

- **O AR ATMOSFÉRICO**

### 1 - Composição

O ar puro e seco é incolor, sem gosto e sem cheiro.

É formado por uma mistura de gases na seguinte proporção (aproximada)

**Nitrogênio** = 78 %

**Oxigênio** = 21 %

**Outros gases (Hélio, Neônio, etc.)** = 1 %

Na prática, o ar puro e seco só existe depois de tratado, pois o ar atmosférico que nos envolve contém sempre vapor d'água, poeiras e gases diversos.

### 2 - Compressibilidade

Diferentemente dos líquidos, o ar pode ser comprimido, isto é, pode ter seu volume reduzido.

Durante a compressão sua temperatura aumenta.

O exemplo mais simples é a bomba manual.

### 3 - Variação do conteúdo de água com a temperatura

O conteúdo de vapor d'água no ar depende das condições climáticas.

Na pressão atmosférica, o ar pode conter no máximo as quantidades de água, sob a forma de vapor, indicadas na tabela abaixo.

A uma dada temperatura, por exemplo 25° C, o ar pode conter no máximo 24 gramas de água por m<sup>3</sup> de ar; neste caso se diz que o ar **está SATURADO**, isto é, não pode mais absorver água.

**Como mostra a tabela abaixo, quanto mais frio o ar, menor será o conteúdo de água, sob a forma de vapor.**

### 4 - Variação do conteúdo de água com a pressão

A capacidade de retenção de água pelo ar diminui com o aumento da pressão.

Vale lembrar antes de prosseguir, que a pressão de qualquer gás na prática, é aquela indicada por um manômetro e conhecida como **pressão efetiva**, ou simplesmente **pressão do gás**.

Nos estudos técnicos a pressão que se usa nos cálculos é a **pressão absoluta**, que é a soma da **pressão efetiva** mais a **pressão atmosférica** do lugar considerado.

A pressão atmosférica do ar ao nível do mar e temperatura de 0° C é de 760 mm de mercúrio ou 1,033 Kg/cm<sup>2</sup>.

Assim, um reservatório de ar, instalado ao nível do mar e temperatura de 0 °C, com as conexões abertas para a atmosfera tem zero de pressão efetiva, mas tem pressão absoluta de 1 bar ou uma atmosfera.

**Portanto, quanto mais a pressão do ar, menor será o conteúdo de água no ar saturado.**

## 5 - Ponto de Orvalho

A temperatura na qual o ar se torna saturado, é chamada de **PONTO DE ORVALHO** e coincide sempre com o início da precipitação, sendo também um indicativo da quantidade de água no ar.

Quanto menor o conteúdo de água no ar, menor será o ponto de orvalho.  
A tabela seguinte demonstra todas as definições vistas até este ponto:

TEMP. °C	CONTEÚDO DE ÁGUA NO AR SATURADO gramas de água por m <sup>3</sup> ar seco - pressão absoluta				
	pressão atm.	4 kg / cm <sup>2</sup>	6 kg / cm <sup>2</sup>	8 kg / cm <sup>2</sup>	10 kg / cm <sup>2</sup>
0	4,8	1,2	0,8	0,6	0,48
5	7,2	1,8	1,2	0,9	0,72
10	9,6	2,4	1,6	1,2	0,96
15	13,2	3,3	2,2	1,6	1,32
20	18,4	4,6	3,0	2,3	1,84
25	24,0	6,0	4,0	3,0	2,4
30	30,0	7,5	5,0	3,8	3,0
35	41,0	10,2	6,8	5,1	4,1
40	52,0	13,0	8,7	6,5	5,2
45	70,0	17,5	11,7	8,8	7,0
50	87,0	21,7	14,5	10,8	8,7

- **EQUIPAMENTOS PARA REDUÇÃO DA UMIDADE**

Para reduzir o conteúdo de água do ar comprimido, deve-se diminuir a sua temperatura.

O equipamento mais simples e mais utilizado é o **AFTERCOOLER** ou **resfriador posterior**, que pode ser refrigerado por ar ou por água.

A eficiência do **AFTERCOOLER** depende do seu grau de limpeza e da temperatura do agente refrigerante.

Para reduzir ainda mais a umidade, a níveis insignificantes, empregam-se secadores que podem ser:

- a - ) **Por refrigeração**
- b - ) **Absorção ou**
- c - ) **Adsorção**

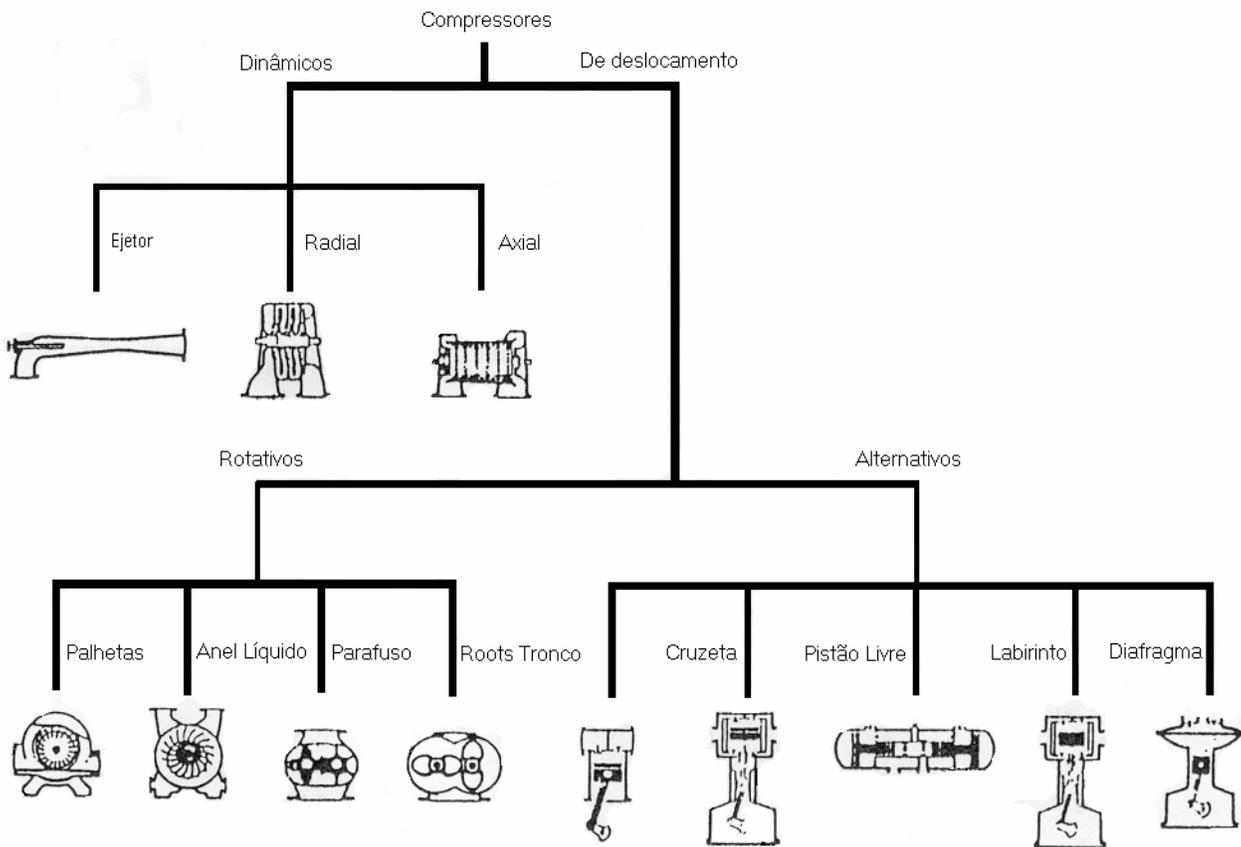
Os secadores por refrigeração diminuem a temperatura do ar até **2° C**, através da troca de calor entre o ar comprimido e um gás refrigerante oferecendo ponto de orvalho de **2° C** e atendem a todas as necessidades exigidas, com raras exceções.

Os secadores por absorção utilizam um processo químico onde o vapor de água é transferido para a substância absorvente. Os absorventes líquidos ( ácido sulfúrico, glycol, glicerina, etc.) são amplamente utilizados em ar condicionado, apesar de que os sólidos são mais utilizados em ar comprimido.

Os secadores por adsorção são aqueles em que se obtém o menor ponto de orvalho. A secagem do ar comprimido se produz empregando um absorvente sólido (alumina ativada, sílica gel) onde através de um processo físico o vapor de água é retido na superfície do absorvente, sendo eliminado em seguida.

• **COMPRESSORES DE AR - TIPOS E DESCRIÇÃO**

Existe uma grande diversidade de equipamentos para a compressão do ar e outros gases; os principais tipos de compressores, classificados segundo seu tipo de funcionamento estão mostrados na figura abaixo :



- **COMPRESSORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO**

São equipamentos onde o aumento de pressão é obtido pela redução do volume ocupado pelo gás. Os compressores de deslocamento positivo se dividem em dois grupos: os alternativos e os rotativos.

**ALTERNATIVOS** : pistão, cruzeta, labirinto e diafragma.

**ROTATIVOS (um rotor)** : palhetas, anel líquido, parafuso.

**ROTATIVOS (dois rotores)** : parafusos, roots.

- **COMPRESSORES DINÂMICOS**

São equipamentos onde o aumento de pressão é obtido pela aceleração das moléculas de ar. Existem dois tipos de compressores dinâmicos ou centrífugos : os radiais e os axiais. Nos dois casos a energia cinética obtida com a aceleração das moléculas de ar é transformada em pressão. Os compressores dinâmicos se caracterizam por ter uma eficiência boa para altas vazões, sendo muito utilizados em empresas de geração de gases (oxigênio, nitrogênio, etc).

- **APLICAÇÕES DO AR COMPRIMIDO**

As diversas vantagens do ar comprimido como simplicidade, flexibilidade, segurança, etc. levam continuamente a novas aplicações desse tipo de energia. Com a automatização acelerada dos processos industriais a qualidade do ar comprimido é fundamental para um perfeito funcionamento dos componentes. As principais utilizações do ar comprimido são :

- Atuação de ferramentas e motores pneumáticos,
- Sistemas de pintura,
- Jatos de areia,
- Componentes pneumáticos lubrificados e não lubrificados,
- Ar de instrumentação,
- Ar de respiração,
- Teares jato de ar,
- Aeração de tratamento de efluentes,
- Processamento de alimentos,
- Transporte pneumático, Etc...

Para cada uma dessas aplicações a pressão requerida para a operação, bem como a qualidade do ar no tocante a impurezas sólidas, quantidade de óleo e condensado existentes variam e devem ser levados em conta na definição do tipo de compressor, bem como do tratamento de ar a ser utilizado.

Como exemplo citamos que os fabricantes de teares a jato de ar exigiam no princípio compressores isentos de óleo. Hoje, a quase totalidade das tecelagens utilizam compressores lubrificados com filtros coalescentes que reduzem a quantidade de óleo residual de óleo no ar comprimido a níveis mínimos, garantindo a qualidade dos produtos a custos aceitáveis de operação.

<b>Qualidade de ar recomendada para diferentes demandas de ar comprimido</b>			
Tipos de equipamentos ou aplicação	Tipos de Aerosol		Conteúdo de Água a) mg / m <sup>3</sup> b) ponto de orvalho
	Partículas sólidas μ m	Presença de óleo mg / m <sup>3</sup>	
Ferramentas e motores industriais	20	25	a) 5 b) PO 10°C abaixo da temp. ambiente
Componentes pneumáticos não lubrificados	15	1	a) 1 b) PO 10°C abaixo da menor temp. sistema
Componentes pneumáticos lubrificados	15	25	a) 1 b) PO 10°C abaixo da menor temp. sistema
Pintura em spray	20	1	a) 1 b) PO 10°C abaixo da menor temp. sistema
Limpeza por jateamento	em relação como abrasivo	1	a) 5 b) PO 10°C abaixo da menor temp. sistema
Ar de instrumentação	5	1	a) 1 b) PO 10°C abaixo temp. ambiente
Ar de respiração	0,3	0,1	a) 1 b) PO 10°C abaixo da temp. ambiente
Indústria alimentícia	0,3	0,003	a) 1 b) PO 10°C abaixo da temp. ambiente
Nota: Conteúdo de óleo 1 mg / m <sup>3</sup> = tecnicamente isento de óleo 1 ppm = 1,2 mg / m <sup>3</sup> Os números referentes ao conteúdo de óleo baseiam-se em óleos minerais e não em óleos sintéticos.			

• **DEFINIÇÕES IMPORTANTES**

**PRESSÃO** : É a força exercida em uma determinada área.  
**UNIDADES UTILIZADAS** : BAR, Kgf/cm<sup>2</sup>, Lbf/pol<sup>2</sup> (PSI)

**FATORES DE CONVERSÃO :**

<b>BAR</b>	<b>Kgf / cm<sup>2</sup></b>	<b>Lbf / pol<sup>2</sup> (PSI)</b>
1,0	1,02	14,5
0,98	1,0	14,2
0,069	0,070	1,0

**VAZÃO** : É o volume de uma substância que se desloca numa unidade de tempo.

**UNIDADES UTILIZADAS** : M<sup>3</sup>/min , Litros / segundo , PCM (CFM) (pés cúbicos por minuto)

**FATORES DE CONVERSÃO :**

<b>M<sup>3</sup>/min</b>	<b>L/SEG</b>	<b>PCM (CFM)</b>
1,0	16,7	35,3
0,060	1,0	2,12
0,028	0,472	1,0

**IMPORTANTE:** Todos os fabricantes de compressores fornecem em seus catálogos a vazão em unidades de volume/tempo. Alguns fabricantes de equipamentos fornecem o consumo de seus equipamentos em unidade de massa/tempo (kg / min ou Nm<sup>3</sup>/min - Normais metro cúbicos por minuto ). Nesses casos é de fundamental importância a conversão desse dado para a vazão estipulada pelo fabricante do compressor, levando-se em conta a altitude, bem como a temperatura do local onde será instalado o compressor.

Exemplo : Tear a jato de ar a ser instalado em Americana (SP).  
Consumo de um tear a jato de ar : 100 N.m<sup>3</sup>/hora  
Compressor necessário : 125 m<sup>3</sup>/hora (\*\*)

(\*\*) Deverá ser confirmado de acordo com o local de instalação.

- **COMO SELECIONAR UM COMPRESSOR**

A escolha de um compressor deverá sempre atender a critérios técnicos e operacionais para que se obtenha o melhor resultado técnico com o menor custo operacional.

## **A. CRITÉRIOS TÉCNICOS**

### **1) QUAL A PRESSÃO DE OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ?**

O compressor deverá atender a pressão de operação dos equipamentos. A pressão de operação dos equipamentos produtivos deverá sempre ser o primeiro item a ser levado em conta na seleção de um compressor, pois em caso de operarmos abaixo da pressão recomendada teremos um baixo rendimento. Se ao contrário o compressor selecionado gerar o ar comprimido numa pressão acima do necessário haverá um consumo de energia elétrica desnecessário.

Para se ter uma idéia a cada 1,0 Bar de pressão adicional num compressor o consumo de energia elétrica aumenta em média 4% (quatro por cento).

### **2) QUAL O CONSUMO DE AR DOS EQUIPAMENTOS ?**

Depois de definida a pressão de operação deveremos somar os consumos individuais dos equipamentos a serem instalados a fim de definirmos a vazão do compressor a ser adquirido.

### **3) QUAL O TIPO DE RESFRIAMENTO DO COMPRESSOR ?**

Os compressores podem ser resfriados por ar ou por água.

A grande maioria dos equipamentos utiliza o resfriamento por ar que não necessita investimentos adicionais. É de fundamental importância que a sala onde estejam instalados compressores resfriados por ar tenham um bom fluxo de ar de resfriamento.

Ambientes com alto grau de poluição (forjarias, fundições, usinas de alumínio, fábricas de cimento, etc) necessitam de compressores resfriados por água, pois nessas condições os resfriadores de ar/óleo dos equipamentos sujarão com excessiva frequência o que prejudicaria suas condições operacionais.

#### 4) QUAL A TENSÃO PARA A OPERAÇÃO DOS COMPRESSORES ?

É necessário definir a voltagem (tensão) em que os equipamentos irão operar.

#### B) CRITÉRIOS OPERACIONAIS

A definição final da aquisição de um compressor não pode apenas levar em conta o **preço** do equipamento. Muito mais importante que o preço é de fundamental importância levarmos em conta o **custo operacional** dos compressores a serem instalados.

##### 1) CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA DO COMPRESSOR

O valor da energia elétrica a ser despendida durante um ano de operação (8000 horas) na maioria das vezes é superior ao preço do compressor. Portanto um compressor com um consumo de energia reduzido pode ter um custo operacional reduzido.

EXEMPLO : Compressor de 100 HP ( x 0,746 = 74,6 KW) - ( 13,5 m<sup>3</sup>/min)

Custo médio : R\$ 45.000,00

**Custo Anual de Energia elétrica =  $\frac{74,6 \text{ KW} \times 8000 \text{ HORAS} \times \text{R\$ } 0,10 / \text{KWH}}{0,90 \text{ (EFICIÊNCIA DO MOTOR)}}$**

**CUSTO ENERGIA ELÉTRICA = R\$ 66.311,00**

##### 2) PEÇAS DE REPOSIÇÃO - CUSTO E DISPONIBILIDADE

Atualmente com o mercado globalizado não existem mais barreiras para a importação de equipamentos e peças de reposição. Porém é de fundamental importância verificar a disponibilidade das peças de reposição, bem como seu custo pois muitas empresas iniciam suas vendas no mercado e somente criam estoques de peças após um volume expressivo de colocação de máquinas no mercado. Caso isso não ocorra tiram-se deixando seus clientes com problemas operacionais.

### **3) ASSISTÊNCIA TÉCNICA - CUSTO E DIMENSIONAMENTO**

Por mais confiáveis que sejam os equipamentos produzidos atualmente, haverá a necessidade de intervenção de uma equipe de assistência técnica do fabricante. É necessário portanto a verificação se o equipamento que está sendo adquirido possui uma assistência técnica bem dimensionada e a custos compatíveis.

### **4) INFORMAÇÕES DE MERCADO**

Todos os vendedores dizem que seu equipamento é o melhor, com menor custo operacional, assistência técnica eficiente, peças de reposição a custo reduzido, etc, etc.,

A informação verdadeira normalmente vem do mercado, ou seja, consulte alguma empresa que se utilizam dos compressores em questão para saber da confiabilidade, assistência técnica e outras informações.

- **INSTALAÇÃO DE COMPRESSORES**

Depois de definido o compressor a ser instalado, bem como o tratamento do ar necessário (secadores, filtros, etc) é necessário instalar o compressor. O primeiro passo é encontrar um local que possa abrigar os equipamentos. Nessa hora alguns cuidados devem ser seguidos no tocante à

### **1) ESPAÇO FÍSICO**

- a) Acesso para entrada / saída do equipamento ?
- b) Espaço ao redor de seu compressor para manutenção ?
- c) Espaço para um segundo compressor ?
- d) Equipamentos para manuseio de peças pesadas (motor, elemento compressor) ?
- e) O piso é lavado constantemente ?
- f) O piso suporta a carga estática do compressor ?
- e) Compressores de pistão - existe base de concreto bem dimensionada ?
- f) Desenhos ou suporte do fabricante mostrando as necessidades de espaço ?

## 2) VENTILAÇÃO

O diferencial de temperatura máximo recomendado entre a temperatura externa e a temperatura interna à sala é de 7 °C. Para manter esse diferencial no menor valor admissível devemos tomar alguns cuidados com o processo de ventilação da sala.

- a) Quais os equipamentos geradores de calor instalados na mesma sala ?
- b) Se o ar de admissão ou descarga o duto instalado tem uma perda de carga máxima de 30 Pa ( 3 mm de coluna d'água) ?
- c) Ventilação forçada - o ventilador tem a capacidade necessária para manter o diferencial de temperatura ?
- d) Ventilação natural - as grades de admissão e descarga de ar tem a dimensão correta para manter o diferencial de temperatura ?
- e) O fluxo de ar - entrada de ar frio e saída de ar quente - está adequado ?

## 3) ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Quando utilizamos um compressor resfriado por água é necessário instalar um sistema de resfriamento/transporte dessa água que será responsável pelas temperaturas de operação do equipamento.

- a) Qual a capacidade da torre de resfriamento necessária ?
- b) Qual o diâmetro da tubulação necessária ?
- c) Qual a capacidade da bomba necessária no tocante à vazão e pressão ?
- d) Tratamento da água de resfriamento para evitar incrustações ?

## 4) SISTEMA ELÉTRICO

- a) A voltagem de seu sistema é compatível com o equipamento ?
- b) O transformador tem capacidade para suportar a partida do compressor ?
- c) Os cabos elétricos estão bem dimensionados ?
- d) Os fusíveis de proteção estão bem dimensionados ?

## REDES DE AR COMPRIMIDO

Após selecionarmos o compressor, bem como os equipamentos necessários para o tratamento do ar comprimido necessitamos dimensionar a rede de distribuição para que não tenhamos perdas de carga excessiva no sistema.

Temos oito fases a serem seguidas num projeto de distribuição de ar :

1. Avaliação da necessidade de ar comprimido;
2. Projeto da linha principal de ar;
3. Projeto da linha de distribuição;
4. Projeto da linha de serviço;
5. Projeto dos acessórios;
6. Escolha adequada do material da tubulação e métodos de união;
7. Determinação das quedas permissíveis de pressão;
8. Determinação das dimensões adequadas da tubulação.

Normalmente a queda máxima de pressão permitida entre o ponto de geração (compressor) aos pontos de consumo não deve ultrapassar 1,0 BAR, pois os equipamentos são projetados para trabalhar com uma pressão sempre um pouco abaixo das pressões de trabalho de projeto dos compressores.

Os fabricantes de compressores normalmente fornecem suporte técnico, exceto em grandes projetos, para que sua rede de ar comprimido trabalhe dentro dos limites estabelecidos.

### **DIÂMETRO MÍNIMO RECOMENDADO PARA REDES DE AR COMPRIMIDO** (Pressão de Trabalho 80-125 psig)

CFM - Transmitidos	Comprimento (Metros)				
	15-75	75-165	165-330	330-850	850-1000
30-60	1"	1"	1. ¼"	1. ½"	1. ½"
60-100	1"	1. ¼"	2. ½"	2. ½"	2. ½"
100-200	1. ¼"	1. ½"	2"	2. ½"	2. ½"
200-500	2"	2. ½"	3"	4"	4"
500-1000	2. ½"	3"	4"	4"	5"
1000-2000	2. ½"	4"	5"	5"	6"
2000-4000	4"	5"	6"	8"	8"
4000-8000	6"	8"	8"	10"	10"

- **CUSTO DO AR COMPRIMIDO NO PROCESSO INDUSTRIAL**

Na maioria dos processos industriais o ar comprimido tem uma grande parcela no custo final do produto, porém na maioria das vezes é totalmente negligenciado. Na composição do custo final da produção do ar comprimido devemos levar em conta os seguintes fatores :

- a) Custo da energia elétrica;
- b) Custo da operação e supervisão dos equipamentos;
- c) Custo da manutenção interna;
- d) Custo da assistência técnica do fabricante e peças de reposição;
- e) Custo da revisão dos motores elétricos;
- f) Custo da revisão da unidade compressora;
- g) Perdas por vazamentos.

**Portanto na hora de escolher o compressor para uma unidade industrial o preço deste produto não deve ser fator decisivo para a aquisição desse produto, e sim o custo operacional levando-se em conta os fatores acima.**

- **ECONOMIA EM PROCESSOS DE AR COMPRIMIDO**

Para mantermos a viabilidade econômica dos processos de produção industrial é de fundamental importância reduzirmos os custos em todas as fases de produção. O ar comprimido é um dos fatores que influem nesse custo e algumas medidas simples podem significar uma economia expressiva.

### **1) VAZAMENTOS**

É com certeza a maior fonte de desperdício de \$ em relação ao ar comprimido.

Em empresas com redes de distribuição de grande/médio porte uma perda de ar comprimido de até 10% de seu consumo é tolerável. Nas empresas de pequeno porte não deve haver vazamentos com mais de 5% do consumo.

Para se ter uma idéia do custo de vazamentos relacionamos abaixo a perda de \$ através de orifício numa rede com pressão de 6,0 Bar.

Diâmetro do furo	Vazamento de ar a 6,0 BAR	Potência Requerida	Custo de perda por ano em
mm	l / s	Kw	R\$
1	1	0,3	240,00
3	10	3,1	2.480,00
5	27	8,3	6.640,00
10	105	33,0	26.400,00

## 2) PRESSÃO DE OPERAÇÃO

Os compressores devem gerar o ar comprimido na menor pressão possível. Cada 1,0 Bar de pressão representa 4% de aumento de consumo de energia elétrica.

## 3) LIMPEZA COM AR COMPRIMIDO

Em muitos locais se utiliza o ar comprimido para fazer limpeza de equipamentos e varrer o chão. Pela tabela acima verificamos o custo desse desperdício.

## 4) CONSUMO ESPECÍFICO DO COMPRESSOR

Devemos na especificação do compressor verificar o consumo específico do equipamento que está sendo adquirido, comparando com os outros fabricantes. Muitas vezes um compressor com menor consumo específico pode representar economia de energia significativa.

Os compressores com menor consumo específico são os compressores de pistão que comprimem em dois estágios, porém com uma qualidade de ar no que tange à temperatura e residual de óleo que torna caro o tratamento desse ar comprimido.

Existem hoje no mercado compressores de parafuso que comprimem em dois estágios, com boa qualidade do ar de descarga, que garante uma economia de energia elétrica da ordem de 15%.

Claudemir Henrique Tersiotte

**Enermax Eng. Com. e Serv. Ltda.**  
**Ar Comprimido e Refrigeração Industrial**  
**Av. Samuel Martins, 1932**  
**13.203-630 – JUNDIAÍ – SP**  
**Fones: ( 11 ) 4587-3336 / 4526-4275**  
**Celular: ( 11 ) 9948-0084**