

Sistemas Pneumáticos

- Introdução
- Elementos puros
 - Capacitância pneumática
 - Indutância pneumática
 - Resistência
- Analogias
- Exemplos

Sistemas Pneumáticos

- Mesmas características dos sistemas hidráulicos
 - vantagem: mais limpos
 - desvantagens: mais barulhentos
 - Problema de modelagem: compressibilidade do fluido
→ densidade variável do fluido (ar).
- Princípio



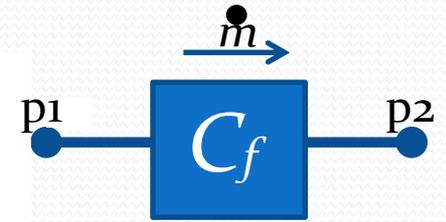
- Hipótese básica nesta disciplina → fluxo em regime subsônico

Elementos puros

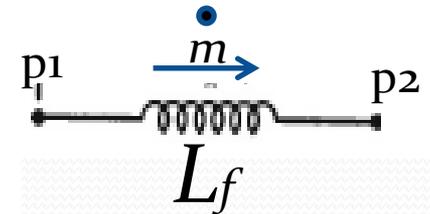
Elementos puros:

a) armazenadores de energia (E)

- Capacitância fluidica

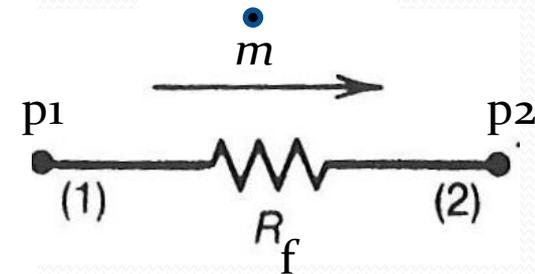


- Indutância fluidica



b) dissipadores de Energia:

- Resistência fluidica



Variáveis básicas

- \dot{m} → variável através (vazão mássica)

$$[\dot{m}] = \frac{kg}{s}$$

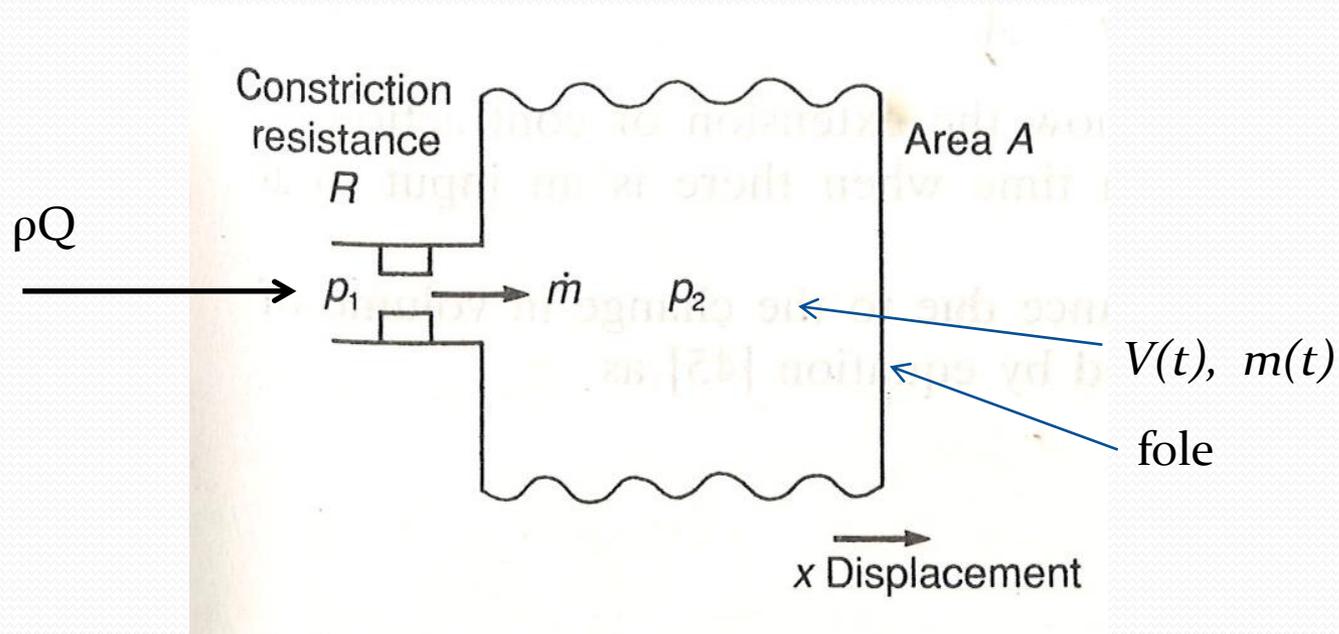
- p → variável entre (pressão)

$$[p] = \frac{N}{m^2}$$

Observação:

$$[\dot{m}] = \frac{kg}{s} \rightarrow \dot{m} = \rho(t)Q(t)$$

Capacitância pneumática



$$m(t) = \rho(t)V(t) \quad (1)$$

$$\dot{m} = \rho Q = \dot{\rho}V + \rho\dot{V} \quad (2)$$

Capacitância pneumática

- Conservação da massa: Δ da massa no interior do reservatório = diferença da massa que entra e que sai do reservatório (fole) no intervalo de tempo:

$$\dot{m}dt = dm = d(\rho V)$$

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho(t)V(t))}{dt}$$

$$\dot{m} = \rho \frac{dV}{dt} + V \frac{d\rho}{dt} \quad (3)$$

mas :

$$\text{i) } \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dp} \frac{dp}{dt} \quad (4)$$

Capacitância pneumática

ii) Lei dos gases perfeitos :

$$pV = nRT$$

$n \rightarrow n^\circ$ de moles = n° de moléculas por gramas

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\text{massa de gás}}{\text{massa molecular}}$$

R \rightarrow cte universal dos gase

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

$$\therefore p = \frac{m}{V} \frac{RT}{M} = \rho \frac{RT}{M}$$

Para um processo isotérmico :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{d\rho}{dt} \frac{RT}{M} \Rightarrow \frac{d\rho}{dt} = \frac{M}{RT} \frac{dp}{dt} \quad (5)$$

Pondo (4) e (5) em (3):

Capacitância pneumática

$$\dot{m} = \rho \frac{dV}{dp} \frac{dp}{dt} + V \frac{M}{RT} \frac{dp}{dt}$$

$$\therefore \dot{m} = \left(\rho \frac{dV}{dp} + V \frac{M}{RT} \right) \frac{dp}{dt}$$

$$\dot{m} = (C_v + C_c) \frac{dp}{dt}$$

C_v → capacitância devido à variação de volume

C_c → capacitância devido à compressibilidade do gás

Alternativamente (forma diferencial):

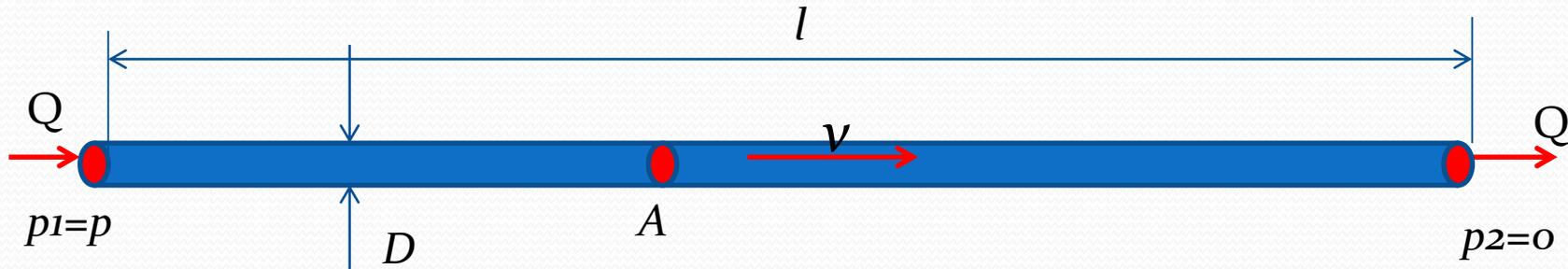
$$dm = (C_v + C_c) dp$$

Casos particulares: 1) ρ constante (fluido incompressível), $V(t)$

2) $\rho(t)$, $V = \text{cte}$

Indutância pneumática

- Fenômeno que ocorre em tubos longos ($l \gg D$)



- Hipóteses:

- Fluido compressível;
- escoamento uniforme (todas as partículas tem velocidade v);

- 2ª Lei na massa no interior do tubo:

$$F = \frac{d(mv)}{dt} \quad \text{com } v = \frac{Q}{A}; m = \rho Al; F = (p_1 - p_2)A = pA$$

$$pA = \frac{d\left(\rho Al \frac{Q}{A}\right)}{dt} \Rightarrow p = \frac{l}{A} \frac{d(\rho Q)}{dt} = L_f \frac{d\dot{m}}{dt}$$

indutância pneumática

Resistência pneumática

- Elemento altamente não linear e de origem (orifícios, meio poroso, escoamento capilar, etc..) e natureza (laminar, turbulento) diversas:
 - Disciplina \rightarrow escoamento por orifício:

$$R \equiv \frac{\Delta \text{ diferença de pressão}}{\Delta \text{ unitária no fluxo}} = \frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta \dot{m}}$$

$$R \equiv \frac{dp}{d\dot{m}} = \frac{dp}{d(\rho(t)Q(t))} \rightarrow \text{caso linear} \rightarrow R = \frac{p}{\dot{m}}$$

$$[R] = \frac{N / m^2}{kg / s} = \frac{Ns}{m^2 kg}$$

Analogias :

$$\text{Potência dissipada: } P_e = Ri^2 \rightarrow P_f = R_H Q^2 \rightarrow P_p = R_p \dot{m}^2$$

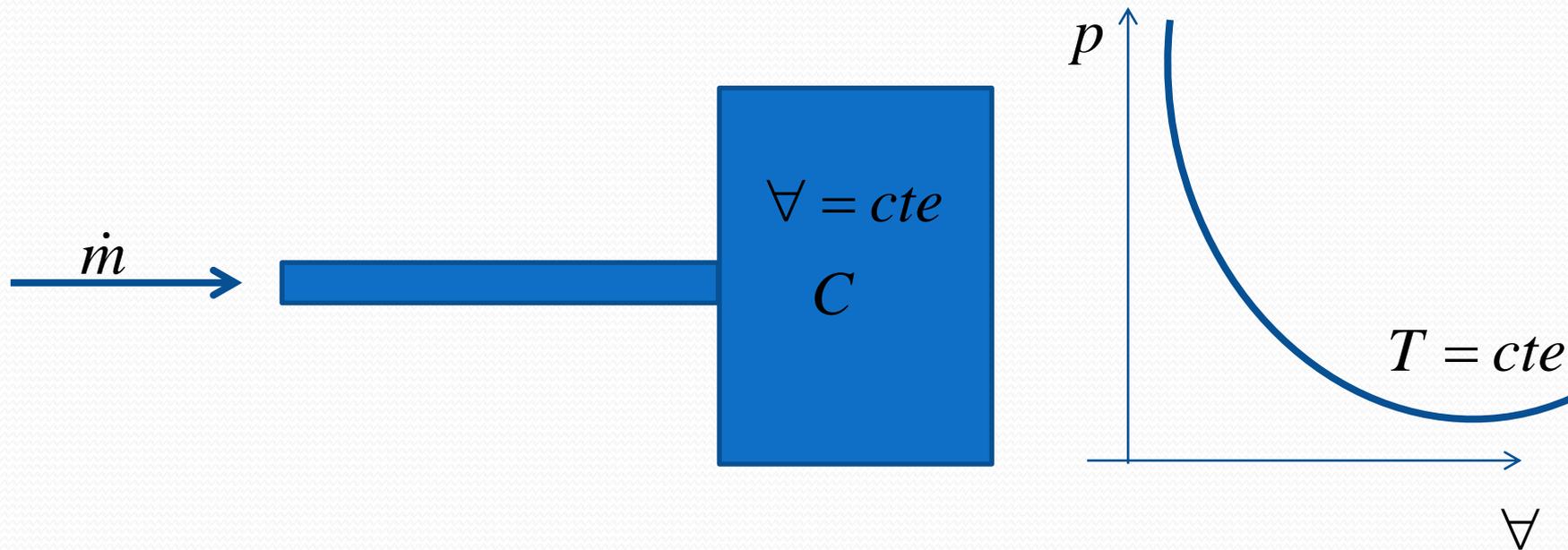
Analogias

mecânica	elétrica 2	hidráulica	pneumática
F	i	Q	\dot{m}
v	V	p	p
m	C	$C_f = A/(\rho g)$	$C_G = (C_v + C_c)$
b	$1/R$	$1/R_f$	$1/R_G$
k	$1/L$	$1/L_f = A/(\rho l)$	$1/L_G = A/(l)$
$E_c = 1/2mv^2$	$E_c = 1/2CV^2$	$E_c = 1/2C_fQ^2$	$E_c = 1/2C_G \dot{m}^2$
$E_k = 1/2kx^2$	$E_k = 1/2Li^2$	$E_k = 1/2L_fQ^2$	$E_k = 1/2L_G \dot{m}^2$
$E_d = 1/2bv^2$	$E_d = 1/2Ri^2$	$E_d = 1/2R_fQ^2$	$E_k = 1/2L_G \dot{m}^2$
$F = mdv/dt$	$i_c = CdV/dt$	$Q = C_f dp/dt$	$\dot{m} = C_G dp/dt$
$F_k = kx$	$i_L = \lambda/L$	$Q = \int p dt / L_f$	
$F_b = bv$	$i_R = V/R$	$Q = p/R_f$	

Exercícios:

- 1) Qual a capacitância de um tanque de pressão de 2 m^3 que contém ar a 50° C . Admita que as expansões e compressões são lentas de forma que o processo seja isotérmico. Dado:

$$R_{ar} = \frac{\bar{R}}{M} = 287 \frac{\text{N.m}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$



2) Modele o fole pneumático indicado e determine a relação entre a pressão de entrada e o seu movimento e determine a sua capacitância pneumática devido à alteração de volume, admitindo que o fole funciona como uma mola linear de constante k .

