

# QUÍMICA

## Constantes

Constante de Avogadro ( $N_A$ ) =  $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Constante de Faraday (F) =  $9,65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$  =  
=  $9,65 \times 10^4 \text{ A s mol}^{-1}$  =  $9,65 \times 10^4 \text{ J V}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Volume molar de gás ideal = 22,4 L (CNTP)

Carga elementar =  $1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

Constante dos gases (R) =  $8,21 \times 10^{-2} \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  =  
=  $8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  =  $1,98 \text{ cal K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Constante gravitacional (g) =  $9,81 \text{ m s}^{-2}$

Constante de Planck (h) =  $6,63 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-1}$

Velocidade da luz no vácuo =  $3,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Número de Euler (e) = 2,72

## Definições

Pressão: 1 atm = 760 mmHg =  $1,01325 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}$  =  
= 760 Torr = 1,01325 bar

Energia: 1 J = 1 N m =  $1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$  =  $6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$

Condições normais de temperatura e pressão (CNTP):  
0°C e 760 mmHg

Condições ambientes: 25°C e 1 atm

Condições padrão: 1 bar; concentração das soluções =  
=  $1 \text{ mol L}^{-1}$  (rigorosamente: atividade unitária das espécies); sólido com estrutura cristalina mais estável nas condições de pressão e temperatura em questão.

(s) = sólido. (ℓ) = líquido. (g) = gás. (aq) = aquoso.

(conc) = concentrado. (ua) = unidades arbitrárias.

u.m.a. = unidade de massa atômica. [X] = concentração da espécie química X em  $\text{mol L}^{-1}$

$\ln X = 2,3 \log X$

## Massas Molares

Elemento Químico	Número Atômico	Massa Molar (g mol <sup>-1</sup> )
H	1	1,01
Be	4	9,01
C	6	12,01
N	7	14,01
O	8	16,00
Na	11	22,99
Cl	17	35,45
K	19	39,10
Ca	20	40,08
Mn	25	54,94
Se	34	78,96
I	53	126,90
Ba	56	137,33

# 1

Considere reações de combustão do etanol.

- Escreva a equação química balanceada para a reação com oxigênio puro.
- Escreva a equação química balanceada para a reação com ar atmosférico.
- Escreva a equação química balanceada para a reação com 50% da quantidade estequiométrica de ar atmosférico.
- Classifique as reações dos itens a), b) e c) em ordem crescente de variação de entalpia reacional.

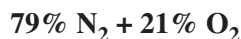
## Resolução

- a) Combustão do etanol com  $O_2$  puro:



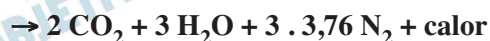
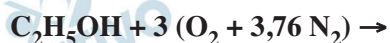
- b) Combustão do etanol com ar atmosférico:

Composição aproximada do ar atmosférico, em volume:



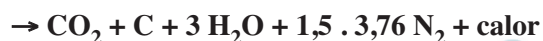
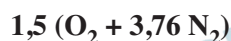
Logo, temos:

1 mol de  $O_2$  para 3,76 mol de  $N_2$



O gás  $N_2$  não participa da reação.

- c) Combustão do etanol para 50% da quantidade estequiométrica de ar atmosférico, ou seja,



Novamente, o gás  $N_2$  não participa da reação.

- d) Tanto na reação *a* como na reação *b*, ocorre a oxidação total dos átomos de carbono do álcool, logo a energia liberada será a mesma.

Na reação *c*, a oxidação dos átomos de carbono não é total, logo a energia liberada será menor do que nas anteriores.

$$|\Delta H|_C < |\Delta H|_A = |\Delta H|_B \quad \text{ou}$$

$$\Delta H_C > \Delta H_A = \Delta H_B$$

Nota: A variação de entalpia ( $\Delta H$ ) considera reagentes e produtos na mesma temperatura. Portanto, o  $N_2$  está na mesma temperatura no 1º e 2º membros.

## 2

Uma determinada quantidade de um composto A foi misturada a uma quantidade molar três vezes maior de um composto B, ou seja, A + 3B. Essa mistura foi submetida a dois experimentos de combustão (I e II) separadamente, observando-se:

I. A combustão dessa mistura A + 3B liberou 550 kJ de energia.

II. A combustão dessa mistura A + 3B, adicionada de um composto C em quantidade correspondente a 25% em mol do total da nova mistura, liberou 814 kJ de energia.

Considerando que os compostos A, B e C não reagem entre si, determine os valores numéricos

a) da quantidade, em mol, de A, B e C.

b) do calor de combustão, em  $\text{kJ mol}^{-1}$ , do composto C,  $\Delta H_c$  (C).

Dados:  $\Delta H_c$  (A) =  $-700 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;

$\Delta H_c$  (B) =  $-500 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

### Resolução

Para a mistura A + 3B, a proporção em mols de cada composto é de 1 para 3.

Cálculo da quantidade em mols de cada composto, A(x) e B (3x), sabendo que um mol de A libera 700 kJ e 3 mol de B liberam  $3 \times 500 \text{ kJ}$ , e que a mistura libera no total 550 kJ.

$$x \cdot 700 + 3x \cdot 500 = 550$$

$$700x + 1500x = 550$$

$$2200x = 550$$

$$x = 0,25 \text{ mol}$$

Portanto, a mistura contém 0,25 mol de A e

$3 \times 0,25 \text{ mol} = 0,75 \text{ mol}$  de B.

Na mistura A + 3B + tC, a proporção em mols de C corresponde a 25% do total da mistura.

$$\begin{array}{l} (0,25 + 0,75 + n) \text{ mol} \text{ ————— } 100\% \\ n \text{ mol} \text{ ————— } 25\% \end{array}$$

$$25(0,25 + 0,75 + n) = 100 \cdot n$$

$$25 + 25n = 100n$$

$$75n = 25$$

$$n = \frac{1}{3} \text{ mol}$$

a)  $A \Rightarrow 0,25 \text{ mol}$   
 $B \Rightarrow 0,75 \text{ mol}$   
 $C \Rightarrow \frac{1}{3} \text{ mol}$

b) A quantidade de calor liberado pela queima de

$\frac{1}{3}$  mol de C corresponde à diferença

$$(814 - 550) \text{ kJ} = 264 \text{ kJ}$$

$$\frac{1}{3} \text{ mol de C} \text{ ————— } 264 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ mol de C} \text{ ————— } y$$

$$y = 792 \text{ kJ}$$

Portanto, o calor de combustão de C será:

$$\Delta H_c(\text{C}) = -792 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

### 3

Considere uma porção de uma solução aquosa de um eletrólito genérico AB, em formato de um cilindro de 2 cm de diâmetro e 314 cm de comprimento, cuja concentração seja de  $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ . Sabendo que a resistência elétrica dessa porção é de  $1,0 \times 10^4 \text{ ohm}$ , calcule a sua condutividade molar em  $\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$ .

#### Resolução

Cálculo da condutividade ( $\sigma$ ):

Sendo R: resistência;  $\rho$ : resistividade,  $\ell$ : comprimento; A: área;  $\Omega$ : ohm; S: siemens ( $\Omega^{-1}$  ou mho), temos:

$$R = \frac{\rho \ell}{A} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{\ell}{A} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{\ell}{R \cdot A} = \frac{314 \text{ cm}}{1 \cdot 10^4 \Omega \cdot 3,14 \cdot 1 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 1 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$$

Cálculo da concentração em  $\text{mol/cm}^3$ :

$$1 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \longrightarrow 1000 \text{ cm}^3$$

$$x \longrightarrow 1 \text{ cm}^3$$

$$x = 1 \cdot 10^{-5} \text{ mol/cm}^3$$

Cálculo da condutividade molar ( $\Lambda$ ):

$$\Lambda = \frac{\sigma}{C} = \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}}{1 \cdot 10^{-5} \text{ mol/cm}^3} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{S} \cdot \text{cm}^2}{\text{mol}}$$

# 4

Uma solução aquosa de água oxigenada a 3% (v/v) foi adicionada a soluções aquosas ácidas em dois experimentos diferentes. Foram observados:

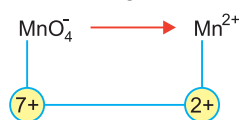
- I. No primeiro experimento: a adição a uma solução aquosa ácida de permanganato de potássio resultou na perda da coloração da solução, tornando-a incolor.
- II. No segundo experimento: a adição a uma solução aquosa ácida de iodeto de potássio inicialmente incolor resultou em uma solução de coloração castanha.

Com base nas observações experimentais, escreva as reações químicas balanceadas para cada experimento e indique os agentes oxidantes e redutores em cada caso, quando houver.

## Resolução

### I) Reação I:

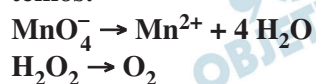
#### Semirreação de redução



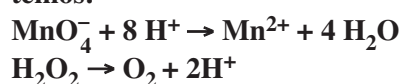
#### Semirreação de oxidação



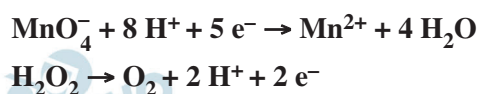
Balaceando os átomos de oxigênio usando  $\text{H}_2\text{O}$ , temos:



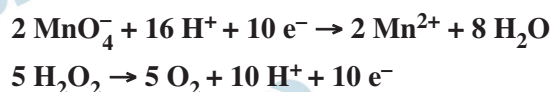
Balaceando os átomos de hidrogênio usando  $\text{H}^+$ , temos:



Balaceando as cargas por adição de elétrons, temos:



Balaceando os elétrons, temos:



Equação global:



Agente oxidante:  $\text{MnO}_4^-$  (permanganato de potássio)

Agente redutor:  $\text{H}_2\text{O}_2$  (água oxigenada)

## II) Reação II:

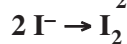
### Semirreação de redução



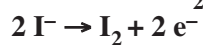
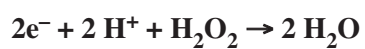
### Semirreação de oxidação



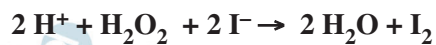
Balaceando os átomos de hidrogênio usando  $\text{H}^+$ , temos:



Balaceando as cargas por adição de elétrons, temos:



Equação global:



Agente oxidante:  $\text{H}_2\text{O}_2$  (água oxigenada)

Agente redutor:  $\text{I}^-$  (iodeto de potássio)



## 5

Classifique cada uma das substâncias abaixo como óxidos ácido, básico ou anfótero.

- a)  $\text{SeO}_2$
- b)  $\text{N}_2\text{O}_3$
- c)  $\text{K}_2\text{O}$
- d)  $\text{BeO}$
- e)  $\text{BaO}$

### Resolução

a)  $\text{SeO}_2$  – óxido ácido (não metal com O)

Se: grupo 16, não metal

b)  $\text{N}_2\text{O}_3$  – óxido ácido (não metal com O)

N: grupo 15, não metal

c)  $\text{K}_2\text{O}$  – óxido básico (metal com O)

K: grupo 1, metal

d)  $\text{BeO}$  – óxido anfótero (reage com ácido e com base)

Be: grupo 2, metal

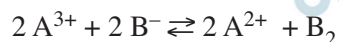
Nota: Be é similar ao Al, que também forma óxido anfótero:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

e)  $\text{BaO}$  – óxido básico (metal com O)

Ba: grupo 2, metal

**6**

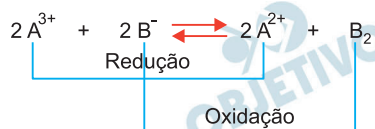
Considere a seguinte reação genérica, nas condições padrão e a 25°C:



Determine a constante de equilíbrio dessa reação a 25°C, sabendo que os valores dos potenciais de eletrodo padrão de semicélula das espécies envolvidas são iguais a +0,15 V e -0,15 V.

**Resolução**

I) Cálculo do  $\Delta E^0$  da reação:



Como a espécie  $A^{3+}$  sofre redução, ela possui maior potencial de redução (+0,15V).  $B^{-}$  sofre oxidação, logo possui menor potencial de redução (-0,15V).

$$\Delta E^0 = E^0_{\text{sofre redução}} - E^0_{\text{sofre oxidação}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E^0 = 0,15V - (-0,15V) = 0,30V$$

II) Cálculo da constante de equilíbrio (K). Usando a Equação de Nernst, temos:

$$\Delta E = \Delta E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

No equilíbrio,  $\Delta E = 0$ , logo:

$$\Delta E^0 = \frac{RT}{nF} \ln K \text{ ou } \Delta E^0 = \frac{RT}{nF} 2,3 \log K$$

$$0,30V = \frac{8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K} \cdot 2,3 \log K}{2 \cdot 9,65 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{V}^{-1} \text{ mol}^{-1}}$$

$$\log K = 10,16$$

$$K = 10^{10,16}$$

# 7

Uma solução comercial de HCl é vendida com 37% (em massa) de HCl em água. A densidade dessa solução de HCl é de  $1,15 \text{ g cm}^{-3}$ ,

- Considerando que o HCl se dissocia completamente, determine o pH dessa solução comercial.
- O valor do pH determinado no item a) possui significado físico? Justifique.

## Resolução

- Determinação da massa de 1 litro de solução de HCl:

$$\begin{array}{l} 1,15 \text{ g} \text{ ————— } 1 \text{ cm}^3 \\ m \text{ ————— } 1000 \text{ cm}^3 \\ m = 1150 \text{ g de solução} \end{array}$$

Determinação da massa de HCl nessa solução:

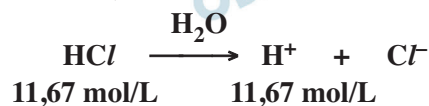
$$\begin{array}{l} 1150 \text{ g} \text{ ————— } 100\% \text{ de solução} \\ x \text{ ————— } 37\% \text{ de HCl} \\ x = 425,5 \text{ g de HCl} \end{array}$$

Determinação da quantidade de matéria, em mol, de HCl:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol de HCl} \text{ ————— } 36,46 \text{ g} \\ y \text{ ————— } 425,5 \text{ g} \\ y = 11,67 \text{ mol de HCl} \end{array}$$

$\therefore$  a concentração de HCl é  $11,67 \text{ mol/L}$

Considerando que o HCl se dissocia completamente, temos:



Cálculo do pH:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \\ \text{pH} &= -\log 11,67 \\ \text{pH} &\cong -\log 12 \\ \text{pH} &\cong -(\log 3 + \log 4) \\ \text{pH} &\cong -(0,5 + 0,6) \end{aligned}$$

$$\text{pH} \cong -1,1$$

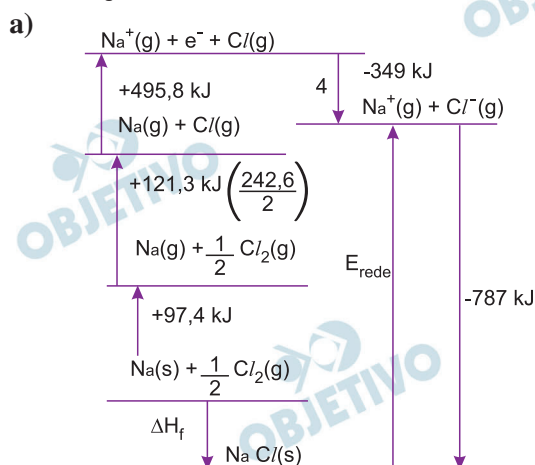
- Sim, o sinal negativo no valor do pH indica que a concentração de  $\text{H}^+$  é maior que  $1 \text{ mol/L}$ .

Considere as variações de entalpia de processo abaixo tabeladas.

Processo	$\Delta H$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
Ionização do Na <sup>0</sup>	495,8
Energia de ligação Cl — Cl	242,6
Entalpia de vaporização do Na <sup>0</sup>	97,4
Afinidade eletrônica do Cl	- 349
Entalpia de rede do NaCl	- 787

- a) Esboce o diagrama de Born-Haber para a formação do NaCl(s) a partir de Na<sup>0</sup>(s) e Cl<sub>2</sub>(g) e calcule a variação de entalpia de formação do NaCl(s).
- b) Sabe-se que o valor absoluto (em módulo) da entalpia de rede do CaO(s) é maior do que a do NaCl(s). Explique por quê.

### Resolução



$$\Delta H_f = +97,4 \text{ kJ} + 121,3 \text{ kJ} + 495,8 \text{ kJ} - 349 \text{ kJ} - 787 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f = -421,5 \text{ kJ/mol de NaCl (s)}$$

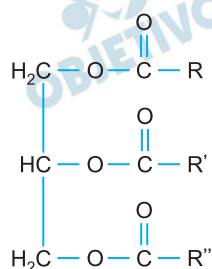
- b) A energia de rede é a energia necessária para separar completamente 1 mol de um composto iônico sólido em íons gasosos.

A energia de rede do Ca<sup>2+</sup>O<sup>2-</sup> (s) é maior do que a do Na<sup>1+</sup>Cl<sup>1-</sup> (s) porque as cargas nos íons Ca<sup>2+</sup> e O<sup>2-</sup> são duas vezes maiores, cada uma, do que as cargas em Na<sup>1+</sup> e Cl<sup>1-</sup>.

Conclusão: quanto maior as cargas dos íons, maior a energia de rede.

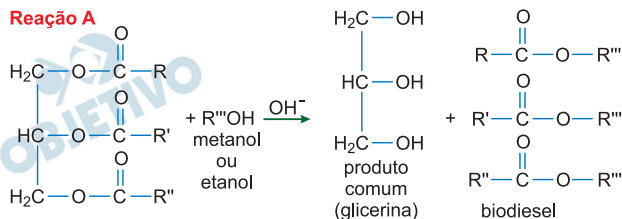
# 9

A figura abaixo mostra a estrutura básica de um triacilglicerídeo, em que R, R' e R'' representam cadeias carbônicas, saturadas ou insaturadas, com pelo menos oito átomos de carbono. Sabe-se que o triacilglicerídeo pode reagir tanto por transesterificação (reação A) quanto por hidrólise básica (reação B). Em ambos os casos, um produto comum dessas reações pode ser usado na produção de nitroglicerina (reação C). Com base nessas informações, escreva as equações que descrevem as reações A, B e C.

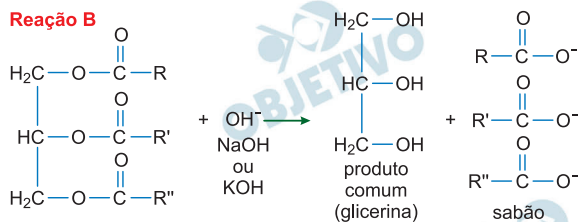


## Resolução

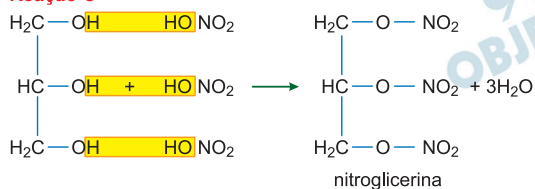
### Reação A



### Reação B



### Reação C



# 10

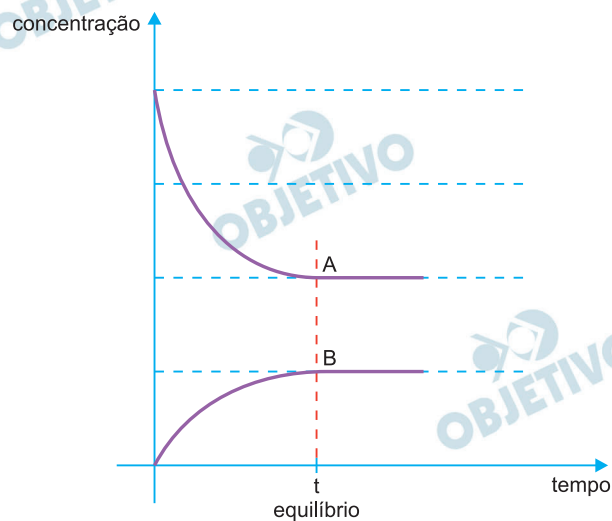
Considere a reação genérica  $2A(g) \rightleftharpoons B(g)$ . No instante inicial, apenas o reagente A está presente. Sabendo que a reação direta é exotérmica, construa os gráficos de concentração de cada substância em função do tempo de reação para as seguintes condições:

- desde o instante inicial até o equilíbrio, na presença e na ausência de catalisador.
- a partir do equilíbrio inicial, com um rápido aumento da temperatura, até um novo equilíbrio.
- a partir do equilíbrio inicial, com um rápido aumento da pressão, até um novo equilíbrio.
- a partir do equilíbrio inicial, com a remoção rápida de 50% do produto B, até um novo equilíbrio.

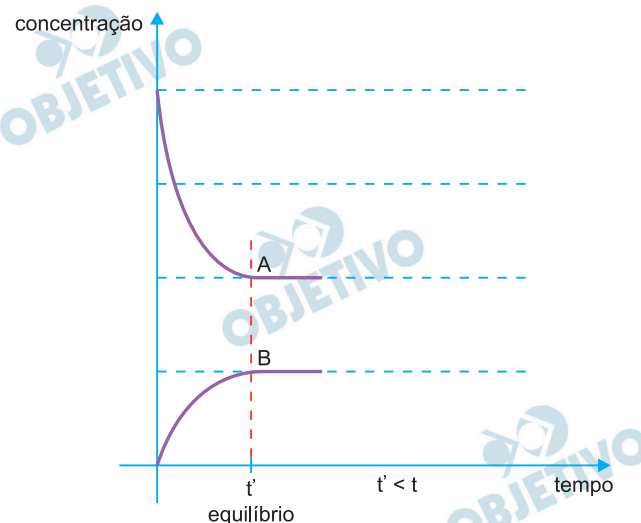
## Resolução

- a) Como apenas o reagente A está presente, a reação ocorrerá no sentido direto, ou seja, no sentido de consumo de A e de produção de B, na proporção de 2 : 1.

Vamos admitir que no equilíbrio a concentração de A seja maior que a de B. Sabe-se que na presença de catalisador a reação é mais rápida e o equilíbrio será atingido em menor tempo.

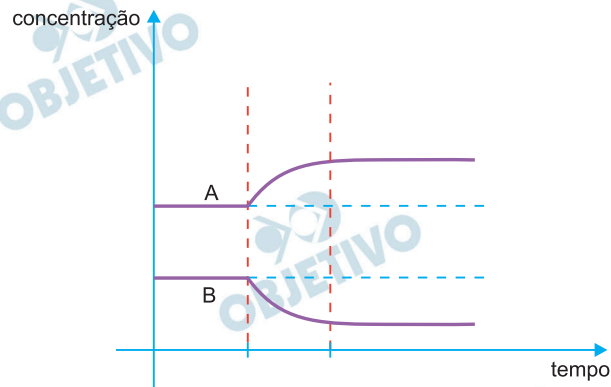


Na ausência de catalisador.



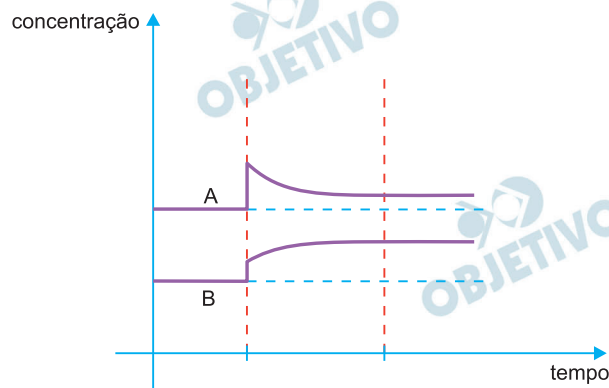
Na presença de catalisador.

- b) Com um rápido aumento de temperatura, o equilíbrio será deslocado no sentido da reação endotérmica, ou seja, no sentido do consumo de B e de produção de A.

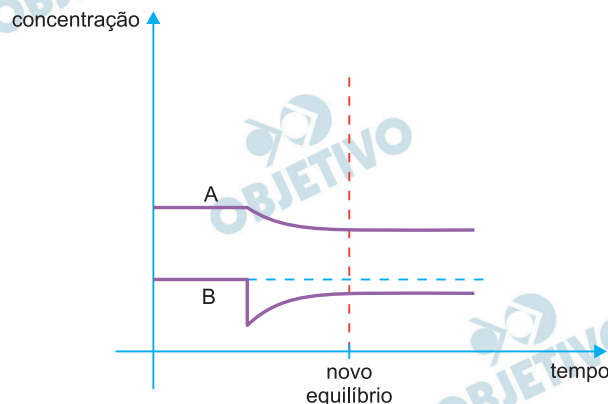


- c) Inicialmente, devido ao aumento *rápido* da pressão, as concentrações de A e B aumentam devido à diminuição rápida do volume. Ocorre, então, o deslocamento do equilíbrio no sentido da contração de volume, o que faz aumentar a quantidade em mols de B e diminuir a de A, de tal modo que o  $K_c$  e o  $K_p$  fiquem constantes. No final teremos um aumento das concentrações de A e B com relação ao equilíbrio inicial.

Teremos, portanto, o seguinte gráfico:



- d) Com a remoção rápida de 50% do produto B, o equilíbrio será deslocado no sentido em que houver produção de B e consumo de A.



## Notações

$\mathbb{R}$  : conjunto dos números reais

$i$  : unidade imaginária  $i^2 = -1$

$[a, b] = \{x \in \mathbb{R} : a \leq x \leq b\}$

**Observação:** Os sistemas de coordenadas considerados são os cartesianos retangulares.

## 1

Determine os valores reais de  $a$  e  $b$  para os quais as equações  $x^3 + ax^2 + 18 = 0$  e  $x^3 + bx + 12 = 0$  possuam duas raízes em comum e, a seguir, determine essas raízes.

### Resolução

1) Sejam  $r$  e  $s$  as raízes comuns às duas equações.

Seja  $p$  a terceira raiz da equação  $x^3 + ax^2 + 18 = 0$

e  $q$  a terceira raiz da equação  $x^3 + bx + 12 = 0$ .

2) Pelas relações de Girard, temos:

$$\begin{cases} r + s + p = -a \\ rs + rp + sp = 0 \\ rsp = -18 \end{cases} \quad \text{e} \quad \begin{cases} r + s + q = 0 \\ rs + rq + sq = b \\ rsq = -12 \end{cases}$$

Assim,

$$\frac{rsp}{rsq} = \frac{-18}{-12} \Leftrightarrow q = \frac{2p}{3}.$$

Substituindo nas primeiras relações de Girard, temos

$$\begin{cases} r + s + p = -a \\ r + s + \frac{2p}{3} = 0 \end{cases} \Rightarrow \frac{p}{3} = -a \Leftrightarrow p = -3a$$

Desta forma,  $-3a$  é uma das raízes da primeira equação dada.

3)  $(-3a)^3 + a \cdot (-3a)^2 + 18 = 0 \Leftrightarrow -18a^3 = -18 \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow a^3 = 1 \Leftrightarrow \boxed{a = 1}, \text{ pois } a \in \mathbb{R}.$$

Substituindo resulta  $p = -3$  e  $q = -2$

Além disso,  $r + s + (-3) = -1 \Rightarrow r + s = 2 \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow s = 2 - r$$

$r \cdot s \cdot (-3) = -18 \Leftrightarrow rs = 6$  e

$$b = rs + q(r + s) = 6 + (-2) \cdot 2 \Rightarrow \boxed{b = 2}$$

Desta forma,  $r(2 - r) = 6 \Leftrightarrow$



$$\Leftrightarrow r^2 - 2r + 6 = 0 \Leftrightarrow r = \frac{2 \pm \sqrt{-20}}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow r = \frac{2 \pm 2\sqrt{5}i}{2} \Leftrightarrow r = 1 \pm \sqrt{5}i$$

Para  $r = 1 + \sqrt{5}i \Leftrightarrow s = 1 - \sqrt{5}i$  e

para  $r = 1 - \sqrt{5}i \Leftrightarrow s = 1 + \sqrt{5}i$

Respostas:  $a = 1$ ,  $b = 2$  e as raízes comuns são

$$1 + \sqrt{5}i \text{ e } 1 - \sqrt{5}i$$

## 2

Determine todas as soluções da equação

$$\operatorname{sen}^6 x + \operatorname{cos}^6 x = \frac{7}{12}.$$

### Resolução

Sendo  $\operatorname{sen}^6 x + \operatorname{cos}^6 x = \frac{7}{12}$ , temos:

$$(\operatorname{sen}^2 x + \operatorname{cos}^2 x)^3 = 1^3$$

$$\operatorname{sen}^6 x + 3 \cdot \operatorname{sen}^4 x \cdot \operatorname{cos}^2 x + 3 \cdot \operatorname{sen}^2 x \cdot \operatorname{cos}^4 x + \operatorname{cos}^6 x = 1$$

$$3 \cdot \operatorname{sen}^2 x \cdot \operatorname{cos}^2 x \cdot (\operatorname{sen}^2 x + \operatorname{cos}^2 x) + \frac{7}{12} = 1$$

$$3 \cdot \operatorname{sen}^2 x \cdot (1 - \operatorname{sen}^2 x) = \frac{5}{12}$$

$$36 \cdot \operatorname{sen}^4 x - 36 \cdot \operatorname{sen}^2 x + 5 = 0$$

$$\operatorname{sen}^2 x = \frac{1}{6} \quad \text{ou} \quad \operatorname{sen}^2 x = \frac{5}{6}$$

$$\operatorname{sen} x = \pm \frac{\sqrt{6}}{6} \quad \text{ou} \quad \operatorname{sen} x = \pm \frac{\sqrt{30}}{6}$$

$$x = \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left( \frac{\sqrt{6}}{6} \right) + n \cdot 2\pi; (n \in \mathbb{Z})$$

$$x = \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left( -\frac{\sqrt{6}}{6} \right) + n \cdot 2\pi; (n \in \mathbb{Z})$$

$$x = \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left( \frac{\sqrt{30}}{6} \right) + n \cdot 2\pi; (n \in \mathbb{Z})$$

$$x = \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left( -\frac{\sqrt{30}}{6} \right) + n \cdot 2\pi; (n \in \mathbb{Z})$$

$$S = \left\{ x \in \mathbb{R} \mid x = \pm \operatorname{arc} \operatorname{sen} \frac{\sqrt{6}}{6} + n \cdot 2\pi \quad \text{ou} \right.$$

$$\left. x = \pm \operatorname{arc} \operatorname{sen} \frac{\sqrt{30}}{6} + n \cdot 2\pi; (n \in \mathbb{Z}) \right\}$$

**3**

Determine o número complexo  $z$  de menor argumento que satisfaz  $|z - 25i| \leq 15$ .

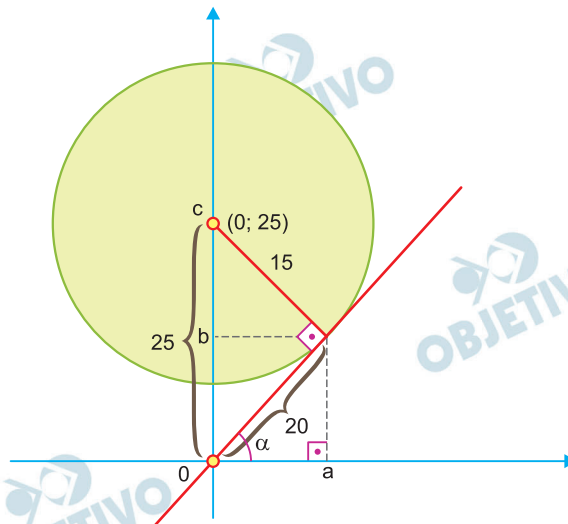
**Resolução**

Sejam  $z = a + bi$ , com  $a \in \mathbb{R}$ ,  $b \in \mathbb{R}$  e  $\alpha = \arg(z)$

I)  $|z - 25i| \leq 15$ , temos:

$$|a + bi - 25i| \leq 15 \Leftrightarrow |a + (b - 25)i| \leq 15 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow a^2 + (b - 25)^2 \leq 15^2, \text{ que representa a região}$$



em que  $\alpha$  é o menor argumento entre todos os números que atendem à região.

II) Assim, o número complexo  $z$  de menor argumento que satisfaz  $|z - 25i| \leq 15$  é  $z = a + bi$ , logo:

$$\begin{cases} \sqrt{a^2 + b^2} = 20 \\ a^2 + (b - 25)^2 = 15^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a^2 + b^2 = 400 \\ a^2 + (b - 25)^2 = 225 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} a = 12 \\ b = 16 \end{cases}$$

Assim,  $z = 12 + 16i$  é o número complexo de menor argumento e que satisfaz a região mostrada acima.

# 4

Sabendo que  $x$  pertence ao intervalo fechado  $[1, 64]$ , determine o maior valor da função

$$f(x) = (\log_2 x)^4 + 12(\log_2 x)^2 \cdot \log_2 \left( \frac{8}{x} \right).$$

### Resolução

$$f(x) = (\log_2 x)^4 + 12(\log_2 x)^2 \cdot [\log_2 8 - \log_2 x]$$

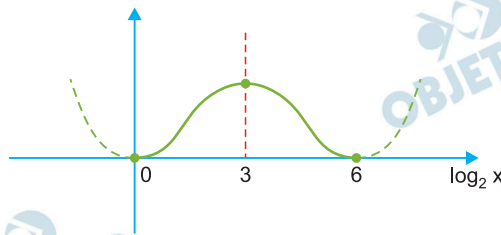
$$f(x) = (\log_2 x)^4 + 12(\log_2 x)^2 \cdot (3 - \log_2 x)$$

$$f(x) = (\log_2 x)^4 - 12(\log_2 x)^3 + 36(\log_2 x)^2$$

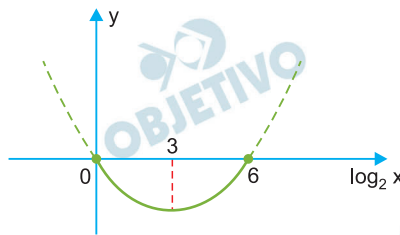
$$f(x) = (\log_2 x)^2 \cdot [(\log_2 x)^2 - 12 \cdot \log_2 x + 36]$$

$$f(x) = (\log_2 x)^2 \cdot [\log_2 x - 6]^2$$

Se  $1 \leq x \leq 64$  então,  $0 \leq \log_2 x \leq 6$  e, portanto, o gráfico de  $f$  em função de  $\log_2 x$  é



A função  $f$  é o quadrado de  $g(x) = \log_2 x \cdot (\log_2 x - 6)$  cujo gráfico é



A função  $g$  é mínima para  $\log_2 x = 3$  e

$$g_{\min} = 3 \cdot (3 - 6) = -9$$

Para  $\log_2 x = 3$ , a função  $f$ , que é o quadrado de  $g$  será máxima e, portanto,  $f_{\max} = (-9)^2 = 81$ .

Resposta: O maior valor de  $f$  é 81.

## 5

Seja F o foco da parábola de equação  $(y - 5)^2 = 4(x - 7)$ , e sejam A e B os focos da elipse de equação

$$\frac{(x - 4)^2}{9} + \frac{(y - 2)^2}{8} = 1. \text{ Determine o lugar geométrico}$$

formado pelos pontos P do plano tais que a área do triângulo ABP seja numericamente igual ao dobro da distância de P a F.

### Resolução

1) A equação  $(y - 5)^2 = 4(x - 7)$  representa uma parábola de concavidade voltada para a direita, com vértice no ponto (7; 5) e  $f = 1$ . Assim, F(8; 5).

2) A equação  $\frac{(x - 4)^2}{9} + \frac{(y - 2)^2}{8} = 1$  representa uma

elipse com eixo maior paralelo ao eixo x, centro no ponto (4; 2),  $a^2 = 9$  e  $b^2 = 8$ . Assim,

$f = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{9 - 8} = 1$ . Logo as coordenadas dos focos são A(3; 2) e B(5; 2).

3) Seja P o ponto de coordenadas  $(x_P; y_P)$ . A área do triângulo ABP é dada por

$$S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_P & x_P & 1 \\ 3 & 2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 \end{vmatrix} = |y_P - 2|$$

4) A distância de P a F é dada por

$$d_{P,F} = \sqrt{(x_P - 8)^2 + (y_P - 5)^2}$$

5) Como a área do triângulo ABP é numericamente igual ao dobro da distância de P a F, temos

$$S = 2d_{P,F} \Leftrightarrow |y_P - 2| = 2 \sqrt{(x_P - 8)^2 + (y_P - 5)^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow (y_P - 2)^2 = 4[(x_P - 8)^2 + (y_P - 5)^2] \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow y_P^2 - 4y_P + 4 = 4(x_P - 8)^2 + 4y_P^2 - 40y_P + 100 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 4(x_P - 8)^2 + 3(y_P^2 - 12y_P + 36) - 12 = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 4(x_P - 8)^2 + 3(y_P - 6)^2 = 12 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{(x_P - 8)^2}{3} + \frac{(y_P - 6)^2}{4} = 1$$

que representa uma elipse com eixo maior paralelo ao eixo y e centro no ponto (8; 6).

**6**

Sejam  $a$ ,  $b$  e  $c$  três números reais em progressão aritmética crescente, satisfazendo

$$\cos a + \cos b + \cos c = 0 \text{ e } \sin a + \sin b + \sin c = 0.$$

Encontre a menor razão possível para essa progressão aritmética.

**Resolução**

Seja  $r$  a razão da progressão aritmética crescente ( $a$ ;  $b$ ;  $c$ ), temos:

I.  $\cos a + \cos b + \cos c = 0$

$$\cos(b - r) + \cos b + \cos(b + r) = 0$$

$$2 \cdot \cos b \cdot \cos r + \cos b = 0$$

$$\cos b \cdot (2 \cos r + 1) = 0$$

$$\cos b = 0 \text{ ou } \cos r = -\frac{1}{2}$$

II.  $\sin a + \sin b + \sin c = 0$

$$\sin(b - r) + \sin b + \sin(b + r) = 0$$

$$2 \sin b \cdot \cos r + \sin b = 0$$

$$\sin b \cdot (2 \cdot \cos r + 1) = 0$$

$$\sin b = 0 \text{ ou } \cos r = -\frac{1}{2}$$

Para que  $a$ ,  $b$  e  $c$  satisfaçam

$$\begin{cases} \cos a + \cos b + \cos c = 0 \\ \sin a + \sin b + \sin c = 0, \end{cases}$$

devemos ter:

$$\cos r = -\frac{1}{2} \Leftrightarrow r = \pm \frac{2\pi}{3} + n \cdot 2\pi, (n \in \mathbb{Z})$$

Já que  $r > 0$ , a menor razão possível para esta progressão aritmética crescente é  $\frac{2\pi}{3}$ .

Resposta:  $\frac{2\pi}{3}$ .

# 7

Um número natural  $n$ , escrito na base 10, tem seis dígitos, sendo 2 o primeiro. Se movermos o dígito 2 da extrema esquerda para a extrema direita, sem alterar a ordem dos dígitos intermediários, o número resultante é três vezes o número original. Determine  $n$ .

## Resolução

Se  $n = \text{"2abcde"}$ , com  $a, b, c, d, e$  algarismos, temos:

$$\text{"abcde2"} = 3 \cdot \text{"abcde"}$$

Substituindo "abcde" por  $y$ , temos:

$$10 \cdot y + 2 = 3 \cdot [2 \cdot 10^5 + y] \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 10y + 2 = 6 \cdot 10^5 + 3y \Leftrightarrow 7y = 600\,000 - 2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow y = 599\,998 \div 7 \Leftrightarrow y = 85\,714$$

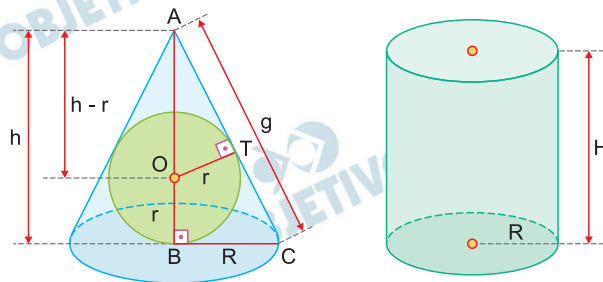
Assim sendo, "abcde" = 85 714 e

$$n = \text{"2abcde"} = 285\,714$$

# 8

Um cone circular reto, de altura  $h$ , e um cilindro circular reto têm bases de mesmo raio. O volume do cone é metade do volume do cilindro, e a área lateral do cone é igual à área lateral do cilindro. Determine, em função de  $h$ , o raio da esfera inscrita no cone.

## Resolução



Sejam  $g$  a geratriz do cone,  $H$  a altura do cilindro,  $R$  a medida do raio da base do cone e do cilindro e  $r$  o raio da esfera inscrita no cone.

$$\text{I) } V_{\text{cone}} = \frac{1}{2} \cdot V_{\text{cilindro}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} \pi R^2 \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \pi R^2 \cdot H \Rightarrow H = \frac{2h}{3}$$

$$\text{II) } g^2 = R^2 + h^2 \Rightarrow g = \sqrt{R^2 + h^2}$$

$$\text{III) } A_{\text{lateral do cone}} = A_{\text{lateral do cilindro}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \pi R g = 2 \pi R \cdot H \Rightarrow g = 2H \Rightarrow$$

$$\Rightarrow g = 2 \cdot \frac{2h}{3} \Rightarrow g = \frac{4h}{3}$$

$$\text{Assim, } g = \sqrt{R^2 + h^2} \Rightarrow \frac{4h}{3} = \sqrt{R^2 + h^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{16h^2}{9} = R^2 + h^2 \Rightarrow R^2 = \frac{7h^2}{9} \Rightarrow R = \frac{h\sqrt{7}}{3}$$

IV) Da semelhança dos triângulos ATO e ABC, temos:

$$\frac{r}{R} = \frac{h-r}{g} \Rightarrow \frac{r}{\frac{h\sqrt{7}}{3}} = \frac{h-r}{\frac{4h}{3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4r = \sqrt{7} h - \sqrt{7} r \Rightarrow r = \frac{\sqrt{7}}{4 + \sqrt{7}} \cdot h \Rightarrow$$

$$r = \frac{\sqrt{7} \cdot (4 - \sqrt{7})}{9} \cdot h \Rightarrow r = \frac{4\sqrt{7} - 7}{9} \cdot h$$

$$\text{Resposta: } \frac{4\sqrt{7} - 7}{9} \cdot h$$



**9**

Sejam A, B, C os vértices de um triângulo. Determine  $\hat{B}$ , sabendo que

$$\text{sen}(\hat{A} + \hat{B}) = \frac{4}{5} = \text{sen}(\hat{A} - \hat{C}).$$

**Resolução**

1) Sendo  $\hat{A}$ ,  $\hat{B}$  e  $\hat{C}$  ângulos de um triângulo, tem-se

$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = 180^\circ \Leftrightarrow \text{sen}(\hat{A} + \hat{B}) = \text{sen} \hat{C}$$

$$\text{Se } \hat{C} > \hat{A}, \text{ teríamos } \hat{A} - \hat{C} < 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \text{sen}(\hat{A} - \hat{C}) < 0, \text{ o que é impossível, pois}$$

$$\text{sen}(\hat{A} - \hat{C}) = \frac{4}{5}.$$

Assim,  $\hat{A} > \hat{C}$  e, portanto,  $\hat{C}$  não é o maior ângulo do triângulo. Dessa forma,  $\cos \hat{C} > 0$ .

2)  $\text{sen} \hat{C} = \text{sen}(\hat{A} + \hat{B}) = \frac{4}{5}$  e, portanto,  $\cos \hat{C} = \frac{3}{5}$

Como  $\text{sen}(\hat{A} - \hat{C}) = \frac{4}{5}$ , tem-se  $\cos(\hat{A} - \hat{C}) = \frac{3}{5}$

ou  $\cos(\hat{A} - \hat{C}) = -\frac{3}{5}$

Para  $\cos(\hat{A} - \hat{C}) = \frac{3}{5}$ , resulta:

$$\begin{cases} \text{sen} \hat{A} \cdot \cos \hat{C} - \text{sen} \hat{C} \cdot \cos \hat{A} = \frac{4}{5} \\ \cos \hat{A} \cdot \cos \hat{C} + \text{sen} \hat{A} \cdot \text{sen} \hat{C} = \frac{3}{5} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \text{sen} \hat{A} \cdot \frac{3}{5} - \frac{4}{5} \cdot \cos \hat{A} = \frac{4}{5} \\ \cos \hat{A} \cdot \frac{3}{5} + \frac{4}{5} \cdot \text{sen} \hat{A} = \frac{3}{5} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 3 \text{sen} \hat{A} - 4 \cos \hat{A} = 4 \\ 3 \cos \hat{A} + 4 \text{sen} \hat{A} = 3 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{sen} \hat{A} = \frac{24}{25} \text{ e } \cos \hat{A} = \frac{-7}{25}$$

$$\begin{aligned} 3) \quad \sin \hat{B} &= \sin [180^\circ - (\hat{A} + \hat{C})] = \sin (\hat{A} + \hat{C}) = \\ &= \sin \hat{A} \cdot \cos \hat{C} + \sin \hat{C} \cdot \cos \hat{A} = \\ &= \frac{24}{25} \cdot \frac{3}{5} + \frac{4}{5} \cdot \left( \frac{-7}{25} \right) = \frac{44}{125} \end{aligned}$$

Para  $\cos (\hat{A} - \hat{C}) = -\frac{3}{5}$ , de modo análogo, resultaria em  $\sin \hat{A} = 0$ , que é impossível.

Resposta:  $\frac{44}{125}$

# 10

Escolhem-se aleatoriamente três números distintos no conjunto  $\{1, 2, 3, \dots, 29, 30\}$ . Determine a probabilidade da soma desses três números ser divisível por 3.

## Resolução

- 1) O número total de maneiras de escolher, aleatoriamente, três números distintos no conjunto  $\{1, 2, 3, 4, \dots, 29, 30\}$  é

$$C_{30,3} = \frac{30 \cdot 29 \cdot 28}{3 \cdot 2 \cdot 1} = 4060$$

- 2) Sejam

$$A_1 = \{3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30\}$$

$$A_2 = \{2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29\}$$

$$A_3 = \{1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28\}$$

- 3) Os elementos de  $A_1$ , são do tipo  $3k$ , os de  $A_2$  do tipo  $3k - 1$ , os de  $A_3$  do tipo  $3k + 1$

- 4) A soma de três dos 30 números será divisível por 3 se:

a) os três forem elementos de  $A_1$ :  $C_{10,3}$

b) os três forem elementos de  $A_2$ :  $C_{10,3}$

c) os três forem elementos de  $A_3$ :  $C_{10,3}$

d) for um de cada um dos três conjuntos:  $10 \cdot 10 \cdot 10$

- 5) O número total de casos favoráveis é, portanto:

$$3 \cdot C_{10,3} + 10^3 = 360 + 1000 = 1360$$

- 6) A probabilidade pedida é  $\frac{1360}{4060} = \frac{68}{203}$