

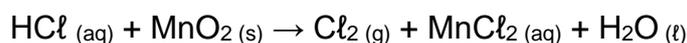


PROGRAMA NACIONAL OLIMPIADAS DE QUÍMICA  
XXX OLIMPIADA NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA  
Edição 2024



QUESTÕES ANALÍTICO EXPOSITIVAS

**Questão 01.** O gás cloro, também denominado de dicloro gasoso ( $\text{Cl}_2(\text{g})$ ), pode ser obtido em escala industrial por meio de reações de eletrólise e em escala laboratorial via outras reações químicas. Uma destas reações laboratoriais, que utiliza substâncias contendo manganês, pode ser representada pela equação química não balanceada a seguir:



Em um recipiente são colocados para reagir 438 g de HCl com 278,4 g de  $\text{MnO}_2$  para produzir  $\text{Cl}_2$ , responda:

- Na reação qual o reagente limitante e se há excesso de algum reagente, quantos gramas restam sem reagir?
- Após a reação se completar quantos mols são formados de  $\text{Cl}_2$ ?
- Quais os produtos formados se nos reagentes adicionarmos  $\text{H}_2\text{O}_2$ ? Mostre a reação balanceada.
- De acordo com a configuração eletrônica dos íons  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{3+}$ , isolados e em fase gasosa, diga qual dos íons apresenta maior estabilidade e se cada espécie é paramagnética ou diamagnética.

**RESPOSTA ESPERADA**

**Alternativa (a)**

A reação entre o ácido clorídrico (HCl) e o dióxido de manganês ( $\text{MnO}_2$ ) para produzir cloro ( $\text{Cl}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), pode ser representada pela seguinte equação química balanceada:



Primeiro, vamos calcular a quantidade de matéria ( $n^\circ$  de mol) de cada reagente:

Massa molar do HCl = 36,5 g/mol

Massa molar do  $\text{MnO}_2$  = 87,0 g/mol

Mol de HCl = 438 g / 36,5 g/mol = 12,0 mol

Mol de  $\text{MnO}_2$  = 278,4 g / 87,0 g/mol = 3,2 mol

A proporção estequiométrica entre HCl e  $\text{MnO}_2$  é de 4:1, portanto para cada 1 mol de  $\text{MnO}_2$ , são necessários 4 mol de HCl.

Verificando o reagente limitante:

$4 \times 3,2$  mol, descobrir a quantidade de HCl necessário para reagir com  $\text{MnO}_2$  = 12,8 mol de HCl

Como temos 12,0 mol de HCl, esse é o reagente limitante, reagindo por completo, e  $\text{MnO}_2$  é o reagente em excesso, sobrando 0,2 mol (17,4 g).

**Alternativa (b)**

Para encontrar a quantidade de  $\text{Cl}_2$  formada.

Como HCl é o reagente limitante, a proporção estequiométrica mostra que 4 mol de HCl produz 1 mol de  $\text{Cl}_2$ , como temos 12,0 mol de HCl, temos que:

Mol de  $\text{Cl}_2$  formados = 3,0 mol

### Alternativa (c)

Reação com adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$ :

A adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$  pode levar à formação de oxigênio, enquanto o  $\text{MnO}_2$  é reduzido a um estado de oxidação mais baixo. A reação balanceada envolvendo todos os reagentes seria:



Nesta reação:

O  $\text{H}_2\text{O}_2$  está sendo decomposto para formar  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ .

O  $\text{MnO}_2$  é reduzido, potencialmente a  $\text{Mn}^{2+}$ , enquanto oxida o  $\text{Cl}^-$  a  $\text{Cl}_2$  e reduz o  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

### Alternativa (d)

Configuração eletrônica:



$\text{Mn}^{2+}$  tem uma configuração de  $3d^5$ , o que corresponde a uma configuração de meia-casca, conferindo estabilidade adicional devido ao emparelhamento de spins.

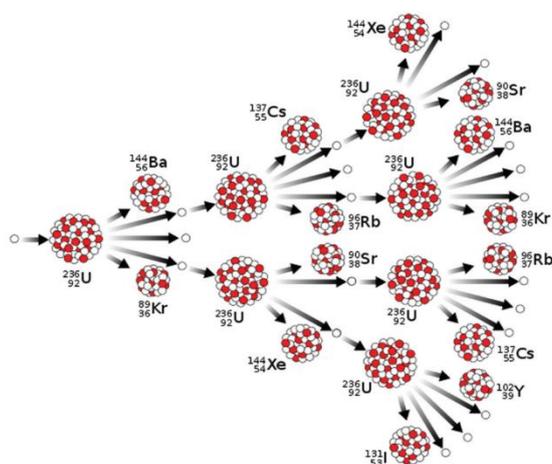


$\text{Mn}^{3+}$  tem uma configuração de  $3d^4$ , menos estável devido ao desemparelhamento adicional de um elétron.

$\text{Mn}^{2+}$  é mais estável que  $\text{Mn}^{3+}$  devido a sua configuração de meia-casca. Ambos são paramagnéticos:

**Questão 02.** O grande sucesso do filme “Oppenheimer” pode ser explicado pela conexão entre três fatores: alguns dos físicos mais proeminentes da 1ª metade do século XX aparecem no enredo, há o ápice do desenvolvimento da Física quântica e da física de partículas e o ambiente da corrida armamentista da segunda guerra. As tensões sobre a construção de um artefato nuclear pelos alemães mobilizaram os ‘aliados’ a convencer e reunir uma gama de cientistas a se envolverem neste processo, comprometendo inclusive algumas questões morais que só foram tratadas após o lançamento da bomba no Japão em 1945.

Fissão e Fusão nucleares são temas importantes do filme e o grande desafio é “controlar” de alguma forma a reação em cadeia e a grande quantidade de energia que vai ser liberada no processo. Urânio-235 e Plutônio-239 são os principais núcleos empregados na fissão, enquanto os isótopos do hidrogênio (prótio, deutério e trítio) são os utilizados na fusão.



CREATIVE COMMONS, Licença Attribution-Share Alike 4.0 (BY-SA 4.0).

Disponível em: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>.  
Acesso em 21/06/2023.

Sobre os temas desenvolvidos no texto, responda os itens a seguir:

a) Apresente a diferença entre os conceitos de fissão e fusão nucleares.

- b) Escreva a equação de fissão do urânio-235 ao ser atingido por um nêutron lento, formando os isótopos do bário-139 e kriptônio-94 e mais três nêutrons.
- c) Escreva a equação de fusão entre os núcleos de deutério e trítio, formando hélio-4 e um nêutron.
- d) A partir da fissão nuclear do Urânio-235 são formados vários nucleotídeos radioativos. Em 1945, 2,8kg de Urânio-235 foi disperso na atmosfera, onde foi gerado uma massa proporcional de 60% do isótopo Césio-137, isótopo esse que decai por emissão de partículas beta, com meia-vida de 30 anos. Escreva a equação de decaimento do césio-137, e calcule a massa deste isótopo que restará no ano de 2035.

## Respostas Esperadas

### Alternativa (a)

- A fissão nuclear é o processo pelo qual o núcleo de um átomo pesado, ao capturar um nêutron, torna-se instável e se divide em dois ou mais núcleos menores, liberando uma quantidade significativa de energia, mais nêutrons e outros produtos radioativos. Este processo é utilizado em reatores nucleares e bombas atômicas.

Simplificadamente: **Fissão é a quebra de um núcleo volumoso em núcleos menores com liberação de energia.**

- A fusão nuclear ocorre quando dois núcleos atômicos leves se combinam para formar um núcleo mais pesado. Esse processo também libera uma grande quantidade de energia, mas, diferentemente da fissão, a fusão requer condições extremas de alta temperatura e pressão para superar as forças eletrostáticas de repulsão entre os núcleos. A fusão é a fonte de energia do Sol e outras estrelas e é estudada como potencial fonte de energia limpa e abundante na Terra.

Simplificadamente: **Fusão é a formação de um núcleo maior a partir de núcleos pequenos com liberação de energia.**

### Alternativa (b)

Equação de fissão do urânio-235:



### Alternativa (c)

Equação de fusão entre deutério e trítio:



### Alternativa (d)

Equação de decaimento do césio-137:



Neste processo, o césio-137 decai para bário-137 estável, emitindo uma partícula beta (elétron) e um antineutrino eletrônico.

**OBS. CONSIDERAR A QUESTÃO CERTA, CASO, NÃO SE FAÇA REFERRÊNCIA AO NEUTRINO ( $\nu_e$ ).**

Para calcular a massa de Césio-137 formados a partir do Urânio-235 é calculado a partir das massas atômicas e massa inicial de U, logo:

235 g de U ----- 137 g de Cs  
2,8 Kg de U ----- X

X = 1,63 g de Cs-137

100% ----- 1,63 g de Cs-137  
60% ----- X

X = 0,978 g de Cs-137

Para calcular a massa de césio-137 remanescente em 2035, utilizamos a equação da meia-vida:

$$m_{\text{final}} = m_{\text{inicial}} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{(t/T)}$$

onde:

$m_{\text{inicial}} = 0,978 \text{ kg}$

$t$  (tempo decorrido) = 2035 – 1945 = 90 anos

$T$  (meia-vida do isótopo) = 30 anos

aplicando a fórmula, teremos:

$$m_{\text{final}} = 0,978 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{90/30} \Rightarrow m_{\text{final}} = 0,978 \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 \Rightarrow m_{\text{final}} = 0,978 \times \frac{1}{8} \Rightarrow m_{\text{final}} = 0,122 \text{ Kg}$$

### Outra forma para resolver o problema:

#### *Passo 1: Entendendo a meia-vida*

A meia-vida de um isótopo radioativo é o tempo necessário para que metade da quantidade inicial do isótopo decaia. Para o césio-137, a meia-vida é de 30 anos. Isso significa que a cada 30 anos, a massa do isótopo restante é reduzida à metade.

#### *Passo 2: Calculando o número de meia-vidas entre 1945 e 2035*

Ano inicial: 1945

Ano final: 2035

Intervalo de tempo: 2035 - 1945 = 90 anos

Agora, dividimos o intervalo total de tempo pelo período de meia-vida do césio-137:

Número de meia-vidas: 90 anos / 30 anos por meia-vida = 3 meia-vidas

#### *Passo 3: Aplicando a regra das meia-vidas*

Se cada meia-vida reduz a massa restante à metade, após uma meia-vida, a massa seria reduzida a 50% da original. Após duas meia-vidas, seria 25% da original, e após três meia-vidas, seria 12,5% da original, e assim sucessivamente.

Aqui está como isso se aplica:

Após a primeira meia-vida (1975):  $0,978 \text{ kg} / 2 = 0,489 \text{ kg}$

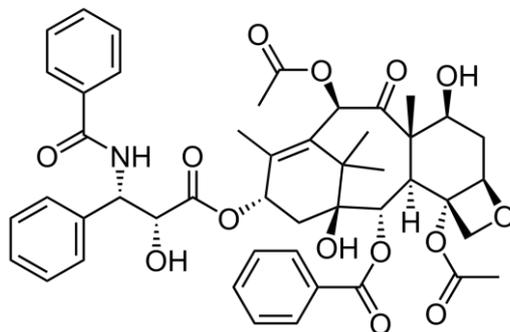
Após a segunda meia-vida (2005):  $0,489 \text{ kg} / 2 = 0,244 \text{ kg}$

Após a terceira meia-vida (2035):  $0,244 \text{ kg} / 2 = 0,122 \text{ kg}$

Portanto, aproximadamente 0,122 kg de césio-137 permanecerão em 2035.

**Questão 03.** O Taxol é um produto natural da classe dos terpenos, isolado pela primeira vez do Teixo do Pacífico (*Taxus brevifolia*). Sua potente atividade anti-carcinogênica fez dele uma droga

muito útil no tratamento do câncer de ovário, mama, sarcoma de Kaposi, pulmão, cérebro e garganta. Entretanto a sua concentração no Teixo é de apenas 40 a 165 mg/kg, sendo necessária a derrubada de 3.000 árvores para produzir 1,0 kg do medicamento. Seu alto potencial como medicamento levou a mais de 30 grupos de pesquisa a desenvolver rotas sintéticas e semissintéticas, sendo atualmente comercializado com o nome de Paclitaxel®. Com base em sua estrutura mostrada abaixo, responda as perguntas a seguir:

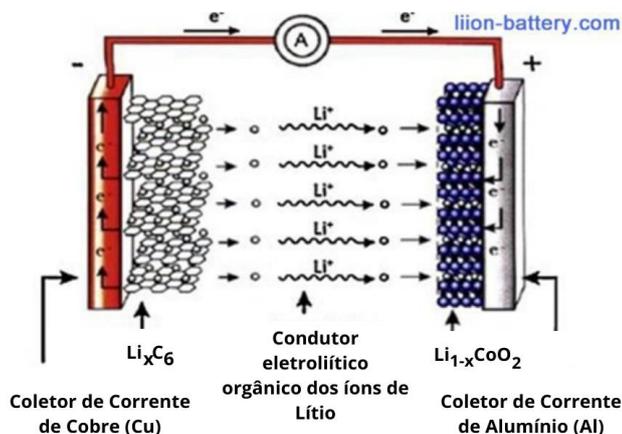


- Qual a fórmula molecular do Taxol?
- Quais grupos funcionais estão presentes na estrutura do Taxol?
- O Taxol possui múltiplos centros de quiralidade, quantos podem ser identificados em sua estrutura? É qual o número de isômeros possíveis?
- Quantas unidades isoprenóides, derivados do isopentenil (5C), dão origem à estrutura principal (macrocíclico) do Taxol?

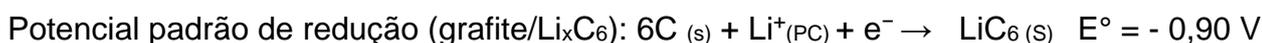
### Respostas Esperadas:

- $C_{47}H_{51}NO_{14}$
- Amida, Álcool, Éster, Éter e Cetona
- 11; 2048
- 4

**Questão 04:** A introdução das baterias de íon de lítio pela Sony em 1991 marcou um ponto de virada no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos portáteis e veículos elétricos, graças à sua alta densidade energética e capacidade de recarga. Em uma célula típica de íon de lítio, o ânodo é composto de grafite, enquanto o cátodo é feito de óxido de cobalto-lítio ( $LiCoO_2$ ), tendo como condutor eletrolítico um composto orgânico, como propileno carbonato (PC). Durante a descarga, íons de lítio movem-se do ânodo para o cátodo, uma reação reversível que é fundamental para o funcionamento da bateria.



Fonte: Imagem adaptada de <http://pt.liion-battery.com/info/what-is-the-role-of-lithium-ion-battery-electr-64717900.html>



Temperatura padrão da célula: 32°C (305 K)

Eletronegatividade: Lítio: 0,80; Cobalto: 1,88; Oxigênio: 3,44.

Adote o valor de 0,06 para relação de R, T, F e conversão  $\ln$  em  $\log$  na Equação de Nernst.

De posse das informações acima, responda às questões propostas:

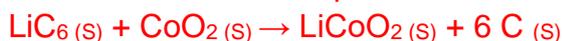
- Escreva a equação global da célula de bateria de íon de lítio durante a descarga indicando quais as reações que ocorrem no cátodo e no ânodo.
- Quais os tipos de ligações previstas no composto  $\text{LiCoO}_2$ ?
- Calcule o potencial padrão de célula ( $E^\circ_{\text{célula}}$ ) baseado nas semi-reações fornecidas.
- Aplicando a equação de Nernst, calcule o potencial da célula ( $E$ ) quando a concentração de íons lítio no cátodo é de  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e no ânodo é de  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ .

### Respostas Esperadas:

#### a) Equação Global e Semi-Reações:

- Ânodo, Pólo Negativo, Sofre Oxidação, perde elétrons, Menor  $E^\circ_{\text{red}}$ .  
 $\text{LiC}_6(\text{s}) \rightarrow 6 \text{ C}(\text{s}) + \text{Li}^+(\text{PC}) + \text{e}^- \quad E^\circ_{\text{red}} = -0,90 \text{ V}$
- Cátodo, Pólo Positivo, Sofre Redução, recebe elétrons, Maior  $E^\circ_{\text{red}}$ .  
 $\text{Li}^+(\text{PC}) + \text{CoO}_2(\text{s}) + \text{e}^- \rightarrow \text{LiCoO}_2(\text{s}) \quad E^\circ_{\text{red}} = 2,80 \text{ V}$

A equação global da célula durante a descarga combina as semi-reações fornecidas e representa o fluxo de íons lítio do ânodo para o cátodo:



#### b) Os valores de eletronegatividade indicam que no composto $\text{LiCoO}_2$ ,

- O lítio (Li) apresenta ligação iônica, pela diferença de eletronegatividade com o Oxigênio (O).
- O Cobalto (Co) e o Oxigênio (O), teriam ligação com caráter covalente polar, pois a diferença de eletronegatividade é menor que 1,7; valor mínimo para que a ligação seja iônica.

#### c) Cálculo do Potencial Padrão de Célula ( $E^\circ$ )

Para calcular o potencial padrão da célula ( $E^\circ_{\text{célula}}$ ), utilizamos a diferença entre os potenciais padrão de redução do cátodo e do ânodo. Assim, a diferença correta seria:

$$E^\circ_{\text{célula}} = 2,8 - (-0,9) = 3,7 \text{ V}$$

#### d) Aplicando a Equação de Nernst

Equação de Nernst:

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{\text{cátodo}}{\text{ânodo}}$$

Para as condições padrões, temperatura (25 °C) e pressão (1atm), temos que  $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $T = 298 \text{ K}$ ,  $F = 96485 \text{ Coulombs mol}^{-1}$ , e o fator de 2,303 para converter  $\ln$  em  $\log$  na base 10, temos:

$$E = E^\circ - \frac{0,0592}{n} \log \frac{\text{cátodo}}{\text{ânodo}}$$

Como foi solicitado para adotar 0,060 visto a temperatura ser diferente de 25 °C, e substituindo pelos valores apresentados na questão, teríamos:

$$E = 3,7 - \frac{0,060}{1} \log \frac{1,0}{0,1} \Rightarrow E = 3,7 - 0,060 \times \log 10 \Rightarrow E = 3,7 - 0,06 \Rightarrow E = 3,64 \text{ V}$$

**Questão 05:** A acidificação de corpos d'água é um fenômeno crescente, preocupante por suas implicações na vida aquática e nos ecossistemas adjacentes. Uma das causas da acidificação é o aumento da concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico, que se dissolve na água formando ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), que por sua vez pode se dissociar, liberando íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), conforme as seguintes equações de equilíbrio:

1.  $\text{CO}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(aq)}$
2.  $\text{CO}_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$
3.  $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+_{(aq)} + \text{HCO}_3^-_{(aq)}$

Considere um lago onde a concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico dissolvido atinge o equilíbrio com a concentração de  $0,034 \text{ mol/L}$  de  $\text{CO}_{2(aq)}$ . A constante de equilíbrio  $K_1$  para a reação (2) é  $1,7 \times 10^{-3}$ , e a constante de equilíbrio  $K_2$  para a reação (3) é  $4,4 \times 10^{-7}$ .

Com base nas informações acima, responda:

- a) Calcule a concentração de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  no equilíbrio, assumindo que inicialmente não há ácido carbônico no lago.
- b) Utilizando a concentração de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  calculada no item anterior, determine a concentração de íons  $\text{H}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  no equilíbrio (3).
- c) Com base nas concentrações de íons  $\text{H}^+$  encontrados, calcule o pH da água do lago.
- d) Discuta como o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico pode influenciar o pH da água do lago e, conseqüentemente, impactar a vida aquática.

**OBS.: SE POR ALGUM MOTIVO VOCÊ NÃO CONSEGUIU RESOLVER O ITEM A) ADMITA UMA CONCENTRAÇÃO DE  $\text{H}_2\text{CO}_3$  DE  $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  PARA RESOLVER OS DEMAIS ITENS.**

### Respostas Esperadas:

#### a) Calculando a concentração de $\text{H}_2\text{CO}_3$ no equilíbrio (2)

Dado que a constante de equilíbrio  $K_1 = 1,7 \times 10^{-3}$  para a reação:



Podemos usar a expressão da constante de equilíbrio  $K_1 = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2]}$  para encontrar a concentração de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Substituindo  $K_1$  e a concentração de  $\text{CO}_{2(aq)}$  dada como  $0,034 \text{ mol/L}$ , e colocando  $[\text{H}_2\text{CO}_3]$  em evidência, teremos:

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = 1,7 \times 10^{-3} \times 0,034 = 5,78 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

#### b) Determinando as concentrações de $\text{H}^+$ e $\text{HCO}_3^-$ no equilíbrio (3)

Dado que a constante de equilíbrio  $K_2 = 4,4 \times 10^{-7}$  para a reação, teremos:  $K_2 = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$ .

Substituindo o valor da  $[\text{H}_2\text{CO}_3]$  calculado no item a) e assumindo que  $[\text{H}^+]$  é igual a  $[\text{HCO}_3^-]$ , visto que cada molécula de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  que se dissocia forma-se 1 mol de  $\text{H}^+$  e 1 mol de  $\text{HCO}_3^-$ , temos:

$$4,4 \times 10^{-7} = \frac{[H^+] \times [H^+]}{5,78 \times 10^{-5}}$$

Resolvendo:

$$[H^+]^2 = 4,4 \times 10^{-7} \times 5,78 \times 10^{-5}$$

$$[H^+] = \sqrt{2,54 \times 10^{-11}}$$

$$[H^+] \approx 1,59 \times 10^{-6} \text{ mol/L} \quad \text{ERRADO}$$

$$[H^+] \approx 5,04 \times 10^{-6} \text{ mol/L} \quad \text{CORRETO}$$

### c) Calculando o pH da água do lago

O pH é calculado usando a fórmula:

$$pH = -\log [H^+]$$

Substituindo o valor de  $[H^+]$ :

$$pH = -\log (1,59 \times 10^{-6})$$

$$pH \approx 5,8$$

ERRADO

$$pH = -\log (5,04 \times 10^{-6})$$

$$pH \approx 5,30$$

CORRETO

### d) Discussão sobre o impacto do aumento de $CO_2$ no pH e na vida aquática

O aumento da concentração de  $CO_2$  atmosférico leva a um maior volume de  $CO_2$  dissolvido na água, formando mais  $H_2CO_3$ , que, por sua vez, se dissocia em mais íons  $H^+$  e  $HCO_3^-$ . Este processo reduz o pH da água, tornando-a mais ácida. A acidificação dos corpos d'água pode afetar adversamente a vida aquática, alterando a biodisponibilidade de nutrientes e metais tóxicos, além de interferir em processos fisiológicos vitais dos organismos aquáticos, como a respiração e a reprodução, além de promover o branqueamento do coral.

## RESPOSTA ALTERNATIVA

**PARA OS ALUNOS QUE NÃO RESPONDERAM A ALTERNATIVA "A" É USARAM O VALOR DE  $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  PARA RESOLVER OS ITENS "B" e "C".**

### b) Determinando as concentrações de $H^+$ e $HCO_3^-$ no equilíbrio (3)

Dado que a constante de equilíbrio  $K_2 = 4,4 \times 10^{-7}$  para a reação, teremos:  $K_2 = \frac{[H^+] \times [HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$ .

Substituindo o valor da  $[H_2CO_3]$  calculado no item a) e assumindo que  $[H^+]$  é igual a  $[HCO_3^-]$ , visto que cada molécula de  $H_2CO_3$  que se dissocia forma-se 1 mol de  $H^+$  e 1 mol de  $HCO_3^-$ , temos:

$$4,4 \times 10^{-7} = \frac{[H^+] \times [H^+]}{5,00 \times 10^{-5}}$$

Resolvendo:

$$[H^+]^2 = 4,4 \times 10^{-7} \times 5,00 \times 10^{-5}$$

$$[H^+] = \sqrt{2,2 \times 10^{-11}}$$

$$[H^+] \approx 4,69 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

**c) Calculando o pH da água do lago** O pH é calculado usando a fórmula:

$$pH = - \log [H^+]$$

Substituindo o valor de  $[H^+]$ :

$$pH = - \log (4,69 \times 10^{-6})$$

$$pH \approx 5,33$$