

## IME 2026

### INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

#### Questões objetivas e dissertativas

#### COMISSÃO DE EXAME INTELECTUAL

#### INSTRUÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DA PROVA

1. Você recebeu este **CADERNO DE QUESTÕES** e um **CARTÃO DE RESPOSTAS**.
2. Este caderno de questões possui, além das capas externas, 24 (vinte e quatro) páginas, das quais 22 (vinte e duas) contêm 40 (quarenta) questões objetivas, cada uma com valor igual a 0,25 (zero vírgula vinte e cinco), e 01 (uma) páginas destinadas ao rascunho. Observe que as respostas deverão ser lançadas no cartão de respostas. Respostas lançadas no caderno de questões não serão consideradas para efeito de correção.
3. Para realizar esta prova, você poderá usar lápis (ou lapiseira), **caneta azul**, borracha, apontador, par de esquadros, compasso, régua milimetrada e transferidor.
4. A interpretação das questões faz parte da prova, portanto são vedadas perguntas à Comissão de Aplicação e Fiscalização (CAF).
5. Cada questão objetiva admite uma **única** resposta, que deve ser assinalada no cartão de respostas à **caneta azul**, no **local correspondente ao número da questão**. O assinalamento de duas respostas para a mesma questão implicará na anulação da questão.
6. Siga atentamente as instruções do cartão de respostas para o seu preenchimento. Cuidado para não errar ao preencher o cartão.
7. O tempo total para a execução da prova é limitado a **5 (cinco) horas**.
8. **Não haverá tempo suplementar para o preenchimento do cartão de respostas.**
9. Não é permitido deixar o local de exame antes de transcorrido o prazo de **1 (uma) hora** de execução de prova.
10. Os 03 (três) últimos candidatos a terminar a prova deverão permanecer em sala para acompanhar a conclusão dos trabalhos da CAF.
11. Leia os enunciados com atenção. Resolva as questões na ordem que mais lhe convier.
12. Não é permitido destacar quaisquer das folhas que compõem este caderno.
13. Aguarde o aviso para iniciar a prova. Ao terminá-la, avise ao fiscal e aguarde-o no seu lugar.
14. A devolução deste **CADERNO DE QUESTÕES** e do **CARTÃO DE RESPOSTAS** é obrigatória. O não cumprimento dessa exigência eliminará o candidato do concurso de admissão.

QUESTÕES OBJETIVAS

CONCURSO DE ADMISSÃO 2025 - 2026

AO

CONCURSO DE FORMAÇÃO E GRADUAÇÃO

**Questão 31 – Valor: 0,25**

Qual é, aproximadamente, o número de moléculas em 22,4 litros de água, em 1 atm e 4 °C?

- (A)  $3,01 \times 10^{23}$
- (B)  $6,02 \times 10^{23}$
- (C)  $7,46 \times 10^{26}$
- (D)  $1,20 \times 10^{27}$
- (E)  $2,99 \times 10^{25}$

**Resolução: alternativa C**

$$H_2O = 2 \times 1 + 1 \times 16 = 18; M_{H_2O} = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$d_{H_2O} = 1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$V = 22,4 \text{ L}$$

$$d_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{V} \Rightarrow 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{m_{H_2O}}{22,4 \text{ L}}$$

$$m_{H_2O} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 22,4 \text{ L} = 22400 \text{ g}$$

$$18 \text{ g} \text{ ——— } 6,02 \times 10^{23} \text{ moléculas (H}_2\text{O)}$$

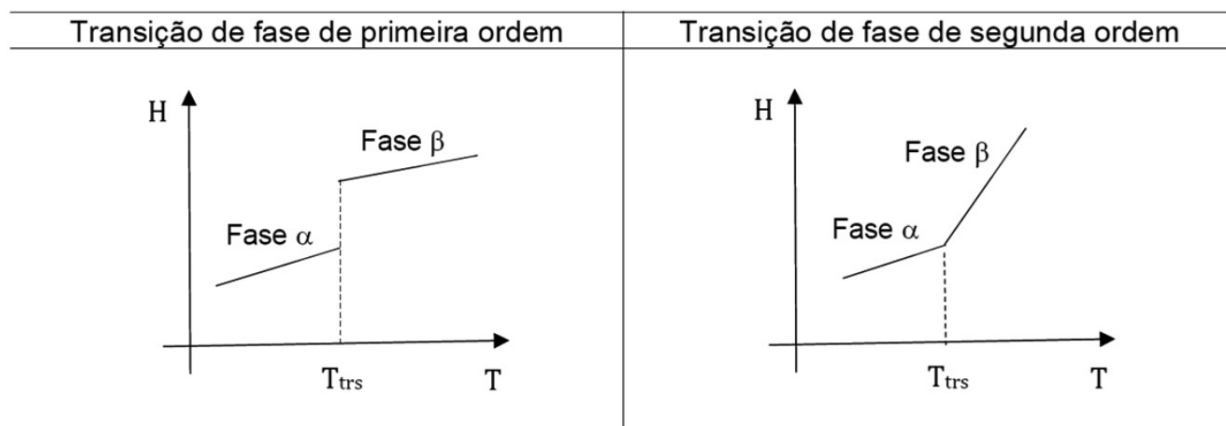
$$22400 \text{ g} \text{ ——— } n_{\text{moléculas}}$$

$$n_{\text{moléculas}} = \frac{22400 \text{ g} \times 6,02 \times 10^{23} \text{ moléculas}}{18 \text{ g}} = 7491,55 \times 10^{23} \text{ moléculas}$$

$$n_{\text{moléculas}} = 7,49 \times 10^{26} \text{ moléculas} \Rightarrow 7,46 \times 10^{26} \text{ moléculas (aproximadamente)}$$

**Questão 32 – Valor: 0,25**

As transições de fase são acompanhadas por variações nas propriedades termodinâmicas. Dependendo do comportamento da entalpia (H) com a temperatura (T), é possível classificar as transições de fase como de primeira e de segunda ordem, conforme as representações abaixo.



Na transição entre as fases  $\alpha$  e  $\beta$ , considere que:

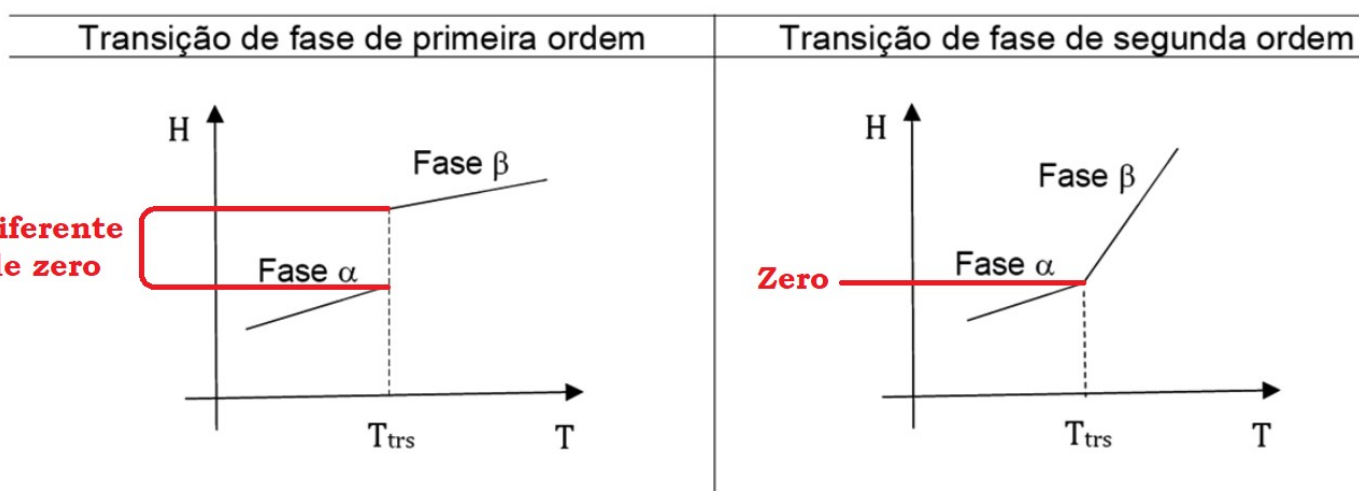
- i.  $T_{\text{trs}}$  é a temperatura de transição;
- ii.  $\Delta H$  é a variação de entalpia;
- iii.  $\Delta S$  é a variação de entropia;
- iv.  $\Delta G$  é a variação da energia de Gibbs.

Com base nas informações apresentadas e nas relações termodinâmicas, assinale a alternativa correta.

- (A) As transições de fase de primeira e de segunda ordem apresentam  $\Delta H \neq 0$ .
- (B) Na transição de fase de primeira ordem  $\Delta G \neq 0$ .
- (C) Na transição de fase de primeira ordem  $\Delta S = 0$ .
- (D) Na transição de fase de segunda ordem  $\Delta S \neq 0$ .
- (E) Na transição de fase de segunda ordem  $\Delta G = \Delta H = \Delta S = 0$ .

**Resolução: alternativa E**

(A) Incorreta. A transição de fase de primeira apresenta  $\Delta H \neq 0$ . Porém, a transição de fase de segunda ordem apresenta  $\Delta H \neq 0$ .



(B) Incorreta. Nas transições de fase ocorre equilíbrio, logo  $\Delta G = 0$  (variação de energia livre de Gibbs nula).

(C) Incorreta. A partir de  $\Delta G = \Delta H - T \times \Delta S$ , vem:

$$\Delta H \neq 0 \text{ e } \Delta G = 0. \text{ Logo,}$$

$$0 = (\neq 0) - T \times \Delta S$$

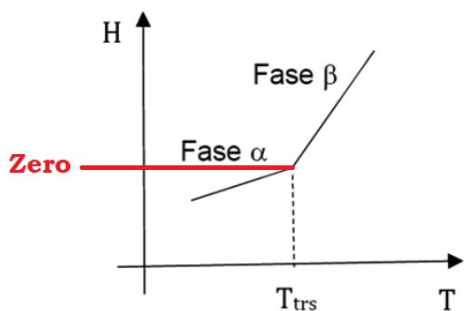
$$\Delta S = \frac{(\neq 0)}{-T} \Rightarrow \Delta S \neq 0$$

(D) Incorreta. Na transição de fase de segunda ordem  $\Delta S \neq 0$ .

$$\Delta H \neq 0 \text{ e } \Delta G = 0 \Rightarrow 0 = (\neq 0) - T \times \Delta S$$

$$\Delta S = \frac{(\neq 0)}{-T} \Rightarrow \Delta S \neq 0$$

(E) Correta. Na transição de fase de segunda ordem  $\Delta G = \Delta H = \Delta S = 0$  (equilíbrio).



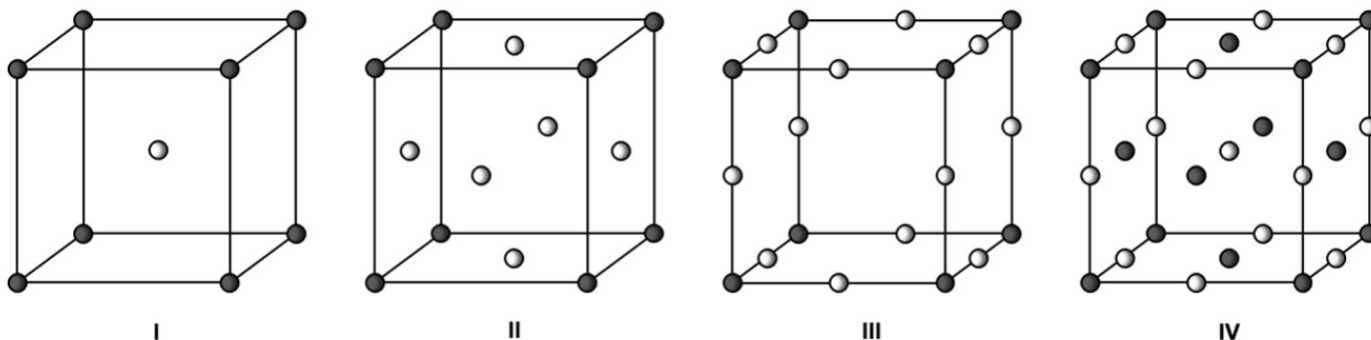
$$\Delta H = 0 \text{ e } \Delta G = 0 \Rightarrow \Delta G = \Delta H - T \times \Delta S \Rightarrow 0 = 0 - T \times \Delta S$$

$$\Delta S = \frac{0}{-T} \Rightarrow \Delta S = 0$$

Logo,  $\Delta G = \Delta H = \Delta S = 0$ .

**Questão 33 – Valor: 0,25**

Considere as estruturas de células unitárias representadas a seguir:



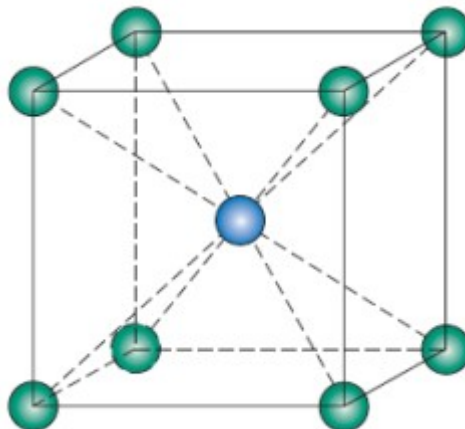
Com base nos raios iônicos  $r$ , indique quais das células unitárias podem corresponder, respectivamente, às estruturas do cloreto de césio e do cloreto de sódio.

- (A) I e III.
- (B) I e IV.
- (C) II e III.
- (D) II e IV.
- (E) III e IV.

**Resolução: alternativa B**

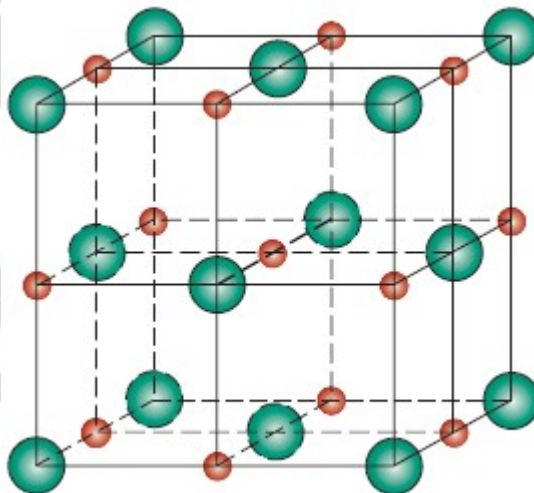
O Césio (Cs) está localizado no grupo 1 e sexto período da tabela periódica, já o Sódio (Na) está localizado no grupo 1 e terceiro período da tabela periódica. Logo, o raio do césio (Cs) é maior do que do sódio (Na). E isto vale para os íons.

O raio do cátion Césio ( $\text{Cs}^+$ ) tem 167 pm, o raio do cátion sódio ( $\text{Na}^+$ ) tem 102 pm e o raio do ânion cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) tem 181 pm. Como o raio do cátion césio é próximo do cloreto (181 pm – 167 pm), conclui-se que o arranjo I (cúbico de corpo centrado) é o mais adequado para a célula unitária do  $\text{CsCl}$  (número de coordenação 8).



Fonte da figura: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas>

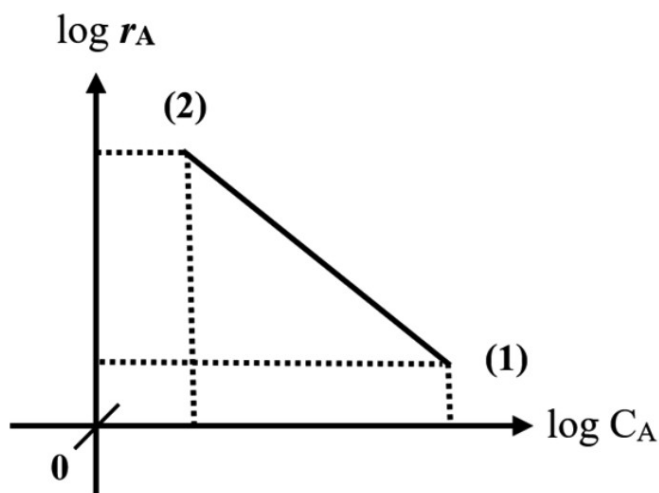
Como o raio do cátion sódio é “afastado” do cloreto (181 pm – 102 pm), conclui-se que o arranjo IV (cúbico de face centrada) é o mais adequado para a célula unitária do NaCl (número de coordenação 6).



Fonte da figura: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas>

**Questão 34 – Valor: 0,25**

O gráfico abaixo foi construído a partir da medida da velocidade de reação ( $r_A$ ) e da concentração ( $C_A$ ) de uma substância **A** em dois momentos sucessivos, inicial (1) e final (2):



Analisando o gráfico, pode-se afirmar que:

- (A) essa reação é de ordem zero em relação à substância **A**.
- (B) a substância **A** é um produto.
- (C) essa reação é de ordem negativa em relação à substância **A**.
- (D) a constante de velocidade dessa reação é negativa.
- (E) essa reação é de ordem fracionária positiva em relação à substância **A**.

**Resolução: alternativa C**

Genericamente, sabemos que:

Velocidade de reação =  $k \times [\text{Concentração de A}]^m$ . Então :

$$v = k \times [A]^m$$

Aplicando log em ambos os lados, vem :

$$\log v = \log(k \times [A]^m)$$

$$\underbrace{\log v}_y = \underbrace{\log k}_b + m \underbrace{\log [A]}_x \Rightarrow y = b + mx \text{ (equação de uma reta)}$$

O coeficiente angular é representado por m.

De acordo com o gráfico, teremos :

$$m = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} < 0 \Rightarrow v = k \times [A]^{-n}$$

Conclusão: essa reação é de ordem negativa em relação à substância **A**.

**Questão 35 – Valor: 0,25**

Sabe-se que uma substância contém, em sua molécula, carbono e hidrogênio e, suspeita-se que também contenha oxigênio, descartando-se completamente a possibilidade da presença de outros átomos na sua estrutura. Nas CNTP, essa substância se encontra em estado gasoso com massa específica igual a 2,05 g/L. Quando 46 g da substância são queimados com oxigênio em excesso, resultam 88 g de dióxido de carbono e 54 g de água.

Pode-se afirmar que a substância é:

- (A) Etanol.
- (B) Etano.
- (C) Acetileno.
- (D) Dimetil éter.
- (E) Só pode ser determinada se for informado o valor do excesso de oxigênio empregado

**Resolução: alternativa D**

$$d = 2,05 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{CO}_2 = 1 \times 12 + 2 \times 16 = 44; M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

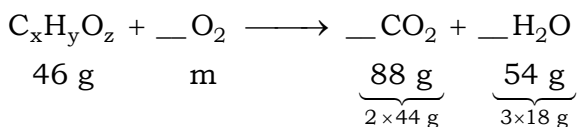
$$\text{H}_2\text{O} = 2 \times 1 + 1 \times 16 = 18; M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Em condições ideais, nas CNTP,  $V_{\text{molar}} = 22,4 \text{ L}$

$$d = \frac{M_{\text{molar}}}{V_{\text{molar}}} \Rightarrow d = \frac{M_{\text{molar}}}{V_{\text{molar}}} \Rightarrow M_{\text{molar}} = d \times V_{\text{molar}}$$

$$M_{\text{molar}} = 2,05 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 22,4 \text{ L}$$

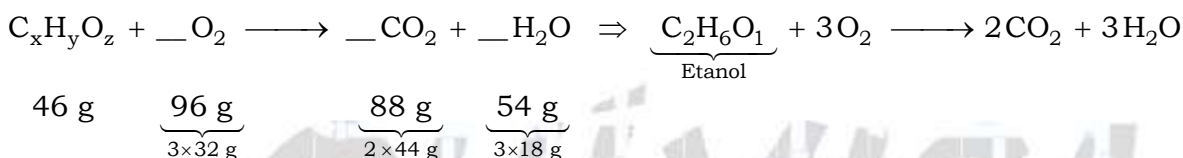
$$M_{\text{molar}} = 45,92 \text{ g} \approx 46 \text{ g}$$



$$46 \text{ g} + m = 88 \text{ g} + 54 \text{ g}$$

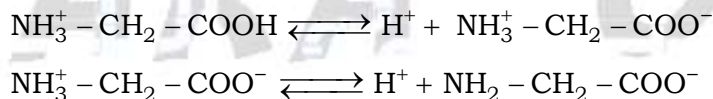
$$m = 96 \text{ g}$$

Então:



**Questão 36 – Valor: 0,25**

O aminoácido glicina ( $\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ ), em solução aquosa, pode receber e/ou liberar prótons e se converter em  $\text{NH}_3^+ - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ ,  $\text{NH}_3^+ - \text{CH}_2 - \text{COO}^-$  e  $\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COO}^-$ . Essas espécies químicas podem participar das reações indicadas a seguir que possuem, respectivamente,  $pK_1$  e  $pK_2$ :

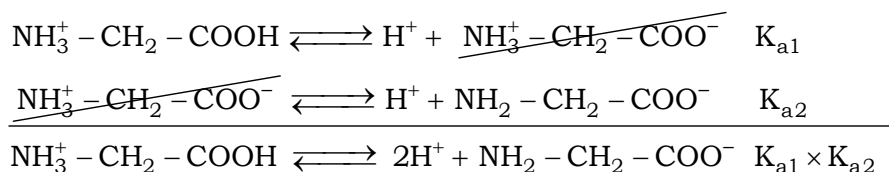


Considerando as informações apresentadas, qual o pH do ponto isoelétrico da glicina?

- (A) 7
- (B)  $pK_1 \cdot pK_2$
- (C)  $(pK_1 \cdot pK_2)^{1/2}$
- (D)  $2(pK_1 + pK_2)$
- (E)  $\frac{1}{2}(pK_1 + pK_2)$

**Resolução: alternativa E**

O ponto isoelétrico da glicina é aquele no qual o pH apresenta um valor específico atribuído à molécula que possui carga elétrica líquida igual a zero. Sejam:



$$K_{a1} \times K_{a2} = \frac{[H^+]^2 \times [NH_2 - CH_2 - COO^-]}{[NH_3^+ - CH_2 - COOH]}$$

$$[NH_3^+ - CH_2 - COOH] = [NH_2 - CH_2 - COO^-] \quad (\text{ponto isoelétrico})$$

Logo,

$$K_{a1} \times K_{a2} = [H^+]^2$$

Aplicando log, vem:

$$\log(K_{a1} \times K_{a2}) = \log[H^+]^2$$

$$\log K_{a1} + \log K_{a2} = 2 \log[H^+]$$

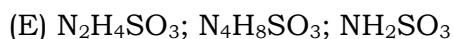
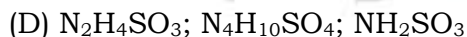
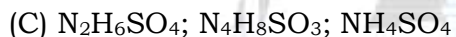
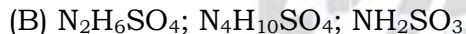
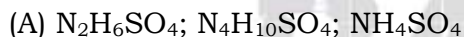
$$pK_{a1} + pK_{a2} = 2 \times pH \Rightarrow pH = \frac{pK_{a1} + pK_{a2}}{2} \Rightarrow pH = \frac{1}{2}(pK_{a1} + pK_{a2})$$

$$pH = \frac{1}{2}(pK_1 + pK_2)$$

**Questão 37 – Valor: 0,25**

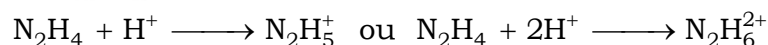
A hidrazina ( $N_2H_4$ ) é uma base diprótica fraca que pode formar vários sais anidros com ácido sulfúrico.

Assinale a única alternativa que contém três fórmulas mínimas de sais anidros que podem, em teoria, ser formados.



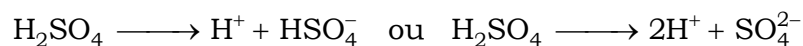
**Resolução: alternativa A**

A hidrazina ( $N_2H_4$ ) é uma base diprótica, isto significa que ela pode receber até dois cátions  $H^+$  e formar cátions. Já que possui dois átomos de nitrogênio e cada um deles com um par de elétrons disponível. Observe:

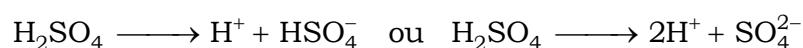
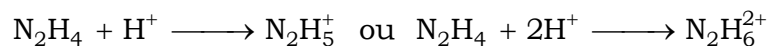


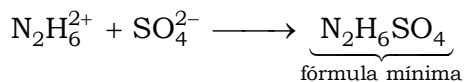
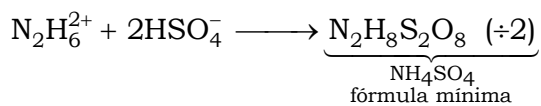
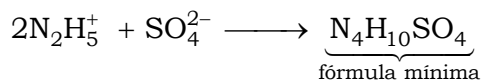
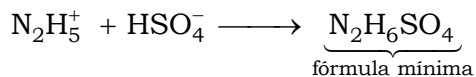
O ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) pode “doar” até dois cátions  $H^+$  e formar ânions.

Observe:



Fazendo as possíveis combinações entre os cátions e ânions formados, vem:

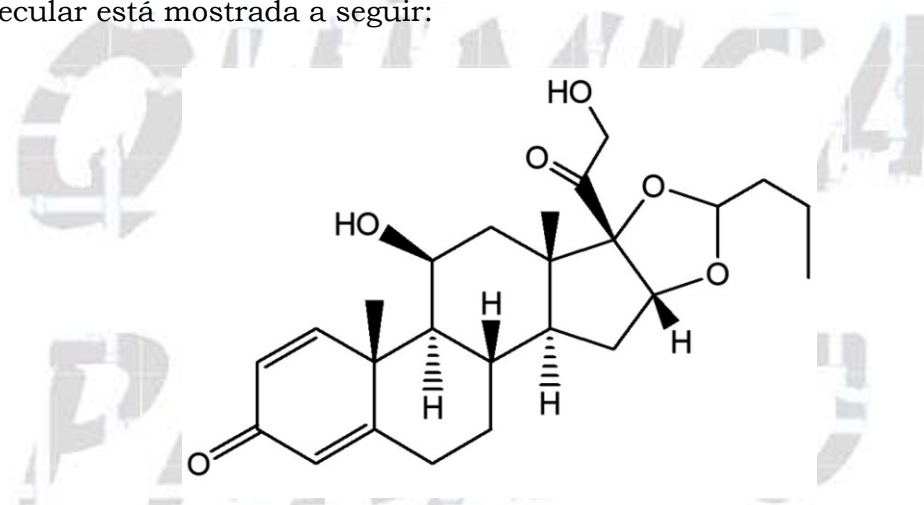




Conclusão:  $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$ ;  $\text{N}_4\text{H}_{10}\text{SO}_4$ ;  $\text{NH}_4\text{SO}_4$  (fórmulas mínimas).

### Questão 38 – Valor: 0,25

A budesonida é um esteroide glicocorticoide, usado no tratamento de rinite não infecciosa. Sua estrutura molecular está mostrada a seguir:



Considerando essa estrutura, são feitas as seguintes afirmações:

- I. A fórmula molecular da budesonida é  $\text{C}_{24}\text{H}_{32}\text{O}_6$ .
- II. A molécula possui 8 carbonos quirais.
- III. Cetona, ácido e éter são funções orgânicas encontradas na molécula.
- IV. Acusa resultado negativo quando submetida ao teste com Reagente de Tollens.

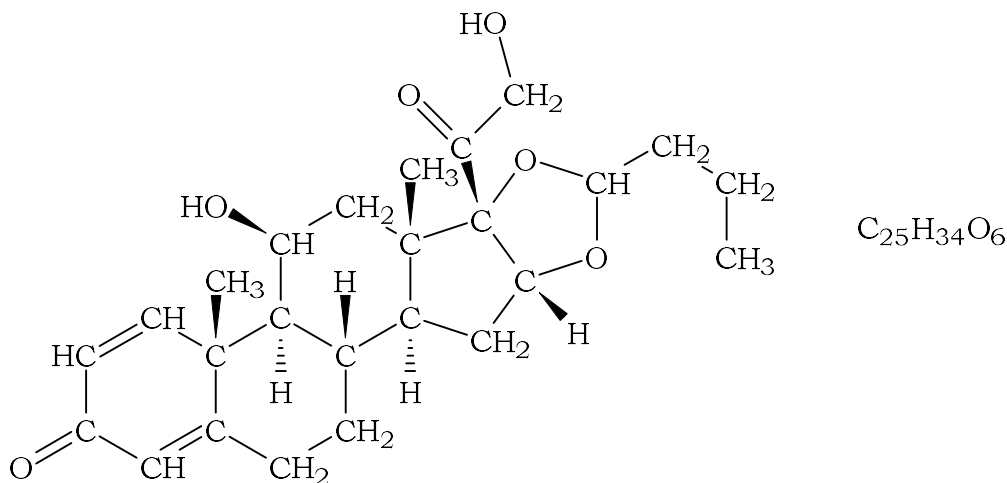
Com base na análise das afirmações acima, assinale a opção correta:

- (A) Nenhuma afirmação é verdadeira.
- (B) Apenas uma afirmação é verdadeira.
- (C) Apenas duas afirmações são verdadeiras
- (D) Apenas três afirmações são verdadeiras.
- (E) Todas as afirmações são verdadeiras.

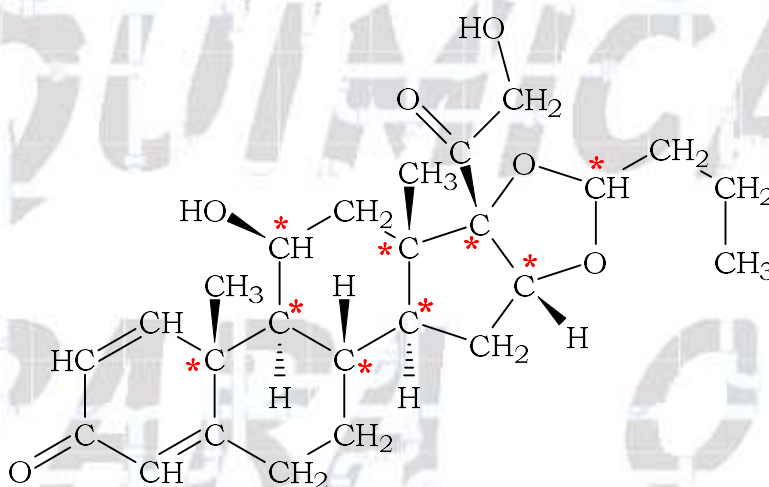
### Resolução: alternativa A

I. Falsa. A fórmula molecular da budesonida é  $\text{C}_{25}\text{H}_{34}\text{O}_6$ .

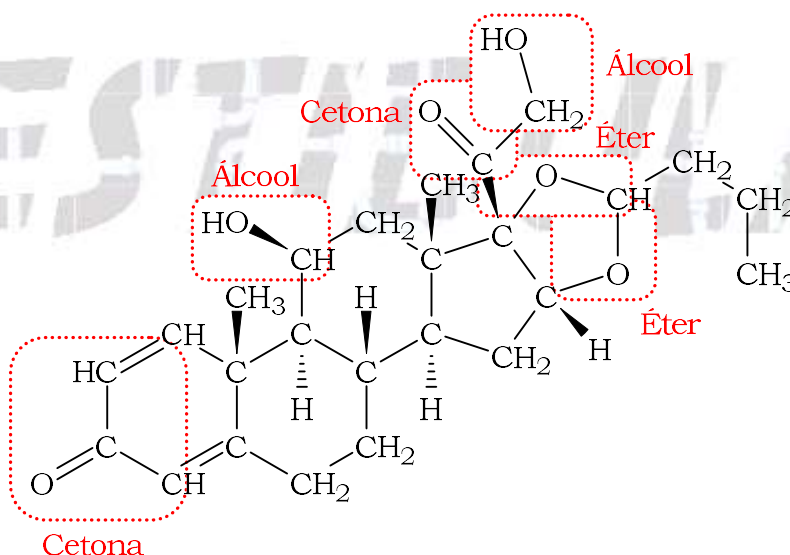
Observe a fórmula estrutural a seguir.



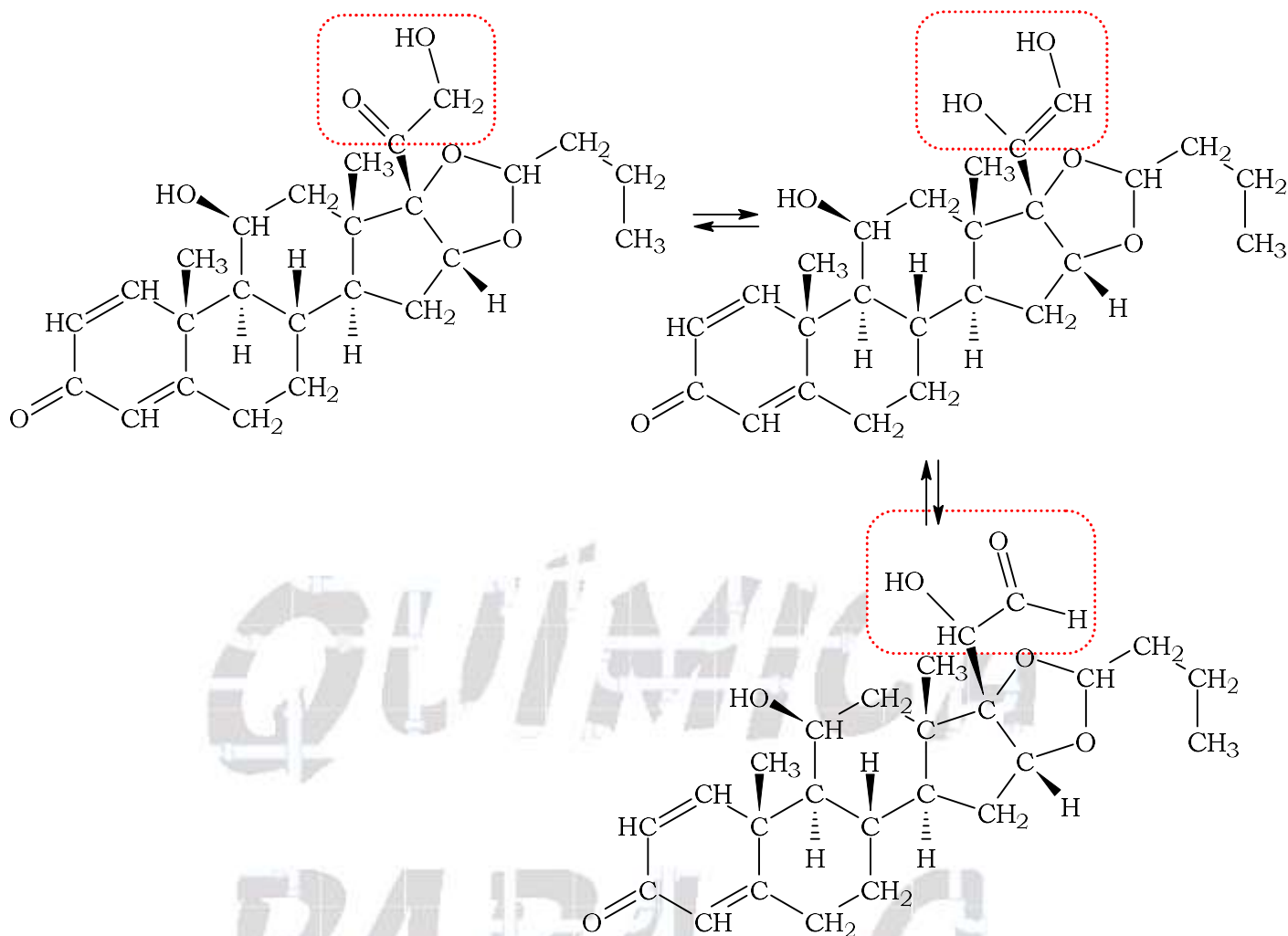
II. Falsa. A molécula possui 9 carbonos quirais ou assimétricos (\*átomo de carbono ligado a quatro ligantes diferentes entre si).



III. Falsa. Cetona, álcool e éter são funções orgânicas encontradas na molécula.



IV. Falsa. Acusa resultado positivo quando submetida ao teste com Reagente de Tollens. Pois, a Budesonida apresenta um grupo  $\alpha$ -hidroxicetona que se transforma em aldeído. Neste caso, a Budesonida deve ser dissolvida com álcool (etanol ou metanol) em pequenas quantidades, formando uma solução alcoólica que deve ser misturada ao reagente de Tollens.



**Questão 39 – Valor: 0,25**

Um terço do calor padrão de reação liberado pela combustão completa de 1 mol do gás sulfeto de carbonila, na presença de ar atmosférico, é transferido para 1 kg de água, mantida no estado líquido sob pressão.

**Considere:**

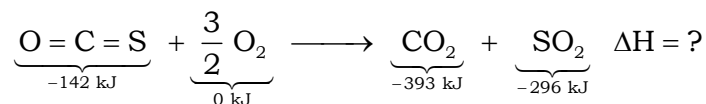
- Composição molar do ar atmosférico: 21 % O<sub>2</sub> / 79% N<sub>2</sub>
- Calor específico da água líquida: 4,2 kJ/(kg °C)
- $\Delta H_f^\circ$  do sulfeto de carbonila: - 142 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ$  do dióxido de carbono: - 393 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ$  do dióxido de enxofre: - 296 kJ/mol

A variação de temperatura experimentada pela água, em °C, nessas condições, é de:

- (A) 86
- (B) 65
- (C) 110
- (D) 43
- (E) 130

**Resolução: alternativa D**

Combustão completa de 1 mol do gás sulfeto de carbonila, na presença de ar atmosférico (a presença do nitrogênio pode ser desprezada):



$$\Delta H = H_{\text{produtos}} - H_{\text{reagentes}}$$

$$\Delta H = [-393 \text{ kJ} + (-296 \text{ kJ})] - [-142 \text{ kJ}] \Rightarrow \Delta H = -547 \text{ kJ}$$

Um terço do calor padrão de reação liberado é transferido para a água, então:

$$Q = \left| \frac{\Delta H}{3} \right| = \left| \frac{-547 \text{ kJ}}{3} \right| \Rightarrow Q = \frac{547}{3} \text{ kJ}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}$$

$$c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$Q = m \times c \times \Delta T \Rightarrow \frac{547}{3} \text{ kJ} = 1 \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \times \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{547}{3 \times 4,2} ^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T = \frac{547}{3 \times 4,2} ^\circ\text{C} = 43,4 ^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T \approx 43 ^\circ\text{C}$$

**Questão 40 – Valor: 0,25**

Durante uma pesquisa sobre metabolismo energético em organismos vivos, um bioquímico analisou diferentes tipos de lipídios presentes em amostras biológicas.

Sobre os lipídios, analise as afirmativas abaixo.

- I. Os lipídios, tais como os triacilgliceróis, os cerídeos e os esteroides, são moléculas orgânicas que não são solúveis em água e éter dimetílico, devido a sua natureza apolar.
- II. Os lipídios podem ser formados a partir da reação de ácidos graxos saturados como o ácido graxo de fórmula molecular  $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$  e o glicerol.
- III. O ácido graxo de fórmula molecular  $\text{C}_{14}\text{H}_{26}\text{O}_2$  apresenta ponto de fusão mais alto que o ácido graxo de fórmula molecular  $\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$  devido ao aumento das forças de dispersão de London.
- IV. Os triacilgliceróis são formados a partir de ésteres de ácidos carboxílicos, com cadeias carbônicas iguais ou diferentes, e glicerol. A sua hidrólise alcalina (saponificação) produz glicerol e sais de ácidos carboxílicos.

Assinale a opção que apresenta APENAS afirmativas verdadeiras:

- (A) I e II
- (B) II e IV
- (C) II e III
- (D) III e IV
- (E) I e IV

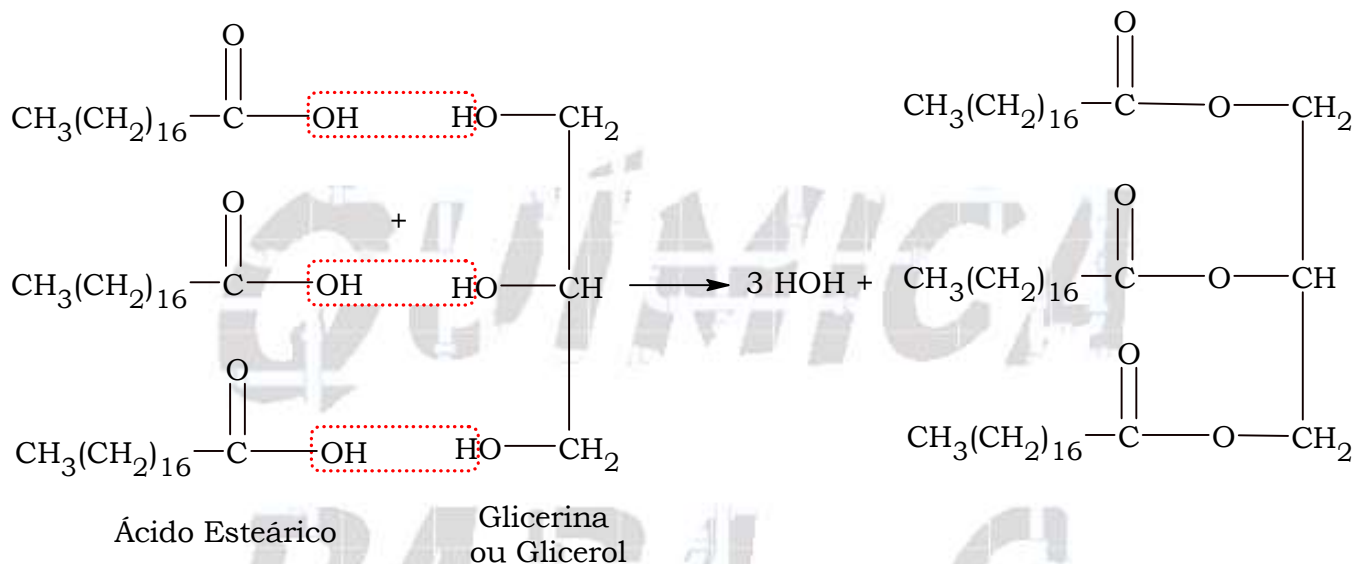
**Resolução: sem resposta (ANULADA pela banca examinadora)**

I. Falsa ou ambígua devido ao uso de um éter específico, o que pode gerar dúvidas.

Os lipídios, tais como os triacilgliceróis, os cerídeos e os esteroides, são moléculas orgânicas, predominantemente apolares, que não são solúveis em água.

O éter dimetílico apresenta baixa polaridade e fosfolipídios altamente polares, como a fosfatidilcolina (lecitina), não podem se dissolver nele, o que gera a ambiguidade na resposta.

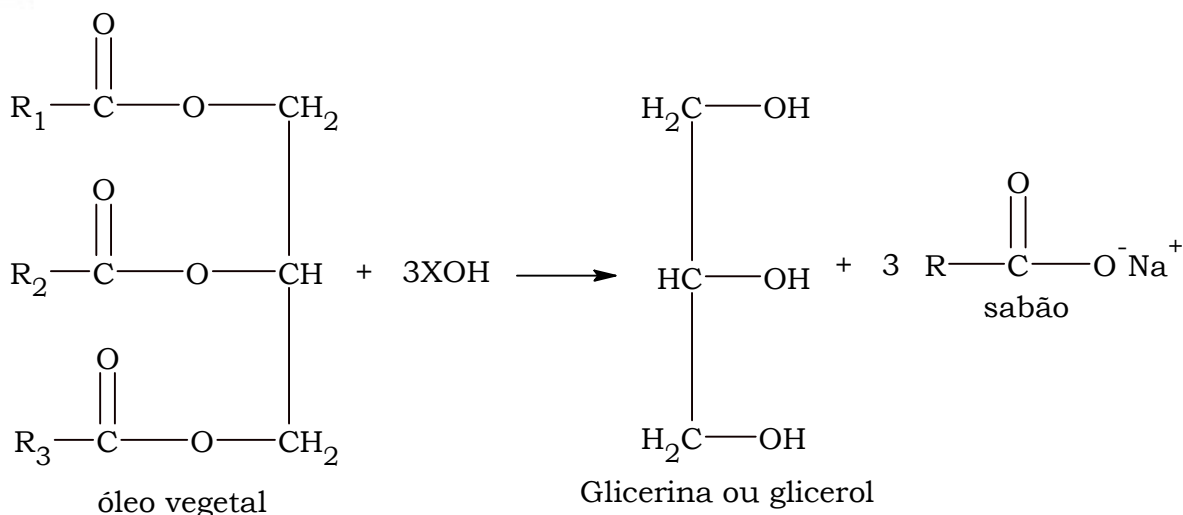
II. Verdadeira. Os lipídios podem ser formados a partir da reação de ácidos graxos saturados como o ácido graxo de fórmula molecular  $C_{18}H_{36}O_2$  e o glicerol.



III. Falsa. O ácido graxo de fórmula molecular  $C_{14}H_{26}O_2$  (2 átomos de hidrogênio a menos, logo possui pelo menos uma insaturação a mais comparativamente). Logo, apresenta ponto de fusão mais baixo que o ácido graxo de fórmula molecular  $C_{14}H_{28}O_2$ .

Observação: a presença da insaturação na estrutura do ácido graxo  $C_{14}H_{26}O_2$  provoca o empacotamento da estrutura e conseqüente diminuição do ponto de fusão.

IV. Verdadeira. Os triacilgliceróis são formados a partir de ésteres de ácidos carboxílicos, com cadeias carbônicas iguais ou diferentes, e glicerol. A sua hidrólise alcalina (saponificação) produz glicerol e sais de ácidos carboxílicos.



## QUESTÕES DISSERTATIVAS

### FOLHA DE DADOS

**Considere:**

- Constante universal dos gases ideais:

$$R = 8,3 \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1} = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1} = 2 \text{ cal} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$$

- Constante de Faraday =  $96480 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

- Constante de Henry para o  $\text{CO}_2$  a  $300 \text{ K} = 3,3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot (\text{atm} \cdot \text{L})^{-1}$

- Entalpia padrão de formação a  $25^\circ \text{C}$ , em  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ :

$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = -394,0 \quad \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -242,0 \quad \Delta H_f^\circ(\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2(\text{s})) = -1054,0$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(\text{aq})) = -413,8 \quad \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\ell)) = -285,8 \quad \Delta H_f^\circ(\text{HCO}_3^-(\text{aq})) = -692,0$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{H}^+(\text{aq})) = 0,00$$

- Entalpia livre de Gibbs padrão de formação a  $25^\circ \text{C}$ , em  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ :

$$\Delta G_f^\circ(\text{CO}_2(\text{aq})) = -386,0 \quad \Delta G_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\ell)) = -237,1 \quad \Delta G_f^\circ(\text{HCO}_3^-(\text{aq})) = -586,8$$

$$\Delta G_f^\circ(\text{H}^+(\text{aq})) = 0,00$$

- Entropia padrão de fusão do cobre a  $1 \text{ atm}$ :  $\Delta S_{\text{fus}}^\circ(\text{Cu}) = 10,0 \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$

- $\log x \approx 0,434 \times \ln x \quad \log 2 \approx 0,301 \quad \log 3 \approx 0,477$

**Tabela Periódica dos Elementos Químicos:**

1																		18																	
1	1.0079																2	4.0025																	
1	H Hidrogênio																2	He Hélio																	
2	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
2	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
2	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
3	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
3	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
3	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
4	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
4	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
4	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
4	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
5	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
5	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
5	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
5	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
6	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
6	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
6	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
6	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
7	3		4																																

**1ª Questão (valor 1,0)** – Um metal M forma o sal  $MCl_2$ . A eletrólise desse sal fundido, com uma corrente igual a 0,4 A durante 6,7 horas produziu 4,38 gramas do metal sólido. Determine qual elemento da Tabela Periódica é o metal M.

**Resolução:**

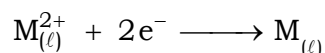
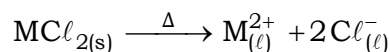
$$i = 0,4 \text{ A}$$

$$t = 6,7 \text{ h} = 6,7 \times 3600 \text{ s}$$

$$1F = 96480 \text{ C}$$

$$Q = i \times t \Rightarrow Q = 0,4 \text{ A} \times 6,7 \times 3600 \text{ s} = 9648 \text{ A} \cdot \text{s}$$

$$Q = 9648 \text{ C} = \frac{96480 \text{ C}}{10} = 0,1 F$$



$$2 F \text{ ———— } M_M$$

$$0,1 F \text{ ———— } 4,38 \text{ g}$$

$$M_M = \frac{2 F \times 4,38 \text{ g}}{0,1 F} = 87,6 \text{ g} \Rightarrow \text{Estrôncio (Sr)}.$$

**2ª Questão (valor 1,0)** – Uma molécula orgânica A, de fórmula molecular  $C_5H_{11}Cl$ , sofre desidro-halogenação formando B. Quando B sofre ozonólise, gera formaldeído. Quando B sofre reação de hidratação, produz o composto C, o qual não reage com  $KMnO_4$  em meio ácido.

Determine:

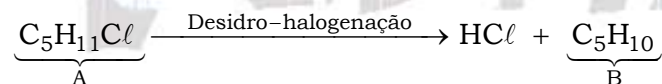
a) a função orgânica presente no composto C;

b) as estruturas moleculares de A, B e C.

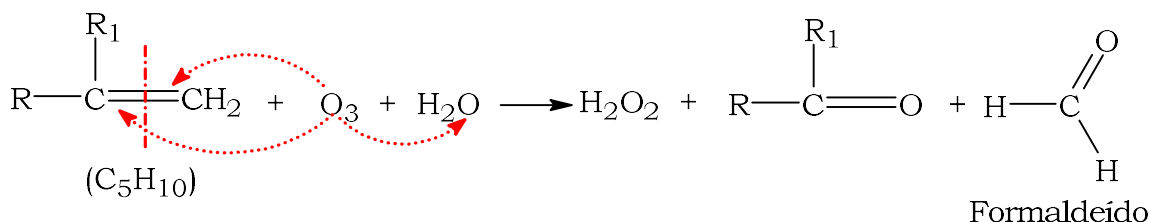
**Resolução:**

a) Determinação da função orgânica presente no composto C: álcool.

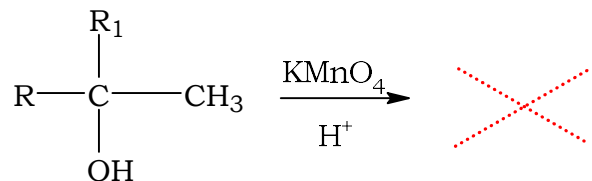
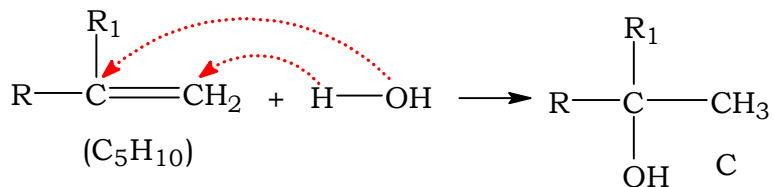
Teremos:



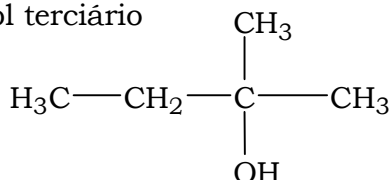
Quando B sofre ozonólise, gera formaldeído:



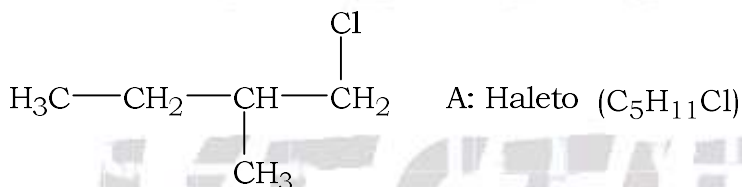
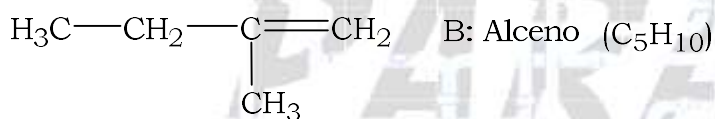
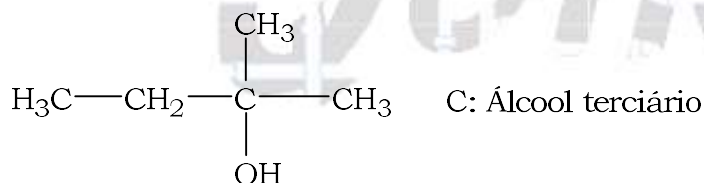
Quando B sofre reação de hidratação, produz o composto C, o qual não reage com  $KMnO_4$  em meio ácido:



C: álcool terciário



b) Estruturas moleculares de A, B e C:



Observação: em A, o hidrogênio sai do carbono menos hidrogenado (regra de Saytzzef). Logo, o cloro está ligado ao carbono 1 da cadeia principal.

**3ª Questão (valor 1,0)** – O acetato de linalila é um composto orgânico que contém átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio na razão 6:10:1, respectivamente.

Sabe-se que cada molécula de acetato de linalila:

- i) contém dois átomos de oxigênio;
- ii) possui cadeia principal com oito átomos de carbono;
- iii) representa um dieno não conjugado nas posições 1 e 6;
- iv) tem duas metilas em uma mesma extremidade de cadeia;

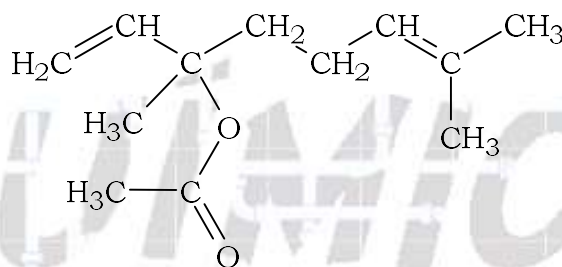
v) tem uma metila e o grupo acetato ligados ao carbono alílico, não terminal, de menor impedimento espacial.

Diante dessas informações, apresente:

- a) a fórmula estrutural plana do acetato de linalila;  
 b) o polímero possivelmente formado considerando somente a reação de poliadição na dupla ligação mais substituída.

**Resolução:**

a) Fórmula estrutural plana do acetato de linalila:



Observe:

Acetato de linalila contém:  $C_xH_yO_z$

Proporção:  $C_6H_{10}O_1$

Contém 2 átomos de oxigênio:  $(C_6H_{10}O_1) \times 2 \Rightarrow C_{12}H_{20}O_2$

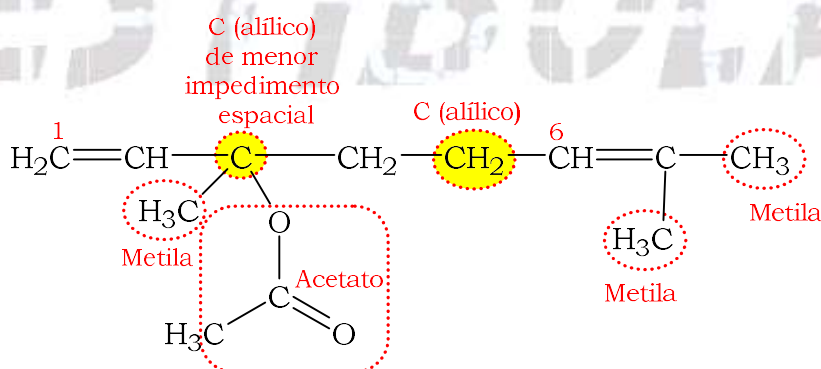
Cadeia principal: 8 átomos de carbono

Dieno (2 duplas) não conjugado nas posições 1 e 6

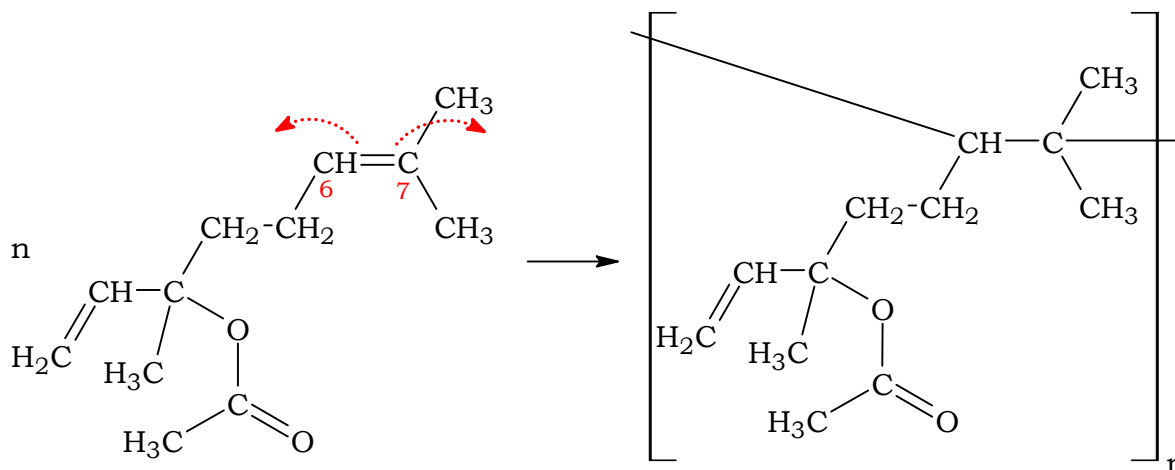
Duas metilas ( $CH_3$ ) em uma mesma extremidade da cadeia

Uma metila ( $CH_3$ ) e o grupo acetato ligados ao carbono alílico ( $C\ sp^3$  ligado a um  $C\ sp^2$ )

não terminal e de menor impedimento espacial (mais afastado de ramificações ou de grupos funcionais)



b) Polímero possivelmente formado considerando somente a reação de poliadição na dupla ligação mais substituída (carbonos 6 e 7):



**4ª Questão (valor 1,0)** – Águas de rejeito de um processo industrial de pH neutro necessitam ser purificadas de um contaminante, um metal pesado, cujo sal vem dissolvido nestas águas. Sabe-se que o contaminante em questão precipita somente quando  $\text{pH} \leq 4$ , podendo ser depois retirado por sucção. Para tanto, diariamente, os efluentes são armazenados em piscinas de decantação de 200.000 L cada, sendo tratados com ácido acético, de constante de dissociação  $2,0 \times 10^{-5}$ , para diminuir o pH e obter a precipitação.

Determine a massa de ácido acético mínima necessária para tratar cada piscina.

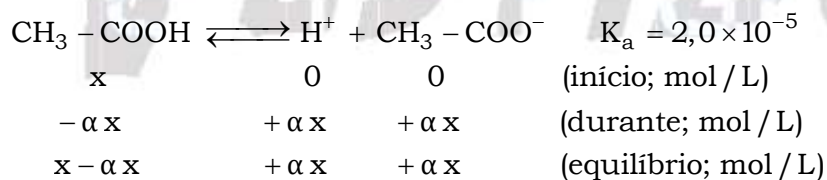
**Resolução:**

A partir do texto, sabe-se que o contaminante em questão precipita somente quando  $\text{pH} \leq 4$ . Então:

$$\text{pH} = 4$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-4} \text{ mol/L}$$

Os efluentes são armazenados em piscinas de decantação de  $2,0 \times 10^5$  L (200.000 L) cada, sendo tratados com ácido acético, de constante de dissociação  $2,0 \times 10^{-5}$ .



$$K_a = \frac{(\alpha x) \cdot (\alpha x)}{x - \alpha x}$$

$$[\text{H}^+] = (\alpha x) \Rightarrow K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{H}^+]}{x - [\text{H}^+]} \Rightarrow K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{x - [\text{H}^+]}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{x - [\text{H}^+]} \Rightarrow 2,0 \times 10^{-5} = \frac{(10^{-4})^2}{x - 10^{-4}}$$

$$2,0 \times 10^{-5} \times (x - 10^{-4}) = 10^{-8}$$

$$2,0 \times 10^{-5} x - 2,0 \times 10^{-5} \times 10^{-4} = 10^{-8}$$

$$x = \frac{10^{-8} + 0,2 \times 10^{-8}}{2,0 \times 10^{-5}} = \frac{1,2 \times 10^{-8}}{2000 \times 10^{-8}} \Rightarrow x = 6 \times 10^{-4}$$

$$[\text{CH}_3 - \text{COOH}] = 6,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{CH}_3 - \text{COOH} = 2 \times 12 + 4 \times 1 + 2 \times 16 = 60; M_{\text{CH}_3 - \text{COOH}} = 60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$V = 2 \times 10^5 \text{ L}$$

$$C = [\text{CH}_3 - \text{COOH}] \times M_{\text{CH}_3 - \text{COOH}} \Rightarrow \frac{m_{\text{CH}_3 - \text{COOH}}}{V} = [\text{CH}_3 - \text{COOH}] \times M_{\text{CH}_3 - \text{COOH}}$$

$$\frac{m_{\text{CH}_3 - \text{COOH}}}{2 \times 10^5 \text{ L}} = 6,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$m_{\text{CH}_3 - \text{COOH}} = 2 \times 10^5 \text{ L} \times 6,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 7200 \text{ g} \Rightarrow m_{\text{CH}_3 - \text{COOH}} = 7,2 \times 10^3 \text{ g}$$

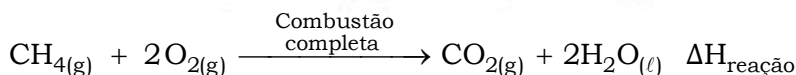
**5ª Questão (valor 1,0)** – Na queima de uma massa  $m_1$  de metano a pressão constante, ocorreu combustão completa com formação de água líquida e foram liberados 324 kJ de energia. Em outra queima, nas mesmas condições, uma massa  $m_2$  de oxigênio foi consumida e a energia liberada foi de 81 kJ.

Determine a razão entre  $m_1$  e  $m_2$ .

**Resolução:**

$$\text{CH}_4 = 1 \times 12 + 4 \times 1 = 16; \text{O}_2 = 2 \times 16 = 32$$

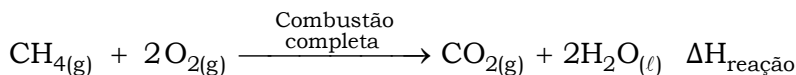
$$E_{\text{liberada}} = -324 \text{ kJ} \text{ (} m_1 \text{ de CH}_4 \text{)}$$



$$\begin{array}{l} 16 \text{ g} \text{ ————— } |\Delta H_{\text{reação}}| \text{ kJ liberados} \\ m_1 \text{ ————— } 324 \text{ kJ liberados} \end{array}$$

$$\frac{16 \text{ g}}{m_1} = \frac{|\Delta H_{\text{reação}}| \text{ kJ}}{324 \text{ kJ}} \Rightarrow |\Delta H_{\text{reação}}| = \frac{16 \text{ g} \times 324}{m_1} \text{ (I)}$$

$$E'_{\text{liberada}} = -81 \text{ kJ} \text{ (} m_2 \text{ de O}_2 \text{)}$$



$$\begin{array}{l} 2 \times 32 \text{ g} \text{ ————— } |\Delta H_{\text{reação}}| \text{ kJ liberados} \\ m_2 \text{ ————— } 81 \text{ kJ liberados} \end{array}$$

$$\frac{2 \times 32 \text{ g}}{m_2} = \frac{|\Delta H_{\text{reação}}| \text{ kJ}}{81 \text{ kJ}} \Rightarrow |\Delta H_{\text{reação}}| = \frac{2 \times 32 \text{ g} \times 81}{m_2} \text{ (II)}$$

$$\text{(I)} = \text{(II)}$$

$$\frac{16 \text{ g} \times 324}{m_1} = \frac{2 \times 32 \text{ g} \times 81}{m_2}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{16 \text{ g} \times 324}{2 \times 32 \text{ g} \times 81} = \frac{5184}{5184} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = 1$$

**6ª Questão (valor 1,0)** – Para a neutralização de 0,18 g de um ácido carboxílico, são gastos 30 mL de uma solução 0,1 M de NaOH. A densidade do vapor deste ácido é trinta vezes a do hidrogênio, nas mesmas condições.

Considerando a dissociação completa desse ácido, forneça seu nome e sua estrutura molecular.

**Resolução:**

$$[\text{NaOH}] = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$V = 30 \text{ mL} = 0,03 \text{ L}$$

$$[\text{NaOH}] = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V} \Rightarrow n_{\text{NaOH}} = [\text{NaOH}] \times V$$

$$n_{\text{NaOH}} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0,03 \text{ L} = 0,003 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaOH}} = n_{\text{ácido}} = 0,003 \text{ mol}$$

$$m_{\text{ácido}} = 0,18 \text{ g}$$

$$n_{\text{ácido}} = \frac{m_{\text{ácido}}}{M_{\text{ácido}}} \Rightarrow 0,003 \text{ mol} = \frac{0,18 \text{ g}}{M_{\text{ácido}}} \Rightarrow M_{\text{ácido}} = \frac{0,18 \text{ g}}{0,003 \text{ mol}}$$

$$M_{\text{ácido}} = 60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{Ácido carboxílico: } C_n H_{2n} O_2 = n \times 12 + 2n \times 1 + 2 \times 16 = 14n + 32; M_{C_n H_{2n} O_2} = (14n + 32) \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ (I)}$$

$$H_2 = 2 \times 1 = 2; M_{H_2} = 2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ (II)}$$

$$d_{C_n H_{2n} O_2} = 30 \times d_{H_2} \Rightarrow M_{C_n H_{2n} O_2} = 30 \times M_{H_2} \text{ (III) (nas mesmas condições)}$$

(I) e (II) em (III):

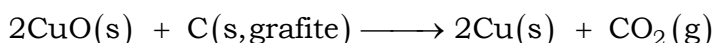
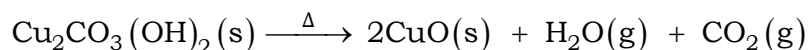
$$M_{C_n H_{2n} O_2} = 30 \times M_{H_2}$$

$$14n + 32 = 30 \times 2 \Rightarrow n = \frac{28}{14} = 2 \Rightarrow n = 2$$

$$C_n H_{2n} O_2 \Rightarrow C_2 H_4 O_2 \text{ (ácido etanoico ou acético)} \Rightarrow M_{C_2 H_4 O_2} (2 \times 12 + 4 \times 1 + 2 \times 16) = 60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$



**7ª Questão (valor 1,0)** – O mineral malaquita  $[\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2]$ , de ocorrência natural, pode ser utilizado para a obtenção de cobre líquido a partir das 3 (três) etapas abaixo:



Como a reação global de formação de cobre líquido a partir de malaquita e carbono sólido é endotérmica, realizou-se um estudo para verificar a quantidade necessária de placas solares fotovoltaicas, para atender o seu consumo energético na indústria.

Considere que:

i) cada placa solar fotovoltaica produz, em média, 2 MJ/h;

ii) as energias livres de Gibbs do cobre, em kJ/mol, nas fases sólida e líquida podem ser descritas respectivamente pelas expressões em função da temperatura  $T$  (em K) abaixo, na faixa de 298 a 1358 K:

$$G_S = -7770,5 + 130,0T - 24,1T \ln T - 2,7 \times 10^2 + 1,3 \times 10^{-7} T^3 + \frac{52478,0}{T}$$

$$G_L = 5194,3 + 120,0T - 24,1T \ln T - 2,7 \times 10^2 + 1,3 \times 10^{-7} T^3 + \frac{52478,0}{T}$$

iii) as entalpias de formação ( $\Delta H_f^\circ$ ) e as entropias molares ( $S^\circ$ ) dos compostos químicos são constantes na faixa de 298 a 1358 K.

Calcule, nesse contexto, o número mínimo de placas solares fotovoltaicas utilizadas em 1 (uma) hora para a geração de 213,36 kg de cobre líquido a partir de malaquita e carbono sólido

**Resolução:**

Cálculo da variação de energia livre da fusão do cobre (Cu):

$$G_S = -7770,5 + 130,0T + \underbrace{\left( -24,1T \ln T - 2,7 \times 10^2 + 1,3 \times 10^{-7} T^3 + \frac{52478,0}{T} \right)}_a$$

$$G_L = 5194,3 + 120,0T + \underbrace{\left( -24,1T \ln T - 2,7 \times 10^2 + 1,3 \times 10^{-7} T^3 + \frac{52478,0}{T} \right)}_a$$

$$\Delta G = G_L - G_S$$

$$\Delta G = 5194,3 + 120,0T + a - (-7770,5 + 130,0T + a)$$

$$\Delta G = 5194,3 + 120,0T + a + 7770,5 - 130,0T - a$$

$$\Delta G = 12.964,8 - 10T$$

$$\Delta G = 0 \text{ (equilíbrio)}$$

$$0 = 12.964,8 - 10T \Rightarrow T = \frac{12.964,8}{10} = 1296,48 \text{ K}$$

$$\Delta G = \Delta H - T \times \Delta S$$

Do cabeçalho da prova tem-se:

$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = -394,0 \quad \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -242,0 \quad \Delta H_f^\circ(\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2(\text{s})) = -1054,0$$

$$\text{Entropia padrão de fusão do cobre a 1 atm: } \Delta S_{\text{fus}}^\circ(\text{Cu}) = 10,0 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

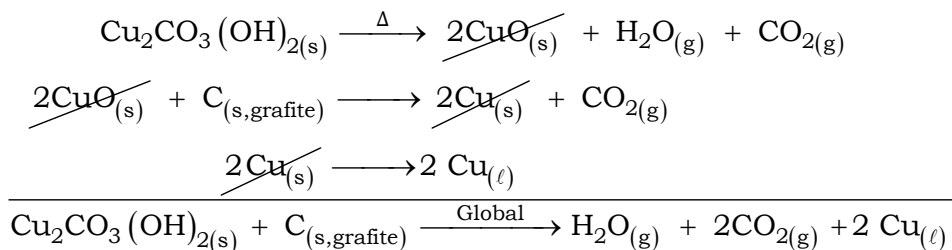
$$\Delta G = \Delta H - T \times \Delta S$$

$$0 = \Delta H_f^\circ(\text{Cu}_{(\ell)}) - 1296,48 \text{ K} \times 10,0 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{Cu}_{(\ell)}) = +12.964,8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

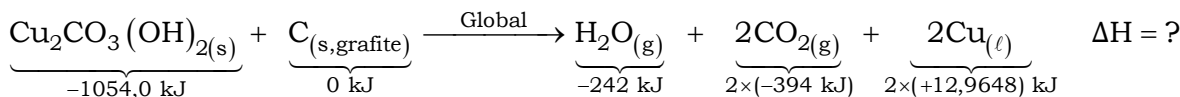
$$\Delta H_f^\circ(\text{Cu}_{(\ell)}) = +12,9648 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Somando as equações fornecidas no enunciado, vem:



Então:

$$M_{\text{Cu}} = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H = H_{\text{produtos}} - H_{\text{reagentes}}$$

$$\Delta H = [-242 \text{ kJ} + 2 \times (-394 \text{ kJ}) + 2 \times 12,9648 \text{ kJ}] - [-1054,0 \text{ kJ} + 0 \text{ kJ}]$$

$$\Delta H = +49,93 \text{ kJ}$$

$$\frac{49,93 \text{ kJ}}{2 \text{ mol Cu}_{(l)}} \Rightarrow \frac{49,93 \text{ kJ}}{2 \times 63,5 \text{ g Cu}_{(l)}} = \frac{49,93 \text{ kJ}}{2 \times 63,5 \times 10^{-3} \text{ kg Cu}_{(l)}}$$

De acordo com o texto do enunciado, cada placa solar fotovoltaica produz, em média, 2 MJ/h (2000 kJ/h). Então, em 1 hora:

$$m_{\text{Cu}_{(l)}} = 213,36 \text{ kg}$$

$$\frac{49,93 \text{ kJ}}{2 \times 63,5 \times 10^{-3} \text{ kg Cu}_{(l)}} = \frac{E}{213,36 \text{ kg}}$$

$$E = \frac{213,36 \text{ kg} \times 49,93 \text{ kJ}}{2 \times 63,5 \times 10^{-3} \text{ kg Cu}_{(l)}} = 83.882,39 \text{ kJ}$$

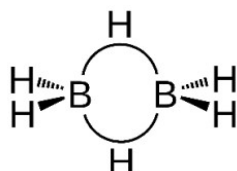
$$1 \text{ placa} \text{ ——— } 2.000 \text{ kJ (2 MJ)}$$

$$n \text{ ——— } 83.882,39 \text{ kJ}$$

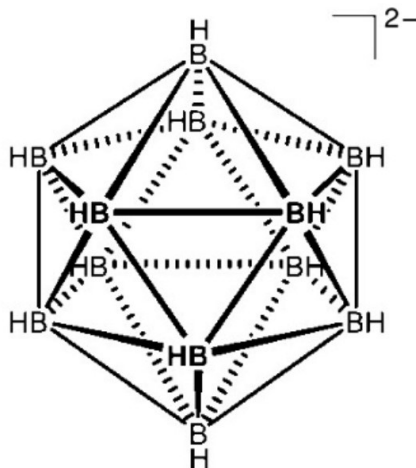
$$n = \frac{1 \text{ placa} \times 83.882,393 \text{ kJ}}{2.000 \text{ kJ}} = 41,94 \text{ placas}$$

$$n = 42 \text{ placas}$$

**8ª Questão (valor 1,0)** – O composto B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> possui apenas 12 elétrons de valência compartilhados entre 8 centros atômicos. Sua estrutura molecular é representada por



em que as ligações B–H–B são diferentes das ligações covalentes típicas. Elas se estabelecem a partir de três centros atômicos que compartilham dois elétrons. Comportamento semelhante é observado no ânion dodecaborato (B<sub>12</sub>H<sub>12</sub>)<sup>2-</sup>, o qual possui um arranjo icosaédrico, conforme ilustrado abaixo.



Determine a deficiência percentual de elétrons de valência do ânion dodecaborato em relação ao esperado, caso houvesse somente ligações covalentes típicas com 2 centros atômicos que compartilham 2 elétrons.

**Resolução:**

A partir da fórmula  $(B_{12}H_{12})^{2-}$ , vem:

B (grupo 13;  $3e^-$  de valência)

H (grupo 1;  $1e^-$  de valência)

B:  $12 \times 3e^- = 36e^-$

H:  $12 \times 1e^- = 12e^-$

Carga do ânion =  $2e^-$

Quantidade total de  $e^- = 36e^- + 12e^- + 2e^- = 50e^-$  (quantidade a partir da fórmula)

Observando a figura do icosaedro e ignorando a carga -2 que é utilizada para ligações externas, ou seja, levando-se em conta apenas a gaiola ou icosaedro (basta contar as ligações tracejadas, pontilhadas e grupos B-H), vem:

$$\left. \begin{array}{l} \text{B: } 30 \left( \overset{2e^-}{\text{B} \text{---} \text{B}} \right) \Rightarrow 30 \times 2e^- = 60e^- \\ \text{H: } 12 \left( \overset{2e^-}{\text{B} \text{---} \text{H}} \right) \Rightarrow 12 \times 2e^- = 24e^- \end{array} \right\} \text{Total} = 60e^- + 24e^- = 84e^- \text{ (quantidade de elétrons necessária)}$$

$$\text{Deficiência de elétrons} = \underbrace{84e^-}_{\text{Gaiola}} - \underbrace{50e^-}_{\text{Fórmula}} = 34e^-$$

Deficiência percentual de elétrons de valência (d.p.e.v):

$$84e^- \text{ ——— } 100\%$$

$$34e^- \text{ ——— } (\text{d.p.e.v})$$

$$(\text{d.p.e.v}) = \frac{34e^- \times 100\%}{84e^-} \Rightarrow (\text{d.p.e.v}) = 40,48\%$$

$$(\text{d.p.e.v}) \approx 40,5\%$$

**9ª Questão (valor 1,0)** – Nas últimas décadas, tem sido observado um aumento substancial da concentração de dióxido de carbono na atmosfera terrestre. Pesquisas recentes estimam que, sem a adoção de medidas mitigadoras da emissão de poluentes, essa concentração de CO<sub>2</sub> deve atingir cerca de 545 ppm, base molar, no ano de 2050.

**a)** Calcule a concentração molar de CO<sub>2</sub> dissolvido em água pura a 25 °C, assumindo equilíbrio com a atmosfera nas condições estimadas para o ano de 2050.

**b)** Com base na concentração obtida no item anterior, calcule o valor do pH da solução resultante.

**c)** Considere uma solução em equilíbrio com o CO<sub>2</sub> atmosférico. Se a temperatura for aumentada e a concentração de CO<sub>2</sub> dissolvido for mantida constante, o pH da solução aumentará ou diminuirá? Justifique.

**Resolução:**

**a)** Cálculo da concentração molar de CO<sub>2</sub> dissolvido em água pura a 25 °C, assumindo equilíbrio com a atmosfera nas condições estimadas para o ano de 2050 (545 ppm):

$$545 \text{ ppm (base molar)} = \frac{545 \text{ mol}}{10^6 \text{ mol}}$$

$$\frac{545 \text{ mol}}{10^6 \text{ mol}} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{1 \text{ atm}} \Rightarrow p_{\text{CO}_2} = \frac{545 \text{ mol}}{10^6 \text{ mol}} \times 1 \text{ atm} = 545 \times 10^{-6} \text{ atm}$$

Do cabeçalho da prova : constante de Henry (k) para o CO<sub>2</sub> a 300 K =  $3,3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$

$$[\text{CO}_2] = k \times p_{\text{CO}_2}$$

$$[\text{CO}_2] = 3,3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{L}^{-1} \times 545 \times 10^{-6} \text{ atm} = 1798,5 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{CO}_2] = 1,8 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

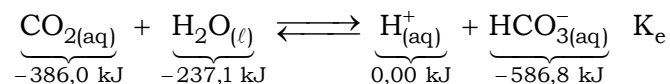
**b)** Cálculo do valor do pH da solução resultante com base na concentração obtida no item a:

Do cabeçalho da prova ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ):

$$\Delta G_f^\circ(\text{CO}_{2(\text{aq})}) = -386,0; \Delta G_f^\circ(\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}) = -237,1; \Delta G_f^\circ(\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}) = -586,8; \Delta G_f^\circ(\text{H}^+_{(\text{aq})}) = 0,00$$

$$R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8,3 \times 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$T = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$



$$\Delta G = G_{\text{produtos}} - G_{\text{reagentes}}$$

$$\Delta G = [0,00 \text{ kJ} + (-586,8 \text{ kJ})] - [-386,0 \text{ kJ} + (-237,1 \text{ kJ})]$$

$$\Delta G = 36,3 \text{ kJ}$$

$$\Delta G = -R \times T \times \ln K_e$$

$$\log x \approx 0,434 \times \ln x$$

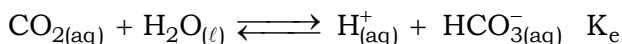
$$36,3 \text{ kJ} = -8,3 \times 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K} \times \ln K_e$$

$$\ln K_e = - \frac{36,3 \text{ kJ}}{8,3 \times 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}$$

$$\ln K_e = -0,014676 \times 10^3 \Rightarrow \ln K_e = -0,014676 \times 10^3$$

$$\log K_e = 0,434 \times (-0,014676 \times 10^3)$$

$$\log K_e = -6,3693 \Rightarrow \log K_e = -6,369$$



$$K_e = \frac{[\text{H}_{(\text{aq})}^+] \times [\text{HCO}_{3(\text{aq})}^-]}{[\text{CO}_{2(\text{aq})}]}$$

$$[\text{H}_{(\text{aq})}^+] = [\text{HCO}_{3(\text{aq})}^-]$$

$$K_e = \frac{[\text{H}_{(\text{aq})}^+]^2}{[\text{CO}_{2(\text{aq})}]} \Rightarrow [\text{H}_{(\text{aq})}^+]^2 = K_e \times [\text{CO}_{2(\text{aq})}]$$

Aplicando -log dos dois lados :

$$-\log [\text{H}_{(\text{aq})}^+]^2 = -\log (K_e \times [\text{CO}_{2(\text{aq})}])$$

$$2 \times \underbrace{(-\log [\text{H}_{(\text{aq})}^+])}_{\text{pH}} = \underbrace{-\log K_e}_{-6,369} - \underbrace{\log [\text{CO}_{2(\text{aq})}]}_{1,8 \times 10^{-5}}$$

$$2\text{pH} = 6,369 - [\log(1,8 \times 10^{-5})]$$

$$2\text{pH} = 6,369 + 5 - \log 1,8 \Rightarrow 2\text{pH} = 6,369 + 5 - \log(2 \times 3^2 \times 10^{-1})$$

$$2\text{pH} = 6,369 + 5 - \log(2 \times 3^2) + \log 10$$

$$2\text{pH} = 6,369 + 5 - \log 2 - 2\log 3 + 1$$

$$\log 2 \approx 0,301; \log 3 \approx 0,477 \text{ (cabeçalho da prova)}$$

$$2\text{pH} = 6,369 + 5 - 0,301 - 2 \times 0,477 + 1$$

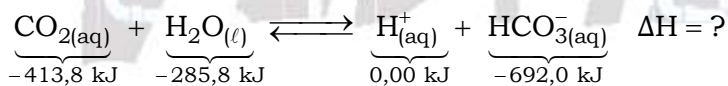
$$2\text{pH} = 11,114 \Rightarrow \text{pH} = \frac{11,114}{2} = 5,557$$

$$\text{pH} \approx 5,6$$

**c)** Cálculo da variação de entalpia:

Dados do cabeçalho da prova ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ):

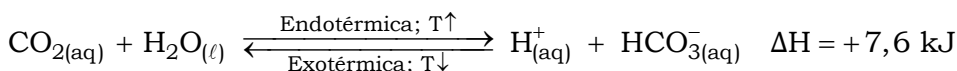
$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}_{2(\text{aq})}) = -413,8; \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}) = -285,8; \Delta H_f^\circ(\text{HCO}_{3(\text{aq})}^-) = -692,0; \Delta H_f^\circ(\text{H}_{(\text{aq})}^+) = 0,00$$



$$\Delta H = H_{\text{produtos}} - H_{\text{reagentes}}$$

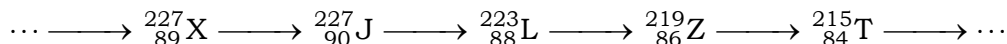
$$\Delta H = [0,00 \text{ kJ} - 692,0 \text{ kJ}] - [-413,8 \text{ kJ} + (-285,8 \text{ kJ})]$$

$$\Delta H = +7,6 \text{ kJ}$$



Se a temperatura for aumentada a reação direta será favorecida (endotérmica; absorve calor) e a concentração de cátions  $\text{H}^+$  aumentará. Conseqüentemente, o valor do pH diminuirá.

**10ª Questão (valor 1,0)** – Em um experimento específico, conduzido em atmosfera ambiente, pesquisadores analisaram o decaimento de uma parte de uma série radioativa, como representado abaixo.



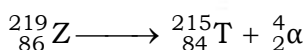
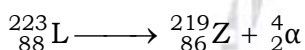
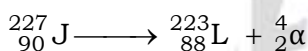
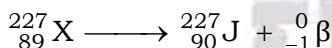
Considere as condições experimentais nas CNTP e que o tempo de meia-vida do nuclídeo **Z** é de aproximadamente 4 segundos.

Diante do exposto:

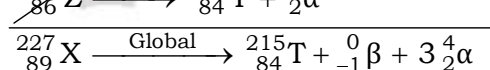
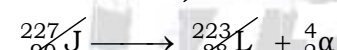
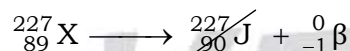
- a)** escreva a equação estequiométrica da série radioativa, incluindo as partículas emitidas para cada desintegração, de forma a estabelecer o correto balanço das cargas elétricas e dos números de massas nucleares;
- b)** demonstre a família radioativa a que os isótopos da série pertencem;
- c)** para o nuclídeo Z, calcule a vida-média e a constante de decaimento do isótopo, apresentando as unidades no SI.

**Resolução:**

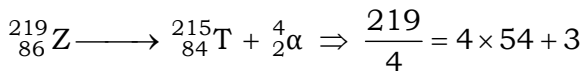
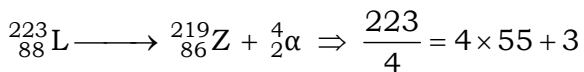
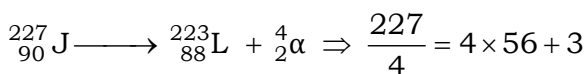
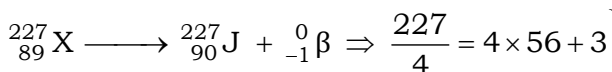
**a)** Equações estequiométricas da série radioativa:



Somando :



**b)** Demonstração da família radioativa a que os isótopos da série pertencem:



$4n + 3 \Rightarrow$ Série do ${}_{92}^{235}\text{U}$ (Urânio - 235) ou ${}_{89}^{227}\text{Ac}$ (Actínio - 227)
---

c) Cálculo da vida-média e da constante de decaimento do nuclídeo Z ( ${}^{219}_{86}\text{Z}$ ), apresentando as unidades no SI:

$$t_{(1/2)} = 4 \text{ s}$$

$$N = N_0 \times e^{-k \times t}$$

$$\ln N = \ln(N_0 \times e^{-k \times t})$$

$k \times t = \ln N_0 - \ln N$ , e fazendo  $t = t_{(1/2)}$  (meia-vida), vem:

$$k \times t_{(1/2)} = \ln N_0 - \ln \frac{N_0}{2}$$

$$k \times t_{(1/2)} = \ln \left( \frac{N_0}{\frac{N_0}{2}} \right) \Rightarrow k \times t_{(1/2)} = \ln 2$$

$\log 2 = 0,301$ ;  $\log x = 0,434 \times \ln x$  (cabeçalho da prova)

$$\log 2 = 0,434 \times \ln 2 \Rightarrow \ln 2 = \frac{0,301}{0,434} \Rightarrow \ln 2 = 0,693$$

$$\ln 2 = 0,693 \Rightarrow k \times t_{(1/2)} = 0,693$$

$$t_{(1/2)} = \frac{0,693}{k} \Rightarrow 4 \text{ s} = \frac{0,693}{k} \Rightarrow k = \frac{0,693}{4 \text{ s}} \Rightarrow k = 0,173 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Vida-média} = \frac{1}{k}$$

$$\text{Vida-média} = \frac{1}{\left( \frac{0,693}{4 \text{ s}} \right)}$$

$$\text{Vida-média} = \frac{4}{0,693} \text{ s} \Rightarrow \text{Vida-média} = 5,77 \text{ s}$$