LZT – 5859 – Conforto Térmico e Bioclimatologia Animal

VENTILAÇÃO FORÇADA

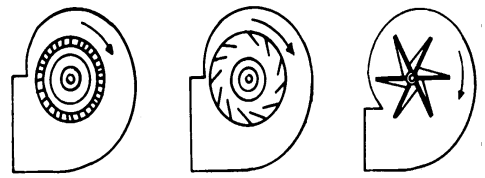
Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva
ESALQ/USP
2013

Ventilação mecânica:

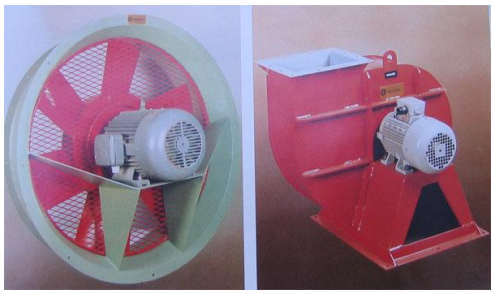
Movimentação do ar utilizando-se de um sistema mecânico de deslocamento do fluido – ventilador, capaz de vencer a perda de carga necessária para atingir uma vazão previamente determinada

Tipos de Ventiladores

Centrífugo: é o mais usado, pois pode, eficientemente, mover pequenas e grandes quantidades de ar numa larga faixa de pressão. O princípio de operação é similar às bombas centrífugas. As pás podem ser curvadas para a frente, para trás ou radiais

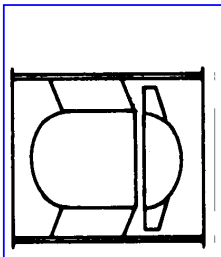


Ventilador centrífugo, pás para frente | Ventilador centrífugo, pás para trás | Ventilador centrífugo, pás retas

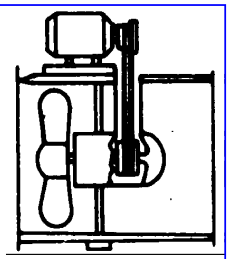


Vanaxial: montado no centro de um tubo, produzindo um fluxo de ar axial. "Guias" são colocadas antes e depois do eixo, a fim de reduzir a rotação do fluxo de ar.

Tuboaxial : Similar ao vanaxial, porém não possui as guias de eliminação de rotação de ar.



Ventilador radial, vanaxial

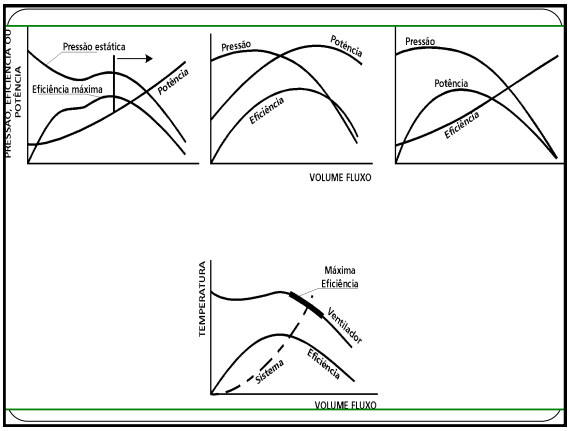


Ventilador radial, turboaxial

Obs.:

Ventiladores de fluxo axial não são capazes de produzirem pressões tão altas quanto aquelas produzidas por ventiladores centrífugos, mas podem mover grandes quantidades de ar à baixa pressão.

Ventiladores axiais produzem maior ruído que os ventiladores centrífugos.



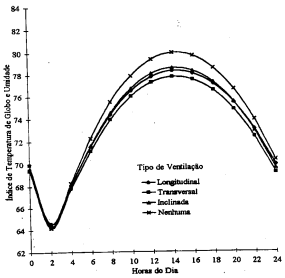
Especificação do ventilador

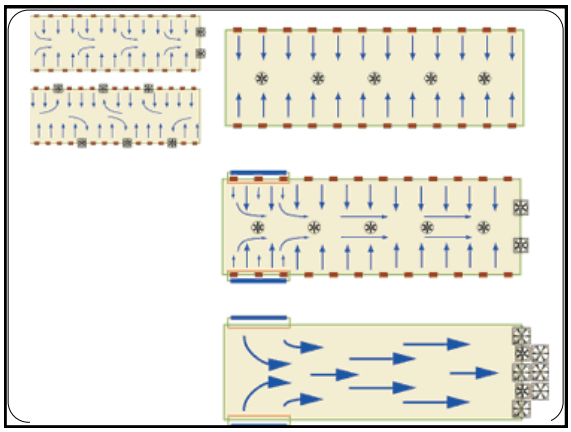
- Q = vazão de ar, em m^3/s;
- Pe = pressão estática no ponto de operação,em mmca;
- Pd = pressão dinâmica no ponto de operação,em mmca;
- N = potência consumida, em CV;
- n = rotação do ventilador, em rpm.

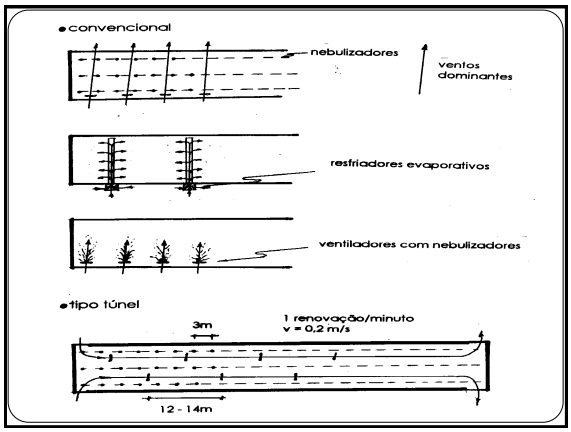
TABELA - Desempenho Típico de Ventiladores com Pressão Estática da Ordem de 25 mmca (adaptado de CURTIS, 1983).

Velocidade (rpm)	Diâmetro (cm)	Potência do Motor (hp)	Capacidade do Ventilador (m^3/m)
1140	46	1/6	55
1140	60	1/4	120
794	76	1/3	163
695	90	1/2	252
538	105	1/2	296

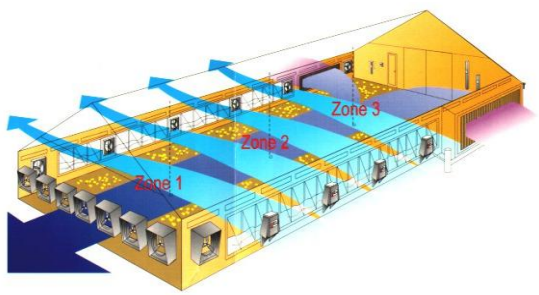
- **cortinas abertas**
  - fluxo de ar transversal (FERREIRA, 1996)
- **cortinas fechadas**
  - fluxo de ar longitudinal (tipo túnel).
- associação com **resfriamento evaporativo do ar**

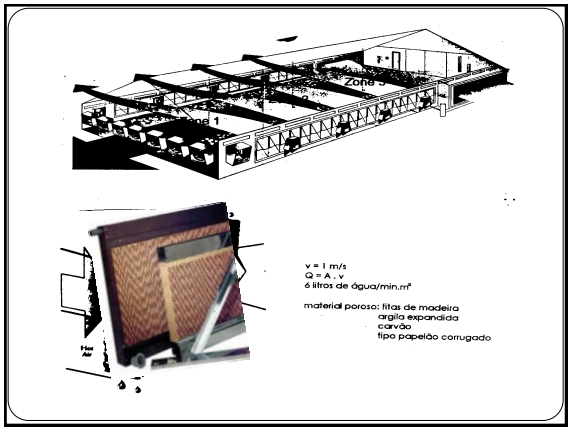


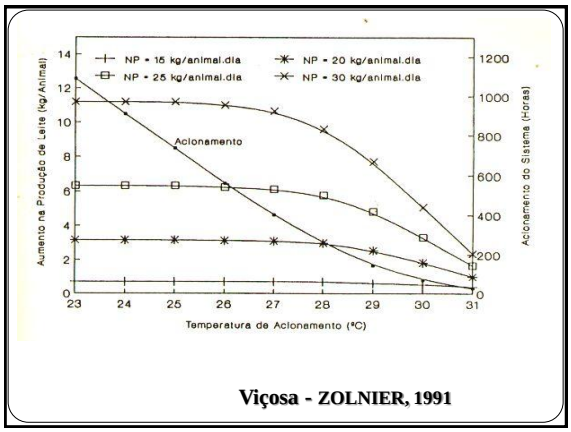




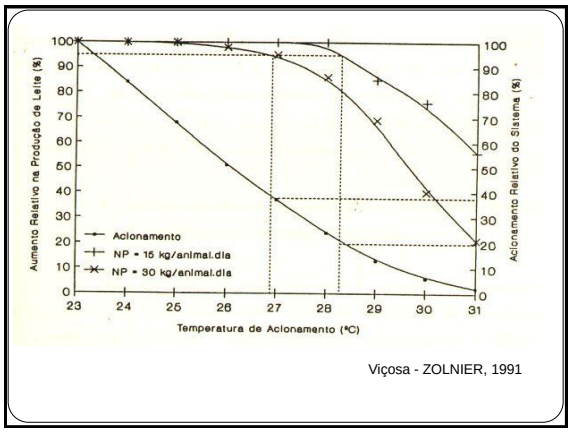
Galpões fechados: requerem ventilação forçada e resfriamento evaporativo



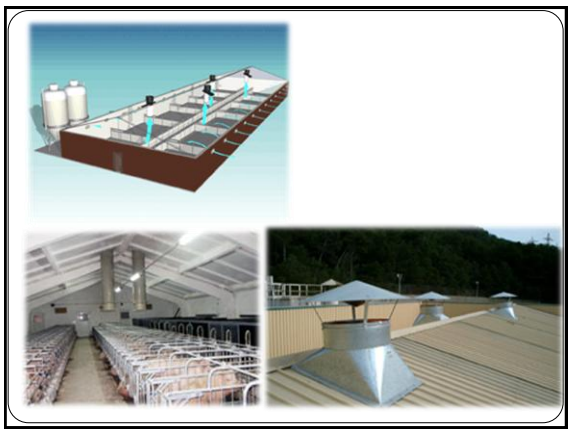


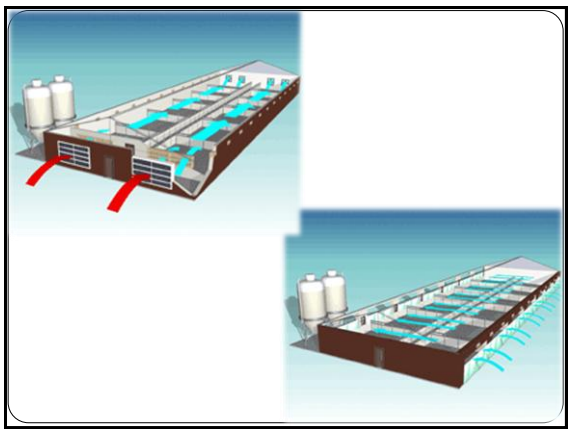


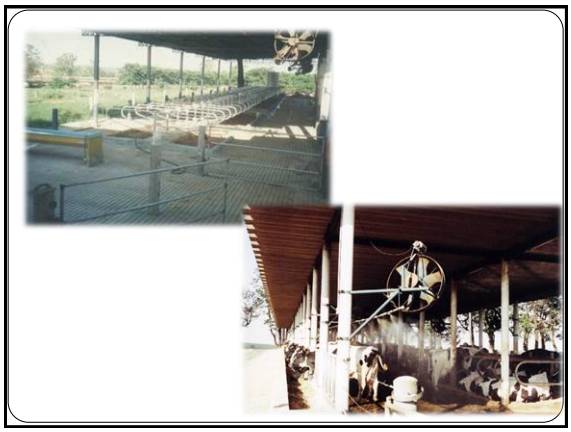
Viçosa - ZOLNIER, 1991



Viçosa - ZOLNIER, 1991







Desempenho dos Ventiladores

Energia transferida para o ar pelos ventiladores aumenta a pressão estática e cinética, produzindo uma pressão total.

Equação de Bernoulli (equação 1).

$$\frac{g_c \cdot W}{g} = \frac{g_c}{g} \cdot \frac{(P_1 - P_2)}{\rho} + \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(v_1^2 - v_2^2\right) = \frac{g_c}{g} \cdot \frac{(P_{T1} - P_{T2})}{\rho}$$

P = pressão estática, Pa; ρ = densidade mássica, kg/m^3;

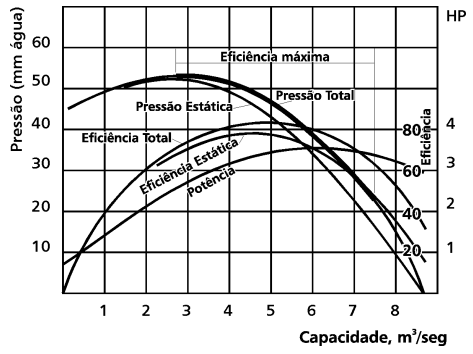
v = velocidade média, m/s;

g = aceleração da gravidade, = 9,81m/s^2;

g_c = constante, 1.0 kg.m/N.s^2; W = trabalho, J/kg;

P_T = pressão total = P + $v^2/2g_c$, em Pa.

Curva característica típica de ventiladores



A equação (1) na forma apresentada expressa o acréscimo na carga total do ar. Multiplicando-se equação (1) por g/g_c, tem-se

$$W = \frac{(P_{T1} - P_{T2})}{\rho} = \frac{\Delta P_T}{\rho}$$

que expressa a energia transferida ao ar (equação 2)

Multiplicando, agora, a equação (2) por m(fluxo de massa), obtemos uma equação para "potência total" transferida ao ar, em termos de fluxo volumétrico:

$$W = \dot{m} \cdot \frac{(P_{T1} - P_{T2})}{\rho} = \dot{V} \cdot \Delta P_T$$

A potência ou força estática é parte da potência total que é usada para produzir a mudança na carga estática, logo

$$W_e = \dot{m} \cdot \frac{(P_1 - P_2)}{\rho} = \dot{V} \cdot \Delta P_e$$

W_e= trabalho estático, J/kg;

ΔP_e= variação de pressão estática entre o ponto 1 e 2.

A **eficiência dos ventiladores** pode ser expressa de duas formas. A eficiência total do ventilador (η_T) é a razão entre a potência total e a potência de entrada do eixo (W_{eixo}), isto é:

$$\eta_T = \frac{W}{W_{eixo}}$$

A eficiência estática do ventilador é a razão entre a potência estática do ar e a potência de entrada no eixo **"shaft power".**

$$\eta_e = \frac{W_e}{W_{eixo}}$$

Lei dos Ventiladores

A capacidade é diretamente proporcional à velocidade (rotação) do ventilador

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{RPM_1}{RPM_2}$$

Lei dos Ventiladores

A pressão (estática, cinética ou total) é proporcional ao quadrado da velocidade (rotação) do ventilador

$$\frac{P_{T1}}{P_{T2}} = \frac{RPM_1^2}{RPM_2^2}$$

Lei dos Ventiladores

A potência requerida é proporcional ao cubo da velocidade (rotação) do ventilador

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{RPM_1^3}{RPM_2^3}$$

A pressão e potência são proporcionais à densidade do ar, quando velocidade(RPM) e capacidade (V) estão constantes;

Velocidade, capacidade e potência são inversamente proporcionais a raiz quadrada da densidade do ar, quando a pressão é constante.

Pode-se, ainda, combinar as leis anteriores nas seguintes expressões

$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)\cdot\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^3\cdot\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5\cdot\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

$$\frac{\Delta P_{T2}}{\Delta P_{T1}} = \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^2\cdot\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2\cdot\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Exemplo: Um ventilador vanaxial tem sido testado num laboratório e encontrou-se as seguintes características de vazão e pressão quando está operando a 500 RPM, sob condições de ar padrão (densidade do ar de 1,204 kg/m^3). Este mesmo ventilador é para ser usado em aplicações onde a densidade do ar é para ser de 1,1kg/m^3 e vazão de ar de 5,0 m^3/s. Determine a velocidade rotacional requerida para um desempenho satisfatório e a pressão de ar fornecida, nas condições de operação .

Vazão (m^3/s)	ΔP (Pa)
6,0	20
5,3	400
4,0	580
3,0	520
2,0	540
1,0	680

$$RPM_2 = RPM_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right) = 500 \cdot \left(\frac{5{,}0}{5{,}3}\right) = 472\,RPM$$

$$\Delta P_{T2} = \Delta P_{T1} \cdot \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right) = 400 \cdot \left(\frac{472}{500}\right)^2 \cdot \left(\frac{1{,}1}{1{,}204}\right) = 326\,Pa$$

logo o sistema de dutos deve ser projetado para ter uma perda de carga de 326 Pa quando o fluxo de ar é de 5 m^3/s. Verifica-se, ainda, que a relação entre a perda ou diferencial de pressão e a vazão ou capacidade do sistema é dada pela seguinte relação

$$\Delta P_T = C \cdot \dot{V}^2$$

Seleção de Ventiladores

- Tipo e arranjo do movimento do ar
- Ventiladores em paralelo ou em série
- Natureza da carga (variável ou constante
- Ruído

Instalação de Ventiladores (Condição adequada)

- Ar deve entrar e sair de ventiladores de tal maneira a evitar mudanças bruscas na direção e velocidade do ar;
- As conexões devem ser utilizadas com rigor, afim de evitar perdas por fricção desnecessárias
- Projetos devem levar em conta pouco espaço para instalação e linhas suaves sempre que permitido;
- Sempre checar e verificar as especificações dos fabricantes quanto aos ventiladores, conexão, câmaras, dutos, etc.

Ventiladores e Sistema de Volume Variável de Ar

A quantidade de fluxo de volume do ar é controlada, independentemente, do ventilador por caixas terminais, e o ventilador deve responder ao sistema. Pois a vazão (capacidade) é proporcional à velocidade rotacional dutos, etc.

Custo Operacional de Ventiladores

O **custo operacional** de um ventilador ou ventiladores e sistema de dutos provém da eletricidade requerida pelos ventiladores.

A quantidade requerida de eletricidade (W) é uma função da taxa de fluxo de ar, do diferencial de pressão e da eficiência do ventilador, sendo que este último depende do projeto do ventilador e das características do motor, logo

$$W = \dot{V} \cdot \Delta P$$

O consumo de eletricidade é dado por

$$CE = \frac{W}{\eta_v \cdot \eta_{me}}$$

onde:

CE= consumo de eletricidade, Watts;

η_v= eficiência dos ventiladores, de 0,6 a 0,9;

η_{me}= eficiência do motor elétrico, de 0,75 a 0,95

Neste exemplo teria-se:

$$CE = \frac{W}{\eta_v \cdot \eta_{me}} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P}{\eta_v \cdot \eta_{me}} = \frac{6 \cdot 292}{0{,}85 \cdot 0{,}90} = 2.290{,}2 Watts \cong 2{,}3 kW$$