



PQI 3221:  
CINÉTICA QUÍMICA E PROCESSOS AMBIENTAIS

AULA 04

---

REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FENÔMENO EM ESTUDO:  
ELABORAÇÃO DE FLUXOGRAMAS

## FLUXOGRAMA DE PROCESSO

### Problema

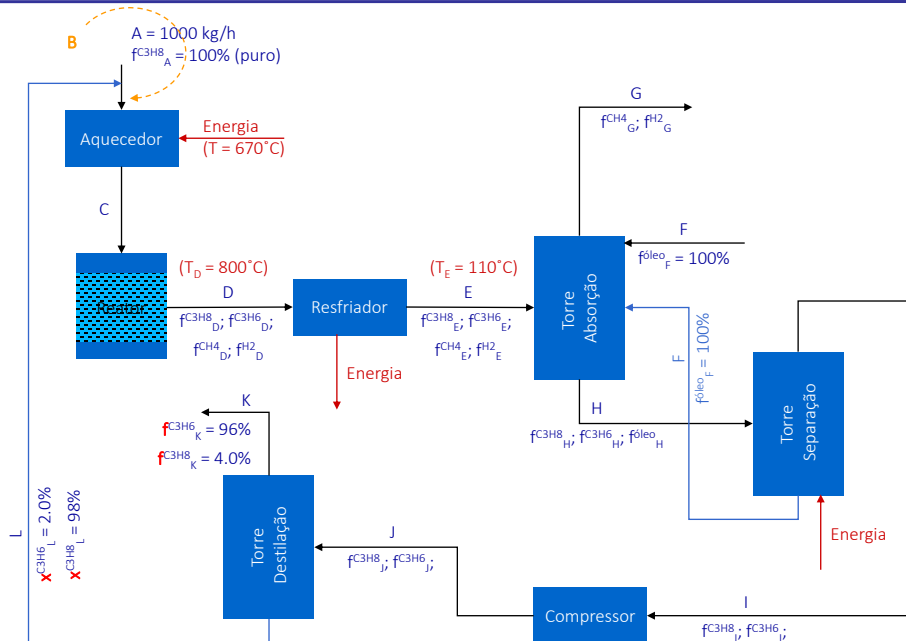
A desidrogenação catalítica do propano ( $C_3H_8$ ), ocorre em um reator de recheio que opera em regime contínuo. Exatos 1000 kg/h de  $C_3H_8$  puro são pré-aquecidos a uma temperatura de  $670^\circ C$  antes de passarem pelo reator. O efluente gasoso emanado desse equipamento – no qual estão incluídos propano, propileno, metano e hidrogênio – é resfriado de  $800^\circ C$  para  $110^\circ C$  e alimentado em uma torre de absorção na qual o  $C_3H_8$  e o  $C_3H_6$  são solubilizados em óleo.

A mistura óleo-hidrocarbonetos é enviada a uma torre de separação para que os gases sejam liberados por aquecimento.  $C_3H_6$  e  $C_3H_8$  são recomprimidos e enviados a uma torre de destilação onde serão separados entre si. O  $C_3H_8$  será circulado a fim de se juntar à alimentação do pré-aquecedor do reator. O produto de topo da torre de destilação contém 96%  $C_3H_6$  em massa, enquanto a corrente de reciclo, 98% molar de  $C_3H_8$ . O óleo separado é circulado novamente para a torre de absorção.

Pede-se:

- A) Construir o fluxograma que descreve o processo em questão
- B) Identificar as correntes que circulam por ele com os dados disponíveis

3



4

---

## PROCESSOS DE MISTURA

### Problema

Uma solução aquosa contém 20% de NaOH em massa. A partir dela, pretende-se produzir uma solução com 8,0% NaOH e, para tanto, a solução original será diluída com água pura.

Para esse contexto, pede-se que sejam calculadas:

- Desenhar o diagrama de blocos do processo indicando as correntes envolvidas e demais informações disponíveis no enunciado
- Razão  $R_1$  = (quantidade de água / quantidade alimentada);
- Razão  $R_2$  = (quantidade de produto / quantidade água)

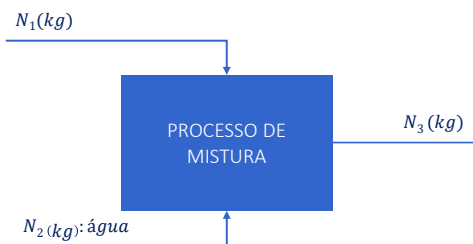
---

5

---

## SOLUÇÃO

- Desenhar o diagrama de blocos do processo indicando as correntes envolvidas e demais informações disponíveis no enunciado



---

6

---

## SOLUÇÃO

Um balanço constituído para qualquer quantidade conservada (p.e. massa, quantidade de matéria, massa específica, energia, momento, entre outros) em um dado sistema, o qual pode corresponder a um processo simples, uma coleção de unidades interligadas ou mesmo, uma planta inteira, será descrito como:

$$[A] = [E] - [S] + [G] - [C]$$

Onde:

[A]: ACÚMULO – variação quantidade conservada;

[E]: ENTRADA – quantidade de matéria que entra pela fronteira do sistema;

[S]: SAÍDA – quantidade de matéria que saem pela fronteira do sistema;

[G]: GERAÇÃO – matéria produzida no sistema por transformação de reagentes;

[C]: CONSUMO – matéria consumida no sistema para a geração de produtos;

---

7

---

## SOLUÇÃO

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$A = E - S + G - C$$

Hipóteses:

a) Não há reação química  
 $G = C = zero$

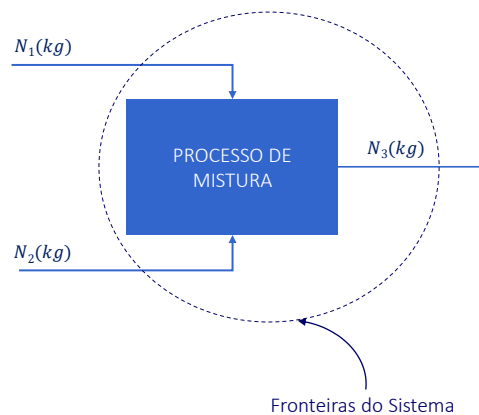
b) Não há acúmulo  
 $A = zero$

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$E = S$$

Ou seja,

$$N_1 + N_2 = N_3 \quad (\text{Equação 1})$$



---

8

---

## SOLUÇÃO

A partir da Equação Geral de Balanço de Matéria é então possível combinar variáveis que deveremos usar para calcular o que se pede no problema. Isso se daria da seguinte forma:

$$N_1 + N_2 = N_3$$

Se além disso, pudéssemos transformar uma das variáveis dessa equação em valor conhecido, as coisas ficariam mais fáceis.

O que você sugere para conseguirmos isso??

Uma ideia seria definir uma das correntes como **base de cálculo**. Por exemplo, façamos isso com  $N_3$ . Nesse caso, como os valores indicados no enunciado são concentrações mássicas expressas em valores relativos (%) uma base de cálculo de **100 kg/h** ajudaria bastante. Com isso, a Equação 1 fica:

$$N_1 + N_2 = 100$$

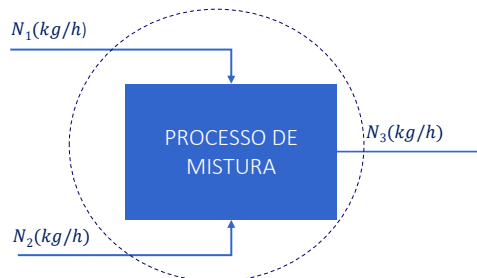
---

9

---

## SOLUÇÃO

Note que a partir disso, todas as estimativas serão realizadas tendo em conta que  $N_3 = 100 \text{ kg/h}$



Balanço Global:

$$E_{\text{totais}} = S_{\text{totais}} \rightarrow \sum E = \sum S$$

$$N_1 + N_2 = N_3$$

$$N_1 + N_2 = 100$$

(Equação 1)

---

10

---

## SOLUÇÃO

Nesse momento temos uma equação e duas incógnitas!

Assim, precisamos encontrar outra equação que represente o fenômeno em estudo, e ao mesmo tempo, relacione as mesmas variáveis que a Equação 1. Apenas dessa forma resolveremos o problema!

Essa equação, ou 'recurso de balanço' existe e se chama **BALANÇO COMPONENTE**

O Balanço Componente pode ser entendido da seguinte maneira:

Se a somatória de todas as correntes de entradas é igual à somatória de todas as correntes de saída, então a somatória **dos componentes** de todas as correntes de **entrada** será **igual** à somatória **dos componentes** de todas as correntes de **saída**

Ou seja, se

$$E_1 + E_2 + \dots + E_n = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$

Então,

$$(E_1^A + E_1^B + \dots) + (E_2^A + E_2^B + \dots) + \dots = (S_1^A + S_1^B + \dots) + (S_2^A + S_2^B + \dots) + \dots$$

em que  $A, B, \dots$  são substâncias que compõem as correntes  $E_1, E_2, \dots$

---

11

---

## SOLUÇÃO

Além disso, pode-se dizer também para o caso de um balanço em estado estacionário e sem reação, que as quantidades dos componentes se conservam.

Ou seja, para nosso problema em específico, o que entra de NaOH no sistema é igual ao que sai de NaOH do sistema, assim como o que entra de H<sub>2</sub>O no sistema é igual ao que sai de H<sub>2</sub>O do sistema.

Logo, a equação de Balanço Global pode ser escrita assim:

$$N_1 + N_2 = N_3$$

e, a partir disso,

$$(N_1^{NaOH} + N_1^{H_2O}) + (N_2^{NaOH} + N_2^{H_2O}) = (N_3^{NaOH} + N_3^{H_2O})$$

Nesse contexto, separando as variáveis teremos:

$$N_1^{NaOH} + N_2^{NaOH} = N_3^{NaOH}$$

$$N_1^{H_2O} + N_2^{H_2O} = N_3^{H_2O}$$

---

12

---

## SOLUÇÃO

Assim, percebemos que a equação que faltava para solucionar o problema sai do balanço componente

$$N_1^{NaOH} + N_2^{NaOH} = N_3^{NaOH} \quad (\text{Equação 2})$$

ou

$$N_1^{H_2O} + N_2^{H_2O} = N_3^{H_2O} \quad (\text{Equação 3})$$

### ATENÇÃO!

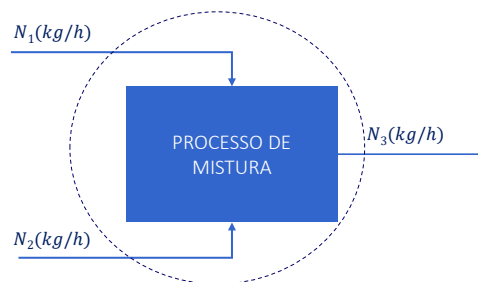
Muito embora fazendo balanços componentes tenhamos agora três equações para resolver o problema, elas **NÃO** poderão ser usadas simultaneamente, já que são interdependentes. Isso que dizer que quando duas delas (quaisquer duas...) se interrelacionam, acabam resultando na terceira.

---

13

---

## SOLUÇÃO



Balanço Componente: NaOH

$$\sum E_{NaOH} = \sum S_{NaOH}$$

$$(20/100).N_1 + 0,00 = (8/100).N_3$$

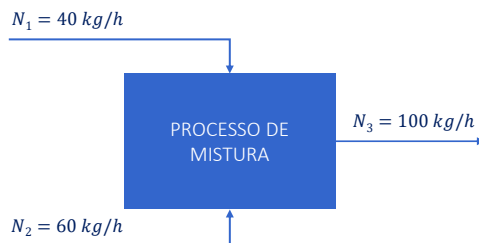
$$N_1 = 40\text{kg/h e } N_2 = 60\text{kg/h}$$

---

14

---

## SOLUÇÃO



Relações:

$$R_1 = \left( \frac{N_2}{N_1} \right) = 60/40 = 3/2$$

$$R_2 = \left( \frac{N_3}{N_2} \right) = 100/60 = 5/3$$

---

15

---

## PROCESSOS DE DESTILAÇÃO

### Problema

Uma mistura líquida formada por Benzeno (B) e Tolueno (T) em proporção mássica 45:55 é alimentada a uma coluna de destilação.

A corrente de topo que deixa o equipamento contém 95% (mol) de Benzeno, e a de fundo, 8,0% de todo o Benzeno alimentado ao sistema. Finalmente, sabe-se que a corrente de alimentação tem vazão volumétrica de 2000 L/h e sua densidade  $\rho = 0,872 \text{ g/cm}^3$ .

Pede-se:

- Determine o valor da corrente de topo em base mássica
- Determine o valor da corrente de fundo em base mássica
- Calcule a composição da corrente de fundo em base molar

---

16



---

## “SCALE UP” DE PROCESSOS

### Problema

Uma mistura 60-40 (em base molar) estabelecida entre os compostos A e B será separada em quantidades iguais. O fluxograma do processo em questão aparece representado a seguir.



### Pede-se:

- Ajustar as vazões do sistema em questão atingindo os mesmos níveis de separação para o caso de uma alimentação contínua, realizada à razão de 1250 mol/h;
- Seria possível ajustar as vazões de topo e fundo do processo de separação de forma a obter quantidades iguais de A e B nas correntes  $N_2$  e  $N_3$ ? Justifique de maneira fundamentada sua resposta.

---

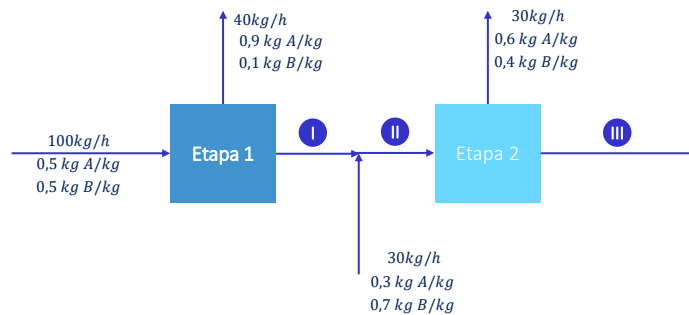
17

---

## PROCESSOS COM MÚLTIPLAS UNIDADES

### Problema

Considere um processo que opera em estado estacionário, constituindo de múltiplas unidades conectadas entre si na forma como indicado no fluxograma abaixo.



### Pede-se:

Calcule as taxas e composições das correntes I, II e III.

---

18