

Tecnologia de Vácuo

- 3.1 (a) Bombas de Vácuo
- 3.1 (b) Vedações
- 3.2 (a) Medidores de Pressão
- 3.2 (b) Analisadores de gases
- 3.2 (c) Regimes de escoamento
- 3.3 (a) Controladores de Fluxo
- 3.3 (b) Vazão e veloc. de bombeamento
- 3.3 (c) Experimento e Exercícios – Cap. 3

Prof. José Humberto Dias da Silva
Ciência e Tecnologia de Filmes Finos
POSMAT – Unesp/Bauru

1

3.3 Tecnologia de Vácuo

- Medidores de pressão
- Analisadores de gases
- Regimes de escoamento
- 3.3 (a) Controladores de Fluxo
- Vazão e velocidade de bombeamento
- Exercícios – Cap. 3

2

Rotâmetro



<https://www.youtube.com/watch?v=BfdwD1V3jNk>

(mesmo que o do eletrônico)

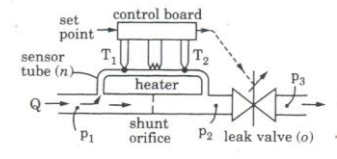
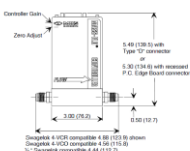
3



fluxo ~ 0.1 – 200 sccm

<https://www.youtube.com/watch?v=BfdwD1V3jNk>

(mesmo que o do rotâmetro)



fluxo ~ 0.1 – 200 sccm

- Medidores de pressão
- Analisadores de gases
- Regimes de escoamento
- Controladores de Fluxo
- 3.3(b) Vazão e veloc. de bombeamento
- 3.3 (c) Experimento e Exercícios – Cap. 3

6

Escoamento de Gases

$$Q \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{s}} \right] = \frac{d}{dt} (PV)$$

Q – gas throughput (fluxo de escoamento)

Unidades: pressão x volume / tempo [Pa.m³/s], [Torr.l/s]

Escoamento de Gases

$$Q = \frac{d}{dt} (PV) = \frac{d}{dt} (Nk_B T) = \underbrace{k_B T}_{\text{energia}} \frac{dN}{dt}$$

Q – gas throughput (fluxo de escoamento)

Unidades: pressão x volume / tempo [Pa.m³/s], [Torr.l/s] ≡ energia × num. molec/s ≡ Watt

Vazão

$$\frac{dV}{dt} = C \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Unidades: volume / tempo

Escoamento de Gases

pressão fixa (constante) =>

$$Q = \frac{dV}{dt} p$$

$$Q = Cp$$

$$Q \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{s}} \right] = C \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] p [\text{Pa}]$$

Velocidade de Bombeamento

(vazão na boca da bomba)

$$Q_o = C_o p_o$$

C_o – velocidade de bombeamento [m³/s ou l/s]
Q_o – fluxo de escoamento (retirado do sistema).
P_o – pressão na boca da bomba

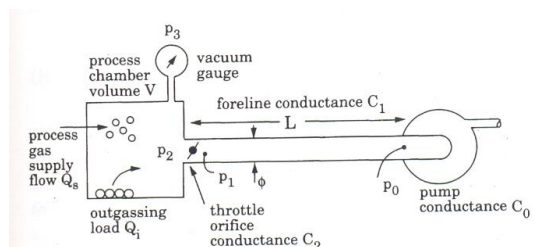


Figure 3.3 Geometry for gas throughput calculations.

entrada + geração = saída + acumulação
 (Equação da continuidade)

sistema fechado ↓ ↓ quant perdida
 $0 = C_o p_2 + V \frac{dp_2}{dt}$
 ↑ quant bombeada

$$\frac{dp_2}{dt} = -\frac{C_o}{V} p_2$$

$$\frac{dp_2}{p_2} = -\frac{C_o}{V} dt$$

$$\int \frac{dp_2}{p_2} = - \int \frac{C_o}{V} dt$$

$$\ln(p_2) = -\frac{C_o}{V} \cdot t + K$$

$$p_2(t) = e^{-\frac{C_o}{V} \cdot t + K} = e^K \cdot e^{-\frac{C_o}{V} \cdot t}$$

↑
 $p_2(t=0) \equiv p_{2o}$

(Equação Característica do Bombeamento)

$$p_2(t) = p_{2o} e^{-\left(\frac{C_o}{V}\right)t} = p_{2o} e^{-\alpha t}$$

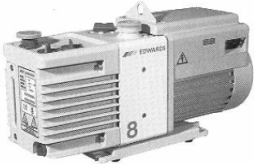
α = C_o / V ↑

C_o – velocidade de bombeamento
 V – volume do sistema

Como posso usar essas equações para determinar a velocidade de bombeamento?

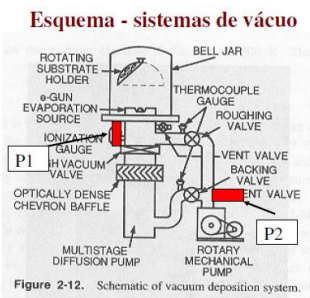
Experimento
Velocidade de Bombeamento

RV8 ROTARY VANE PUMP
 9.7 m³h⁻¹, 5.7 ft³min⁻¹, 162.7 l min⁻¹



TECHNICAL DATA		
Displacement	9.7 m ³ h ⁻¹ / 5.7 ft ³ min ⁻¹	
50 Hz operation	11.7 m ³ h ⁻¹ / 6.9 ft ³ min ⁻¹	
60 Hz operation		
Speed (Pneurop 6602)	8.5 m ³ h ⁻¹ / 5 ft ³ min ⁻¹	
50 Hz operation	10 m ³ h ⁻¹ / 5.9 ft ³ min ⁻¹	
60 Hz operation		
ULTIMATE VACUUM (TOTAL PRESSURE) MODE		
GAS BALLAST	HIGH VACUUM MODE	HIGH THROUGHPUT MODE
Closed	2 x 10 ⁻³ mbar / 1.5 x 10 ⁻³ Torr	3 x 10 ⁻² mbar / 2.3 x 10 ⁻² Torr
Low flow, l	3 x 10 ⁻² mbar / 2 x 10 ⁻² Torr	4 x 10 ⁻² mbar / 3 x 10 ⁻² Torr

Como é o experimento?

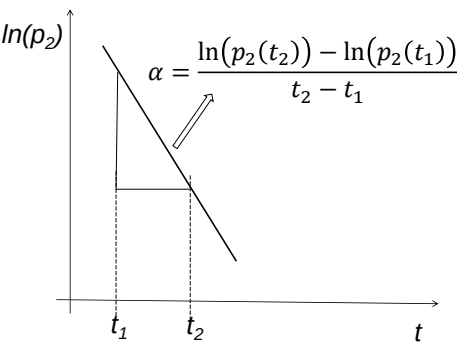


Se fizermos um gráfico

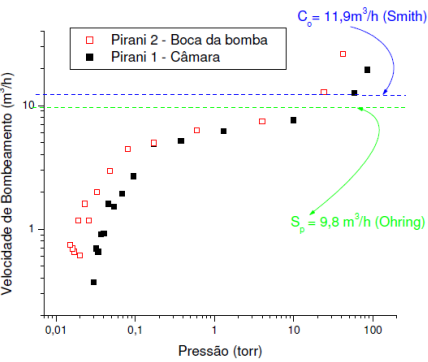
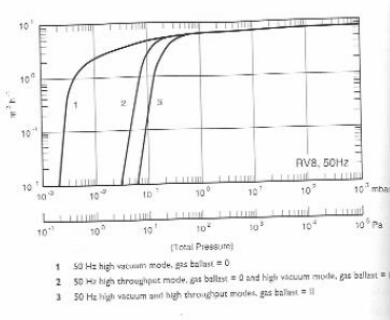
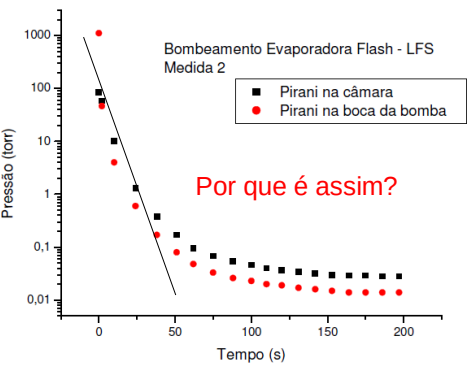
$$\ln(p_2(t)) \times t$$

Que comportamento devemos esperar?

20



21



O fluxo do gás bombeado (nitrogênio ou ar) para fora da câmara ocorre em regime molecular ou fluido ?

Nossas pressões => p maior 760 torr , menor 10⁻² torr

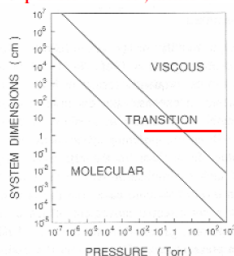


Figure 2-3. Dominant gas flow regimes as a function of system dimensions and pressure.

(obs: diâmetro do tubo ~ 2cm)

impurezas

$$p_i = Q_i / C_o$$

$$\frac{p_i}{p_2} = \frac{Q_i}{Q_s + Q_i} \approx \frac{Q_i}{Q_s}$$

i – impurity outgassing

s – supply gas



Comentários Finais e Sumário

- Escolher bomba de acordo com pressão final e quantidade de gás bombeado.
- Escolher medidor de acordo com pressão final.
- Controlador de fluxo: ferramenta importante para processos CVD
- Analisador de gases residuais: consigo saber quais os contaminantes do sistema.

28

Exercícios – Lista3