

Medidas Físicas e Propriedades dos Materiais.

1.1 - Medidas Físicas.

Uma grandeza física é definida estabelecendo-se um padrão e atribuindo-lhe uma unidade. Tem-se total liberdade para definir o padrão do modo que se desejar. O importante é fazê-lo de maneira que toda a comunidade científica concorde com a definição adotada e que seja ao mesmo tempo razoável e prática.

São sete as unidades de base do Sistema Internacional, descritas no Quadro I.

Quadro I - Unidades SI de base.

Grandeza	- Nome	-	Símbolo
comprimento	- metro	-	m
massa	- quilograma	-	kg
tempo	- segundo	-	s
intensidade de corrente elétrica	- ampère	-	A
temperatura termodinâmica	- kelvin	-	K
intensidade luminosa	- candela	-	cd
quantidade de massa	- mol	-	mol

Os símbolos das unidades não mudam no plural.

Ref.[1]

Unidades derivadas são aquelas constituídas, a partir das unidades de base, por expressões algébricas utilizando símbolos matemáticos de multiplicação ou divisão.

Diversas dentre essas unidades derivadas recebem nome especial e símbolo particular, que podem ser utilizados por sua vez, para expressar outras unidades derivadas de maneira mais simples do que a partir das unidades de base.

As unidades derivadas pode-se classificar em três grupos:

- expressas a partir das unidades de base, quadro II;
- possuidoras de nomes especiais, quadro III ;
- expressas com emprego de nomes especiais, quadro IV.

Quadro II - Unidades SI derivadas, expressas a partir das unidades de base.

Grandeza	-	Símbolos
superfície	-	m ²
volume	-	m ³
velocidade	-	m/s
aceleração	-	m/s ²
massa específica	-	kg/m ³
concentração de uma quantidade de matéria	-	mol/m ³
volume específico	-	m ³ /kg
luminância	-	cd/m ²

Ref.[1]

Quadro III - Unidades SI derivadas, possuidoras de nomes especiais.

Grandeza	- Nome	- Símbolos	- Expressão em outras unidades SI	- Expressão em unidades SI de base
freqüência	- hertz	- Hz	-	- s^{-1}
força	- newton	- N	-	- $kg.m.s^{-2}$
pressão	- pascal	- Pa	- N/m^2	- $kg.m^{-1}.s^{-2}$
energia, trabalho , quantidade de calor	- joule	- J	- N.m	- $kg.m^2.s^{-2}$
potência, fluxo de energia	- watt	- W	- J/s	- $kg.m^2.s^{-3}$
quantidades de eletricidade, carga elétrica	- coulomb	- C	- A.s	- $s.A$
potencial elétrico	- volt	- V	- W/A	- $kg.m^2.s^{-3}.A^{-1}$
capacitância elétrica	- farad	- F	- C/V	- $kg^{-1}.m^{-2}.s^4.A^2$
resistência elétrica	- ohm	- Ω	- V/A	- $kg.m^2.s^{-3}.A^{-2}$
condutância	- siemens	- S	- A/V	- $kg^{-1}.m^{-2}.s^3.A^2$
fluxo de indução magnética	- weber	- Wb	- V.s	- $kg.m^2.s^{-2}.A^{-1}$
indução magnética	- tesla	- T	- Wb/m^2	- $kg.s^{-2}.A^{-1}$
indutância	- henry	- H	- Wb/A	- $kg.m^2.s^{-2}.A^{-2}$
fluxo luminoso	- lumen	- lm	-	- cd .sr
iluminamento ou aclaramento	- lux	- lx	-	- $cd.sr.m^{-2}$

Ref.[1]

Quadro IV - Unidades SI derivadas, expressas com emprego de nomes especiais.

Grandeza	- Símbolos
viscosidade dinâmica	- Pa.s
momento de uma força	- N.m
tensão superficial (energia superficial)	- N/m
densidade de fluxo térmico, iluminamento ou aclaramento energético	- W/m^2
capacidade térmica, entropia	- J/K
calor específico, entropia específica	- J/(kg.K)
energia específica	- J/kg
condutividade térmica	- W/(m.K)
densidade de energia	- J/m^3
campo elétrico	- V/m
densidade de carga elétrica	- C/m^3
densidade de corrente elétrica	- A/m^2
energia molar	- J/mol.

Ref.[1]

O Sistema Internacional, considera ainda, as unidades suplementares. Atualmente esta categoria comporta apenas as duas unidades puramente geométricas:

- ângulo plano - radiano - rad.
- ângulo sólido - esteradiano - sr.

Desta unidades suplementares podem derivar unidades com: velocidade angular (rad/s), aceleração angular (rad/s²), intensidade energética (W/sr) e luminância energética (W.m².sr⁻¹).

Unidades em uso como o Sistema Internacional em domínio especializados, quadro V.

Quadro V - Unidades em domínio especializados.

Nome	- Símbolos	-	Expressão em unidades SI
elétronvolt	- eV	-	$\cong 1,60219 \times 10^{-19} \text{ J}$
unidade de massa atômica	- u	-	$\cong 1,66053 \times 10^{-27} \text{ kg}$
unidade astronômica	- UA	-	$149\,600 \times 10^6 \text{ m}$
parsec	- pc	-	$30\,857 \times 10^{12} \text{ m}$

Ref.[1]

O Sistema Internacional julgou conveniente manter temporariamente as unidades do quadro VI e cita as unidades do Sistema CGS ainda utilizadas, quadro VII.

Quadro VI - Unidades mantidas temporariamente com o S.I.

Nome	- Símbolos	-	Expressão em unidades SI
milha marítima	-	-	1852m
nó	-	-	(1852/3600) m/s
angstrom	- Å	-	10^{-10} m .
are	- a	-	10^2 m^2
hectare	- há	-	10^4 m^2
bar	- bar	-	10^5 Pa
atmosfera normal	- atm	-	101325Pa

Ref.[1]

Quadro VII - Unidades do CGS dotadas de nomes particulares.

Nome	- Símbolos	-	Expressão em unidades SI
erg	- erg	-	10^{-7} J
dyne	- dyn	-	10^{-5} N
poise	- P	-	0,1Pa.s
stoke	- St	-	$10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
gauss	- Gs, G	-	10^{-4} T

Ref.[1]

O Sistema Internacional com o objetivo de facilitar os cálculos com as unidades cujos valores ora podem ser muito grande, ora muito pequenos, sugere o uso de prefixos conforme demonstrados no quadro VIII.

Quadro VIII - Prefixos para o S.I.

Fator	Prefixo	Símbolo	Fator	Prefixo	Símbolo
10^{24}	iota	Y	10^{-24}	iocto	y
10^{21}	zeta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^3	quilo	k	10^{-3}	mili	m
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d

Os prefixos em negrito são os mais utilizados. [2].

A existência de uma entidade reguladora dos sistemas de unidades, ainda não foi suficiente para uma normalização globalizada, uma vez que os países de língua inglesa adotavam seu próprio sistema, O Sistema Inglês de Unidades e Medidas. Atualmente apenas os Estados Unidos da América do Norte não aderiu-se ao Sistema Internacional de Unidades oficialmente.

Este fato, impõem uma convivência com sistemas não padronizados e exige alguns fatores de conversão, Quadro IX

Quadro IX - Alguns Fatores de Conversão

Massa	1kg = 1000g = 6,02x10²⁶u 1 slug = 14,6 kg	- Comprimento	1m = 39,4 in = 3,28 ft 1 in = 25,4 mm
Força	1N = 10⁵dinas = 0,225 l 1 kgf = 9,80665N	- Pressão	1Pa = 1N/m² = 10dinas/cm² 1psi = 1 lb/in²
Trabalho e Energia	1J = 10⁷erg = 9,239 cal 1 cal = 4,1868 J 1BTU = 252cal	- Potência	1CV = 735,5 W 1HP = 745,5 W

Ref.[2]

Familiarizar-se com as unidades do Sistema Internacional, utiliza-las corretamente é de fundamental importância para qualquer profissional que venha trabalhar com ciência e tecnologia, recomenda-se que seja feita uma revisão sobre as definições e significado de cada unidades adotadas pelo Sistema Internacional de Unidades, caso os mesmos não sejam dominados pelo estudante. (consultar INMETRO).

1.2 - Propriedades dos Materiais.

1.2.1 - Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos materiais metálicos devem ser consideradas como uma das questões básicas apresentadas para o seu estudo e suas aplicações.

As propriedades mecânicas devem ser analisadas de acordo com o tipo de solitação e, dessa forma, elas podem ser agrupadas em duas categorias:

- a) propriedades mecânicas estáticas;
- b) propriedades mecânicas dinâmicas.

As propriedades mecânicas estáticas são obtidas do ensaio de tração. Contudo outros ensaios estáticos são aplicados para condições particulares com o ensaio de compressão, de tração e de flexão.

O ensaio de dureza também é de uso comum em face a sua facilidade de execução.

As propriedades dinâmicas, são determinadas a partir de ensaios de fadiga, de impacto e de fluência; contudo os valores obtidos para as propriedades são muito dependentes das condições de realização dos ensaios, o que conduz a um certo grau de incerteza quanto ao comportamento em serviço do material ensaiado.

I - Propriedades obtidas no ensaio de tração

Na Figura 1.1, pode-se analisar uma diagrama tensão x deformação, obtido a partir de um ensaio de tração, no qual obtêm-se os dados para os cálculos das propriedades e dos parâmetros necessários para o estudo dos materiais ensaiados.

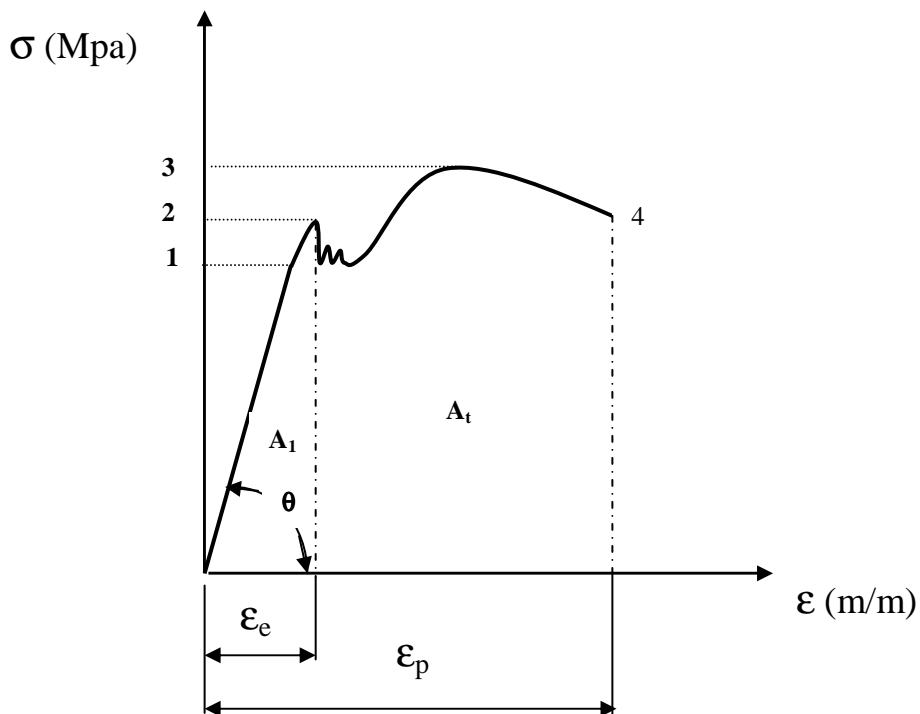


Figura 1.1 - Diagrama Tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$)

Análise do gráfico:

tensão = força / área transversal do corpo de prova -----	$\sigma = F/A$
variação do comprimento do corpo de prova -----	$\Delta L = L_f - L_o$
deformação média -----	$\epsilon = \Delta L / L_o$
ponto 1 - tensão de proporcionalidade-----	σ_p
ponto 2 - limite superior de escoamento-----	σ_{es}
ponto 3 - limite de resistência a tração -----	σ_t
ponto 4 - tensão de ruptura -----	σ_r
E = módulo de elasticidade, ou de Young (Lei de Hooke) -----	$\text{tang}\theta = \sigma/\epsilon_e$
deformação elástica-----	ϵ_e
deformação plástica total determina a ductilidade-----	ϵ_p
Área sob a região elástica, define a resiliência do material -----	A_1
Área total sob o diagrama $\sigma \times \epsilon$ define a tenacidade do material--	A_t

a) limite de resistência a tração, tensão máxima obtida em um diagrama $\sigma \times \epsilon$.

É um parâmetro determinado no ensaio estático de tração e corresponde a relação entre a carga máxima, suportada pelo corpo de prova constituído do material a ser ensaiado, e a seção transversal do corpo de prova ; essa propriedade é utilizada como índice de resistência mecânica do material, pois reflete a sua capacidade de suportar cargas, contudo a sua utilização sofre limitações de três ordens: primeira, ela se refere a um valor limite acima do qual já se inicia a instabilidade plástica que conduz à fratura; em segunda, que decorre da primeira, é necessário para determinar a tensão de projeto utilizar um fator de segurança cujo valor será uma questão discutível em face da confiabilidade desejada; e terceira, nem sempre é possível estabelecer uma correlação entre esse parâmetro e outras propriedades mecânicas exigidas para um determinado projeto.

b) limite de escoamento, tensão na qual tem início a deformação plástica

É também um parâmetro obtido no ensaio de tração e se constitui numa propriedade fundamental tanto para o projeto do produto como do processo pois, para o primeiro, indica explicitamente qual é a tensão máxima acima do qual se inicia a deformação plástica numa solicitação do estado simples de tração e, no caso de estados complexos de tensão, constitui a constante dos critérios de resistência; para o segundo, de forma semelhante, fornece o valor limite inferior para se iniciar um processo de conformação plástica, quer como valor diretamente correspondente a tensão limite na solicitação de tração quer como constante constituinte dos critérios de escoamento necessários aos estados complexos de tensões existentes nos processos usuais de laminação, trefilação e forjamento.

c) limite de elasticidade, tensão máxima no campo elástico do material.

Este valor de tensão é determinado por um ensaio de tração no qual realiza-se um carregamento e descarregamento incremental do corpo de prova.

d) módulo de elasticidade, exprime a rigidez do material.

Ainda no ensaio de tração determina-se o módulo de elasticidade que corresponde a relação entre tensão e deformação no regime elástico; é uma medida da rigidez do material, pois quanto maior for, menor será a deformação elástica para uma dada tensão aplicada, e assim se constitui num importante parâmetro para o projeto do produto.

d) ductilidade, avalia a capacidade de deformação plástica de um material ensaiado.

Essa propriedade, no ensaio de tração, é medida através da deformação plástica ocorrida no corpo de prova tanto no que se refere a seu comprimento (alongamento) como a sua seção transversal (estricção); o alongamento e a variação de comprimento em relação ao comprimento inicial e a estricção é a variação de área em relação a área inicial; devido a facilidade de determinação, o alongamento é frequentemente tomado como parâmetro de medida da ductilidade. Essa propriedade é importante pois dá uma indicação do comportamento do material quanto ao tipo de fratura que pode estar sujeito: fratura dúctil ou fratura frágil; a primeira ocorre com notável deformação plástica do corpo e a segunda, com pequena ou nenhuma deformação plástica; entretanto, a análise de comportamento do metal na fratura é complexa e não pode se basear unicamente num parâmetro, mesmo considerando apenas a sollicitação existente no ensaio de tração.

Além da indicação quanto a resistência, o alongamento permite, também, estimar aproximadamente o comportamento do material em processos de conformação

e) resiliência e tenacidade;

Ambos são medidas de energia de deformação; a resiliência é particularmente importante para o projeto de elementos elásticos pois corresponde a energia máxima de deformação.

Resiliência é a capacidade que um material apresenta de absorver energia por unidade de volume no seu campo elástico.

A tenacidade é a energia total necessária para provocar a fratura — em condições de sollicitação estática do corpo de prova; a ela se associa a resistência ao choque, contudo, de forma aproximada.

Tenacidade é a capacidade que um material tem de absorver energia por unidade de volume até sua ruptura.[3]

A figura 1.2, ilustra curvas de tensão de tração x deformação para quatro tipos de comportamento durante a deformação.[4]

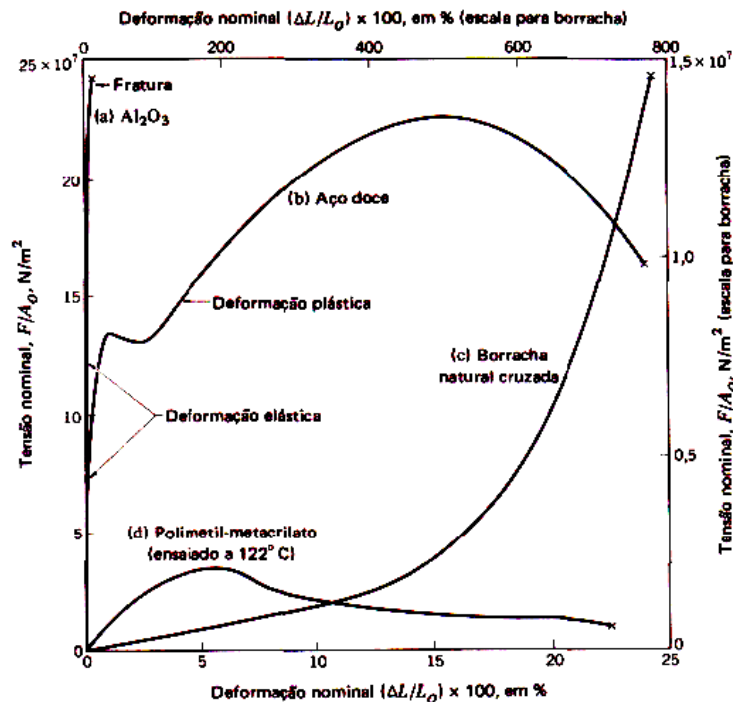


Figura 1.2 - Comportamento de deformação durante a deformação (a) elástica; (b) plástica após a elástica; (c) elastomérica e (c) viscoelástica, em um ensaio bem rápido.

A figura 1.3, apresenta aspectos da superfície fraturada em um ensaio de tração em um material dúctil e outro material frágil.[5]

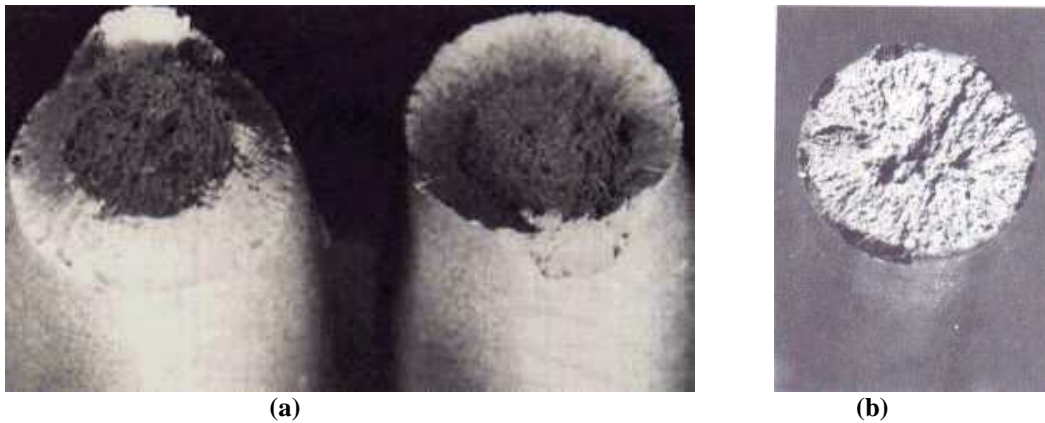
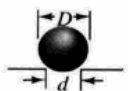

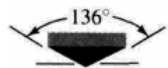

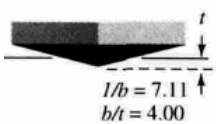
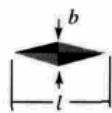


Figura 1.3 - Tipos de fratura em um ensaio de tração
 (a) fratura do tipo taça - cone em um material dúctil;
 (b) fratura do tipo normal em um material frágil.

II - A propriedade de dureza

A propriedade de dureza expressa apenas uma propriedade superficial do corpo de prova devido à natureza de sua concepção; ela é, na realidade, uma medida de resistência a penetração de uma ponta (esférica, cônica ou piramidal constituída de material duro) oferecida pelo material do corpo de prova ; essa propriedade é de particular interesse para se avaliar a resistência ao desgaste do material (que é uma propriedade dependente da superfície do corpo), para se medir o grau de endurecimento superficial por tratamento térmico, e para se estimar aproximadamente a resistência mecânica em geral do material do corpo de prova na medida em que as características mecânicas de sua superfície é representativa também das características de todo o material do corpo.[3]

Quadro X - Principais Tipos de Ensaio de Dureza

Ensaio	Penetrador	- Impressão	- Carga (kgf)	- Fórmula
Brinell	D = 10mm 	d 	- F=3000	- $HB = F/A$
Vickers	pirâmide de diamante 		- F	- $HV=1,72F/(d_1)^2$
Micro dureza Knoop	pirâmide de diamante 		- F	- $HK = 14,2F/l^2$
Rockwell				
A	cone de diamante		- F = 60 kgf	- HR_A
C	cone de diamante		- F = 150 kgf	- HR_C
B	esfera d = 1/16"		- F = 100 kgf	- HR_B

Ref.[5]

III - Resistência a fadiga:

As falhas de componentes metálicos em serviço na maioria das vezes, decorre devido a fadiga provocada pelas solicitações cíclicas; a fratura por fadiga apresenta características frágeis e é influenciada por diversos fatores como pontos de concentração de tensões, temperatura, presença de meios corrosivos, tensões residuais e outros que dependem das condições de projeto e de fabricação da peça e do meio ambiente . Portanto, os resultados dos ensaios de fadiga realizados em corpo de prova constituem apenas uma indicação do comportamento em serviço do material desse corpo que depende também de muitos outros fatores não representados nos ensaios de flexão rotativa , flexão alternada e tração compressão ; o ensaio realizado na peça fabricada se aproxima muito mais das condições reais de trabalho e contudo, mesmo assim, é necessário em tratamento estatístico dos valores de resistência a fadiga (ou do limite de fadiga) devido a dispersão desses resultados.[3]

Na figura 1.4, Observa-se Superfícies de fraturas típicas por fadiga:

- a) Superfície de ruptura, por fadiga de um eixo de locomotiva, na qual pode-se notar as duas regiões características, uma regular ou polida, correspondendo à propagação lenta da trinca de fadiga, e outra grosseira, ou granular, correspondendo ao rompimento por sobrecarga.[6]
- b) Superfície de fratura de uma falha por fadiga que teve início num canto vivo de um rasgo de chaveta de um eixo.[7]

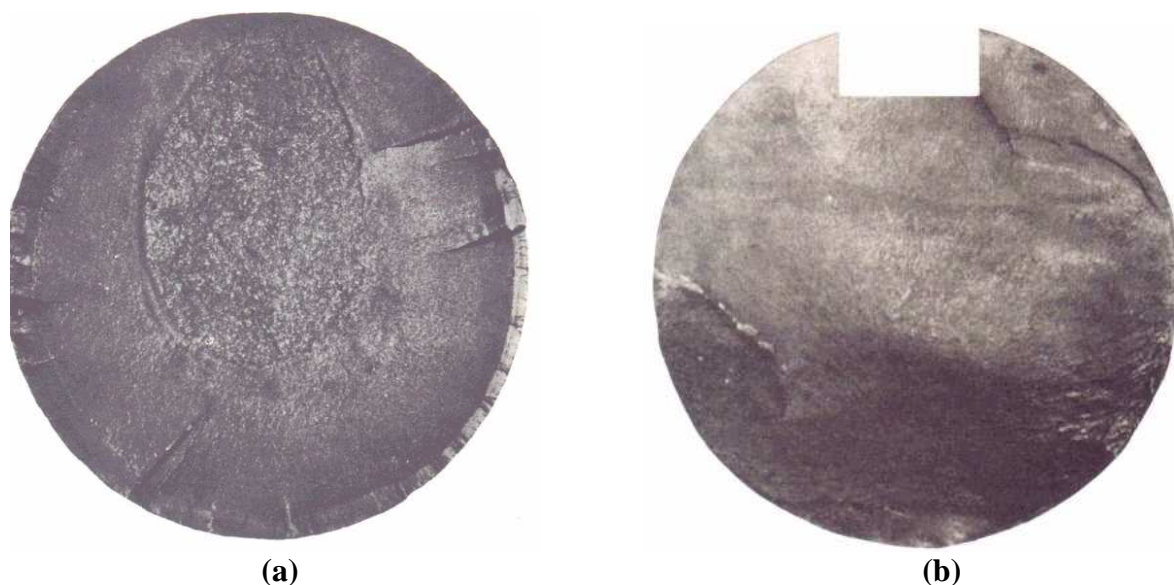


Figura 1.4 - Superfícies de fraturas típicas por fadiga

IV - Resistência ao choque:

A solicitação dinâmica das peças metálicas por impacto é um dos fatores que conduz a fratura também com características frágeis; a resistência ao choque, que corresponde a energia de choque mecânico absorvido pelo corpo para fraturar, é altamente influenciada pelas condições de temperatura e de estado tripla de tensão; esse ultimo fator negativo pode

ser criado pela presença de entalhes ou mudanças bruscas de seção no corpo de prova. Os ensaios de choque são padronizados nos ensaios Charpy e Izod comumente e os resultados dependem das condições dessa padronização e, em particular, da forma e dimensão dos corpos de prova ; portanto, também nesse caso, os resultados de ensaio representam indicações para efeito comparativo entre materiais, não podendo ser utilizados diretamente como índices de resistência para projeto ou para a representação real do comportamento em serviço.[3]

Na figura 1.5, observa-se os aspectos típicos de uma fratura de um corpo de prova Charpy com entalhe em V.

(a) fratura totalmente frágil; (b) parcialmente frágil e (c) totalmente dúctil

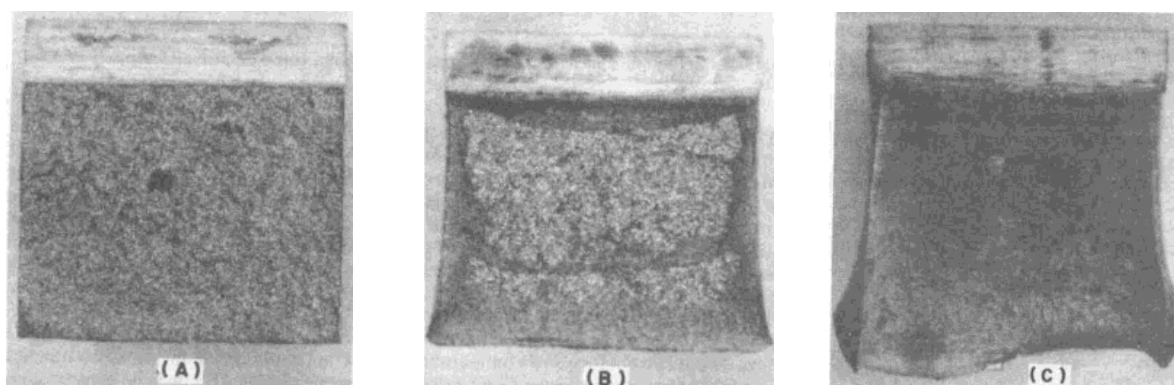


Figura 1.5 - Superfícies típicas de fratura de um ensaio Charpy.[8]

V- Resistência à fluência:

As solicitações mecânicas podem provocar, a partir de uma determinada temperatura, a deformação plástica em função do tempo à tensão ou carga constante; essa propriedade é fundamental para o projeto de componentes de máquinas e estruturas que devem operar às temperaturas elevadas. O tempo necessário (normalmente da ordem de centenas de milhares de horas) para que ocorra uma determinada (porém pequena) deformação plástica do componente em serviço sob tensão constante é um índice importante para o projeto. O ensaio de fluência realizado em corpos de prova devem ser de menor duração do que o previsto para o funcionamento do sistema mecânico onde atua o componente metálico, caso contrário o ensaio seria muito demorado e custoso; então, existe a incerteza, que deve ser considerada no projeto, decorrente da extrapolação de comportamento em serviço para tempos longos com base em ensaios de curta duração.

Os ensaios mecânicos convencionais não representam as condições usuais das peças em serviço devido a complexidade das solicitações reais no que se refere as tensões mecânicas, à corrosão, e ao desgaste e à influência da temperatura. Os ensaios especiais simulados permitem obter resultados mais próximos do comportamento real contudo nem sempre é possível se prever as condições reais para simulação e nem sempre é viável técnica e economicamente realizar os ensaios em tais condições. Os melhores resultados se obtém com observações diretas do comportamento das peças e estruturas para a medição dos parâmetros das solicitações presentes; nesse caso as peças são examinadas nas condições reais e comportamento do material pode ser avaliado com maior confiabilidade. [3]

1.2.2 - Propriedades Térmicas, Elétricas e Magnéticas.

A distinção entre temperatura e conteúdo de calor de um material é um fator importante para o profissional de ciência e tecnologia., a temperatura é a grandeza física que avalia o estado de vibração, ou nível de atividades térmica, as partículas que compõem um material, enquanto que o conteúdo térmico é a energia térmica. O calor é a energia térmica que flui de um corpo quente para um corpo frio.

- Capacidade térmica, C , é a constante de proporcionalidade entre o calor adicionado ao objeto e a mudança de temperatura resultante deste.

- Calor específico de um material, c , pode ser definida como a capacidade térmica de um material por unidade de massa, o calor específico se refere não ao objeto, mas ao material de que este objeto é feito.

Relembrando a calorimetria tem-se: $Q = m.c.\Delta t$, ou seja, uma quantidade de calor (Q), fornecida a uma massa (m), de um certo material com calor específico (c), provocará um aumento de temperatura (Δt). Analogamente a retirada de uma quantidade de calor (Q), provocará uma diminuição de temperatura (Δt).

Conforme a definição da capacidade térmica de um objeto pode-se expressa-la como: $C = Q/\Delta t$ ou $C = m.c$.

- Expansão térmica, dilatação, ocorre normalmente durante um aquecimento de um material em decorrência do aumento do estado de vibração térmica as partículas que constituí este material.

- O coeficiente de dilatação linear, α_L , pode ser entendido como sendo o aumento relativo de comprimento por unidade de temperatura.

Numa primeira aproximação, o aumento relativo de comprimento, $\Delta L/L$, é proporcional à variação de temperatura, Δt , porém uma avaliação mais precisa mostra que o coeficiente de dilatação linear, α_L , de um modo geral, aumenta ligeiramente com o aumento da temperatura.

Uma descontinuidade nos coeficientes de dilatação pode ser observada quando os materiais sofrem mudanças de fases, ou seja, alterações alotrópicas ou mudança de estados

- Condutividade térmica, k , é a constante de proporcionalidade que relaciona o fluxo térmico, H , com o gradiente térmico, $\Delta t/\Delta x$, então $H = k (\Delta t/\Delta x)$.

O coeficiente de condutividade térmica também é sensível à variação de temperatura, ele diminui quando há um aumento na temperatura. [4][9]

- Condutividade elétrica, σ , esta associada a mobilidade de uma partícula carregada eletricamente, como um elétron, no interior dos condutores metálicos. Pode-se definir a condutividade elétrica como: $\sigma = c.q.u$, onde c é a concentração de partícula com mobilidade por metro cúbico; q é a carga da partícula em Coulomb; e μ é a mobilidade em m/s da partícula sob a força motriz elétrica unitária, campo elétrico $E = 1V/m$.

Observa-se que a condutividade elétrica é uma propriedade recíproca da resistividade elétrica. $\sigma = 1/\rho$.

Relembrando a 2ª Lei de Ohm: $R = \rho.L/A$, onde R é a resistência elétrica, medida em Ω ; L comprimento do condutor, em m ; A a área da seção transversal, em m^2 . Concluí-se que a unidade da resistividade, ρ é $[\Omega.m]$, como a condutividade é dada pelo recíproco da resistividade sua unidade será, σ $[[\Omega^{-1}.m^{-1}]$.

- Resistividade elétrica, ρ é o valor da resistência elétrica de um condutor com comprimento e área da seção transversal unitários. ou seja é o valor da resistência elétrica específica de cada material.

Propriedades magnéticas, na natureza, o dipolo magnético fundamental - o único responsável pelas propriedades magnéticas da matéria - está associado com o elétron.

Os elétrons podem produzir magnetismo de três modos:

- O magnetismo de cargas em movimento
- O magnetismo e o Spin
- O magnetismo e o movimento orbital.

A propriedade mais característica de qualquer material magnético é o seu momento magnético. O Momento magnético é uma quantidade mensurável, sendo designada pelo símbolo μ . Quando consideramos os efeitos magnéticos provenientes de átomos e elétrons reunidos, como num cristal, torna-se conveniente pensar-se em termos de momento magnético por unidade de volume, cujo símbolo é M . Na maioria dos materiais, M é zero quando não há campo magnético. Entretanto, se essas substâncias são colocadas em um campo magnético, sabe-se que, $M = \chi H$, onde o fator de proporcionalidade χ é conhecido como suscetibilidade magnética por unidade de volume e H é a intensidade do campo magnético.

A suscetibilidade χ pode ser positiva ou negativa. Se for negativa, o material é classificado como diamagnético. Se for positiva e pequena, o material é paramagnético. Se for positiva e muito altas, o material é ferromagnético.

A maioria dos elementos metálicos importantes está classificada na Tabela 1.1 de acordo com suas suscetibilidades.[8]

Tabela 1.1 - Susceptibilidades de alguns elementos, $\chi \times 10^6$ *

Paramagnético Elemento	Susceptibilidade	Diamagnético Elemento	Susceptibilidade	Ferromagnético Elemento
Césio	0,22	Cobre	-0,09	Ferro
Tungstênio	0,32	Silício	-0,11	Cobalto
Potássio	0,53	Chumbo	-0,13	Níquel
Magnésio	0,54	Ouro	-0,14	
Alumínio	0,61	Mercúrio-sólido	-0,17	
Tório	0,66	Zinco	-0,18	
Sódio	0,70	Prata	-0,18	
Platina	1,04	Cádmio	-0,31	
Zircônio	1,30	Índio	-0,56	
Urânio	1,7	Antimônio	-1,10	
Molibdênio	1,8	Bismuto	-1,30	
Nióbio	2,20			
Tecnécio	2,9			
Títânio	3,0			
Cromo	3,1			
Vanádio	5,0			
Paládio	5,3			
Manganês	11,50			

Dados retirados de *Handbook of Physicochemical Properties of the Elements*, editado por Samsonov, G. V. Plenum Publishing Corp., New York, 1968, pp. 338-353.

Ferromagnetismo é a propriedade característica de um material interagir intensamente com os ímãs, campos magnéticos, de modo que ele próprio pode se tornar um ímã.

Paramagnetismo é a propriedade característica de um material interagir muito pouco com os ímãs, ou campos magnéticos.

Diamagnetismo é a propriedade característica de um material interagir com os ímãs, campos magnéticos, de modo que ele próprio gere um campo magnético contrário, causando assim sua repulsão.

1.2.3 - Propriedades Ópticas

Transmitância, reflexão, refração e absorção

A Transmitância, é a mais importantes propriedade em um material óptico. Ela avalia a capacidade de transmitir a luz e é definida como o percentual de um feixe de luz que se mantém após passar através de uma espessura de 10mm de um material. Como a transmitância está inversamente relacionada com a absorção, ela varia significativamente com o comprimento de onda da luz.

A reflexão, sabe-se que um espelho e uma parede reflete a luz que chega até eles (é por isso que podemos enxerga-los). Porém, claramente nota-se que existe uma diferença entre estas duas reflexões. Em uma delas pode-se ver nitidamente uma imagem, que está se formando no espelho, enquanto na outra somente enxerga-se a parede. Na verdade existem dois tipos de reflexão, a reflexão regular e a reflexão difusa.

Reflexão regular, ocorre em superfícies polidas. Aqui a forma do pincel de luz não é destruída depois da reflexão, Figura 1.6

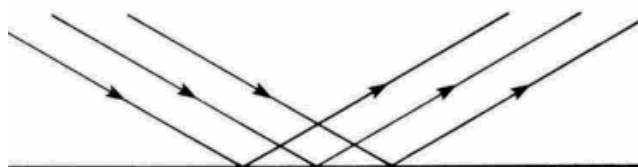


Figura 1.6 - Pincel de luz típico de uma reflexão regular

Reflexão difusa, ocorre em superfícies rugosas, cheias de irregularidades. Aqui a forma do pincel de luz é destruída depois da reflexão, ou seja, a luz acaba sendo espalhada para várias direções, Figura 1.7

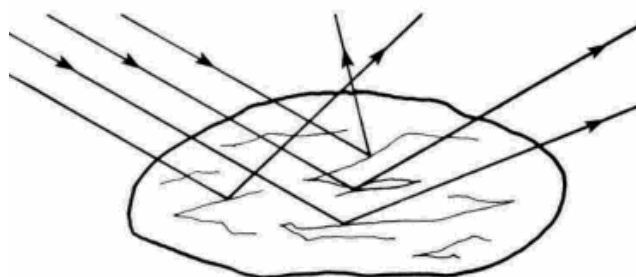


Figura 1.7 - Pincel de luz típico de uma reflexão difusa

Conclui-se que quanto mais se espalhar o pincel de luz, vindo de um objeto, depois de incidir em uma superfície, pior ficará a imagem deste objeto refletida nesta mesma superfície. Refração, Refringência e dioptros.

O termo refringência se refere ao índice de refração de um meio. Todo material homogêneo, transparente e isotrópico é um meio refringente. Diz-se que um meio é mais refringente que outro quando seu índice de refração é maior. Exemplo, o diamante é mais refringente, ($n = 2,42$), que o vidro, ($n = 1,5$ a $1,9$).

Quando um feixe de luz consegue passar de um meio material para outro diz-se que ele sofreu refração. E todas as vezes que isso acontece este raio sofre um certo desvio, isso ocorre pelo fato da luz mudar sua velocidade quando passa de um meio material para outro.

A luz branca, por exemplo, é formada por todas as sete cores que você pode ver no arco íris, viajando juntas e com a mesma velocidade ($\cong 3 \times 10^8 \text{ m/s}$). As sete cores são: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Quando este feixe de luz branca encontra um meio material diferente do vácuo, ele pode penetrá-lo, e se isso acontecer cada cor mudará sua velocidade de uma maneira diferente, ou seja, cada cor terá sua própria velocidade neste novo meio. Como o desvio que irá ocorrer depende das suas velocidades, podemos concluir que cada cor vai desviar-se de maneira diferente das outras (isso só não acontece quando o raio de luz chega perpendicularmente à superfície de separação entre os meios materiais).

Sabe-se que a cor que mudar mais sua velocidade será a que irá sofrer o maior desvio, e a cor que mudar menos sua velocidade sofrerá o menor desvio.

A Figura 1.8, ilustra a lei de Snell-Descartes e o índice de refração.

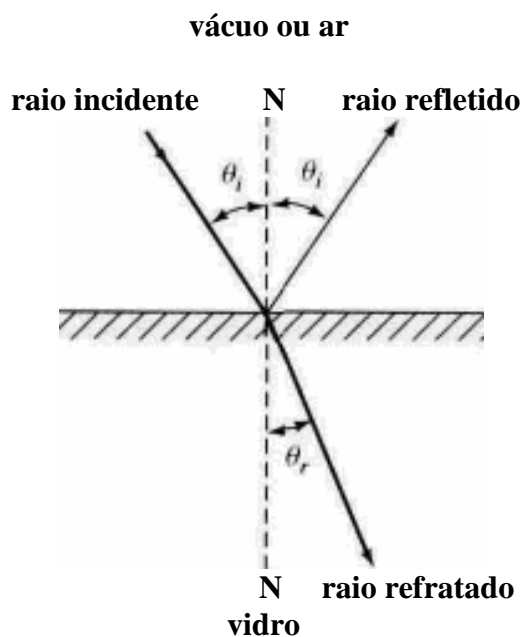


Figura 1.8 - Ilustração de raio incidente, refletido e refratado do ar para o vidro.

Lei de Snell-Descartes :

$$\text{Tem-se : } \frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{n_r}{n_i} = n_r$$

θ_i = ângulo de incidência;

θ_r = ângulo de refração;

n_i = índice de refração do meio incidente , $n_i = 1$ para o vácuo ou ar;

n_r = índice de refração do meio de refração.

Absorção

Um fato curioso sobre a absorção da luz é que ela pode explicar o fato dos objetos serem coloridos da maneira como são.

A maçã é vermelha pois os raios de luz que saem da maçã e chegam até nossos olhos são vermelhos. Se uma maçã é iluminada com luz branca (que sabemos ser a soma de todas as cores) e se a vemos vermelha, podemos concluir que nem todas as cores que chegaram foram refletidas. Se assim fosse veríamos a maçã branca, e não vermelha. O que ocorre é que a casca da maçã absorve todas as cores que chegam, menos a vermelha, que é refletida. Por isso só vemos o vermelho.

Isso acontece com todos os outros objetos coloridos que vemos por aí.

Do ponto de vista da óptica, você seria capaz então de explicar porque uma folha é verde ?

Quando um objeto é preto (ausência de luz) significa que ele absorveu todas as cores e não refletiu nenhuma, mas se um objeto for branco, significa que ele refletiu todas as cores. [2].

1.2.4 - As Transformações de Fases

Uma fase é definida como um corpo macroscopicamente homogêneo de matéria.

O significado de uma fase é termodinamicamente exato, porém o termo é freqüentemente usado, de maneira mais geral, para denominar uma solução sólida ou não.

As fases nas ligas são em geral soluções : sólidas, líquidas ou gasosas.

As fases sólidas se formam algumas vezes em intervalos de composição tão estreitos que são verdadeiros compostos.

Os compostos podem também ser considerados como soluções com solubilidade muito limitada.

Os metais polimórficos (alotrópicos), aqueles que cristalizam-se em estruturas diferentes e estáveis em faixas distintas de temperatura, cada uma das estruturas cristalinas serão definidas como uma fase, as quais são designadas por letras gregas : α , β , γ , δ , etc.

Relembrando a Termodinâmica

1) Energia interna ou potencial de uma fase metálica:

Inclui-se na energia interna de uma fase metálica todas as formas de energias presentes em sua estrutura, tais como:

- energia química de ligações interatômicas ;
- energia térmica devido a vibrações atômicas, de difusão atômica ;
- energia superficial de contorno de grãos;
- energia de deformação armazenada;
- energia de linhas de discordâncias ;
- energia devido a gradientes de concentrações dos solutos; entre outras.

- 2) Nas transformações de fases e nas reações químicas encontram-se dois tipos de reações:
- reações exotérmicas (libera calor), a soma das energias internas das fases a se transformar é maior que a soma das energias internas das fases resultantes da transformação.
 - reações endotérmicas (recebe calor), inversa da anterior.

3 - O calor é a energia térmica que flui entre sistemas e sua vizinhança como consequência da diferença de temperatura existente entre eles.

A energia pode também ser transferida entre um sistema e sua vizinhança por meio de trabalho.

Tanto o calor quanto o trabalho representam energia em trânsito entre sistemas e sua vizinhança. O calor e o trabalho, ao contrário da temperatura, da pressão e do volume, não são propriedades intrínsecas de um sistema. Eles têm significado somente enquanto descrevem transferência de energia para dentro do sistema ou para fora, adicionando-se ou subtraindo-se da quantidade de *energia interna do sistema*.

Unidades de Calor: $1\text{J} = 0,239\text{ cal} = 9,48 \cdot 10^{-4}\text{ BTU}$

Absorção de calor em sólidos e líquidos:

Capacidade Térmica

$$Q = C (T_f - T_i)$$

Calor Específico

$$Q = c \cdot m (T_f - T_i)$$

Calor Latente ou de transformação.

$$Q = L \cdot m$$

Lei Zero = Cada corpo tem uma propriedade chamada Temperatura.

1ª Lei da Termodinâmica : $\Delta U = Q - \tau$

ΔU = variação da energia interna

Q = quantidade de calor transferido

τ = trabalho

Entalpia

1ª Lei da Termodinâmica : $\Delta U = Q - \tau$

ΔU = variação da energia interna

Q = quantidade de calor transferido

τ = trabalho

A transferência de calor no processo será:

$$Q = \Delta U + \tau$$

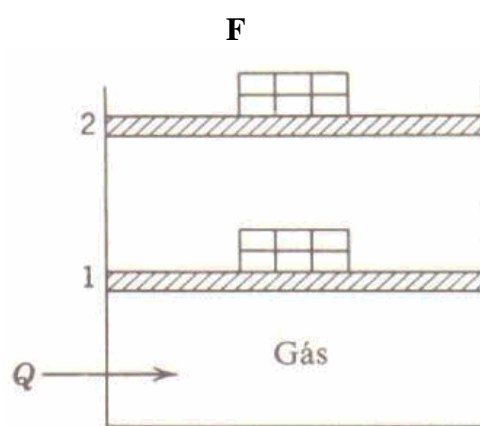
Se a transferência de calor ocorrer num processo quase estático à pressão constante, a transferência de calor do processo pode ser definida como uma propriedade extensiva chamada entalpia.

A propriedade termodinâmica entalpia

Seja um sistema que sofra um processo quase estático à pressão constante, que não haja variação de energia cinética ou potencial e que o único trabalho realizado seja o associado ao movimento de fronteira.

Aplica-se a 1ª lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \tau$$



$$\tau = F \times d_{1-2}; \text{ mas } F = P \times A; \text{ logo } \tau = P \times A \times d_{1-2}$$

$$\text{Tem-se que } \tau = P \times \Delta V \text{ ou } \tau = \int_1^2 P \cdot dV$$

Conclui-se que:

$$Q_{1-2} = \Delta U + \tau \text{ transferência de calor durante o processo.}$$

Como todos os elementos dessa expressão são propriedades termodinâmicas, função apenas do estado do sistema, torna-se conveniente definir uma nova propriedade, a entalpia.

$$H = U + PV$$

Lembrando ainda:

1- Calor específico a volume constante $C_v = (\partial u / \partial T)_v$.

2- Calor específico a pressão constante $C_p = (\partial h / \partial T)_p$.

Entropia

A primeira lei da termodinâmica não é por si só suficiente para determinar o sentido de um processo (transformação de fase ou reação química).

Na natureza observa-se que um processo caminha espontaneamente para uma situação de " maior desordem ", ou seja a transformação ocorre para uma situação onde haja uma distribuição cada vez mais uniforme de matéria e energia.

Para avaliar o " grau de desordem " de um sistema utiliza-se a grandeza denominada *Entropia*.

Deve-se ao conceito da entropia a formulação da 2ª lei da termodinâmica.

Conclui-se :

Uma transformação é espontânea quando há aumento de entropia.

Pelo terceiro princípio da termodinâmica, admite-se arbitrariamente uma situação em que a entropia seria igual a zero. A partir desta referência tem-se os valores da entropia das substâncias em quaisquer temperatura.

Uma substância, na forma de um cristal perfeito, a zero Kelvin, tem entropia igual a zero.

A energia livre de Gibbs

Um processo libera calor - ele é espontâneo
Um processo aumenta a desordem - ele é espontâneo

Qual critério adotar para determinar a espontaneidade de uma transformação?

Resumindo: A energia livre de Gibbs.

Energia liberada pela reação = ΔH
Energia gasta na organização = $T \cdot \Delta S$
Saldo de energia disponível = $\Delta H - T \cdot \Delta S$

Este saldo de energia é denominado Energia livre de Gibbs

$$\boxed{G = \Delta H - T \cdot \Delta S}$$

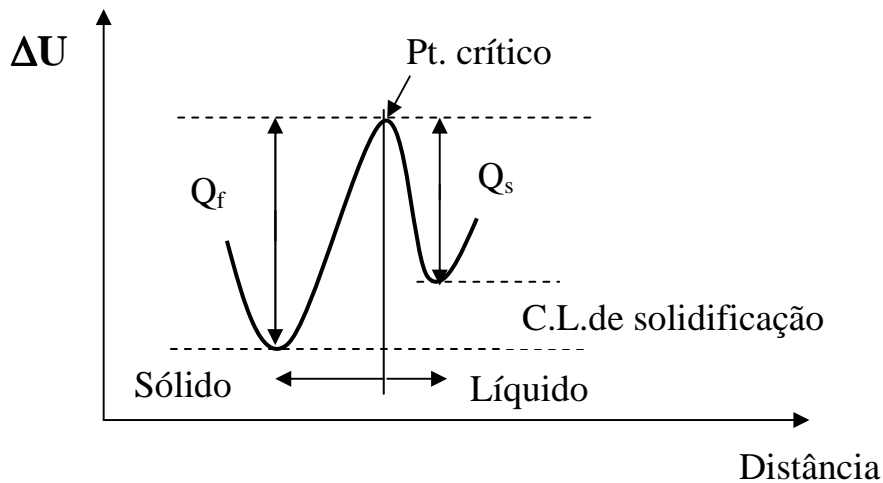
A variação da energia livre é o melhor critério para traduzir a espontaneidade ou não de um processo físico ou químico.

Ela representa a energia máxima que o sistema pode liberar em forma de trabalho útil.

$\Delta G > 0$ processo não espontâneo
 $\Delta G = 0$ sistema em equilíbrio
 $\Delta G < 0$ processo espontâneo

As transformações de fases podem ocorrer, ativadas pela energia livre de Gibbs.

A Energia de Ativação, energia necessária para que um átomo possa atingir o Pt. crítico



Ref.[10]

Referências Bibliográficas:

- [1] - **Sistema Internacional de Unidades**, Instituto Nacional de Pesos e Medidas, Ministério da Indústria e do Comércio, Cia Gráfica Lux, 1971.
- [2] - **Halliday**; Resnick e Walker, Fundamentos de Física, vol. 4, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, Rio de Janeiro, 1993.
- [3] - **Brescian**, E F. Seleção de Materiais Metálicos, Editora da UNICAMP, Campinas, 1991.
- [4] - **Guy**, A. G. Ciência dos Materiais, LTC Editora S.A., São Paulo, 1980
- [5] - **Shackelford**, J. F. Introduction to Materials Science for Engineers, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [6] - **Colpaert**, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1974.
- [7] - **Dieter**, G. E., Metalurgia Mecânica, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1981.
- [8] - **Reed-Hill**, R. Princípios de Metalurgia Física, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.
- [9] - **Zemansky/Sears**, Física, vol.2, LTC Editora S.A. Rio de Janeiro, 1978
- [10] - **Van Wylern**, G.J e **Sonntag R. E.** Fundamentos da Termodinâmica Clássica, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1976.