

## Reator Batelada

1 - A reação homogênea de segunda ordem em fase gasosa :  $A \rightarrow R + S$  ocorre em um reator batelada a volume constante e a uma pressão inicial é 1atm. Experimentos realizados a 791 K encontraram uma conversão de 50% de A após 197s de reação. Deseja-se produzir 2000 kg/dia de mistura reacional com uma conversão de 85% de A a 791 K.

A) Quantas bateladas são produzidas por dia e qual a carga de cada batelada?

B) Qual o volume do reator utilizado?

Dados : A massa específica média da mistura é  $30 \text{ kg / m}^3$ .

Tempo de carga, descarga e limpeza = 30 min

Dia de Produção = 8 horas

R: A) 9 bateladas e 222,2 kg/batelada B)  $V = 7,4\text{m}^3$

2 - A EMPOR QUÍMICA LTDA fabrica um determinado produto utilizado como agente intermediário na fabricação de corantes azuis, sabe-se que esse produto recebe a codificação industrial de Mxa e que o mesmo é obtido a partir de uma reação química irreversível de primeira ordem em fase líquida: [Reagente  $\Rightarrow$  Mxa; estequiometria de 1: 1]

São conhecidas as seguintes características industriais de sua fabricação:

I) Utiliza-se um reator descontínuo de 4 metros de diâmetro e uma altura de 2 metros

II) O tempo entre o início da descarga de uma carga do reator e o término do carregamento de uma carga no reator é de 12 minutos.

III) O reagente utilizado é introduzido puro no reator e sua concentração molar é de 1,5 mols/litro.

IV) A conversão obtida é de 68% do reagente em produto.

V) A empresa opera 18 horas continuamente, em três turnos de 6 horas cada.

VI) O reator opera a  $90^\circ\text{C}$  e com constante velocidade igual a  $1,42 \times 10^{-4} (\text{seg})^{-1}$  para esta T.

DETERMINE:

a) O tempo de reação de cada batelada para a conversão desejada na temperatura do trabalho ?

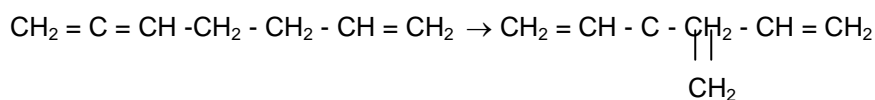
b) Quantas cargas são introduzidas diariamente no reator a  $90^\circ\text{C}$  ?

c) Qual a produção diária do Mxa?

R : a)  $t = 133,73 \text{ min}$  b) 7 cargas/dia c)  $F_R = 179,5 \text{ Kgmols/dia}$

3 - As Indústrias Químicas SA tem como um de seus produtos principais o 3-vinil-1,5-hexadieno que é processado em um tanque com agitação que funciona com cargas intermitentes. Você é convidado a analisar alguns parâmetros deste reator e as informações que você dispõe para a sua análise são as seguintes:

I) A reação que ocorre no interior do reator é a isomerização monomolecular do 1, 2, 6- heptadieno em 3-vinil-1,5-hexadieno.



II) Esta reação foi estudada em escala piloto e pode-se verificar que a sua cinética é de primeira ordem entre  $170^\circ\text{C}$  e  $220^\circ\text{C}$ .

III) Experimentalmente determinou-se que a constante de velocidade varia com a temperatura de acordo com a tabela a seguir:

T ( $^\circ\text{C}$ )	172,2	187,7	202,6	218,1
k ( $\text{s}^{-1}$ )	$0,997 \times 10^{-4}$	$3,01 \times 10^{-4}$	$7,80 \times 10^{-4}$	$20,4 \times 10^{-4}$

IV) O reator utilizado tem um diâmetro de 2 metros e uma altura de 1,50 metros.

V) O tempo entre o início da descarga de uma carga do reator e o término do carregamento de uma carga no reator é de 15 minutos.

# Escola de Engenharia de Lorena - USP - Cinética Química

## Capítulo 07 – Introdução a Reatores Químicos

---

VI) O reagente utilizado (1,2,6-heptatrieno) é introduzido puro no reator e a sua concentração é de 2 mols/litro e a reação ocorre em fase líquida.

VII) O reator está operando atualmente na temperatura de 180°C.

VIII) A conversão a ser obtida é de 70% do reagente em produto.

IX) A empresa trabalha com 2 turnos de 8 horas continuamente.

Calcular :

a) a energia de ativação desta reação no intervalo de 170°C a 220°C.

b) o tempo da reação para a conversão desejada a 180°C.

c) Quantas cargas são introduzidas diariamente no reator a 180°C.

d) Qual a produção em kg/dia de 3-vinil-1, 5-hexadieno?

R : a)  $E_a = 28345 \text{ cal}$

b)  $t = 112,3 \text{ min}$

c) 7 cargas

d) produção = 4340,7 kg/dia

4 - (Missen 12-6) – Uma reação em fase gasosa,  $A \rightarrow 2B$  ocorre a temperatura constante de 300K em um reator de volume variável equipado por um pistão mantido a pressão constante de 150 KPa. Inicialmente, 8 mols de A são introduzidos no reator. A reação que ocorre é de segunda ordem em relação a A, com a seguinte lei de velocidade:

$$(-r_A) = kC_A^2 \quad ; \quad k = 0,075 \text{ Lmol}^{-1}\text{min}^{-1}$$

Determine o tempo de reação para uma conversão final de 80%. ( $t = 1415 \text{ min}$ )

5 - A reação em fase gasosa  $A \rightarrow B + C$  é conduzida em um reator batelada de volume constante de 20L. Vinte moles de A puro são inicialmente colocados no reator. O reator é bem misturado.

A) Se a reação for de primeira ordem  $-r_A = kC_A$  com  $k = 0,865 \text{ min}^{-1}$ , calcule o tempo para reduzir o número de moles de A no reator para 0,2 mol.

B) Se a reação for de segunda ordem,  $-r_A = kC_A^2$  com  $k = 2 \text{ L/mol.h}$ , calcule o tempo necessário para consumir 19 moles de A.

C) Se a temperatura for de 127°C, qual é a pressão total inicial? Qual é a pressão total final se a reação ocorrer na sua totalidade?

R: B)  $t = 9,5 \text{ horas}$  / C)  $\pi = 65,6 \text{ atm}$

6 - A reação irreversível em fase gasosa  $A \rightarrow 3R$  é de ordem zero e ocorre isotermicamente. A concentração inicial da mistura reacional é 2 mol/L e o sistema contém 40% em mols de inertes. A constante de velocidade desta reação é 0,0425 mol/(L min).

Calcule o tempo necessário para alcançar 80% de conversão em:

a) Um reator batelada a volume constante.

b) Um reator batelada a pressão constante.

R : A)  $t = 22,59 \text{ min}$

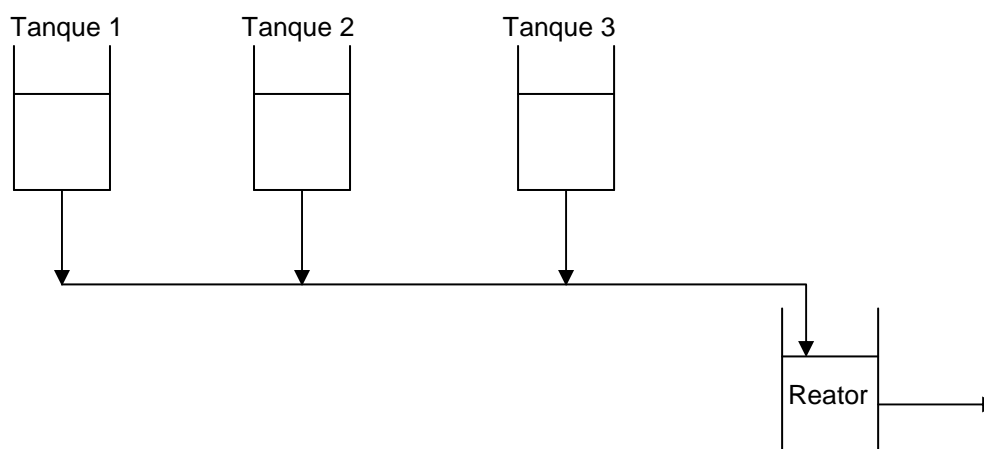
B)  $t = 15,84 \text{ min}$

### Reator de Mistura

1 – (Exame 2001) - A reação  $A + B \rightarrow 2R$  ocorre em fase líquida e sua equação de velocidade é a seguinte :  $-r_A = 0,756C_A C_B$  (mol/L.min) a  $20^\circ\text{C}$ . A reação ocorrerá em um reator de mistura e a conversão desejada é de 80% do reagente crítico. A alimentação é introduzida no reator de mistura proveniente de 3 tanques de armazenagem conforme esquema abaixo. As condições de operação de cada um dos tanques são apresentadas na tabela abaixo:

	Tanque I	Tanque II	Tanque III
$C_A$ (M)	4		2
$C_B$ (M)		2	4
vazão (L/min)	5	2	10

Qual o Volume do reator de mistura utilizado? (R: 126,8 L)



2 – A reação  $2A \rightarrow C + D$  deve ser realizada em um reator CSTR a uma vazão de  $100 \text{ ft}^3/\text{h}$ . A concentração inicial de A é  $1,5 \text{ lbmol}/\text{ft}^3$ . Deseja-se obter 80% da conversão de equilíbrio. Qual deve ser o volume útil do reator?

Dados:  $(-r_A) = k \left( C_A^2 - \frac{C_C C_D}{K_c} \right)$  onde  $k = 10 \text{ ft}^3/\text{lbmol.h}$  e  $K_c = 16$

R:  $\approx 62 \text{ ft}^3$

3 – (P1 – 2002) - Asmus e Houser (J. Phys. Chem., v73, p2555, 1969) estudaram a cinética da pirólise da acetonitrila a temperatura de  $880^\circ\text{C}$  em um reator contínuo com agitação. Foram realizados 5 experimentos em laboratório partindo-se de concentrações iniciais diferentes com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos resultados apurados. Em cada um dos experimentos a reação foi monitorada através da análise cromatográfica da acetonitrila onde após determinado tempo espacial era determinada a conversão da reação conforme dados da tabela a seguir.



Experimento	I	II	III	IV	V
Concentração inicial da acetonitrila ( $\text{mol}/\text{m}^3$ )	0,219	0,206	0,500	0,516	0,822
Tempo espacial (s)	8,5	13,4	12,9	19,2	24,5
$X_A$	0,116	0,171	0,182	0,250	0,308

Determine a ordem e a constante de velocidade da reação. [R :  $(-r_A) = 0,0195 C_A^{1,17}$  (M/s) ]

# Escola de Engenharia de Lorena - USP - Cinética Química

## Capítulo 07 – Introdução a Reatores Químicos

---

4 - (P1 – 2007) - A reação química  $A \rightarrow R + \frac{1}{2}S$  ocorre em fase líquida e foi realizada experimentalmente em um reator de mistura de 200L. Foram realizados seis experimentos, sendo que todos eles usaram a mesma concentração inicial de A de 1,6 Molar, e possuíam uma alimentação isenta de presença significativa de R ou S. Entretanto, em cada um dos experimentos variou-se a velocidade molar entrada e em consequência, a velocidade molar de saída obtida foi diferente.

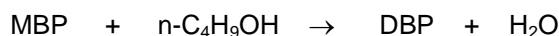
Os dados obtidos encontram-se na tabela abaixo:

Experimento	Mols de A na entrada / min	Mols de A na saída / min
I	17,25	13,00
II	15,00	10,55
III	12,00	8,08
IV	10,00	6,26
V	9,00	5,80
VI	8,00	4,50

A) Determine a equação de velocidade desta reação.

B) Caso esta reação seja realizada em um reator de 10.000L, qual a conversão a ser obtida para as seguintes condições de alimentação: 200 mols/min e CAO = 1,6M? ( $X_A = 0,65$ )

5 – (P2 – 2007) - Dibutilftalato (DBP), um intermediário na indústria de plásticos, tem um mercado potencial de 12 toneladas por ano, e é produzido pela reação de n-butanol com monobutil ftalato (MBP). A reação é elementar e catalisada por  $H_2SO_4$ :



A constante de velocidade desta reação na temperatura de 40°C é de 1,25 L/mol.h.

A direção de sua empresa quer entrar nesse mercado, produzindo 1/3 de todo o consumo potencial previsto, ou seja, deseja produzir 4 toneladas por ano de DBP e para isto disponibilizou para você um reator de mistura de 4.000 litros para ser usado 24 horas/dia durante 30 dias no ano.

Estudos técnicos realizados em escala piloto definiram que as concentrações molares de MBP e butanol adequadas para o funcionamento desta planta industrial são de 0,2M e 0,6M, respectivamente.

Qual será a conversão de saída do MBP neste reator? (Peso Molecular do DBP = 278 g/mol)

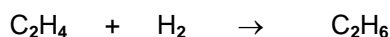
6 - (P2 – 2002) - A temperaturas elevadas, o acetaldeído ( $CH_3CHO$ ) decompõe-se em fase gasosa em metano e monóxido de carbono. A reação é de segunda ordem irreversível e a sua constante de velocidade é 22,2 L/(mol.min) a uma certa temperatura. Calcule a conversão do acetaldeído que pode ser obtida em um reator tanque com agitação contínua de 3m<sup>3</sup> utilizando-se de uma alimentação com 8,8 Kg/min e uma vazão de 2.500 L/min. Considere que a pressão e a temperatura permanecem inalteradas. ( $X_A = 0,397$ )

7 – (P2 – 2002) - Uma reação gasosa entre etileno (A) e hidrogênio para produzir etano é realizada em um reator CSTR. A alimentação, contendo 40% molar de etileno, 40% molar de hidrogênio e 20% de um inerte (I), é introduzida no reator a uma velocidade total de 1,5 mol/min e a uma vazão de 2,5 L/min.

Esta é uma reação de primeira ordem em relação a cada um dos reagentes e a sua constante de velocidade na temperatura na qual o reator é operado é  $k = 0,30$  L/(mol.min)

Determine o volume deste reator, sabendo-se que a mistura reacional que sai do reator (reagentes não convertidos, produto e inerte) possui uma fração molar de 60% de etano. ( $R: V = 3255$  L)

Considere que pressão e a temperatura são constantes neste reator.



8 - (Levenspiel 5-16) Uma reação química em fase aquosa está sendo estudada em laboratório, num sistema de fluxo contínuo. O reator é de 5 litros e seu conteúdo (5 litros de fluido) está sob agitação que mantém a composição uniforme. A estequiometria da reação é  $A \rightarrow 2R$  e o reagente A é introduzido na concentração de 1 mol/litro. Os resultados dos trabalhos experimentais estão contidos na tabela a seguir.

# Escola de Engenharia de Lorena - USP - Cinética Química

## Capítulo 07 – Introdução a Reatores Químicos

---

Qual é a equação de velocidade desta reação?

Experiência	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)	T (°C)	C <sub>R</sub> no efluente (mol R/litro)
1	2	13	1,8
2	15	13	1,5
3	15	84	1,8

R:  $-r_A = 0,036 C_A^2$  (a 13° C)

9 - (P1 – 2005) - Uma solução aquosa reage em um reator de mistura até uma conversão de 50%. O reator atual será substituído por outro 4 vezes maior, mas a composição e a velocidade de alimentação serão mantidas inalteradas.

Qual será a nova conversão a ser obtida: A) se a reação for de ordem  $\frac{1}{2}$  ; B) se a reação for de primeira ordem e C) se a reação for de segunda ordem

10 - (P1 – 2001) - Eldridge e Piret [Chem. Eng. Progr., 46, 290(1950)] estudaram a hidrólise do anidrido acético [  $(CH_3CO)_2O + H_2O \rightarrow 2CH_3COOH$  ] em um reator tanque com agitação contínua de 1,8 L de volume que opera no intervalo de temperatura entre 10 e 40°C.

As condições experimentais utilizadas e os dados obtidos foram os seguintes:

Experimento	T (°C)	Concentração inicial do anidrido (mol/mL)	Vazão volumétrica (mL/min)	% conversão do anidrido
I	25	$1,40 \times 10^{-4}$	582	33,1
II	25	$1,37 \times 10^{-4}$	395	40,8
III	10	$1,08 \times 10^{-4}$	555	15,3
IV	10	$0,52 \times 10^{-4}$	490	16,4
V	40	$0,95 \times 10^{-4}$	575	55,0
VI	40	$0,93 \times 10^{-4}$	540	55,7
VII	40	$1,87 \times 10^{-4}$	500	58,3
VIII	40	$2,02 \times 10^{-4}$	88,5	88,2

A - Qual a equação de velocidade deste reator nas temperaturas de 10, 25 e 40°C ?

B - Qual a energia de ativação desta reação ?

R: A)  $n = 1$  e  $k_{40} = 0,381 \text{ (min)}^{-1}$  ; B)  $E = 11.400 \text{ cal/mol}$

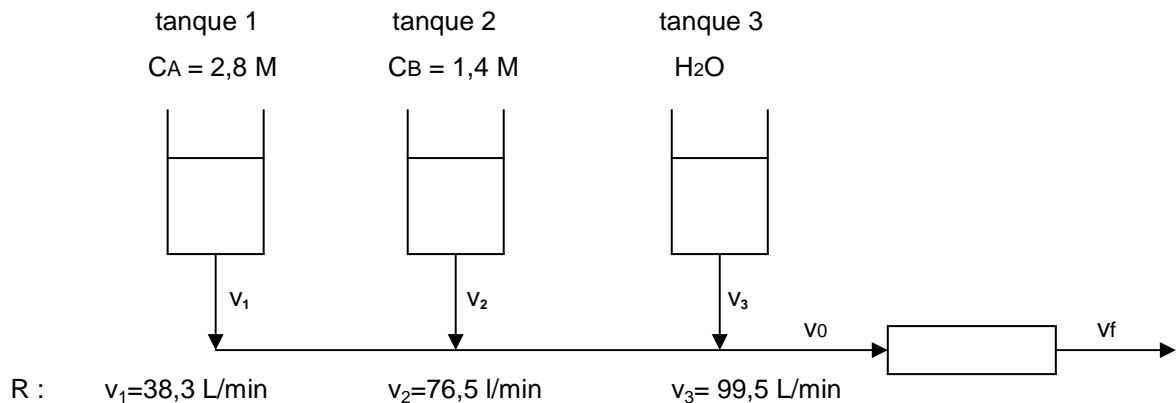
## Reator Tubular

1 – (Exame – 2000) - A reação  $A + B \rightarrow 2R$  ocorre em fase líquida e sua equação de velocidade é a seguinte :  $-r_A = 10C_A C_B$  (mol/L.min) a 20°C. Esta reação ocorrerá em um reator tubular de 100 litros e a conversão desejada é de 70% .

As concentrações iniciais de A e B são iguais:  $C_{A0} = C_{B0} = 0,50$  M.

A reação ocorre em um reator alimentado conforme o esquema apresentado abaixo.

Determine as vazões  $v_1$  ,  $v_2$  e  $v_3$  a serem utilizadas.

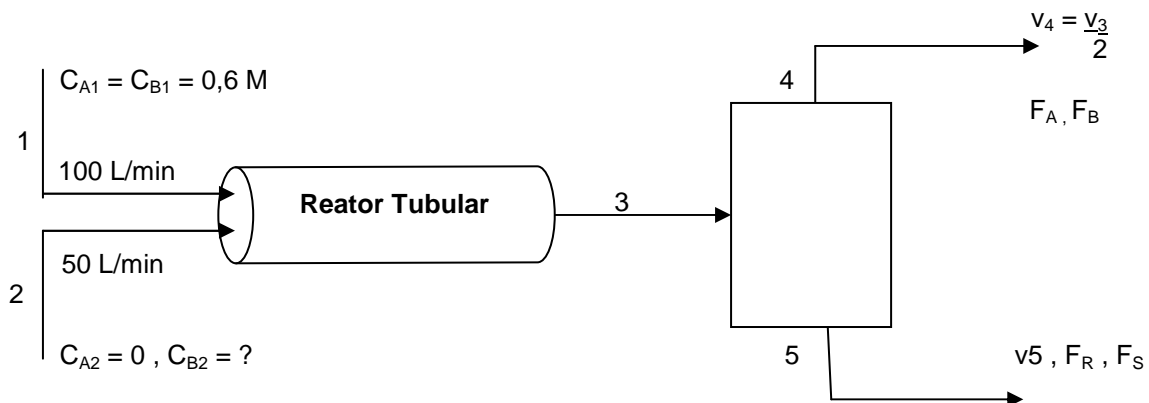


2 – (P1 – 2006) - A reação em fase líquida  $A + 2B \rightarrow R + 2S$  possui a seguinte equação de velocidade :  $(-r_A) = 10C_A C_B$  (M/min).

Esta reação será efetuada em um reator tubular, utilizando o esquema experimental mostrado na figura abaixo. As concentrações iniciais e A e B encontram-se em proporção estequiométrica na alimentação do reator, inexistindo portanto excesso de um dos reagentes.

Determine o volume de reator tubular necessário para uma produção de 35 mols de S por minuto na corrente de saída 5 após o separador.

Obs.: No separador, a eficiência de separação dos reagentes (corrente 4) e dos produtos (corrente 5) pode ser considerada como sendo 100%.]



# Escola de Engenharia de Lorena - USP - Cinética Química

## Capítulo 07 – Introdução a Reatores Químicos

---

3 – (P1 – 2007) - Admitindo que a estequiometria de uma reação de primeira ordem em fase gasosa seja  $A \rightarrow R$ , verificou-se que em reator tubular de 100 L ocorria 95% de conversão de A puro.

Entretanto, constatou-se que fora feito um erro, pois a estequiometria correta da reação é  $A \rightarrow 7R$ .

Com a estequiometria correta

- A) Qual deveria ser a capacidade do reator para a mesma conversão?
- B) Qual deveria ser a conversão do reator para o mesmo volume? ( $X_A = 0,615$ )

4 - (P1 – 2001) - O estudo cinético da decomposição do acetaldeído a 518°C e 1 atm de pressão é realizado em um reator de fluxo contínuo. O reator utilizado é um tubo de 3,3 cm de diâmetro interno e 80 cm de comprimento. Foram realizados quatro experimentos, onde em cada um deles utilizou-se fluxo molar de alimentação diferente e na saída do tubo determinou-se a conversão do reagente em produto. Qual a equação de velocidade desta reação em mols, litros e minutos? ( $R: -r_A = 20 C_A^2$ )

Dado :  $CH_3CHO \rightarrow CH_4 + CO$

experimento	I	II	III	IV
$F_{A0}$ (g/h)	130	50	21	10,8
$X_A$	0,06	0,13	0,24	0,35

5 – (P2 – 2004) - A reação química  $A \rightarrow 4R$  é de primeira ordem e ocorre a partir de uma alimentação com A puro em um reator tubular onde é obtida uma conversão de 40%. Quantas vezes este reator deverá ser maior para que a conversão a ser obtida seja de 80%, se a reação ocorrer: A) em fase líquida (3,15 vezes) e B) em fase gasosa (4,79 vezes)

6 – (P1 – 2005) - Calcule o comprimento (em metros) de um reator tubular requerido para a produção de etileno a partir de etano (A) baseado nas seguintes considerações:

- (1) – o reator é alimentado com uma mistura de etano (400 g/s) e nitrogênio (400g/s).
- (2) – o reator opera a 1000 K e pressão atmosférica.
- (3) - a reação é de primeira ordem irreversível.
- (4) - a constante de velocidade da reação, na temperatura de 1000 K, é  $0,254 \text{ s}^{-1}$
- (5) - A conversão do etano na saída do reator é de 25%
- (6) - O diâmetro interno do reator é de 40 cm.

Resposta: 21,7 metros

7 – (P1 – 2002) - - A reação reversível em fase gasosa  $A \rightleftharpoons R$  ocorre a 300°C e 1 atm em um reator tubular ideal, cuja alimentação contém 30% molar de A e 70% de inertes..

Determine o volume do reator para se obter uma conversão de 75% da conversão de equilíbrio, sabendo que inerte e reagente possuem aproximadamente o mesmo peso molecular e que a velocidade global de alimentação é 80 mol/h. ( $V = 604 \text{ mL}$ )

Dado : Eq. de velocidade:  $(-r_A) = k_1 \left[ C_A - \frac{C_R}{K_c} \right]$  onde  $C_A$  é dado em mol/L;  $k_1 = 1,6 \text{ s}^{-1}$  e  $K_c = 2$

8 – (P2 - 2002) - A planta industrial mostrada abaixo possui um reator tubular de 100 litros carregado a partir de três tanques de alimentação e operado com reciclo após a mistura reacional passar por um separador.

A reação química que ocorre no reator é  $A + B \rightarrow 2R$  cuja equação de velocidade a uma dada temperatura é:

$$-r_A = 5C_A C_B \text{ (M/min)}$$

# Escola de Engenharia de Lorena - USP - Cinética Química

## Capítulo 07 – Introdução a Reatores Químicos

No tanque 1 existe uma solução A com uma concentração de 5M.

No tanque 2 existe uma solução B com uma concentração de 4M.

No tanque 3 existe apenas água.

A concentração inicial de A e B na entrada do reator é de 1 Molar para ambos os reagentes e a conversão final obtida no reator é de 99%.

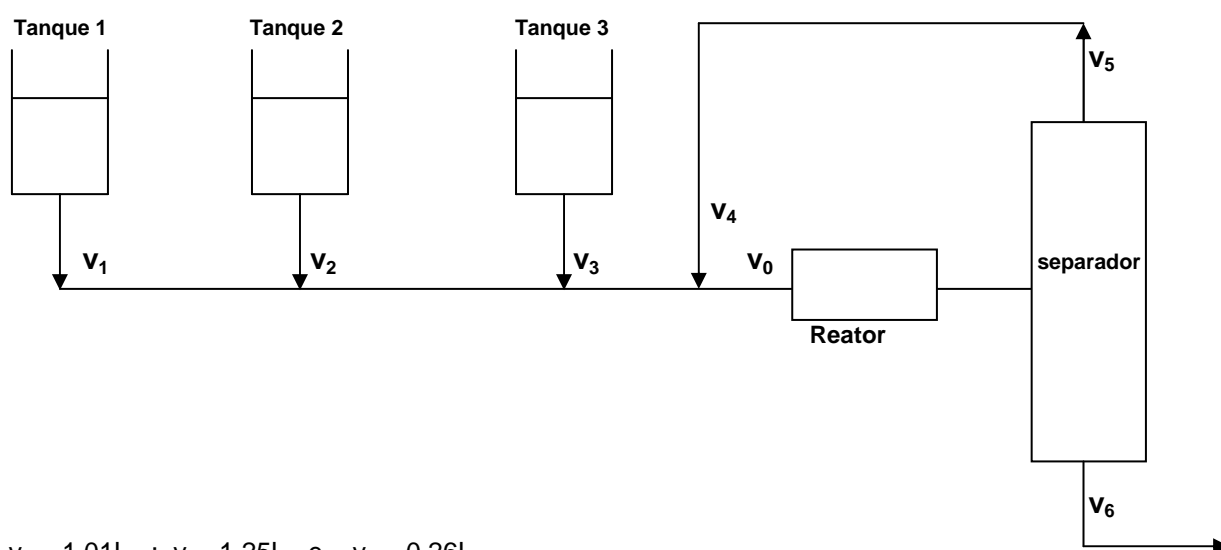
No separador a vazão total que sai do reator é dividida em partes iguais, sendo que na parte superior do separador sai somente o reagente B, enquanto todo o produto R formado e a quantidade de reagente A que não reagiu saem na parte inferior do separador. As concentrações de A e R nesta saída da parte inferior do separador são 0,02M e 3,96M, respectivamente.

Determinar:

A – a concentração de B na saída superior do separador.

B – a vazão volumétrica de alimentação ( $v_0$ ) na entrada do reator.

C – as vazões volumétricas de cada um dos tanques de alimentação ( $v_1 - v_2 - v_3$ )



R:  $v_1 = 1,01L$  ;  $v_2 = 1,25L$  e  $v_3 = 0,26L$

9 – (Exame 2.002) - Em um reator tubular de 150L realizou-se uma reação de primeira ordem em fase gasosa  $A \rightarrow R$  a partir de uma alimentação contendo A puro e encontrou-se uma conversão final de 90%. Entretanto, verificou-se, posteriormente, que a estequiometria considerada inicialmente estava errada e que a estequiometria correta era de  $A \rightarrow 3R$ . Com a estequiometria correta:

A) Qual deve ser a capacidade do reator para a mesma conversão? (R:  $V = 332,7 L$ )

B) Qual deve ser a conversão do reator para o mesmo volume (150 L)? (R:  $X_A = 0,711$ )

10 - (P1 – 2000) Walter [J. Chem. Eng. Data 5 (468), 1960] estudou a cinética da pirólise catalítica do cloreto de etileno em um reator tubular de  $100 \text{ cm}^3$  com 59 cm de comprimento.



Esta é uma reação gasosa e dados coletados na literatura a respeito de reações químicas similares levam a crer que se trata de uma reação química de primeira ordem.

vazão molar (moles/kseg)	$X_A$
0,550	0,86
0,544	0,85
0,344	0,94

O estudo consistiu em realizar 3 experimentos onde em cada um deles variou-se a vazão molar de alimentação, a partir de uma alimentação do reagente puro a  $600^\circ\text{C}$  e pressão atmosférica.

A – Confirme a ordem da reação e calcule a sua constante de velocidade.

B – Se a constante de velocidade da reação a  $500^\circ\text{C}$  é  $0,141\text{s}^{-1}$ , qual a sua energia de ativação?

R: a)  $k = 1,17 (\text{s})^{-1}$  b)  $E = 28.375 \text{ cal}$