LISTA DE EXERCÍCIOS — EQUILÍBRIO QUÍMICO

Química 1 · 2ª série do Ensino Médio – Prof. Vanderlei Paula

Nome: _____ Nº: _____ Turma: _____ Data: ___/___/___

Para consultar

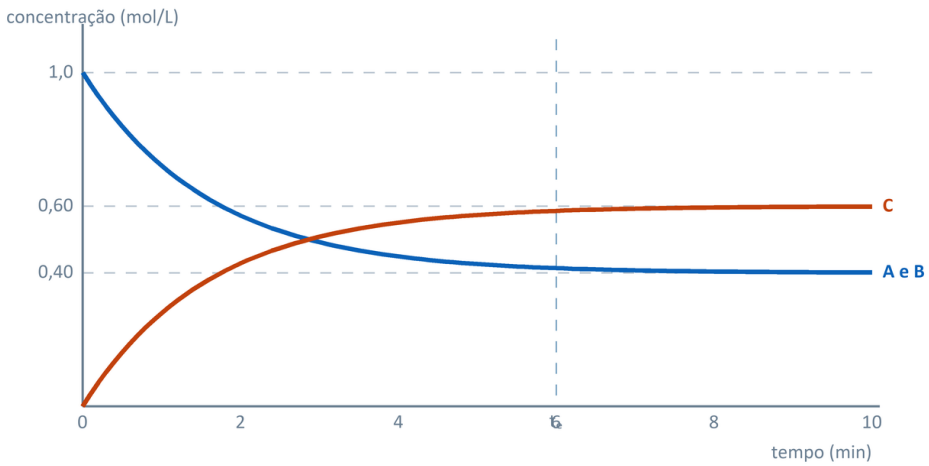
- Constante dos gases: R = 0,082 atm·L·mol^{-1}·K^{-1}; T(K) = t(°C) + 273.
- Lei da ação das massas: para aA + bB ⇌ cC + dD, $K_c = [C]^c \cdot [D]^d / ([A]^a \cdot [B]^b)$ (sólidos e líquidos puros não entram).
- $K_p = K_c \cdot (RT)^{\Delta n}$, com Δn = mols de gás dos produtos − mols de gás dos reagentes.
- Q < K: reação direta; Q = K: equilíbrio; Q > K: reação inversa.
- pH = −log [H$^+$]; pOH = −log [OH$^-$]; a 25 °C: $K_w = [H^+]\cdot[OH^-] = 1{,}0 \times 10^{-14}$ e pH + pOH = 14.
- Ácido fraco: $[H^+] \approx \sqrt{(K_a \cdot M)}$; base fraca: $[OH^-] \approx \sqrt{(K_b \cdot M)}$; Ostwald: $K_a \approx \alpha^2 \cdot M$; $pK_a = -\log K_a$.
- Tampão: $pH = pK_a + \log([A^-]/[HA])$. log 2 = 0,30; log 3 = 0,48; log 5 = 0,70.

PARTE 1 · EQUILÍBRIO DINÂMICO E GRÁFICOS

Comece pelos conceitos: o equilíbrio é dinâmico e se lê nos gráficos.

1. Explique o que significa dizer que o equilíbrio químico é **dinâmico**. Cite duas condições necessárias para que um sistema atinja o equilíbrio.

2. O gráfico mostra as concentrações na reação A(g) + B(g) ⇌ C(g), num recipiente de 1,0 L. A e B partiram da mesma concentração e têm a mesma curva.

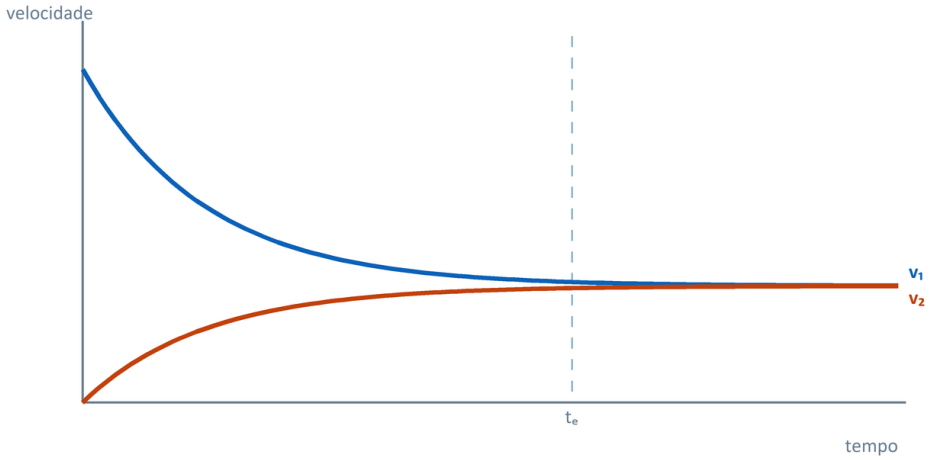


a) A partir de que instante, aproximadamente, o sistema está em equilíbrio? Justifique.

b) Por que a curva de C não chega a 1,0 mol/L?

c) Calcule K_c.

3. O gráfico representa as velocidades v_1 e v_2 das reações direta e inversa de um sistema que partiu apenas dos reagentes.



a) Qual curva corresponde à reação direta? Por quê?

b) Por que v_1 diminui e v_2 aumenta com o tempo?

c) O que acontece a partir de t = 6? As reações param?

4. Classifique cada afirmação como verdadeira (V) ou falsa (F) e corrija as falsas.

a) No equilíbrio, as concentrações de reagentes e de produtos são iguais.

b) Um mesmo equilíbrio pode ser atingido partindo só dos reagentes ou só dos produtos.

c) O valor de K indica a rapidez com que o equilíbrio é atingido.

d) Num frasco aberto, a decomposição do $CaCO_3$ não atinge o equilíbrio.

e) Adicionar catalisador aumenta a quantidade de produto no equilíbrio.

PARTE 2 · CONSTANTE DE EQUILÍBRIO: KC E KP

Monte as expressões com cuidado: expoentes, sólidos, líquidos e Δn.

5. Escreva a expressão de Kc para cada equilíbrio.

a) $2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ SO_3(g)$

b) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

c) $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(aq)$

d) $C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$

e) $NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$

6. Para cada equilíbrio, escreva a expressão de Kp, calcule Δn e diga em qual deles Kp = Kc.

a) $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$

b) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\ HI(g)$

c) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

7. A tabela traz constantes de equilíbrio a 25 °C.

Equilíbrio	K (25 °C)
I. $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ NO(g)$	$\approx 10^{-30}$
II. $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2\ NO_2(g)$	$4{,}6 \times 10^{-3}$
III. $2\ H_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ H_2O(g)$	$\approx 10^{80}$

a) Em qual equilíbrio predominam os produtos? E em qual quase não há produto?

b) Uma mistura de H_2 e O_2 pode ficar anos guardada sem reagir, apesar do K enorme. Explique.

c) O ar tem 78% de N_2 e 21% de O_2. Por que quase não se forma NO na atmosfera?

8. A 500 °C, Kc = 0,060 para $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$. Calcule, na mesma temperatura, a constante de cada equilíbrio abaixo.

a) $2\ NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3\ H_2(g)$

b) $\frac{1}{2}\ N_2(g) + 3/2\ H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$

9. A 727 °C (1 000 K), Kc = 2,8 × 10^2 para 2 $SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ SO_3(g)$. Calcule Kp nessa temperatura.

PARTE 3 · CÁLCULOS DE EQUILÍBRIO

Use o quadro início – reage – equilíbrio. Toda variação segue os coeficientes.

10. Num recipiente de 5,0 L, uma mistura em equilíbrio contém 1,0 mol de N_2, 1,5 mol de H_2 e 0,50 mol de NH_3. Calcule Kc para $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$.

11. Colocam-se 2,0 mol de H_2 e 2,0 mol de I_2 num recipiente de 2,0 L. Nessa temperatura, Kc = 64 para $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\ HI(g)$. Monte o quadro início – reage – equilíbrio e calcule as concentrações no equilíbrio.

12. Aquecem-se 4,0 mol de SO_3 num recipiente de 2,0 L. No equilíbrio $2\ SO_3(g) \rightleftharpoons 2\ SO_2(g) + O_2(g)$, o grau de dissociação do SO_3 é 50%. Calcule Kc.

13. Misturam-se 1,0 mol de CO e 1,0 mol de $H_2O(g)$ num recipiente de 1,0 L. No equilíbrio $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$, a concentração de CO_2 é 0,60 mol/L. Calcule Kc.

14. Para $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$, Kc = 0,040 numa certa temperatura. Para cada mistura, calcule Q e diga se o sistema está em equilíbrio ou para que lado vai reagir.

a) $[PCl_5] = 0,50$; $[PCl_3] = 0,10$; $[Cl_2] = 0,10$ mol/L

b) $[PCl_5] = 0,10$; $[PCl_3] = 0,20$; $[Cl_2] = 0,20$ mol/L

c) $[PCl_5] = 1,0$; $[PCl_3] = 0,20$; $[Cl_2] = 0,20$ mol/L

15. Um recipiente rígido contém apenas N_2O_4 a 1,0 atm. Aquecido a temperatura constante, estabelece-se o equilíbrio $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2\ NO_2(g)$, e a pressão total passa a 1,2 atm.

a) Calcule as pressões parciais no equilíbrio.

b) Calcule Kp e o grau de dissociação do N_2O_4.

16. Na esterificação ácido acético + etanol ⇌ acetato de etila + água, K = 4. Partindo de 2,0 mol de ácido e 2,0 mol de etanol:

a) Quantos mols de éster se formam no equilíbrio? Qual o rendimento?

b) Cite duas formas de aumentar esse rendimento.

PARTE 4 · PRINCÍPIO DE LE CHATELIER E INDÚSTRIA

Para cada perturbação, pergunte: o sistema reage para qual lado? K muda?

17. Para o equilíbrio $2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\ SO_3(g)$, $\Delta H = -198$ kJ, complete a tabela: para que lado o equilíbrio se desloca e se o valor de K muda.

Perturbação	Deslocamento	K muda?
Adicionar O_2		
Retirar SO_3		
Comprimir (aumentar a pressão)		
Aquecer		
Adicionar catalisador		
Adicionar argônio a volume constante		

18. O equilíbrio $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2\ NO_2(g)$ tem $\Delta H = +57$ kJ. O N_2O_4 é incolor e o NO_2 é castanho. Diga o que acontece com a cor da mistura quando:

a) o frasco é mergulhado em água fervente;

b) o frasco é colocado num banho de gelo;

c) uma seringa com a mistura é comprimida rapidamente.

19. Uma solução vermelha contém o equilíbrio $Fe^{3+}(aq)$ (amarelo-claro) + $SCN^-(aq)$ (incolor) ⇌ $FeSCN^{2+}(aq)$ (vermelho). Ela é dividida em tubos. Preveja a cor em relação à original:

a) tubo 1: adição de $FeCl_3$;

b) tubo 2: adição de KSCN;

c) tubo 3: adição de NaOH, que precipita $Fe(OH)_3$;

d) tubo 4: adição de KNO_3.

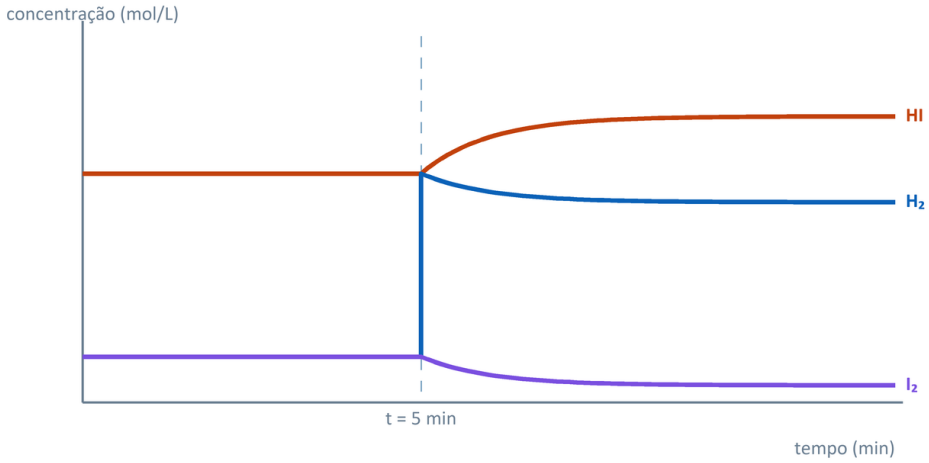
20. Os íons cromato e dicromato estão em equilíbrio em solução aquosa:

$$2\ CrO_4^{2-}(aq) + 2\ H^+(aq) \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-}(aq) + H_2O(l)$$
amarelo laranja

a) Que cor a solução adquire ao receber ácido clorídrico? Explique.

b) E ao receber hidróxido de sódio?

21. O gráfico mostra as concentrações no equilíbrio $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\ HI(g)$. No instante t = 5 min, fez-se uma única alteração no sistema, a temperatura constante.



a) Qual foi a alteração feita em t = 5 min?

b) Explique o que acontece depois com $[I_2]$ e [HI].

c) O valor de Kc no novo equilíbrio é maior, menor ou igual ao inicial?

22. O monóxido de carbono é perigoso porque se liga à hemoglobina cerca de 200 vezes mais fortemente que o oxigênio:

$$\mathrm{HbO_2(aq) + CO(g) \rightleftharpoons HbCO(aq) + O_2(g)}$$

a) Por que respirar CO, mesmo em pequena concentração, prejudica o transporte de oxigênio?

b) O tratamento da intoxicação usa oxigênio puro, às vezes numa câmara pressurizada. Explique com o princípio de Le Chatelier.

23. A tabela mostra a porcentagem de NH_3 no equilíbrio $N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightleftharpoons 2\ NH_3(g)$, $\Delta H = -92$ kJ ($N_2 : H_2 = 1 : 3$, modelo de gás ideal).

Temperatura	10 atm	100 atm	300 atm	1 000 atm
300 °C	15,3%	51,1%	67,6%	80,6%
400 °C	3,9%	24,1%	42,0%	61,6%
500 °C	1,2%	10,0%	22,4%	41,9%
600 °C	0,5%	4,4%	11,5%	26,4%

a) Que combinação de temperatura e pressão daria o maior rendimento? Justifique com o princípio de Le Chatelier.

b) Por que a indústria trabalha a cerca de 450 °C e 200 atm, e não a 300 °C e 1 000 atm?

c) Qual é o papel do catalisador de ferro? E por que a amônia é retirada do reator por liquefação?

PARTE 5 · EQUILÍBRIO IÔNICO: KA, KB, PH E POH

Ácido forte ioniza tudo; ácido fraco, pouco. Para bases, calcule primeiro o pOH.

24. Use a tabela de constantes de ionização a 25 °C.

Ácido	Ka	pKa
Ácido fluorídrico, HF	$6{,}8 \times 10^{-4}$	3,17
Ácido acético, CH_3COOH	$1{,}8 \times 10^{-5}$	4,74
Ácido hipocloroso, HClO	$3{,}0 \times 10^{-8}$	7,52
Ácido cianídrico, HCN	$4{,}9 \times 10^{-10}$	9,31

a) Coloque os ácidos em ordem crescente de força.

b) Em soluções de mesma concentração, qual tem o maior pH? Por quê?

c) Escreva a expressão de Ka do ácido fluorídrico.

25. Calcule o pH de cada solução a 25 °C (considere ionização total).

a) HCl 0,001 mol/L

b) NaOH 0,01 mol/L

c) H_2SO_4 0,005 mol/L (libera 2 H^+)

d) $Ca(OH)_2$ 0,005 mol/L (libera 2 OH^-)

26. Complete a tabela (25 °C).

Solução	$[H^+]$ (mol/L)	$[OH^-]$ (mol/L)	pH	pOH	Caráter
A	$1{,}0 \times 10^{-3}$				
B			9		
C		$1{,}0 \times 10^{-2}$			
D				4	

27. O ácido fórmico, HCOOH, é o responsável pela ardência da picada de formiga. Para uma solução 0,10 mol/L ($K_a = 1{,}8 \times 10^{-4}$; $\log 4{,}2 \approx 0{,}62$):

a) calcule $[H^+]$ e o pH;

b) calcule o grau de ionização α.

28. Uma solução 0,10 mol/L de um ácido fraco HA está 1,0% ionizada.

a) Calcule K_a.

b) A solução é diluída 100 vezes. Calcule o novo grau de ionização e explique o resultado pela lei de Ostwald.

29. Calcule o pH de uma solução de amônia 0,010 mol/L a 25 °C. $K_b = 1{,}8 \times 10^{-5}$; $\log 4{,}2 \approx 0{,}62$.

30. Considere os indicadores da tabela.

Indicador	Cor em meio mais ácido	Faixa de viragem	Cor em meio mais básico
Alaranjado de metila	vermelho	3,1 – 4,4	amarelo
Azul de bromotimol	amarelo	6,0 – 7,6	azul
Fenolftaleína	incolor	8,2 – 10,0	rosa

a) Que cor cada indicador apresenta numa solução de pH 5?

b) Uma amostra ficou amarela com o alaranjado de metila, amarela com o azul de bromotimol e incolor com a fenolftaleína. Em que faixa está o seu pH?

31. Classifique a solução aquosa de cada sal como ácida, básica ou neutra e justifique com a equação de hidrólise, quando houver.

a) NaCN

b) NH_4NO_3

c) KCl

d) $NaHCO_3$

32. Uma solução-tampão contém 0,20 mol/L de ácido acético e 0,10 mol/L de acetato de sódio (pKa = 4,74; log 0,5 = −0,30; log 0,58 ≈ −0,24).

a) Calcule o pH do tampão.

b) Adiciona-se 0,010 mol de NaOH a 1,0 L desse tampão. Calcule o novo pH.

c) Compare com o que aconteceria se o NaOH fosse adicionado a 1,0 L de água pura.

PARTE 6 · PRODUTO DE SOLUBILIDADE (KPS)

Kps é um equilíbrio entre o sólido e seus íons. Compare Q com Kps.

33. Escreva a expressão do produto de solubilidade (Kps) de cada sal.

a) $BaSO_4$

b) Ag_2CrO_4

c) $Ca_3(PO_4)_2$

d) $Fe(OH)_3$

34. Calcule a solubilidade, em mol/L, de cada sal a 25 °C.

a) $BaSO_4$ ($Kps = 1{,}1 \times 10^{-10}$; $\sqrt{1{,}1} \approx 1{,}05$)

b) Ag_2CrO_4 ($Kps = 1{,}2 \times 10^{-12}$; $\sqrt[3]{300} \approx 6{,}7$)

c) Qual dos dois é mais solúvel? Por que não basta comparar os valores de Kps?

35. Misturam-se 50 mL de $CaCl_2$ $2{,}0 \times 10^{-3}$ mol/L com 50 mL de Na_2SO_4 $2{,}0 \times 10^{-3}$ mol/L. $Kps(CaSO_4) = 2{,}4 \times 10^{-5}$ e $Kps(BaSO_4) = 1{,}1 \times 10^{-10}$.

a) Forma-se precipitado de $CaSO_4$? Justifique com cálculos.

b) E se o $CaCl_2$ fosse trocado por $BaCl_2$ de mesma concentração?

36. Em 2003, um contraste para raio X contaminado com carbonato de bário ($BaCO_3$) causou mais de vinte mortes no Brasil. O contraste correto é o sulfato de bário ($BaSO_4$); os íons Ba^{2+} livres são tóxicos.

$$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \qquad Kps = 1{,}1 \times 10^{-10}$$
$$BaCO_3(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \qquad Kps = 2{,}6 \times 10^{-9}$$

a) Os dois sais são muito pouco solúveis em água. Por que o $BaCO_3$ se torna perigoso no estômago, onde o meio é muito ácido?

b) Por que o mesmo não acontece com o $BaSO_4$?

PARTE 7 · QUESTÕES NO ESTILO VESTIBULAR

Questões de múltipla escolha com contexto, como no ENEM, na FUVEST e na Unicamp.

37. (estilo ENEM) Cerca de um quarto do CO_2 emitido pela humanidade é absorvido pelos oceanos. Recifes de coral e conchas de moluscos são formados por carbonato de cálcio, que depende dos equilíbrios abaixo.

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$
$$H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq)$$
$$Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$$

O aumento do CO_2 atmosférico tende a

(A) aumentar o pH da água do mar e favorecer a formação dos recifes.

(B) diminuir o pH da água do mar e a concentração de CO_3^{2-}, dificultando a formação de $CaCO_3$.

(C) diminuir o pH da água do mar e aumentar a concentração de CO_3^{2-}, favorecendo os recifes.

(D) não alterar o pH, pois a água do mar é um sistema aberto.

(E) aumentar a concentração de CO_3^{2-}, pois o CO_2 é fonte de carbonato.

38. (estilo FUVEST) Lentes fotocromáticas escurecem ao sol e clareiam na sombra. O vidro contém cristais de cloreto de prata, e o processo pode ser representado de forma simplificada por:

$$Ag^+ + Cl^- \rightleftharpoons Ag^0 + Cl^0 \qquad (Ag^0\text{: prata metálica, escura})$$
$$\text{(sentido direto: absorve luz)}$$

Sobre o funcionamento dessas lentes, é correto afirmar que

(A) a luz atua como catalisador, acelerando igualmente os dois sentidos.

(B) ao sol, o equilíbrio se desloca para a direita, formando prata metálica, que escurece a lente.

(C) na sombra, a prata metálica é eliminada da lente, que perde o efeito com o tempo.

(D) ao sol, o equilíbrio se desloca para a esquerda, formando íons Ag^+, que são escuros.

(E) o escurecimento não depende da intensidade da luz, só da temperatura.

39. (estilo Unicamp) O cheiro de peixe vem principalmente da trimetilamina, $(CH_3)_3N$, uma base fraca e volátil. Por isso, é comum lavar as mãos ou temperar o peixe com suco de limão.

$$(CH_3)_3N(aq) + H^+(aq) \rightleftharpoons (CH_3)_3NH^+(aq)$$

O limão reduz o cheiro porque

(A) o ácido cítrico é volátil e mascara o cheiro da amina.

(B) o H^+ desloca o equilíbrio para a direita, convertendo a amina num íon que não evapora.

(C) o ácido cítrico catalisa a decomposição da amina.

(D) o limão aumenta o pH, o que transforma a amina num sal.

(E) a amina é um ácido e é neutralizada pelo íon citrato.

40. (estilo ENEM) As hortênsias dão flores azuis em solo ácido e rosadas em solo alcalino. A cor azul aparece quando a planta absorve íons Al^{3+}, que só ficam disponíveis em solo ácido; em solo alcalino o alumínio fica preso como $Al(OH)_3$.

$$Al(OH)_3(s) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3\ OH^-(aq)$$

Um jardineiro que deseja flores azuis deve

(A) adicionar calcário ($CaCO_3$) ao solo, para elevar o pH.

(B) adicionar cal hidratada, $Ca(OH)_2$, para fornecer íons OH^-.

(C) adicionar sulfato de alumínio, que acidifica o solo e fornece Al^{3+}.

(D) regar com solução de bicarbonato de sódio.

(E) adicionar cinzas de madeira, ricas em carbonato de potássio.

41. (estilo FUVEST) Um recipiente rígido contém apenas PCl_5 gasoso, à pressão de 1,0 atm. Aquecido a uma temperatura T, mantida constante, estabelece-se o equilíbrio $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$, e a pressão total passa a ser 1,5 atm.

O valor de Kp, na temperatura T, é

(A) 0,25 atm.
(B) 0,50 atm.
(C) 1,0 atm.
(D) 1,5 atm.
(E) 2,0 atm.

42. (estilo Unicamp) Em provas de 400 m a 1 500 m, o ácido lático produzido pelos músculos libera H^+ e baixa o pH, contribuindo para a fadiga. Alguns atletas ingerem bicarbonato de sódio, sob orientação médica, antes da prova.

$$H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2O(l)$$

A estratégia funciona porque o bicarbonato

(A) aumenta a produção de ácido lático, que é eliminado pelos pulmões.
(B) reforça o tampão do sangue: o HCO_3^- extra consome H^+, e o CO_2 formado é eliminado na respiração.
(C) diminui o pH do sangue, acelerando a contração muscular.
(D) atua como catalisador da respiração celular.
(E) reage com o O_2 e aumenta a oxigenação dos músculos.