

## EXPERIÊNCIA 9 PRINCÍPIO DE LE CHATELIER E EQUILÍBRIO QUÍMICO

### 1. OBJETIVOS

No final desta experiência o aluno deverá ser capaz de:

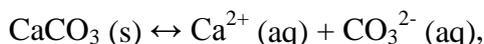
- Dada a equação química de um equilíbrio, escrever a expressão para a constante de equilíbrio.
- Aplicar o princípio de Le Chatelier.
- Identificar de que maneiras um equilíbrio químico pode ser afetado.

### 2. INTRODUÇÃO

Muitas reações químicas são reversíveis. Em outras palavras, se duas espécies químicas em solução são misturadas e formam novas espécies, há uma tendência para que as novas espécies reajam, formando as espécies originais. A velocidade de formação das novas espécies será, no início, mais rápida que a reação contrária. Entretanto, após algum tempo, quando não se percebe mais nenhuma mudança, a velocidade de formação das novas espécies iguala-se a da reação reversa, que forma as substâncias originais e diz-se que o equilíbrio foi alcançado. Equações de equilíbrio são escritas com duas setas apontadas em direções opostas, entre reagentes e produtos, indicando que ambos os processos ocorrem simultaneamente.

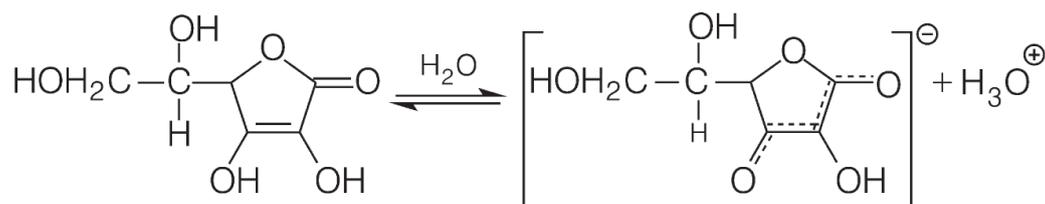
Reagentes  $\leftrightarrow$  Produtos

Por exemplo, o equilíbrio para uma solução saturada de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$  não dissolvido permanece no fundo do tubo) é representado pela equação:



as duas setas indicam que alguns íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  estão se separando, indo para a solução (reação direta) e outros estão se juntando para formar o  $\text{CaCO}_3$  sólido (reação inversa).

Ácido ascórbico (vitamina C) dissocia-se muito pouco de acordo com a equação:



e o equilíbrio é alcançado quando a velocidade da reação direta iguala-se à velocidade da reação inversa.

Para uma equação geral que se processa em uma só etapa, em ambas direções,  $\text{A} + \text{B} \leftrightarrow \text{C} + \text{D}$ , as velocidades das reações diretas e inversas são:

$$\text{Velocidade direta} = k_1 [\text{A}][\text{B}]$$

$$\text{Velocidade inversa} = k_2 [\text{C}][\text{D}]$$

No equilíbrio as velocidades são iguais.

$$k_1 [\text{A}][\text{B}] = k_2 [\text{C}][\text{D}]$$

$$K_{eq} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}][\text{B}]}$$

ou seja,

$$K_{eq} = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

ou, para o caso mais geral,  $aA + bB + \dots \leftrightarrow cC + dD + \dots$

$$K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d \dots}{[A]^a[B]^b \dots}$$

A relação matemática para K demonstra o princípio de Le Chatelier, em que uma ação em um sistema em equilíbrio provoca uma ação contrária, amenizando aquela ação. Se uma solução de ácido ascórbico para qual a razão

$$K_a = \frac{[H^+][Asc^-]}{[HAsc]}$$

é perturbada pela adição de HCl (aumentando a concentração de  $H^+$ ), o sistema se deslocará no sentido da reação que consome  $H^+$ .

### Produtos de Solubilidade

A constante de equilíbrio para compostos que tem uma solubilidade em água muito baixa é chamada produto de solubilidade. Por exemplo, somente  $2 \times 10^{-4}$  g de cloreto de prata dissolvem-se em 100 mL de água para formar íons prata e cloreto.

Onde a constante de equilíbrio é:

$$K_{eq} = \frac{[Ag^+][Cl^-]}{[AgCl]}$$

entretanto, como a concentração de AgCl sólido é constante, a equação fica

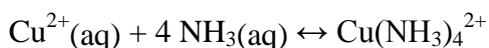
$$K_{eq} [AgCl] = [Ag^+][Cl^-]$$

$$K_{ps} = [Ag^+][Cl^-]$$

onde  $K_{ps}$  é chamado produto de solubilidade.

### Íons Complexos

Cobre (II) reage com amônia para formar um complexo de acordo com a equação:



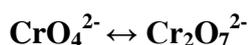
A redução na concentração de  $Cu^{2+}$  ou  $NH_3$  causará a dissociação do complexo nos reagentes.

### 3. MATERIAL

- 5 tubos de ensaio.
- 2 frascos conta-gotas com as soluções de  $K_2CrO_7$  0,1 M e  $K_2CrO_4$  0,1 M.
- 10 frascos conta-gotas com outras soluções: HCl, NaOH,  $Ba(NO_3)_2$ ,  $CH_3COOH$ , KOH,  $H_2SO_4$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $NH_4OH$ , etanol e  $HNO_3$ . Todas as soluções são 0,1 M e compartilhadas entre as equipes.

## 4. PROCEDIMENTO

### A. Equilíbrio dos íons cromato $\text{CrO}_4^{2-}$ e dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$



1. Pegue 2 tubos de ensaio limpos e coloque 10 gotas (cerca de 0,5 mL) de cada solução, em cada tubo. Acrescente gota a gota, NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup>, alternadamente em cada um dos tubos, até a mudança de cor em um deles. Anote as observações. Guarde essas soluções para a etapa 5. Represente por meio de uma equação o que ocorreu no tubo de ensaio em que houve alteração da cor, considerando que há formação de água.
2. Repita o procedimento do item 1-A, com novos tubos de ensaio, mas acrescente HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> gota a gota, alternadamente, em cada um dos tubos até a mudança de cor em um deles. Guarde essas soluções para a etapa 3-A.
3. Acrescente, gota a gota, NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup> a cada um dos tubos da etapa 2-A até a mudança de cor. Anote as observações.
4. Em um dos tubos da etapa 1-A, acrescente gota a gota, HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> até mudança de cor. Anote as observações.
5. Ao terminar, descarte o conteúdo de cada tubo de ensaio nos recipientes específicos para esta finalidade. Lave os tubos de ensaio com água da torneira e continue com o próximo item. Não jogue este material diretamente na pia, pois se trata de produto químico prejudicial ao meio ambiente.

### B. Equilíbrio de cromato de bário, $\text{BaCrO}_4$ (s) com uma solução saturada

1. Em um tubo de ensaio limpo coloque 10 gotas de  $\text{CrO}_4^{2-}$  (aq) 0,10 mol L<sup>-1</sup> e acrescente gota a gota uma solução aquosa de nitrato de bário ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  (aq)) 0,10 mol L<sup>-1</sup> até perceber alguma alteração. Anote as suas observações e guarde este tubo para a etapa 3-B.
2. Em outro tubo de ensaio limpo, coloque 10 gotas de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  (aq) 0,10 mol L<sup>-1</sup>. Acrescente 4 gotas de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e depois 10 gotas de  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  (aq) 0,10 mol L<sup>-1</sup>. Anote se houver mudança de cor e ou formação de precipitado. Guarde este tubo de ensaio para o item 4-B.
3. Ao tubo de ensaio da etapa 1-B acrescente, gota a gota, HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> até notar alguma alteração. Anote o que você observou.
4. Ao tubo de ensaio da etapa 2-B acrescente NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup>, até notar alguma modificação. Anote o que você observou.
5. Sugira alguma maneira de inverter as observações das etapas 3 e 4. Teste suas sugestões.
6. Em um tubo de ensaio coloque 10 gotas de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  0,10 M e em outro tubo 10 gotas de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Acrescente algumas gotas de  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  0,10 M a cada um dos tubos. Anote suas observações.
7. Ao terminar, descarte o conteúdo de cada tubo de ensaio nos recipientes específicos para esta finalidade. Lave os tubos de ensaio com água da torneira e continue com o próximo item.

### C. Verificação da existência de mudança no equilíbrio químico

1. Pegue 2 tubos de ensaio limpos e coloque 10 gotas (cerca de 0,5 mL) de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  e  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , uma solução em cada tubo. Acrescente algumas gotas de KOH 0,1 M alternadamente em cada um dos tubos. Observe se há qualquer mudança na cor da solução. Anote suas observações.
2. Repita o procedimento do item 1-C, substituindo o KOH pelas seguintes soluções:  $\text{CHO}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{HNO}_3$ . Anote suas observações.
3. Ao terminar, descarte o conteúdo de cada tubo de ensaio nos recipientes específicos para esta finalidade. Lave os tubos de ensaio com água da torneira e continue com o próximo item.

## 5. PRÉ-LABORATÓRIO

1. O que você espera que aconteça se em uma solução saturada de  $\text{CaSO}_4$ :

- a)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  é adicionado.
- b)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  é adicionado.
- c)  $\text{NaOH}$  é adicionado.

2. Para a reação da amônia com a água:



Em qual direção (direita ou esquerda), o equilíbrio será deslocado se:

- a)  $\text{NaOH}$  for adicionado a solução?
- b)  $\text{HCl}$  for adicionado a solução?
- c)  $\text{NH}_3$  for retirado (evaporado) da solução?

3. Escreva as expressões das constantes de equilíbrio para as reações:

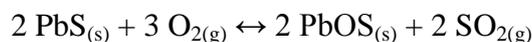
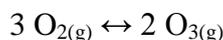
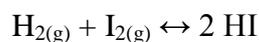
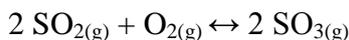
- a)  $\text{PCl}_5 \leftrightarrow \text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$
- b)  $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$
- c)  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2 \text{NO}$
- d)  $\text{N}_2\text{O}_4 \leftrightarrow 2 \text{NO}_2$
- e)  $\text{BaSO}_4(\text{s}) \leftrightarrow \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$

4. Uma amostra de  $\text{NH}_3(\text{g})$  foi formada a partir de  $\text{H}_2(\text{g})$  e  $\text{N}_2(\text{g})$  a  $500^\circ\text{C}$ . Se a mistura em equilíbrio era formada de 1,35 mols de  $\text{H}_2$  por litro; 1,15 mols de  $\text{N}_2$  por litro e  $4,12 \times 10^{-1}$  mols de  $\text{NH}_3$  por litro, qual é o valor da constante de equilíbrio ( $K_C$ ), para a formação de  $\text{NH}_3$ ?

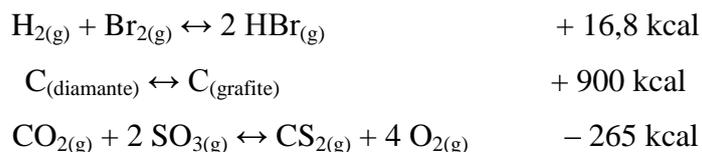
Sabendo que  $K_C = K_P(\text{RT})^2$ , calcule  $K_P$ . ( $R = 0,082 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )

5. Dois mols de  $\text{NO}_2$  são colocados num recipiente de 1 litro e atingem o equilíbrio a uma temperatura em que  $K_C = 7,15$ , para a reação  $2 \text{NO}_2(\text{g}) \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ . Quantos mols de  $\text{NO}_2$  existem no equilíbrio?

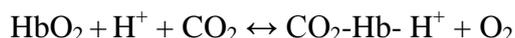
6. Indique o efeito do aumento da pressão sobre os seguintes equilíbrios:



7. De que maneira poderá um aumento da temperatura afetar os seguintes equilíbrios:



8. A ligação do oxigênio com a hemoglobina Hb, formando a oxihemoglobina HbO<sub>2</sub>, é parcialmente regulada pela concentração de H<sup>+</sup> e CO<sub>2</sub> no sangue. Embora o equilíbrio seja mais complicado, pode ser resumido como:



- a) Escreva a expressão da constante de equilíbrio para esta reação.
- b) Explique porque a produção de ácido láctico e CO<sub>2</sub> nos músculos durante um exercício físico estimula a liberação de O<sub>2</sub> da oxihemoglobina.

9. a) Escreva a expressão da constante de equilíbrio para a seguinte reação reversível:



O que acontece com a concentração de NO no equilíbrio se:

- b) Mais O<sub>2</sub> é adicionado?
- c) N<sub>2</sub> é removido?
- d) A pressão no sistema é aumentada?
- e) A temperatura no sistema é aumentada?
- f) A reação do item a, forma óxido de nitrogênio NO, um gás poluente também muito produzido por motores à combustão (automóveis). A reação para a decomposição do NO, ocorre da seguinte maneira:  $2 \text{NO} \leftrightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$ , com uma constante de equilíbrio a 25°C,  $K_P = 3,0 \times 10^{31}$ . Calcule a pressão parcial de NO, no equilíbrio.

Obs:  $P_{\text{O}_2} = 0,2 \text{ atm}$ ,  $P_{\text{N}_2} = 0,8 \text{ atm}$

$$K_P = \frac{P_{\text{N}_2} P_{\text{O}_2}}{P_{\text{NO}}^2}$$

## EXPERIÊNCIA 9

EQUIPE:

DATA:

TURMA:

**A. Cor das soluções.** Anote a cor das soluções.

1.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
2.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
3.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
4. Tubo da etapa 3 +  $\text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
5. Tubo da etapa 2 +  $\text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_

**B. Equilíbrio do cromato de bário.** Anote as mudanças de cor e/ou a formação de precipitado.

1.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
2.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{H}^{+}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
3. Tubo da etapa B-1 +  $\text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
4. Tubo da etapa B-2 +  $\text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
- 5.a) Inversão da reação B-3 \_\_\_\_\_  
b) Inversão da reação B-4 \_\_\_\_\_
6.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_;  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_

**C. Observações**

	KOH	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{NH}_4\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{HNO}_3$
$\text{CrO}_4^{-2}$							
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$							

## EXPERIÊNCIA 9

EQUIPE:

DATA:

TURMA:

**A. Cor das soluções.** Anote a cor das soluções.

1.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
2.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
3.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
4. Tubo da etapa 3 +  $\text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
5. Tubo da etapa 2 +  $\text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_

**B. Equilíbrio do cromato de bário.** Anote as mudanças de cor e/ou a formação de precipitado.

1.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
2.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{H}^{+}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
3. Tubo da etapa B-1 +  $\text{H}^{+}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
4. Tubo da etapa B-2 +  $\text{OH}^{-}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_
- 5.a) Inversão da reação B-3 \_\_\_\_\_  
b) Inversão da reação B-4 \_\_\_\_\_
6.  $\text{CrO}_4^{-2}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_;  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}(\text{aq}) + \text{Ba}^{+2}(\text{aq})$  \_\_\_\_\_

**C. Observações**

	KOH	CH <sub>3</sub> COOH	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	HNO <sub>3</sub>
CrO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>							
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>-2</sup>							