do tamanho de um limão com um raio de 3 cm, os elétrons mais afastados estariam a cerca de 3 km de distância (Figura 3).

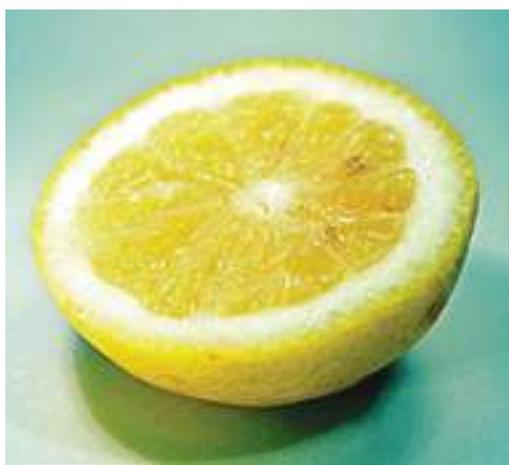


Figura 3 - Analogia entre um átomo e um limão.



Quanto à distribuição dos elementos químicos no Universo, o hidrogénio é, de longe, o mais abundante. Os outros elementos químicos foram criados a partir do hidrogénio por fusão nuclear no interior das estrelas. A energia libertada nestas fusões é, em parte, responsável pelas elevadas temperaturas das estrelas.

A distribuição dos elementos químicos no Universo é indicada de seguida (Figura 4), por ordem decrescente:

- Hidrogénio (H), hélio (He), oxigénio (O), azoto (N), carbono (C), ferro (Fe), silício (Si), magnésio (Mg), enxofre (S), níquel (Ni), alumínio (Al), cálcio (Ca), sódio (Na), cloro (Cl), etc.

A distribuição dos elementos na crosta terrestre é muito diferente da sua distribuição no Universo. O hidrogénio não é abundante e o hélio é praticamente inexistente. Isto deve-se ao facto do campo gravítico terrestre ser demasiado fraco para reter estes elementos leves no estado gasoso.



A distribuição dos elementos químicos na Terra é indicada de seguida, por ordem decrescente:

- Oxigénio (O), Silício (Si), Alumínio (Al), ferro (Fe), cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), hidrogénio (H), titânio (Ti), cloro (Cl),



A maior parte do ferro existente na Terra mantém-se no estado puro no centro do planeta, ficando uma quantidade relativamente pequena na crosta, sob a forma de óxido.

Pelo contrário, o alumínio, magnésio, cálcio e o silício, que são elementos mais leves e quimicamente mais ativos, combinam-se com o oxigénio originando silicatos (areia, granito) e alumino-silicatos (argila) para formar a grande parte da crosta terrestre.

## ESTADOS DA MATÉRIA

Todas as substâncias encontram-se num dos três estados físicos da matéria: sólido, líquido ou gasoso (Figura 5).

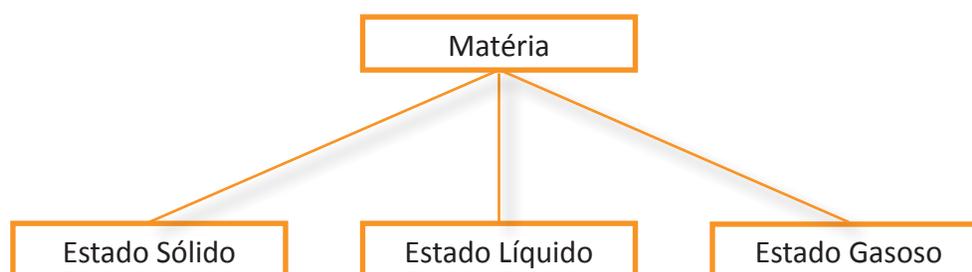


Figura 5 - Estados da matéria.

### Estado Sólido

Os sólidos caracterizam-se por possuir uma propriedade designada coesão que consiste no facto de as partículas que os constituem (átomos ou moléculas) estarem sujeitos entre si a forças de atração. São, por isso, muito rígidos e mantêm a sua forma se esta não for alterada por forças exteriores.

Os sólidos podem ser de dois tipos (figura 6):

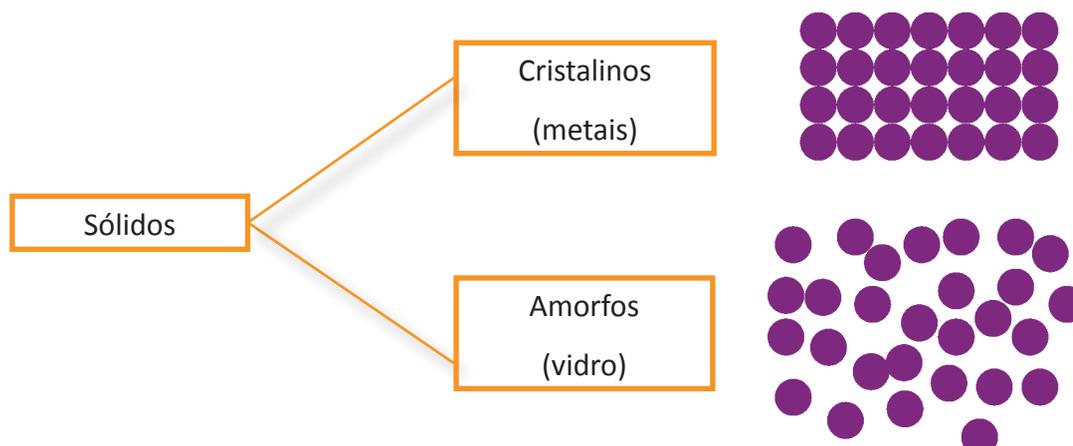


Figura 6 - Sólidos cristalinos e amorfos.



- Cristalinos: os átomos ou moléculas estão dispostos numa estrutura tridimensional regular, como os ovos numa caixa;
- Amorfos: não têm estrutura cristalina; os átomos ou moléculas encontram-se dispostos de forma desorganizada, como é o caso do vidro.

### *Estado Líquido*

Representam uma fase intermédia entre os sólidos e os gases. Os átomos e as moléculas de um líquido têm um certo grau de coesão, pelo que têm tendência a estar unidos, mas não de uma forma rígida, podendo mover-se uns em relação aos outros.

Desta forma, um líquido dentro de um recipiente sujeito a uma força gravítica, toma a forma deste. Se se retirar a força, o líquido assume uma forma mais estável, a forma esférica.

### *Estado Gasoso*

As partículas que constituem um gás quase não têm coesão, podendo mover-se com quase total liberdade umas em relação às outras.

## **FORÇAS ATÓMICAS E MOLECULARES**

As ligações entre os átomos podem ser de três tipos:

- Ligações covalentes;
- Ligações iónicas;
- Ligações metálicas.

As forças de atração existentes entre os átomos e as moléculas de um sólido são equilibradas pelas forças de repulsão. Quando duas partículas se aproximam, os eletrões exteriores de uma repelem os eletrões exteriores de outra e os átomos ou moléculas afastam-se. Porém, devido à força de atração mútua existente, voltam a aproximar-se. O resultado entre as forças de atração e repulsão faz com que os átomos e as moléculas de um sólido vibrem sem parar.



Os átomos e moléculas de um líquido também são afetados pelas forças de atração e repulsão. Mas, como um líquido se encontra mais quente que a mesma substância no estado sólido, as suas partículas possuem uma maior energia cinética, ou seja, vibram com maior intensidade. Desta forma, as forças de atração não conseguem manter a estrutura unida, o que confere às partículas uma liberdade de movimento quase total. Os átomos ou moléculas de um gás possuem tanta energia que se libertam quase totalmente das forças de atração e repulsão, pelo que a sua liberdade de movimentos é quase total.

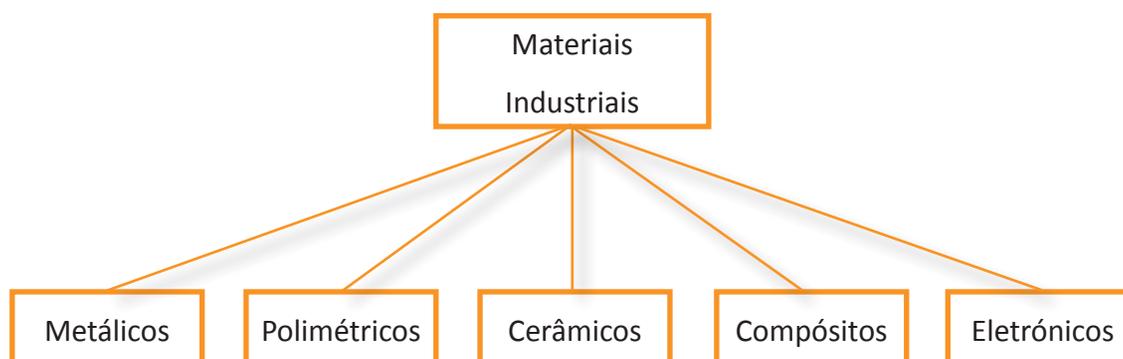
### *Mudança de Fase*

O aumento da temperatura de uma substância provoca o aumento da energia cinética dos seus átomos ou moléculas, traduzindo-se numa maior vibração (num sólido) ou num movimento mais rápido (líquido ou gás).

A determinada temperatura, os átomos ou moléculas do sólido adquirem energia suficiente para superar as forças de coesão. As suas partículas ganham liberdade de movimento e o sólido funde-se.

## *MATERIAIS INDUSTRIAIS*

Os **materiais industriais** podem classificar-se em metálicos, poliméricos, cerâmicos, compósitos e eletrônicos (Figura 7):



*Figura 7 - Classificação dos materiais industriais.*



### Materiais Metálicos

Os **materiais metálicos** são substâncias que contêm um ou mais elementos metálicos (Fe, Cu, Al, Ti, Ni, ... ) e podem conter alguns elementos não-metálicos (C, N, O, ... ) (Figura 8).



Figura 8 - Materiais metálicos.

Os metais possuem uma rede cristalina na qual os átomos se dispõem de forma ordenada. Geralmente são bons condutores elétricos e térmicos. Muitos deles são relativamente resistentes e dúcteis à temperatura ambiente. Muitos mantêm uma grande resistência mecânica, mesmo a altas temperaturas.

Os materiais metálicos podem dividir-se em dois grupos (Figura 9):

- **Ferrosos:** contêm uma percentagem elevada de ferro na sua composição (aços e ferros fundidos ou gusas);
- **Não-ferrosos:** não contêm ferro ou este surge em pequena quantidade (Al, Cu, Zn, Ti, Ni e respectivas ligas).

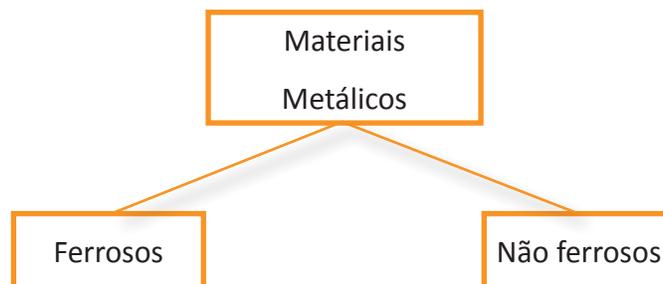


Figura 9 - Classificação dos materiais metálicos.



Um **metal puro** é constituído por átomos de um único elemento químico. Os metais puros não existem na natureza e são obtidos através de processos químicos complexos. Tirando poucas exceções, os metais puros não têm interesse do ponto de vista industrial, uma vez que as suas propriedades são inferiores às obtidas quando são misturados com outros metais, como é o caso das ligas.

As **ligas metálicas** são constituídas pela combinação de dois ou mais elementos químicos em que pelo menos um deles é metálico.

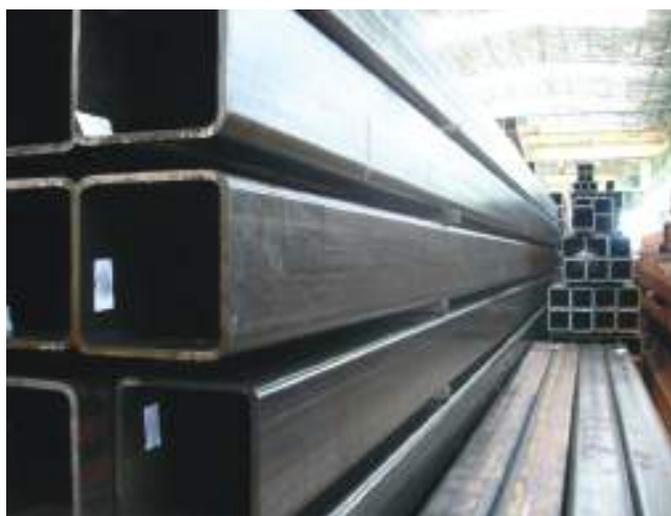


Figura 10 - Ligas metálicas.

### Materiais Poliméricos

Os **materiais poliméricos** são constituídos por longas cadeias moleculares de carbono (Figura 11). A sua maioria não é cristalina. Normalmente são maus condutores elétricos (são utilizados como isolantes), variando bastante a sua resistência mecânica e ductilidade. Em geral, amaciam ou decompõem-se a temperaturas relativamente baixas (figura 12).

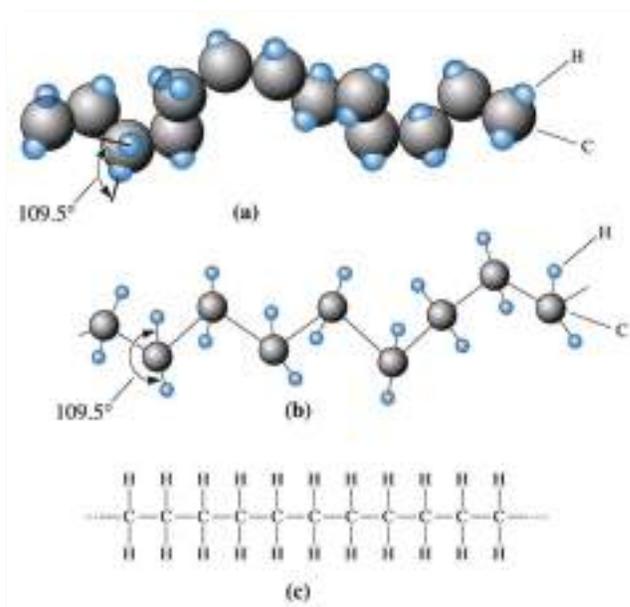


Figura 11 - Cadeias moleculares de carbono.





Figura 12 - Materiais poliméricos.

### *Materiais Cerâmicos*

Os **materiais cerâmicos** são constituídos por elementos metálicos e não metálicos ligados quimicamente entre si (Figura 13). Podem ser cristalinos, amorfos ou a mistura entre ambos. De uma forma geral, possuem elevada dureza, elevada estabilidade química e grande resistência mecânica a altas temperaturas, mas são frágeis. São fabricados a partir de pós (argilas e rochas) a altas temperaturas (Figura 14).



Figura 13 - Materiais cerâmicos.





Figura 14 - Processamento dos materiais cerâmicos.

Podemos, então, classificar os materiais cerâmicos da seguinte maneira:

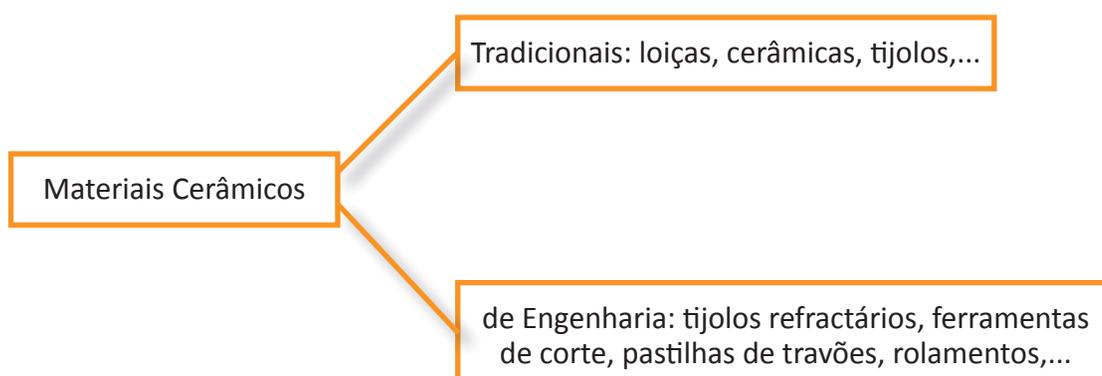


Figura 15 - Classificação dos materiais cerâmicos.

## Materiais Compósitos

Os **materiais compósitos** são a mistura de dois ou mais materiais. Um deles funciona como reforço e o outro como matriz, ou seja, como elemento estrutural. Não há dissolução entre eles, podendo ser fisicamente distinguidos pelas interfaces que os separam.

Os materiais compósitos podem ser de dois tipos, como mostra a Figura 16.



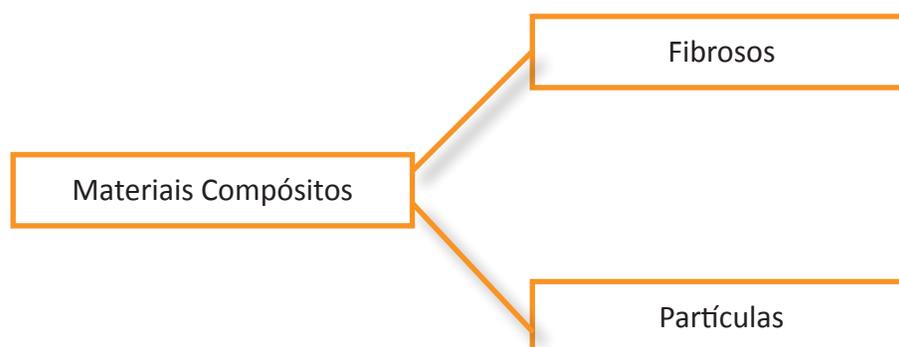


Figura 16 - Classificação dos materiais compósitos.

Os materiais compósitos têm uma grande aplicação na indústria aeronáutica, automóvel (Figura 17) e desporto, devido à sua elevada resistência mecânica e baixo peso.



Figura 17 - Utilização dos materiais compósitos em automóveis de competição.

### Materiais Eletrónicos

São utilizados na indústria eletrónica (Figura 18). Os elementos químicos mais importantes são o silício e o germânio, sendo o primeiro o mais utilizado, no estado puro.





Figura 18 - Materiais eletrônicos.

## ESTRUTURA DOS METAIS

A ligação metálica é um tipo de ligação que ocorre nos metais sólidos. Os átomos dos metais ligam-se entre si através de ligações metálicas resultando num menor estado de energia.

Nos metais, os átomos posicionam-se no espaço formando uma malha que se repete ao longo de todo o material, a que se chama de **célula unitária**.

A junção de várias células unitárias no espaço tridimensional forma a **malha** ou **rede cristalina**.

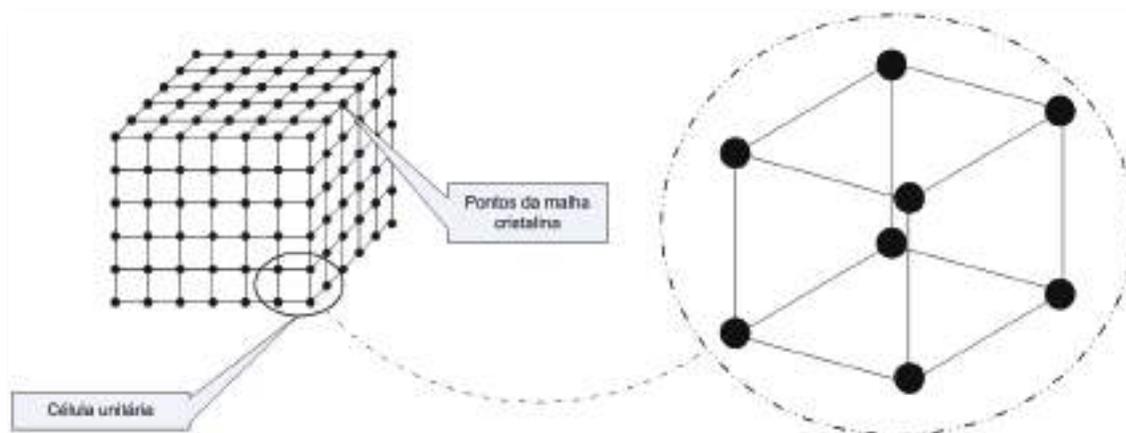


Figura 19 - Esquema da estrutura cristalina de um átomo.



A disposição dos átomos no espaço ocupando posições bem definidas consoante a estrutura e ligados por ligações metálicas influencia as propriedades dos metais. Se consultarmos uma boa tabela periódica, esta indicar-nos-á a disposição dos átomos que cada elemento químico toma no estado sólido (Figura 20).

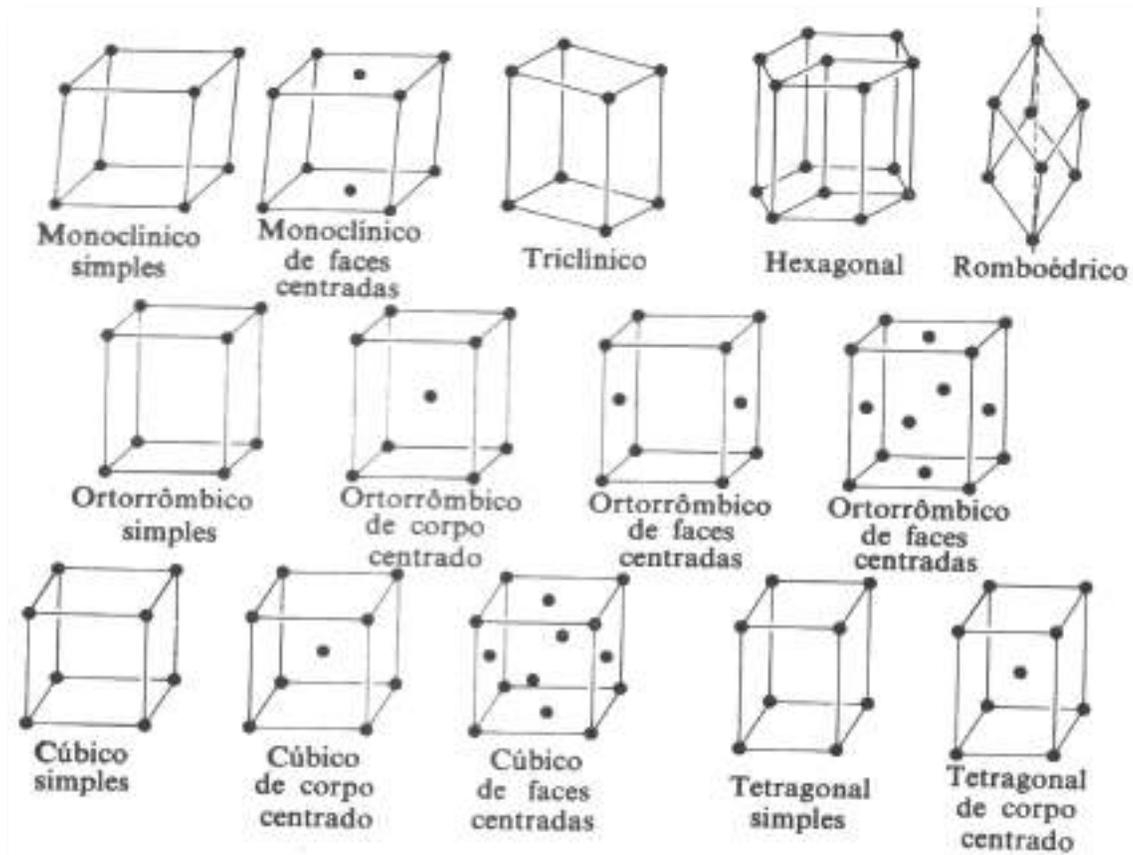


Figura 20 - Diferentes tipos de rede cristalina que os elementos químicos podem ter.



No caso dos metais, as redes cristalinas para os metais mais comuns são dados pela Tabela 1.

METAL	SIMBOLO QUÍMICO	REDE CRISTALINA
Ferro	Fe	CCC
Alumínio	Al	CFC
Magnésio	Mg	Hexagonal
Manganês	Mn	Cúbica
Crômio	Cr	CCC
Vanádio	V	CCC
Titânio	Ti	Hexagonal
Ouro	Au	CFC
Prata	Pt	CFC
Chumbo	Pb	CFC
Zinco	Zn	Hexagonal
Silício	Si	Diamante

Tabela 1 - Redes cristalinas dos metais mais comuns:

CCC - Rede cúbica de faces centradas; CFC - Rede cúbica de corpo centrado

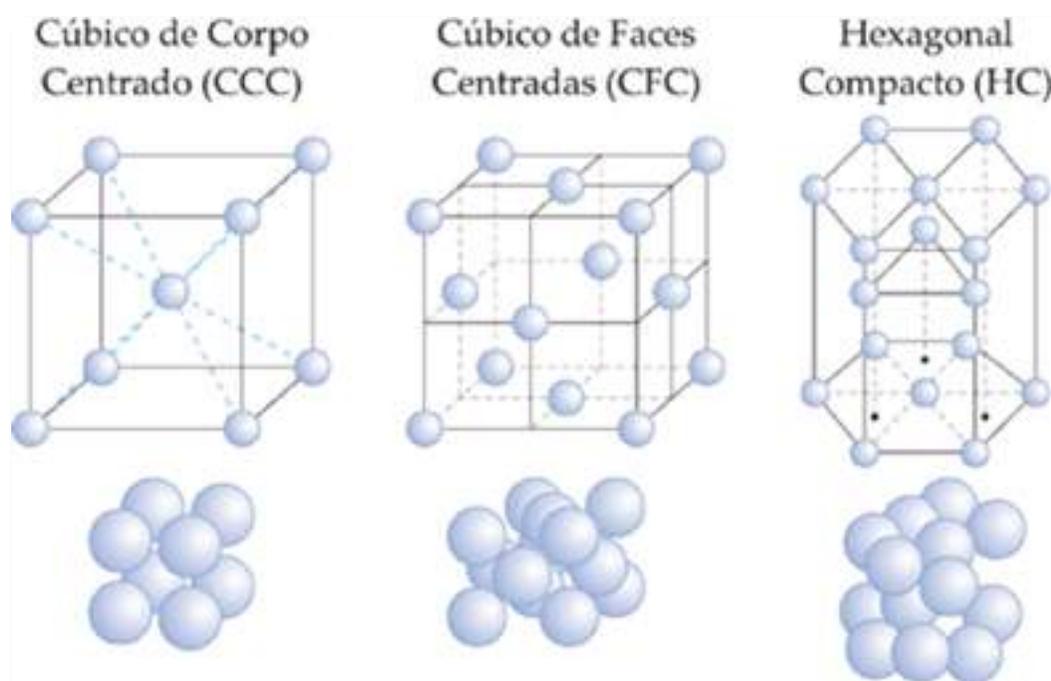


Figura 21 - Redes cristalinas mais comuns.



Como curiosidade, em algumas moedas europeias de 2€, aparece numa das faces a figura de um monumento existente na Bélgica, conhecido por Atomium.

O Atomium é uma estrutura metálica com 103 m de altura e forma parte da paisagem de Bruxelas. O monumento foi criado pelos arquitetos André Waterkeyn e Joan Polack para a Exposição Universal de Bruxelas, em 1958, e representa uma molécula de ferro ampliada 165.000 milhões de vezes. Além de apreciar sua impressionante imagem, é possível percorrer seu interior, passando pelos tubos e por seis das nove bolas gigantes que o formam. A esfera mais alta oferece uma boa vista panorâmica da cidade.



Figura 22 - Atomium.



## *Propriedades dos Metais*

Os metais são caracterizados pelas seguintes propriedades, que irão ser estudadas mais à frente neste manual:

- Brilho metálico
- Densidade elevada
- Ponto de fusão elevado
- Ponto de ebulição elevado
- Condutividade térmica elevada
- Condutividade elétrica elevada
- Opacidade
- Refletividade
- Resistência à tração
- Maleabilidade
- Ductilidade



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

Responda às seguintes perguntas.

**EXERCÍCIO 1.** A matéria é constituída por moléculas que são, por sua vez, constituídas por átomos. Explique a constituição de um átomo e faça um esquema da sua estrutura.

**EXERCÍCIO 2.** Quais os estados fundamentais da matéria? Caracterize cada um deles.

**EXERCÍCIO 3.** O que provoca a mudança do estado sólido para líquido de um material? Explique o que se passa a nível atômico.

**EXERCÍCIO 4.** Os sólidos podem ser cristalinos ou amorfos. Explique a diferença entre eles e dê um exemplo de cada um.

**EXERCÍCIO 5.** Assinale a afirmação correta.

- Os materiais metálicos são substâncias que contêm um ou mais elementos metálicos;
- Os materiais metálicos são substâncias que contêm um ou mais elementos metálicos (C, N, O, ) e podem conter alguns elementos não-metálicos (Fe, Cu, Al, Ti, Ni, );
- Os materiais metálicos são substâncias que contêm um ou mais elementos metálicos (Fe, Cu, Al, Ti, Ni, ) e podem conter alguns elementos não-metálicos (C, N, O, );
- Nenhuma das afirmações anteriores.

**EXERCÍCIO 6.** Assinale a afirmação correta.

- Os metais possuem uma rede cristalina na qual os átomos se dispõem de forma ordenada. Geralmente são bons condutores elétricos e térmicos. Muitos deles são relativamente resistentes e dúcteis à temperatura ambiente;



- b. Os metais possuem uma rede cristalina na qual os átomos se dispõem de forma aleatória. Geralmente são bons condutores elétricos e térmicos. Muitos deles são relativamente resistentes e dúcteis à temperatura ambiente;
- c. Os metais possuem uma rede cristalina na qual os átomos se dispõem de forma desordenada. Geralmente são maus condutores elétricos e térmicos. Muitos deles são relativamente resistentes e dúcteis à temperatura ambiente;
- d. Os metais possuem uma rede cristalina na qual os átomos se dispõem de forma ordenada. Geralmente são bons condutores elétricos e térmicos. Muitos deles são relativamente resistentes e frágeis à temperatura ambiente.

**EXERCÍCIO 7.** Assinale a afirmação correta.

- a. Os materiais metálicos podem dividir-se em ferrosos e não-ferrosos, aço e ferro fundido;
- b. Os materiais metálicos podem dividir-se em aço, ferro e ferro fundido;
- c. Os materiais metálicos dividem-se em aço e ferro;
- d. Os materiais metálicos podem dividir-se em ferrosos e não-ferrosos.

**EXERCÍCIO 8.** Assinale a afirmação correta.

- a. Um metal puro é constituído por eletrões de um único elemento químico;
- b. Um metal puro só existe na natureza sob a forma de um líquido;
- c. Os metais puros são sempre bons isolantes elétricos;
- d. Nenhuma destas afirmações.

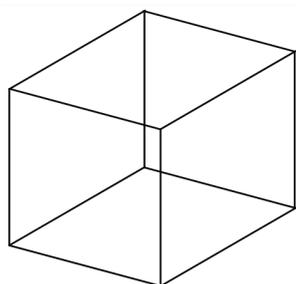
**EXERCÍCIO 9.** Dê um exemplo de cada um dos seguintes materiais industriais:

- Material metálico:
- Material polimérico:
- Material cerâmico:
- Material compósito:
- Material eletrónico:

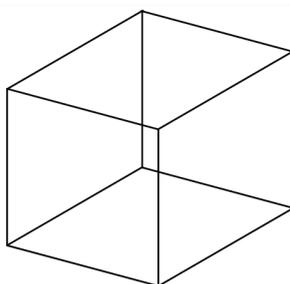
**EXERCÍCIO 10.** Defina célula unitária e rede cristalina.



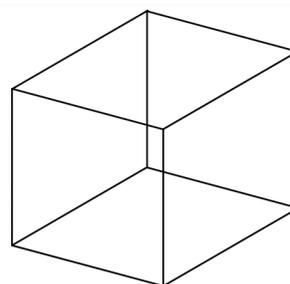
**EXERCÍCIO 11.** Desenhe a posição dos átomos em cada uma das redes cristalinas indicadas.



Cúbica de faces centradas



Cúbica de corpo centrado



Cúbica simples



# MATERIAIS METÁLICOS

Os **materiais metálicos** são substâncias que contêm um ou mais elementos metálicos, podendo também conter alguns elementos não-metálicos.

A maioria dos elementos metálicos (90%) solidifica numa das três estruturas cristalinas:

- Cúbica de corpo centrado (CCC);
- Cúbica de faces centradas (CFC);
- Hexagonal compacta (HC).

## MATERIAIS METÁLICOS FERROSOS

### Diagramas de Equilíbrio

O estudo dos materiais metálicos ferrosos é feito com base num tipo de diagramas designados diagramas de equilíbrio.

Os **diagramas de equilíbrio** são sistemas de coordenadas cartesianas onde se representa a temperatura em ordenadas e a composição da liga em abcissas, expressa em percentagem do peso dos seus constituintes. Os dados necessários à elaboração do diagrama aparecem através de diversos métodos experimentais em laboratório.

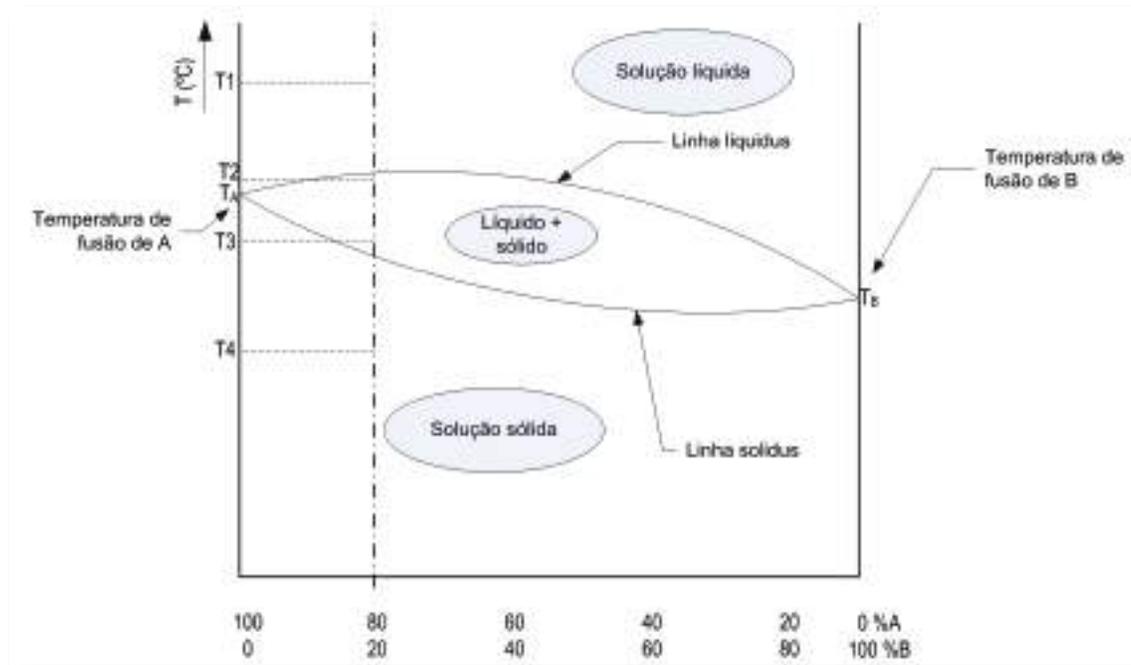


Figura 1 - Diagrama de equilíbrio.



Vamos supor o arrefecimento de uma liga metálica com uma composição de 80 %A e 20 %B, desde a fase líquida até à temperatura ambiente (Figura 2).

A uma temperatura T1, o sólido encontra-se todo no estado líquido. À temperatura T2, começam a aparecer os primeiros grãos de fase sólida, que vão crescendo de tamanho à medida que a temperatura vai diminuindo. À medida que a temperatura se aproxima de T3, os grãos vão-se tornando cada vez maiores, tornando-se a fase sólida maior que a fase líquida. Abaixo da linha *solidus*, toda a fase líquida se transformou em fase sólida, ficando a estrutura da liga composta por grãos unidos uns aos outros, separados por uma fronteira bem definida.

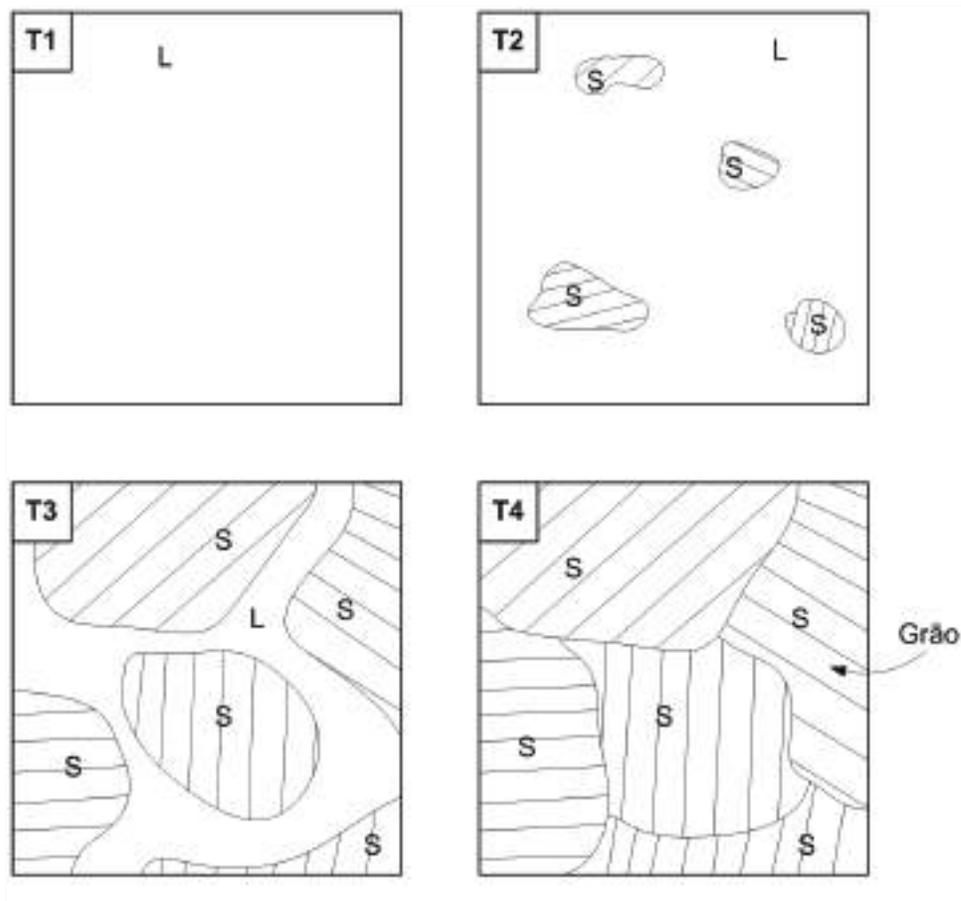


Figura 2 - Arrefecimentos de uma liga com 80%A e 20%B.

L - Fase líquida; S - Fase sólida.

O diagrama de equilíbrio mais importante para o estudo dos materiais ferrosos é o das ligas Fe-C, cujos elementos são o ferro (Fe) e o carbono (C), como mostra a Figura 4).

As ligas ferrosas podem ser classificadas de acordo com a percentagem de carbono, como mostra a Figura 3):



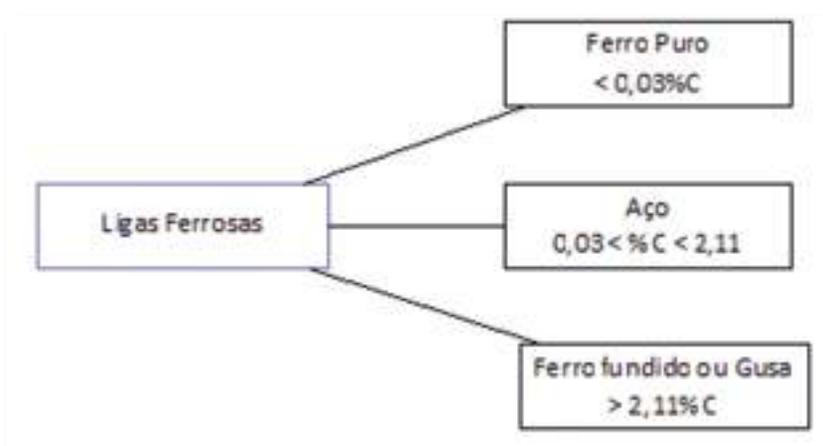


Figura 3 - Classificação das ligas ferrosas segundo a sua percentagem em carbono (%C).

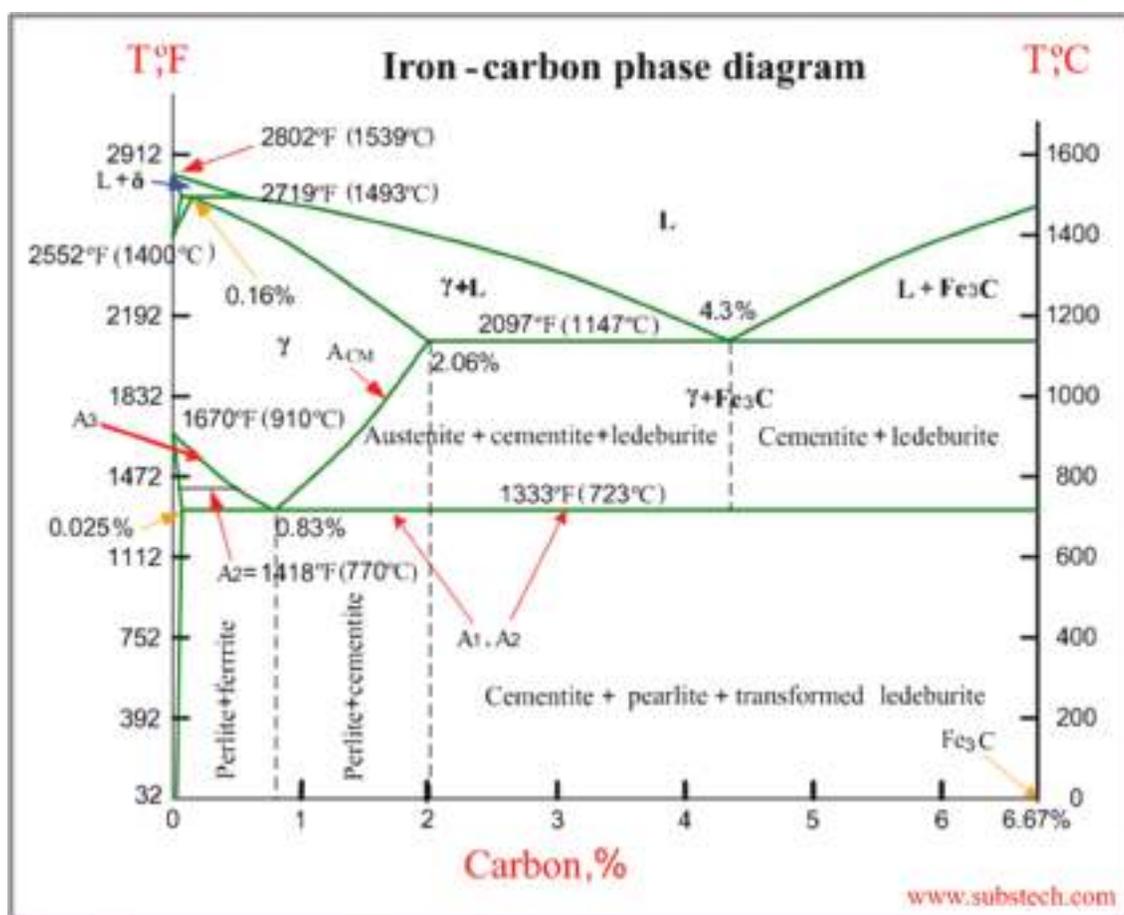


Figura 4 - Diagrama de equilíbrio ferro-carbono.

No entanto, a percentagem de carbono nos aços raramente ultrapassa os 1,4 %C uma vez que acima desse valor se tornam demasiado frágeis.



Existe uma propriedade muito importante do ferro que influencia bastante o diagrama de equilíbrio Fe-C: a alotropia.

Por definição, **alotropia** é a capacidade que alguns materiais têm de permitir que os seus átomos se agrupem em diversas estruturas cristalinas diferentes, consoante a temperatura e pressão a que se encontram. Na Figura 5, podemos observar a alotropia do ferro, ou seja, a sua variação cristalina com a temperatura.

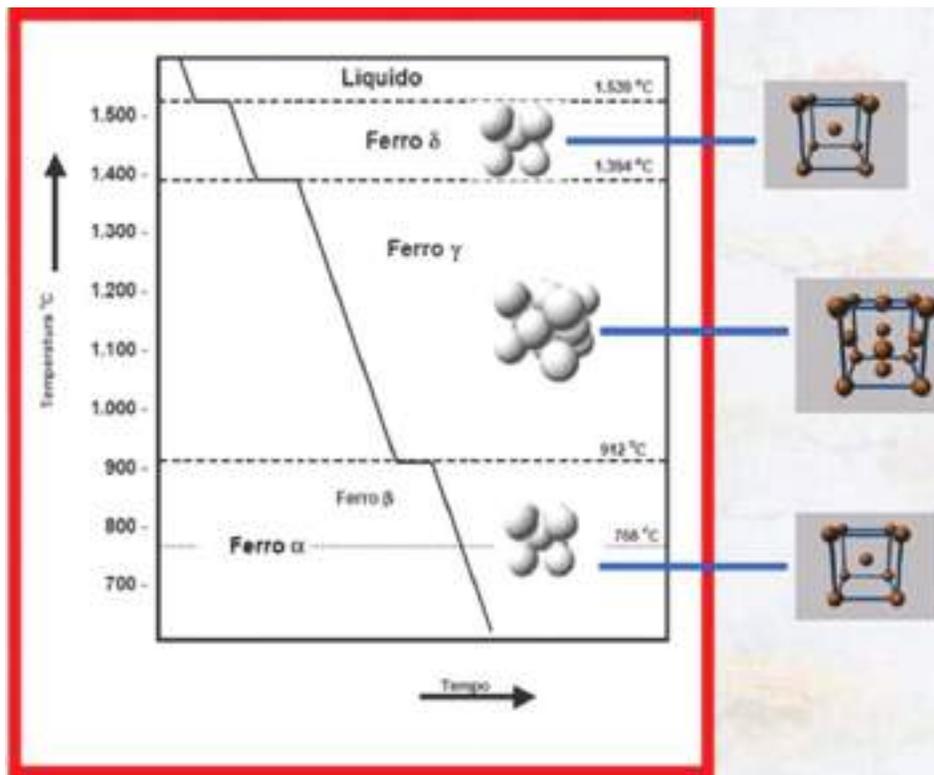


Figura 5 - Alotropia do ferro.

Fe-α	Fe-γ	Fe-δ
-273 até 912°C	912 até 1394°C	1394 até 1539°C
Magnético	Não-magnético	Magnético
Estrutura CCC	Estrutura CFC	Estrutura CCC
Maior volume que Fe-δ		

Tabela 1 - Alotropia do ferro.



## PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

As propriedades dos materiais podem ser classificadas da seguinte maneira:

- **Econômicas:** preço, valor de mercado, incentivos fiscais, fornecedores, materiais com propriedades equivalentes;
- **Mecânicas:** dureza, viscosidade, resistência à ruptura, resistência à fadiga, fluência, tenacidade, rigidez, ductilidade;
- **Superficiais:** resistência à corrosão, à fricção, aos desgastes, à abrasão, à adesão, à erosão;
- **De fabrico:** maquinação, retificação, soldadura, colagem, fundição, conformação, acabamento;
- **Físicas e químicas:** elétricas (resistência, condutividade), magnéticas (magnetismo), ópticas (cor, transparência, refração), térmicas (condutância, dilatação térmica), reatividade química;
- **Microestruturais:** tipo de estrutura (cristalina, amorfa, por cadeias), tipo de cristalização (CCC, CFC, HC), defeitos cristalinos;
- **Estéticas:** aparência, textura, tacto, forma (ergonomia), moda.

A escolha de um material para uma dada aplicação deve ser feita tendo em conta as suas propriedades para que a escolha seja acertada. Um engenheiro ou projetista deve conhecer as propriedades que os diversos materiais possuem, para poder escolher os que apresentem um conjunto de propriedades que melhor satisfaçam as necessidades. Se, para um engenheiro têxtil, encarregue de escolher um novo material para o fabrico de uns sapatos desportivos, interessa escolher os materiais dando importância à sua textura, aparência e o facto de estarem na moda, para um engenheiro civil, responsável pela construção de uma ponte, será mais importante ter em conta a resistência à compressão, a durabilidade, a impermeabilidade e resistência à erosão na escolha dos materiais para o fabrico dessa estrutura.

Na indústria mecânica e metalomecânica, as peças são normalmente projetadas para funcionar em mecanismos que estão sujeitos a esforços mecânicos. Por outro lado, é necessário ter em conta a maneira como essas peças vão ser fabricadas. Desta forma, as propriedades que mais influenciam a escolha dos materiais neste tipo de indústria, são principalmente as **propriedades mecânicas** e as de **fabrico**.



Por exemplo, um engenheiro mecânico responsável pela seleção dos materiais a utilizar no fabrico de um órgão mecânico num mecanismo, poderá colocar as propriedades por ordem decrescente de importância de acordo com a Figura 6.

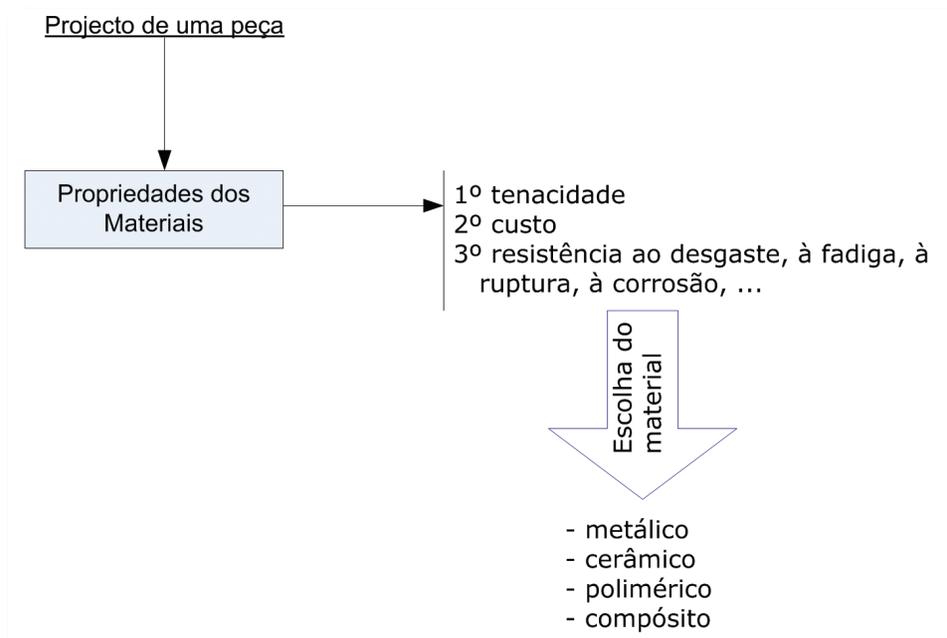


Figura 6 - Seleção de materiais.

## TIPOS DE ESFORÇOS

Pode-se avaliar a deformação de uma peça de qualquer mecanismo ou estrutura metálica, durante o seu trabalho manual, quando submetida a diferentes solicitações externas. Essas solicitações podem ser de vários tipos, como se enuncia de seguida.

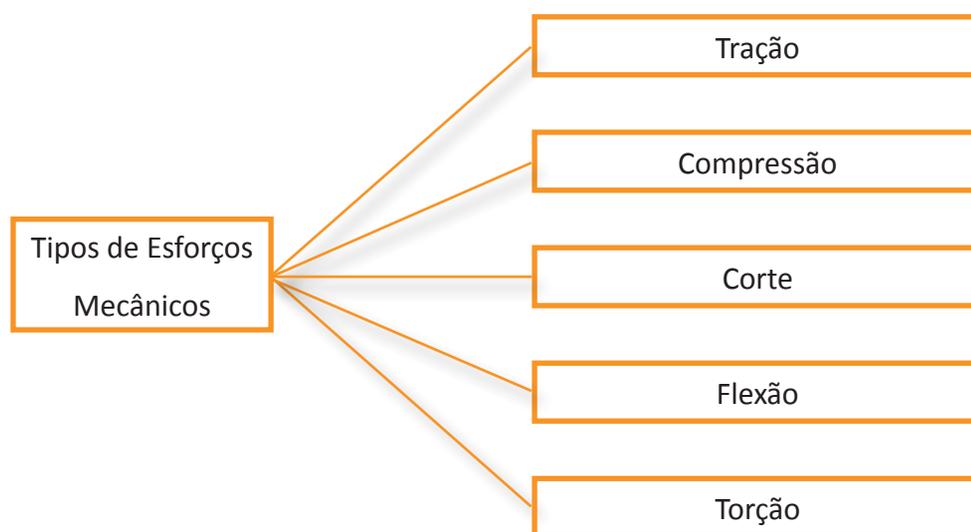


Figura 7 - Esforços mecânicos.



## Tração

As peças tendem a ser alongadas por forças dirigidas segundo o seu eixo (Figura 8). Exemplo: cabos de suspensão, correias de transmissão, cabos de um elevador ou de um guindaste (Figura 9).

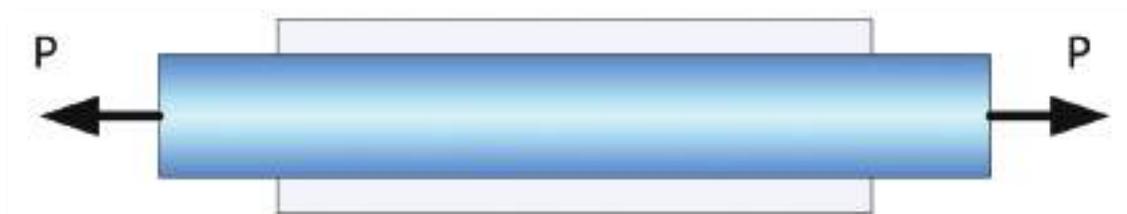


Figura 8 - Esforço de tração.



Figura 9 - Esforços de tração.



### Compressão

A força normal de compressão está associada ao encurtamento da peça, ainda segundo o seu eixo (Figura 10). Exemplo: colunas de apoio (Figura 11).



Figura 10 - Esforço de compressão.



Figura 11 - Esforços de compressão.



## Corte

As forças atuam perpendicularmente ao eixo da peça (ou num sentido transversal), tendendo a resvalar duas secções transversais, uma sobre a outra (Figura 12). Exemplo: São o caso dos esforços a que estão sujeitos parafusos, rebites e chapas quando cortadas numa guilhotina (Figura 13).

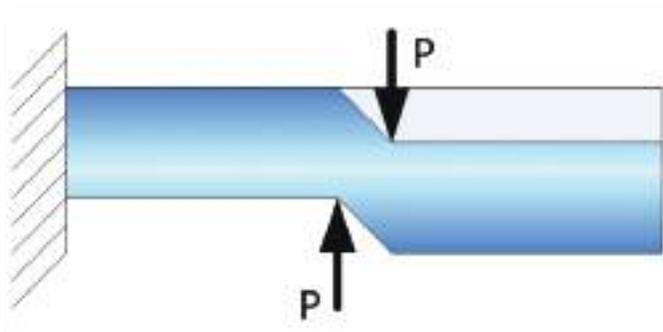


Figura 12 - Esforço de corte.



Figura 13 - Esforços de corte.



### Flexão

As forças exercem-se perpendicularmente ao eixo da peça, obrigando-a a fletir (Figura 14). A peça flete pelo facto das fibras inferiores aumentarem de comprimento e as fibras superiores diminuírem de comprimento. Exemplos: vigas do tabuleiro de uma ponte, dentes de uma engrenagem e a prancha de uma piscina (Figura 15).

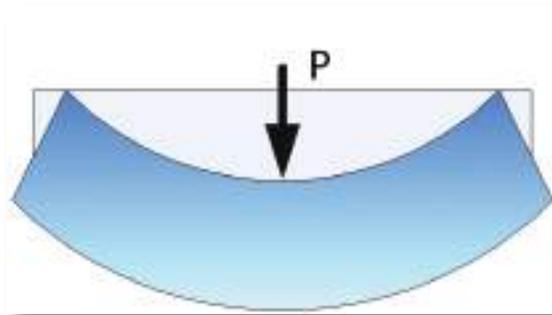


Figura 14 - Esforço de flexão.



Figura 15 - Esforços de flexão.



## Torção

A peça está sujeita a um binário de forças que causam uma rotação das secções transversais em torno do seu eixo (Figura 16). Exemplo: veios de transmissão de movimento, parafuso ao ser apertado (Figura 17).

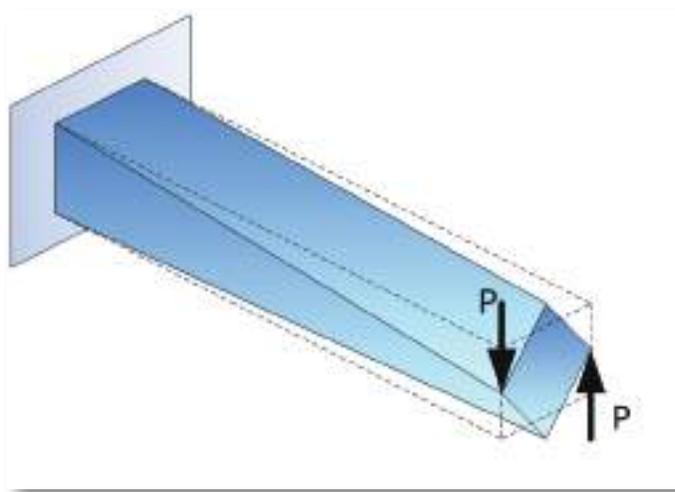


Figura 16 - Esforço de torção.



Figura 17 - Esforço de torção.



## PROPRIEDADES MECÂNICAS

As **propriedades mecânicas** dos materiais são muitas e permitem avaliar a capacidade que os materiais têm de suportar os esforços mecânicos descritos anteriormente:

**Tenacidade:** Capacidade que os materiais têm de resistir a esforços de aplicação gradual (lenta e progressiva) sem se degradarem.

É uma propriedade mecânica geral que representa uma medida global da resistência do material a solicitações diversas como a tração, compressão, corte, flexão e torção.

**Dureza:** Propriedade que os materiais têm de resistir à penetração ou a serem riscados por outros.

**Elasticidade:** Capacidade que os materiais têm de se deformarem sob a ação de forças exteriores, voltando à forma inicial após o fim da aplicação dessas forças.

**Plasticidade:** Capacidade que os materiais têm de se deformarem sob a ação de forças exteriores, mantendo essa deformação após o fim da aplicação dessas forças.

**Maleabilidade:** Propriedade que os materiais têm de sofrer grandes deformações plásticas, pela ação de forças exteriores de compressão, sem se deteriorarem.

**Resistência ao Choque:** Capacidade dos materiais resistir, sem romper, à aplicação de forças instantâneas.

**Resistência à Fadiga:** Capacidade dos materiais resistir, sem se degradarem, à aplicação de esforços variáveis (em sentido e intensidade).

**Ductilidade:** Capacidade que os materiais possuem de se deixarem reduzir a lâminas de espessura muito reduzida ou a fios de diâmetro muito pequeno.



**Fragilidade:** Um material diz-se frágil quando se rompe ao passar o limite elástico sem se deformar plasticamente.

**Resiliência:** Não é em si uma propriedade dos materiais mas o resultado de um ensaio a que se submetem os materiais para medir a quantidade de energia que são capazes de absorver antes de romper mediante um choque. A essa quantidade de energia chama-se resiliência.

**Fluência:** Deformação ao longo do tempo de um material submetido a uma carga ou tensão constante.

**Maquinabilidade:** Capacidade que um material tem de ser maquinado com ferramentas de corte.

## DEFORMAÇÃO DOS MATERIAIS METÁLICOS

Se um material metálico for sujeito a uma força de tração, ocorre uma deformação da sua forma. A sua secção transversal diminui e a secção longitudinal aumenta, mantendo-se constante o volume.

Se, ao retirarmos a força, a peça voltar às dimensões iniciais, diz-se que sofreu uma **deformação elástica**. A quantidade de deformação elástica que um material metálico pode sofrer é pequena já que, neste tipo de deformação, os átomos se afastam das posições originais sem, no entanto, ocuparem novas posições. Assim, quando se retira a força aplicada a um metal deformado elasticamente, os átomos voltam às suas posições iniciais e o material retoma a sua forma original.

Se o material for deformado de tal modo que não consiga recuperar completamente as dimensões originais, diz-se que sofreu uma **deformação plástica**. Os átomos são deslocados permanentemente das suas posições originais e passam a ocupar novas posições. A capacidade que alguns metais apresentam de sofrerem grandes deformações plásticas sem que ocorra fratura é uma das mais importantes propriedades dos metais, como demonstra a figura seguinte.





Figura 18 - Teste de colisão frontal de um automóvel<sup>1</sup>.

*A deformação plástica da estrutura do automóvel absorve a energia do impacto e protege os seus ocupantes.*

### *Ensaios de Materiais*

Os produtos têm de ser feitos de materiais que apresentem propriedades que os permitem suportar os esforços a que vão estar sujeitos em serviço. A forma de saber se os materiais possuem capacidade de suportar esses esforços consiste em efetuar-lhes ensaios mecânicos.

Os **ensaios mecânicos** dos materiais são procedimentos padronizados que compreendem testes, cálculos gráficos e consulta de tabelas em conformidade com normas técnicas. O seu objetivo principal consiste em determinar como é que os materiais reagem a esforços externos (Figura 19).

<sup>1</sup> Fonte: <http://www.edmunds.com/>





Figura 19 - Ensaio mecânico.

Realizar um ensaio consiste em submeter um objeto já fabricado ou um material que vai ser processado industrialmente a situações que simulam os esforços a que vão ser sujeitos nas condições reais de utilização.

Os ensaios podem ser realizados na empresa onde se fabricam os materiais ou em laboratórios especialmente equipados para o efeito. Os ensaios podem fazer-se em protótipos, no produto final ou em provetes.

Os ensaios mecânicos podem classificar-se em dois grupos, como mostra a figura 20.



Figura 20 - Classificação dos ensaios dos materiais.

Os **ensaio destrutivos** são aqueles que destroem ou inutilizam a peça de prova. Incluem-se neste tipo os seguintes ensaios:

- Tração;
- Compressão;
- Cisalhamento ou corte;
- Dobragem;
- Flexão;



- Embutissagem;
- Torção;
- Fluência;
- Fadiga;
- Impacto.

Os **ensaios não-destrutivos** são aqueles que, embora possam deixar alguma marca, não danificam o material de prova após a sua realização. Podem ser de vários tipos:

- Visual;
- Líquido penetrante;
- Partículas magnéticas;
- Ultra-sons;
- Radiografia industrial;
- De dureza.

### Ensaio de Tração

As propriedades mecânicas dos materiais são determinadas através de ensaios, sendo um dos mais importantes o ensaio de tração.

O **ensaio de tração** tem como objetivo avaliar a resistência mecânica de metais e ligas. Neste ensaio, traciona-se uma amostra do material com uma dada forma e dimensões específicas, designada **provete**, até à fratura, num intervalo de tempo relativamente curto e com uma velocidade constante (Figura 21 e 22).

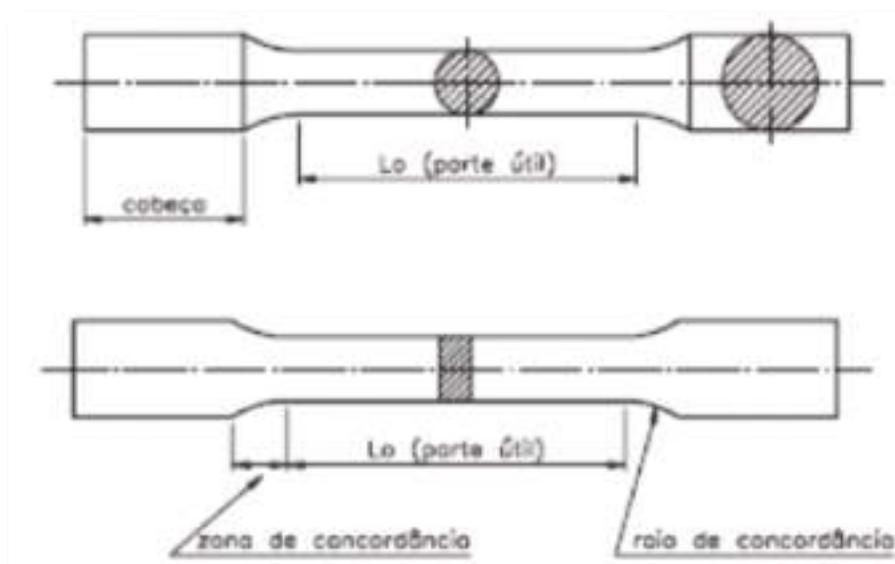


Figura 21  
- Provetes utilizados num ensaio de tração.  
A secção pode ser circular ou retangular.



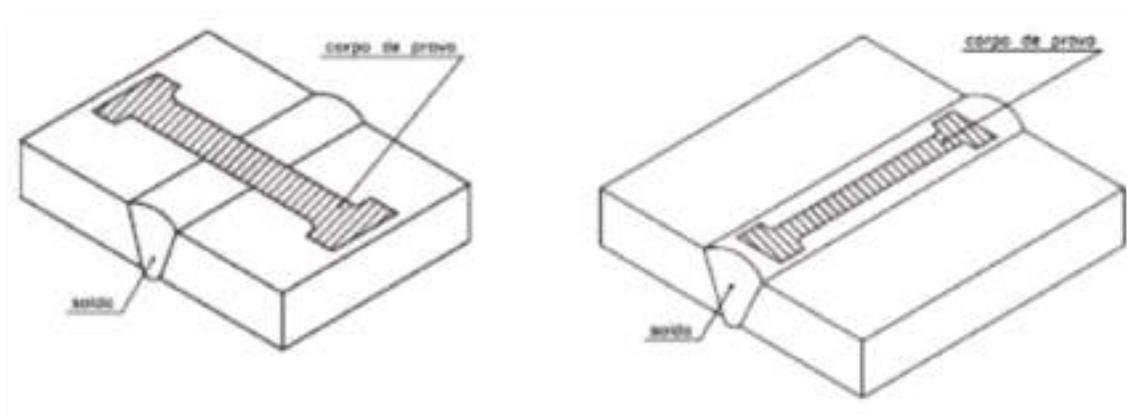


Figura 22 - Provete utilizado num ensaio de tração.

Para o efeito utiliza-se a máquina universal de tração, sendo o ensaio realizado sob condições específicas normalizadas (Figura 23). O ensaio é apoiado por um computador ligado à máquina que regista os valores da tensão aplicada com a extensão do provete de ensaio. O gráfico registado durante o ensaio de um material dúctil tem o aspecto indicado na Figura 24.

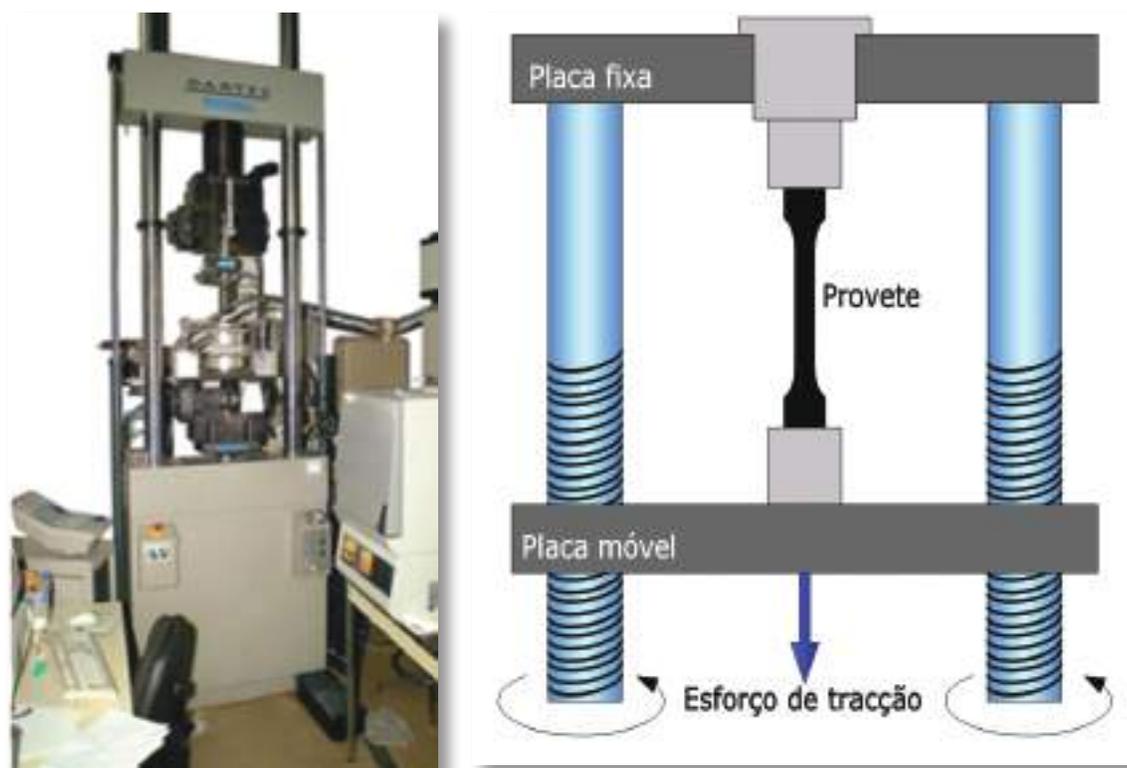


Figura 23 - Máquina de tração.



Quando um provete é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e a deformação ocorrida durante o processo. Este gráfico é conhecido pelo **Diagrama Tensão-Extensão**.

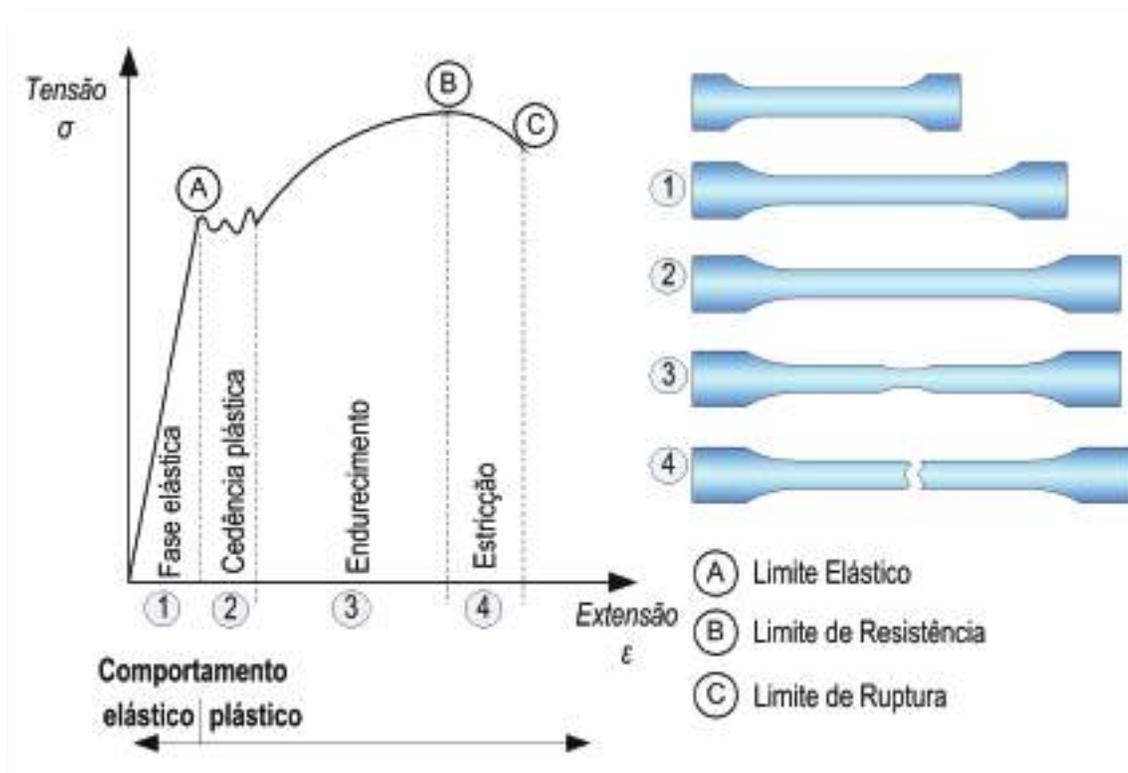


Figura 24 - Diagrama Tensão-Extensão.

Quando iniciamos o ensaio de tração com o aumento da carga a deformação do provete dá-se no **domínio elástico** do material. Isto significa que, se a força de tração for retirada, o corpo volta à sua posição inicial, tal como um elástico.

Esta fase caracteriza-se por haver uma proporcionalidade direta entre a tensão e a extensão, que se caracteriza por uma reta no gráfico tensão-extensão.

A fase elástica ocorre até um valor limite de tensão conhecido por **limite elástico** (A). Após este valor, a extensão deixa de ser proporcional à tensão e entramos no domínio plástico, em que a deformação do material começa a ser permanente, mesmo após o fim da aplicação da tensão.

A **fase plástica** inicia-se com o domínio de cedência plástica em que ocorre um fenómeno conhecido por **escoamento**. O escoamento caracteriza-se por uma deformação permanente do material sem que haja aumento da carga, mas com aumento da velocidade de deformação.



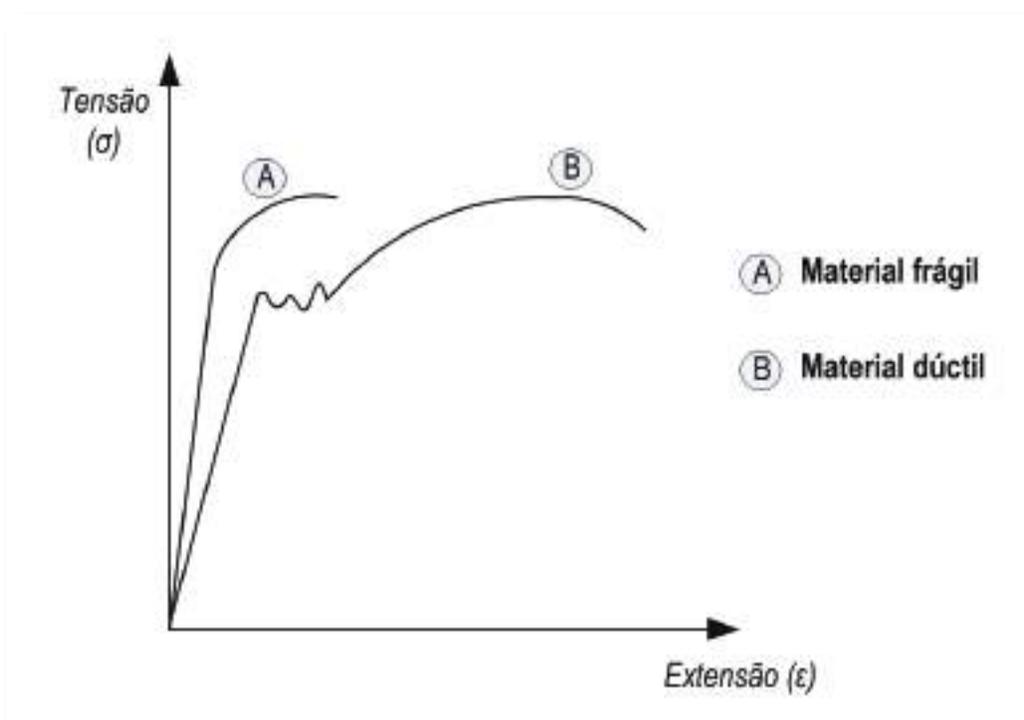
Após o escoamento ocorre o endurecimento causado pela quebra dos grãos que compõem o material quando deformado a frio. O material resiste cada vez mais à tração externa, exigindo uma tensão cada vez maior para se deformar. Nesta fase, a tensão sobe até atingir um valor máximo denominado **limite de resistência** (B).

Continuando a tração, chega-se à fase de rutura que ocorre num ponto chamado **limite de rutura** (C). Neste ponto dá-se a fratura do provete e o fim do ensaio de tração.

Note-se que o limite de rutura é menor que o limite de resistência devido à diminuição da área que ocorre no provete depois de se atingir a carga máxima.

Outro conceito importante a conhecer é o da **estrição** - redução da área transversal do provete na região onde se vão dar a rutura. A estrição determina a ductilidade do material. Quanto maior for a estrição, mais dúctil será o material.

Na figura seguinte vemos os gráficos de dois materiais sujeitos ao mesmo ensaio de tração. O material A é frágil e o material B é dúctil.



*Figura 25 - Comparação entre os ensaios de tração de um material dúctil e de um frágil.*

Um material é considerado **frágil** quando submetido a um ensaio de tração não apresenta deformação plástica, passando do estado elástico à rutura. A figura 26 mostra o resultado do ensaio de tração para diferentes materiais.



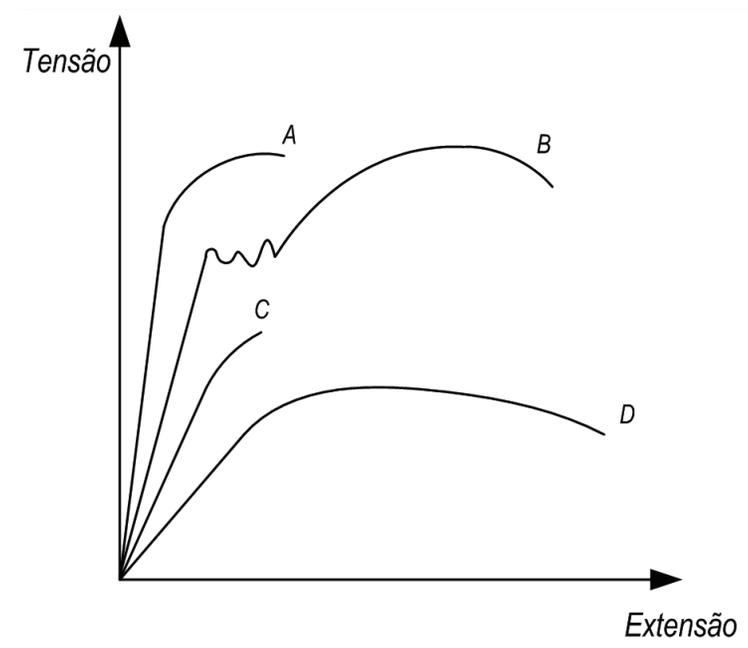


Figura 26 - Ensaio de tração:

A - Aço temperado; B - Aço macio; C - Vidro; D - Borracha.

### Ensaio de Dureza

A dureza é uma medida da resistência do material à deformação permanente (plástica) e o seu valor é medido forçando um indentador a penetrar na superfície do material. O indentador é geralmente uma esfera, uma pirâmide ou um cone, feito de um material muito mais duro que o material a ser ensaiado (aço temperado, carboneto de tungstênio ou diamante). A dureza é medida em função da facilidade com que o material se deforma plasticamente pelo indentador.

Existem três tipos principais de ensaios de dureza.

#### Ensaio de Dureza Brinell

Consiste em fazer penetrar uma esfera de aço temperado de diâmetro  $D$  ou de tungstênio na superfície do metal a ensaiar, sob a ação de uma carga  $P$ , aplicada gradualmente durante um determinado intervalo tempo. Dividindo a carga pela superfície da calote esférica deixada no material, obtém-se uma medida da dureza, ao que se designa por número de dureza Brinell HBS no caso de o indentador ser em aço ou HBW se for em tungstênio. O ensaio realiza-se numa máquina própria e a leitura da dureza faz-se pela medida do diâmetro da calote esférica deixada pelo indentador (Figura 27).



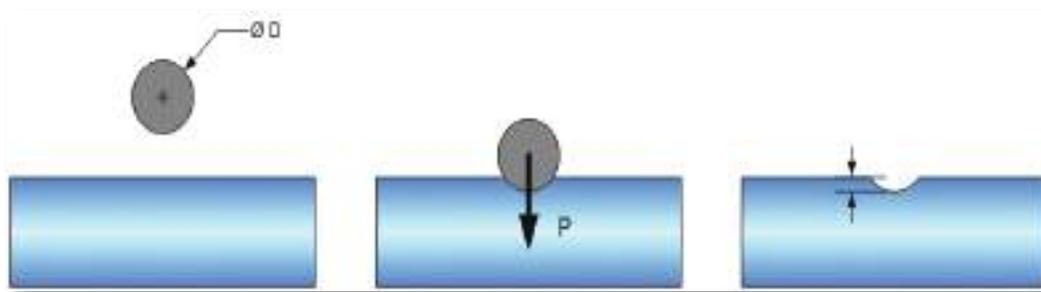


Figura 27 - Ensaio de dureza Brinell.

### Ensaio de Dureza Rockwell

É um método mais industrial e prático do que o Brinell (Figura 28). O processo consiste em fazer penetrar no material a ensaiar um cone de diamante (Rockwell C) ou uma esfera de aço (Rockwell B) e medir a profundidade de penetração. O valor da dureza é medido em HRB ou HRC, respectivamente.



Figura 28 - Identador Rockwell<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Fonte: [www.1gg.com/html](http://www.1gg.com/html)



### Ensaio de Dureza Vickers

Este ensaio realiza-se através da indentação de uma pirâmide quadrangular de diamante na superfície do material a ensaiar, num processo idêntico ao ensaio de Brinell (Figura 29).

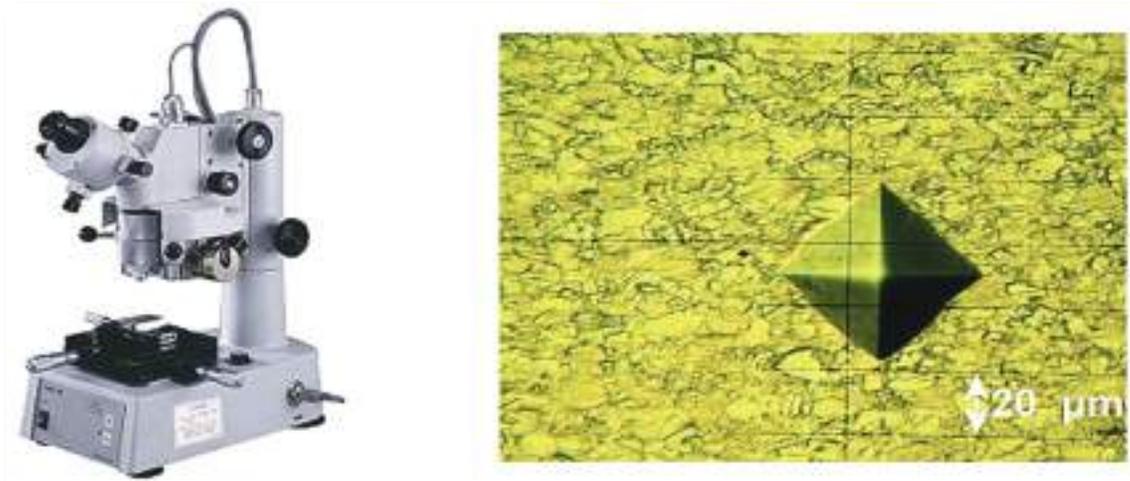


Figura 29 - a) Identador Vickers<sup>3</sup>; b) Marca de uma indentação deixada no material<sup>4</sup>.

A pirâmide quadrangular é feita em diamante e a carga a aplicar sobre ela pode tomar diversos valores. O valor da dureza é indicado com as iniciais HV. É o método mais exato de todos.

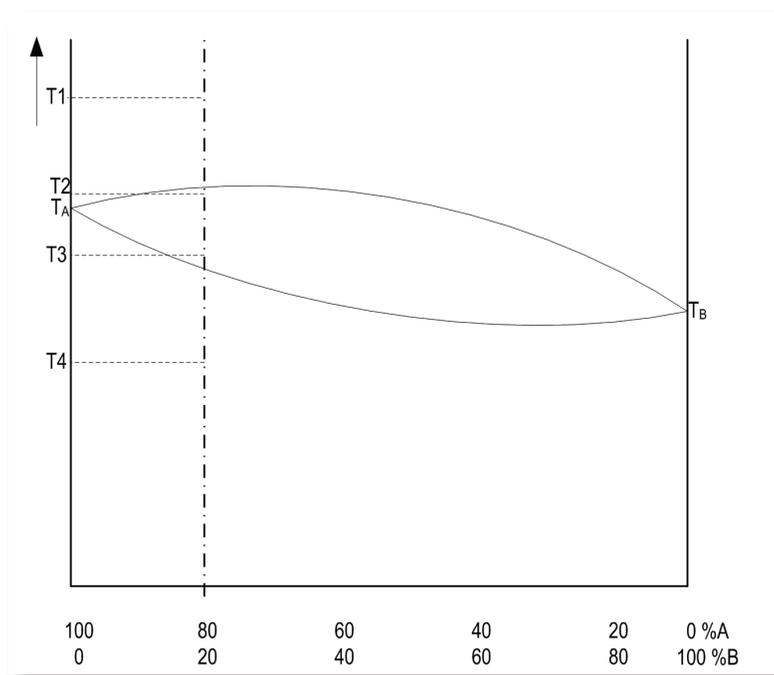
<sup>3</sup> Fonte: [www.obiettivoqualita.net](http://www.obiettivoqualita.net)

<sup>4</sup> Fonte: [www.esemir.it](http://www.esemir.it)



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Considere o diagrama de equilíbrio de uma liga constituída pelos elementos A-B.



- a. Complete o gráfico indicando:
- Temperatura de fusão de A;
  - Temperatura de fusão de B;
  - Linha *liquidus*;
  - Linha *solidus*;
  - Fase líquida;
  - Fase líquida + sólida;
  - Fase sólida.
- b. Desenhe as estruturas correspondentes ao arrefecimento de uma liga com a composição de 80 %A e 20 %B



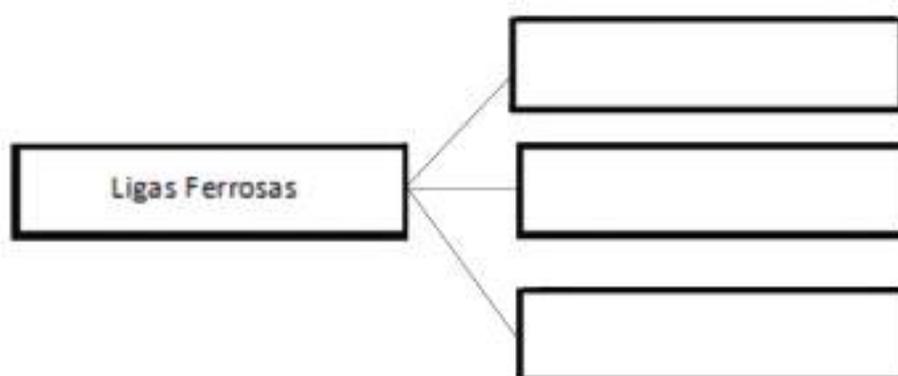
T1

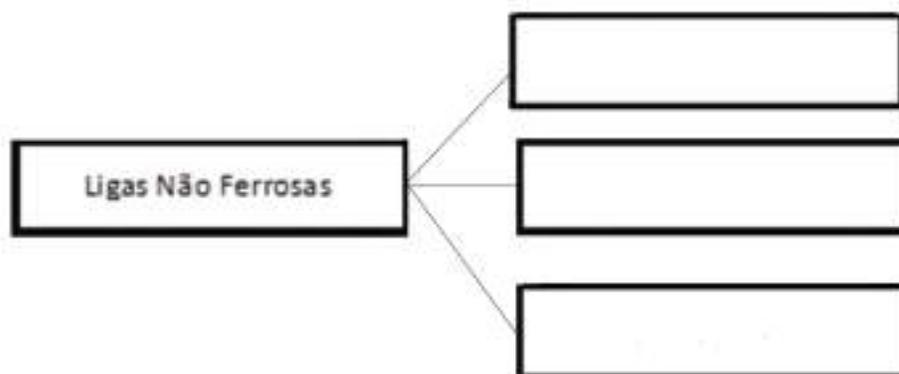
T2

T3

T4

c. Indique três tipos de ligas ferrosas e não-ferrosas.





**EXERCÍCIO 2.** Preencha o quadro seguinte, indicando qual o tipo de esforço que está representado na figura e dando um exemplo prático dessa situação.

Figura	Tipo de esforço	Exemplo



**EXERCÍCIO 3.** Considere as seguintes propriedades mecânicas dos materiais: tenacidade, dureza, elasticidade, plasticidade, resistência ao choque, resistência à fadiga, ductilidade, fragilidade, fluência e maquinabilidade. Preencha o quadro seguinte.

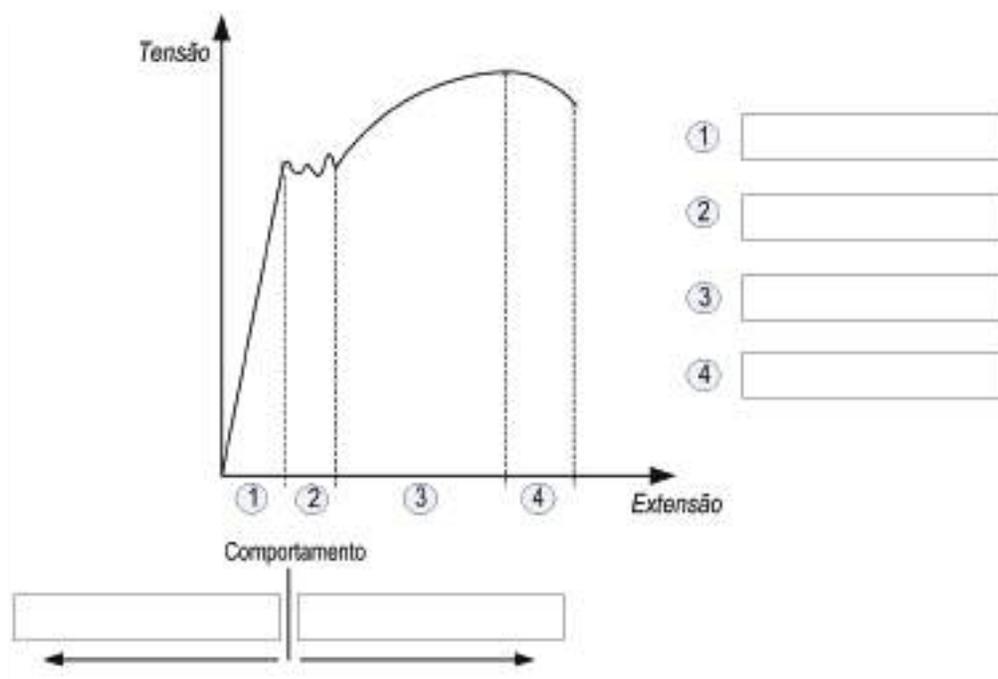
Definição	Propriedade
Deformação ao longo do tempo de um material submetido a uma carga ou tensão constante	
Capacidade dos materiais resistir, sem romper, à aplicação de forças instantâneas	
Capacidade que um material tem de ser maquinado com ferramentas de corte	
Propriedade que os materiais têm de resistir à penetração ou a serem riscados por outros	
Um material diz-se frágil quando se rompe ao passar o limite elástico sem se deformar plasticamente	
Capacidade que os materiais têm de resistir a esforços de aplicação gradual (lenta e progressiva) sem se degradarem	
Capacidade que os materiais têm de se deformarem sob a acção de forças exteriores, mantendo essa deformação após o fim da aplicação dessas forças	
Capacidade dos materiais resistir, sem se degradarem, à aplicação de esforços variáveis (em sentido e intensidade)	
Capacidade que os materiais possuem de se deixarem reduzir a lâminas de espessura muito reduzida ou a fios de diâmetro muito pequeno	
Capacidade que os materiais têm de se deixarem deformar sob a acção de forças exteriores, voltando à forma inicial após o fim da aplicação dessas forças	

**EXERCÍCIO 4.** Os ensaios mecânicos podem classificar-se em dois grupos. Dê três exemplos de cada um.

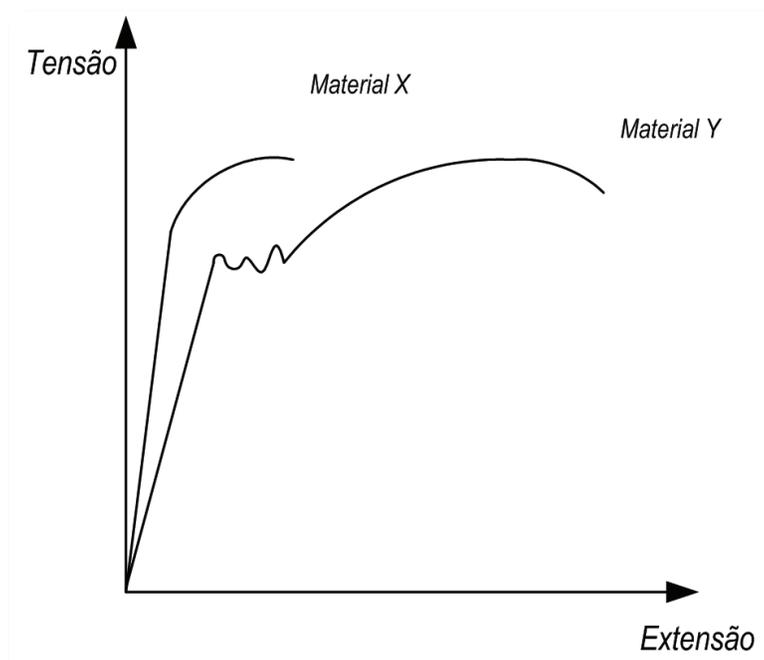
- Ensaio destrutivo:
- Ensaio não-destrutivo:



**EXERCÍCIO 5.** Preencha os campos que estão vazios com os termos corretos.



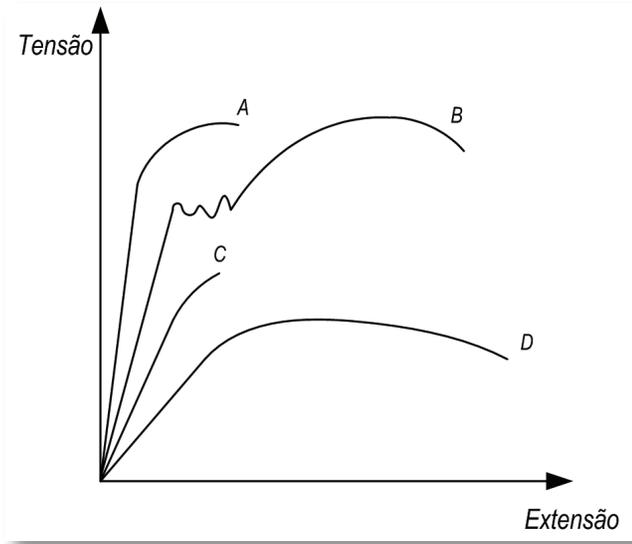
**EXERCÍCIO 6.** Considere o gráfico seguinte.



- Qual o material dúctil e qual o frágil?
- Marque no gráfico com **(A)** o limite elástico e com **(B)** o limite de ruptura **para cada um** dos materiais.
- Qual dos dois materiais apresenta maior deformação permanente?
- Defina estrição.



**EXERCÍCIO 7.** Considere o gráfico como sendo o resultado do ensaio de tração aos seguintes materiais: **aço macio**, **aço temperado**, **vidro** e **borracha**. Indica a letra a que corresponde cada um deles.



A \_\_\_\_\_

B \_\_\_\_\_

C \_\_\_\_\_

D \_\_\_\_\_



# TRATAMENTOS DOS MATERIAIS

As peças de aço ou de qualquer outro material, quando em serviço, ficam sujeitas a solicitações (esforços) que lhes exigem determinadas propriedades mecânicas. No caso concreto dos aços, estas propriedades podem ser melhoradas através de tratamentos adequados. Designam-se por tratamentos dos aços as diversas ações a que estes são submetidos com o fim de lhes melhorar as propriedades em conformidade com as exigências do trabalho que vão desempenhar.

De acordo com o tipo de ação a que os aços são submetidos podemos distinguir os seguintes tratamentos, como mostra a figura 1.

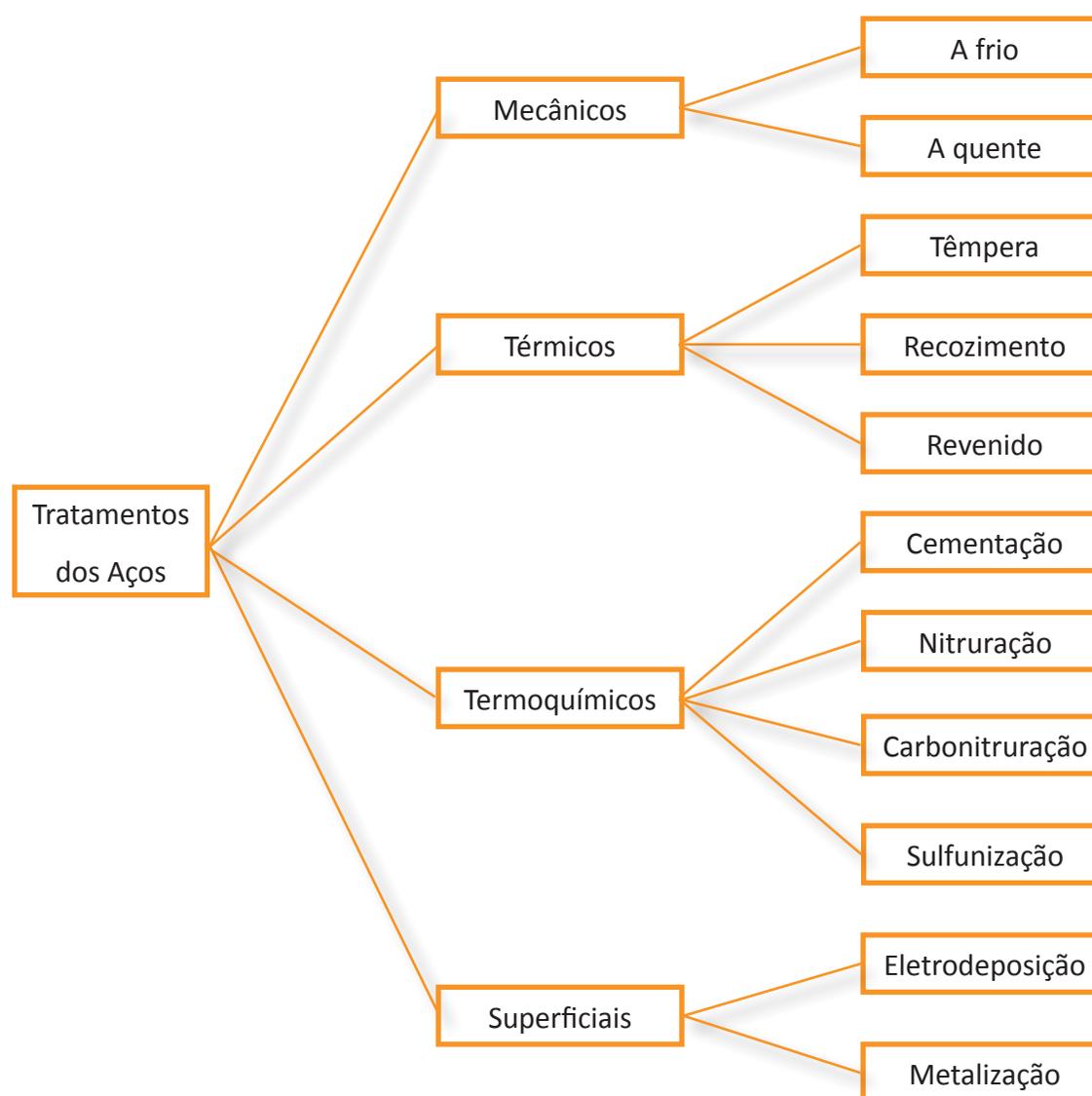


Figura 1 - Tratamentos dos aços.



## TRATAMENTOS MECÂNICOS

**Tratamentos mecânicos** são aqueles em que as propriedades dos aços são melhoradas através de ações mecânicas.

A plasticidade dos materiais está na base deste tipo de tratamentos, pois é esta propriedade que permite a deformação permanente dos materiais por ação de forças externas. Consegue-se, assim, modificar a estrutura e forma do aço e, conseqüentemente, alterar as suas propriedades mecânicas, físicas e químicas.

Os tratamentos mecânicos que se efetuam aos aços podem ser de dois tipos:

- Tratamentos mecânicos a frio;
- Tratamentos mecânicos a quente.

### *Tratamentos Mecânicos a Frio*

Consideram-se **tratamentos mecânicos a frio** aqueles que ocorrem a temperaturas inferiores à de recristalização, como é o caso da laminagem, forjamento a frio, corte, dobragem, embutissagem, estiramento e a cunhagem.

Entende-se por temperatura de recristalização a menor temperatura para a qual se verifica a recristalização do material, isto é, a formação de novos grãos através do agrupamento dos fragmentos dos grãos deformados pelo tratamento. O rearranjo do grão conduz à eliminação de tensões internas.

Como é realizado a temperaturas inferiores à de recristalização, a estrutura não recristaliza, mantendo-se forçada e sujeita a tensões internas, muitas vezes responsáveis pela distorção e empenamento das peças. A este fenómeno chama-se encruamento.

O encruamento pode ser eliminado através de um tratamento térmico - recozimento de distensão - realizado a uma temperatura ligeiramente à de recristalização, por forma a não afetar as propriedades adquiridas com o tratamento mecânico.

### *Tratamentos Mecânicos a Quente*

Os **tratamentos mecânicos a quente** são efetuados a temperaturas superiores à de recristalização, pelo que as tensões internas são eliminadas simultaneamente com o tratamento.



Consegue-se uma redução do tamanho do grão (afinação do grão) com a consequente melhoria das propriedades. O material torna-se mais denso e homogêneo (diminui a porosidade) e melhora, assim, a sua tenacidade.

Estes tratamentos conferem ao aço uma estrutura fibrosa na direção da deformação, pelo que as suas propriedades variam com a direção. Existe, assim, anisotropia ao nível da sua estrutura.

## TRATAMENTOS TÉRMICOS

Um **tratamento térmico** de um aço pode definir-se como sendo um processo no qual o aço, no estado sólido, é submetido a um ou vários ciclos de aquecimento até uma temperatura, estágio a essa temperatura e arrefecimento, com o objetivo de lhe conferir certas propriedades. A figura mostra o ciclo de um tratamento térmico genérico.

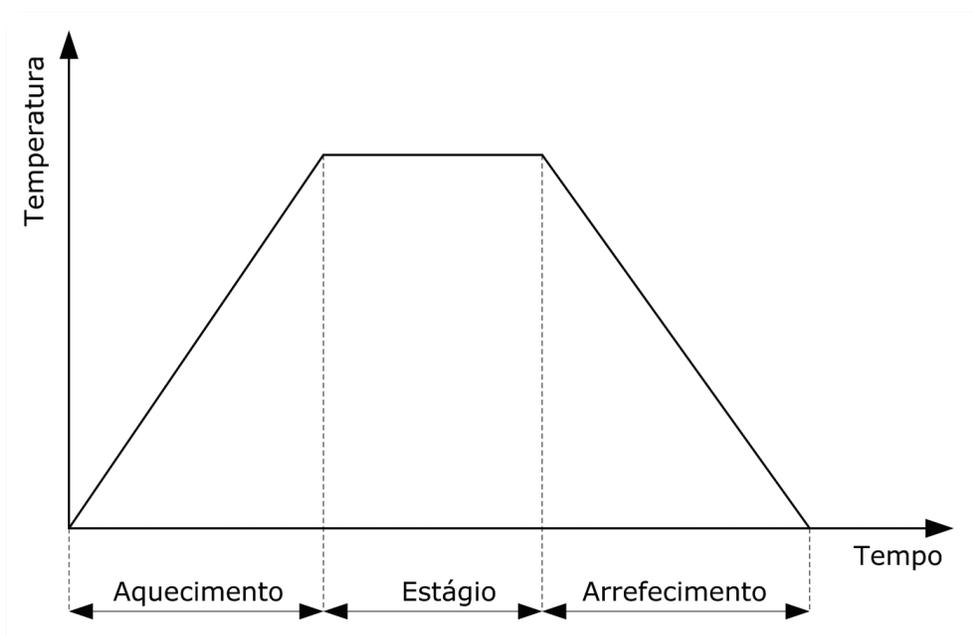


Figura 2 - Ciclo de um tratamento térmico.

A estrutura final dos aços submetidos a um tratamento térmico depende de:

- Temperatura de aquecimento;
- Tempo de estágio;
- Velocidade de arrefecimento<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Velocidade de arrefecimento é definida pela variação da temperatura com o tempo.



O arrefecimento é a etapa de um tratamento térmico que tem maior influência nas propriedades dos materiais. Antes de dar início ao estudo do arrefecimento das ligas, vamos ver o que acontece quando se arrefece um aço até à temperatura ambiente.

A temperatura à qual se vai aquecer o aço depende do tipo de tratamento que se pretende efetuar. Alguns tratamentos térmicos são realizados aquecendo a liga até uma **temperatura de austenitização**, ou seja, a temperatura acima da qual se realiza a formação da austenite. Esta temperatura é dada pela linha GS no diagrama de equilíbrio Fe-C.

Se o aço for arrefecido desde a temperatura de austenitização até à temperatura ambiente em condições de equilíbrio<sup>6</sup>, a suas estruturas de equilíbrio vão depender da sua composição:

- **Ferrite e perlite** se o aço tiver menos de 0,77 %C;
- **Perlite** se o aço tiver 0,77 %C;
- **Perlite e cementite** se o aço tiver mais de 0,77 %C.

Se, por outro lado, o arrefecimento for rápido, os átomos de ferro e carbono não vão ter tempo mudar de posição e organizarem-se para formar as estruturas descritas anteriormente.

O arrefecimento rápido do aço provoca o aparecimento de um novo constituinte, muito duro, denominado **martensite**.

Com o aquecimento, o ferro- $\alpha$  transforma-se em ferro- $\gamma$  que, tem uma maior capacidade de dissolver carbono. Quando se faz o arrefecimento dá-se novamente a passagem de ferro- $\gamma$  a ferro- $\alpha$  (Tabela 1 da página 26). Porém, dada a rapidez da transformação, o carbono não tem tempo de se libertar e vai-se obter ferro- $\alpha$  com uma percentagem de carbono superior à que consegue dissolver em condições normais, dando origem a um novo constituinte - **martensite**.

A figura mostra-nos o aspecto da estrutura da martensite. É uma estrutura cúbica centrada do ferro- $\alpha$  com átomos de carbono dissolvidos.

---

<sup>6</sup> Arrefecimento muito lento por forma a dar tempo aos átomos para se reorganizarem e formarem as estruturas de equilíbrio.



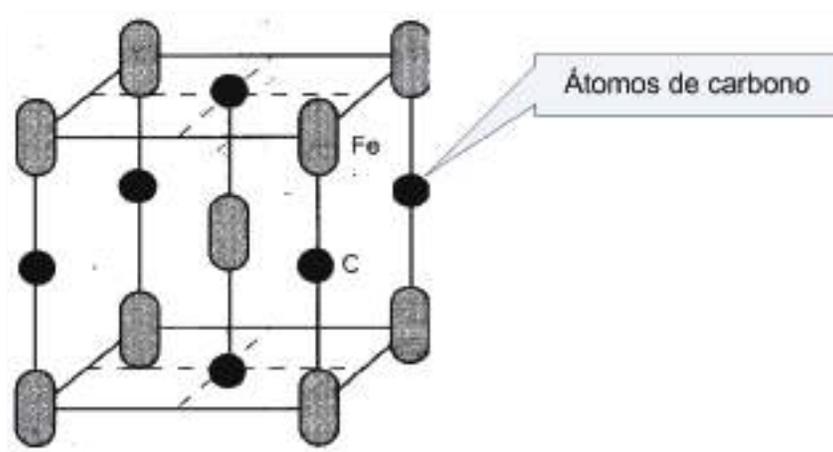


Figura 3 - Estrutura cristalina da martensite.

## Têmpera

A **têmpera** é um tratamento térmico que consiste no aquecimento do aço até à temperatura de austenitização, estágio a essa temperatura e arrefecimento rápido para que se dê a transformação da austenite em martensite.

A têmpera produz uma modificação na estrutura do aço que altera as propriedades mecânicas da seguinte forma:

- Aumento da dureza;
- Aumento da resistência à tração;
- Aumento do limite elástico;
- Diminuição da resistência ao choque;
- Diminuição do alongamento.

## Aquecimento

No aquecimento é necessário elevar a temperatura da peça de modo a que a estrutura fique totalmente austenítica. Este aquecimento tem de ser feito cuidadosamente de modo a evitar a oxidação do aço ou um sobreaquecimento, que pode provocar um aumento do grão (figura seguinte) cujas consequências veremos mais adiante.



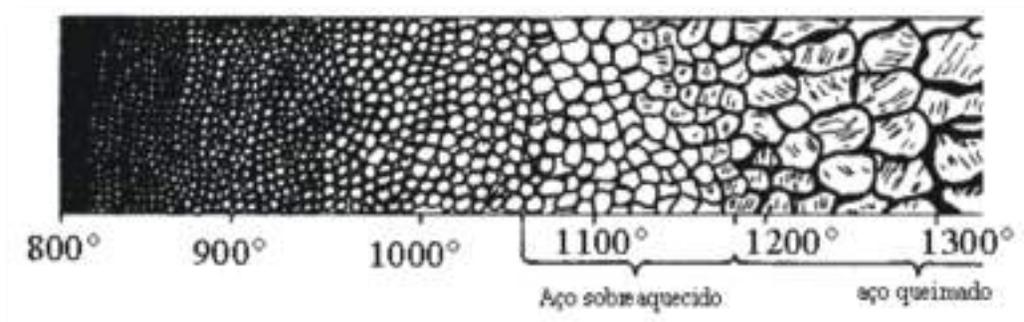


Figura 4 - Esquema do aumento do tamanho do grão com a temperatura.

Alguns aços possuem uma fraca condutividade térmica, agravada pelos elementos de liga que fazem parte da sua composição. Ao aquecermos estes aços, a sua temperatura vai aumentar da superfície para o interior e uma fraca condutividade térmica traduz-se num aumento de calor da peça muito lento. Nestes casos, pode ser necessário efetuar um pré-aquecimento às peças a temperar para evitar criar um gradiente de temperatura<sup>7</sup> muito elevado, que poderia provocar a deformação da peça.

Face às características dos aços e às temperaturas aconselhadas para a têmpera, o ideal seria fazer-se sempre um aquecimento em degraus: 1 degrau para temperaturas de têmpera até 900 °C, 2 degraus para temperaturas até 1000 °C e 3 degraus para temperaturas superiores. O número destes degraus é também função da forma mais ou menos complicada da peça a temperar.

Este pré-aquecimento ou o aquecimento em degraus assegura um aumento da temperatura uniforme em toda a secção da peça e evita o sobreaquecimento das arestas e da superfície.

### Estágio

O estágio à temperatura de têmpera tem como objetivo proporcionar um aquecimento uniforme em toda a massa da peça.

O tempo de estágio à temperatura de têmpera depende de vários factores:

- Composição química do aço;
- Dimensão da peça;
- Temperatura de têmpera;
- Modo como se processa o aquecimento até aquela temperatura.

<sup>7</sup> Gradiente de temperatura - variação de temperatura, ou seja, a diferença entre a temperatura máxima e a mínima.



O estágio deve durar apenas o tempo necessário para alcançar este fim, já que um estágio prolongado leva a um aumento do grão que, conforme já referimos, é prejudicial às propriedades do aço.

Como regra geral para cálculo do tempo de estágio à temperatura de têmpera pode indicar-se:

- Para aços sem liga ou de pequena liga: 5 minutos por 10 mm de espessura;
- Para aços com liga média: 7 minutos por 10 mm de espessura;
- Para aços com muita liga: 10 minutos por 10 mm de espessura.

### **Arrefecimento**

O arrefecimento é a operação que conduz à formação da estrutura martensítica e deve ter uma velocidade suficiente para se conseguir arrefecer a austenite até à temperatura de formação da martensite sem que ocorra a sua transformação noutra estrutura qualquer. Para se obterem várias velocidades de arrefecimento podem usar-se diversos meios, sendo os mais vulgares a água, os óleos, os banhos de sais. É também bastante utilizado o ar ou gases inertes lançados sob pressão, podendo a velocidade de arrefecimento do meio ser controlada pela pressão do gás.

### **Defeitos de Têmpera**

Muitas vezes, as peças temperadas não apresentam as características desejadas. Os principais defeitos de têmpera podem ser vários.

### **Dureza Insuficiente**

A dureza insuficiente resulta de vários fatores:

- Aquecimento incorrecto, não se atingindo a total austenitização;
- Arrefecimento muito lento, permitindo a transformação da austenite noutros constituintes diferentes da martensite;
- Descarburização do aço (perda de átomos de carbono).

### **Deformações e Fissuras**

As deformações até o aparecimento de fissuras são devidas, normalmente, a aquecimentos não uniformes ou exagerados e a arrefecimentos muito violentos. As peças fissuradas ou fendidas são geralmente irrecuperáveis.



### Revenido

O **revenido** é um tratamento térmico que se aplica aos aços depois de temperados. É um tratamento complementar da têmpera que consiste no aquecimento de peças de aço temperadas a uma temperatura inferior à temperatura eutectóide, estágio a essa temperatura, seguido de um arrefecimento lento. Tem por objetivos diminuir a rigidez e fragilidade dos aços, aumentando-lhe a resistência ao choque e o alongamento, ao mesmo tempo que provoca a perda da dureza excessiva.

Os efeitos que produz são:

- Diminuição da resistência;
- Diminuição do limite elástico;
- Diminuição da dureza;
- Aumento do alongamento;
- Aumento da resistência ao choque.

O efeito do revenido é tanto mais intenso quanto maior for a percentagem de carbono e mais brusca for a têmpera.

A diminuição da dureza e da resistência, bem como o aumento do alongamento e da resistência ao choque, são tanto mais acentuados quanto maior for a temperatura e a duração do revenido.

A temperatura de revenido pode ser compensada em parte com o tempo de revenido. Ou seja, um revenido realizado a uma temperatura mais baixa mas durante mais tempo pode provocar os mesmos efeitos que um revenido efetuado a uma temperatura superior durante menos tempo.

Em virtude do arrefecimento brusco realizado durante a têmpera, a estrutura do aço fica forçada, saturada em átomos de carbono e sob tensões internas - estrutura martensítica, uma vez que não houve tempo para se produzirem as estruturas de equilíbrio. O revenido vai aquecer o aço e provocar parte destas transformações. A martensite continua a existir porque a temperatura não é suficiente para permitir a sua transformação, mas vai modificar-se um pouco, provocando uma uniformização da estrutura do aço. Em termos de propriedades mecânicas, o revenido vai aumentar a ductilidade e o alongamento, diminuindo um pouco a dureza e a fragilidade.



Na Figura 5 está representado o diagrama do ciclo de tratamento térmico de um aço sujeito a maquinação. A peça, depois de uma pré-maquinação, é levada a um recozimento de forma a aliviar as tensões adquiridas durante esta etapa. A seguir, a peça é novamente maquinada até a um estado quase final (pré-acabamento) e temperada. No caso de o aço conter elementos de liga, o seu aquecimento deve ser lento e por etapas (ou estágios, no caso da figura). Ao atingir-se a temperatura de tratamento, a peça é mantida a essa temperatura durante um certo tempo, sendo de imediato arrefecida rapidamente quase até à temperatura ambiente. O arrefecimento brusco provoca no aço não só uma elevada dureza mas também uma grande fragilidade e tensões internas. A dureza excessiva e as tensões internas são corrigidas através de um revenido que, neste caso, tem três etapas (1º revenido, 2º revenido e 3º revenido). Em aço ligados, um só revenido pode não ser suficiente para se atingir os objetivos pretendidos, devendo fazer-se mais do que um tratamento.

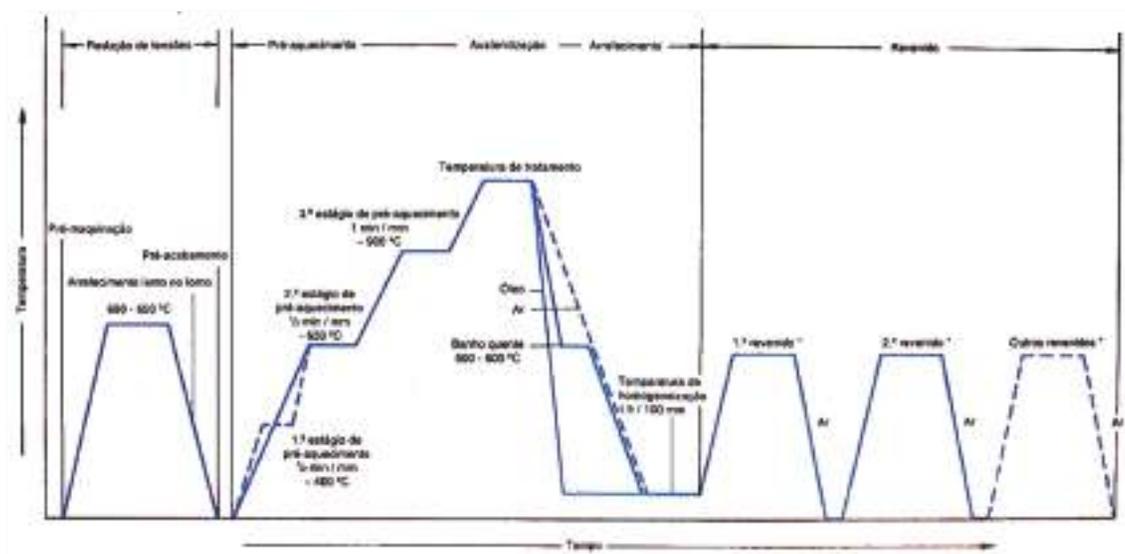


Figura 5 - Diagrama temperatura-tempo para o tratamento térmico completo de um aço<sup>8</sup>.

## Recozimento

O **recozido** é um tratamento térmico que consiste num ciclo de aquecimento, estágio e arrefecimento lento.

<sup>8</sup> Fonte: Catálogo da Thyssen Aços.



Existem vários tipos de recozido que variam com os objetivos pretendidos. As principais razões pelas quais se fazem os recozidos são:

- Eliminar tensões internas;
- Afinar o tamanho do grão;
- Homogeneizar a estrutura do aço;
- Criar e melhorar as estruturas para a maquinação;
- Eliminar os efeitos da têmpera.

Um dos tipos de recozimentos utilizados é o **recozido de distensão**. Este tratamento consiste em manter as peças, durante um tempo (de 30 min a 2 h) a uma temperatura de 500 a 650 °C, seguido de um arrefecimento lento, se possível, no próprio forno, ou em atmosfera neutra para evitar a oxidação e a descarburagem.

Este tratamento é utilizado para eliminar tensões internas originadas pela maquinação, nomeadamente após operações de desbaste de peças de maiores dimensões, que provocam o aparecimento de tensões internas à superfície das peças.

### *Variações nos Aços Provocadas Pelos Tratamentos Térmicos*

Os tratamentos térmicos provocam diversos tipos de alterações nos aços.

#### **Variações Dimensionais**

Vimos que os tratamentos térmicos constam de um aquecimento até uma dada temperatura, estágio a essa temperatura e um arrefecimento. As variações de temperatura nestes ciclos de tratamento provocam alterações nas dimensões das peças, resultantes das tensões térmicas e das alterações da estrutura.

#### **Varição de Forma e Dimensão Devido às Tensões Térmicas**

O arrefecimento do aço é desigual ao longo da peça, uma vez que arrefece mais rapidamente a superfície que o núcleo. Desta forma, a camada superficial tem tendência a contrair, no que é impedida pelo núcleo que se encontra a uma temperatura superior gerando alguns esforços no interior da peça.

A estes esforços, resultantes da diferença de temperatura, a que chamamos **tensões térmicas**, podem ser suficientes para causar deformações.



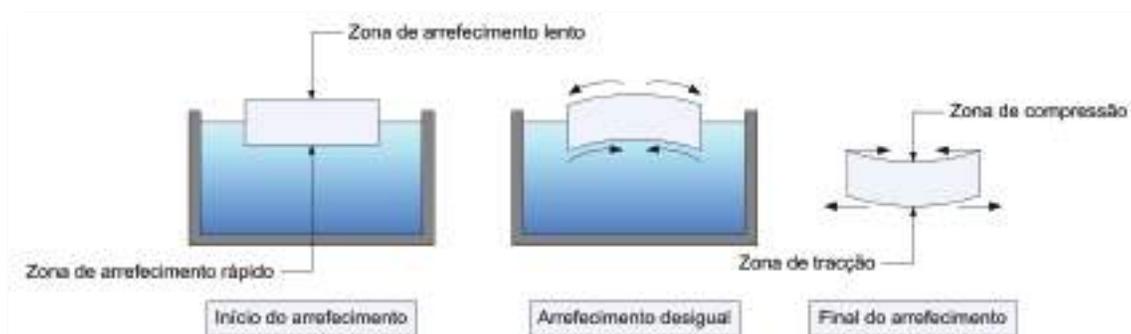


Figura 6 - Esquema de deformações devido a arrefecimentos desiguais.

*A peça sujeita a estas situações, no final, vai ficar mais curta na parte superior e a parte inferior vai ficar forçada.*

### Variação de Volume

A variação de volume tem a ver com a dilatação provocada pelo aumento da temperatura e com a contração existente com o arrefecimento.

O tratamento também pode formar uma estrutura cristalina de volume maior ou menor da que o aço tinha antes, provocando respetivamente a dilatação ou a contração as peças após o tratamento.

Como vimos anteriormente, o ferro apresenta várias formas alotrópicas a várias temperaturas. Quando elevamos a temperatura do aço, este dilata-se e aumenta de volume. Contudo, quando se dá a transformação da ferrite (ferro- $\alpha$ ) em austenite (ferro- $\gamma$ ), ocorre uma diminuição do volume provocada pela modificação da estrutura cristalina, provocando uma contração do aço em vez de uma dilatação.

## TRATAMENTOS TERMOQUÍMICOS

Os **tratamentos termoquímicos** são ações químicas, realizadas a temperaturas convenientes, que se aplicam aos aços com o fim de lhes modificar a composição química superficial.

Estes tratamentos são realizados com o objetivo de proporcionar aos aços uma elevada dureza à superfície e resistência ao desgaste, mantendo o núcleo as propriedades iniciais do aço.



## Cementação

A **cementação** consiste em aquecer a peça a uma temperatura entre 820° e 920°C (temperatura superior à de dissolução do carbono no ferro) em contacto com substâncias ricas em carbono. A esta temperatura a substância liberta o carbono que se vai ligar com o ferro.

É um tratamento que tem por objetivo adicionar uma camada superficial de carbono às peças. O aço para cementar deve ter um baixo teor em carbono, devendo ser inferior a 0,25%. O aumento do teor em carbono faz-se por um processo de difusão atómica, em que os átomos de carbono migram da superfície da peça para o seu interior.

Os cimentos podem ser gasosos, líquidos ou sólidos, tendo como exemplos monóxido de carbono, carbonato sódio + cloreto de potássio e carvão vegetal.

Pela cementação pode obter-se na superfície das peças percentagens de carbono até 1% e espessuras de penetração entre 0,5 e 3 mm, segundo a temperatura e a duração. Quanto maior a temperatura ou o tempo de duração do tratamento, maior a penetração da camada temperada.

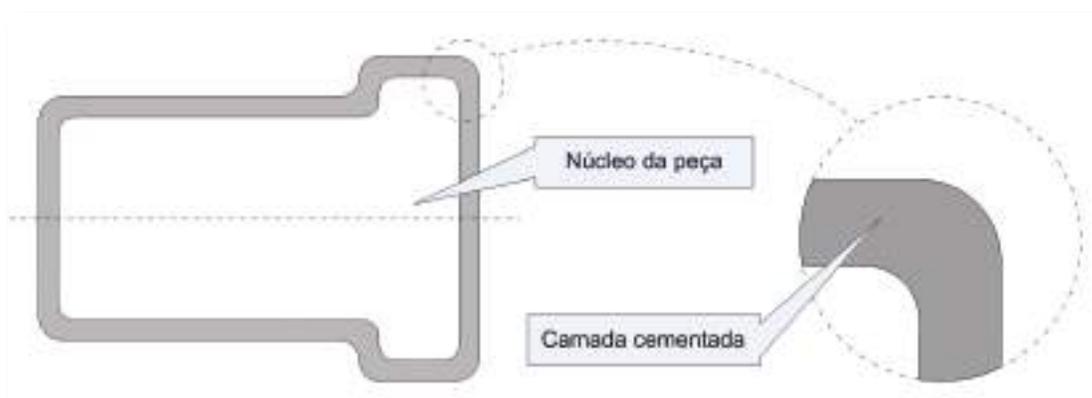


Figura 8 - Esquema de uma peça sujeita a uma cementação.

## Nitruração

A **nitruração** ou **nitrogenação** é um tratamento que se realiza-se a uma temperatura relativamente baixa (cerca de 510°C) e pelo qual se incorpora azoto na camada superficial das peças de aço, conferindo-lhe uma elevada dureza. A duração do tratamento depende da composição do aço e da forma da peça, mas pode variar entre 2 a 7 h. A espessura da camada nitrurada é de alguns décimos de milímetro chegando, raramente, a 1 mm.



## Carbonitruração

A **carbonitruração** reúne numa só operação a cementação e a nitruração, realizando-se a baixas temperaturas, podendo-se efetuar em banhos de sais, cianetos ou em atmosferas gasosas de hidrocarbonetos com amoníaco.

Este tratamento consiste no endurecimento superficial dos aços através da ação conjunta do carbono e do azoto na superfície do aço, permitindo a obtenção de camadas superficiais muito duras, com uma espessura de cerca de 0,1 mm, o que é muitas vezes importante em peças de pequena espessura.

Conseguem-se com a carbonitruração elevadas dureza e resistência. Após o tratamento as peças são temperadas.

## Sulfunização

A **sulfunização** é um tratamento que consiste na introdução de uma camada superficial da peça de enxofre com o objetivo de aumentar a resistência ao desgaste sem aumentar a dureza. As peças são aquecidas num banho de sais de cianeto e enxofre a uma temperatura cerca de 560°C. O tempo de imersão varia entre 1 a 3 horas, obtendo-se películas superficiais com o máximo de 0,3 mm de espessura.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Complete o quadro seguinte.

Tratamentos dos aços	Mecânicos	<input type="text"/>
		<input type="text"/>
	Térmicos	<input type="text"/>
		<input type="text"/>
		<input type="text"/>
	Termoquímicos	<input type="text"/>
		<input type="text"/>
	Superficiais	<input type="text"/>
		<input type="text"/>

**EXERCÍCIO 2.** Em que consiste uma têmpera? Quais são os seus objetivos?

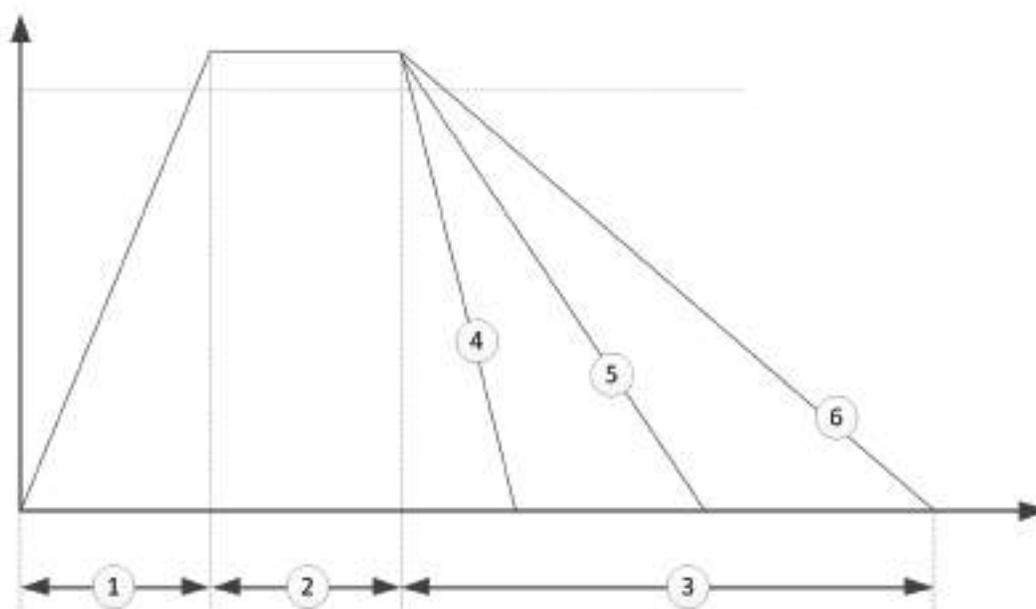
**EXERCÍCIO 3.** Por norma, devemos evitar que o arrefecimento no final de uma têmpera seja feito com água. Porquê?

**EXERCÍCIO 4.** Em que consiste um revenido? Quais são os seus objetivos?

**EXERCÍCIO 5.** Um revenido pode ser feito antes da têmpera? Porquê?



**EXERCÍCIO 6.** Considere o gráfico do ciclo de um tratamento térmico. Complete os campos indicados.



#### Etapas do Tratamento

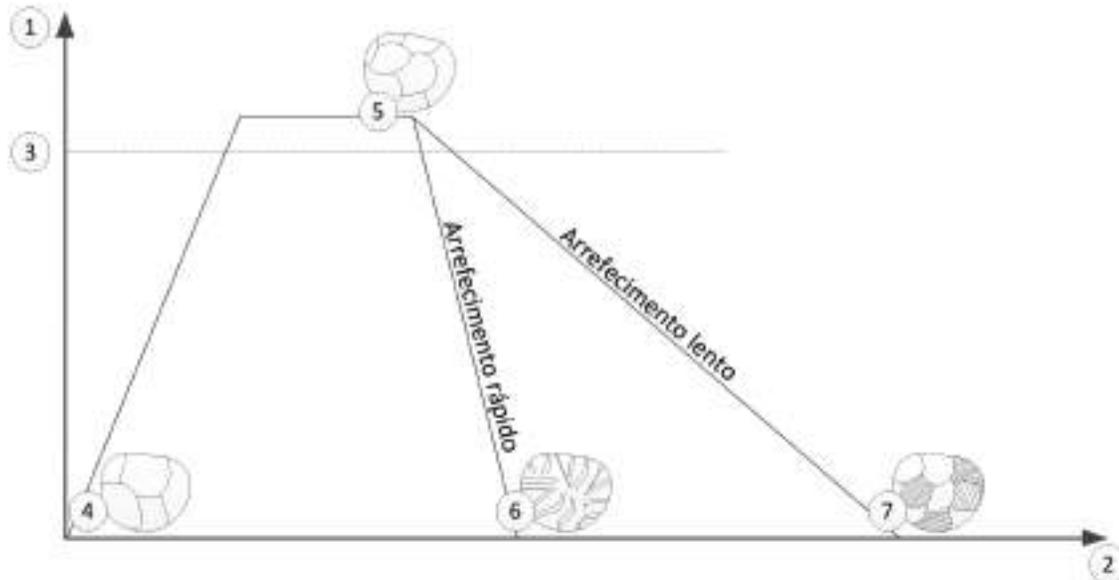
- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_

#### Meios de Arrefecimento

- Óleo
- Ar
- Água



**EXERCÍCIO 7.** Considere o tratamento térmico de um aço com **baixo teor em carbono**. Assinale as opções corretas com uma cruz no quadrado correspondente.



1

Temperatura

Tempo

2

Temperatura

Tempo

3

Temperatura de fusão

Temperatura de solidificação

Temperatura crítica

4

Austenite

Martensite

Ferrite

Perlite

Cementite

Estado inicial

5

Austenite

Martensite

Ferrite

Perlite

Cementite

Estado inicial

6

Austenite

Martensite

Ferrite

Perlite

Cementite

Estado inicial

7

Austenite

Martensite

Ferrite

Perlite

Cementite

Estado inicial



# ESTUDO DOS AÇOS

## CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

Como já vimos anteriormente, define-se aço como sendo uma liga metálica de ferro e carbono, cujo teor em carbono varia entre os 0,03 e 2,1%.

A classificação dos aços quanto ao teor em carbono não tem em consideração outros elementos de liga que surgem frequentemente associados aos aços. O principal elemento de liga que pode ser adicionado aos aços é o carbono e a sua classificação quanto à composição, como já vimos anteriormente, é a seguinte:

### Aço Extramacio

O teor em carbono varia entre 0,1 e 0,25 %C. Normalmente são pouco tenazes, dúcteis, maleáveis, pouco duros e facilmente trabalháveis. Devido à baixa % em C, não podem ser temperados. As aplicações são as mesmas que as dos aços ao carbono comuns.

### Aço Macio

O teor em carbono varia entre 0,25 e 0,6 %C. 0,25 - 0,6%. Normalmente são pouco tenazes, dúcteis, maleáveis, pouco duros e facilmente trabalháveis. Podem ser temperados ou cementados e têm as mesmas aplicações que os aços ao carbono temperados.

### Aço Duro

Têm um teor em carbono maior que 0,6 %C. São mais tenazes e duros que os anteriores e menos dúcteis e maleáveis. Os tratamentos térmicos podem modificar substancialmente as suas propriedades, em especial a dureza, a resistência e a elasticidade. São utilizados após tratamento térmico e têm as mesmas aplicações que os aços para ferramentas.

Como acabámos de ver, a característica fundamental do carbono é proporcionar aos aços a possibilidade de se poder modificar as propriedades mecânicas através da **têmpera**. Dum modo geral, o aumento do teor de carbono nos aços produz os efeitos indicados na figura seguinte.



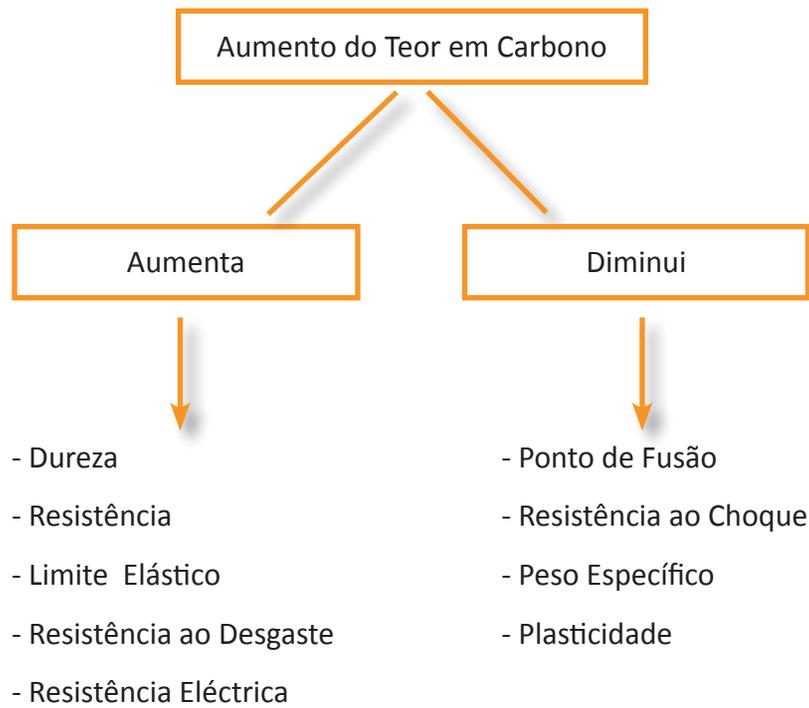


Figura 9 - Efeitos do aumento do teor em carbono nos aços.

Os aços podem, também, ser classificados de acordo com a sua utilização, como mostra a figura 10.

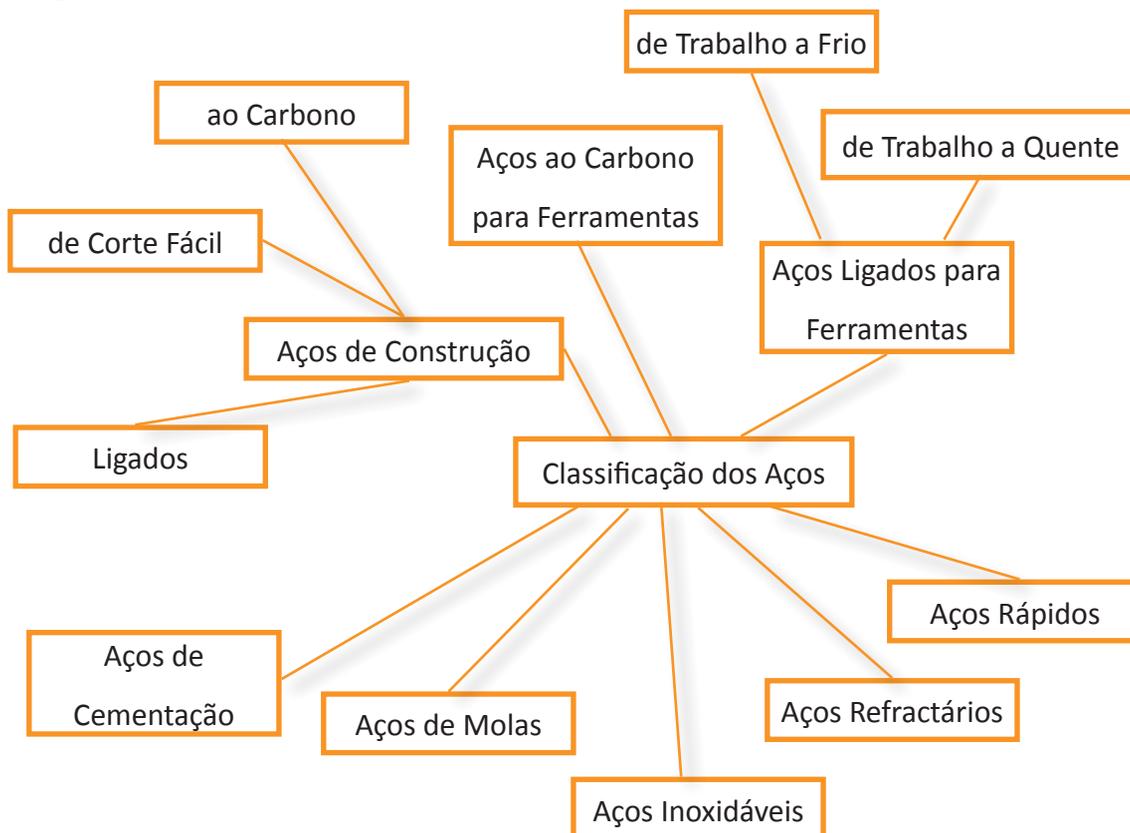


Figura 10 - Classificação dos aços de acordo com a sua utilização.



## ELEMENTOS DE LIGA

Na composição dos aços surge um grande número de elementos ligados ao ferro e ao carbono. Alguns deles são indesejáveis por afetarem negativamente as propriedades da liga. São retirados durante a fusão e subsequente produção do aço, tentando-se diminuir o mais possível o seu teor. Entre eles temos o fósforo que torna o aço quebradiço no estado frio e o enxofre, que o torna quebradiço no estado quente.

A redução do teor em alguns elementos prejudiciais às propriedades dos aços pode ser efetuada durante a sua produção, com a adição de outros elementos químicos. Por exemplo, a redução do enxofre é feita com a adição de manganês que, em contacto com o enxofre, reage formando com ele sulfureto de manganês que, sendo menos denso que a gusa líquida, vem à superfície do banho líquido.

O aço pode conter também elementos gasosos tais como o oxigénio, o azoto e o hidrogénio. Enquanto o oxigénio pode ser removido em grande quantidade pela desoxidação por meio de elementos tais como o carbono, o alumínio, o manganês, o cálcio entre outros, o azoto e o hidrogénio não permitem a sua remoção por meios puramente químicos. Se pretendermos aços com teores especialmente pequenos destes elementos será necessário um tratamento em vácuo.

Os aços designam-se aços ao carbono ou aços sem liga quando são constituídos por ferro, carbono e o teor noutros elementos químicos é desprezável, ou seja, é suficientemente baixo para não afetar as suas propriedades mecânicas. Por exemplo, há dois elementos, o silício e o manganês, que se encontram normalmente presentes em pequenas quantidades em todos os aços. Para que os aços sejam considerados sem liga, é necessário que as percentagens máximas destes elementos sejam de 0,5% para o silício e 1,5% para o manganês.

Já vimos que as ligas Fe-C podem dividir-se em três grupos consoante o teor em carbono:

- Ferro macio;
- Aço;
- Ferro fundido ou gusa.

Muito raramente as ligas de ferro-carbono que se aplicam na prática são constituídas apenas por estes dois elementos. Associados a eles aparecem sempre outros elementos;



uns sob a forma de impurezas, por serem difíceis de eliminar, outros que propositadamente se juntam para modificar as características do produto.

O carbono, por exemplo, exerce uma grande influência nos aços. Podemos ver no gráfico seguinte que o aumento do teor em carbono nos aços provoca um aumento da sua dureza e também da sua resistência à tração.

Na maioria dos materiais, o aumento da dureza provoca também um aumento da fragilidade e diminuição da ductilidade, como se passa nos aços.

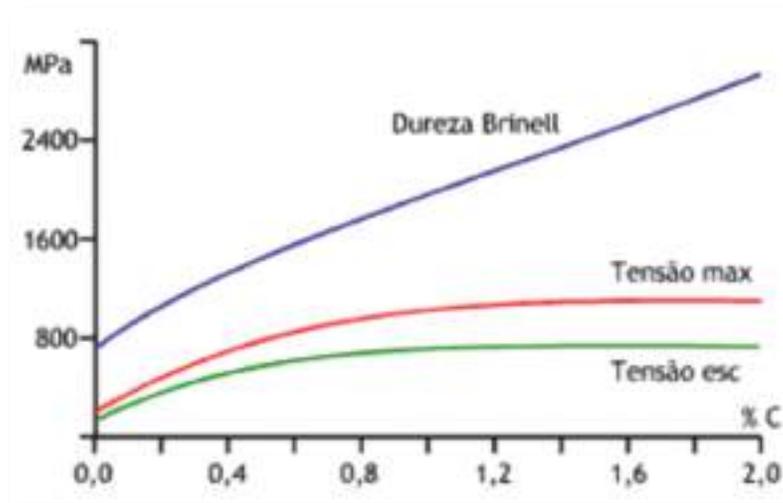


Figura 11 - Variação da dureza com a %C.

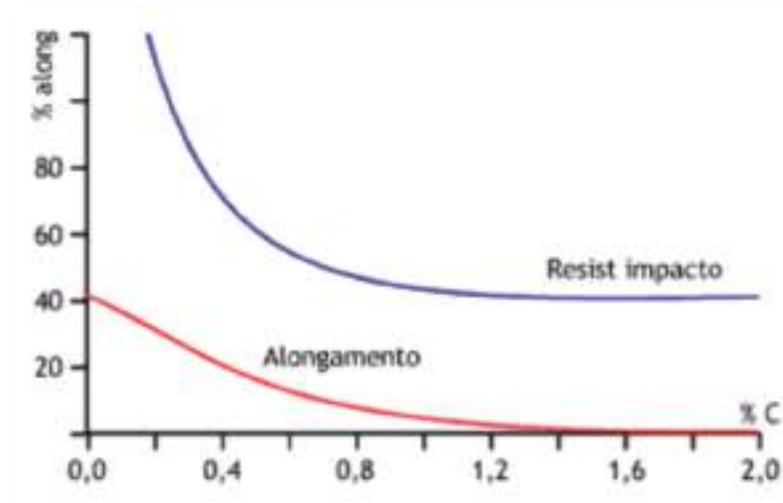


Figura 12 - Variação do alongamento e da resistência ao impacto com a %C.

O gráfico da figura anterior mostra que as variações do alongamento e resistência ao impacto em função do teor de carbono. Podemos ver que o aumento do teor em carbono implica maior fragilidade e menor ductilidade.



Outro aspecto importante em aplicações estruturais é a capacidade de soldadura. Aços até 0,3% C são considerados de fácil soldadura. De 0,3 a 0,5%, média e acima de 0,5% C, são de difícil soldadura.

Quando se fala em **elementos de liga**, os aços, deve ficar subentendido que são outros elementos além do ferro e do carbono, uma vez que estes últimos são os constituintes básicos do aço.

**Alumínio (Al):** é usado em pequenas proporções, como desoxidante e agente de controle do crescimento dos grãos.

**Chumbo (Pb):** não se liga ao aço mas, quando adicionado, distribui-se na estrutura em forma de partículas microscópicas, o que resulta em maior facilidade de maquinação. Entretanto, devido ao baixo ponto de fusão (cerca de 327 °C), aços com chumbo não devem ser usados em temperaturas acima de 250 °C.

**Cobalto (Co):** aumenta a dureza do aço sob altas temperaturas.

**Cobre (Cu):** melhora a resistência à corrosão por agentes atmosféricos, se usado em teores de 0,2 a 0,5%.

**Crômio (Cr):** melhora a resistência à corrosão (aço com cerca de 12% Cr resiste à ação da água e de vários ácidos), aumenta a resistência à tração, melhora a facilidade de tempera, aumenta a resistência à alta temperatura e ao desgaste.

**Enxofre (S):** é, na maioria dos casos, um elemento indesejável, oriundo do processo de produção. Se combinado com o ferro na forma de sulfeto, deixa o aço quebradiço. Entretanto, se combinado com o manganês na forma do respectivo sulfeto, favorece a maquinação com a formação de aparas que se quebram facilmente.

**Fósforo (P):** é considerado um elemento prejudicial, resultante do processo de produção. Torna o aço frágil, efeito que se acentua com o aumento do teor de carbono. Assim, os



teores máximos permitidos devem ser controlados com rigor em aços para aplicações estruturais ou críticas.

**Manganês (Mn):** em média, para cada 1% de manganês, a resistência à Tração aumenta 100 MPa. Para aços temperáveis, aumenta a dureza após o processo de têmpera.

**Molibdênio (Mo):** melhora a resistência a altas temperaturas, a resistência ao desgaste e a dureza após a têmpera. Para aços inoxidáveis, melhora a resistência à corrosão.

**Níquel (Ni):** em média, para cada 1% de níquel, a resistência à tração aumenta 40 MPa, mas o limite de elasticidade é mais favorecido. Melhora significativamente a capacidade de têmpera, possibilitando redução da velocidade de arrefecimento. O níquel altera a alotropia do ferro e teores acima de 25% fazem reter a austenite à temperatura ambiente, dando origem a um **aço austenítico**, que é não magnético e bastante resistente à corrosão. Com 36% de Ni, o aço tem o menor coeficiente de dilatação térmica e é usado em instrumentos de medição. Em conjunto com o cromo, o aço pode ser austenítico com a combinação 18% Cr e 8% Ni

**Silício (Si):** é um agente desoxidante na produção do aço. Aumenta a resistência à corrosão e a resistência à tração, mas prejudica a soldadura. O silício aumenta significativamente a resistência elétrica do aço e, por isso, aços com silício são amplamente usados em núcleos magnéticos (motores, transformadores, etc.) devido às menores perdas com as correntes parasitas que se formam.

**Tungstênio (W):** aumenta a resistência à tração a altas temperaturas. Forma carbonetos bastante duros e é usado em aços para ferramentas (aços rápidos).

**Vanádio (V):** refina a estrutura do aço, impedindo o crescimento dos grãos. Forma carbonetos duros e estáveis e é usado em aços para ferramentas para aumentar a capacidade de corte e dureza a altas temperaturas.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Assinale a palavra correta.

- a. O aumento do teor em carbono nos aços **umenta/diminui/não afeta** a sua dureza e **umenta/diminui/não afeta** a sua plasticidade;
- b. O teor em carbono exerce uma **pequena/grande** influência nas propriedades mecânicas nos aços;
- c. Na maioria dos materiais, o aumento da dureza provoca também um **aumento/diminuição** da fragilidade e **aumento/diminuição** da ductilidade, como acontece nos aços;
- d. Sendo um elemento com baixo ponto de fusão, a adição de chumbo aos aços **umenta/diminui** o seu ponto de fusão. Desta forma, aços com chumbo não devem ser usados em temperaturas acima dos 250 °C;
- e. Quando adicionado aos aços, o **crómio/hélio/azoto** aumenta a sua resistência à corrosão;
- f. O enxofre é, na maioria dos casos, um elemento indesejável que aparece nos aços resultante do seu processo de **evaporação/eletrolise/produção**;
- g. Quer o vanádio, quer o **tungsténio/chumbo/alumínio**, quando adicionados aos aços, aumentam o seu ponto de fusão.

**EXERCÍCIO 2.** Qual o nome que se dá aos aços com elevado teor em crómio?

**EXERCÍCIO 3.** Explique porque é que o crómio confere aos aços uma grande resistência à corrosão.



# MATERIAIS NÃO-FERROSOS

## ALUMÍNIO

O **alumínio** é o metal mais abundante na crosta terrestre e aparece em granitos. Apesar da sua elevada concentração na Terra e já ser conhecido e utilizado pelo Homem desde a antiguidade, só no séc. XX é que a sua aplicação passou a ser feita em grande escala em aplicações industriais. Quando foi descoberto, verificou-se que a sua extração das rochas que o continham era extremamente difícil tornando-o, durante algum tempo, um metal precioso, mais valioso que o ouro. Com os avanços dos processos de obtenção os preços baixaram continuamente. Atualmente, um dos factores que estimulam o seu uso é a estabilidade do seu preço provocada principalmente pela sua reciclagem.

A facilidade que este metal tem de se juntar ao oxigénio dificulta a sua extração, sendo normalmente obtido por electrólise da alumina (óxido de alumínio).

O alumínio tem por símbolo químico **Al**, número atómico 13 e massa atómica 27. É sólido à temperatura ambiente e é o metal mais abundante na crosta terrestre. A densidade é de  $2700 \text{ kg/m}^3$ , o ponto de fusão é de  $660 \text{ }^\circ\text{C}$  e o ponto de ebulição de  $2519 \text{ }^\circ\text{C}$ .

No estado puro, o alumínio é macio, dúctil, leve, não-magnético, resistente à corrosão e bom condutor eléctrico sendo, por isso, utilizado em cabos como condutor eléctrico. A sua baixa densidade faz com que seja cerca de um terço mais leve que o aço e o cobre. É também utilizado noutras aplicações sob a forma de ligas com outros elementos químicos, de forma a melhorar as suas propriedades.

A **reciclagem** do alumínio tem vindo a aumentar e a tornar-se uma fonte importante de obtenção do metal. A reciclagem envolve a fusão do metal, que é bastante menos dispendiosa que a sua extração mineira. A refinação do alumínio envolve grandes quantidades de electricidade e a sua reciclagem requer apenas 5% dessa energia.

A maior aplicação a nível industrial do alumínio é o setor dos transportes com destaque para a indústria automóvel.



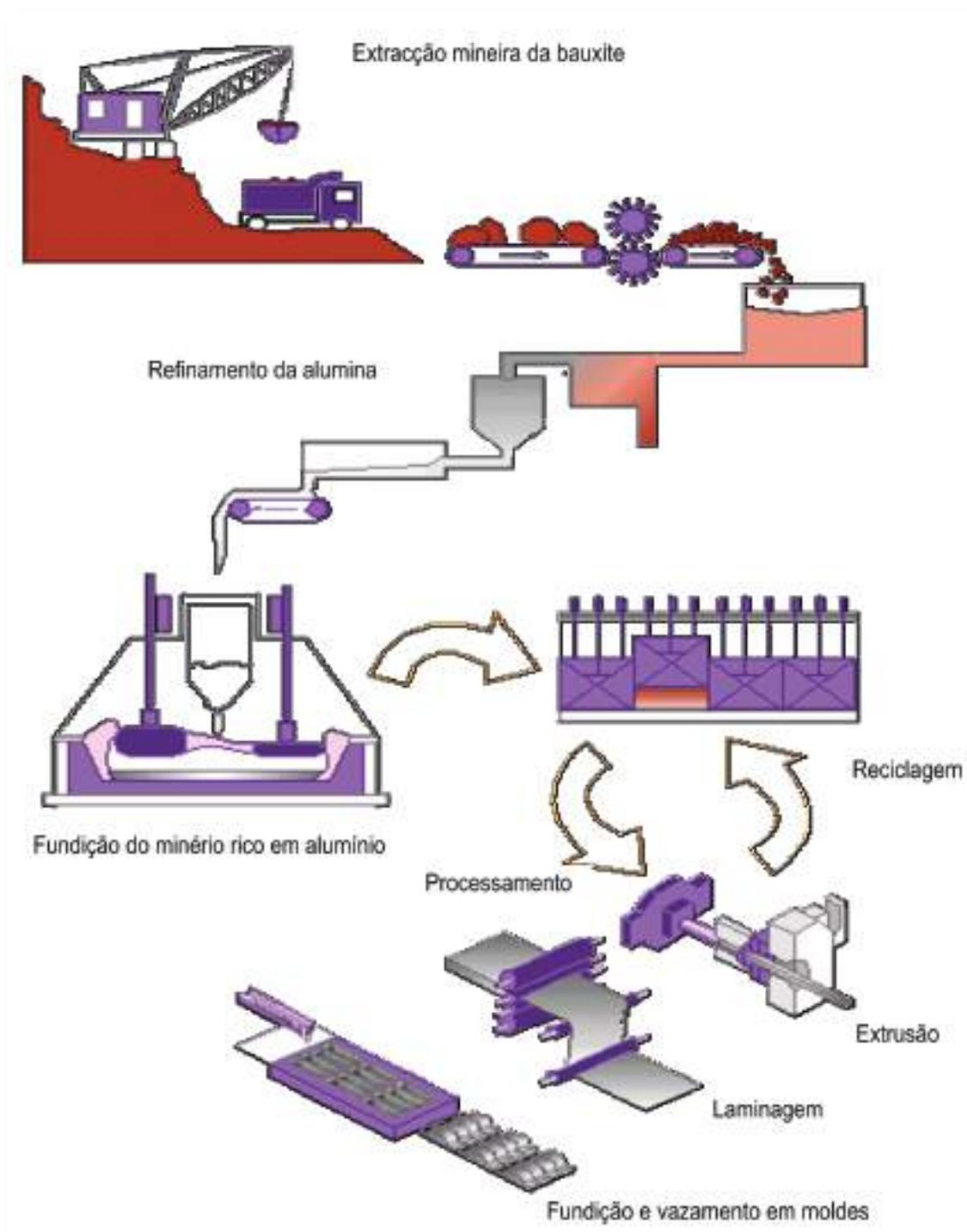


Figura 1 - Esquema de processamento do alumínio<sup>9</sup>.

### Propriedades do Alumínio

O alumínio possui algumas propriedades que o tornam atrativo para determinadas aplicações industriais. Este metal é fisicamente, quimicamente e mecanicamente semelhante a metais como o aço, o latão, o cobre, o zinco, o chumbo e o titânio, podendo

<sup>9</sup> Fonte: [www.world-aluminium.org](http://www.world-aluminium.org)



ser fundido, conformado ou maquinado da mesma forma que estes metais. Acontece, por vezes, utilizar-se os mesmos equipamentos e métodos de fabrico que são aplicados para o aço.

De seguida serão apresentadas as propriedades mais importantes do alumínio.

### Baixo Peso

O alumínio tem uma densidade de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , tornando-o um metal bastante leve quando comparado com o aço (cerca de  $1/3$  do peso do aço). Por exemplo, a utilização do alumínio nos automóveis reduz o seu peso e, desta forma, o consumo de combustível e aumenta o seu desempenho. A resistência pode ser aumentada com a adição de determinados elementos na sua composição.



*Figura 2 - Bloco de um motor maquinado em alumínio*

### Resistência à Corrosão

Em contacto com o ar, o alumínio tende a criar um filme óxido resistente à corrosão. Podem ainda ser efetuados determinados tratamentos superficiais para melhorar esta propriedade, como são os casos da anodização<sup>10</sup>, da pintura ou da lacagem.



*Figura 3 - Porta-chaves em alumínio resistente à corrosão e impermeável.*

<sup>10</sup> **Anodização** é um processo eletrolítico que promove a formação de uma película uniforme decorativa e protetora de óxido de alumínio (alumina) na superfície do alumínio.



### Condutividade Térmica e Elétrica

O alumínio é um excelente condutor elétrico e térmico. Como possui um baixo peso comparado com o cobre, tem vindo a substituir este metal em cabos condutores eléctricos onde o peso do cabo constitui uma desvantagem.



Figura 4 - Cabos de alumínio utilizados em linhas de alta-tensão<sup>11</sup>

### Refletividade

O alumínio é um bom refletor da luz visível e de calor. Estas duas propriedades associadas ao seu baixo peso tornam-no útil na aplicação em artigos de iluminação (figura 5).



Figura 5 - Refletor de luz em alumínio<sup>12</sup>

11 Fonte: <http://mapage.noos.fr/dardelf/Reactions.html>

12 Fonte: [www.aluplanet.com](http://www.aluplanet.com)





### Ductilidade

Além de ser dúctil, o alumínio tem uma baixa densidade e ponto de fusão, podendo ser moldado e processado de diversas maneiras.

*Figura 6 - Conformação do alumínio por fundição<sup>13</sup>*

### Impermeabilidade e Inodoro

A folha de alumínio pode ser utilizada com espessuras de 0,007 mm, que mantém-se impermeável e sem libertar qualquer aroma ou alterar o sabor das substâncias. Além disso, não é tóxico, o que torna este metal ideal para o armazenamento de produtos alimentares e farmacêuticos.



*Figura 7 - Folha de alumínio utilizada para armazenar alimentos.*

### Reciclável

Normalmente, as fundições de alumínio situam-se perto de grandes fontes de energia, como é o caso de estações hidroelétricas, de gás natural, de carvão ou nucleares. Muitas situam-se em locais e são criadas apenas para servir o complexo de extração de alumínio. O alumínio é 100% reciclável sem perda das suas propriedades. A fusão do alumínio requer pouca energia, cerca de 1/3 da energia necessária na sua produção por eletrólise. Por estas razões, a reciclagem está cada vez mais a tornar-se uma fonte importante de fornecimento de alumínio (Figura 8).

<sup>13</sup> Fonte: [www.rossal.com/rossjngo.htm](http://www.rossal.com/rossjngo.htm)





Figura 8 - Reciclagem de latas de alumínio<sup>14</sup>

### Ligas de Alumínio

O alumínio costuma ligar-se com o cobre, o zinco, o magnésio e o lítio para formar ligas. O crómio, o titânio, o zircónio, o chumbo, o bismuto, o níquel e o ferro também podem aparecer em pequenas quantidades. Embora existam mais de 300 tipos de ligas de alumínio, apenas 50 são as mais utilizadas.

Elemento de liga em maior quantidade	Designação
Nenhum (99 %Al)	1xxx
Cobre	2xxx
Manganésio	3xxx
Silício	4xxx
Magnésio	5xxx
Magnésio + Silício	6xxx
Zinco	7xxx
Lítio	8xxx
Outros elementos	9xxx

Tabela 1 - Grupos de ligas de alumínio.

As ligas de alumínio são normalmente identificadas por um sistema de 4 algarismos que surgiu nos Estados Unidos e é universalmente aceite (Tabela 1). Esta classificação distingue as ligas de acordo com o elemento de liga em maior quantidade. O primeiro dígito indica

<sup>14</sup> Fonte: [www.techcentralstation.com/090602B.html](http://www.techcentralstation.com/090602B.html)



o elemento de liga presente em maior quantidade; o segundo refere modificações na liga ou limite de impurezas; os dois últimos identificam o grau de pureza.

A Tabela 2 seguinte mostra algumas ligas de alumínio normalmente utilizadas, as suas características e algumas das suas aplicações.

Liga	Características	Aplicações
1050	Boa conformação, soldabilidade e resistência à corrosão	Indústria alimentar e química
2014	Elevada resistência, tratada termicamente, não soldável, fraca resistência à corrosão	Estrutura de aeronaves
3103	Não tratável termicamente, boa soldabilidade, conformação e resistência à corrosão	Carroçarias de automóveis, estruturas expostas a ambientes marinhos
5251	Não tratável termicamente, boa soldabilidade, conformação e resistência à corrosão	Carroçarias de automóveis, estruturas expostas a ambientes marinhos
5454	Não tratável termicamente, utilizada entre 65-200°C, boa maquinabilidade e resistência à corrosão	Tanques de armazenamento de produtos químicos e petróleo
5083	Não tratável termicamente, boa soldabilidade e resistência à corrosão	Tanques de armazenamento, estruturas de navios
6063	Tratável termicamente, boa resistência mecânica e à corrosão e soldabilidade	Perfis de janelas, tubos para irrigação
6061	Tratável termicamente, boa resistência mecânica e à corrosão e soldabilidade	Pontes, guindastes, vigas de tetos, quadros de bicicletas
7020	Tratável termicamente, suscetível à corrosão por fadiga	Pontes, quadros de bicicletas, blocos de motores
7075	Tratável termicamente, elevada resistência, fraca soldabilidade e pouca resistência à corrosão	Chassis de aeronaves

*Tabela 2 - Designação, características e aplicações de algumas ligas de alumínio muito utilizadas.*



## Aplicações do Alumínio

Desde há muito que o mercado que mais utiliza o alumínio é o setor dos transportes, com destaque para o setor automóvel existindo, por isso, uma longa história de cooperação entre este setor e o da indústria de produção do alumínio.

O esforço que a indústria automóvel tem feito nos últimos anos para reduzir o peso dos veículos deve-se a um aumento da aplicação deste metal nos automóveis (figura 9). A redução de peso é necessária para reduzir as emissões poluentes (menos peso implica menor consumo de energia) e para satisfazer as necessidades dos consumidores. A introdução de novas opções e sistemas de segurança tais como o ar condicionado, sistemas de travagem anti-bloqueio (ABS), airbags, etc.



*Figura 9 - Protótipo apresentado em Março de 2005 pelo gabinete de design Pininfarina com o chassi construído em alumínio<sup>15</sup>*

A facilidade e o baixo custo em termos energéticos com que o alumínio pode ser reciclado também favorecem a reciclagem dos veículos quando estes atingem o seu limite de vida. A ductilidade deste metal permite a absorção da mesma quantidade de energia em caso de embate que o aço, com um pouco mais de metade do peso. A boa resistência à corrosão aumenta a garantia do fabricante e diminui os custos de manutenção.

Estima-se que o alumínio utilizado em cada automóvel irá aumentar de cerca de 100kg em 2000 para 150kg em 2005. São gastos mais de 20 milhões de toneladas de alumínio

<sup>15</sup> Fonte: [www.aluplanet.com](http://www.aluplanet.com)



no Mundo Ocidental, com destaque para a Europa Ocidental com cerca de 1/3 desse valor. Os setores que mais utilizam este metal são o dos transportes, como já foi referido, o da construção e o das embalagens. Em menor escala estão os setores da engenharia elétrica e mecânica, equipamentos de escritório, aplicações domésticas, iluminação, químico e farmacêutico.

### COBRE

O **cobre** é, possivelmente, o metal há mais tempo utilizado pela humanidade existindo registos históricos que determinam a sua utilização anterior à descoberta do ferro. Todavia, o cobre é, atualmente, o terceiro metal mais utilizado, a seguir ao aço (ferro) e ao alumínio. Entre outros fatores, pensa-se que este facto está relacionado com o custo, uma vez que o cobre se encontra presente na crosta terrestre em quantidades inferiores aos outros dois metais, aumentando o custo da sua extração.

O cobre é um elemento químico de símbolo **Cu**, com número atómico 29 e massa atómica 63,5. Possui uma estrutura cristalina cúbica de faces centradas, apresenta uma cor avermelhada e um brilho metálico quando polido. É o segundo melhor condutor eléctrico a seguir à prata.

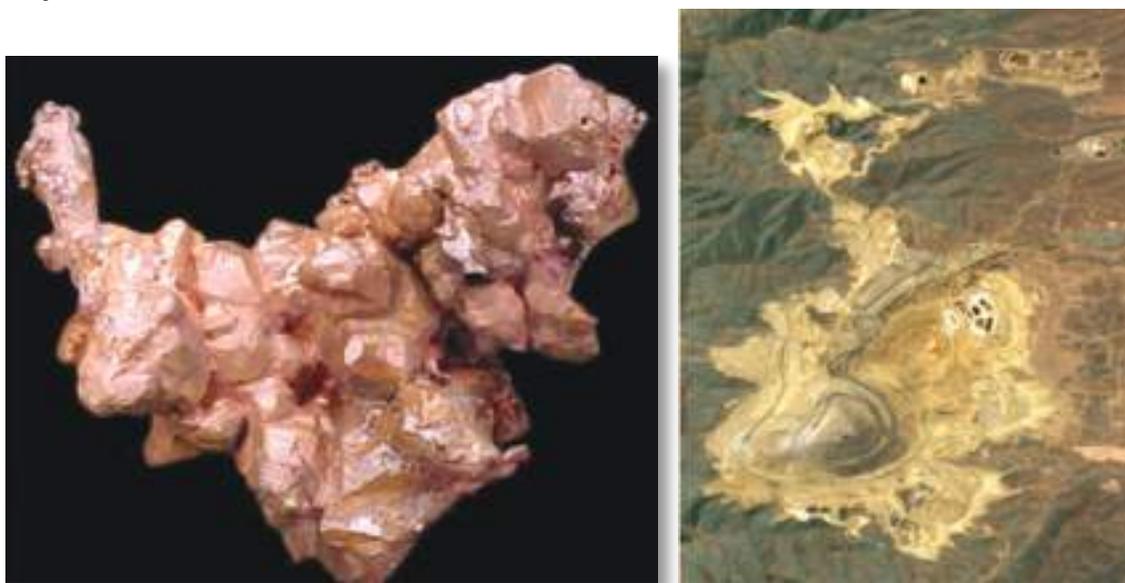
Encontra-se, à temperatura ambiente, no estado sólido. A sua densidade é de 8920 kg/m<sup>3</sup>, o seu ponto de fusão é de 1084,62 °C e o ponto de ebulição de 2562 °C. Classifica-se na tabela periódica, como um metal de transição. É um dos metais mais importantes a nível industrial. É utilizado, atualmente, para a produção de materiais condutores de eletricidade (fios e cabos) e em ligas metálicas como o latão e o bronze.

O cobre e as suas ligas são dos materiais mais versáteis utilizados pelo Homem. A combinação de resistência mecânica, condutividade, resistência à corrosão, maquinabilidade e ductilidade permitem uma vasta aplicação.

O cobre pode ser utilizado no estado puro ou formando diversos tipos de ligas como os latões (ligas de cobre e zinco), bronzes (ligas de cobre e estanho), ligas de cobre e níquel e ligas de cobre e prata, entre outros.



As formas comerciais do cobre e das suas ligas podem ser obtidas por **fundição**<sup>16</sup> ou por **forjamento**<sup>17</sup>.



*Figura 10 - a) Cobre no estado nativo<sup>18</sup>,  
b) mina de cobre a céu aberto em Bingham, Utah, Estados Unidos<sup>19</sup>*

A reciclagem destes metais também é vastamente aplicada, representando 40% da sua produção.

A descoberta do cobre remonta à era pré-histórica e pensa-se que é extraído há mais de 5000 anos. Encontra-se na natureza sob a forma nativa<sup>20</sup> e em alguns minerais, como é o caso da cuprite, malaquite, azurite, calcopirite e bornite.

Os processos de extração do cobre a partir dos respectivos minérios são basicamente dois:

- por via seca, o minério é submetido a várias operações de fusão e refinação;
- por via húmida, o minério é solubilizado, sendo o cobre obtido por processos eletrolíticos dessa solução.

<sup>16</sup> **Fundição** - método de conformação de metais que consiste no seu vazamento a temperaturas elevadas (necessárias para fundir os metais) em moldes para que, após o arrefecimento, adquiram a forma interior do molde.

<sup>17</sup> **Forjamento** - nome genérico que é dado às operações de conformação mecânica efetuadas com esforços de compressão sobre um material dúctil, para que ele assuma o contorno ou o perfil da ferramenta de trabalho.

<sup>18</sup> Fonte: [www.webmineral.com](http://www.webmineral.com)

<sup>19</sup> Fonte: <http://pt.wikipedia.org>

<sup>20</sup> Forma nativa - estado puro



### *Propriedades*

As propriedades mais evidentes do cobre são apresentadas de seguida:

- Excelente condutor térmico;
- Excelente condutor elétrico;
- Boa resistência elétrica;
- Boa maquinabilidade;
- Elevada ductilidade e maleabilidade, tornando-o apto para o fabrico de tubagens, arame e para estampagem;
- Mantém as suas propriedades elétricas e mecânicas a temperaturas criogénicas<sup>21</sup>;
- Não deve ser posto em contacto com alimentos pelo facto de lhes conferir um sabor desagradável;
- A maior parte das ligas de cobre podem ser unidas por soldadura e brazagem;
- É um metal não-magnético;
- Possui uma elevada resistência à produção de faísca.

### *Ligas de Cobre*

O cobre e as suas ligas são o terceiro material mais utilizados no mundo, depois dos aços e dos alumínio. Os elementos de liga são adicionados com o intuito de melhorar a sua resistência mecânica sem prejudicar a boa ductilidade, condutividade eléctrica e térmica e resistência à corrosão característicos deste metal. O cobre e as ligas por ele formado dividem-se em diversos grupos:

- Cobre comercialmente puro;
- Ligas de alto teor em cobre;
- Latões;
- Bronzes;
- Ligas de cobre-níquel;
- Ligas de cobre-níquel-zinco.

---

<sup>21</sup> **Temperaturas criogénicas** são temperaturas extremamente baixas às quais se estudam ou aplicam determinados materiais. Assume-se que as temperaturas criogénicas se situam abaixo dos -150 °C.



### Latões

É o nome de ligas de cobre e zinco com pelo menos 50% de cobre, podendo conter pequenas percentagens de outros elementos.

Com adição de chumbo o latão pode ser facilmente maquinado, com menor desgaste das ferramentas de corte. O silício aumenta a resistência ao desgaste. O alumínio, o ferro e o manganês aumentam a resistência à tração. O alumínio também aumenta a resistência à corrosão. Comercialmente, os latões estão disponíveis e são fabricados de diversas formas (fundidos, forjados, laminados, extrudidos, maquinados, etc).



*Figura 11 - Arame de latão<sup>22</sup>*

As suas aplicações são várias:

- Válvulas para altas pressões são normalmente fabricadas com latão de alta resistência;
- Peças decorativas: com 10 a 20% de zinco, o aspecto é bastante parecido com o ouro e, por isso, usado em arquitetura;
- Peças marítimas (com adição de alumínio) como hélices de barcos e outras;
- Condensadores, radiadores de automóveis, metais sanitários, etc.



*Figura 12 - Maçaneta de porta em latão.*

<sup>22</sup> Retirada de catálogo de Francisco Soares,lda



### **Bronzes**

Dá-se este nome às ligas de cobre com pelo menos 60% deste e um ou mais metais como estanho, alumínio (bronze de alumínio), chumbo (bronze de chumbo).

A principal propriedade é a elevada resistência ao desgaste por fricção, o que faz do bronze um material amplamente usado em casquilhos de rolamentos.

### **Ligas de Cobre-níquel**

Podem conter até 45% de níquel. São resistentes à corrosão e apresentam propriedades de resistência a altas temperaturas similares aos aços inoxidáveis. São normalmente utilizadas em tubagens e no fabrico de moedas.

## *Aplicações*

A aplicação por excelência do cobre é como material condutor (fios e cabos), onde são gastos aproximadamente 45% do consumo anual de cobre. As várias utilizações dadas a este metal são descritas de seguida.

### **Condutores Eléctricos**

Devido à sua excelente condutividade eléctrica, o cobre eletrolítico é utilizado em condutores eléctricos, com pequenas perdas de corrente, estando disponível maquinado, trefilado, sob a forma de varão, tubo, perfis, folha, chapa, placa, etc.

Como exemplo de aplicações do cobre, temos os fios e os cabos eléctricos, eléctrodos para eletroerosão, terminais eléctricos e aplicações que exijam alta condutividade a altas temperaturas. Pode substituir o alumínio no fabrico de circuitos integrados, uma vez que possui uma maior condutividade.

### **Permutadores de Calor**

A elevada condutividade térmica do cobre tornam-no bastante útil em permutadores de calor, como é o caso de tubos de refrigeração e caldeiras.



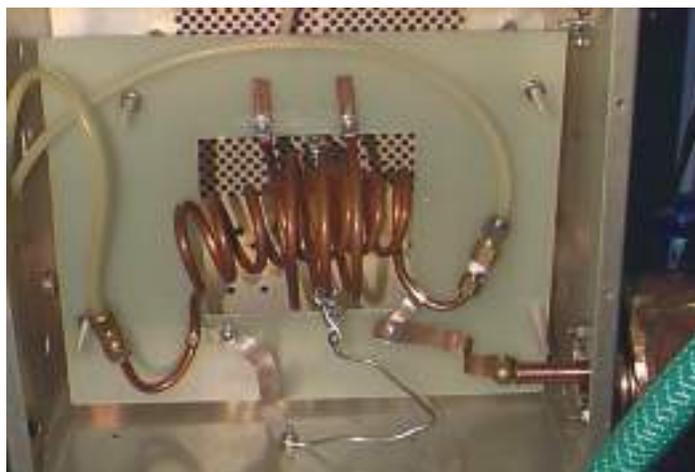


Figura 13 - Permutadores de calor fabricados em cobre.

### Canalização Doméstica

Pela sua ductilidade e maleabilidade, o cobre é vastamente utilizado em canalizações domésticas (figura 6) e também pelo facto de ser facilmente unido por brazagem (Figura 13).



Figura 14 - Canalizações domésticas feitas em cobre.<sup>23</sup>

### Cunhagem de Moedas e Aplicações Ornamentais

O cobre é, pelo seu valor comercial, um metal que desde sempre foi aplicado na cunhagem de moedas (formando ligas com o níquel), em esculturas, estátuas, construção de sinos e em diversas aplicações ornamentais em ligas com o zinco (latão), o estanho (bronze) e a prata (jóias).

<sup>23</sup> Fonte: [www.solarexpert.com](http://www.solarexpert.com)



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Indique se a afirmação é verdadeira ou falsa.

- a. O alumínio é o metal mais abundante na crosta terrestre;
- b. Quando foi descoberto, verificou-se que a sua extração das rochas que o continham era extremamente difícil tornando-o, durante algum tempo, um metal precioso, mais valioso que o ouro;
- c. A facilidade que este metal tem de se juntar ao oxigénio facilita bastante a sua extração;
- d. No estado puro, o alumínio é macio, dúctil, leve, não-magnético, resistente à corrosão e bom condutor elétrico sendo, por isso, pouco utilizado em cabos como condutor elétrico;
- e. O alumínio é cerca de um terço mais leve que o aço e o cobre;
- f. A reciclagem do alumínio é bastante dispendiosa, tendo vindo a diminuir e a tornar-se uma fraca fonte de obtenção do metal;
- g. A maior aplicação a nível industrial do alumínio é o setor dos transportes com destaque para a indústria automóvel;
- h. O alumínio tem uma baixa resistência à corrosão, oxidando com bastante facilidade;
- i. O alumínio é um excelente condutor elétrico e térmico. Como possui um baixo peso comparado com o cobre, tem vindo a substituir este metal em cabos condutores elétricos onde o peso do cabo constitui uma desvantagem.
- j. O cobre é um dos metais mais recentes e a sua utilização é muito recente;  
O cobre encontra-se presente na crosta terrestre em quantidades inferiores ao aço e ao alumínio, o que aumenta o custo da sua extração;
- k. O símbolo químico deste metal é Cu;
- l. Tal como o alumínio, o cobre é um metal não-magnético;
- m. O cobre é facilmente maquinável com ferramentas de corte;
- n. Latão é o nome que se dá a uma liga de cobre e ouro;
- o. Bronze é o nome que se dá a uma liga de cobre e estanho.



## BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

*Tecnologia Mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento*, volume II - Vicente Chiaverini

*Tecnologia Mecânica II* - Acácio Teixeira da Rocha, Coimbra Editora

*Torneiro e Fresador Mecânicos* - Bordallo Pinheiro Thomaz, 2.a edição, Biblioteca de Instrução Profissional

*Tecnologia Mecânica* - Livros Plátanos de Formação Profissional



