

## Casos particulares de estequiometria: grau de pureza, rendimento e gases fora das CNTP

### Resumo

---

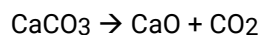
#### Quando os reagentes não são substâncias puras (Grau de pureza)

Em alguns casos na estequiometria os reagentes da reação apresentam em sua composição impurezas, principalmente em reações industriais, ou porque são mais baratos ou porque já são encontrados na natureza acompanhados de impurezas (o que ocorre, por exemplo, com os minérios). Consideremos o caso do calcário, que é um mineral formado principalmente por  $\text{CaCO}_3$  (substância principal), porém acompanhado de várias outras substâncias (impurezas). Digamos que tenhamos 100kg do mineral calcário, porém, 90kg são compostos por  $\text{CaCO}_3$ , que é o componente principal desse minério e o que necessariamente vai reagir numa reação química qualquer. Sendo assim, dizemos que 90% de todo minério recolhido é  $\text{CaCO}_3$ , logo, 10kg são apenas impurezas, que, geralmente, não reagem e não entram no cálculo estequiométrico. Com essa análise chegamos a conclusão que essa amostra de minério tem 90% de pureza, ou seja, dos 100kg que nós recolhermos 90kg serão utilizados.

Sendo assim, define-se: Porcentagem ou grau de pureza é a porcentagem da massa da substância pura em relação à massa total da amostra.

Vejam um **exemplo**:

Uma amostra de calcita, contendo 80% de carbonato de cálcio, sofre decomposição quando submetida a aquecimento, segundo a equação abaixo:



Qual a massa de óxido de cálcio obtida a partir da queima de 800 g de calcita?

#### Resolução:

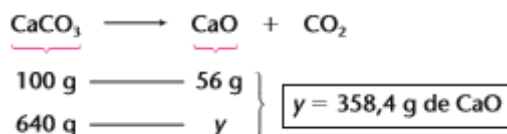
O enunciado nos diz que a calcita contém apenas 80% de  $\text{CaCO}_3$ . Temos então o seguinte cálculo de porcentagem:

1ª linha) 800 g de calcita ——— 100%

2ª linha) x g de  $\text{CaCO}_3$  ——— 80% de → Grau de pureza

X = 640 g de  $\text{CaCO}_3$  puro

Note que é apenas essa massa (640g de  $\text{CaCO}_3$  puro) que irá participar da reação. Assim, teremos o seguinte cálculo estequiométrico:



## 2º exemplo:

Deseja-se obter 180 L de dióxido de carbono, medidos nas condições normais de temperatura e pressão, pela calcinação de um calcário com 90% de pureza de  $\text{CaCO}_3$  (massas atômicas: C = 12; O = 16; Ca = 40). Qual é a massa de calcário necessária?



## Resolução:

Esta questão é do “tipo inverso” da anterior. Na anterior era dada a quantidade do reagente impuro e pedida a quantidade do produto obtido, agora é dada a quantidade do produto que se deseja obter e é pedida a quantidade do reagente impuro que será necessária. Pelo cálculo estequiométrico normal, teremos sempre quantidades de substâncias puras:

$$\begin{array}{l} \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \\ 100 \text{ g} \text{ — } 22,4 \text{ L (CNTP)} \\ x \text{ — } 180 \text{ L (CNTP)} \\ x = 803,57 \text{ g de CaCO}_3 \text{ puro} \end{array}$$

A seguir, um cálculo de porcentagem nos dará a massa de calcário impuro que foi pedida no problema:

$$\begin{array}{l} 803,57 \text{ g CaCO}_3 \text{ puro} \text{ — } 90\% \\ X \text{ g — } 100\% \end{array}$$

$$x = 892,85 \text{ g de calcário impuro}$$

Note que a massa obtida (892,85g) é forçosamente maior que a massa de  $\text{CaCO}_3$  puro (803,57g) obtida no cálculo estequiométrico, pois na massa do minério encontrada está contida as impurezas.

## Quando o rendimento da reação não é total

Vamos considerar a reação  $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ , supondo que deveriam ser produzidos 100 litros de  $\text{CO}_2$  (CNTP); vamos admitir também que, devido a perdas, foram produzidos apenas 90 litros de  $\text{CO}_2$  (CNTP), logo o rendimento foi de 90%.

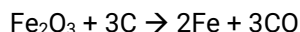
$$\begin{array}{l} 100 \text{ L} \text{ — } 100\% \\ 90 \text{ L} \text{ — } x \\ X = 90\% \end{array}$$

Em casos assim, dizemos que:

Rendimento é o quociente entre a quantidade de produto realmente obtida em uma reação e a quantidade que teoricamente seria obtida, de acordo com a equação química correspondente.

## Exemplo:

Num processo de obtenção de ferro a partir da hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), considere a equação balanceada:



Massas atômicas: C = 12; O = 16; Fe = 56

Utilizando-se 4,8 toneladas (t) de minério e admitindo-se um rendimento de 80% na reação, a quantidade de ferro produzida será de:

- a) 2.688 kg
- b) 3.360 kg
- c) 1.344 t
- d) 2.688 t
- e) 3.360 t

**Resolução:** Após o balanceamento da equação, efetuamos o cálculo estequiométrico da forma usual

$$\text{MMFe}_2\text{O}_3 = (56 \times 2) + (16 \times 3) = 160\text{g}$$

$$160\text{g de Fe}_2\text{O}_3 \text{ ——— } 112\text{g de Fe}$$

$$4,8 \times 10^6 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3 \text{ ——— } x$$

$$X = 3,36 \times 10^6 \text{ g}$$

$$3,36 \times 10^6 \text{ g ——— } 100\%$$

$$Y \text{ ——— } 80\%$$

$$Y = 2,688 \times 10^6 \text{ g ou } 2688 \text{ Kg}$$

## Gases fora das CNTP: Equação de Clapeyron

Definimos a equação geral dos gases de Clapeyron como:

$$PV = nRT$$

Podemos expressar o número de mol (n) da seguinte maneira também:

$$PV = \frac{m}{M.M} RT$$

Onde:

P = Pressão do gás (atm)

V = Volume do gás (L)

n = Quantidade do gás (mol)

m = Massa do gás (g)

M.M = Massa molar do gás(g)

R = Constante universal dos gases perfeitos ( $\text{L.atm.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

T = Temperatura do gás (medida em Kelvin)

**Volume molar fora das CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão)**

Definimos que uma substância está fora das CNTP se as condições de temperatura e pressão são diferentes de 0°C e 1 atm. Quando são usados valores randômicos para esses parâmetros calculamos seu volume a partir da equação de Clapeyron.

**Exemplo:**

Dada a reação:  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$

Sabendo que a massa de um mol de ferro é de 56g, calcule a massa de ferro produzida quando 8,2L de  $\text{CO}_2$  são formados a 2 atm e 127°C.

Primeiramente vamos calcular quantos litros de  $\text{CO}_2$  são produzidos quando, nas mesmas condições de temperatura e pressão dadas no texto, temos 3 mol do mesmo (quantidade estequiométrica de mol de gás  $\text{CO}_2$ )

$$PV = nRT$$

$$2 \cdot V = 3 \cdot 0,082 \cdot 400$$

$$V = 49,2\text{L}$$

Assim, quando se produz 2 mol de ferro nas condições dadas eu produzo 49,2L de  $\text{CO}_2$ , com uma regra de três, consigo estabelecer quantas gramas de ferro eu produziria com 8,2L de  $\text{CO}_2$ .

2x56 gramas de ferro — 49,2L de  $\text{CO}_2$

Y gramas de ferro — 8,2L de  $\text{CO}_2$

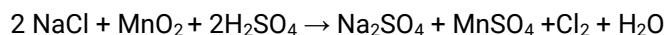
Y = 18,7g de ferro (aproximadamente)

---

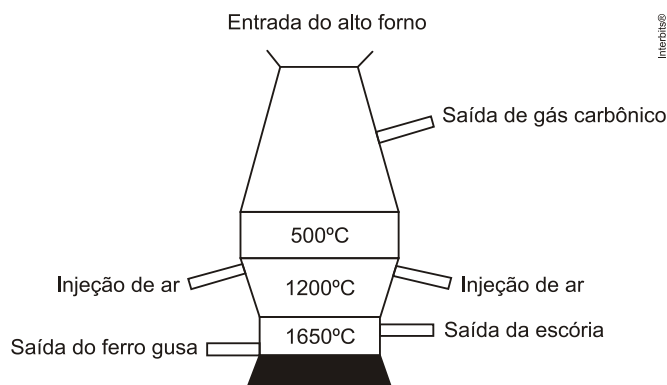
Quer ver este material pelo Dex? Clique [aqui](#)

## Exercícios

1. A equação abaixo representa a reação que se passa para obtermos o cloro. Considerando que ela teve um rendimento de 85%, que foi realizada na temperatura de 27°C e a uma pressão de 1,5 atm, e que utilizamos 500 g de sal, o volume de cloro obtido, em litros, é:



- a) 59,6  
b) 82,5  
c) 119,2  
d) 280,5  
e) 1.650,0
2. A figura abaixo representa simplificada um alto forno, uma espécie de cilindro vertical de grande altura, utilizado na indústria siderúrgica, dentro do qual a hematita, um minério de ferro composto de 70% de óxido de ferro (III) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e impurezas como a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), é transformada, após uma série de reações, em ferro gusa (Fe). Na entrada do alto forno, são colocados carvão coque (C) isento de impurezas, calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) e hematita.



Na tabela abaixo aparecem as temperaturas, as equações das reações químicas que ocorrem no alto forno bem como o processo ocorrido.

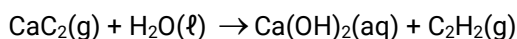
Temperatura	Processo ocorrido	Equações
1600 °C	Formação do gás redutor	$2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
700 °C	Redução do ferro	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
1000 °C	Formação da escória ( $\text{CaSiO}_3$ e $\text{CaAl}_2\text{O}_4$ )	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$ $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CaAl}_2\text{O}_4$

De acordo com o texto e com o processo ilustrado anteriormente, para se obter 28 kg de ferro gusa, além dos demais reagentes, será necessário adicionar, ao alto forno,

**Dados:** massas molares (g/mol): C = 12, Fe = 56 e  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 160$ .

- a) 40 kg de hematita.
- b) 24 kg de carvão coque.
- c) 70 kg de hematita.
- d) 57,15kg de minério.
- e) 18 kg de hematita.

3. O gás acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) pode ser produzido pela reação do carbeto de cálcio ( $\text{CaC}_2$ ) com água em geradores especiais, obtendo-se também o hidróxido de cálcio como subproduto, conforme a equação a seguir não balanceada.

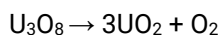


O volume de gás acetileno obtido, nas CNTP, a partir da reação de 400 g de carbeto de cálcio com 80 % de pureza e rendimento total, é igual a:

**Dado:** massa molar em (g/mol) H = 1, C = 12, O = 16 e Ca = 40.

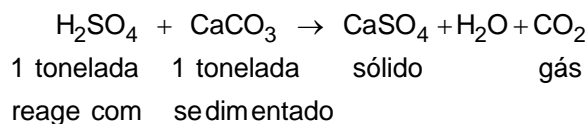
- a) 112,0 L.
- b) 140,0 L.
- c) 137,0 L.
- d) 44,8 L.
- e) 22,4 L.

4. Para se obter 1,5 kg do dióxido de urânio puro, matéria-prima para a produção de combustível nuclear, é necessário extrair-se e tratar-se 1,0 tonelada de minério. Assim, o rendimento (dado em % em massa) do tratamento do minério até chegar ao dióxido de urânio puro é de:



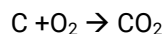
- a) 0,10 %.
- b) 0,15 %.
- c) 0,20 %.
- d) 1,5 %.
- e) 2,0 %.

5. Em setembro de 1998, cerca de 10.000 toneladas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) foram derramadas pelo navio Bahamas no litoral do Rio Grande do Sul. Para minimizar o impacto ambiental de um desastre desse tipo, é preciso neutralizar a acidez resultante. Para isso pode-se, por exemplo, lançar calcário, minério rico em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), na região atingida. A equação química que representa a neutralização do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  por  $\text{CaCO}_3$ , com a proporção aproximada entre as massas dessas substâncias é:



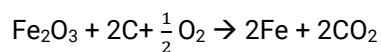
Pode-se avaliar o esforço de mobilização que deveria ser empreendido para enfrentar tal situação, estimando a quantidade de caminhões necessária para carregar o material neutralizante. Para transportar certo calcário que tem 80% de  $\text{CaCO}_3$ , esse número de caminhões, cada um com carga de 30 toneladas, seria próximo de:

- a) 100.
  - b) 200.
  - c) 300.
  - d) 400.
  - e) 500.
6. Uma indústria queima diariamente 1 200 kg de carvão (carbono) com 90% de pureza. Supondo que a queima fosse completa, o volume de oxigênio consumido para essa queima nas condições de  $0^\circ\text{C}$  e 1 atm seria de: (Dados: C = 12g)



- a) 22 800 L
- b) 22 800  $\text{m}^3$
- c) 24 200 L
- d) 24 200  $\text{m}^3$
- e) 2 016  $\text{m}^3$

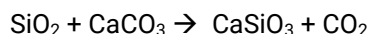
7. O ferro pode ser obtido a partir da hematita, minério rico em óxido de ferro, pela reação com carvão e oxigênio. A tabela a seguir apresenta dados da análise de minério de ferro (hematita) obtido de várias regiões da Serra de Carajás.



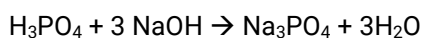
Minério da região	Teor de enxofre (S)/% em massa	Teor de ferro (Fe)/% em massa	Teor de sílica (SiO <sub>2</sub> )/% em massa
1	0,019	63,5	0,97
2	0,020	68,1	0,47
3	0,003	67,6	0,61
Fonte: ABREU, S. F. <i>Recursos minerais do Brasil</i> . Vol. 2. São Paulo: Edusp. 1973.			

No processo de produção do ferro, a sílica é removida do minério por reação com calcário (CaCO<sub>3</sub>). Sabe-se, teoricamente (cálculo estequiométrico), que são necessários 100g de calcário para reagir com 60g de sílica.

Dessa forma, pode-se prever que, para a remoção de toda a sílica presente em 200 toneladas do minério na região 1, a massa de calcário necessária é, aproximadamente, em toneladas, igual a:



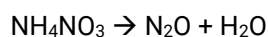
- a) 1,9.  
b) 3,2.  
c) 5,1.  
d) 6,4.  
e) 8,0.
8. 12,25 g de ácido fosfórico com 80% de pureza são totalmente neutralizados por hidróxido de sódio, numa reação que apresenta rendimento de 90%. A massa de sal obtida nesta reação é de: (Dados: massas atômicas: H = 1; O = 16; Na = 23; P = 31)



- a) 14,76 g  
b) 16,40 g  
c) 164,00 g  
d) 9,80 g  
e) 10,80 g



9. Quando o nitrato de amônio decompõe-se termicamente, produz-se gás hilariante ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e água. Se a decomposição de 100 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  impuro fornece 44 g de  $\text{N}_2\text{O}$ , a pureza do nitrato de amônio é:  
**Dados:** N = 14 ; H = 1 ; O = 16.



- a) 20%  
b) 40%  
c) 60%  
d) 80%  
e) 90%
10. Para responder à questão a seguir, considere o seguinte esquema de procedimento industrial para obtenção de gás nitrogênio ou azoto ( $\text{N}_2$ ):



Partindo de 200 L de ar contendo 5% de umidade e, sendo a porcentagem dos gases no ar seco em volumes, a opção que MAIS SE APROXIMA DO VOLUME MÁXIMO de  $\text{N}_2$  obtido em rendimento de 70% é:

- a) 105 L  
b) 120 L  
c) 133 L  
d) 150 L  
e) 158 L

## Gabarito

## 1. A

$$MM(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g/mol}$$

$$MM(\text{Cl}_2) = 71 \text{ g/mol}$$

$$\text{I. } n_{\text{NaCl}} = 8,55 \text{ mol}$$

$$\text{II. } 2 \text{ mol NaCl} \text{ ---- } 1 \text{ mol Cl}_2$$

$$8,55 \text{ mol NaCl} \text{ ---- } n$$

$$n = 4,275 \text{ mol Cl}_2$$

$$\text{III. } 4,275 \text{ mol Cl}_2 \text{ --- } 100\%$$

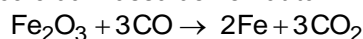
$$n \text{ --- } 85\%$$

$$n = 3,63 \text{ mol Cl}_2$$

$$\text{IV. } P V = n R T \rightarrow 1,5 V = 3,63 \times 0,082 \times 300 \rightarrow V = 59,6 \text{ L}$$

## 2. D

Cálculo da massa de hematita:



$$160 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3 \text{ ---- } 112 \text{ g de Fe}$$

$$m \text{ ---- } 28000 \text{ g de Fe}$$

$$m = 40000 \text{ g ou } 40 \text{ kg de óxido de ferro.}$$

Lembrar que o óxido de ferro corresponde a 70% do minério.

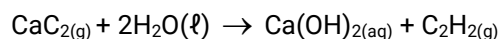
$$40 \text{ kg ---- } 70 \% \text{ do minério}$$

$$m \text{ ---- } 100 \%$$

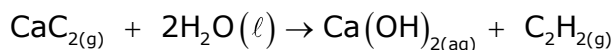
$$m = 57,15 \text{ kg de minério}$$

## 3. A

Em primeiro lugar devemos balancear a equação dada:



Agora podemos montar a proporção estequiométrica de acordo com as substâncias envolvidas e suas quantidades. Devemos levar em consideração que a porcentagem de pureza do carvão de cálcio é de 80 %, ou seja, a massa deste reagente deve ser multiplicada por 80 e dividida por 100, o que equivale a multiplicar por 0,80.



$$64 \text{ g} \text{ ---- } 22,4 \text{ L (CNTP)}$$

$$400 \text{ g} \times 0,80 \text{ ---- } V$$

$$V = 112,0 \text{ L}$$

4. B

$$MM(U_3O_8) = 3 \times 238 + 8 \times 16 = 842 \text{ g/mol}$$

$$MM(UO_2) = 270 \text{ g/mol}$$

$$I. \quad 1 \text{ mol } U_3O_8 \text{ ----- } 3 \text{ mol } UO_2$$

$$842\text{g} \text{ ----- } 3 \times 270\text{g}$$

$$10^6\text{g} \text{ ----- } m$$

$$\rightarrow m = 9,62 \times 10^5 \text{ g} \rightarrow m = 962 \text{ Kg}$$

$$II. \quad R = \frac{1,5}{962} \times 100\% = 0,15\%$$

5. D

$$MM(H_2SO_4) = 98 \text{ g/mol}$$

$$MM(CaCO_3) = 100 \text{ g/mol}$$

Como na questão considera que ácido sulfúrico reage com carbonato de cálcio 1t : 1t, então:

$$I. \quad 30 \text{ t} \text{ ----- } 100\%$$

$$m \text{ ----- } 80\% \quad \rightarrow m = 24\text{t } CaCO_3$$

$$II. \quad 1 \text{ caminhão} \text{ ----- } 24\text{t } CaCO_3$$

$$n \text{ ----- } 10000\text{t}$$

$$\rightarrow n = 417 \text{ caminhões}$$

6. E

$$I. \quad 1200\text{Kg} \text{ ---- } 100\%$$

$$m \text{ ---- } 90\% \rightarrow m = 1080 \text{ Kg}$$

$$II. \quad n = \frac{1080 \times 10^3 \text{ g}}{12 \text{ g/mol}} = 9 \times 10^4 \text{ mol}$$

$$III. \quad P V = nRT$$

$$1 \text{ V} = 9 \times 10^4 \times 0,082 \times 273 \rightarrow V = 2,016 \times 10^6 \text{ L} = 2016 \text{ m}^3$$

7. B

I. analisando a tabela:

$$SiO_2 : 200\text{t} \times \frac{0,97}{100} = 1,94\text{t}$$

$$II. \quad 100\text{g } CaCO_3 \text{ ----- } 60\text{g } SiO_2$$

$$m \text{ ----- } 1,94\text{t } SiO_2$$

$$\rightarrow m = 3,2\text{t}$$

8. A

$$I. \quad 12,25\text{g } H_3PO_4 \text{ ----- } 100\%$$

$$m \text{ ----- } 80\%$$

$$\rightarrow m = 9,8\text{g } H_3PO_4$$

$$II. \quad MM(H_3PO_4) = 98\text{g/mol}$$

$$MM(Na_3PO_4) = 164\text{g/mol}$$

$$1 \text{ mol } H_3PO_4 \text{ ----- } 1 \text{ mol } Na_3PO_4$$

$$98\text{g} \text{ ----- } 164\text{g}$$

$$9,8\text{g} \text{ ----- } m'$$

$$\rightarrow m' = 16,4\text{g } Na_3PO_4$$

$$\text{III. } m'' = 14,4g \times \frac{90\%}{100\%} \rightarrow m'' = 14,76g \text{ Na}_3\text{PO}_4$$

9. D

$$\text{MM}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80\text{g/mol}$$

$$\text{MM}(\text{N}_2\text{O}) = 44 \text{ g/mol}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{I. } 80\text{g NH}_4\text{NO}_3 & \text{-----} & 44 \text{ g N}_2\text{O} \\ & m & \text{-----} 44\text{g} \end{array} \rightarrow m = 80\text{g}$$

$$\text{II. } P = \frac{80}{100} \times 100\% = 80\%$$

10. A

I. Volume de ar seco

$$200 \times \frac{95}{100} = 190L$$

II. Volume de N<sub>2</sub>

$$190 \times \frac{79}{100} \times \frac{70}{100} = 105L$$