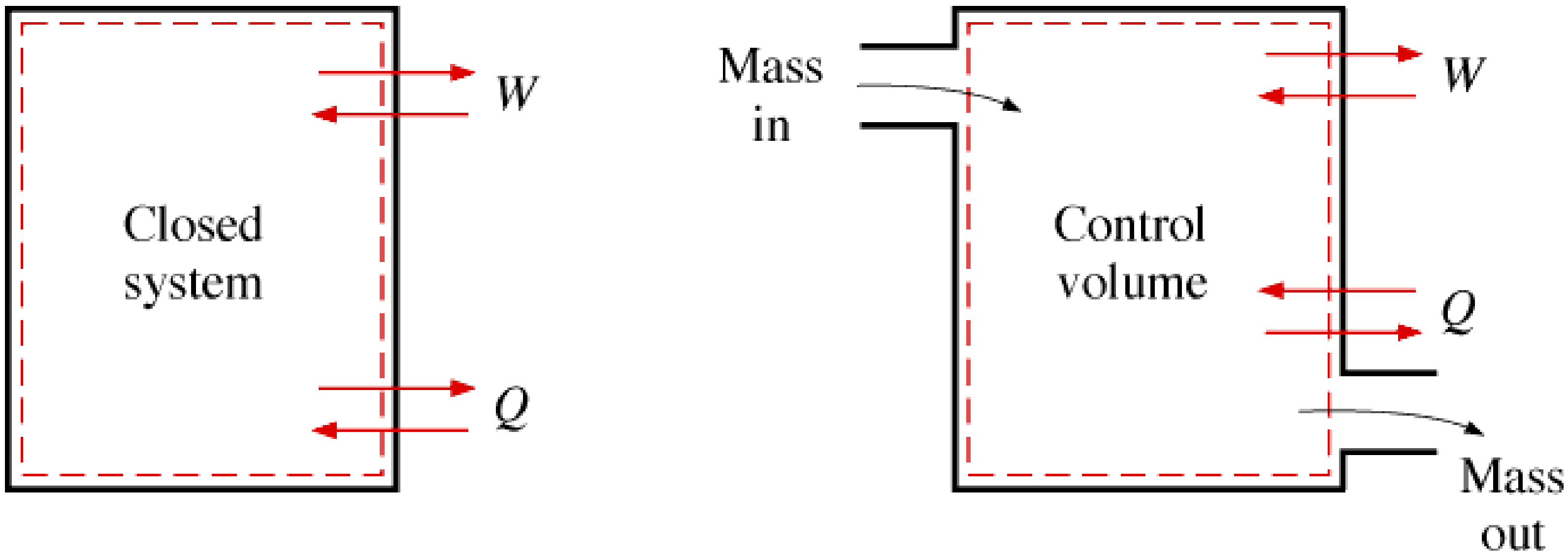
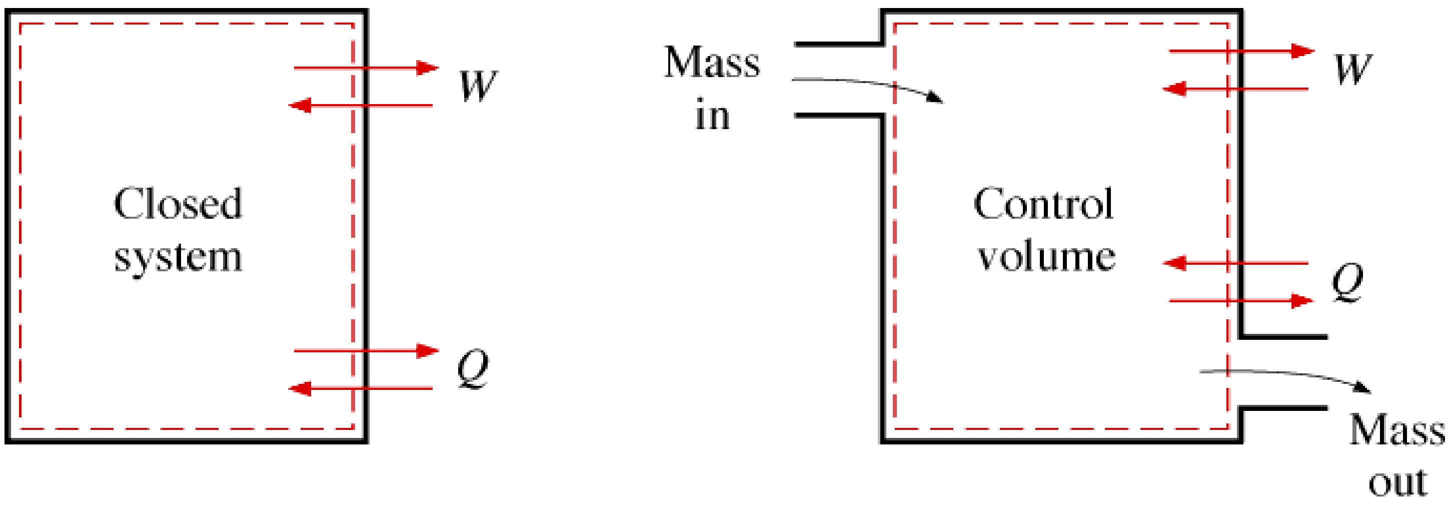
Sistemas abertos
Equações de conservação

Diferenças entre sistemas abertos e fechados



Fluxos de massa, calor e trabalho afetam o conteúdo energético

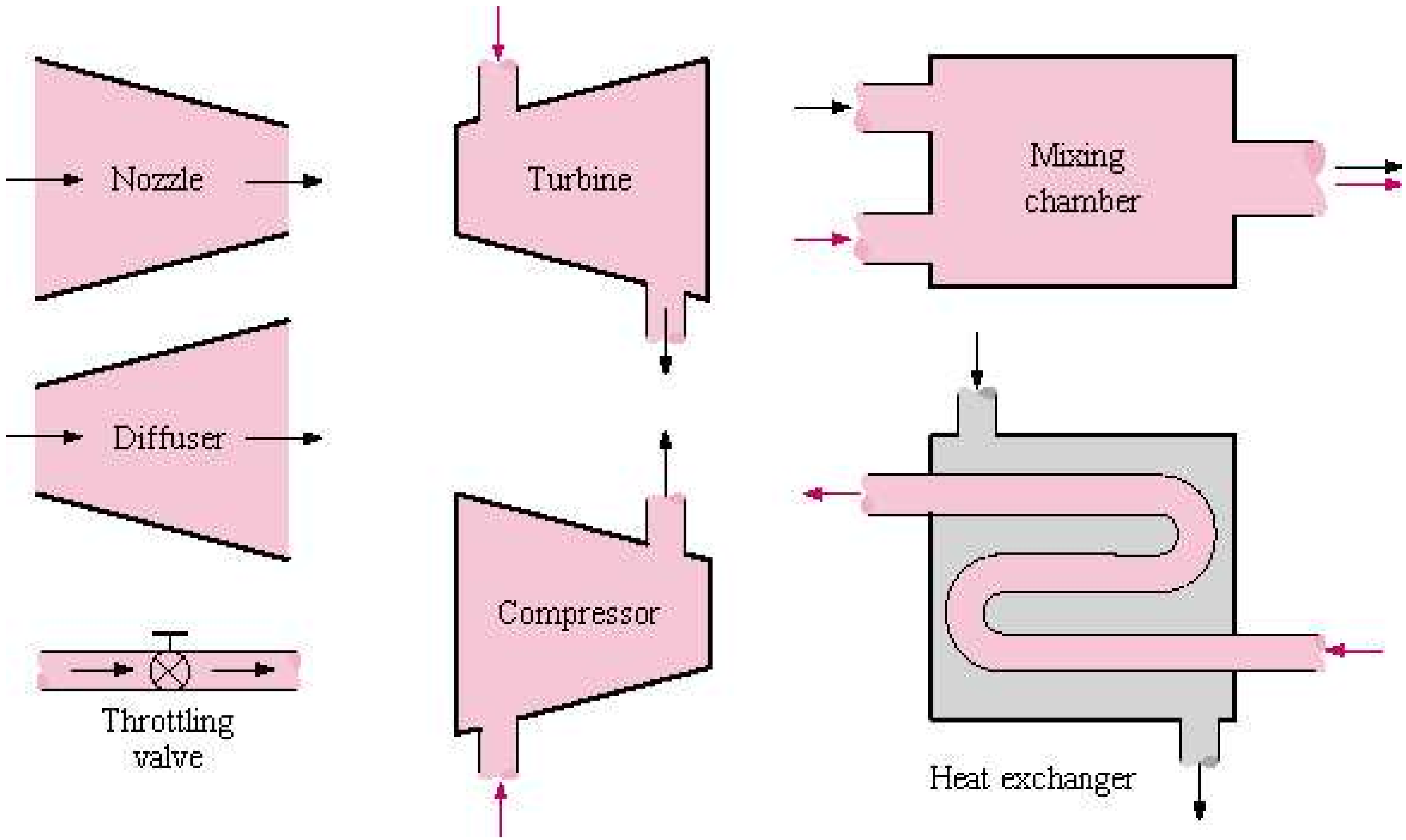
O conteúdo energético de um volume de controle pode ser alterado através de fluxos de massa assim como por interações de trabalho e de calor



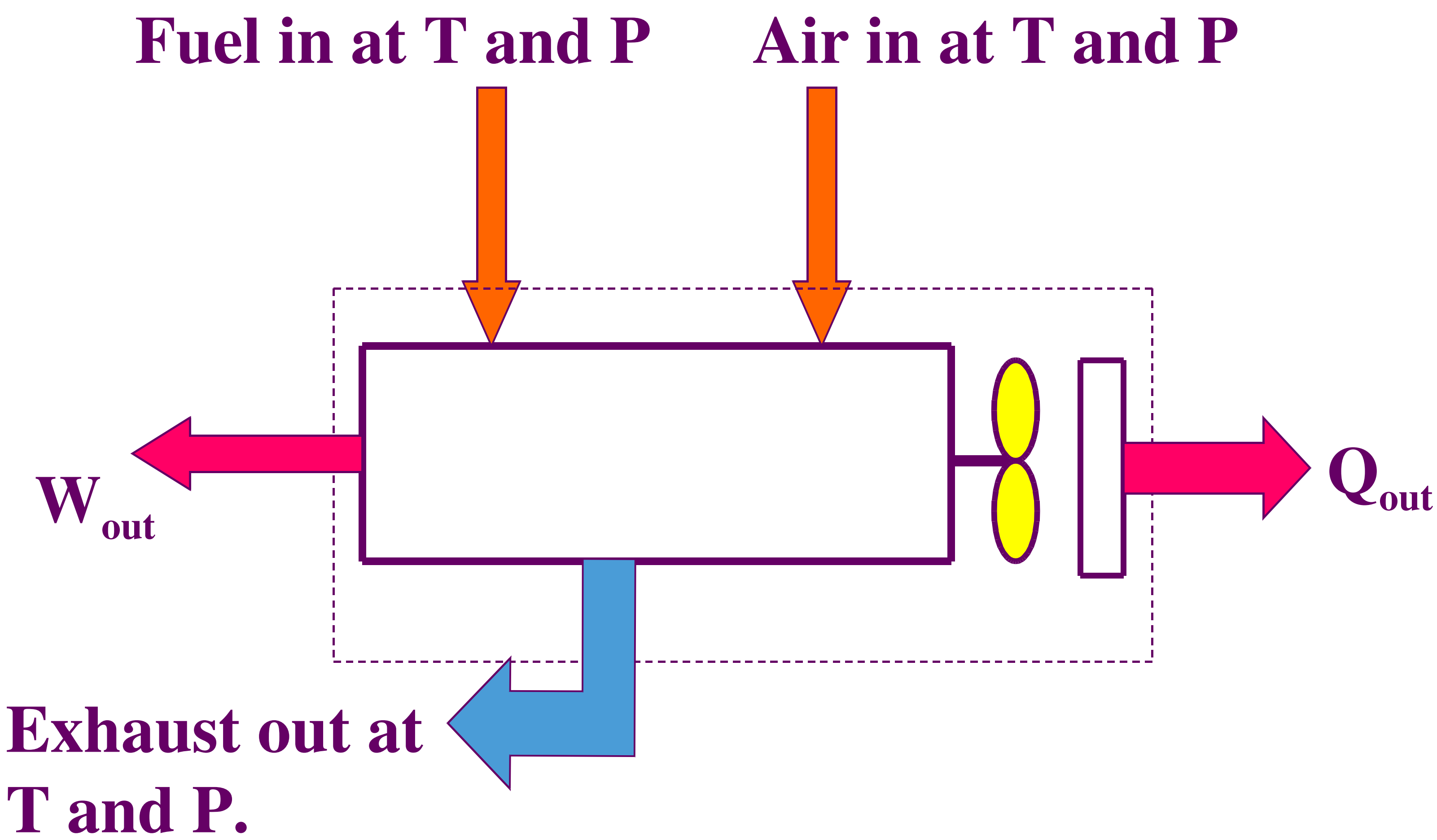
Volume de controle

- **Sistema fechado – massa de controle**
- **Sistema aberto – volume de controle, envolve <u>fluxos de massa</u> de/para o sistema**
- **Bomba, turbina, ar condicionado, radiadores, aquecedores, etc.**
- **Em geral, qualquer região do espaço pode ser escolhida como volume de controle.**
- **Uma escolha adequada do volume de controle simplifica o problema.**

Sistemas abertos, volume de controle



Exemplo: motor de automóvel



Leis físicas e conceitos para SISTEMAS

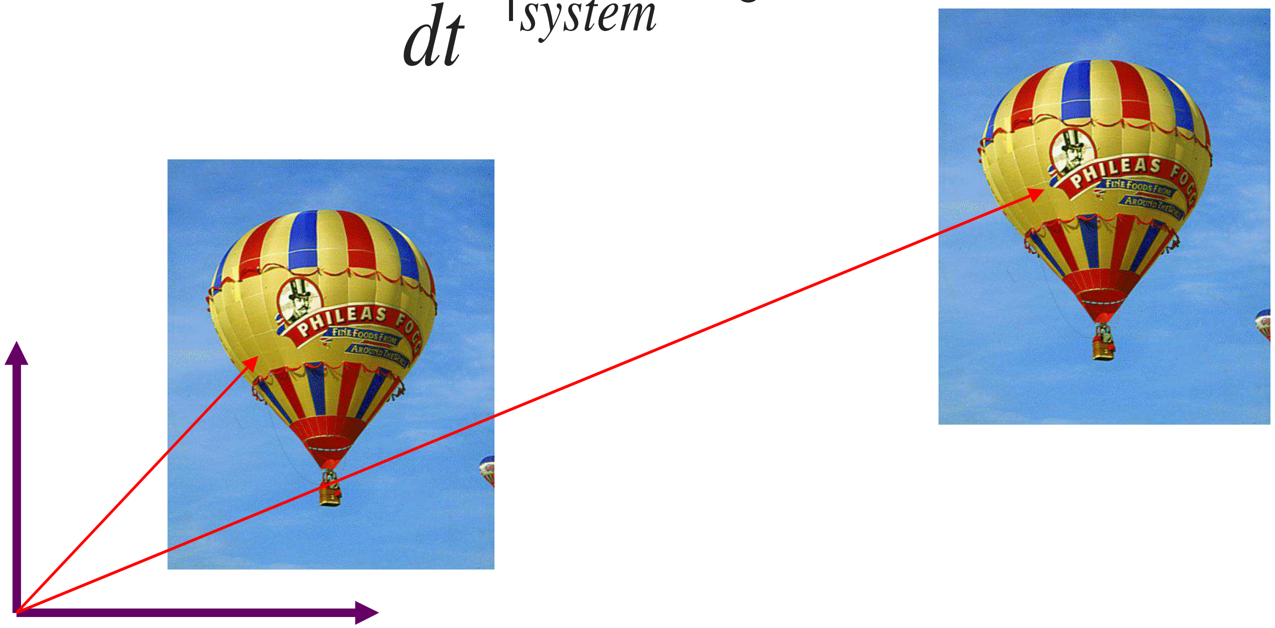
- **Todas as leis físicas vistas até agora foram desenvolvidas para <u>sistemas</u> fechados: um conjunto de partículas com uma identidade.**

- **Em um sistema, massa não pode cruzar as fronteiras, mas calor e trabalho podem.**

Equação de conservação da massa

- A massa de um sistema é constante. Seguindo-se o sistema, em um sistema de referência Lagrangeano, não se observa variação de massa.

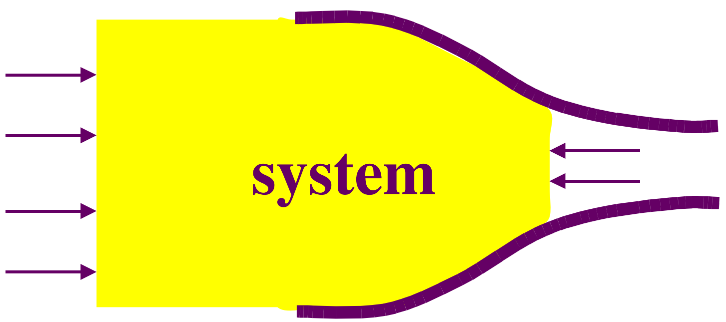
$$\left.\frac{dM}{dt}\right|_{system} = 0$$

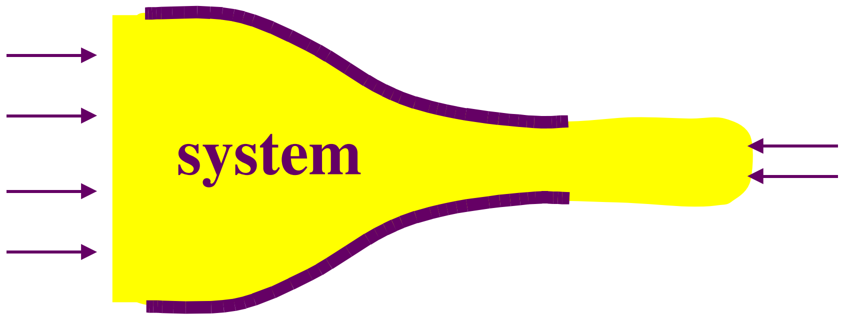


Conservação da quantidade de movimento

- Seguindo-se o sistema, em um sistema de referência Lagrangeano, a variação de QDM é igual a resultante das forças agindo sobre o sistema:

$$\frac{d\left(M\,\vec{V}\right)}{dt}\bigg|_{system} = \sum \vec{F}_{\text{external forces}}$$





Conservação da quantidade de movimento angular

- **Seguindo-se o sistema, em um sistema de referência Lagrangeano, a variação de QDMA é igual a resultante dos torques agindo sobre o sistema:**

$$\left.\frac{d\left(M\,\vec{r}\times\vec{V}\right)}{dt}\right|_{system}=\sum \vec{r}\times\vec{F}_{\text{external torques}}$$

Conservação da energia: 1ª lei

- Seguindo-se o sistema, em um sistema de referência Lagrangeano, a variação de energia é igual aox fluxos líquidos de calor e trabalho cruzando as fronteiras

$$\left.\frac{d\left(Me\right)}{dt}\right|_{system} = \oiint_{boundary} \left(\dot{Q}'' - \dot{W}''\right) dA$$

- e = u+gz+v²/2 energia específica (J/kg)
- $\dot{Q}''$ e $\dot{W}''$ = fluxos de energia por unidade área, ($Js^{-1}m^{-2}$)

Variação de entropia: 2ª lei

- **Seguindo-se o sistema, em um sistema de referência Lagrangeano, a variação de entropia é igual ao fluxo de calor dividido pela temperatura da fronteira mais a entropia produzida:**

$$\left.\frac{d\left(Ms\right)}{dt}\right|_{system} = \oiint_{boundary} \frac{\delta\,\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

Forma geral equações de conservação/transporte

$$\left.\frac{dB}{dt}\right|_{system} = \left.\frac{d\left(M\beta\right)}{dt}\right|_{system} = Termos\ fonte$$

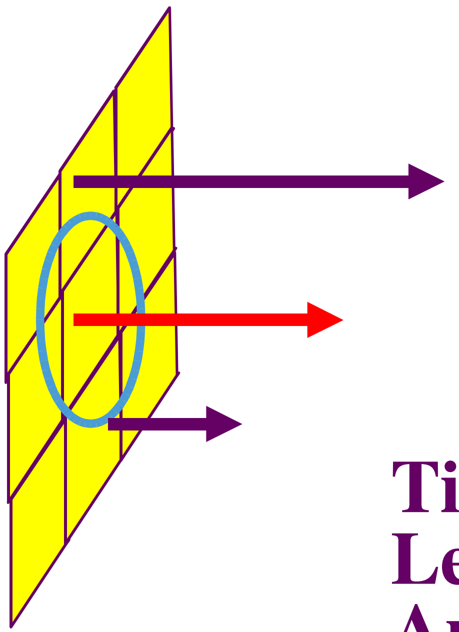
	B	**β**	**Fonte**
Massa	**M**	**1**	0
QDM	**MV**	**V**	$\sum F_{ext}$
QDMA	**$M r_x V$**	**$r_x V$**	$\sum r_x F_{ext}$
1ª Lei	**E**	**e**	$\oint (Q''-W'')dA$
2ª Lei	**S**	**s**	$\oint \delta Q/T + S_{gen}$

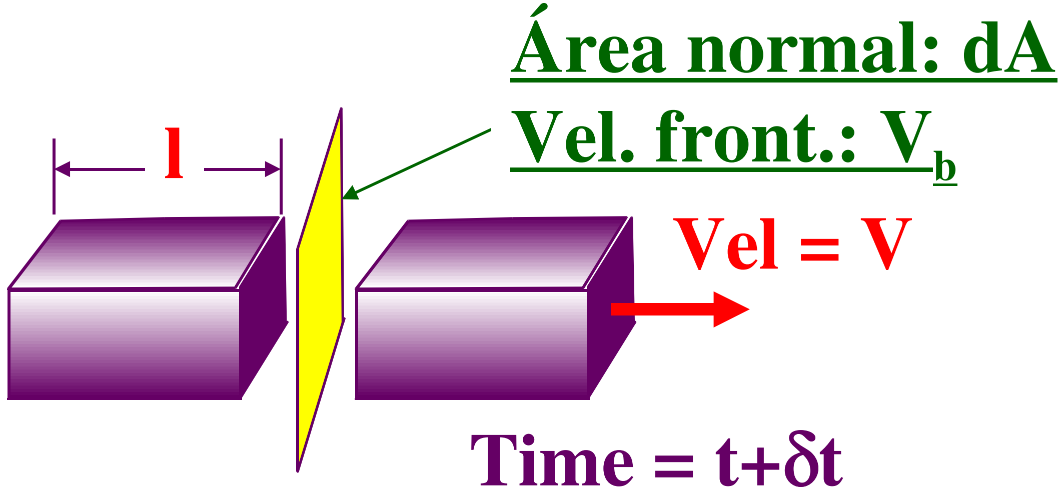
Sistemas x volumes de controle

- **Para fronteiras se deformando continuamente (gases e líquidos) é difícil fazer uma análise baseada em um sistema**
- **É muito mais simples analisar uma região fixa do espaço (volume de controle)**
- **Como transpor as propriedades de um sistema para um volume de controle?**

Considerações preliminares

- **Antes de fazer uma análise em volume de controle, é necessário definir o fluxo de massa em termos da velocidade.**





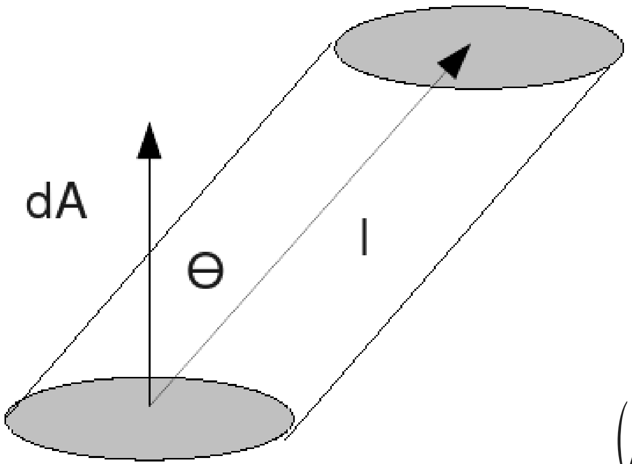
Time = t
Length = l
Area = dA
Volume= l.dA
Fluid vel.: V
Boundary vel.:V_b

Time = t+δt
Length = l
Area = dA
Volume= l.dA
Fluid vel.: V
Boundary vel.:V_b

Fluxo de massa: kg.sec^{-1}

- **Para cada elemento de área há um fluxo de massa cruzando-o**

$$d\dot{m} = Lim\left(\frac{m^{t+\delta t} - m^{t}}{\delta t}\right) = \frac{(\rho\, dV)^{t+\delta t} - (\rho\, dV)^{t}}{\delta t}$$



$$dV = dA\, l \cos(\theta) = \vec{l} \,.\, \vec{dA}$$

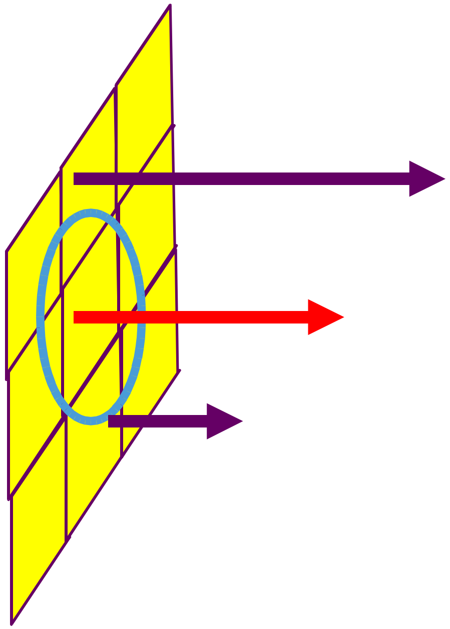
$$d\dot{m} = \frac{(\rho l \cos\theta\, dA)^{t+\delta t} - (\rho l \cos\theta\, dA)^{t}}{\delta t} \equiv \rho\left(\vec{V}_r \cdot \vec{dA}\right)$$

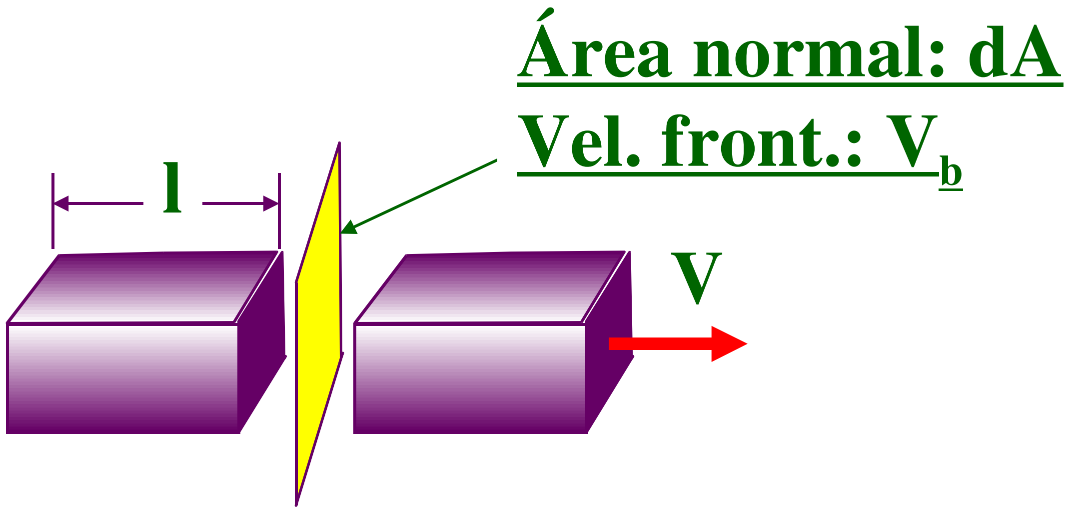
- **V_r é a velocidade relativa entre o fluido e a fronteira:**
  $V_r = V - V_b$

Fluxo de massa: kg.sec^{-1}

- **Considerando a área aberta ao fluxo, o fluxo de massa é:**

$$\dot{m} = \int d\,\dot{m} = \iint \rho \left(\vec{n} \cdot \vec{V}_r \right) dA$$





Variável genérica β

$$B = \int \beta \, \rho \, dV$$

B = variável extensiva

β = variável intensiva

$B = M \rightarrow \beta = 1$

$B = MV \rightarrow \beta = V$

$B = E \rightarrow \beta = e$

$B = S \rightarrow \beta = s$

Fluxo de uma variável genérica β

$$\dot{B} = \iint \beta \, \rho \left(\vec{n} \cdot \vec{V}_r \right) dA$$

Fluxo de B: β.kg.sec^{-1}

$$\dot{M} = \iint \rho \left(\vec{n} \cdot \vec{V}_r \right) dA$$

Fluxo de massa: kg.sec^{-1}

$$\dot{U} = \iint u\rho \left(\vec{n} \cdot \vec{V}_r \right) dA$$

Fluxo energia interna: J.sec^{-1}

$$\dot{\vec{X}} = \iint \rho \vec{V} \left(\vec{n} \cdot \vec{V}_r \right) dA$$

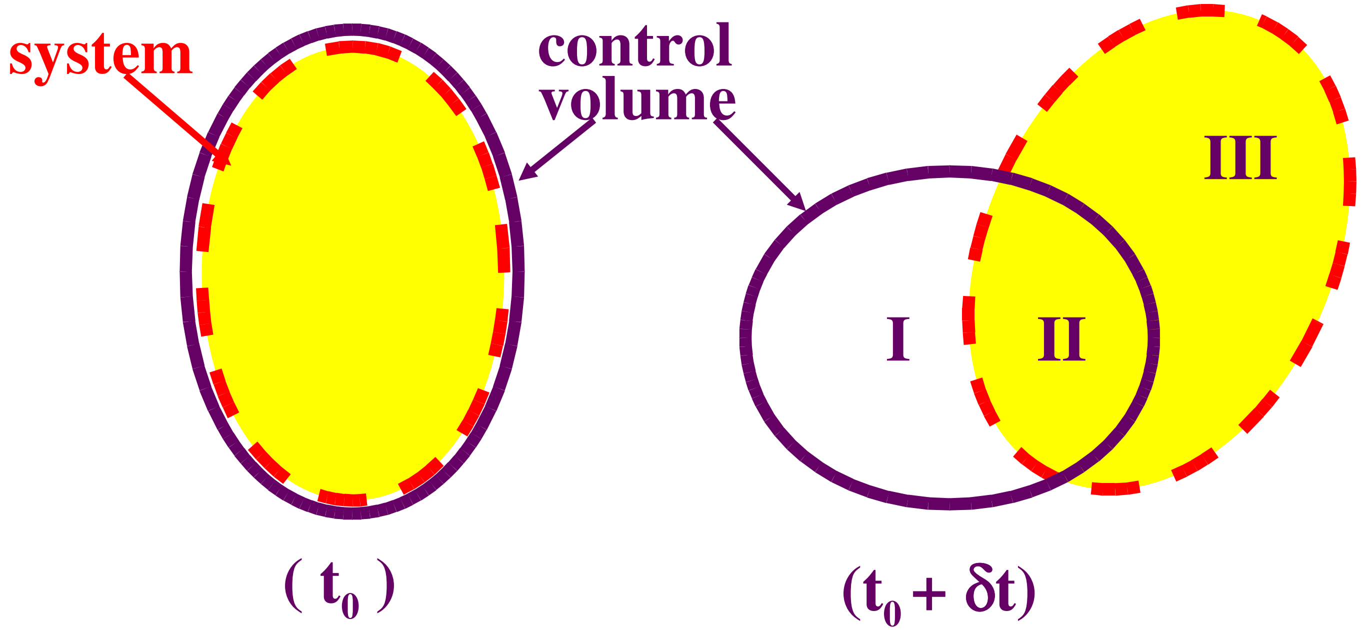
Fluxo de QDM: Nm/s

Teorema do Transporte de Reynolds RTT

- **O volume de controle é uma região do espaço delimitada pela superfície de controle que é deformável ou não e que pode ser cruzada por calor, trabalho e massa.**
- **O RTT traduz as relações do sistema em termos das propriedades em uma região específica: o volume de controle**

Teorema do Transporte de Reynolds

- **Considere um instante t_0 no qual a superfície de controle e a fronteira do sistema coincidem**



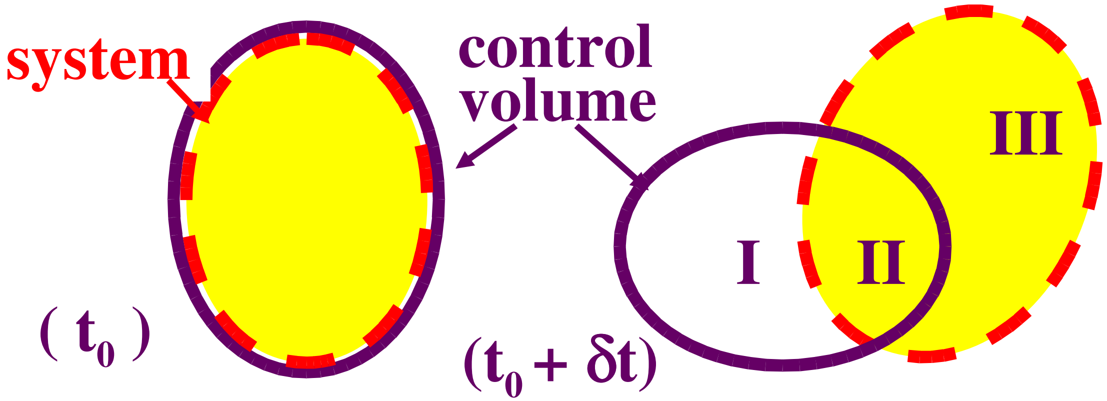
- **No instante $t_0 + \delta t$ o sistema deixa parcialmente o V.C.. III fora do V.C.; II ainda encontra-se no V.C. e I encontra-se com um novo sistema.**

Teorema do Transporte de Reynolds

A derivada do sistema em termos das propriedades no V.C.:

$$\frac{dB}{dt}\Big|_{sys} = \lim_{\delta t \to 0} \left(\frac{B_{III}^{t+\delta t} + B_{II}^{t+\delta t} - B^{t}}{\delta t} \right)$$

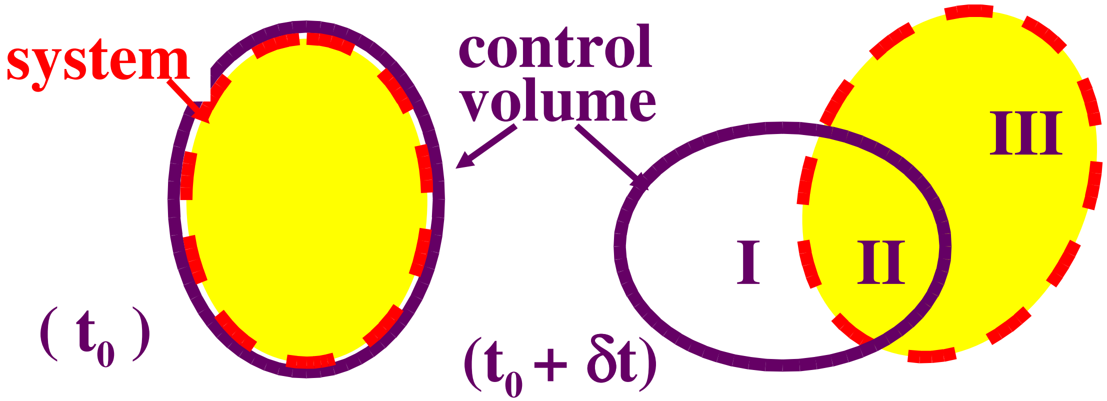
$$\equiv \lim_{\delta t \to 0} \left(\frac{B_{I}^{t+\delta t} + B_{II}^{t+\delta t} - B^{t}}{\delta t} + \frac{B_{III}^{t+\delta t}}{\delta t} - \frac{B_{I}^{t+\delta t}}{\delta t} \right)$$



Teorema do Transporte de Reynolds

O primeiro termo é a derivada de B no V.C.:

$$\lim_{\delta t \to 0} \left(\frac{B_I^{t+\delta t} + B_{II}^{t+\delta t} - B^t}{\delta t} \right) \equiv \frac{d}{dt} \iiint_{vol} \beta \rho \, dV$$

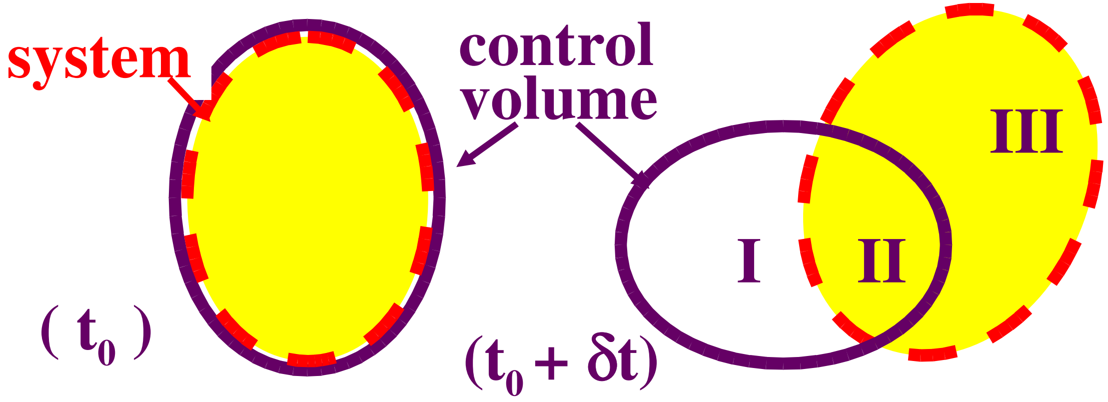


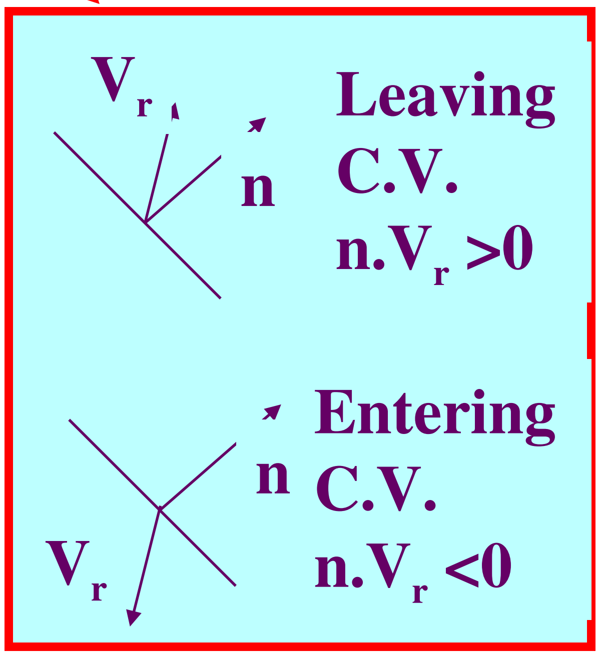
Teorema do Transporte de Reynolds

O 2º e o 3º termos representam o fluxo de B saindo e entrando no V.C.:

$$\lim_{\delta t\to 0}\left(\frac{B_{III}^{t+\delta t}}{\delta t}-\frac{B_{I}^{t+\delta t}}{\delta t}\right)=\lim_{\delta t\to 0}\left(\frac{\iint_{III}\beta\rho\left(\vec{n}\cdot\vec{l}\right)dA}{\delta t}+\frac{\iint_{I}\beta\rho\left(\vec{n}\cdot\vec{l}\right)dA}{\delta t}\right)$$

$$=\oiint_{C.S.}\beta\rho\left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right)dA$$





Teorema do Transporte de Reynolds

- **Variações do sistema escritas em termos do V.C.,**

$$\frac{dB}{dt}\Big|_{sys} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{C.V.} \beta\rho \, dV + \oiint_{C.S.} \beta\rho \left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right) dA$$

- **A variação de B no sistema é igual a sua variação no V.C. mais o fluxo líquido de B através da superfície de controle.**

- **A derivação Lagrangeana do sistema é calculada para uma região do espaço (fixa ou não) através do RTT.**

Equações de transporte em termos do V.C.

- **O RTT é aplicado às equações de transporte para exprimi-las em termos das propriedades do V.C.**

$$\frac{dB}{dt}\Big|_{sys} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{C.V.} \beta\rho \, dV + \oiint_{C.S.} \beta\rho \left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right) dA$$

Escoamentos permanentes e transientes

- **Processos termodinâmicos envolvendo V.C. Podem ser divididos em: *processos a escoamentos permanentes* e *processos a escoamentos transientes*.**
- **Durante um processo permanente, o fluido escoa através do V.C. de forma estável, sem variações temporais em uma posição fixa. Os conteúdos mássico e energético do V.C. permanecem constantes durante um processo permanente.**

Hipótese de escoamento permanente

As propriedades extensivas e intensivas do V.C. Não variam com o tempo, entretanto podem variar espacialmente.

m_{CV}, E_{CV}, e V_{CV} são constantes.

Hipótese de escoamento permanente

- Observe que as derivadas temporais do sistema e do V.C. são diferentes:

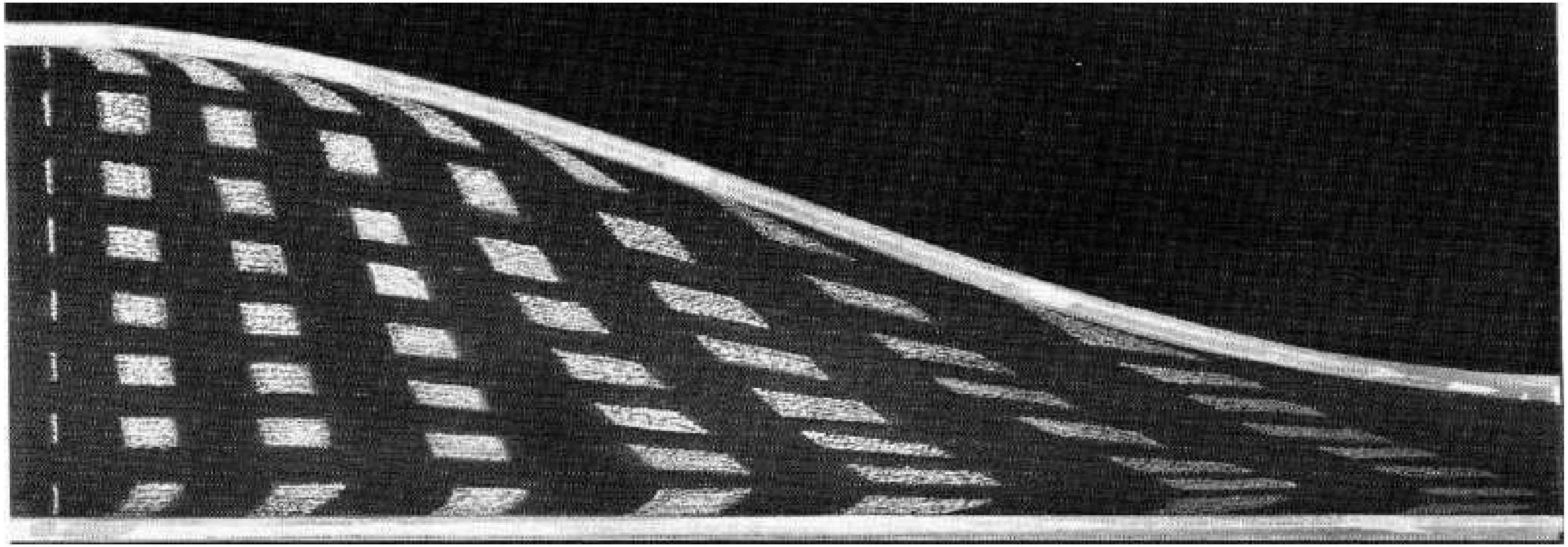
$$\frac{dB}{dt}\bigg|_{SYS} \neq \frac{\partial B}{\partial t}\bigg|_{CV} \equiv \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{vc} \rho\beta\, dV$$

- Isto permite que as propriedades variem no espaço, mas não com o tempo:

$$\frac{\partial (M)}{\partial t}\bigg|_{CV} = \frac{\partial (M\vec{V})}{\partial t}\bigg|_{CV} = \frac{\partial (\mathrm{Me})}{\partial t}\bigg|_{CV} = 0$$

- Entretanto, matéria pode entrar e sair do V.C.
- Os termos de fluxo de 'm' não são nulos.

Exemplo : escoamento em R.P. em um convergente



Massa, B=M ; β = 1

- **Balanço de massa no V.C.**
- **A variação de massa no V.C. é igual ao fluxo de massa cruzando a S.C.**

$$\left.\frac{dM}{dt}\right|_{sys} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{C.V.} \rho \, dV + \oiint_{C.S.} \rho \left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right) dA = 0$$

- **Assumindo propriedades uniformes, i.e, densidades e velocidades nas entradas e saídas:**

$$\left.\frac{dM}{dt}\right|_{sys} = \frac{\partial(\rho \forall)}{\partial t} + \underbrace{\sum(\rho VA)_{out}}_{\dot{m}_{out}} - \underbrace{\sum(\rho VA)_{in}}_{\dot{m}_{in}} = 0$$

Conservação de massa

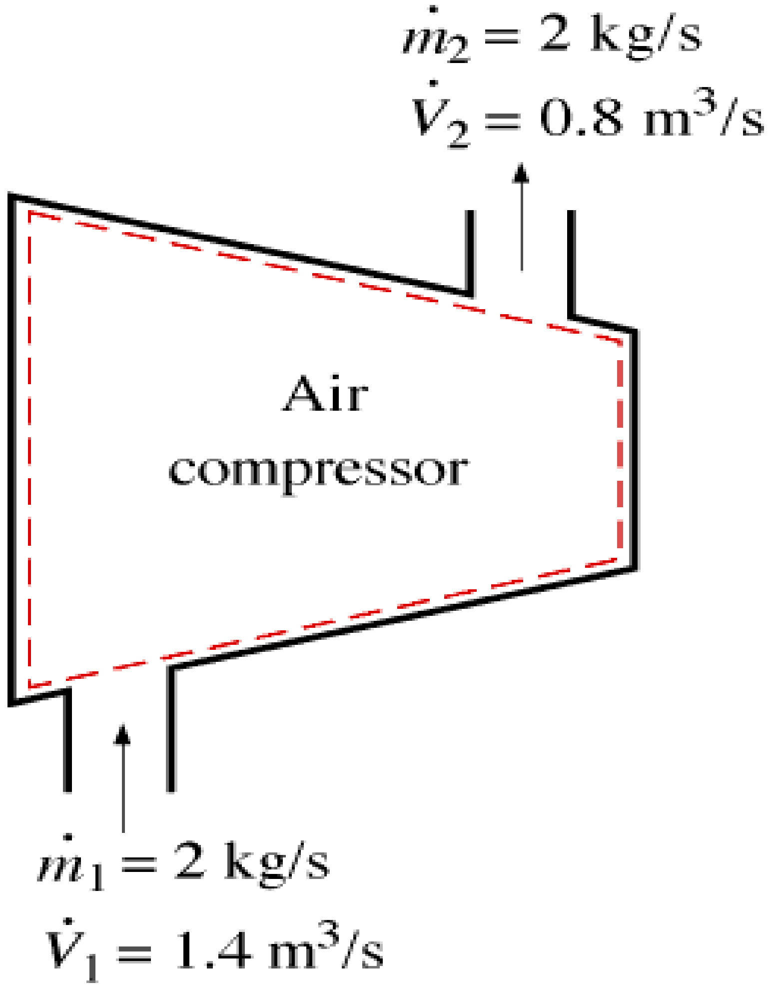
$$\dot{M}_{\mathrm{IN}} - \dot{M}_{\mathrm{OUT}} = \frac{\partial \mathrm{M}}{\partial \mathrm{t}}\Big|_{CV}$$

Durante um processo a regime permanente, <u>fluxos de volumes</u> não são necessariamente conservados

- **Regime permanente**
- **Uma entrada**
- **Uma saída**

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

$$\dot{V}_1 \neq \dot{V}_2$$



- **Problema 5.9** Um tanque recebe água através da válvula 1 com V1 = 10ft/s e através da válvula 3 com Q3 = 0.35 ft3/s. Determine a velocidade através da válvula 2 para manter o nível de água constante.

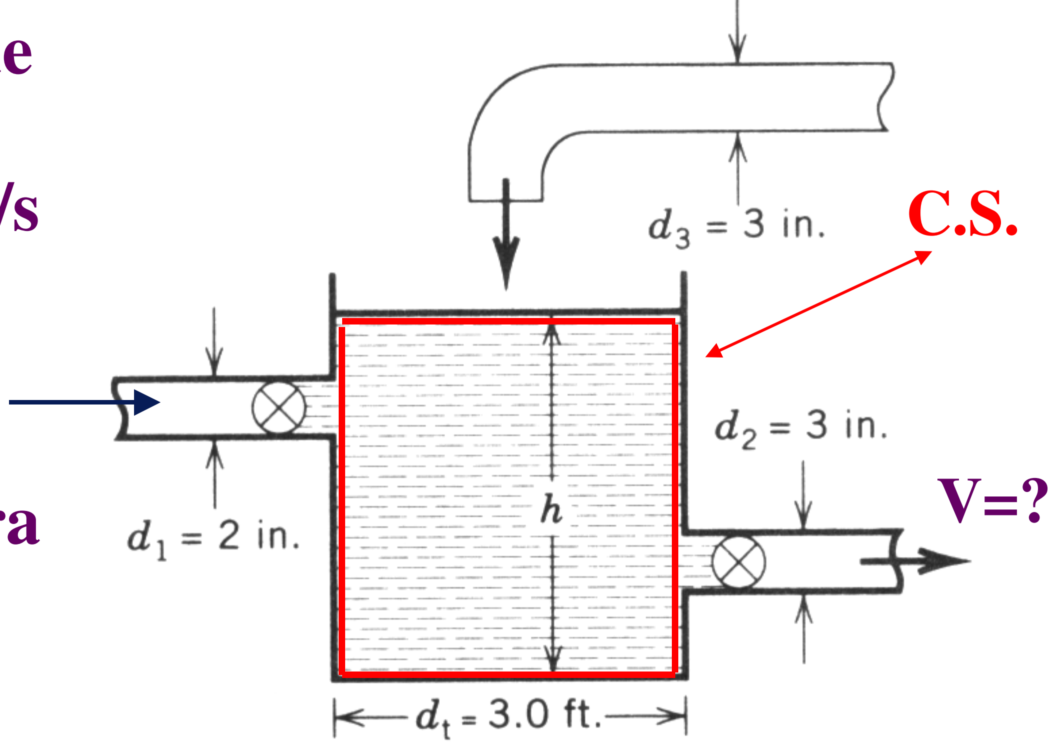


Figure P5-9 Water distribution tank.

$$(\rho VA)_2 - (\rho VA)_1 - (\rho VA)_3 = 0$$

$$\therefore \qquad V_2 = \frac{V_1 d_1^2 + V_3 d_3^2}{d_2^2}$$

Equação QDM, B=MV ; β = V, (eq. Vetorial, 3 comp.)

- **Expressa o balanço de forças no V.C. (segunda lei de Newton).**
- **A variação de QDM no V.C. é igual a resultante das forças atuando sobre o V.C.**

$$\frac{dM\vec{V}}{dt}\bigg|_{sys} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{C.V.} \rho\, \vec{V}\, dV + \oiint_{C.S.} \rho \left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right)\vec{V}\, dA = \sum \vec{F}_{ext}\begin{bmatrix} gravity \\ presure \\ shear\ stress \end{bmatrix}$$

Equação QDM, β = V,
(eq. Vetorial, 3 comp. Sistema Inercial)

Inserindo as forças externas,

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{C.V.} \rho \vec{V}\, dV + \oiint_{C.S.} \rho \vec{V}\left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right) dA = \iiint_{C.V.} \rho \vec{g}\, dV + \oiint_{C.S.} \left(-\vec{n}\, P\right) dA + \oiint_{C.S.} \left(\vec{n}\cdot\vec{\vec{\tau}}\right) dA$$

- **A gravidade age no <u>volume</u>.**
- **A força devido à pressão é normal à S.C. e direcionada <u>internamente</u> à S.C.**
- **A força devido à tensão de cisalhamento age tangencialmente à S.C.**

Equação QDM, β = V,
(eq. Vetorial, 3 comp. Sistema Inercial)

- **Assumindo propriedades uniformes: densidades e velocidades (entradas saídas)**
- **Desprezando as forças devido à tensão de cisalhamento**

$$\frac{\partial\left(\rho\vec{V}\,\forall\right)}{\partial\,\mathrm{t}}+\sum\left(\dot{m}\,\vec{V}\right)_{out}-\sum\left(\dot{m}\,\vec{V}\right)_{in}=\rho\,\vec{g}\,\forall+\oiint_{C.S.}\left(-\vec{n}\,P\right)dA$$

A conservação da QDM
- 2ª lei de Newton -
Sistema Inercial

Duas portas no V.C. (uma entrada/uma saída)

$$\frac{\partial M\vec{V}}{\partial t}\Big|_{CV} + \dot{M}\left(\vec{V}_{OUT} - \vec{V}_{IN}\right) = \sum \vec{F}_{EXT}$$

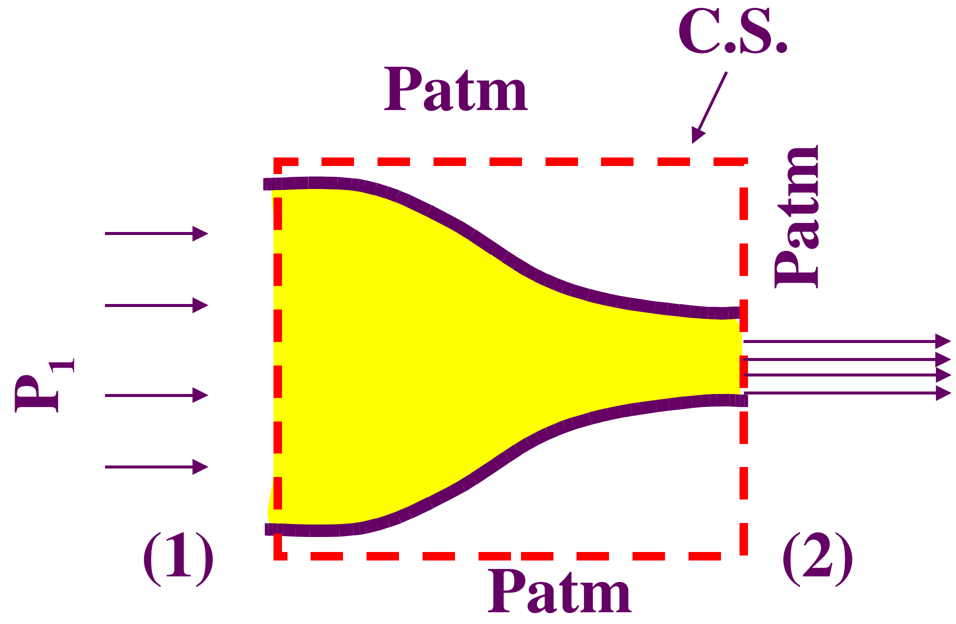
Força de reação: bico difusor (convergente)

Bico com ajuste do diâmetro

100 Psi & 50 – 350 GPM

Força de reação: bico difusor (convergente)

S.C. engloba o bico (sólido) + o fluido.
Sempre que a S.C. cruzar um sólido podemos ter forças mecânicas devido à reação.
Entrada e saída do bico possuem diâmetros d_1 e d_2

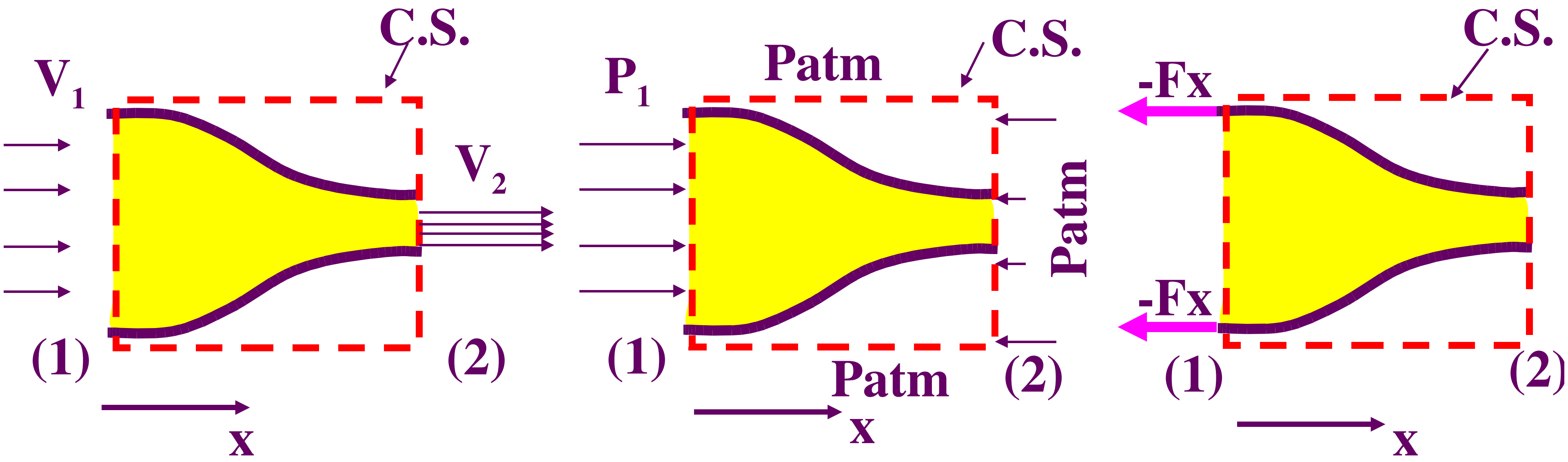


Em R.P., d/dt = 0 e da conservação da massa,

$$\rho V_1 d_1^2 = \rho V_2 d_2^2 \text{ -> } V_2 = V_1 (d_1/d_2)^2 \text{ e } \dot{m} = \rho V_1 \pi d_1^2/4$$

Força de reação no bico (eq. vetorial: componente x)

$$\left(\dot{m}\vec{V}_f\right)_{out} - \left(\dot{m}\vec{V}_f\right)_{in} = + \oiint_{C.S.} \left(-\vec{n}\,P\right) dA + \vec{F}_x$$



$$\dot{m}\left(V_2 - V_1\right) = \left(P_1 - P_{atm}\right) \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} + F_x$$

$$F_{Bico} = -F_x$$

Equação da energia, B=E; β= e, (escalar)

- Expressa o balanço de energia para um V.C.
- A variação da energia no V.C. é dada pelos fluxos de calor e de trabalho cruzando a S.C.

$$\left.\frac{dMe}{dt}\right|_{sys} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{C.V.} \rho\, e\, dV + \oiint_{C.S.} \rho\, e \left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right) dA = \dot{Q} - \dot{W}$$

Equação da energia, B=E β= e, (escalar)

- **Aproximação: propriedades uniformes:**

$$\frac{\partial(\rho e \forall)}{\partial t}+\sum(\dot{m}\,e)_{out}-\sum(\dot{m}\,e)_{in}=\dot{Q}-\dot{W}$$

- **As convensões de sinal para calor e trabalho permanecem as mesmas:**

Calor IN e Trabalho OUT no V.C. são (+)

Calor OUT e Trabalho IN no V.C. são (-)

Termos de transferência de calor

Deseja-se combiná-los em um único termo:
transferência de calor líquida

$$\dot{Q}_{\text{net}} = \dot{Q}_{\text{in}} - \dot{Q}_{\text{out}}$$

Por simplicidade, despreza-se o índice "net"

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{net}}$$

Termos de trabalho

Fazemos o mesmo:

$$\dot{W} = -\dot{W}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{out}}$$

OBS: trabalho envolve movimentos da fronteira, trabalhos de eixo, elétrico, etc.

Equação de conservação da energia

- **Para R.P. e duas portas (uma entrada e uma saída) no V.C.:**

$$\dot{m}\left(e_{out} - e_{in}\right) = \dot{Q} - \dot{W}$$

Equação da energia, β = e, (escalar)

É necessário estabelecer:

1- Os termos de energia específica, 'e'

2- Dividir o trabalho em termos devido ao escoamento mais os outros modos de trabalho

A energia específica

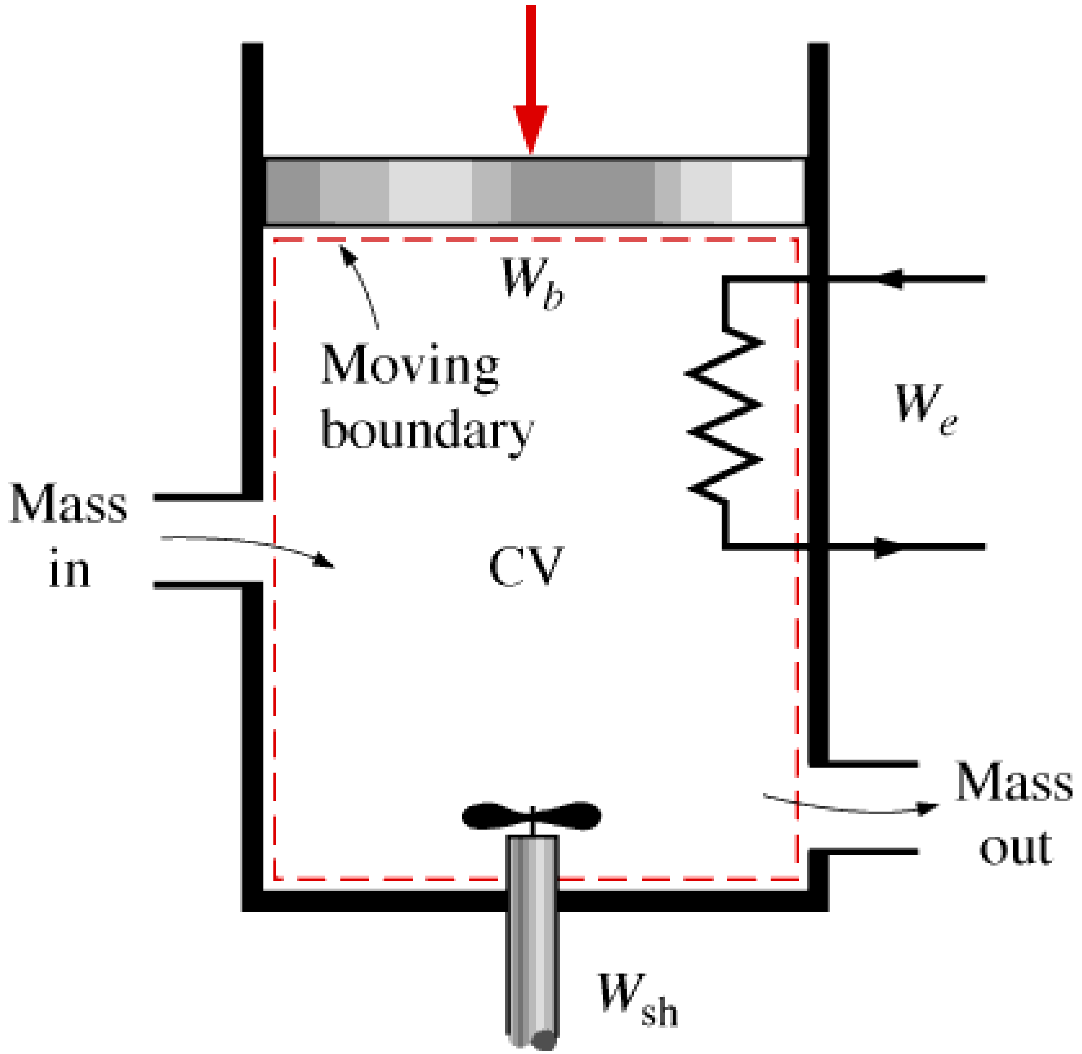
Consideraremos que a energia específica é a contribuição de:

- Energia interna do fluido,
- Energia potencial
- Energia cinética:

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

Onde V_I refere-se à velocidade do fluido relativa a um referencial inercial

O V.C. pode estar sujeito a trabalhos de fronteira, de eixo, elétrico ou outros.



A separação dos termos do trabalho

- **Trabalho de eixo,: ex. pás de turbinas, pás de bomba hidráulica;**
- **Trabalho do deslocamento da S.C.;**
- **Trabalho devido a campos magnéticos, tensão superficial, etc.,**
- ***Trabalho para mover matéria para dentro e para fora do V.C.***

A separação dos termos do trabalho

- Normalmente divide-se o trabalho em 2 termos:

- Trabalho realizado no V.C. devido ao incremento m_i de massa entrando e ao incremento m_e de massa saindo

- Todos os outros trabalhos, normalmente chamados de <u>Trabalho de Eixo</u>, simbolizado por W_{shaft} ou W.

Normalmente dividimos o trabalho em 2 termos:

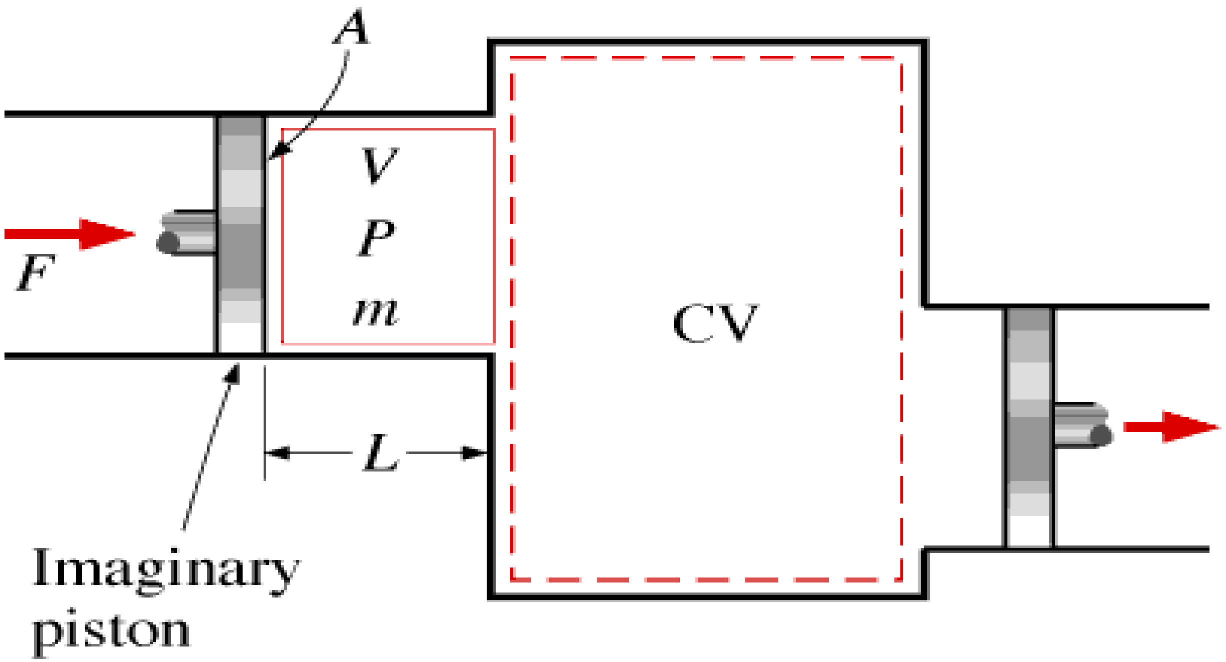
$$\dot{W} = \dot{W}_{\text{FLOW}} + \dot{W}_{\text{SHAFT}}$$

$$\dot{W}_{\text{FLOW}} = \textit{work done moving fluid in/out of c.v.}$$

$$\dot{W}_{\text{SHAFT}} = \textit{net shaft work}$$

Esquema do trabalho devido ao fluxo

Imagine um pistão comprimindo uma quantidade de massa prestes a entrar no V.C



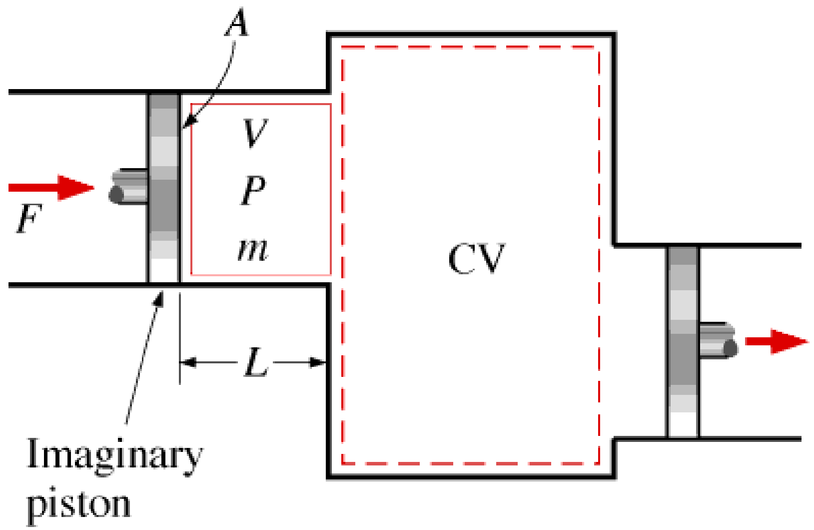
Esquema do trabalho devido ao fluxo

O trabalho de fluxo é : $$W_f = P\Delta V$$

e sua taxa: $$\dot{W}_f = P\frac{\partial(\Delta V)}{\partial t} = P\left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right)A = \frac{P}{\rho}\dot{M}$$

Que é o trabalho volumétrico para empurrar ou puxar massa do V.C.

O produto escalar fornece o sinal correto se o V.C. recebe ou produz trabalho



Equação da energia

Inserindo as definições de 'e' e W_f na equação da energia:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[\rho\left(u+\frac{V_I^2}{2}+gz\right)\forall\right]+$$

$$\sum\left[\left(u+\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)\dot{m}\right]_{OUT}-\sum\left[\left(u+\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)\dot{m}\right]_{IN}=\dot{Q}-\dot{W}_{shaft}$$

Significado termo a termo

$$\left.\frac{\partial \mathrm{E}}{\partial \mathrm{t}}\right|_{cv} - \dot{m}\left(u+\frac{P}{\rho}+\frac{V_I^2}{2}+gz\right)_{in} + \dot{m}\left(u+\frac{P}{\rho}+\frac{V_I^2}{2}+gz\right)_{out} = \dot{Q} - \dot{W}_{shaf}$$

Taxa de variação da energia no V.C

Taxa de advecção de energia para o V.C.

Taxa de advecção de energia p/ fora do V.C.

Taxas das interações de calor e trabalho

OBS a respeito de calor

- Transferência de calor não deve ser confundida com a energia transportada junto com a massa para dentro e para fora do V.C.
- Calor é a forma de transferência de energia devido a uma diferença de temperatura

Equação da energia

Utilizando-se a entalpia

$$h = u + P/\rho$$

obtemos:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[\rho\left(u+\frac{V_I^2}{2}\right)\forall\right]+$$

$$\sum\left[\left(h+\frac{V_I^2}{2}+gz\right)\dot{m}\right]_{OUT}-\sum\left[\left(h+\frac{V_I^2}{2}+gz\right)\dot{m}\right]_{IN}=\dot{Q}-\dot{W}_{shaft}$$

Podemos simplificar ainda mais...

Dividindo tudo pelo fluxo mássico:

$$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$$

Transf. de calor por unidade de massa

$$w_{\text{shaft}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{\dot{m}}$$

Trabalho de eixo por unidade de massa

E para R.P. e apenas duas portas no V.C.:

$$q - w_{\text{shaft}} = \left(h_{\text{out}} - h_{\text{in}}\right) + \left(\frac{V_{\text{out}}^2}{2} - \frac{V_{\text{in}}^2}{2}\right) + g\left(z_{\text{out}} - z_{\text{in}}\right)$$

Onde z_{out} e z_{in} referem-se à cota na saída e na entrada do V.C.

Ou ainda em notação reduzida:

$$q - w_{\text{shaft}} = \Delta h + \Delta\,\text{ke} + \Delta\,\text{pe}$$

Equação da 2ª lei, B=S; β= s, (eq. escalar)

- Expressa o transporte de entropia pelo escoamento médio

$$\frac{dMs}{dt}\Big|_{sys} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{C.V.} \rho \ s dV + \iint_{C.S.} \rho \left(\vec{n}\cdot\vec{V}_r\right) \mathrm{s} \ dA = \iint_{C.S.} \frac{\dot{Q}''}{T} dA + \dot{S}_{gen}$$

Onde,

Q'' é o fluxo local de calor por unidade de área, [W/m²]

S_{gen} é o termo de produção de entropia devido às irreversibilidades, $S_{gen} \geq 0$

Equação da 2ª lei, β= s, (eq. escalar)

- **Para propriedades uniformes:**

$$\frac{\partial\left(\rho s \forall\right)}{\partial t}-\sum\left(\dot{m}\, s\right)_{in}+\sum\left(\dot{m}\, s\right)_{out}=\iint_{C.S.}\frac{\dot{Q}''}{T}dA+\dot{S}_{gen}$$

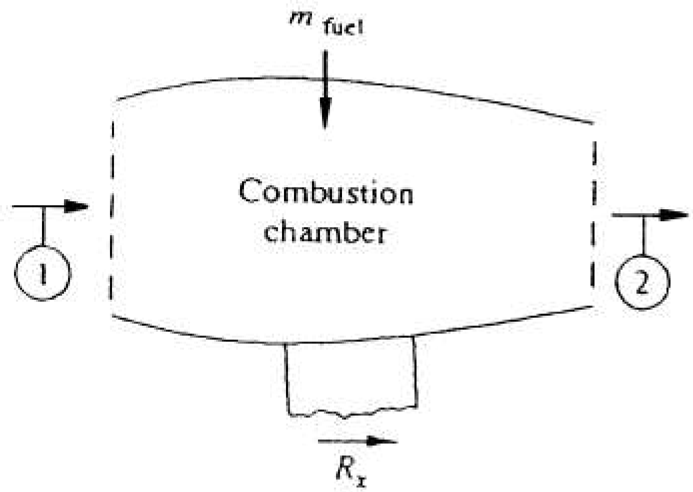
Onde,

Q'' é o fluxo local de calor por unidade de área, [W/m²]

S_{gen} é o termo de produção de entropia devido às irreversibilidades, $S_{gen} \geq 0$

Questão

- O motor a jato da figura admite ar a 20°C e 1 atm em 1, onde $A_1 = 0{,}5\ m^2$ e $V_1 = 250$ m/s. A relação combustível ar é 1:30. O produto da combustão (gases) deixa a seção 2 a 1 atm, $V_2 = 900$ m/s e $A_2 = 0{,}4\ m^2$. Calcular a força de reação sofrida pelo suporte.



Questão

- Um tanque rígido adiabático está para ser preeenchido com ar a alta pressão. As condições iniciais no tanque são T = 20°C e P = 200 kPa. Quando a válvula é aberta, o fluxo de massa inicial para o tanque é de 0,013 kg/s. Assumindo gás ideal, estime a taxa inicial de aumento da temperatura do ar no tanque.