

P1 de CTM – 2014.1

Nome:

Matrícula:

Assinatura:

Turma:

OBS:

Esta prova contém 7 páginas e 6 questões. Verifique antes de começar.

VOCÊ DEVE ESCOLHER APENAS 5 QUESTÕES PARA RESOLVER.

**VOCÊ DEVE RISCAR NA TABELA ABAIXO A QUESTÃO
QUE NÃO SERÁ CORRIGIDA**

**EM CASO DE OMISSÃO SÓ SERÃO CONSIDERADAS
AS 5 PRIMEIRAS QUESTÕES**

Questão	Pontos	
1) 2,0		
2) 2,0		
3) 2,0		
4) 2,0		
5) 2,0		
6) 2,0		
TOTAL		

Todas as respostas devem ser justificadas.

Não é permitido usar calculadora.

As questões podem ser resolvidas a lápis,
mas os resultados finais devem ser escritos com caneta.

- 1) **(2,0)** As sacolas de supermercado são produzidas com um polímero formado por cadeias de polietileno (Figura 1).

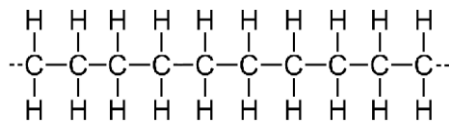


Figura 1. Cadeia de Polietileno

- a. **(1,0)** A partir dos seus conhecimentos sobre ligações químicas, compare as ligações dentro de uma cadeia (intramoleculares) com as ligações entre cadeias vizinhas (intermoleculares), no que diz respeito à energia de ligação e à direcionalidade.

As ligações entre átomos de carbono e entre carbono e hidrogênio dentro de cada molécula são covalentes. Apresentam elevada estabilidade (alta energia de ligação) e são direcionais. Já as ligações intermoleculares são do tipo Van der Waals (dipolo-dipolo induzido), são não direcionais e apresentam baixa energia de ligação.

- b. **(1,0)** A tabela abaixo apresenta o módulo de elasticidade (ou módulo de Young) para dois sólidos à base de carbono. Utilize os seus conhecimentos sobre as características das ligações químicas para explicar as marcantes diferenças entre os dois materiais.

Tabela 1. Módulo de Young para diamante e polietileno

Material	E (GPa)
Polietileno	1,0
C (diamante)	700 - 1200

O módulo de elasticidade pode ser correlacionado com a intensidade da força de ligação química (concavidade do poço de potencial) que define a energia das ligações atômicas envolvidas em um dado material. Portanto, quanto maior a intensidade da força, maior a concavidade e maior o valor de E. Como as ligações entre átomos de C no diamante são covalentes (primárias ou fortes), e entre as cadeias de polietileno de Van der Waals (secundárias ou fracas), o superior valor de E para o diamante se deve justamente a maior intensidade da força da ligação covalente.

- 2) **(2,0)** Considere dois planos atômicos representados em uma célula unitária CFC (cúbica de face centrada) – Figura 2.

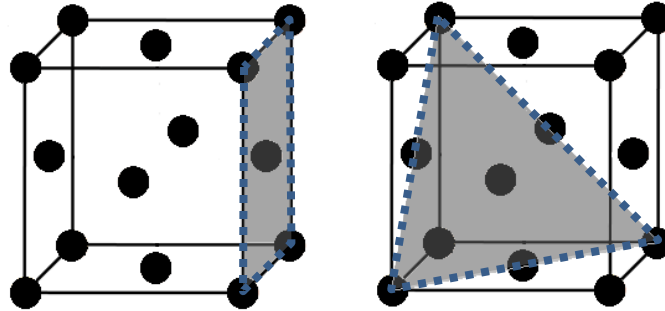


Figura 2. Planos atômicos em uma célula CFC

- a. **(0,5)** Calcule o fator de empacotamento atômico desta célula. Detalhe as etapas do cálculo (a última etapa pode ficar indicada).

$$FEA = \frac{V(\text{atomos})}{V(\text{Célula})} = \frac{4 * \frac{4\pi R^3}{3}}{a^3}$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{2}} = \frac{4R\sqrt{2}}{2} = 2R\sqrt{2}$$

$$FEA = \frac{4 * \frac{4\pi R^3}{3}}{(2R\sqrt{2})^3} = \frac{\pi\sqrt{2}}{6} = 0.74$$

- b. **(1,0)** Qual dos dois planos indicados apresenta a maior densidade atômica planar? Justifique numericamente a sua resposta.

Plano 1

$$DAP = \frac{A(\text{atomos})}{A(\text{plano})} = \frac{2\pi R^2}{a^2} = \frac{2\pi R^2}{(2R\sqrt{2})^2} = \frac{2\pi R^2}{4R^2 \cdot 2} = \frac{\pi}{4} = 0.785$$

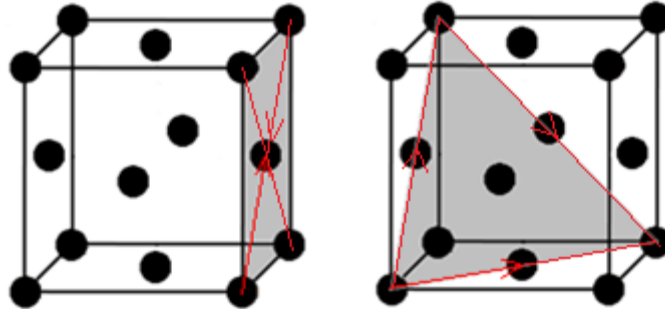
Plano 2

$$DAP = \frac{A(\text{atomos})}{A(\text{plano})} = \frac{2\pi R^2}{\left(\frac{a^2\sqrt{12}}{4}\right)} = \frac{2\pi R^2}{(2R\sqrt{2})^2 \frac{\sqrt{12}}{4}} = \frac{2\pi R^2 \cdot 4}{4R^2 \cdot 2 \cdot \sqrt{12}} = \frac{\pi\sqrt{3}}{6} = 0.907$$

Portanto, o plano 2 apresenta densidade atômica planar maior.

c. **(0,5)** Indique as direções compactas em cada um destes planos e compare estes dois sistemas quando o material é submetido a um processo de deformação plástica.

- Direções compactas



- Plano 1: 2 direções

- Plano 2: 3 direções compactas

Como o número de possibilidades de deslizamento atômico é superior para o plano 2, a deformação plástica é mais provável neste plano.

- 3) (2,0) Os parâmetros da tabela abaixo são importantes para a avaliação da solubilidade do elemento na formação de uma liga com o cobre.

Elemento	Estrutura cristalina	Valência	Raio atômico	Eletronegatividade
Cu	CFC	+2	0,128	1,9
C	-	-	0,071	
H	-	-	0,046	
Al	CFC	+3	0,143	1,5
Co	HC	+2	0,125	1,8
Cr	CCC	+3	0,125	1,6
Fe	CCC	+2	0,124	1,8
Ni	CFC	+2	0,125	1,8
Pd	CFC	+2	0,138	2,2
Zn	HC	+2	0,133	1,6

- a. (0,5) Quais destes elementos seriam solutos intersticiais? **Justifique.**

C e H, uma vez que são os únicos que têm raio atômico substancialmente menor do que o raio do Cobre. Assim, não podem ser substitucionais, mas poderão ocupar interstícios.

Os solutos intersticiais devem apresentar raios atômicos pequenos para que não causem grandes tensões na rede ao se alojarem nos interstícios. Em sendo assim os elementos C e H por apresentarem raios significativamente menores do que o do Cu apresentam maior facilidade para se dissolverem (e difundirem) pelos interstícios.

- b. (0,5) Dentre os elementos que seriam solutos substitucionais, qual deve apresentar a maior solubilidade com o cobre? **Justifique.**

Dentre os diversos elementos podemos inicialmente eliminar os que têm estrutura cristalina diferente da do cobre, restando apenas Al, Ni e Pd. Em seguida podemos eliminar os que não têm a mesma valência do Cobre, restando Ni e Pd. Dentre este dois, o Ni tem raio atômico e eletronegatividade mais próximos dos valores do Cu, e portanto deverá apresentar a maior solubilidade.

- c. (1,0) Em experimentos de difusão determinaram-se dois valores de difusividade

($D_1 = 1 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ e $D_2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$). Associe estes valores às respostas dos itens (a) e (b).

Justifique.

A maior difusividade (D_1) está associada aos solutos intersticiais, uma vez que estes, sendo menores, tem maior mobilidade (ou menor energia de ativação) dentro da rede cristalina. Além disso, só dependem da existência de interstícios, que sempre estão presentes, independente da temperatura. Os solutos substitucionais são maiores e dependem da existência de vacâncias, que varia com a temperatura. Portanto, em geral, os solutos substitucionais terão difusividade menor do que os intersticiais.

4) (2,0) Suponha que você precise endurecer uma placa de titânio por meio de difusão de carbono. A temperatura de trabalho é de 925 °C e o fluxo de carbono na condição estacionária é de $1,29 \times 10^{-9} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$.

Ao final do processo a amostra é retirada e levada para análise em laboratório, obtendo-se os valores de concentração listados na tabela abaixo.

Profundidade (mm)	1,0	3,0
Concentração (kg/m ³)	0,25	0,68

a. (1,0) Calcule o coeficiente de difusão para este tratamento. Faça o cálculo até o final.

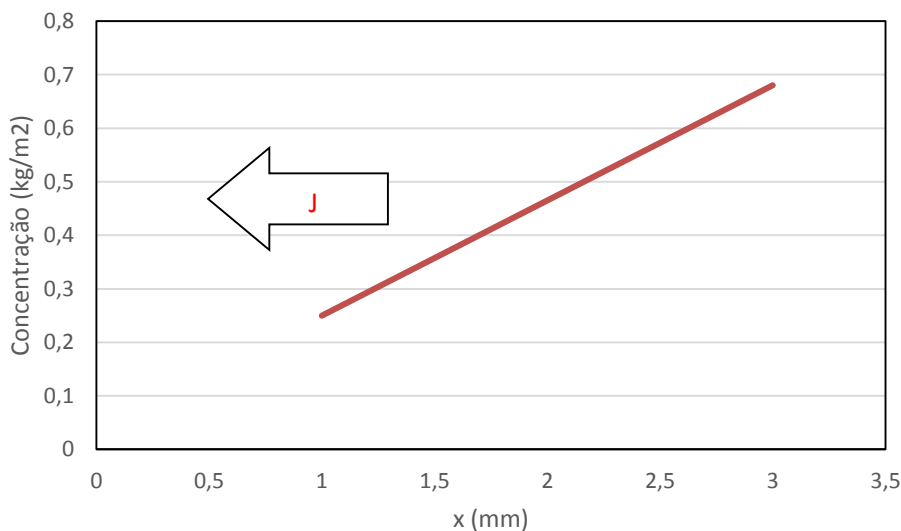
Pela primeira Lei de Fick, que se aplica ao estado estacionário

$$J = 1,29 \times 10^{-9} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} = -D \frac{\partial C}{\partial x} = -D \frac{(0,68 - 0,25) \text{ kg/m}^3}{(3,0 - 1,0) \times 10^{-3} \text{ m}} = -D \frac{0,43}{2 \times 10^{-3}}$$

$$\text{Assim } D = \frac{1,29 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^{-3}}{0,43} = \frac{2,58 \times 10^{-12}}{0,43} = 6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

A difusividade é um parâmetro com um valor positivo. O sinal negativo do fluxo apenas indica que o seu sentido, no eixo x, é negativo (sentido menos \hat{x}), como indicado na resposta do item b.

b. (1,0) Esboce um gráfico de concentração versus profundidade e indique o sentido correto do fluxo.



5) (2,0) Sabe-se que o limite de escoamento e o módulo de elasticidade de um metal valem 350 MPa e 100 GPa, respectivamente.

a. (1,0) Qual é o comprimento inicial de uma barra deste metal se, quando ela estiver submetida a uma tensão de tração de 300 MPa, o alongamento valer 0,03 mm?

Como $\sigma < \sigma_y$, então a barra está sob o regime elástico.

Assim, $\sigma = E \cdot e$

e $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$

Logo $L_0 = \frac{E}{\sigma} \times \Delta L$

$$L_0 = \frac{100 \cdot 10^3}{300} 0,03 = 10 \text{ mm.}$$

b. (1,0) Sabendo que a ductilidade (%EL) vale 10%, qual é o comprimento da barra após a fratura?

$$L_f = L_0 \times (1 + \%EL/100) = 10 \times (1,1) = 11 \text{ mm}$$

- 6) (2,0) Em um processo industrial de laminação em temperatura ambiente, barras de aço com 10 cm de espessura (lingote) são deformadas para formar 2 tipos de chapas: Chapa A com 1 cm de espessura e Chapa B com 0,5 cm de espessura.

Marque a afirmativa correta abaixo e **justifique**, citando o conceito de discordâncias.

- a. Resistência (lingote) < Resistência (Chapa A) < Resistência (Chapa B).
- b. Resistência (lingote) > Resistência (Chapa A) > Resistência (Chapa B).
- c. Ductilidade (lingote) < Ductilidade (Chapa A) < Ductilidade (Chapa B).
- d. Resistência (lingote) = Resistência (Chapa A) = Resistência (Chapa B).
- e. NRA

Este processo de laminação caracteriza um trabalho a frio, realizado a uma temperatura muito inferior ao ponto de fusão do material. Quanto maior a redução de espessura maior o percentual de trabalho a frio. Nesta situação a deformação plástica extensa cria uma grande quantidade de discordâncias. Este aumento da densidade de discordâncias aumenta a resistência a deformação plástica subsequente devido à interação entre as discordâncias. Portanto este processo aumenta a resistência à deformação plástica e diminui a ductilidade. Como a Chapa B foi a mais deformada, apresentará o maior aumento de resistência, seguida pela Chapa A, ambas mais resistentes do que o lingote original.