



Curso de Engenharia Química  
Operações Unitárias II – 2016/2

Prof. Rodolfo Rodrigues

Lista 5: Absorção e Regeneração

### Exercício 1\*

(Geankoplis, 2003, Exemplo 10.3-2)

Deseja-se absorver 90% da acetona de uma corrente de ar contendo 1 mol% de acetona em uma coluna de absorção em contracorrente. O gás total alimentado na coluna é de 30 kmol/h e vazão total de água pura usada para absorver a acetona é de 90 kmol/h. O processo é operado isotermicamente à 300 K e a uma pressão total de 101,3 kPa. A relação de equilíbrio para a acetona é  $y = 2,53x$ .

- Determine graficamente, através do método de McCabe-Thiele, o número de estágios teóricos requeridos para a separação.
- Determine analiticamente, através da equação de Kremser, o número de estágios teóricos requeridos para a separação.

Utilize a **Fig. 1a** para resolução do exercício.

Respostas: (a)  $N = 5,2$ . (b)  $N = 5,04$ .

### Exercício 2

(Seader & Henley, 2006, Exercício 6.7)

O gás produzido por um processo de fermentação alcoólica consiste de uma mistura ar-CO<sub>2</sub> contendo 10 mol% de CO<sub>2</sub> que é absorvido em uma solução de amina, contendo 0,04 mol de dióxido de carbono por mol de solução de amina. Se a coluna de absorção opera isotermicamente à 25°C, se o produto líquido contém 78,4% de CO<sub>2</sub> do gás alimentado no absorvedor, e se a absorção é conduzida por uma coluna de 6 estágios teóricos, calcule:

- A quantidade de mol de solução de amina requerida por mol de ar.
- A composição do gás de saída.

Utilize a **Fig. 1b** para resolução do exercício.

Respostas: (a) 2,05 mol de solução de amina requerida por mol de ar. (b) 2,34 mol% de CO<sub>2</sub> e 97,66 mol% de ar.

### Exercício 3

(Wankat, 2012, Problema D10)

Uma torre de regeneração com 4 estágios de equilíbrio está sendo utilizada para remover amônia de um efluente líquido usando ar como solvente. A torre opera à 80°F e

1 atm. O ar é alimentado puro e a corrente de efluente líquido contém uma fração molar de amônia de 0,02. A coluna opera com  $L/G = 0,65$ . Os dados de equilíbrio em fração molar são dados como  $y = 1,414x$ . Encontre as concentrações das correntes de saída.

Resposta:  $y_{out} = 0,01267$  e  $x_{out} = 4,93 \times 10^{-4}$ .

### Exercício 4

(Azevedo & Alves, 2012, Problema 7.8)

Um composto orgânico volátil (VOC) dissolvido em uma corrente aquosa é removido em um regenerador, usando 500 lb/h de ar em contracorrente. A corrente a ser tratada tem uma razão mássica de VOC igual  $X = 0,1$ , sendo de 500 lb/h a vazão de água livre de soluto. A concentração de VOC na corrente tratada não deve exceder  $X = 0,005$ . Admitindo que a água é não-volátil e que a solubilidade do ar é desprezível, determine:

- O número de estágios de equilíbrio.
- A razão mássica de VOC na corrente gasosa na saída do regenerador.

Dados de equilíbrio líquido-vapor do sistema VOC-água nas condições de operação:  $Y = 1,5X$ .

Respostas: (a) 5. (b) 0,095.

### Exercício 5\*

(Wankat, 2012, Exemplo 12-1)

São processados 1000 kmol/h de ar contendo 100 ppm (mol) de clorofórmio à 25°C e 2 atm. Planeja-se absorver o clorofórmio com água pura à 25°C. A operação é feita à  $L/G = 1,4 \cdot (L/G)_{\min}$ .

- Quantos estágios de equilíbrio são requeridos para se obter uma corrente de ar contendo 10 ppm de clorofórmio?
- Determine o número de estágios de equilíbrio da condição dada no item (a) utilizando a equação de Kremser.

Considere que os dados de equilíbrio do clorofórmio em água obedecem a lei de Henry. São dadas a constante de Henry como 211,19 atm e a solubilidade do clorofórmio como 1 190,1 ppm (mol). Utilize a **Fig. 3b** para resolução do exercício.

Respostas: (a)  $N = 4,4$ . (b)  $N = 4,5$ .

## Exercício 6

(Seader & Henley, 2006, Exercício 6.9)

Uma planta de recuperação de solvente consiste de uma coluna de absorção e uma coluna de regeneração. 90% de benzeno (B) na corrente de gás são recuperados na coluna de absorção. A concentração de benzeno na corrente gasosa de entrada é 0,06 mol B/mol de gás livre de B. O óleo que entra no topo do absorvedor contém 0,01 mol B/mol óleo puro. No líquido que deixa o processo,  $X = 0,19$  mol B/mol óleo puro. A temperatura de operação é 25°C.

Vapor superaquecido é usado para regenerar benzeno do óleo rico em benzeno a 110°C. A concentração de benzeno no óleo é igual a 0,19 e 0,01 (razão molar) na entrada e na saída, respectivamente. A razão de vazão de óleo (puro) por vapor (livre de benzeno) é 2,0. Os vapores são condensados, separados e removidos. A partir das curvas de equilíbrio representadas na **Fig. 4**, calcule:

- A quantidade de óleo livre de B por mol de gás livre de B utilizada no absorvedor.
- O número de estágios teóricos na coluna de absorção.
- A quantidade mínima de vapor requerida por mol de óleo, assumindo número infinito de pratos na coluna.

Respostas: (a) 0,3 mol de óleo livre de B por mol de gás livre de B. (b) 9–10 estágios teóricos. (c) 0,33 mol de vapor d'água livre de B por mol de óleo livre de B.

## Formulário

- Relação entre razão molar ( $X, Y$ ) e fração molar ( $x, y$ ):

$$X = \frac{x}{1-x} \quad (1)$$

$$Y = \frac{y}{1-y} \quad (2)$$

- Cálculo de  $K_i$ :

– Lei de Raoult:

$$K_i = \frac{p_i^{sat}}{p} \quad (3)$$

– Lei de Raoult modificada:

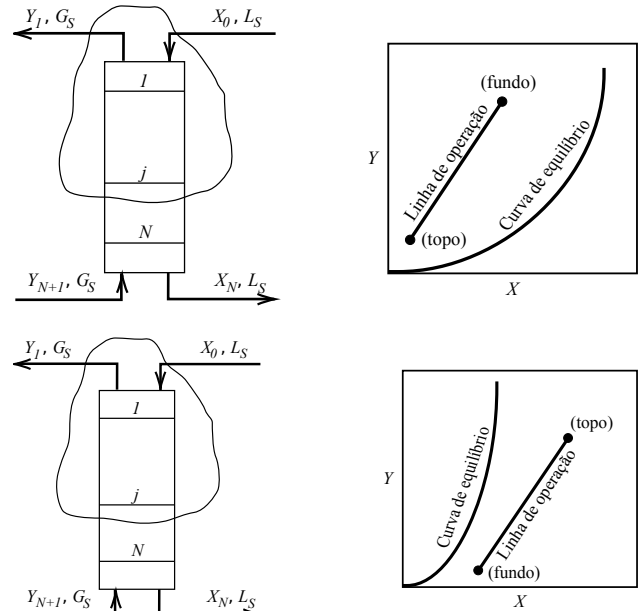
$$K_i = \frac{\gamma_{i,L}^{\infty} \cdot p_i^{sat}}{p} \quad (4)$$

– Lei de Henry:

$$K_i = \frac{H_i}{p} \quad (5)$$

- Linha de operação de absorção:

$$Y_{j+1} = \left(\frac{L_S}{G_S}\right) X_j + \left(Y_1 - \frac{L_S}{G_S} X_0\right) \quad (6)$$



- Linha de operação de regeneração (*stripping*):

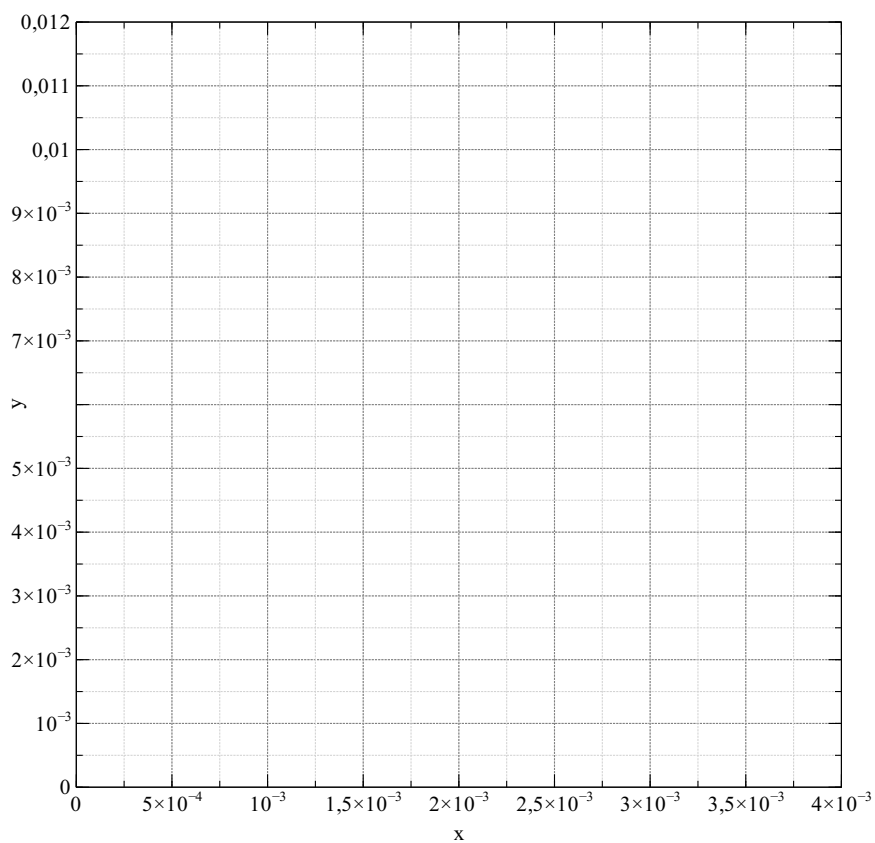
$$Y_{j+1} = \left(\frac{L_S}{G_S}\right) X_j + \left(Y_1 - \frac{L_S}{G_S} X_0\right) \quad (7)$$

- Equação de Kremser (para  $L/G \neq m$ ):

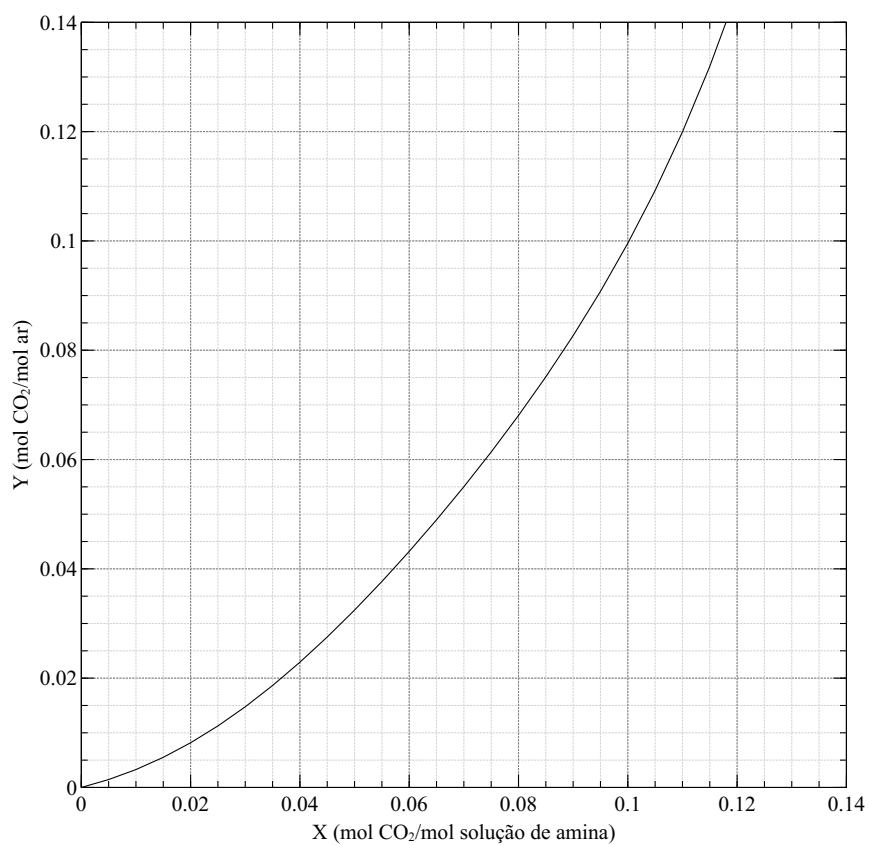
$$N = \frac{\ln \left[ \left(1 - \frac{1}{A}\right) \left(\frac{y_{N+1} - m \cdot x_0}{y_1 - m \cdot x_0}\right) + \frac{1}{A} \right]}{\ln A} \quad (8)$$

$$N = \frac{\ln \left[ \left(1 - \frac{1}{S}\right) \left(\frac{x_0 - y_{N+1}/m}{x_N - y_{N+1}/m}\right) + \frac{1}{S} \right]}{\ln S} \quad (9)$$

onde  $A = L/mG$  e para um caso de regeneração,  $S = 1/A$ .

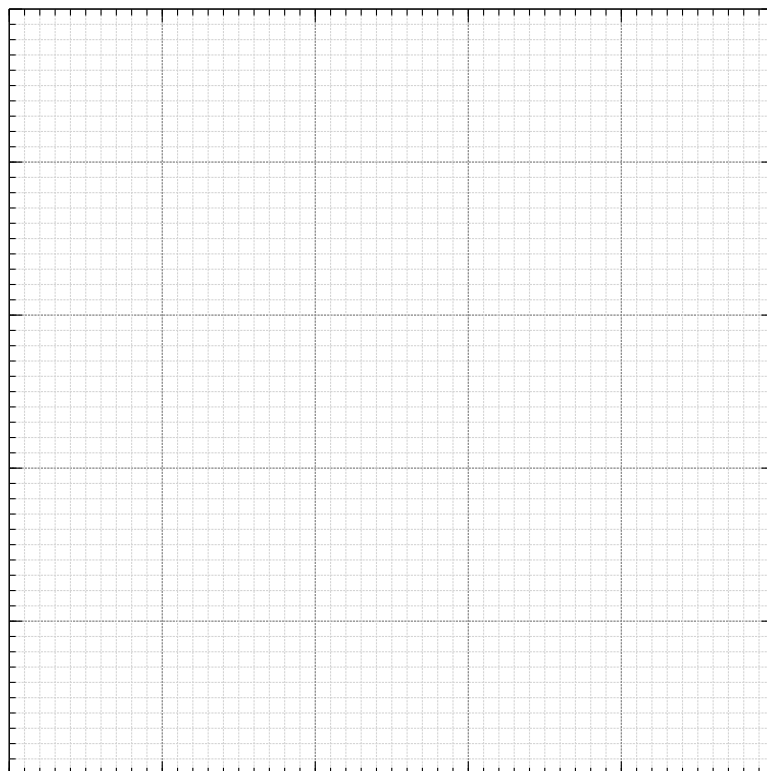


(a) Exercício 1.

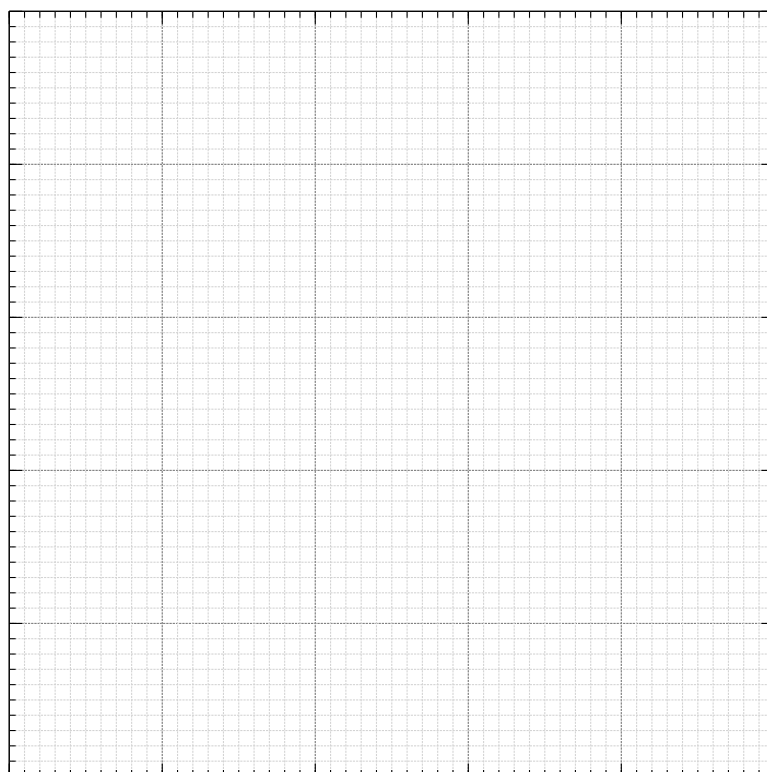


(b) Exercício 2.

Figura 1: Diagramas para os exercícios 1 e 2.

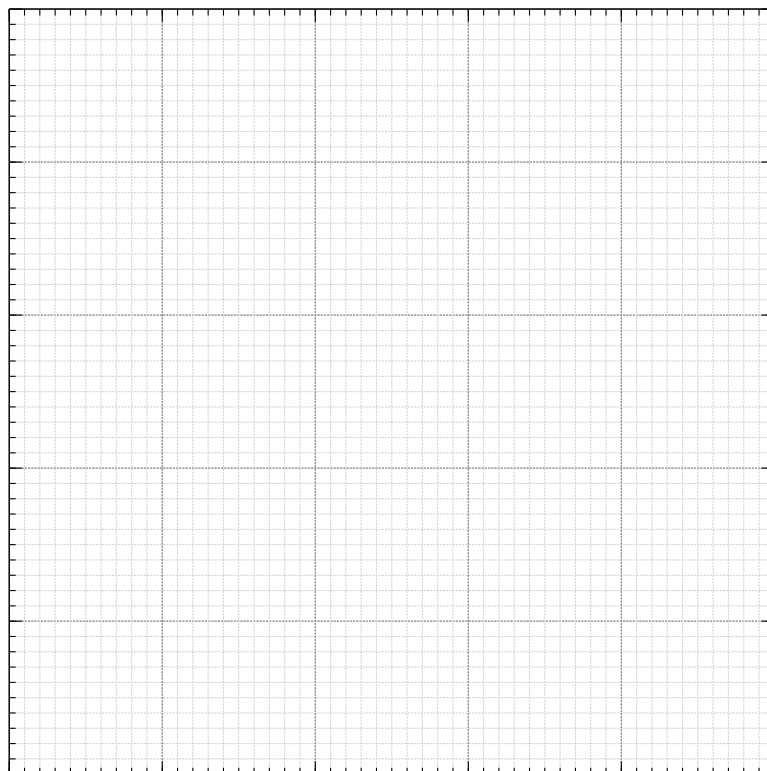


(a) Diagrama 1.

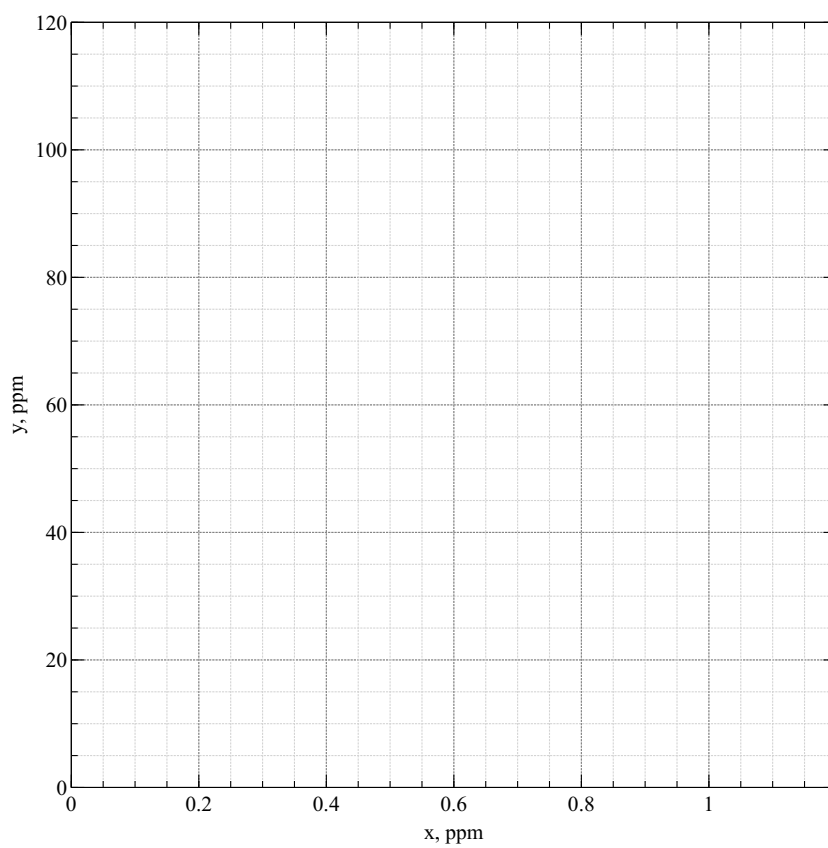


(b) Diagrama 2.

Figura 2: Diagramas para os demais exercícios.

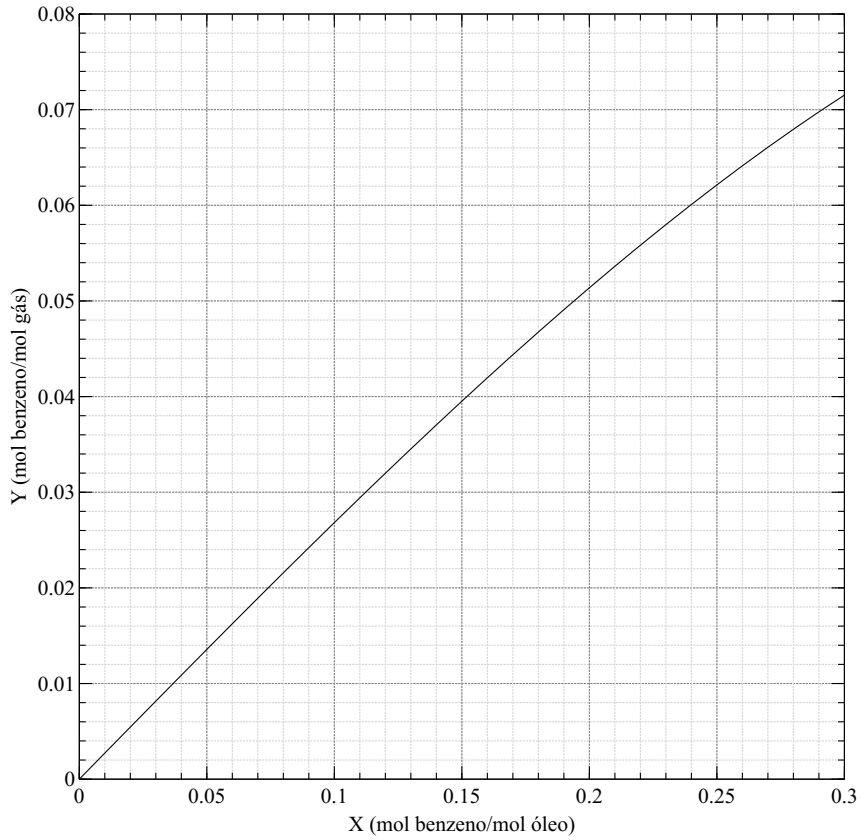


(a) Exercício 4.

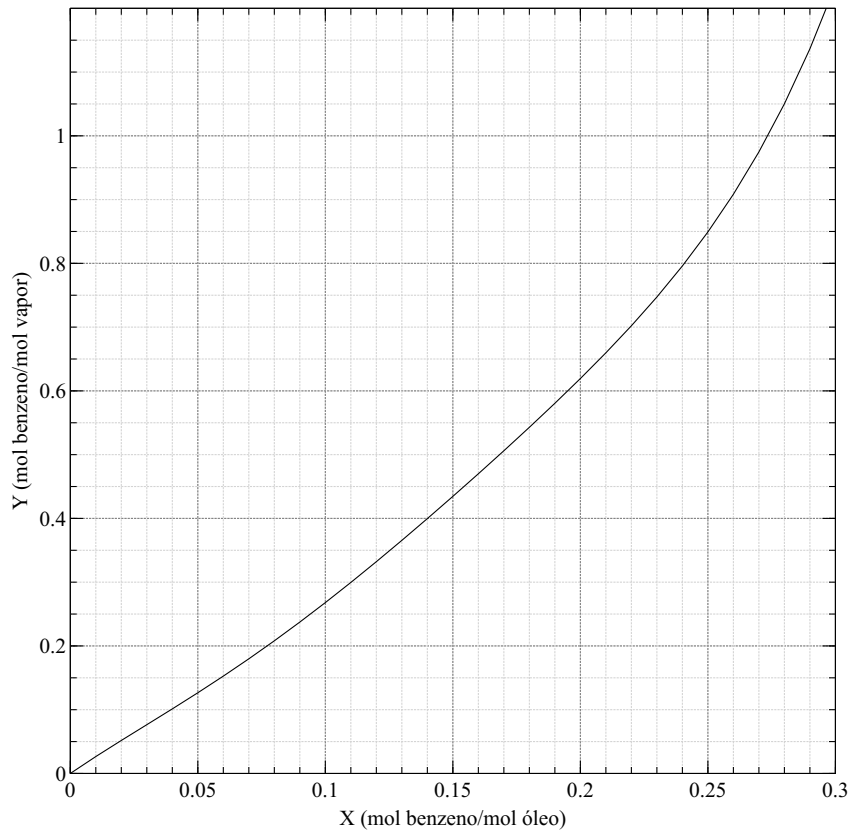


(b) Exercício 5.

Figura 3: Diagramas para os exercícios 4 e 5.



(a)  $T = 25^\circ\text{C}$ .



(b)  $T = 110^\circ\text{C}$ .

Figura 4: Diagramas para o exercício 6.