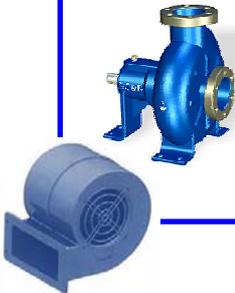


Universidade Federal do Paraná
Curso de Engenharia Industrial Madeireira

MÁQUINAS HIDRÁULICAS AT-087



M.Sc. Alan Sulato de Andrade

alansulato@ufpr.br

VENTILADORES

VENTILADORES

INTRODUÇÃO:

- Como as bombas, os ventiladores são equipamentos essenciais a determinados processos industriais e ao conforto humano.



VENTILADORES

DEFINIÇÃO:

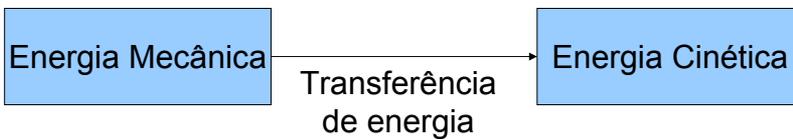
- Um ventilador essencialmente é um equipamento (operatriz) que opera com gás ao invés de líquido. São considerados turbomáquinas geratrizes de fluído que se destinam a produzir deslocamento de gases.



VENTILADORES

DEFINIÇÃO:

- Os ventiladores desta forma transferem energia ao gás.



VENTILADORES

DEFINIÇÃO:

- Nos ventiladores as pressões que estão envolvidas normalmente são inferiores a 1kgf/cm^2 (98KPa), porem existe exceções.
- Mesmo assim na maioria das situações, nos ventiladores o escoamento é tratado como incompressível uma vez que o aumento de pressão é muito pequeno e pode ser considerado desprezível.

VENTILADORES

DEFINIÇÃO:

- Porém, graças a essa energia adquirida, o gás pode se deslocar vencendo as resistências da linha. O aumento da pressão gerada por este equipamento deve ser maior que a resistência encontrada nas linhas.

VENTILADORES

UTILIZAÇÃO:

- Podemos classificar a utilização de duas formas:

- Uso Industrial,
- Uso Doméstico.



VENTILADORES

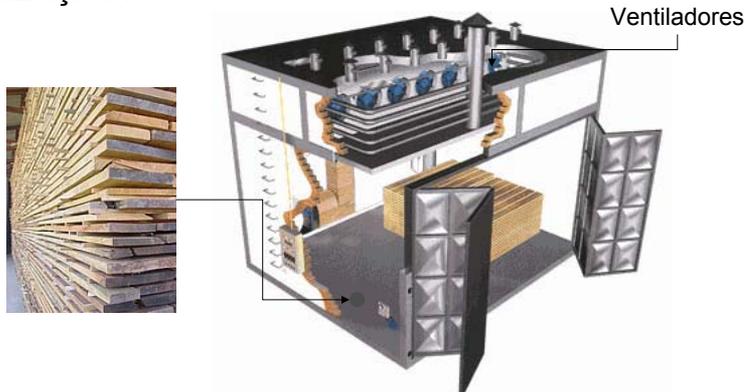
UTILIZAÇÃO:



Insuflação e tiragem de gases em geradores de vapor

VENTILADORES

UTILIZAÇÃO:



Ventiladores utilizados na transferência de massa (ar quente) em secadores de madeira

VENTILADORES

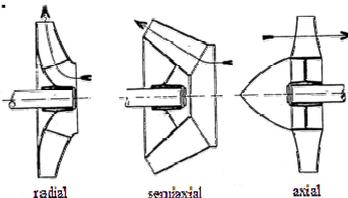
CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Os ventiladores podem ser classificados segundo o nível energético:
 - baixa pressão - até $0,02 \text{ kgf/cm}^2$ (1,96 KPa, 200 mmca);
 - média pressão - de $0,02$ a $0,08 \text{ kgf/cm}^2$ (1,96-7,84KPa, 200 a 800 mmca);
 - alta pressão - de $0,08$ a $0,25 \text{ kgf/cm}^2$ (7,84-24,5KPa, 800 a 2.500 mmca); e
 - altíssima pressão - acima de $0,25 \text{ kgf/cm}^2$ (mais de 24,5KPa, 2.500 mmca)

VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

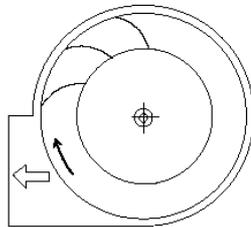
- Segundo o tipo construtivo:
 - Fluxo radial (Centrífugos),
 - Fluxo semi-axial (Hélico-centrífugos),
 - Fluxo Axial.



VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

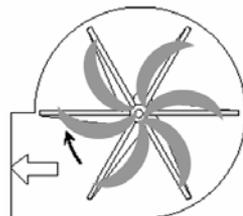
- Segundo o tipo construtivo:
 - Radial ou Centrífugo



VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

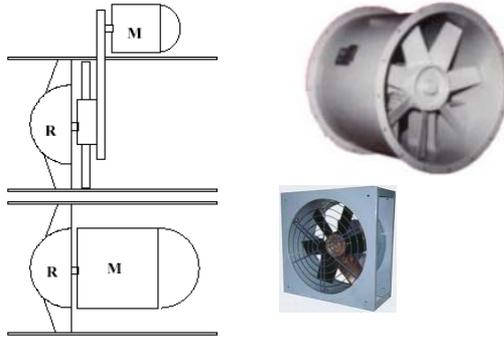
- Segundo o tipo construtivo:
 - Semiaxial ou Hélico-centrífugo



VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Segundo o tipo construtivo:
 - Axial



VENTILADORES

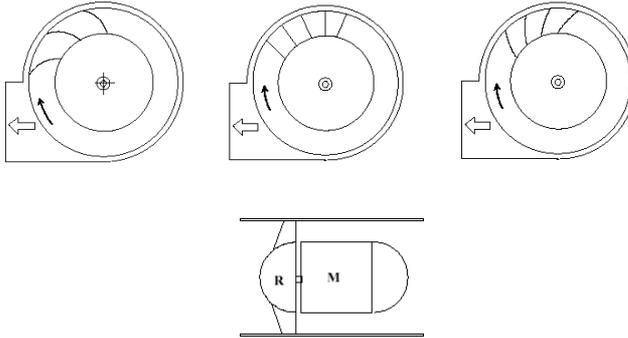
CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Forma das pás:
 - Pás retas;
 - Pás inclinadas para trás ou para frente;
 - Pás curvas de saída radial;

VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

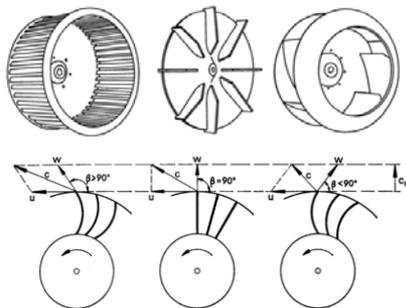
- Forma das pás:



VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Forma das pás:



VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Forma das pás:



VENTILADORES

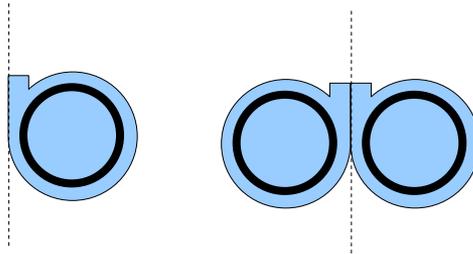
CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Número de entradas:
 - Unilateral ou de aspiração simples e
 - Bilateral ou de dupla aspiração.

VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Número de entradas:



VENTILADORES

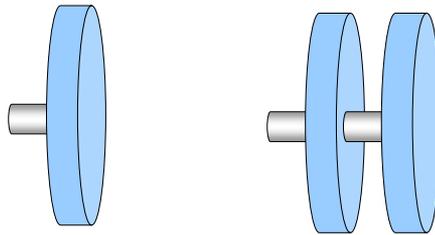
CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

- Segundo o número de rotores:
 - Simple estágio e
 - Duplo estágio.

VENTILADORES

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS:

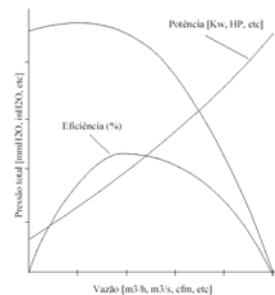
- Segundo o número de rotores:



VENTILADORES

CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES:

- **Pás retas**
 - Tipo comum;
 - Geralmente de custo mais baixo (custo relativo, evidentemente!);
 - Desenvolve pressões razoavelmente elevadas (até cerca de 500 mmH₂O); =4,9kPa
 - Opera em altas temperaturas;
 - Tem capacidade de exaurir ou insuflar material com particulado sólido;
 - Naturalmente, é um ventilador de baixa eficiência;
 - propriedade relacionada ao ângulo de saída β_2 ,
 - Apresenta nível elevado de ruído.

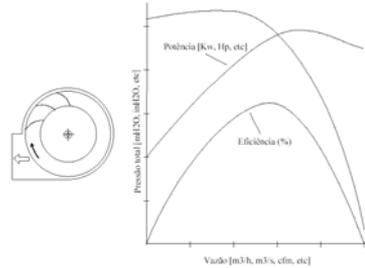


VENTILADORES

CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES:

• Pás para trás

- É o mais eficiente entre os centrífugos;
- O canal formado pelas aletas tem a forma apropriada o que reduz o ruído;
- Tem custo mais elevado que o de rotor radial e não é indicado também para movimentar gases com particulado sólido:
 - podem erodir as aletas com rapidez (a força centrífuga desloca as partículas sólidas para a face de sucção das aletas);
- São muito utilizados em sistemas de condicionamento de ar;
- Modelos sofisticados têm aletas com perfil aerodinâmico.

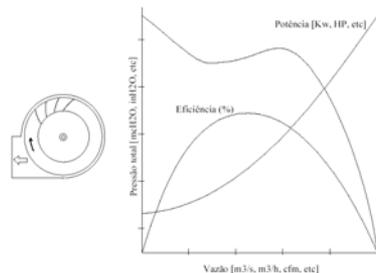


VENTILADORES

CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES:

• Pás para frente

- Também é utilizado com gases isentos de particulado sólido;
- Uma das particularidades de sua curva característica é uma extensa faixa de pressão *quase constante*:
 - torna-o adequado para aplicação em sistemas onde se deseja minimizar a influência de alterações de dispositivos, como os 'dampers' de controle de vazão;
- Apresenta instabilidade em baixas vazões
- Sua eficiência é menor que a do centrífugo de aletas curvadas para trás

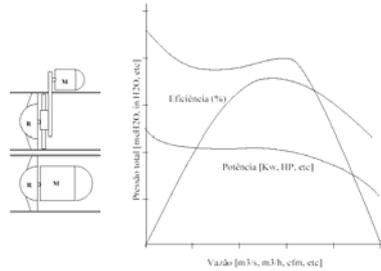


VENTILADORES

CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES:

• Tubo axial

- O ventilador tubo-axial é constituído de um rotor axial e uma carcaça tubular que o envolve;
- O motor pode ser conectado diretamente ao rotor, ou colocado sobre a carcaça;
- Como qualquer máquina de fluxo axial, é aplicado em sistemas com grande vazão e baixa pressão;
- Sua curva característica também apresenta uma região de instabilidade, e a potência é máxima quando a vazão é nula (a potência máxima é dissipada em recirculação através do rotor);



VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Em todos os problemas, iremos considerar o ar como sendo um gás perfeito - Incompressível. Sua densidade não varia conforme a posição dentro do equipamento. Porém irá variar sua massa específica conforme a pressão barométrica e a temperatura do local onde se encontra o equipamento.

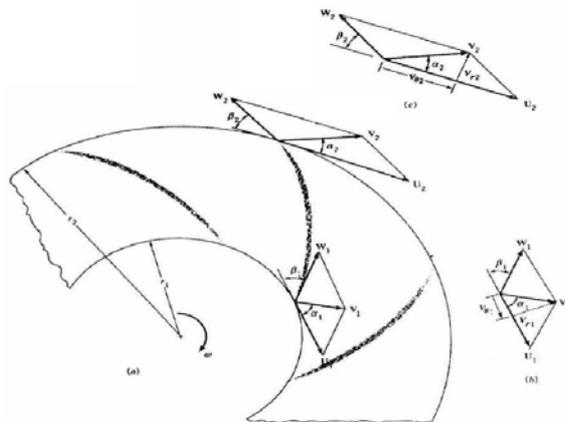
VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- É semelhante à das bombas, sendo baseada no escoamento de Euler;
- O triângulo de velocidades pode ser obtido da mesma forma que o de uma bomba centrífuga;
- O que muda um pouco é o forma das curvas características, sendo função do tipo de pá que é utilizada;

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:



VENTILADORES

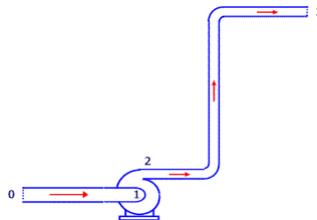
FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Ventiladores são máquinas que produzem fluxos de ar ou de outros gases, com vazões relativamente altas e pressões baixas. Embora possam ser usados com qualquer gás, na prática o ar está quase sempre presente, seja na forma natural como climatização e ventilação, seja misturado com outros gases como exaustão de algumas máquinas térmicas. Alguns aspectos termodinâmicos referentes a compressão podem ser desprezados sem grandes erros e a análise pode ser feita apenas com a equação de Bernoulli.

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Seja uma instalação simples conforme a Figura onde o ventilador aspira ar no ponto 0 e envia para o ponto 3 através dos dutos da instalação.



VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Partindo da equação de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + Ht = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

- Considerando que a massa específica do ar é muito baixa se comparada com líquidos. Assim, para a maioria dos casos práticos, as diferenças de alturas físicas entre os pontos pouco representam em termos de pressões. Elas não são consideradas na equação de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + \cancel{Z_1} + Ht = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \cancel{Z_2}$$

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Considerando que, no escoamento real, há perda de carga nos dutos e acessórios dos mesmos, deve-se incluir em um lado da equação as parcela das perdas de pressão na linha de aspiração e linha de recalque (J_a) e (J_r) que representa a totalidade das perdas. Assim, entre os pontos 0 e 3, podemos escrever:

$$H = Ht - J_a - J_r$$

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Notar que H corresponde à energia efetivamente adicionada ao fluxo. Não corresponde à energia consumida pelo motor, uma vez que, conforme princípios da Termodinâmica, a eficiência das máquinas é sempre menor do que 100%.

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- A potência efetiva pode ser obtida pelo produto da altura efetiva, vazão volumétrica e peso específico do ar:

$$\text{Potef} = \gamma \cdot Q \cdot H$$

A potência mecânica é a potência é a potência fornecida pelo motor ao eixo do ventilador. É conhecida também pela expressão usual inglesa BHP (break horse power). É dada por:

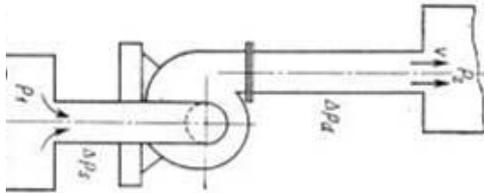
$$\text{Potmec} = \text{Potef} / \eta$$

Onde η ($0 < \eta < 1$) é o rendimento do ventilador.

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Em um sistema, de ventilação ou exaustão, as principais características a serem levantadas são as pressões (total, estática e dinâmica) e a vazão.



VENTILADORES

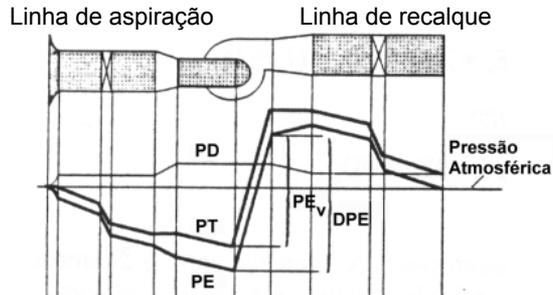
FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Como visto, a função principal de qualquer ventilador ou exaustor, é movimentar uma quantidade específica de ar ou gás, através de um sistema a eles ligado. Para que isto ocorra, o equipamento tem que produzir e gerar dois tipos distintos de pressões: a estática que é aplicada igualmente em todas as direções e a pressão dinâmica ou de velocidade que é unidirecional e necessária para colocar e manter o ar em movimento.

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Pressão Total (Pressão útil do ventilador ou pressão manométrica)



Variação da pressão ao longo da linha

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Pressão Total
A pressão total será a soma das parcelas Estática e Dinâmica.

$$P = P_{est} + P_{din}$$

Onde:

P_{est} = Pressão estática da linha (Pa)

P_{din} = Pressão dinâmica da linha (Pa)

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Pressão Total
Sabe-se que:

$$P_{est} = p_s - p_e$$

Onde:

p_s = Pressão de saída (Pa)

p_e = Pressão de entrada (Pa)

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Pressão Total
Sabe-se que:

$$P_{din} = \frac{\rho}{2} \cdot (V_s^2 - V_e^2)$$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m³)

V_s = velocidade de saída (m/s)

V_e = Velocidade de entrada (m/s)

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Pressão Total

Desta forma, podemos expressar a pressão total como:

$$P = p_s - p_e + \rho/2 \cdot (V_s^2 - V_e^2) \quad \text{Pa}$$

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Fatores de conversão de pressão.

1 Pa:

Métrico

Megapascal	0.000001
Bar	0.00001
kg/cm ²	0.00001
Kilopascal	0.001
Hectopascal	0.01
Milibar	0.01
kg/m ²	0.101972
Pascal	1

Avoirdupois, U.S.

Kilopound por polegada quadrada	1.450377×10^{-7}
Libra por polegada quadrada	0.000145
Libra por pé quadrado	0.020885

Atmosfera

Atmosfera física	0.00001
Atmosfera técnica	0.00001

Mercúrio

Polegadas de mercúrio	0.000295
Centímetros de mercúrio	0.00075
Milímetros de mercúrio	0.007501
Torriceili	0.007501

Água

Metro de água	0.000102
Polegada de água	0.004015
Centímetro de água	0.010197

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Devemos lembrar que a Pressão Total (P) deve ser superior as perdas de pressão encontradas na linha (estas calculadas em Pa), para ocorra realmente a transferência do fluido.

Assim a pressão real (Pr) pode ser expressa como:

$$Pr = P - J_{(\text{linha de aspiração, linha recalque, internas ao equipamento})}$$

Para o cálculo das perdas, deve-se utilizar os conceitos abordados em aulas anteriores

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Outro ponto a ser levado em consideração é quanto a vazão que o equipamento fornece, devendo ser sempre superior ao requisitado.

$$Q_{\text{gerada pelo equipamento}} \geq Q_{\text{solicitada pelo sistema}}$$

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Taxa de renovação do ar para sistemas de ventilação:

Área Funcional	Renovação (Troca por hora)	Área Funcional	Renovação (Troca por hora)
Hospitais (sala de anestesia)	8-12	Ginásios	5-30
Salas de animais	12-16	Garagens	6-10
Auditórios	10-20	Hospitais (salas de hidioterapia)	6-10
Hospitais (salas de autópsia)	8-12	Hospitais (salas de isolamento)	8-12
Padaria e confeitaria	20-60	Cuámbas	10-30
Boliches	15-30	Lavanderias	10-60
Igrejas	15-25	Bibliotecas	15-25
Hospitais (salas de cinescopia)	8-10	Bibliotecas	15-25
Salas de aula	10-30	Salas de depósito	2-15
Salas de conferência	25-35	Pequenas oficinas	8-12
Corredores	3-10	Hospitais (suprimentos)	6-10
Hospitais (salas)	8-12	Berçários	10-15
Leturias	2-15	Escritórios	6-20
Lavagem de pratos	30-60	Hospitais (salas de operação)	10-15
Lavagem a seco	20-40	10-22	-
Fundições	5-20	Radiologia	6-10
		Restaurantes	6-20
		Lojas	18-22
		Residências	5-20
		Equipamentos telefônicos	6-10
		Salas de controle de tráfego aéreo	10-22
		Toaletes	8-20
		Soldas a arco voltaico	18-22

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Rendimento Hidráulico (η_h)

$$\eta_h = P/P_t$$

- Pressão teórica (P_t)

$$P_t = \rho \cdot (u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}) \text{ Pa}$$

- Potencia útil (η_u)

$$\eta_u = Q \cdot P \quad \text{W ou J/s}$$

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

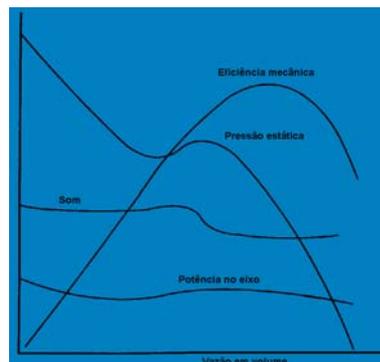
- Como nas bombas, os ventiladores apresentam relações de similaridade, estas em função da vazão, pressão, rotação eficiência entre outras.

Densidade constante	Vazão Constante	Diâmetros
$\frac{\varpi_1}{\varpi_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{rpm_1}{rpm_2}$	$\frac{\varpi_1}{\varpi_2} = \frac{P_1}{P_2}$	$\frac{Q_1}{Q_2} = \left\{ \frac{d_1}{d_2} \right\}^3$
$\frac{SP_1}{SP_2} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2} \right)$	$\frac{SP_1}{SP_2} = \frac{P_1}{P_2}$	$\frac{SP_1}{SP_2} = \left\{ \frac{d_1}{d_2} \right\}^2$
$\frac{HP_1}{HP_2} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2} \right)^3$	$\frac{HP_1}{HP_2} = \frac{P_1}{P_2}$	$\frac{HP_1}{HP_2} = \left\{ \frac{d_1}{d_2} \right\}^3$

VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

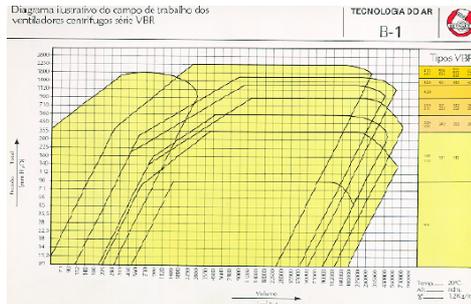
- Fatores como o ruído gerado deve ser verificado no sistema projetado.



VENTILADORES

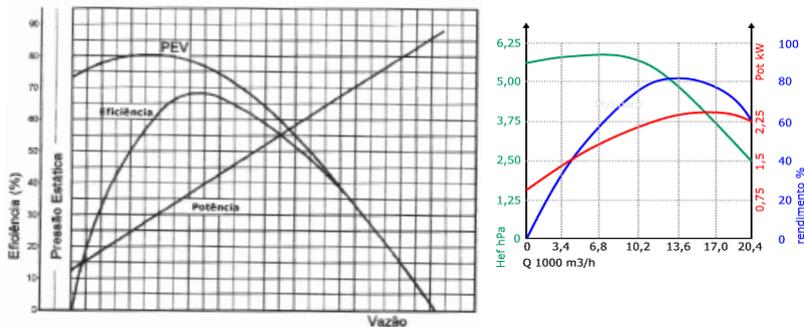
FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:

- Ao se adquirir um equipamento, o fabricante fornecerá a cartas de operação do ventilador. Pode-se utilizar estas cartas para se escolher o melhor equipamento a ser instalado no sistema projetado.



VENTILADORES

FUNDAMENTOS DA TEORIA DOS VENTILADORES:



Exemplo de cartas de operação

VENTILADORES

EXERCÍCIO

Calcule e explique se o equipamento (ventilador) atende as necessidades imposta ao sistema de ventilação descrito abaixo. Considere uma vazão confortável de $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ por m^2 de área construída.
 $\rho_{\text{ar}}=1,22\text{kg}/\text{m}^3$, $1\text{kg}/\text{cm}^2=98067\text{Pa}$, $1\text{m}(\text{H}_2\text{O})=9806\text{Pa}$

