



PQI 3221:  
CINÉTICA QUÍMICA E PROCESSOS AMBIENTAIS

AULA 05

---

1

---

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:

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

---

2

---

## EQUAÇÃO GERAL DE BALANÇO

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;

---

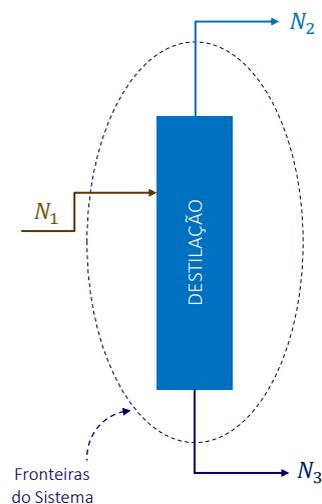
3

---

## SOLUÇÃO

Caracterização de Correntes:

Alimentação	$N_1$
Produto de topo	$N_2$
Produto de fundo	$N_3$



---

4

## SOLUÇÃO

Equação Geral de Balanço de Matéria

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

Hipóteses:

a) Não há reação química  
 $G = C = \text{zero}$

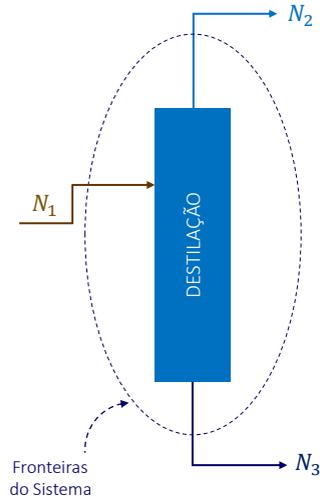
b) Não há acúmulo  
 $A = \text{zero}$

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$E = S$$

Ou seja,

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



5

## SOLUÇÃO

- 1) De acordo com o que informa o enunciado, a mistura líquida formada por (B) e (T) é alimentada à coluna na proporção mássica 45:55

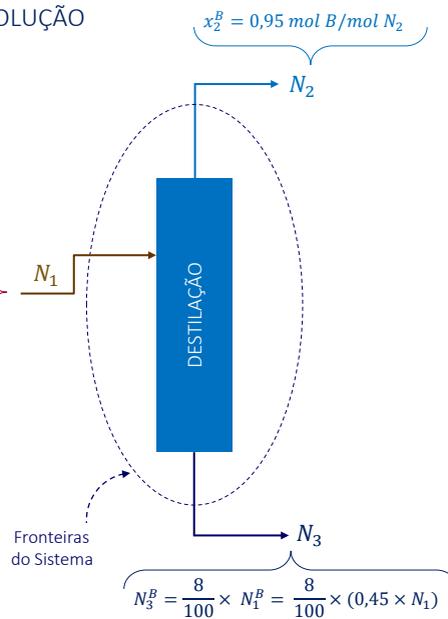
$$f_1^B = 0,45 \text{ kg} \frac{B}{\text{kg} N_1} \rightarrow N_1^B = (0,45 \times N_1)$$

$$f_1^T = 1 - 0,45 = 0,55 \text{ kg} \frac{T}{\text{kg} N_1}$$

$$\rightarrow N_1^T = (0,55 \times N_1)$$

- 2) A corrente de topo apresenta 95% (B) em base molar

- 3) Além disso, 8,0% de todo (B) que é alimentado ao sistema sai na corrente de fundo. Dado que a massa se conserva, admitamos que a consideração valha então para base mássica



6

---

## SOLUÇÃO

Conceito:

A variável  $x_2^B (= x_{N_2}^B)$  refere-se à fração molar de (B) na corrente  $N_2$ .

Isso quer dizer que

$$x_2^B = \frac{\text{número de mols de B em } N_2}{\text{número total de mols em } N_2} = \left[ \frac{\left( \frac{\text{massa de B}}{\text{Massa Molar B}} \right)}{\left( \frac{\text{massa de B}}{\text{Massa Molar B}} + \frac{\text{massa de T}}{\text{Massa Molar T}} \right)} \right]$$

Da mesma forma – e tal como no caso de base mássica –, para o caso dessa mistura binária, na corrente em referência,

$$x_2^B = 1 - x_2^T$$

---

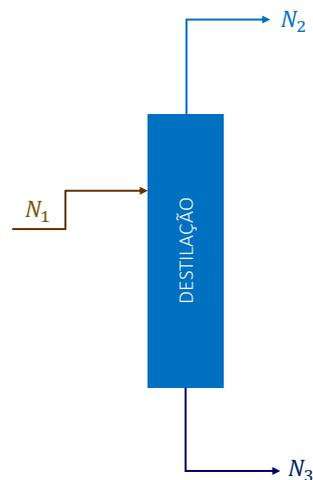
7

---

## SOLUÇÃO

Perguntas orientativas

- Para a solução do problema, você acha importante definir uma Base de Cálculo?
- Em caso afirmativo, onde – ou seja, em qual das correntes – ela seria colocada?
- Que quantidade melhor define a Base de Cálculo?
- E, talvez nesse caso com maior importância do que em outros, em que unidade a Base de Cálculo deve ser formulada?



---

8

---

## SOLUÇÃO

Alternativas para colocação de base de Cálculo

Antes de mais nada, lembre-se que...

Não existe uma receita para a fixação de base de cálculo. A escolha da corrente mais adequada para a atribuição de um valor arbitrário determinado por você depende da análise das alternativas disponíveis

Vejamos as opções para o problema em questão:

$N_1$ : colocando a base de cálculo nessa corrente seria possível saber, imediatamente, as contribuições em termos de quantidades mássicas de (B) e (T). Por outro lado, não conseguiríamos obter maiores informações sobre  $N_2$

$N_3$ : fixada a base de cálculo nessa corrente, também não seria possível obter, sem fazer cálculos adicionais, maiores informações de balanço

$N_2$ : colocada aqui, a base de cálculo ajudaria a determinar a contribuição de (B) – e portanto, também de (T) – para a corrente de topo. No entanto, para aproveitar os dados do problema, esta base de cálculo deveria ser expressa em quantidade de matéria. Depois, com a ajuda das massas molares de (B) e (T), a corrente  $N_2$  precisaria ser convertida em uma corrente mássica para que a solução do problema pudesse seguir.

---

9

---

## SOLUÇÃO

Bem, olhando as alternativas, sigamos com a última das opções. Assim,

$$\tilde{N}_2 = 100 \text{ kmol/h}$$

Logo,

$$\tilde{N}_2^B = 95\% \times \tilde{N}_2 = \frac{95}{100} \times \tilde{N}_2 = 95 \text{ kmol/h}$$

se MM  $C_6H_6 = 78 \text{ g/mol}$ , então

$$N_2^B = 95 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \times 78 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 7410 \text{ kg/h}$$

Por conta disso,

$$\tilde{N}_2^T = 5,0\% \times \tilde{N}_2 = \frac{5}{100} \times \tilde{N}_2 = 5,0 \text{ kmol/h} = 460 \text{ kg/h} \text{ (pois MM } C_7H_8 = 92 \text{ g/mol)}$$

Assim,

$$N_2 = 7410 + 460 = 7870 \text{ kg/h}$$

---

10

## SOLUÇÃO

Fazendo agora um balanço componente para (B), podemos concluir que: se 8,0% de todo (B) alimentado à torre de destilação sai na corrente de fundo, os demais 92% o farão pela corrente de topo. Portanto:

Ou seja,

$$N_1^B = N_3^B + N_2^B$$

$$N_1^B = \frac{8,0}{100} N_1^B + \frac{92}{100} N_1^B$$

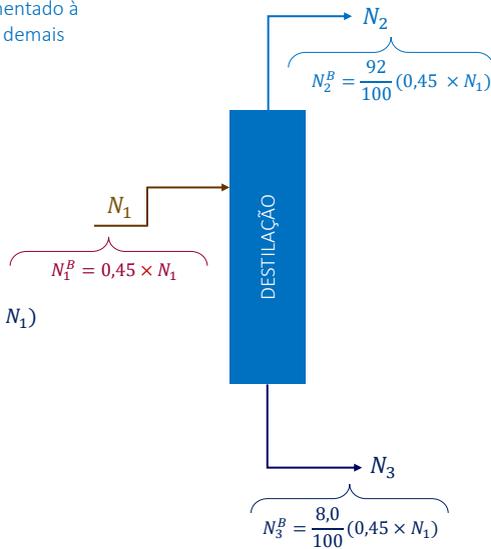
$$0,45 \times N_1 = \frac{8,0}{100} (0,45 \times N_1) + \frac{92}{100} (0,45 \times N_1)$$

Mas, como vimos antes,  $N_2^B = 7410 \text{ kg/h}$

Então,

$$0,45 \times N_1 = 7410 + \frac{8,0}{100} (0,45 \times N_1)$$

$$N_1 = 17898,55 \text{ kg/h}$$



11

## SOLUÇÃO

Pela Equação do Balanço Global:

$$N_3 = N_1 - N_2 = 17898,55 - 7870 = 10028,55 \text{ kg/h}$$

No entanto, há um aspecto a ser considerado. O enunciado informa que, a corrente **real** de alimentação do sistema ( $N_1$ ) apresenta vazão volumétrica de 2000 L/h e que o valor de sua densidade  $\rho = 0,872 \text{ g/cm}^3$ .

Por conta disso, pode-se dizer que:

$$N_1 = (2000) \cdot (0,872) = N_2 + N_3$$

$$1744 = N_2 + N_3$$

Logo, para efetuar a adequação entre correntes 'reais' e 'projetada' (a partir da fixação de uma base de cálculo) um ajuste deve ser feito. Esse ajuste se dá pela aplicação de um fator de conversão ( $= f$ ):

$$f = \frac{N_{1(\text{real})}}{N_{1(\text{projetada})}} = \frac{1744}{17898,55} = 0,0974$$

12

---

## “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.

---

13

---

## EQUAÇÃO GERAL DE BALANÇO

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;

---

14

---

## SOLUÇÃO

Equação Geral de Balanço de Matéria

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

Hipóteses:

a) Não há reação química  
 $G = C = \text{zero}$

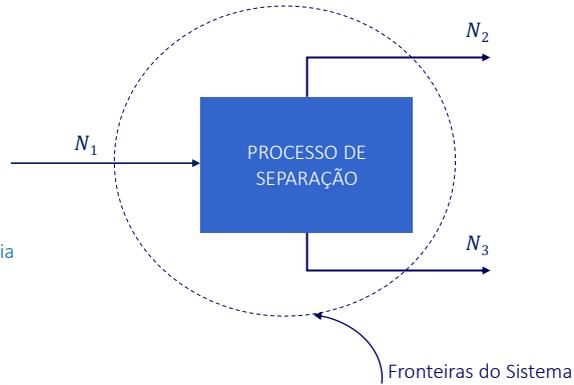
b) Não há acúmulo  
 $A = \text{zero}$

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$E = S$$

Ou seja,

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



---

15

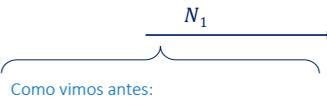
---

## SOLUÇÃO

Pelo enunciado, a corrente que entra no sistema ( $N_1$ ) será dividida em duas outras correntes iguais entre si.

Ou seja,

$$N_2 = N_3 = \frac{N_1}{2}$$



$$x = \left[ \frac{\text{número de mols de uma especie química}}{\text{número de mols totais}} \right]$$

Então, se

$$x_1^A = 0,60 \frac{\text{mol A}}{\text{mol } N_1}$$

E como,

$$x_1^A + x_1^B = 100\% = 1$$

$$x_1^B = 1 - x_1^A$$

$$x_1^B = 0,40 \frac{\text{mol B}}{\text{mol } N_1}$$

$$N_3^B = \frac{75}{100} N_3$$

---

16

---

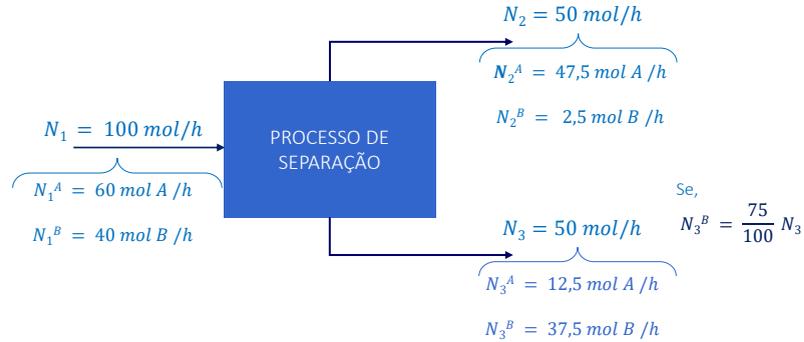
## SOLUÇÃO

Nesse caso, há necessidade de colocação de uma Base de Cálculo?  
Em caso afirmativo, onde ela seria mais conveniente, em que quantidade e com qual unidade?

Sim, aparentemente uma boa opção seria  $N_1 = 100 \text{ mol/h}$

Como,

$$N_2 = N_3 = \frac{N_1}{2}$$



---

17

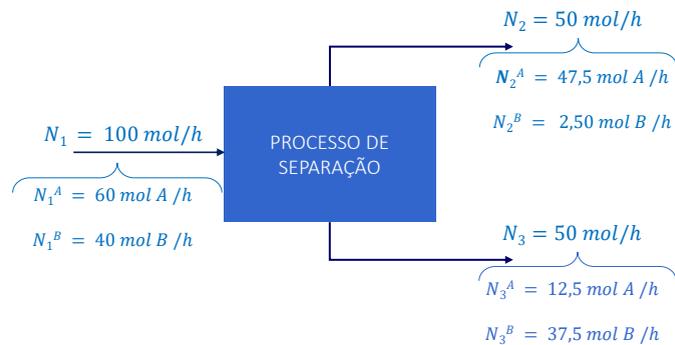
---

## “SCALE UP” DE PROCESSOS

Supondo agora que um ‘scale up’ de processo seja feito para  $N_1 = 1250 \text{ mol/h}$ .

Isso corresponde a multiplicar a corrente de entrada em 12,5 vezes.

Como resultado disso, todas as demais correntes serão corrigidas pelo mesmo fator



---

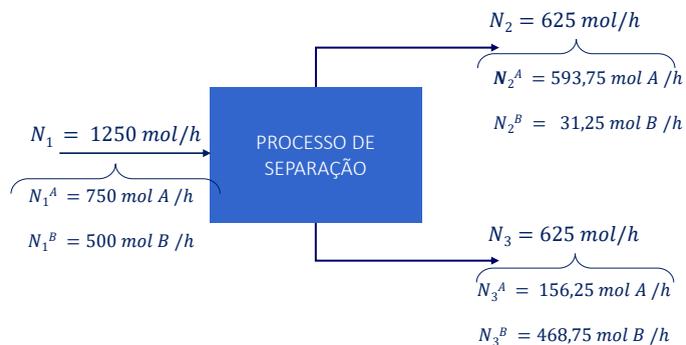
18

## “SCALE UP” DE PROCESSOS

Supondo agora que um ‘scale up’ de processo seja feito para  $N_1 = 1250 \text{ mol/h}$ .

Isso corresponde a multiplicar a corrente de entrada em 12,5 vezes.

Como resultado disso, todas as demais correntes serão corrigidas pelo mesmo fator

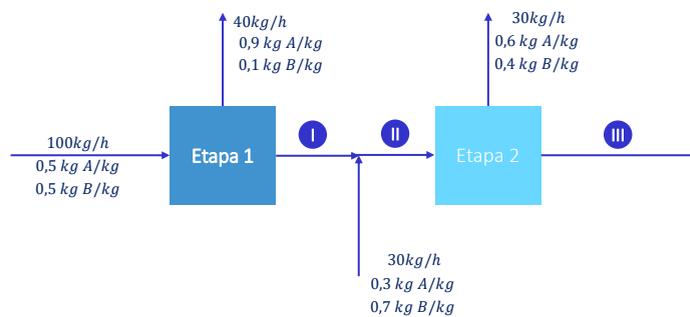


19

## PROCESSOS COM MÚLTIPLAS UNIDADES

Problema

Considere um processo que opera em estado estacionário, constituído 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.

20

---

## RECICLO E BY-PASS

### Problema

Ar fresco contendo 4,00% mol de vapor de água será resfriado e desumidificado em unidade de ar condicionado até que seja atingido um patamar de 1,70% mol  $H_2O_{(v)}$ . Para tanto, o ar fresco será misturado a uma parte da corrente de ar desumidificado, originando assim uma corrente resultante com umidade de 2,30% mol, que irá alimentar a unidade de resfriamento.

Uma parcela da água presente na corrente de entrada se condensa, sendo removida do sistema em fase líquida. Já a quantidade excedente de ar desumidificado é lançado no ambiente.

Tomando por base de cálculo a geração de 100 mol de ar desumidificado para o exterior, calcule:

- A quantidade (em base molar) de ar fresco alimentado ao sistema;
- O número de mols de  $H_2O$  condensada;
- O número de mols de ar desumidificado que será recirculado dentro do sistema.

---

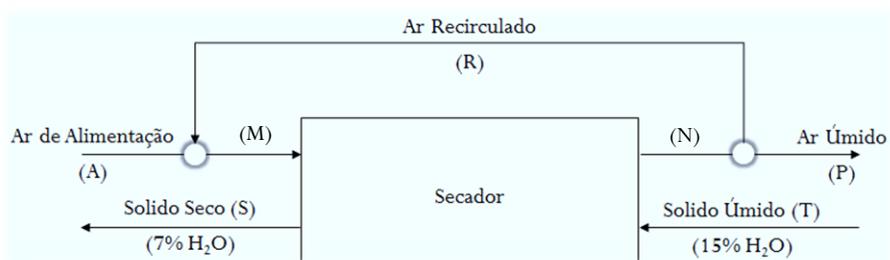
21

---

## EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO – PROCESSOS DIVERSOS

### Problema

Considere a secagem de 1000 kg de um sólido úmido por ar, da forma como aparece indicado no esquema que segue abaixo



A corrente de 'Ar de Alimentação' (A) contém 0,01 kg água / kg ar seco e, à saída, o 'Ar Úmido' (P) apresenta 0,10 kg água / kg ar seco. Por outro lado, na entrada do secador (M) a mesma proporção (água: ar seco) passa a ser de 0,03 kg /kg.

Para essas condições calcule:

- A quantidade de 'Ar de Alimentação' (A) necessária para que o processo ocorra em Estado Estacionário;
- A quantidade de ar reciclado (R).

---

22