

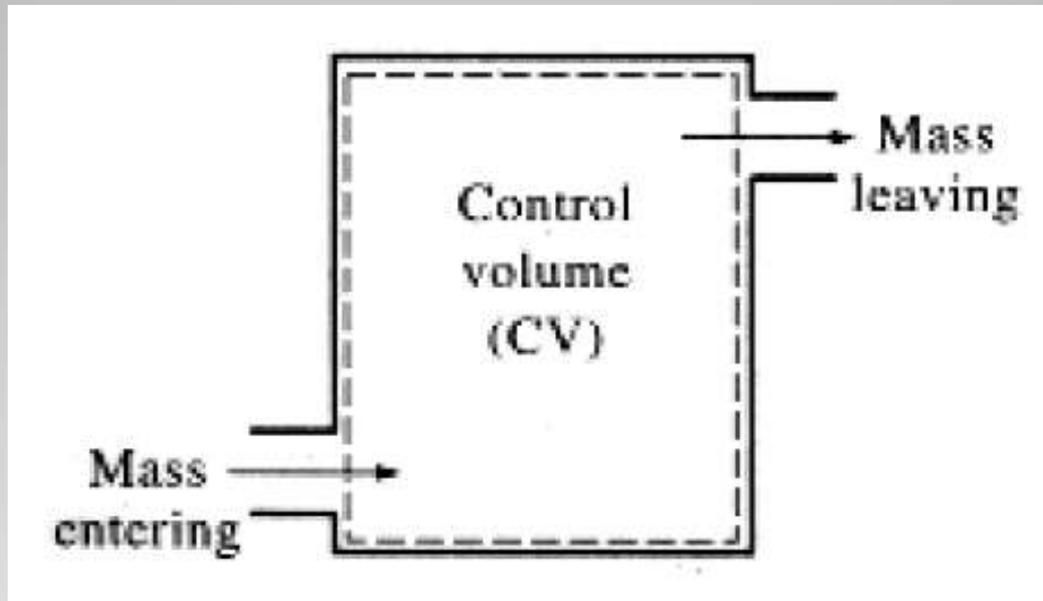
TERMODINÂMICA APLICADA

Capítulo 4:
Primeira Lei da Termodinâmica
Processos de controlo de volume

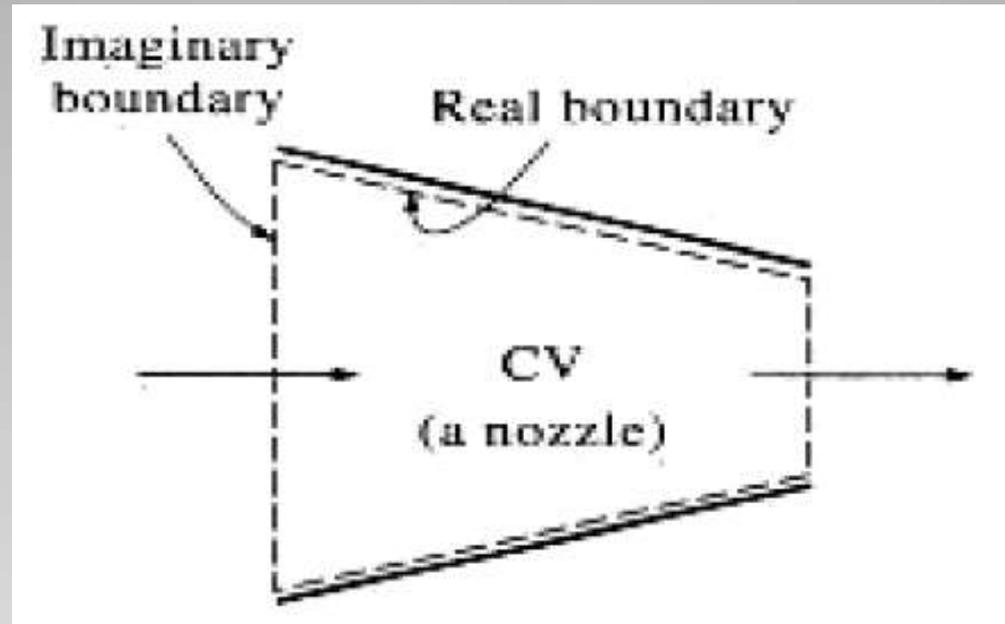
Sumário

- **No Capítulo 3 discutimos as interações da energia entre um sistema e os seus arredores e o princípio da conservação da energia para sistemas fechados (sem fluxo de massa).**
- **Neste capítulo, vamos estender a análise a sistemas que envolvem fluxo de massa através das fronteiras, i.e., "volume de controlo". A equação da conservação de energia para um sistema de volume de controlo será abordado. No entanto, trataremos a análise da energia nos sistemas de volume de controlo em dois estágios. Primeiro, consideramos os processos de fluxo em "regime estacionário" "steady flow", que é o modelo utilizado para a maior parte dos equipamentos em engenharia, tais como: turbinas, compressores e permutadores de calor. Seguidamente, discutiremos, de um modo genérico, processos em regime não estacionário, dando particular ênfase a processos de "fluxo uniforme", que é o modelo utilizado para os processos de carga e descarga.**

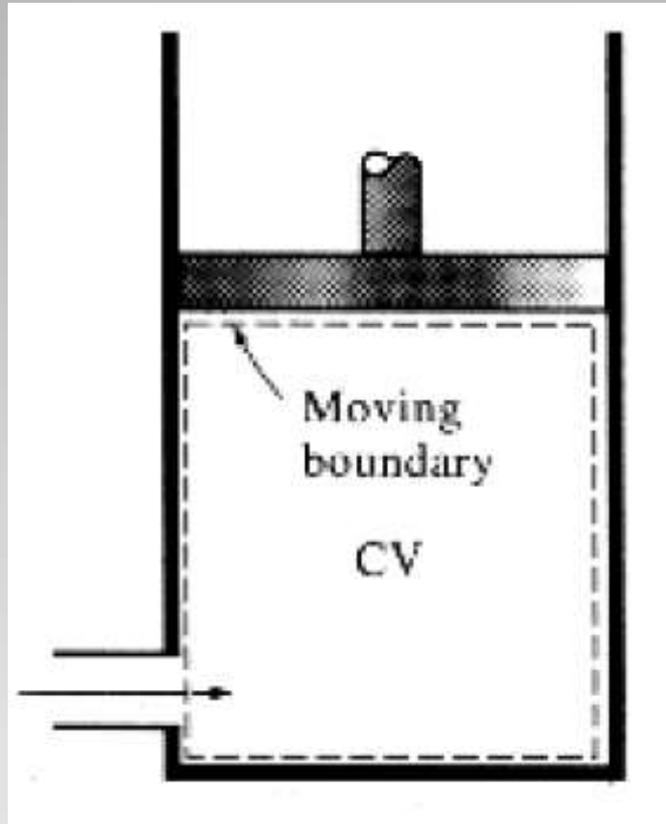
Análise termodinâmica de processos de "Volume de controle"



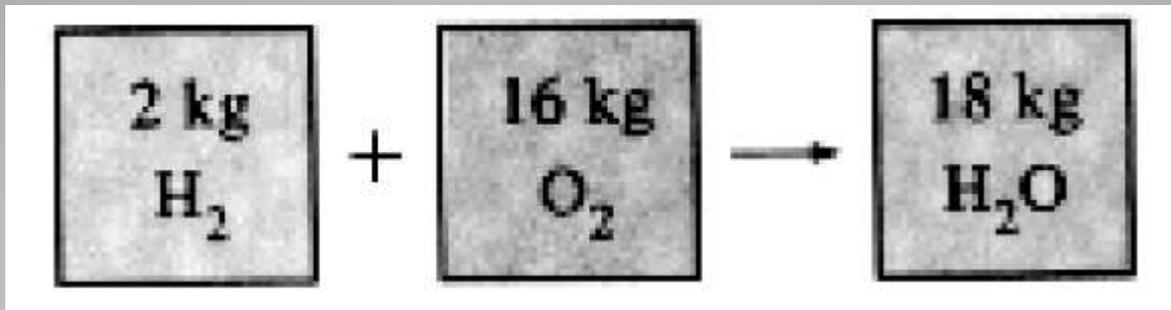
- Os fluxos de massa podem entrar e sair de um *volume de controle*



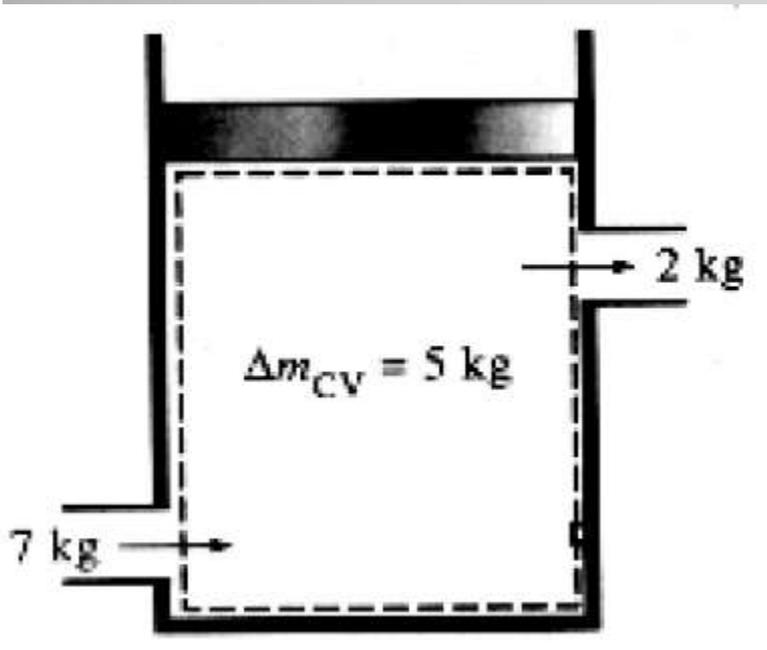
- Fronteiras reais e imaginárias de um volume de controlo
 - Nozzle = Tubeira



- Alguns volumes de controlo envolvem fronteiras móveis



- A massa é conservada durante as reações químicas



**Princípio da conservação da massa
para um volume de controlo**

Princípio da Conservação de Massa

$$\sum m_i - \sum m_e = \sum \Delta m_{VC}$$

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = \Delta \dot{m}_{VC}$$

“Equação da Continuidade”
na Mecânica de Fluidos

Taxas de Fluxo de Massa e de Volume

- A taxa de fluxo de massa que flui através de uma secção A por
- unidade de tempo é designada por:

A taxa de fluxo de massa através de toda a secção é dada por:

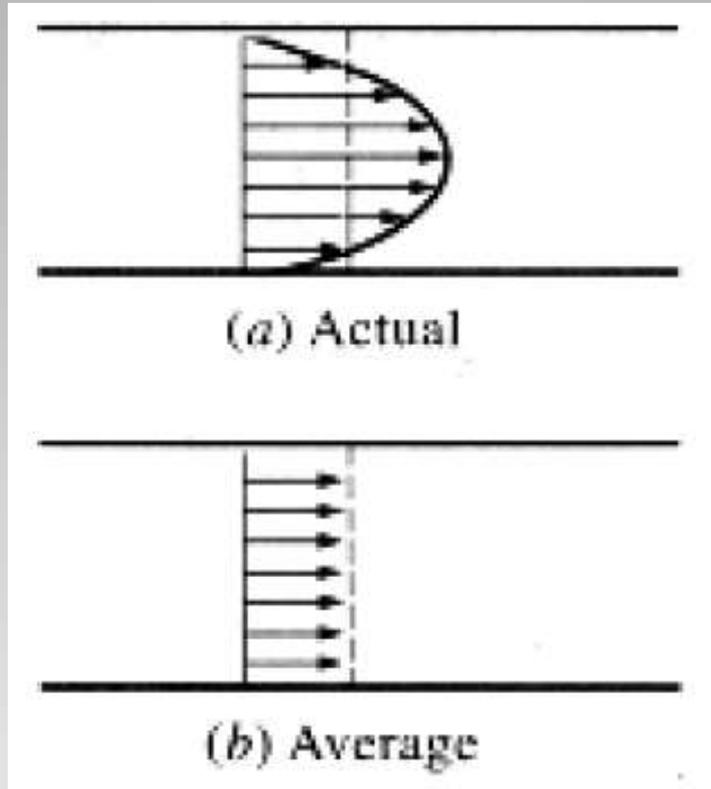
$$\dot{m} = \int_A \rho V_n dA$$

A taxa de fluxo de volume é o volume de fluido que atravessa a secção transversal por unidade de tempo e pode ser expresso:

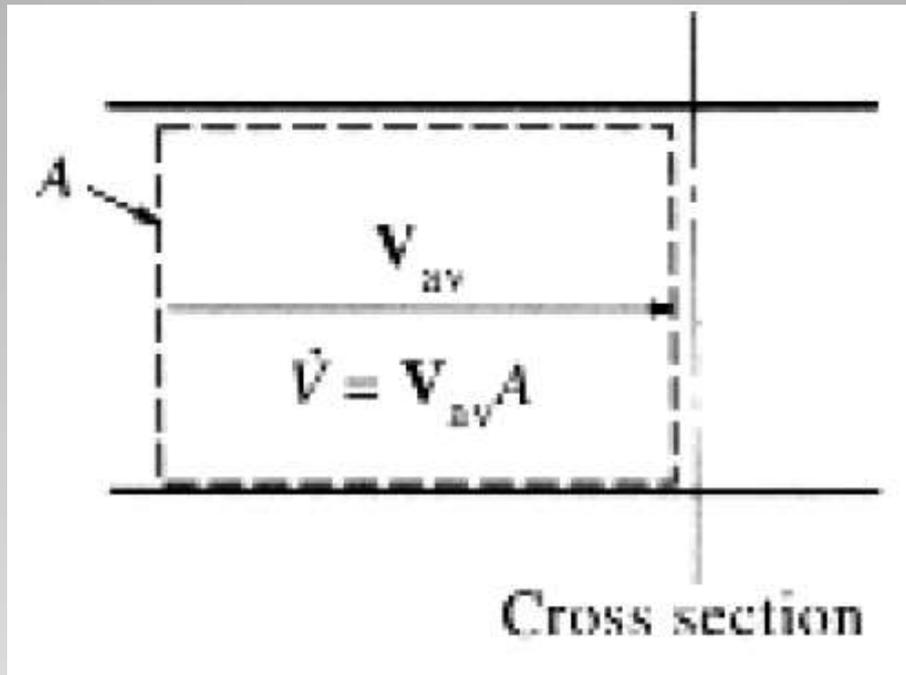
$$\dot{V} = \int_A V_n dA = V_{av} A$$

Os fluxos de massa e volume estão relacionados da seguinte maneira:

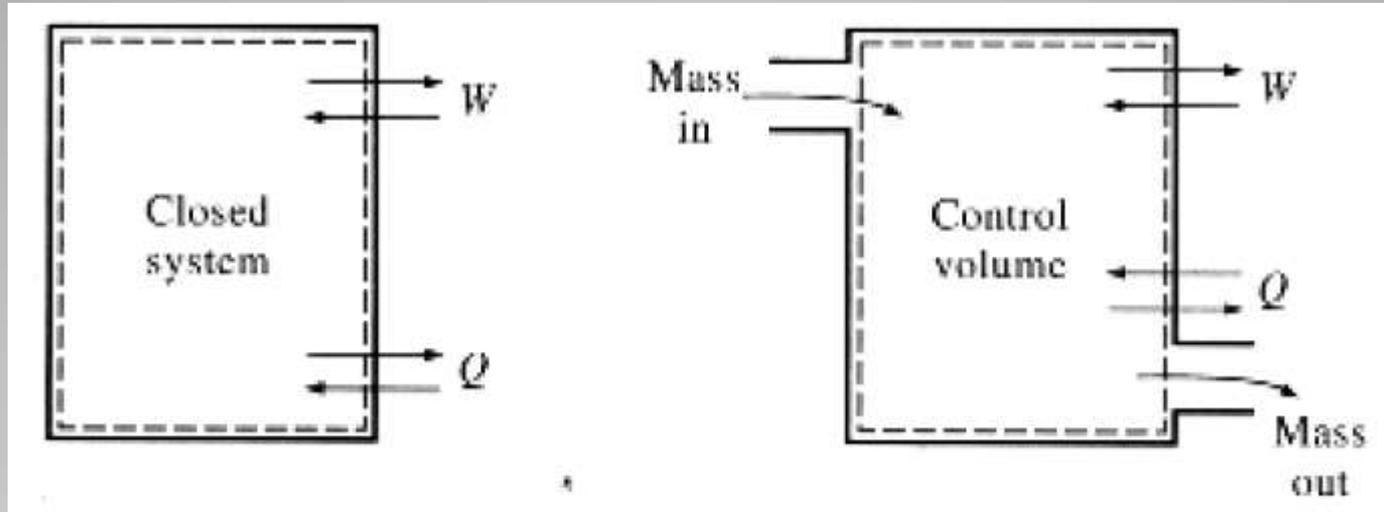
$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$



- Perfis de velocidade real e média para um fluxo numa tubagem



A taxa de fluxo de volume \dot{V} é o volume de fluido que atravessa a secção transversal por unidade de tempo



- O conteúdo de energia de um volume de controle pode ser mudado por um fluxo de massa, bem como através de interações de calor e trabalho

Princípio da Conservação da Energia

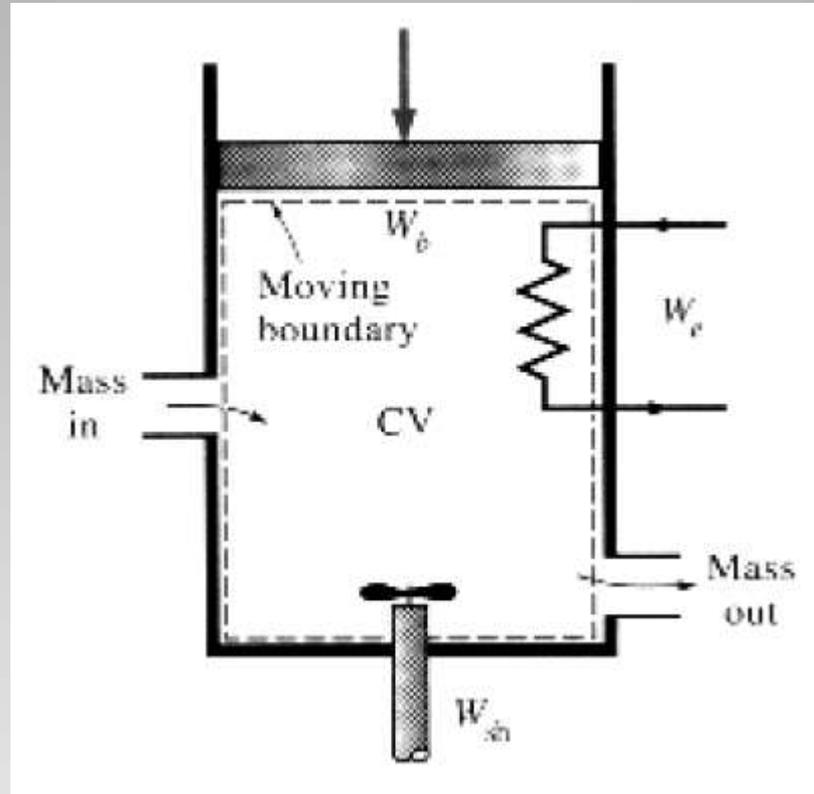
$$Q - W + \sum E_{in} - \sum E_{out} = \Delta E_{VC}$$

Esta equação pode se expressa em termos de taxas exprimindo as quantidades por unidade de tempo:

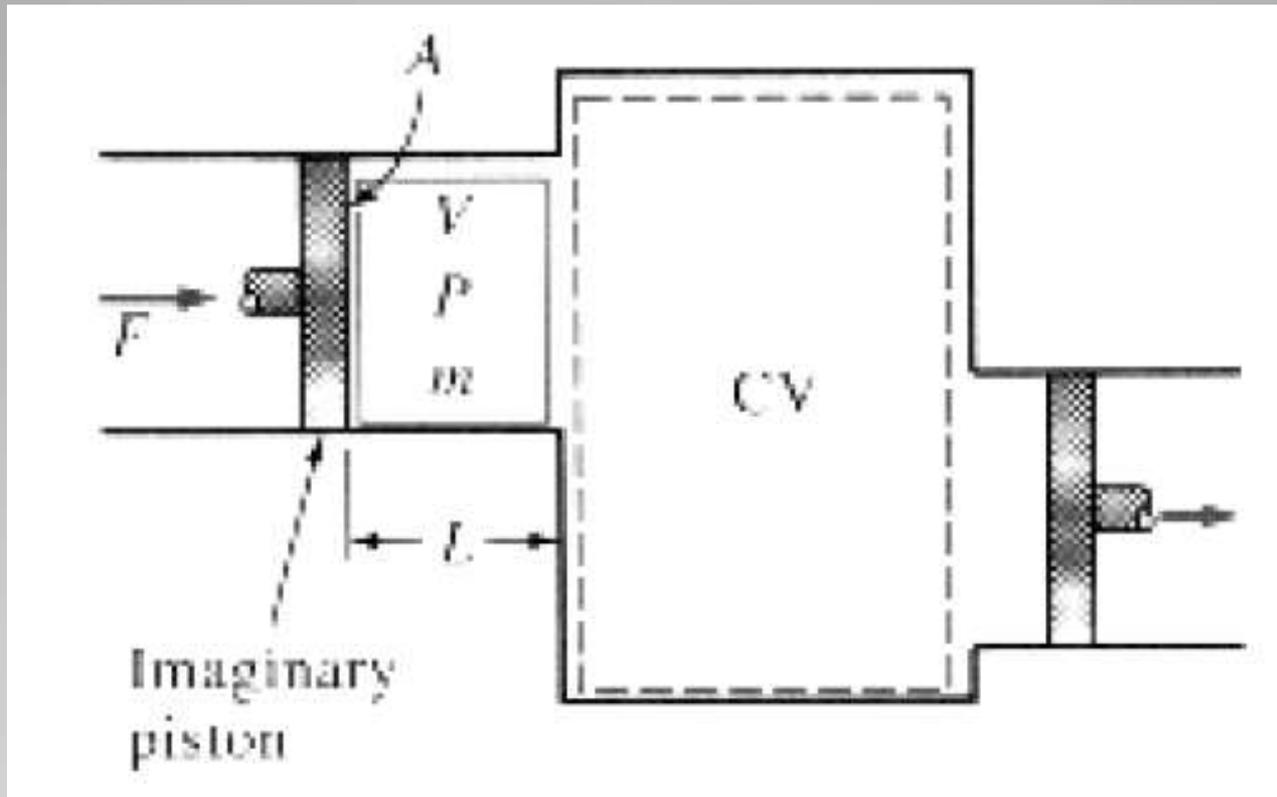
$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{E}_{in} - \sum \dot{E}_{out} = \Delta \dot{E}_{VC}$$

Equação da conservação de energia para um processo de volume de controlo

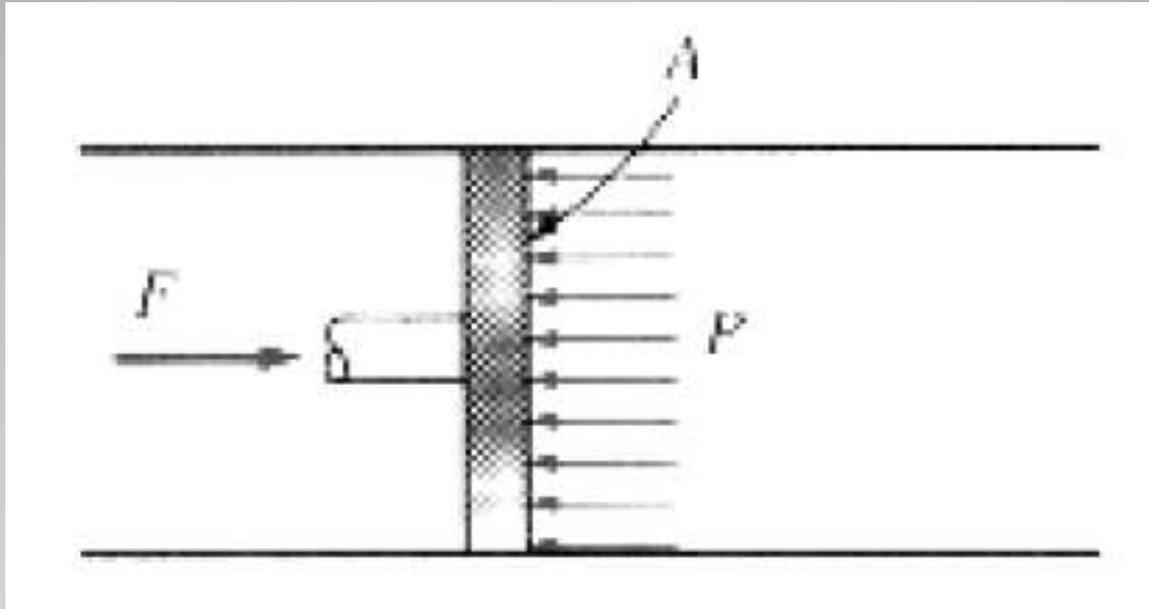
$$\left(\begin{array}{l} \text{(Energia total} \\ \text{que atravessa a} \\ \text{fronteira como} \\ \text{calor ou} \\ \text{trabalho)} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{(Energia total} \\ \text{da massa que} \\ \text{entra no} \\ \text{sistema de} \\ \text{volume de} \\ \text{controlo VC)} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{(Energia total da} \\ \text{massa que deixa} \\ \text{o volume de} \\ \text{controlo VC)} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{(Variação} \\ \text{líquida da} \\ \text{energia do} \\ \text{sistema de} \\ \text{volume de} \\ \text{controlo VC)} \end{array} \right)$$



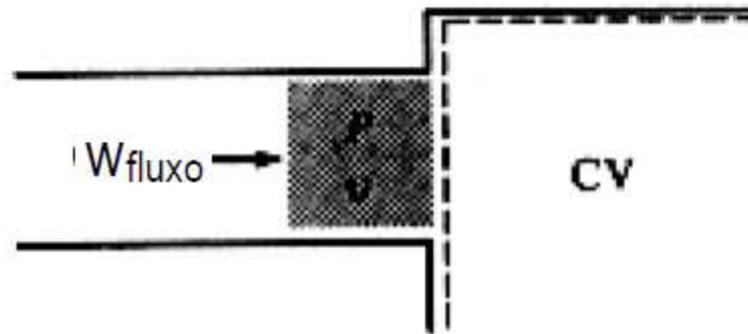
- Um volume de controlo pode envolver uma ou mais formas de trabalho



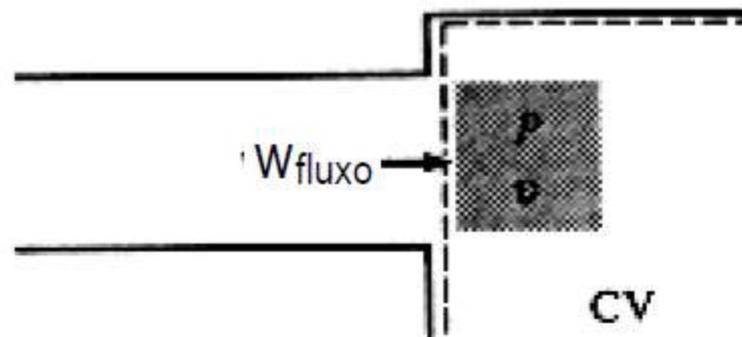
- Representação esquemática de um fluxo de trabalho



Na ausência de aceleração, a força aplicada a um fluido por um pistão é igual à força aplicada ao pistão pelo fluido



(a) antes da entrada



(b) depois da entrada

- Fluxo de trabalho é a energia necessária para fazer entrar ou sair um fluido num volume de controlo e é igual a Pv

Nonflowing fluid

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

Internal energy

Potential energy

Kinetic energy

Flowing fluid

$$\theta = Pv + u + \frac{V^2}{2} + gz$$

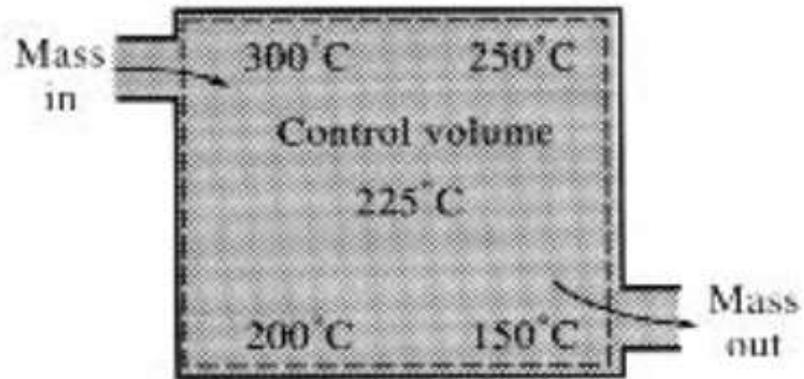
Flow energy

Kinetic energy

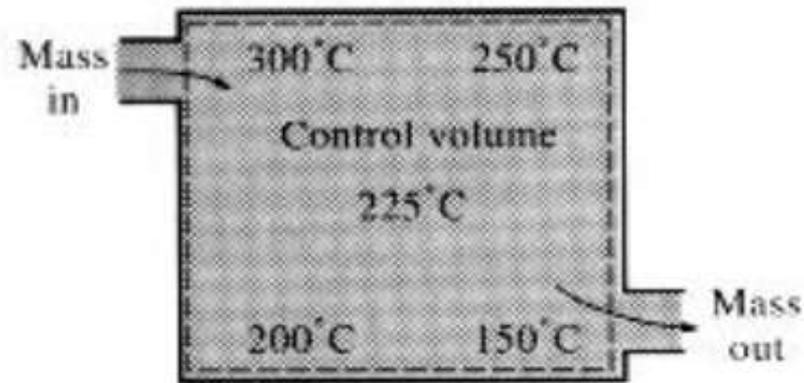
Internal energy

Potential energy

- A energia total de um sistema simples compressível consiste em três partes

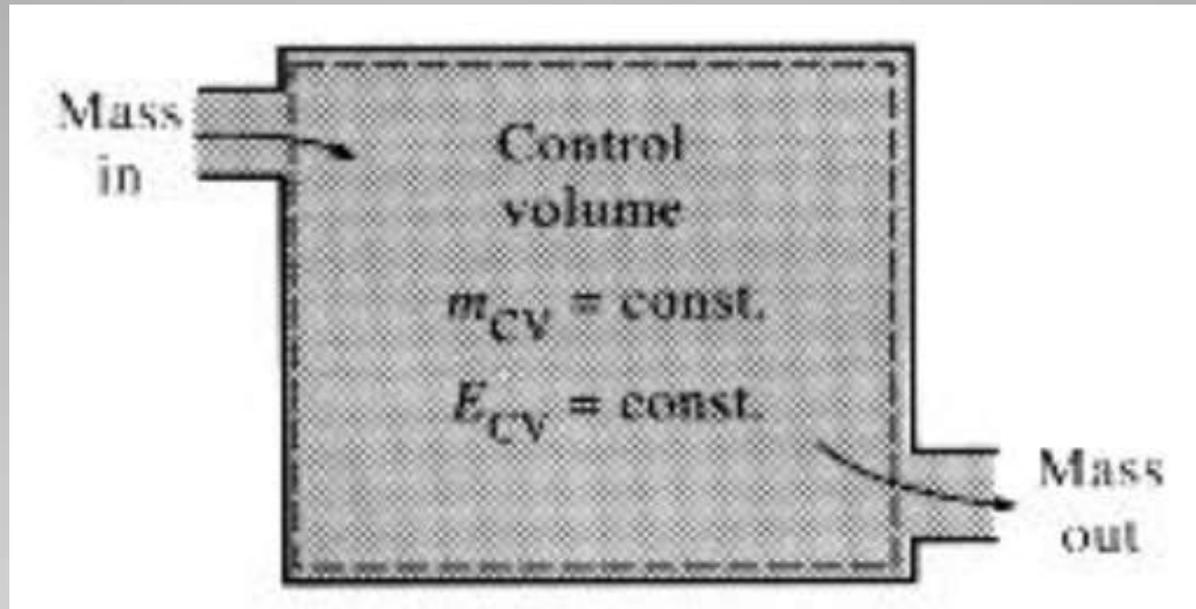


Time: 1 p.m.

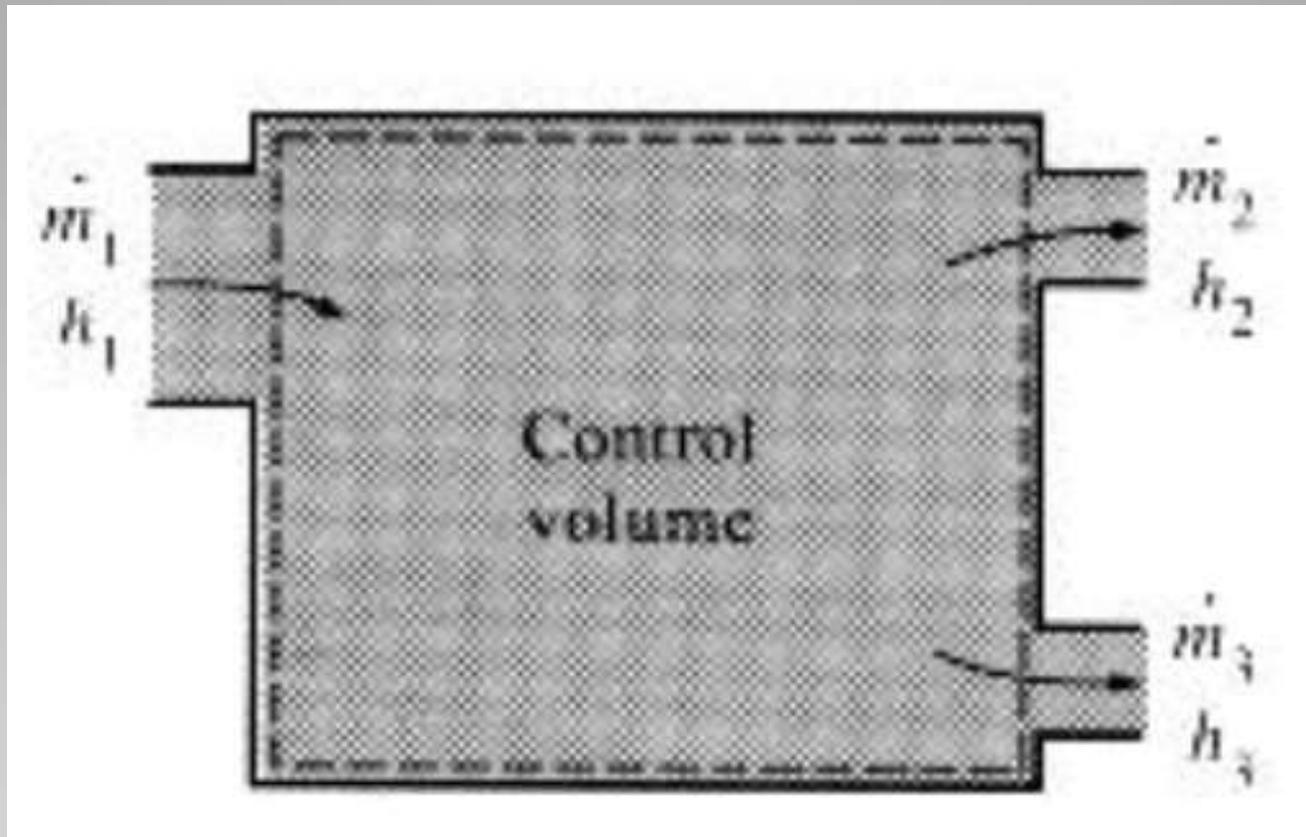


Time: 3 p.m.

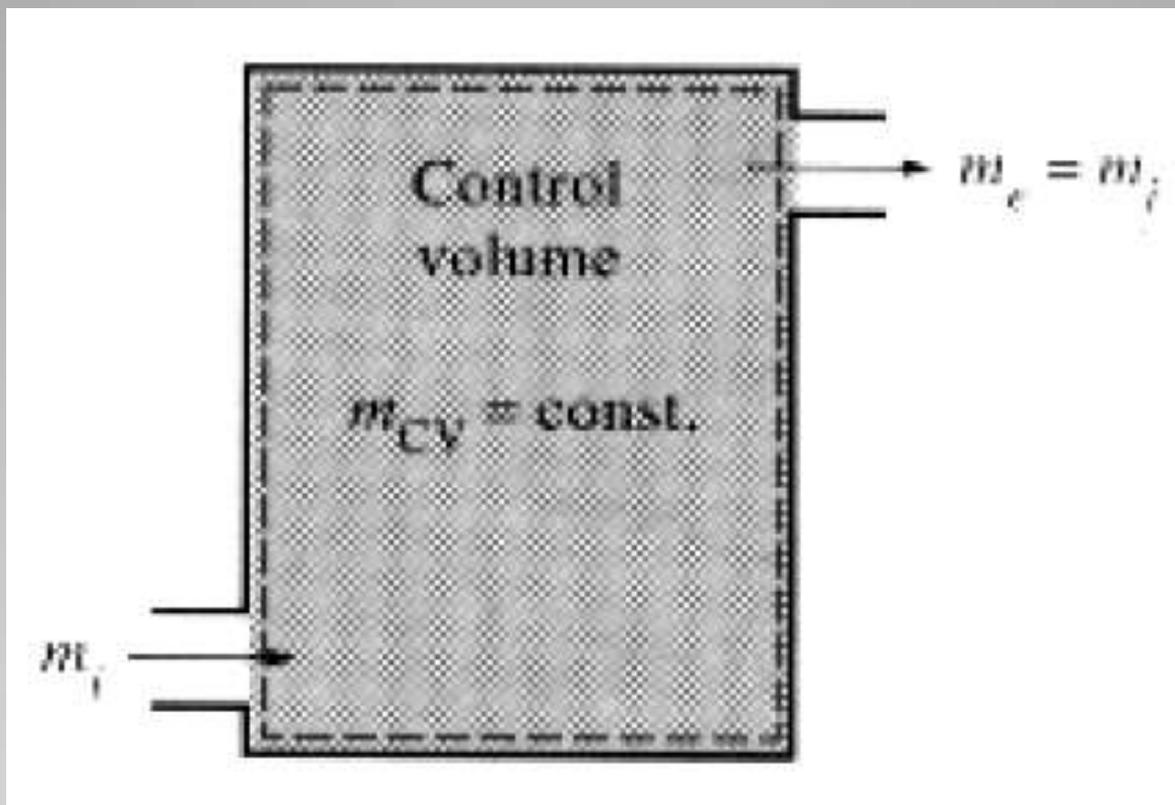
- Durante um processo de fluxo estacionário as propriedades do fluido no volume de controlo podem variar de ponto para ponto, mas permanecem constantes ao longo do tempo



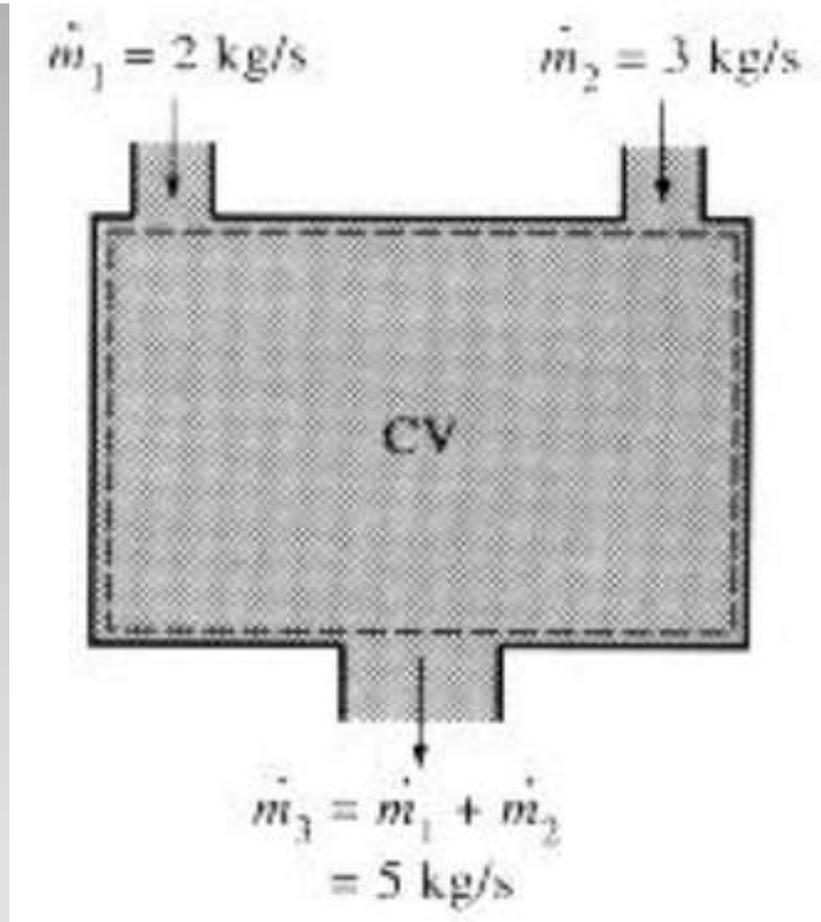
- Em condições de fluxo estacionário, o conteúdo de massa e de energia do volume de controlo permanecem constantes



- Em condições de fluxo estacionário, as propriedades do fluido à entrada e saída permanecem constantes



- Durante um processo de fluxo estacionário, a quantidade de massa que entra no volume de controlo é igual à quantidade que sai



- Princípio da conservação de massa para um sistema estacionário de duas entradas e uma saída

Princípio da Conservação de massa

- Durante um processo de fluxo estacionário:

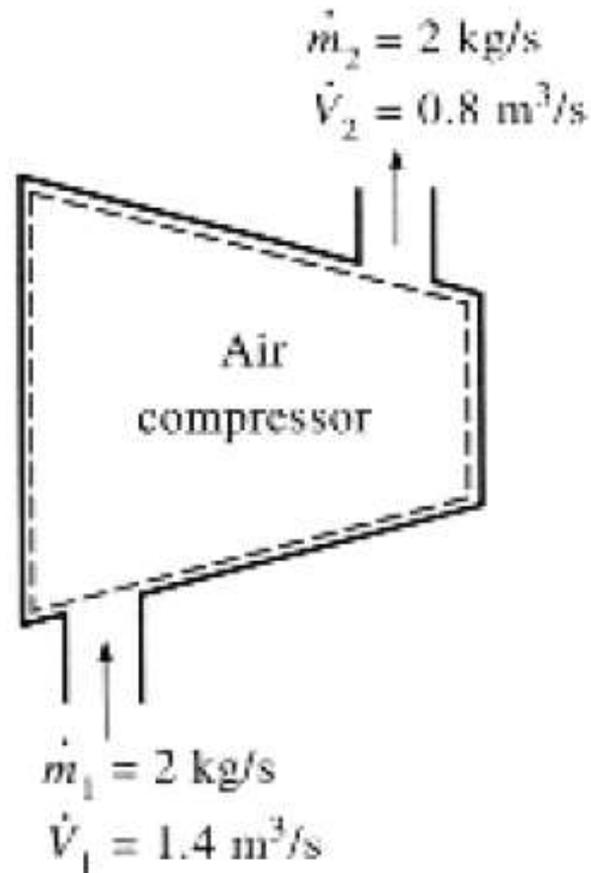
$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (\text{kg/s})$$

A maior parte dos equipamentos como tubeiras, difusores, turbinas, compressores e bombas envolvem um fluxo único a equação do princípio da conservação de massa pode ser expressa:

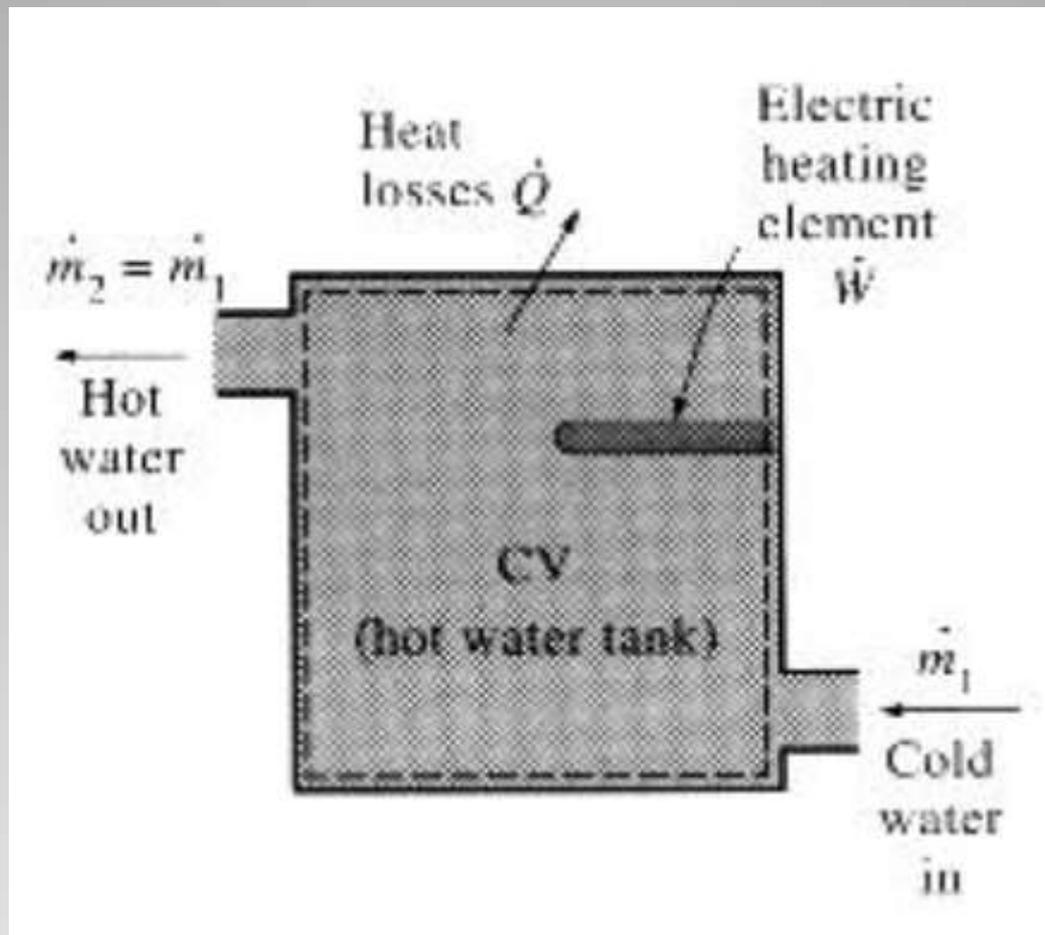
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

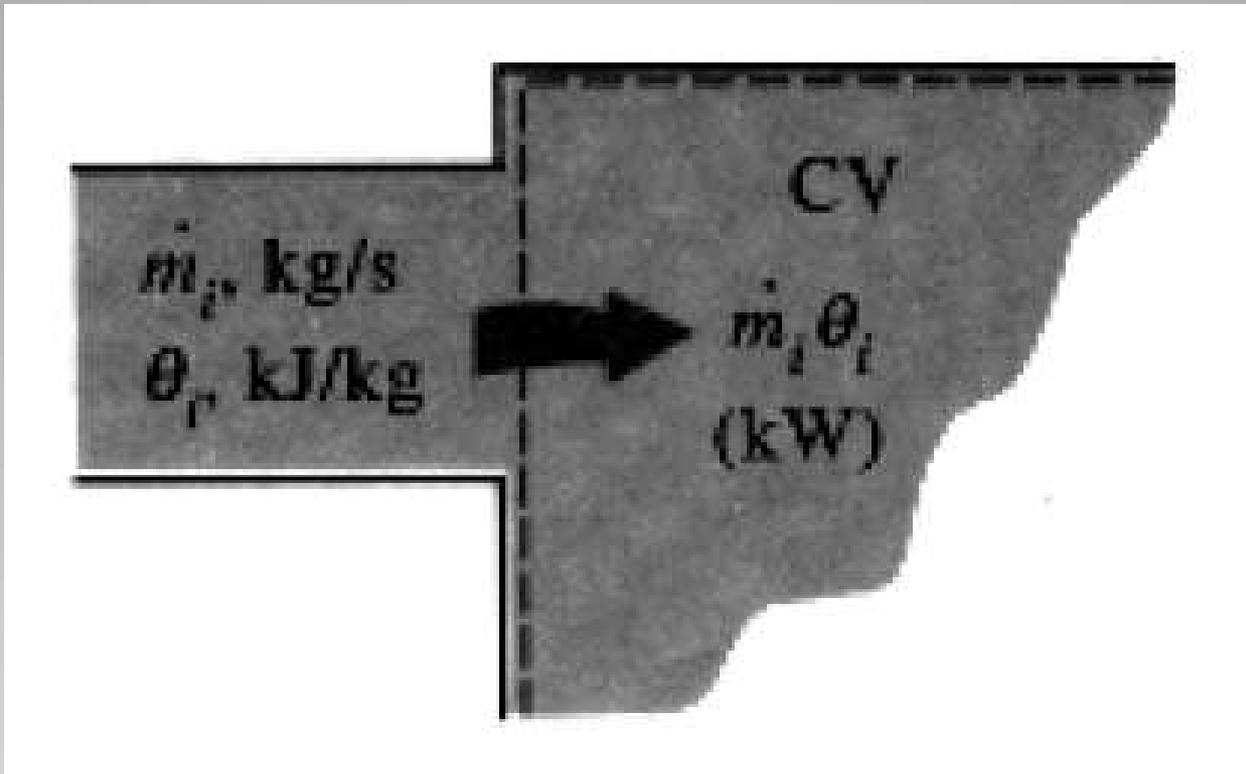
$$\frac{1}{v_1} V_1 A_1 = \frac{1}{v_2} V_2 A_2$$



- Durante um processo estacionário **as taxas de fluxo de volume não são necessariamente conservadas**



- Aquecedor de água em condições de fluxo estacionário



O produto $\dot{m}_i \theta_i$ é a energia transportada pela massa para o volume de controlo por unidade de tempo

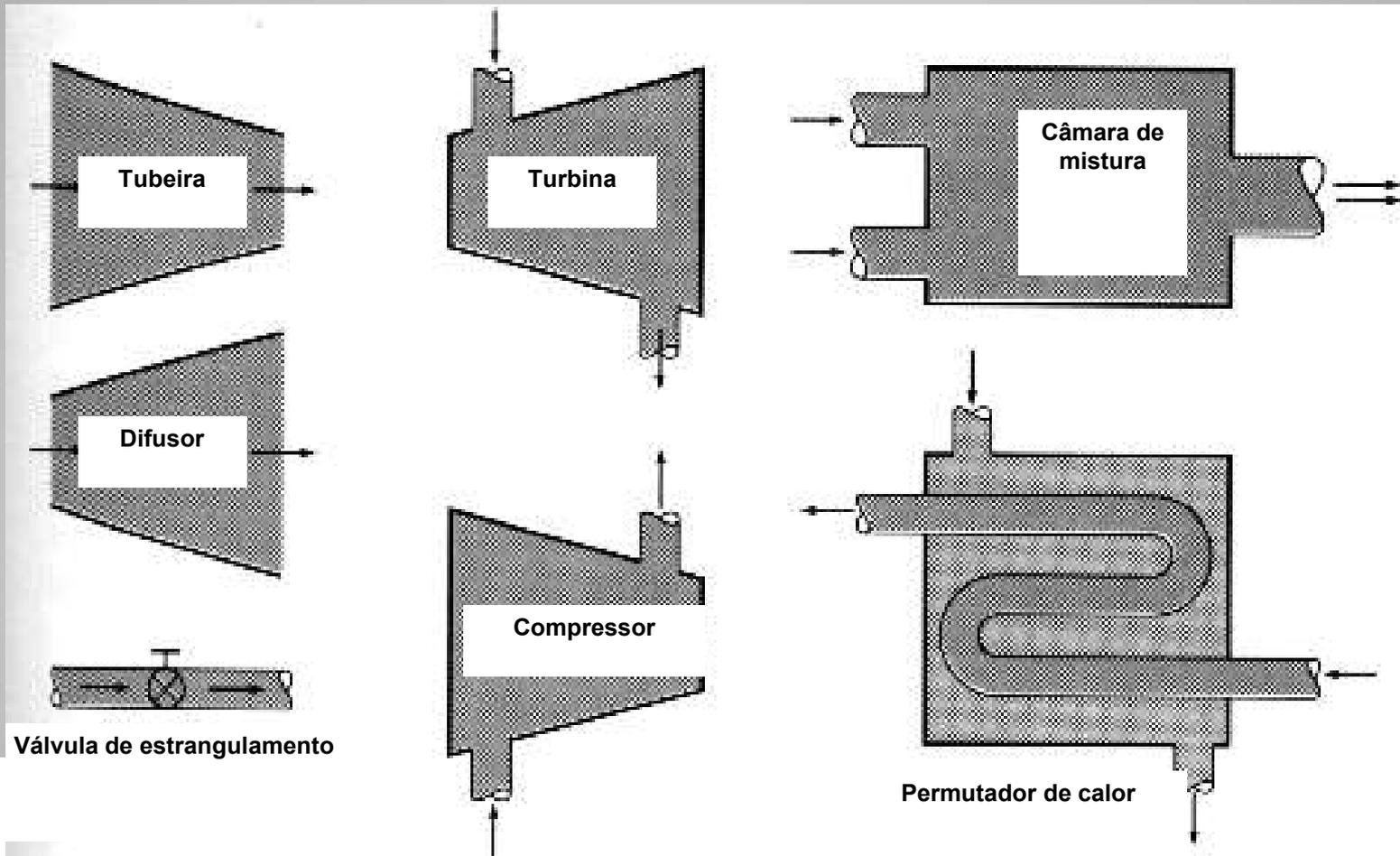
1ª Lei da Termodinâmica (Princípio da Conservação da Energia) para um sistema em processo de fluxo estacionário

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e \theta_e - \sum \dot{m}_i \theta_i$$

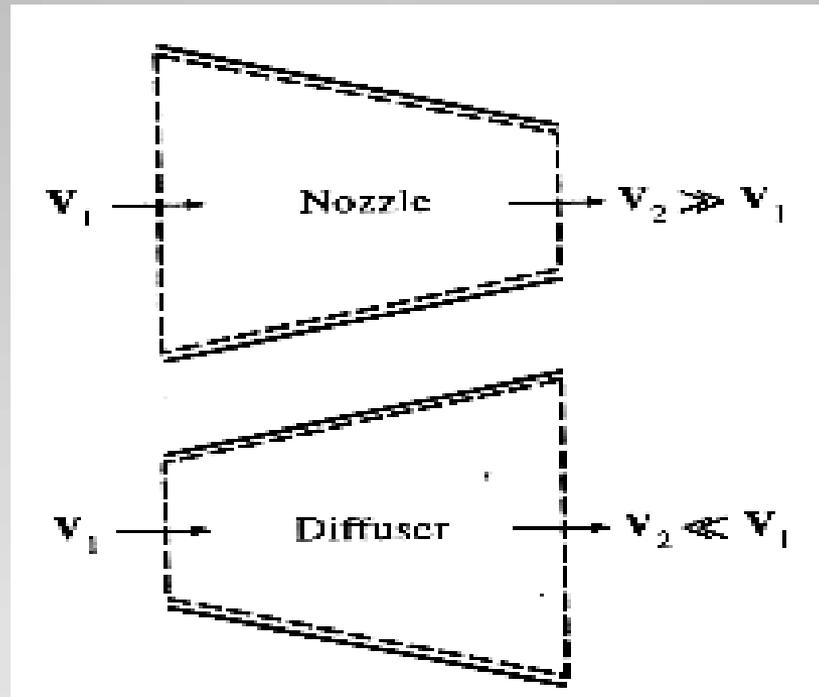
Onde θ é a energia total do fluxo de fluido, incluindo o fluxo de trabalho por unidade de tempo. Podemos exprimir do seguinte modo:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) \quad (\text{kW})$$

Alguns equipamentos em engenharia que operam em fluxo estacionário



Tubeiras e difusores



As tubeiras e difusores são desenhados de modo a causarem grandes variações na velocidade do fluido e, conseqüentemente, na sua energia cinética

Turbinas e Compressores

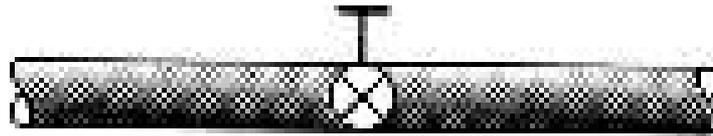
$\dot{Q} \approx 0$ O calor transferido para estes equipamentos é geralmente pequeno quando comparado com o trabalho realizado pelo motor, só tem expressão se houver arrefecimento (como é o caso do compressor)

$\dot{W} \neq 0$ Para as turbinas \dot{W} representa a potência de saída, para as bombas e compressores a potência de entrada

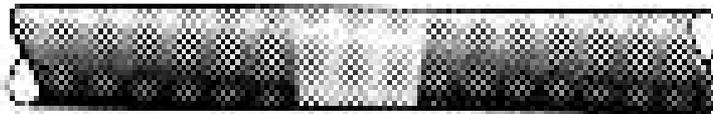
$\Delta pe \approx 0$ A variação da energia potencial que o fluido sofre ao fluir nas turbinas, compressores e bombas é muito pequena e portanto pode ser desprezada.

$\Delta ke \approx 0$ As velocidades envolvidas em todos estes equipamentos, com exceção das turbinas, no entanto a variação da energia cinética é muito pequena quando comparada com a variação da entalpia

Válvulas de estrangulamento



(a) válvula ajustável



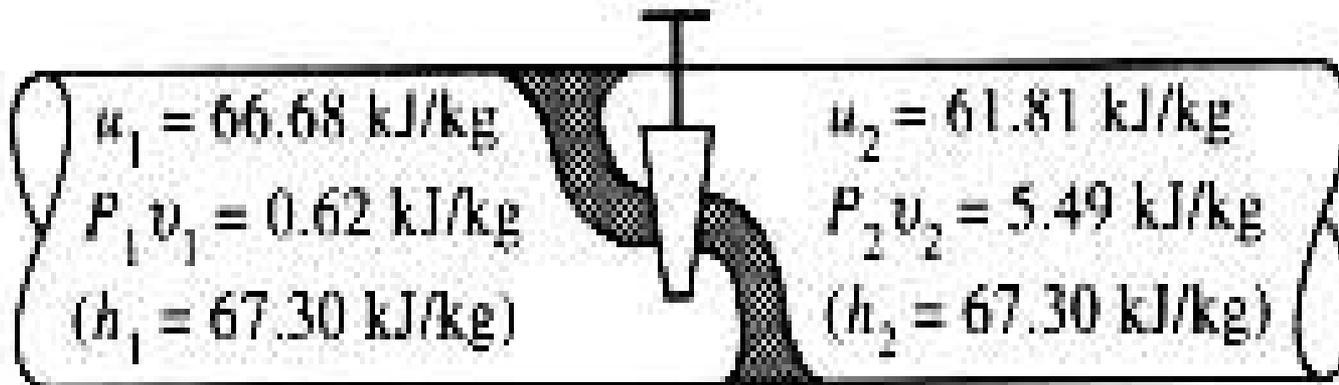
(b) ligação porosa



(c) tubo capilar

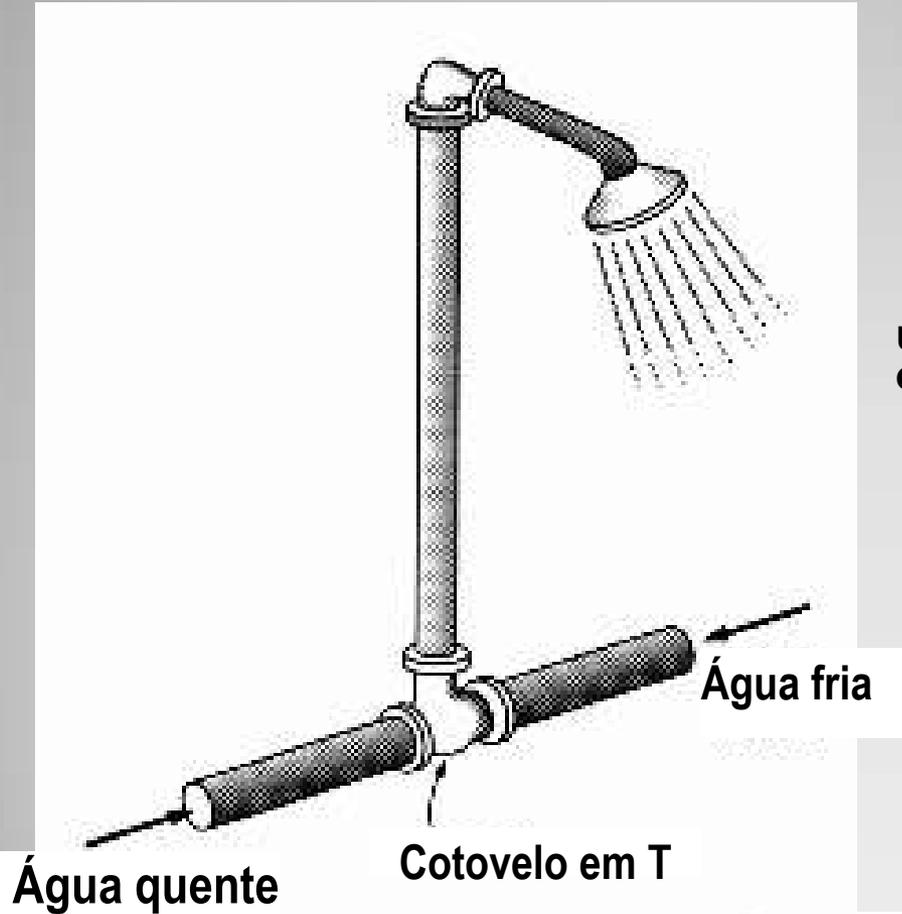
- Válvulas de estrangulamento são equipamentos que causam grandes perdas de pressão no fluido

Válvula de estrangulamento



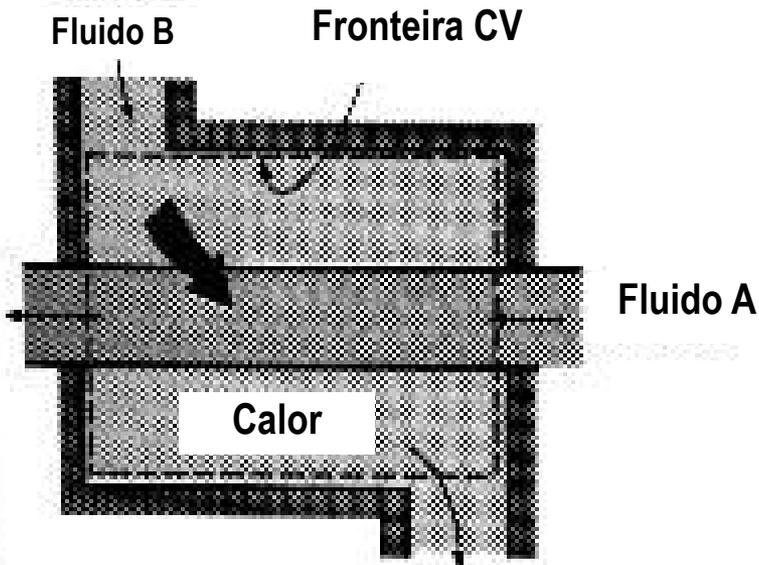
- A temperatura de um gás ideal não varia durante um processo de estrangulamento ($h = \text{constante}$) uma vez que $h = h(T)$

Câmaras de mistura

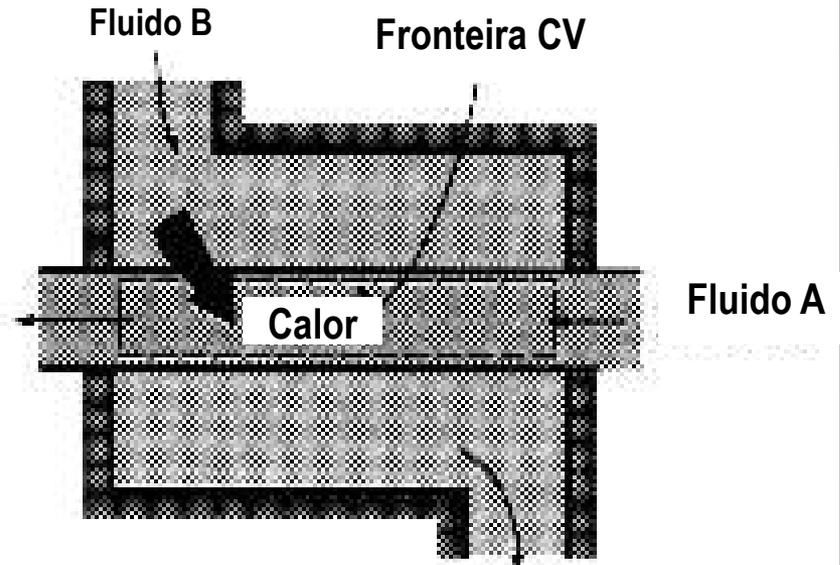


- Um cotovelo em T de um simples chuveiro funciona como câmara de mistura para fluxos de água fria e água quente

Permutadores de calor

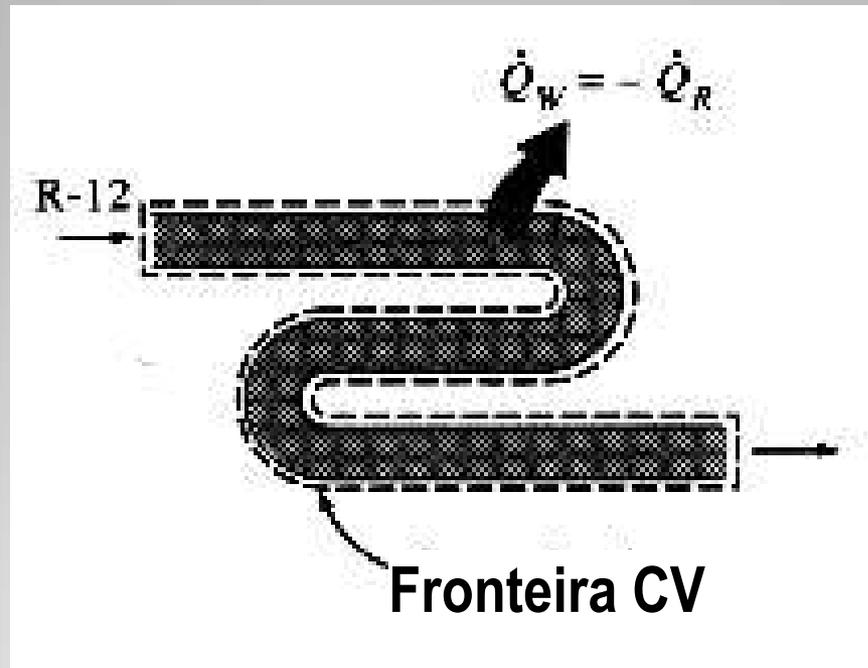


(a) Sistema: Permutador de calor completo ($Q_{CV} = 0$)



(a) Sistema: Fluido A ($Q_{CV} \neq 0$)

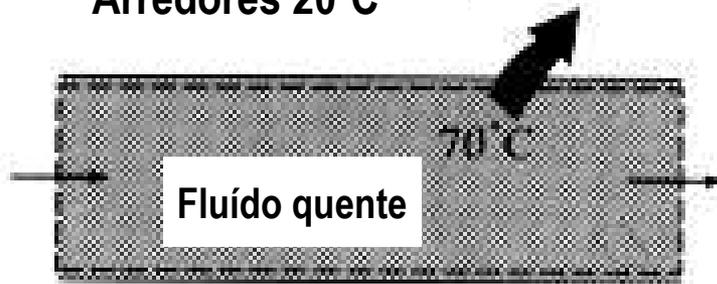
A transferência de calor associada a um permutador de calor pode ser nula ou não, dependendo do modo como o sistema é selecionado



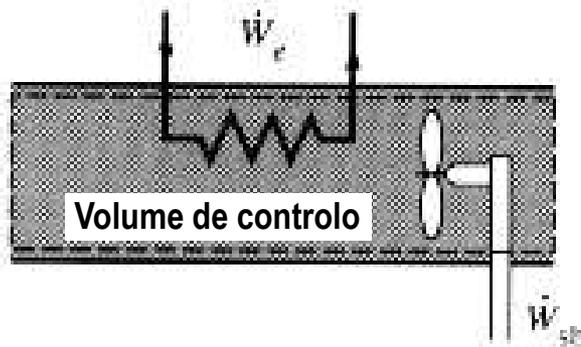
- Num permutador de calor, a transferência de calor depende da escolha do volume de controlo

Tubagens e condutas de fluxo

Arredores 20°C



As perdas de calor para os arredores de um fluido quente fluindo numa tubagem ou numa conduta não isolada podem ser muito significativas



Fluxos em tubagens ou condutas podem envolver mais do que uma forma de trabalho ao mesmo tempo

RESUMO

Neste capítulo, discutimos os princípios da conservação da massa e da energia para volumes de controlo.

Massa transporta energia, então o conteúdo de energia varia quando a massa entra ou sai de um volume de controlo.

O fluxo de massa através de uma secção, por unidade de tempo, é designada por taxa de fluxo de massa e é designada por \dot{m} e é expresso por:

$$\dot{m} = \rho V_{av} A \quad (\text{kg/s})$$

onde:

ρ = massa volúmica (kg/m^3) = (1/v)

V_{av} = velocidade média do fluido normal a A (m/s)

A = área da secção transversal (m^2)

RESUMO (cont.)

O volume de fluido atravessando a secção transversal por unidade de tempo é designado por taxa de volume de fluxo \dot{V} . É dado por:

$$\dot{V} = \int_A V_n dA = V_{av} A \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

O fluxo de taxa de massa e o fluxo de taxa volume estão relacionados por:

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

Processos termodinâmicos envolvem volumes de controlo. Podem ser considerados em dois grupos: processos de fluxo estacionário e processos de fluxo não estacionário. Durante os processos de fluxo estacionário, o fluido flui através do volume de controlo de um modo estacionário e não sofre variação como tempo numa posição fixa.

RESUMO (CONT.)

O conteúdo de massa e energia do volume de controlo permanece constante durante um processo de fluxo estacionário. As equações de conservação de massa e energia para processos de fluxo estacionário são expressos por:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (\text{kg/s})$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) \quad (\text{kW})$$

onde o índice i é a entrada e e a saída.

Estas são as equações mais genéricas para processos de fluxo estacionário. Para um único fluxo (uma entrada, uma saída), sistemas tais como tuberias, difusores, turbinas, compressores e bombas, podem simplificar-se para:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (\text{kg/s})$$

ou

$$\frac{1}{v_1} V_1 A_1 = \frac{1}{v_2} V_2 A_2$$

e

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \quad (\text{kW})$$

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

ou

$$q - w = \Delta h + \Delta Ke + \Delta Pe \quad (\text{kJ/kg})$$

onde:

$$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \quad \text{calor transferido por unidade de massa (kJ/kg)}$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \quad \text{trabalho realizado por unidade de massa (kJ/kg)}$$

Nas relações acima escritas, os índices 1 e 2 designam-se por estado inicial e o estado final, respectivamente.

Os processos de estado estacionário é o modelo de processo para fluxos através das tubeiras, difusores, turbinas, compressores, ventoinhas, bombas, tubagens, válvulas de estrangulamento, câmaras de mistura e permutadores de calor.

Para processos fluxo não estacionário, as equações de conservação de massa e energia são:

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = (\dot{m}_2 - \dot{m}_1)_{VC} \quad (\text{kg})$$

$$Q - W = \sum_{me} \int \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) \delta \dot{m}_e - \sum_{mi} \int \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) \delta \dot{m}_i + \Delta E_{VC}$$

Os vários índices que aparecem nas equações acima escritas são i = entrada, e = saída, 1 = estado inicial, 2 = estado final do volume de controlo.

Muitas vezes um ou mais termos de Eq. 4.29 são zero.

Por exemplo, $\dot{m}_i = 0$. se não houver entrada de massa no volume de controlo, e $\dot{m}_e = 0$ se não houver saída de massa do sistema. Se o sistema de volume de controlo estiver vazio no início, $\dot{m}_1 = 0$.

Os processos de fluxo não estacionário, serão difíceis de analisar por causa das integrações expressas na Eq. 4.35, e por isso são difíceis de realizar.

Alguns processos de fluxo estacionário, contudo, podem ser representados, por um modelo simplificado designado por processo de fluxo uniforme. Durante um processo de fluxo uniforme, o estado de volume de controlo pode mudar com o tempo, mas fá-lo de um modo uniforme. Também as propriedades de fluido à entrada e saída permanecem constantes durante todo o processo.

A equação da conservação da energia para um processo de fluxo uniforme podem ser reduzidas a:

$$Q - W = \sum m_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum m_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) + (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{VC}$$

Quando as variações da energia cinética e energia potencial associadas com o volume de controlo e com os fluxos de fluido são desprezáveis, a eq. 4.37 pode ser simplificada:

$$Q - W = \sum m_e h_e - \sum m_i h_i + (m_2 \mu_2 - m_1 \mu_1)_{VC}$$