

### Considerações Iniciais

O **metil metacrilato** (MMA) é aplicado para a síntese do polímero polimetilmetacrilato (PMMA). Uma das rotas de produção de MMA é a partir de acetona cianidrina (ACH). Por sua vez, este último composto é produzido pela reação de **acetona** com cianeto de sódio.

Em uma planta química, você ficou responsável em avaliar uma maneira de enriquecer em acetona uma carga de **12 toneladas** (12 000 kg) **por dia** (24 h). Esta carga é um **líquido saturado**, constituído de uma mistura aquosa de **1 mol% de MMA, 15 mol% de acetona** e o restante de **água**, a uma pressão de **1 atm**. É requerida uma corrente com **95 mol% de acetona**.

Algumas informações são conhecidas sobre esta mistura:

- Massa molar: 100, 58 e 18 kg/kmol, respectivamente para MMA, acetona e água.
- Massa específica (fase líquida): 940, 784,5 e 998 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente para MMA, acetona e água.
- Viscosidade média da mistura líquida: 0,9 cP.
- Volatilidade relativa média: 10,7, 12,2 e 1, respectivamente para MMA, acetona e água.
- Tensão superficial média da mistura líquida: 0,05 N/m.
- Dados de equilíbrio líquido-vapor da mistura acetona-água a pressão constante, na **Tabela 1**:

Tabela 1: Dados de equilíbrio líquido-vapor da mistura acetona-água a 1 atm.

| $x$  | $y$   | $x$  | $y$   |
|------|-------|------|-------|
| 1,00 | 1,000 | 0,40 | 0,819 |
| 0,95 | 0,956 | 0,30 | 0,804 |
| 0,90 | 0,929 | 0,20 | 0,785 |
| 0,80 | 0,895 | 0,15 | 0,769 |
| 0,70 | 0,872 | 0,10 | 0,736 |
| 0,60 | 0,853 | 0,05 | 0,641 |
| 0,50 | 0,835 | 0,02 | 0,290 |

São dados ainda:

- Diagramas  $T-x-y$  e  $x-y$  a pressão constante disponíveis na **Figura 1**.
- Diagrama  $x-y$  a pressão constante disponível na **Figura 2**.
- Diagrama  $X-Y$  de solubilidade de acetona em ar a pressão e a temperatura constantes disponível na **Figura 3**.

A proposta de um sistema de recuperação de acetona envolve a avaliação de 4 opções de processos de separação:

1. Destilação *flash*;
2. Destilação por estágios;
3. Destilação em batelada;
4. Absorção gasosa.

As questões a seguir irão avaliar cada uma das opções:

### Questão 1

Inicialmente são necessários determinar alguns dados sobre a carga:

- a) Qual é a vazão da carga em base molar? Sabendo que esta informação é dada em base mássica.
- b) Quais são as vazões molares de cada componente da carga?

Respostas: (a) 20,145 kmol/h; (b) 0,201, 3,022 e 16,922 kmol/h, respectivamente.

### Questão 2

Primeiramente, considere a **destilação flash** como uma opção de separação da mistura aquosa de acetona. Para tanto, por razões práticas, considere que a carga é uma **mistura binária** de 16 mol% de acetona e o restante de água. Ou seja, a fração de MMA é ignorada. Assim, responda:

- a) Qual é a temperatura da carga?
- b) Determina a temperatura e a fração vaporizada para se obter uma corrente de vapor com 75 mol% de acetona.
- c) Por que não é possível atender a especificação requerida de acetona com um único vaso *flash*?
- d) Proponha um sistema formado por 2 vasos *flash* em série onde a corrente de vapor do 1º vaso seja a carga do 2º vaso de forma que seja obtido 80 mol% de acetona na corrente de vapor deste último vaso. Quais são a temperatura e a fração vaporizada de cada vaso desta configuração?

Para resolução desta questão, utilize os dados de equilíbrio líquido-vapor da **Figura 1**.

Respostas: (a) 64°C; (b) 66°C e 6,35%; (c)  $y_{\max} = 0,66$ ; (d) Assumindo  $y_1 = 0,7$  e  $y_2 = 0,8$ , então vaso 1: 70°C e 14,05% e vaso 2: 62,5°C e 80,77%.

### Questão 3

Dimensione um **vaso flash vertical** para as condições dos *item b* e primeiro vaso do *item d* da questão anterior. Ou seja, determine o diâmetro e a altura do vaso para cada condição. Deixe claro todas as considerações assumidas nos cálculos.

Respostas: Assumindo  $h/D = 3$ .  $D = 7,58$  cm e  $h = 30,3$  cm (*item b*,  $y = 0,75$ );  $D = 9,64$  cm e  $h = 38,56$  cm (*item d*,  $y = 0,7$ ).

### Questão 4

Considere utilizar a **destilação por estágios** para recuperar a acetona da carga e obter um produto de fundo com 1 mol% de acetona. Considere uma coluna com um condensador total e um refeedor parcial. Fazendo uso do método F.U.G., pede-se:

- a) Quem são os componentes chaves leve e pesado? Quem é o componente não-chave?
- b) Determine a razão de refluxo de operação a partir de 1,2 vezes a razão de refluxo mínima.
- c) Em seguida, determine o número de estágios ideais e o estágio ótimo para carga.

d) Qual é a fração recuperada de acetona no destilado?

Respostas: Assumindo  $x_D = 0,95$ ,  $0,01$  e  $0,04$  e  $x_W = 0,01$ ,  $0,98$  e  $0,01$ , respectivamente para acetona, água e MMA. (a) LK = acetona, HK = água e NK = MMA. (b)  $R_{\min} = 0,54$ ;  $R = 0,65$ . (c)  $N = 10,3$ ;  $N_F = 7,1$  (por Fenske); (d) 94,3%.

### Questão 5

Considere utilizar a **destilação por estágios** para obter um destilado com 80 mol% e um produto de fundo com 5 mol% de acetona. Considere uma coluna com um condensador total e um refeedor parcial. Por razões práticas, considere que a carga é uma **mistura binária** de 16 mol% de acetona e o restante de água. Ou seja, a fração de MMA é ignorada. Fazendo uso do método gráfico de McCabe-Thiele, pede-se:

- Determine a razão de refluxo de operação a partir de 1,5 vezes a razão de refluxo mínima.
- Em seguida, determine o número de estágios ideais e o estágio ótimo para carga.
- Qual é a fração recuperada de acetona no destilado?

Para resolução desta questão, utilize os dados de equilíbrio líquido-vapor da **Figura 2**.

Respostas: (a)  $R_{\min} = 0,044$ ;  $R = 0,066$ ; (b) 2,6 estágios + 1 refeedor; (c) 73,3%.

### Questão 6

Dimensione uma **coluna de pratos perfurados** para as condições de destilação da questão anterior. Ou seja, determine o diâmetro e a altura da coluna de destilação. Considere que a coluna está operando a pressão de 1 atm e a temperatura de 60 °C e que a coluna tenha uma eficiência global de 70%. Desconsidere a verificação de perdas de carga nos pratos e assim como a verificação de gotejamento e arrastamento de líquidos no projeto da coluna de destilação. Deixe claro todas as considerações assumidas nos cálculos.

Respostas: Assumindo  $d_o = 4,5$  mm;  $p = 1,69$  cm;  $t = 0,5$  m e  $w = 70\%$   $d_c$ . Então,  $d_c = 17,6$  cm e  $z = 4,364$  m.

### Questão 7

Outra opção de processo de separação é a **destilação em batelada**. Considere o acúmulo da carga durante 2 horas de operação do processo, isto é,  $12\,000$  kg /  $24$  h  $\times$   $2$  h =  $1000$  kg. Contudo, deseja-se obter uma solução contendo 75 mol% de acetona. A partir desta massa de solução aquosa de acetona, pergunta-se:

- Qual é a quantidade de destilado recolhido que atende a especificação de recuperação de acetona?
- Quais são a quantidade e a composição do resíduo obtido neste processo de separação em batelada?

Por razões práticas, considere que a carga é uma **mistura binária** de 16 mol% de acetona e o restante de água. Ou seja, a fração de MMA é ignorada. Para resolução desta questão, utilize os dados de equilíbrio líquido-vapor da **Tabela 1**.

### Questão 8

Finalmente, a **absorção gasosa** é avaliada a partir de uma coluna de regeneração. Entretanto, é necessário fazer uma modificação na especificação de recuperação da acetona. Ou invés de enriquecer em acetona a carga, você deve esgotá-la (reduzir a fração) utilizando uma corrente de ar seco. Por razões práticas, considere que a carga é uma **mistura binária** de 16 mol% de acetona e o restante de água. Ou seja, a fração de MMA é ignorada. Esta corrente deve ser esgotada a 1 mol% de acetona na corrente de líquido. Fazendo uso do método gráfico de McCabe-Thiele, pede-se:

- Qual é a fração recuperada de acetona (pelo ar) na coluna de regeneração?
- Qual é a vazão mínima de ar para se obter o percentual de acetona requerido?
- Em seguida, determine o número de estágios ideais considerando uma vazão de ar 1,2 vezes a quantidade mínima.

Para resolução desta questão, utilize o diagrama  $X$ - $Y$  da **Figura 3**.

Respostas: (a) 94,74%; (b) 5,391 kmol/h; (c) 5,67 estágios.

### Questão 9

Dimensione uma **coluna recheada** para as condições da questão anterior. Ou seja, determine o diâmetro e a altura da coluna de regeneração. Considere um recheio randômico de *Nutter* de 2". Considere que a coluna está operando a pressão de 1 atm e a temperatura de 20 °C e que a coluna tenha uma eficiência global de 70%. Deixe claro todas as considerações assumidas nos cálculos.

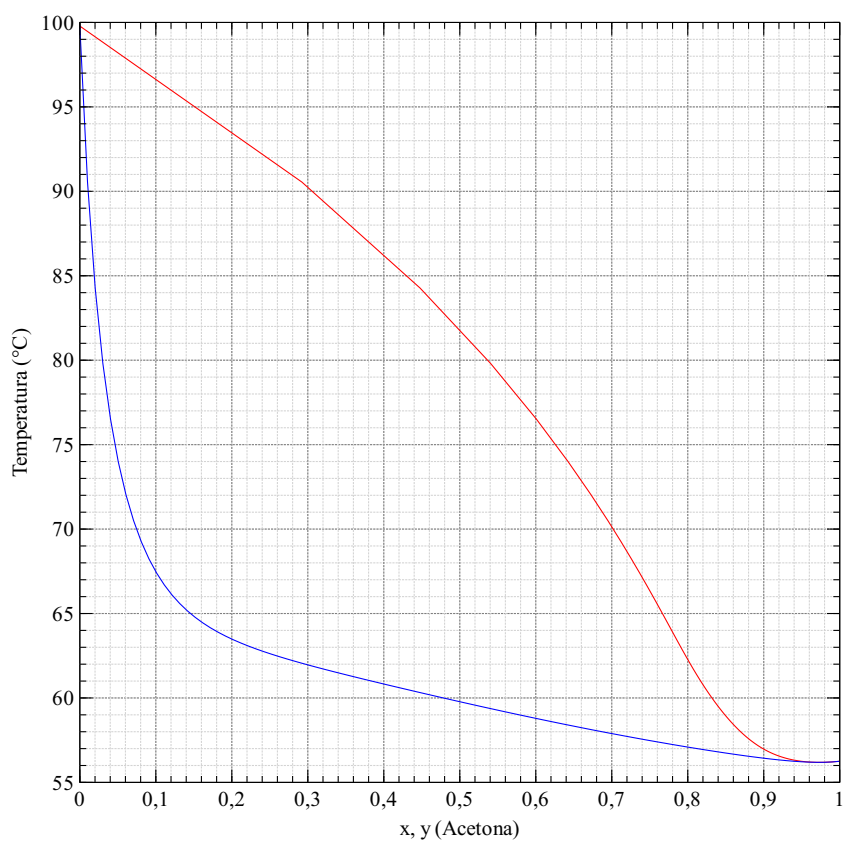
Respostas:  $d_c = 12,1$  cm e  $z = 5,346$  m. Assumindo  $v_{op} = 75\%$   $v_f$ .

### Questão 10

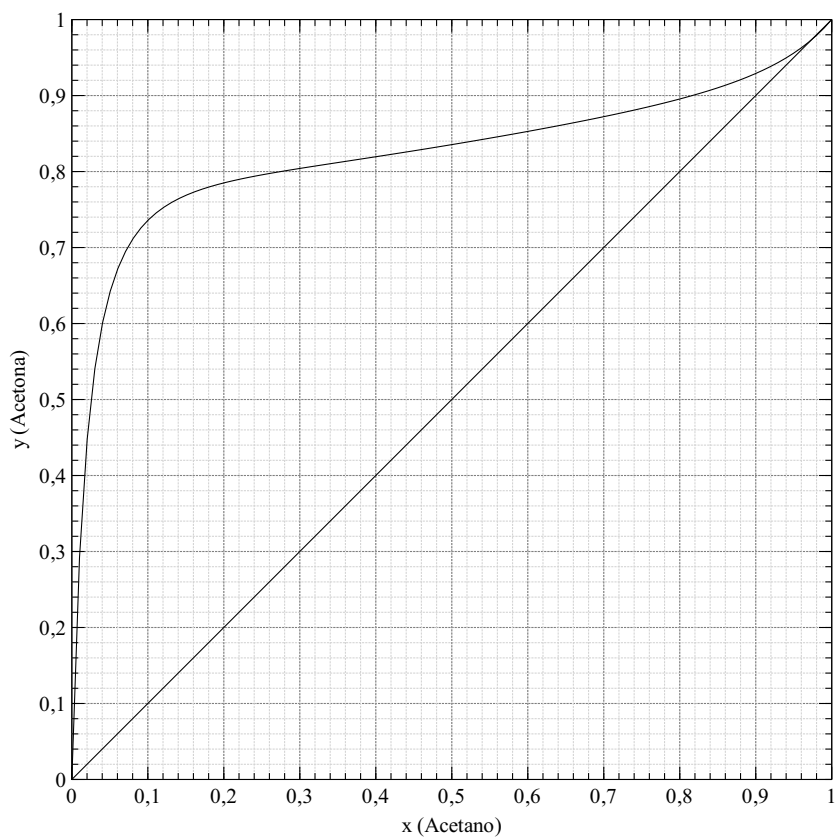
Dentre as opções avaliadas anteriormente, **aponte e discuta** a(s) melhor(es) opção(s) considerando critérios de ordem prática, tais como: (1) atender a especificação de recuperação, (2) obter um equipamento com as menores dimensões para atender a especificação de recuperação, (3) obter o menor número de equipamentos para atender a especificação de recuperação, etc.

### Fatores de Conversão e Constantes

- $K = ^\circ\text{C} + 273,15$
- 1 bar = 100 kPa = 0,987 atm
- 1" (in) = 2,54 cm
- 1 ft = 30,48 cm
- 1 cP =  $10^{-3}$  Pa.s
- 1 cSt =  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s
- $R = 8,31446$  J/(mol K) = 8314,46 J/(kmol K)
- $\pi = 3,1415$



(a) Diagrama  $T$ - $x$ - $y$  a pressão constante.



(b) Diagrama  $x$ - $y$  a pressão constante.

Figura 1: Mistura binária acetona-água a 1 atm.

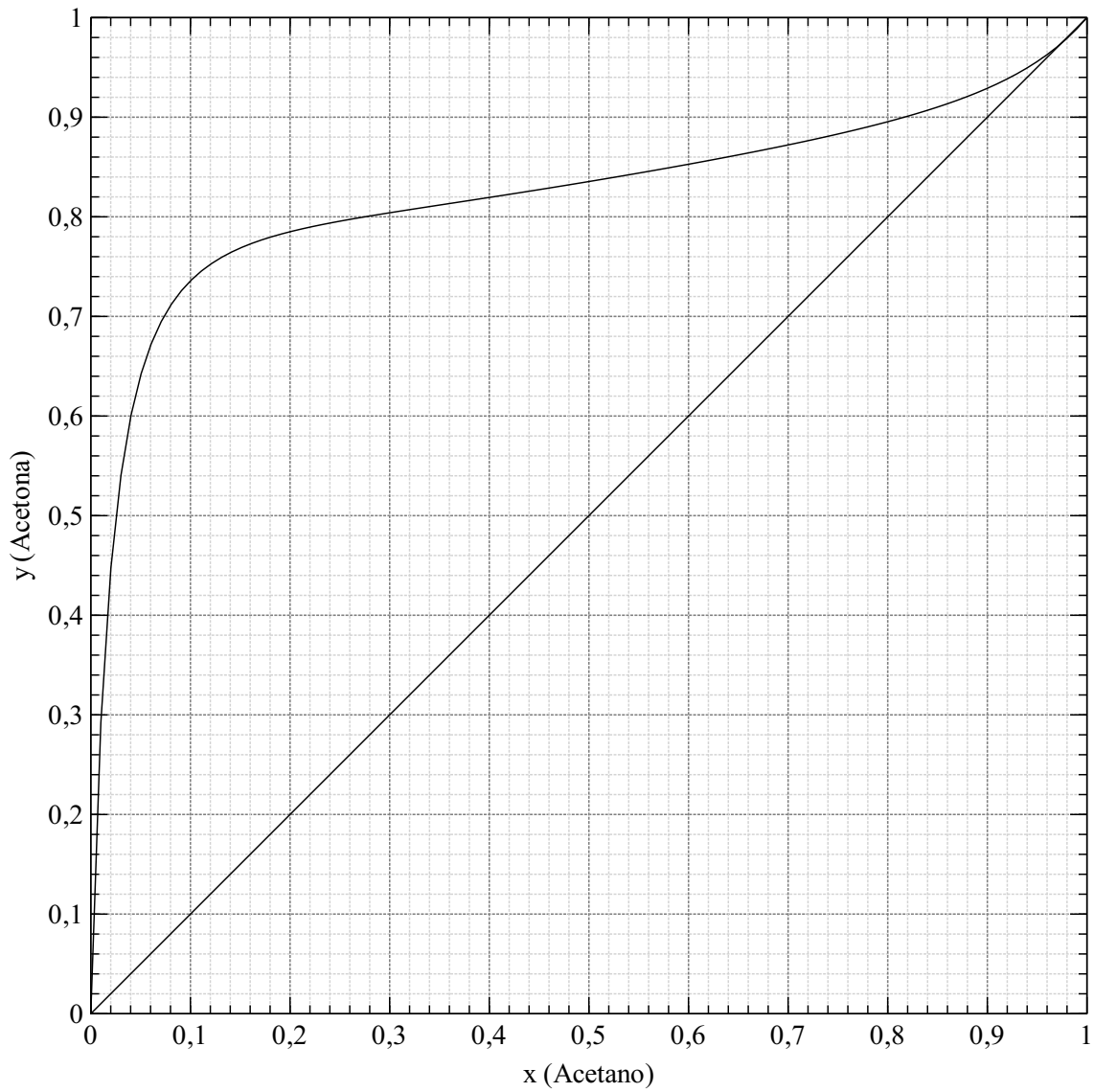


Figura 2: Diagrama  $x-y$  para mistura binária acetona-água a 1 atm.

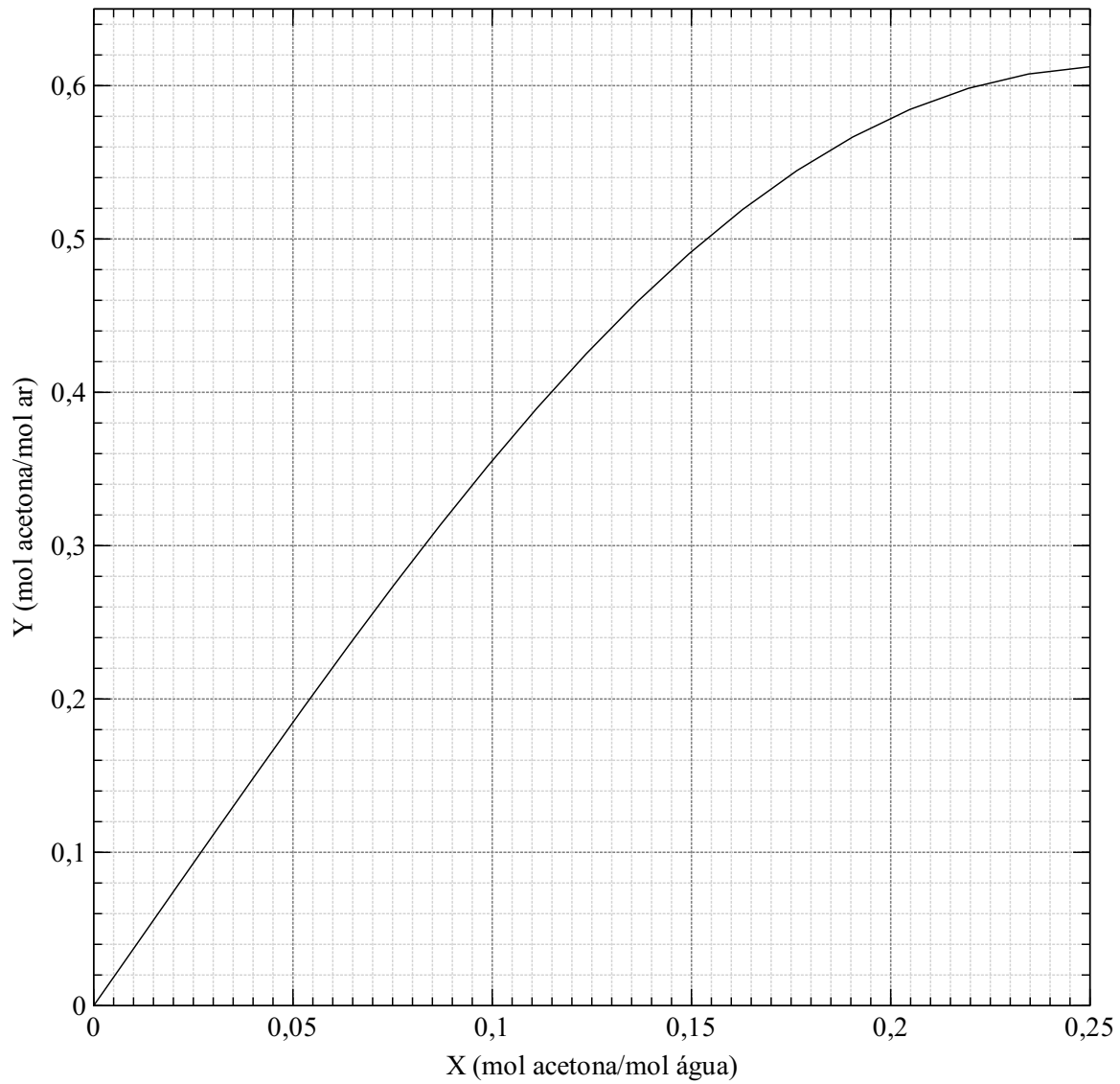


Figura 3: Diagrama X-Y de solubilidade de acetona em ar a 1 atm e 20 °C.