



PQI 3221:  
CINÉTICA QUÍMICA E PROCESSOS AMBIENTAIS

AULA 19

---

1

---

EQUAÇÃO DE ARRHENIUS

---

2

---

## Equação de Arrhenius

### Problema

O processo de pasteurização de leite dura 30 minutos, quando é conduzido a 63°C. No entanto, se a temperatura do sistema fosse elevada para 74°C, a eliminação de microorganismos patogênicos ocorreria em 15 segundos. Tendo em vista apenas esses dados, determine a Energia de Ativação ( $E_a$ ) associada a este processo de esterilização.

---

3

---

## Solução

Aqui, admitiremos que outras condições associadas ao processo de pasteurização que não a temperatura, sejam idênticas nas duas situações em análise

A ideia, portanto, é exatamente determinar o valor de ( $E_a$ ) a partir da relação entre a velocidade da reação, e o efeito da temperatura. Bem, observando os dados disponíveis, percebemos que

$$\uparrow T \rightarrow \downarrow t$$

Avançando mais com o conceito proposto por Arrhenius

$$\uparrow T \rightarrow \uparrow k \rightarrow \uparrow r \rightarrow \downarrow t$$

Para a Situação 1 teremos então uma expressão geral de velocidade do tipo

$$r_1 = k_1 [A]^m \cdot [B]^n \cdot [C]^q \dots$$

Da mesma forma, para a Situação 2 da análise:

$$r_2 = k_2 [A]^m \cdot [B]^n \cdot [C]^q \dots$$

Sendo  $A, B, C, \dots$  os contaminantes presentes no meio, que espera-se, sejam degradados pelo processo

---

4

---

### Solução

Como sabemos,

$$r = -\frac{d[X]}{dt}$$

Ou seja,

$$r \propto \left(\frac{1}{t}\right) \text{ e então, podemos admitir imediatamente que: } k \propto \left(\frac{1}{t}\right)$$

Portanto, será possível supor que

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{t_1}{t_2} \rightarrow \frac{k_2}{k_1} = \frac{t_1}{t_2} \rightarrow \ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = \ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right)$$

Situação 1:  $t = 30 \text{ min} = 1800 \text{ s}$  e  $T = 63^\circ\text{C} = 336 \text{ K}$

$$\ln(k_{336}) = \ln A - \frac{E_a}{(8,314 \times 336)}$$

e

Situação 2:  $t = 15 \text{ s}$  e  $T = 74^\circ\text{C} = 347 \text{ K}$

$$\ln(k_{347}) = \ln A - \frac{E_a}{(8,314 \times 347)}$$

---

5

---

### Solução

Portanto,

$$\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = \ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \ln\left(\frac{k_{347}}{k_{336}}\right)$$

Mas,

$$\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = \ln\left(\frac{k_{347}}{k_{336}}\right) = \ln k_{347} - \ln k_{336}$$

e assim,

$$\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = \ln k_{347} - \ln k_{336} = \left[\ln A - \frac{E_a}{(8,314 \times 347)}\right] - \left[\ln A - \frac{E_a}{(8,314 \times 336)}\right]$$

$$\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = \frac{E_a}{(8,314 \times 336)} - \frac{E_a}{(8,314 \times 347)}$$

---

6

---

## Solução

logo,

$$\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = E_a \cdot \left[ \frac{1}{(8,314 \times 336)} - \frac{1}{(8,314 \times 347)} \right]$$

Rearranjando a equação teremos

$$\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = E_a \cdot [3,58 \times 10^{-4} - 3,47 \times 10^{-4}] = 1,14 \times 10^{-5} \cdot E_a$$

Por fim, isolando  $E_a$

$$E_a = \frac{1}{1,14 \times 10^{-5}} \cdot \ln\left(\frac{1800}{15}\right)$$

$$E_a = 421885 = 421,89 \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

---

7

---

## TIPOS DE REATORES

---

8

---

## CATEGORIAS DE REATORES

Quanto ao regime de operação, os reatores podem ser subdivididos, sempre de forma ampla e genérica, em três categorias:

1) Reatores em Batelada

2) Reatores Contínuos

3) Reatores Semi-contínuos

---

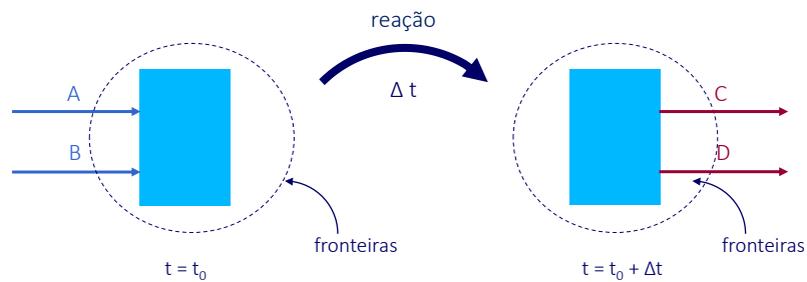
9

---

## REATORES DE BATELADA (ou DESCONTÍNUOS)

Nos Reatores em BATELADA, (também chamado de BATCH, ou DESCONTÍNUOS), a circulação de matéria (entrando e saindo) pelo equipamento em que se desenvolve o fenômeno é feita apenas quando a reação **não** está ocorrendo; ou seja, antes de o processo se iniciar, ou depois deste já ter sido encerrado

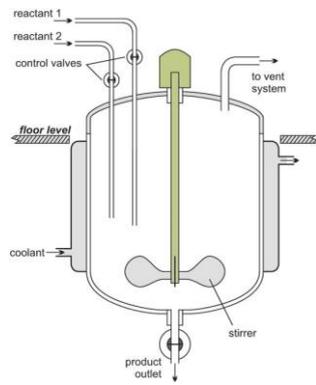
A substâncias originadas dessa transformação serão removidos de seu interior apenas após haver transcorrido um período de tempo definido. Dessa forma, não há circulação de correntes de massa através das fronteiras do sistema entre a carga e a descarga do equipamento



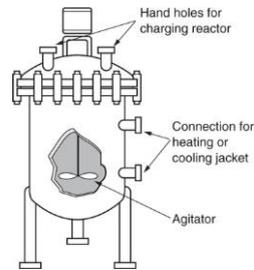
---

10

## REATORES de BATELADA exemplo



Batch Reactor

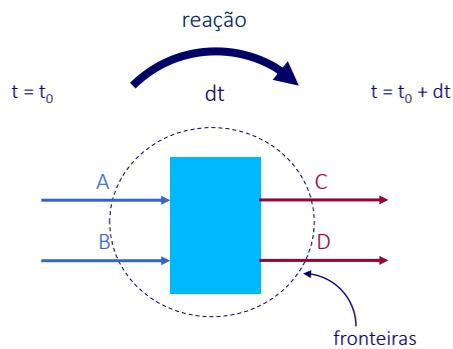


12

## REATORES CONTÍNUOS

A principal característica dos Reatores CONTÍNUOS reside na circulação contínua de matéria através do reator **enquanto** o fenômeno em estudo se desenvolve

Assim, correntes de matéria (e/ou energia) atravessam as fronteiras do sistema entrando (e saindo) do mesmo, vindo (ou seguindo) de (ou para) suas vizinhanças



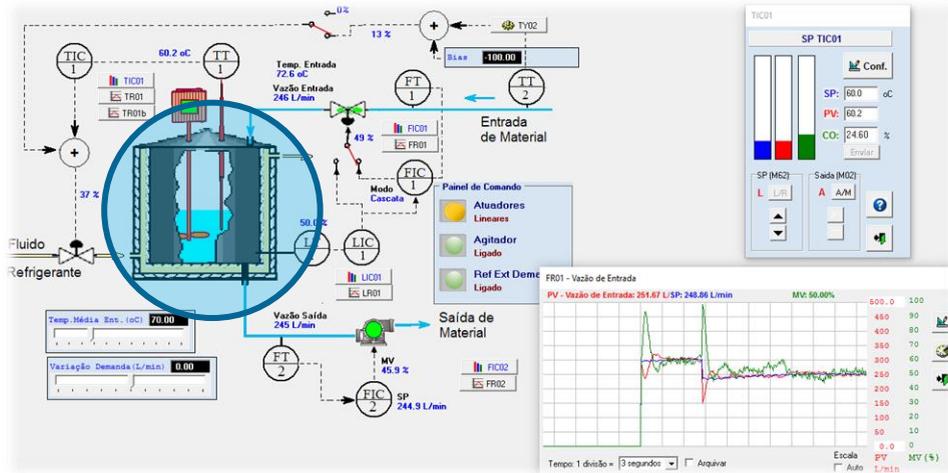
Há duas classes principais de reatores contínuos:

**CSTR:** Continuous Stirred-Tank Reactor

**PFR:** Plug Flow Reactor

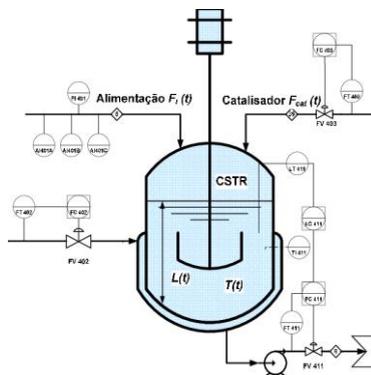
13

## REACTORES CONTÍNUOS exemplo

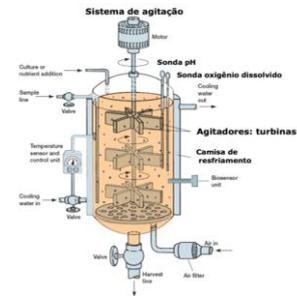


14

## Continuous Stirred-Tank Reactor: CSTR exemplos

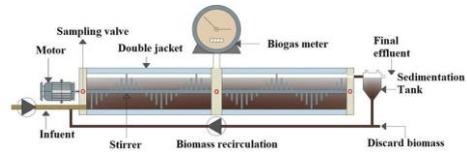
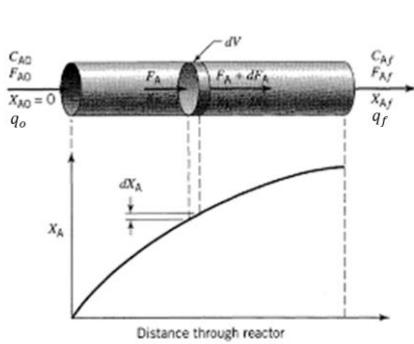


Continuous Stirred-Tank Reactor: CSTR



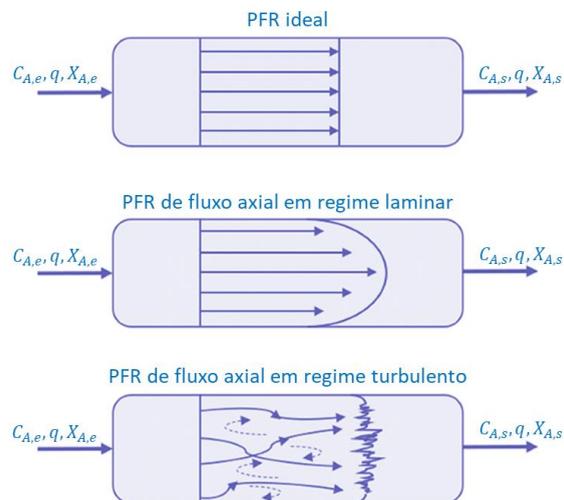
15

Plug Flow Reactor: PFR  
exemplos

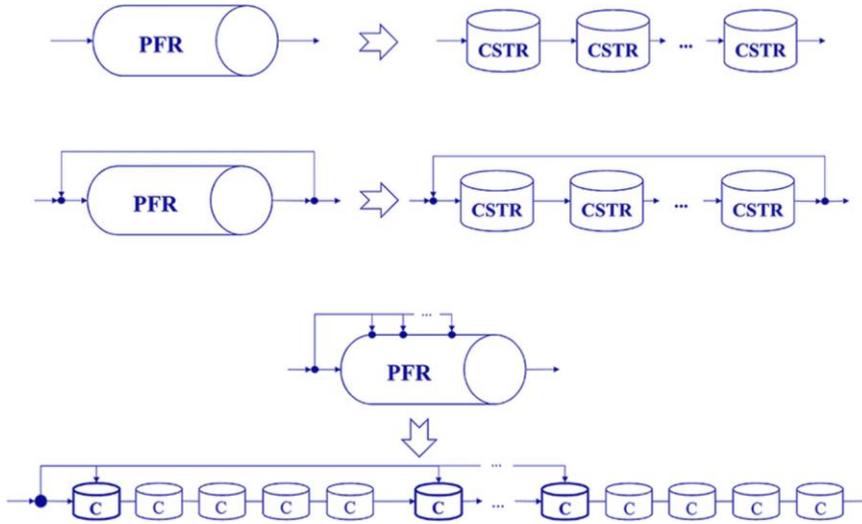


Plug Flow Reactor: PFR

Plug Flow Reactor: PFR  
características



Plug Flow Reactor: PFR  
características

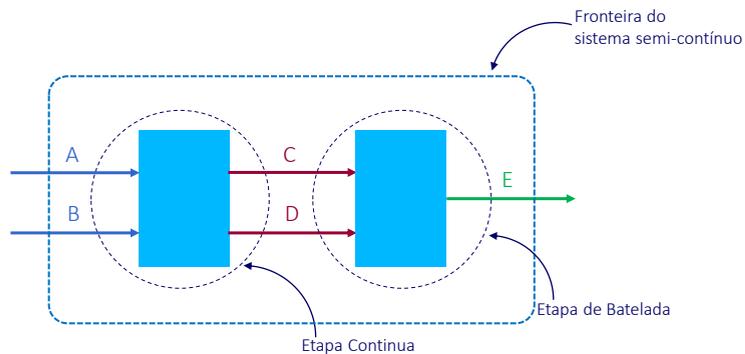


18

REACTORES SEMI-CONTÍNUOS

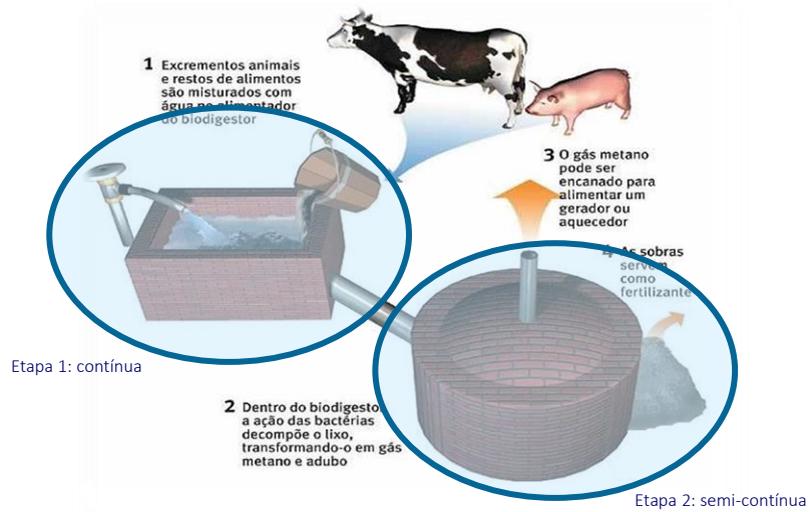
Chamam-se de reatores SEMI-CONTÍNUOS a todos aqueles que não se enquadram em qualquer das categorias anteriores. De maneira geral esses compreendem um arranjo em que processos contínuos e em batelada são associados. A forma mais usual de realizar essa associação é ordená-los de forma consecutiva (ou seja, em série)

Nos processos que operam em regime semi-contínuo, se as entradas de matéria ocorrerem de forma instantânea, suas saídas se darão apenas após ser concluída a etapa descontínua. A outra possibilidade de evolução do processo consiste da inversão dessa ordem



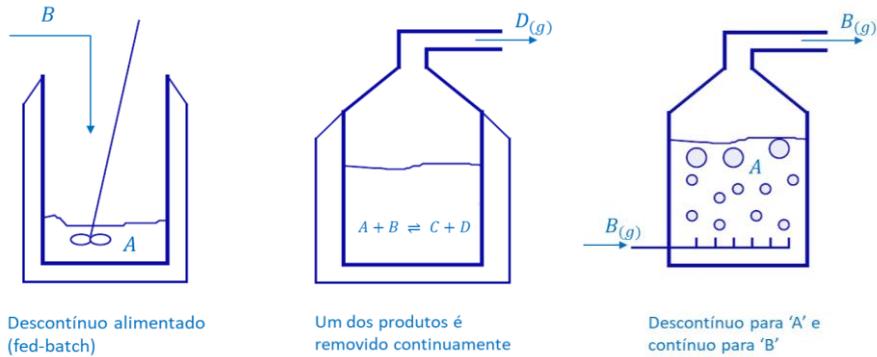
19

Reatores Semi-contínuo:  
exemplo



20

Reatores Semi-contínuo:  
modalidades



21