

107484 – Controle de Processos

Aula: Balanço de massa

Prof. Eduardo Stockler Tognetti

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Brasília – UnB



1º Semestre 2015

Princípio de conservação de uma quantidade S

$$\frac{\text{acúmulo de } S \text{ no sistema}}{\text{período de tempo}} = \frac{\text{fluxo de } S \text{ para o sistema}}{\text{período de tempo}} - \frac{\text{fluxo de } S \text{ do sistema}}{\text{período de tempo}} + \frac{\text{qtd. gerada de } S \text{ no sistema}}{\text{período de tempo}} - \frac{\text{qtd. consumida de } S \text{ no sistema}}{\text{período de tempo}}$$

Quantidades fundamentais (S)

- 1 Massa total
- 2 Massa de um componente individual
- 3 Energia total
- 4 Momento

Variáveis de estados

Variáveis que caracterizam as quantidades fundamentais as quais geralmente não é possível medir convenientemente. Ex.: densidade, concentração, temperatura, pressão e taxa de fluxo.

Balanço de massa

- Baseado no princípio de conservação de massa (Lei de Lavoisier).
- Equação que descreve a contabilidade de matéria num dado VC envolvido num processo químico.
- Pode ser escrita para qualquer material que entra ou sai do volume de controle (massa total ou qualquer espécie molecular ou atômica envolvida no processo).

$$\boxed{\text{entrada}} - \boxed{\text{saída}} + \underbrace{\boxed{\text{geração}} - \boxed{\text{consumo}}}_{\text{reação química}} = \boxed{\text{acúmulo}}$$

Volume e superfície de controle

Sistema (fechado)

Quantidade fixa de massa identificável (composto sempre pelas mesmas partículas) delimitada por um contorno imaginário ou real (fronteiras fixas ou móveis). Não há transferência de massa da e para a vizinhança, ou seja, analisa-se uma porção fixa de massa. Ex.: êmbolo móvel.

Volume de controle (VC)

Volume fixo definido no espaço (entidade geométrica e independente de massa). Pode haver escoamento de massa da e para a vizinhança. Analisa-se a massa (que pode variar) presente neste volume. Ex.: compressor.

Superfície de controle (SC)

Superfície ou fronteira que envolve o VC e pelo qual a massa entre e sai.

Obs.: Difícil de identificar e acompanhar certa massa de fluido. Assim, muitas vezes é mais conveniente aplicar as leis básicas a um volume fixo de espaço, ao invés de a uma massa fixa e definida de fluido.

Quanto à dependência ou não das variáveis de processo no tempo

1 Processos em estado estacionário (em regime permanente)

- As principais variáveis de processo não se alteram no tempo (excetuando pequenas flutuações).
- Equações de balanço \rightsquigarrow conjunto de equações algébricas.
- Ex.: aquecimento de água num chuveiro elétrico para uma dada vazão de operação \rightsquigarrow temperaturas de entrada e saída são diferentes mas constantes no tempo.

2 Processos em estado não estacionário (em regime transiente)

- Variáveis de processo variam com o tempo.
- Equações de balanço \rightsquigarrow conjunto de equações diferenciais.
- Ex.: forno de cozinha.

Em relação à entrada e saída de matéria pelo VC

1 Processos contínuos

Passagem contínua de matéria (entrando e saindo) enquanto dura o processo. São geralmente projetados para operarem em regime permanente, excetuando situações de partida, mudanças nas condições de operação e ocorrência de distúrbios. Ex.: chuveiro elétrico.

2 Processos semicontínuos

A entrada (saída) do material é praticamente instantânea e a saída (entrada) é contínua. Ocorre em estado não estacionário. Ex.: escape de gás de botijão pressurizado.

3 Processos em batelada

Nenhuma massa atravessa a fronteira durante o processo. Ocorre em estado não estacionário. Ex.: receitas de fabricação.

Equação geral do balanço (EGB)

1 Balanço diferencial

- Diz respeito ao que ocorre num determinado instante de tempo e seus termos são expressos em massa ou mol por unidade de tempo (**taxa**).
- Será adotado \dot{m} (Kg/s) e \dot{n} (mol/s) para fluxo de massa e de mols, respectivamente.
- Usualmente empregada em sistemas contínuos.

$$\boxed{\text{taxa de acúmulo}} = \boxed{\text{taxa de entrada}} - \boxed{\text{taxa de saída}}$$

(dentro do VC) (através da SC) (através da SC)

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s \quad (\text{termos mássicos})$$

2 Balanço integral

- Diz respeito ao que ocorre entre dois instantes de tempo (Δt) e seus termos são expressos em quantidades absolutas de massa ou mol (**quantidade**).
- Será adotado m (Kg) e n (mol) para valores de massa e de mols, respectivamente.
- Usualmente empregada em sistemas de batelada (instantes depois da entrada e antes da saída de material).

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{acúmulo} \\ \text{(dentro do VC)} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{entra} \\ \text{(através da SC)} \end{array}} - \boxed{\begin{array}{c} \text{sai} \\ \text{(através da SC)} \end{array}}$$

$$\Delta m = m_e - m_s, \quad \Delta m = m(t) - m(t + \Delta t) \quad (\text{termos mássicos})$$

Notação adotada

- Massa: m (Kg)
- Fluxo de massa: \dot{m} (Kg/s)
- Fluxo volumétrico: f (m³/s)
- Volume: V (m³)
- Peso específico: ρ (Kg/m³)
- Quantidade de matéria: n (mol)
- Concentração: c (mol/m³)
- Taxa de reação: r (mol/s/m³)
- Termo de geração: R (mol/s ou Kg/s)

Os termos abaixo são geralmente especificados para um componente:

- Por convenção, uma quantidade é considerada positiva se flui para o sistema (entra) e negativa se flui para fora (sai).

Balanço de massa total (BMT)

Envolve a massa total de todos os componentes que entram e saem do sistema e portanto o termo *Reage* desaparece, uma vez que a matéria total é conservada (não é criada nem destruída, exceto em reações nucleares).

$$\boxed{\text{taxa acúmulo}} = \boxed{\text{taxa entrada}} - \boxed{\text{taxa saída}}$$

Em termos matemáticos,

$$\frac{dn}{dt} = \dot{n}_e - \dot{n}_s \quad (\text{termos molares})$$

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s \quad (\text{termos mássicos})$$

$$\underbrace{\frac{d}{dt}(\rho V)}_{\text{variação de massa}} = \underbrace{\sum_i \rho_i f_i}_{\text{taxa de entrada}} - \underbrace{\sum_j \rho_j f_j}_{\text{taxa de saída}}$$

Balço de massa de um componente

Equação geral de balanço para um dado componente A presente numa mistura.

$$\boxed{\text{taxa acúmulo (A)}} = \boxed{\text{taxa entrada (A)}} - \boxed{\text{taxa saída (A)}} + \underbrace{\boxed{\text{taxa geração (A)}}}_{\text{termo 'reage'}}$$

Em termos matemáticos,

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{A_e} - \dot{m}_{A_s} + R_A \quad (\text{termos mássicos de A})$$

$$\frac{dn_A}{dt} = \dot{n}_{A_e} - \dot{n}_{A_s} + R_A \quad (\text{termos molares de A})$$

$$\underbrace{\frac{d}{dt}(c_A V)}_{\text{variação de mols}} = \underbrace{\sum_i c_{A_i} f_{A_i}}_{\text{taxa de entrada de A}} - \underbrace{\sum_j c_{A_j} f_{A_j}}_{\text{taxa de saída de A}} + \underbrace{r_A V}_{\text{taxa de produção de A}}$$

Processo em estado estacionário

$$\frac{dm}{dt} = 0 \Rightarrow \dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Processo em batelada

- Balço total:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = 0 \Rightarrow \frac{dm}{dt} = 0 \Leftrightarrow m_{\text{final}} = m_{\text{inicial}} \quad (\text{balço integral})$$

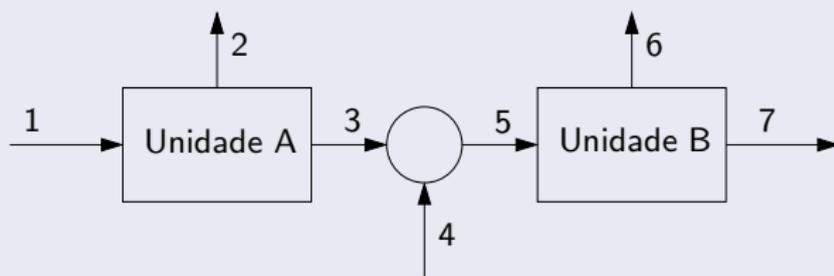
- Balço do componente A:

$$\dot{m}_{A_e} = \dot{m}_{A_s} = 0 \Rightarrow \frac{dm_A}{dt} = R_A$$

Processo semi-contínuo

$$\dot{m}_e = 0 \quad \text{ou} \quad \dot{m}_s = 0$$

Identifique os volumes de controle (VC)



Processo com múltiplas unidades

