Jurandir Primo

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
Parte 1 – Pneumática & Ar Comprimido

Jurandir Primo
Copyright @ 2023
1ª edição – março de 2023

Capa: Jurandir Primo – Sorocaba/SP

PRIMOTECH – MANUAIS DE ENGENHARIA

Primo, Jurandir

Sistemas Industriais; Automação.

Índice para pesquisas: Sistemas Industriais, Tubulação Industrial e Anexos.

ISBN:

Livro no sistema de auto-publicação cuja edição, revisão, diagramação e capa foram selecionadas pelo próprio autor, para diminuir custos e facilitar a todos os interessados em engenharia e tecnologia.

O autor permite que todas as partes do livro possam ser copiadas ou reproduzidas para fundamentos educacionais, instrutivos e treinamento técnico.

Para adquirir esta ou outras publicações do autor, enviar solicitação para:

primotechcourses@hotmail.com

Automação Industrial
Parte 1 - Pneumática & Ar Comprimido



INDICE:

INTRODUÇÃO:

PROPRIEDADES DO AR:

PRESSÃO:

TEMPERATURA:

DENSIDADE E ALTITUDE:

CIRCUITO DE AR COMPRIMIDO:

SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO:

VÁLVULAS PNEUMÁTICAS:

CILINDROS E ATUADORES:

DIAGRAMAS PNEUMÁTICOS:

CONTROLE ELETRO-PNEUMÁTICO BÁSICO:

CÁLCULOS BÁSICOS DE CILINDROS E TANQUES:

SOFTWARES PARA SIMULAÇÕES PNEUMÁTICAS:

INTRODUÇÃO:

Pneumática vem da palavra grega “pneuma”, que significa “respiração ou vento”. É, basicamente, a utilização de **ar ou gás** pressurizado que auxilia na realização de determinado trabalho para produzir movimento mecânico ou provocar algum controle do processo. Os sistemas pneumáticos são amplamente utilizados na indústria e nas fábricas, geralmente instalados com ar comprimido ou gases inertes localizados centralmente, alimentados eletricamente, que acionam cilindros e outros dispositivos pneumáticos usando válvulas solenoides, válvulas de controle, diafragmas e vários tipos de atuadores.

Pneumática é a transmissão e controle de forças e movimentos por meio de ar comprimido e por muito tempo é usada na execução de tarefas eletromecânicas complexas, desempenhando um papel vital e importante na automação e desenvolvimento de tecnologias sofisticadas.

A potência do fluido é a energia transmitida e controlada por meio de um fluido pressurizado, seja líquido ou gasoso. O termo potência do fluido aplica-se tanto à hidráulica quanto à pneumática. A hidráulica (óleo ou água) usa líquidos sob pressão, enquanto a pneumática usa ar comprimido ou outros gases neutros.

PROPRIEDADES DO AR:

O ar é a atmosfera da Terra. É o gás claro no qual os seres vivos vivem e respiram com forma e volume indefinidos, mas tem massa e peso; no entanto, não tem cor nem cheiro. O ar cria a pressão atmosférica. Não há ar no vácuo e no cosmos.

A atmosfera da Terra é uma camada de gases que envolve o planeta Terra, retida pela gravidade. A atmosfera protege a vida na

Terra absorvendo a radiação solar ultravioleta, aquecendo a superfície por meio da retenção de calor (efeito estufa) e reduzindo os extremos de temperatura entre o dia e a noite (as variações diurnas de temperatura). Então ar, é o nome comum dado aos gases atmosféricos usados na respiração e na fotossíntese.

Em volume, o ar seco contém **78,09% de nitrogênio, 20,95% de oxigênio, 0,93% de argônio, 0,039% de dióxido de carbono** e pequenas quantidades de outros gases. O ar também contém uma quantidade variável de vapor de água, em média cerca de 1%. Embora o conteúdo de ar e a pressão atmosférica variem em diferentes camadas de altitude, o ar adequado para a sobrevivência de plantas e animais atualmente só é encontrado na troposfera e em atmosferas artificiais.

A **atmosfera** terrestre vai até cerca de **6,8 milhas** (36.000 pés) da superfície e torna-se cada vez mais fina com o aumento da altitude, sem limite definido entre a atmosfera e o espaço sideral. A **linha de Karman**, (62 milhas ou 100 Km), 1,57% do raio da Terra, é frequentemente usada como a **fronteira** entre a atmosfera e o espaço sideral.

Os efeitos atmosféricos tornam-se perceptíveis durante a reentrada atmosférica de uma espaçonave a uma altitude de cerca de 75 milhas (120 km). O estudo da atmosfera da Terra é chamado de ciência atmosférica ou aerologia. Os primeiros pioneiros no campo incluem Léon Teisserenc de Bort e Richard Assmann.

Muitas substâncias podem estar presentes no ar, como aerossóis em uma amostra de ar não filtrada, poeira de compostos minerais e orgânicos, pólen, esporos, maresia e cinzas vulcânicas. Vários poluentes industriais também podem estar presentes como gases, cloro (elementar ou em compostos), compostos de flúor, vapor de

mercúrio elementar e compostos de enxofre, como sulfeto de hidrogênio e dióxido de enxofre (SO2), muitos desses compostos são derivados de fontes naturais e poluição do ar industrial.

A pressão e a densidade do ar **diminuem** com a **altitude** na atmosfera. Entretanto, a temperatura tem um perfil mais complicado em composição com a altitude, podendo se manter relativamente constante ou mesmo aumentar com a altitude em algumas regiões. Desta forma, a atmosfera da Terra pode ser dividida (chamada estratificação atmosférica) em cinco camadas principais. Do mais alto ao mais baixo, essas camadas são:

1. **Exosfera**: >700 km (>440 milhas);
2. **Termosfera**: 80 a 700 km (50 a 440 milhas);
3. **Mesosfera**: 50 a 80 km (31 a 50 milhas);
4. **Estratosfera**: 12 a 50 km (7 a 31 milhas);
5. **Troposfera**: 0 a 12 km (0 a 7 milhas);

PRESSÃO:

Pressão (P) é uma **força** por unidade de área aplicada em uma direção perpendicular à superfície de um objeto. Matematicamente é **P = F/A**, onde F é Força e A é Área. Então, a pressão atmosférica é o peso total do ar acima da unidade de área no ponto onde a pressão é medida. A pressão do ar varia com a localização e o clima. As principais unidades básicas de pressão são: 101300 Pa (Pascal) = 101,3 kPa (Quilopascal) = 0,1013 mPa (Megapascal) = 1,013 bar = 1,033 kg/cm² abs = 760 mmHg (torr) = 14,7 psia = 29,92 polegadas de mercúrio (Hg). Na unidade de pressão, existem três padrões disponíveis:

1. **Padrão API**: 14,7 psia, 60°F, 0% de umidade relativa;
2. **Padrão ASME**: 14,7 psia, 68°F, 36% de umidade relativa;
3. **Padrão CAGI**: 14,7 psia, 60°F, 36% de umidade relativa;

TEMPERATURA:

A temperatura **diminui** com a altitude a partir do nível do mar. Acima de **11 km**, a temperatura se estabiliza em uma distância vertical através do restante da troposfera. As **principais** e mais usadas unidades de temperatura são:

Escala Celsius: Também conhecida como centígrado. A 0°C é definida como o ponto de congelamento da água, e a temperatura a 100°C é definida como o ponto de ebulição da água.

Escala Fahrenheit: A 32°F é definida como o ponto de congelamento da água, à temperatura de 212°F, definida como o ponto de ebulição da água.

A relação entre Celsius e Fahrenheit torna-se:

F° = 1.8 C° + 32 =

$$C° = \frac{F-32}{1.8} =$$

OBS.: A temperatura média da atmosfera na superfície da Terra considerando vários pontos é de **14 °C** (57 °F; 287 K) ou 15 °C (59 °F; 288 K), dependendo da referência.

Tanto a pneumática quanto a hidráulica são aplicações de energia fluida. A pneumática usa um gás facilmente compressível, como o **ar** ou um gás puro adequado, enquanto a hidráulica usa meios líquidos relativamente incompressíveis, como o óleo. As aplicações pneumáticas geralmente usam pressões de cerca de 80 a 100 psi (5,5 bar a 7 bar). Aplicações hidráulicas geralmente usam de 1.000 a 5.000 psi (68 bar a 345 bar), mas aplicações especializadas podem exceder 10.000 psi (69 mPa).

DENSIDADE E ALTITUDE:

A densidade do ar ao **nível do mar** é de cerca de 1,2 kg/m³ (0,002378 slugs/ft^3). A densidade não é medida diretamente, mas é calculada a partir de medições de temperatura, pressão e umidade usando a equação de estado do ar (uma forma da lei dos gases ideais). A densidade atmosférica **diminui** à medida que a altitude aumenta. Modelos mais sofisticados são usados para prever o decaimento orbital dos satélites.

O conceito de altitude e de densidade é usado para descrever o efeito na aeronave e no desempenho dos motores, a propriedade subjacente de interesse é, na verdade, a densidade do ar. Por exemplo, a sustentação de uma asa de avião, o arrasto aerodinâmico e o impulso de uma pá de hélice são todos diretamente proporcionais à densidade do ar. A força descendente aplicada no spoiler de um carro de corrida, também é diretamente proporcional à densidade do ar.

A densidade do ar é afetada pela **pressão** do ar, da temperatura e umidade. A densidade do ar é **reduzida** pela diminuição da pressão do ar, aumento das temperaturas e aumento da umidade. Uma redução na densidade do ar reduz a potência de motores, reduz a sustentação aerodinâmica e reduz o arrasto.

A altitude (ou elevação) é a altura geométrica **acima do nível do mar** onde o ajuste de um altímetro, a temperatura e o ponto de orvalho foram medidos. A pressão absoluta do ar é a pressão real do ar, não corrigida pela altitude, e também é chamada de pressão de estação. A densidade **relativa** é a relação entre a densidade **real** do ar e a densidade **padrão** do nível do mar, expressa em um valor de porcentagem.

Densidade e Umidade Relativa: As informações do Serviço Nacional de Meteorologia mostram o ponto de orvalho, a umidade relativa e a configuração do altímetro para vários locais, em unidades métricas e inglesas. As condições padrão da atmosfera atmosférica padrão para altitude de densidade zero são:

Altitude 0 metros (0 pés), temperatura do ar **15°C** (59°F), pressão do ar **1013,25 mPa** (29,92 in Hg) e umidade relativa 0% (ponto de orvalho absoluto). A densidade padrão do ar ao nível do mar é de **1,225 kg/m³** (0,002378 slugs/ft³). A 20 °C e pressão de **1,0 bar** (101,325 kPa), o ar seco tem uma densidade de 1,2041 kg/m³. A 70 °F e pressão de **14,696 psi**, o ar seco tem uma densidade de 0,074887 lbm/ft³.

Nota: A Atmosfera Padrão Internacional de 1976 é descrita principalmente em unidades métricas do SI.

Cálculos da Densidade do Ar: Para começar a entender o cálculo da densidade do ar, considere a lei dos gases ideais. A constante de gás específica para ar seco é **287,058 J/(kg·K)** em unidades SI e **53,35** (ft·lbf)/(lbm·°R) na unidade dos EUA.

P x V = n x R x T

Onde:

P = pressão; **V** = volume; **n** = número de moles; **R** = constante do gás; **T** = temperatura.

A densidade é simplesmente o **número de moléculas do gás ideal** em um determinado volume, neste caso um volume molar, que pode ser matematicamente expresso como:

D = n / V

Onde:

D = densidade; **n** = número de moléculas; **V** = volume

Então, combinando as duas equações anteriores, a expressão para a densidade torna-se:

$$\mathbf{D = \frac{P..}{R \times T}}$$

Onde:

D = Densidade, kg/m^3;
P = Pressão, Pascal;
R = Constante do gás, J/(kg°K) = 287,05 para ar seco;
T = Temperatura, °K = (°C + 273,15).

Exemplo: Calcule a densidade do ar usando as condições do nível do mar padrão ISA. (Use unidades métricas e encontre a conversão em unidades imperiais):

P = 101.325 Pa (14,7 psia);
T = 15°C (59°F);

A densidade do ar ao nível do mar pode ser calculada como:

$$\mathbf{D} = \frac{(101.325)}{287.05 \times (15 + 273.15)} \ldots\ldots\ldots \mathbf{= 1.225\ kg/m^3} = \mathbf{0.002378\ slugs/ft^3}.$$

Nota: Este exemplo foi derivado para o ar seco das condições padrão. No entanto, para situações do mundo **real**, é necessário entender como a densidade é afetada pela umidade do ar.

Tabela I - Densidade e Pesos Específicos
Unidades SI:

Temperatura t - (ºC)	**Densidade** ρ - (kg/m^3)	**Peso Especifico** γ - (N/m^3)
-20	1.395	13.68
0	1.293	12.67
5	1.269	12.45
10	1.247	12.23
15	**1.225**	**12.01**
20	**1.204**	**11.81**
25	1.184	11.61
30	1.165	11.43
40	1.127	11.05
50	1.109	10.88
60	1.060	10.40
70	1.029	10.09
80	0.9996	9.803
90	0.9721	9.533
100	0.9461	9.278

Tabela II - Densidade e Pesos Específicos
Unidades US:

Temperatura t - (ºF)	**Densidade** ρ (slugs/ft^3) x 10^{-3}	**Peso Específico** γ (lb/ft^3) x 10^{-2}
-20	2.805	9.026
0	2.683	8.633
10	2.626	8.449
20	2.571	8.273
30	2.519	8.104
40	2.469	7.942
50	2.420	7.786
60	**2.373**	**7.636**
70	**2.329**	**7.492**
80	2.286	7.353
90	2.244	7.219
100	2.204	7.090
120	2.128	6.846
140	2.057	6.617
160	1.990	6.404
180	1.928	6.204
200	1.870	6.016
300	1.624	5.224

Altitude e Pressão do Ar: A pressão varia da superfície da Terra até o topo da mesosfera. À medida que a altitude aumenta, a pressão atmosférica **diminui** e a pressão atmosférica pode ser calculada. A temperatura e a umidade também afetam a pressão atmosférica, e é necessário conhecê-las para calcular um valor preciso. A tabela abaixo foi desenvolvida para uma temperatura de **15 °C** (59 °F) e uma umidade relativa de 0%. Em baixas altitudes acima do nível do mar, a pressão **diminui** cerca de **1,2 kPa** (0,17 psi) para cada 100 metros (328 pés).

Tabela III - Altitude e Pressão do Ar:

Altitude		**Pressão**			
Pés	Metros	pol.Hg	torr	psia	Kg/cm² abs
0	**0**	**29.92**	**759.97**	**14.7**	**1.033**
500	152	29.39	746.51	14.43	1.015
1000	305	28.86	733.04	14.17	0.956
1500	457	28.34	719.84	13.91	0.978
2000	610	27.82	706.63	13.66	0.960
2500	762	27.32	693.93	13.41	0.943
3000	914	26.82	681.23	13.17	0.926
3500	1067	26.33	668.78	12.93	0.909
4000	1219	25.84	656.34	12.69	0.892
4500	1372	25.37	644.4	12.46	0.876
5000	1524	24.9	632.46	12.23	0.860
5500	1676	24.44	620.78	12	0.843
6000	1829	23.98	609.09	11.77	0.828
6500	1981	23.53	597.66	11.55	0.812

7000	2134	23.09	586.49	11.34	0.797
7500	2286	22.66	575.56	11.13	0.782
8000	2438	22.23	564.64	10.91	0.767
8500	2591	21.81	553.97	10.71	0.753
9000	2743	21.39	543.31	10.5	0.738
9500	2896	20.98	532.89	10.3	0.724
10000	3048	20.58	522.73	10.1	0.710
10500	3200	20.19	512.83	9.91	0.697
11000	3353	19.8	502.92	9.72	0.683
11500	3505	19.41	493.01	9.53	0.670
12000	3658	19.03	483.36	9.34	0.656
12500	3810	18.66	473.96	9.16	0.644

Nm³/h e SCFM: (Metro Cúbico Normal por Hora e Pés Cúbicos Padrão por Minuto). Quando a capacidade de um compressor é dada em **Nm³/h ou SCFM**, precisamos conhecer as condições climáticas (pressão atmosférica, temperatura do ar e umidade relativa) e as condições de altitude do local se instala um compressor.

Nm³/h – refere-se ao Metro Cúbico Normal por Hora:

- Pressão atmosférica ao nível do mar = **1,033 kg/cm² abs.)**
- Temperatura = **273°K (0ºC)**
- Umidade Relativa = **0% (seco)**

SCFM - refere-se a Pés Cúbicos Padrão por Minuto:

- Pressão atmosférica ao nível do mar = **14,7 psi abs**.
- Temperatura = **60°F (15,6°C)**
- Umidade Relativa = **0% (seco).**

	Nm³/h	**SCFM**
Altitude	Nível do mar	Nível do mar
Pressão	1.033 bar (abs)	14.7 psi (abs)
Temperatura	0°	60°F (15°C)
Umidade Relativa	0%	0%

Para projetar um compressor ou um sistema, é necessário calcular a conversão volumétrica usando as seguintes fórmulas:

$$\textbf{Nm}^3\textbf{/h} = \textbf{m}^3\textbf{/h} . \frac{273}{273 + t1} . \frac{P1 - (Rh \times Pv)}{1.013} =$$

Onde:

t1: Temperatura de entrada do ar (°C);
P1: Pressão na admissão da unidade compressora (bar abs.);
Rh: Umidade relativa local (%);
Pv: Pressão parcial de vapor saturado (bar abs.) – (Tabela IV).

$$\textbf{SCFM} = \textbf{CFM} . \frac{520}{460 + t_1} \times \frac{P_1 - (Rh \times Pv)}{14.7} =$$

Onde:

t1: Temperatura de entrada do ar (°F);
P1: Pressão na admissão da unidade compressora (psia);
Rh: Umidade relativa local (%);
Pv: Pressão parcial de vapor saturado (psia) – (Tabela III).

Conversão de SCFM para Nm³/h:

Nm³/h = 1.6077 x SCFM

Vapor Pressure or Saturated Vapor Pressure: Any incremental increase in temperature, the vapor pressure becomes sufficient to