



**Eduardo Bortolin**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AR  
COMPRIMIDO PARA UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

**Horizontina**

**2014**

**Eduardo Bortolin**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO PARA  
UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, Mestre.

**Horizontina**

**2014**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Dimensionamento de um sistema de ar comprimido para uma empresa de  
pequeno porte”**

**Elaborada por:**

**Eduardo Bortolin**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 19/11/2014  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Me. Anderson Dal Molin  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Dr. Ademar Michels  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Dr. Fabiano Cassol  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina  
2014**

## **DEDICATÓRIA**

À Deus, por minha vida, família e amigos.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço principalmente a Deus, por ter iluminado meu caminho para que eu pudesse concluir mais esta etapa da minha vida pessoal e profissional.

Em especial aos meus pais, Aristeu e Helena por todo o suporte, amor e pelo apoio em todos os momentos da minha formação acadêmica, enfim pelos conselhos e pela confiança em mim depositada.

As minhas irmãs, Renata e Roberta pelo apoio e atenção que sempre dedicaram a mim torcendo para que meus objetivos fossem alcançados.

Aos amigos, companheiros de trabalho e irmãos na amizade que fizeram parte de minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Ao meu Orientador, Professor Anderson Dal Molin, por me conduzir na elaboração deste trabalho, pelos ensinamentos e dedicação concedida em todos os momentos solicitados.

A todos os demais Professores da Faculdade, pela orientação e conhecimentos passados durante todo o curso, o meu muito obrigado.

Por fim, a Faculdade Horizontina - FAHOR que me acolheu e me oportunizou concluir este curso de graduação, realizando um grande sonho.

“Se fracassar, ao menos que fracasse ousando grandes feitos, de modo que a sua postura não seja nunca a dessas almas frias e tímidas que não conhecem nem a vitória nem a derrota.”

Theodore Roosevelt

## RESUMO

O ar comprimido é uma importante fonte de energia, sendo o resultado da compressão do ar atmosférico. O ar comprimido vem sendo amplamente utilizado na indústria, aplicado em diversos processos que necessitam de força e movimento, por exemplo, em máquinas pneumáticas. No presente trabalho, desenvolveu-se o dimensionamento de um sistema de ar comprimido para uma empresa de pequeno porte. O objetivo geral do estudo é dimensionar um sistema de ar comprimido, contemplando todas as etapas de produção, distribuição e preparação de ar comprimido, para que este chegue aos pontos de aplicação em condições de quantidade e qualidade suficientes, possibilitando um bom funcionamento das máquinas e ferramentas pneumáticas. Para a realização do trabalho foi necessário informações obtidas da literatura e coleta de dados realizada no âmbito da empresa, tais como: seleção das máquinas que farão uso do ar comprimido, comprimento das tubulações de distribuição e de alimentação e escolha das singularidades. Nos resultados estão apresentados os cálculos dos diâmetros das linhas de distribuição e alimentação, a escolha do reservatório e do compressor e a apresentação do layout da rede de ar comprimido. Conclui-se que o sistema de ar comprimido dimensionado poderá produzir ar com características adequadas para atender às necessidades das máquinas, proporcionando um bom desempenho e uma maior vida útil dos automatismos pneumáticos.

**Palavras-chave:** Ar comprimido. Compressor. Dimensionamento.

## **ABSTRACT**

The compressed air is an important energy font, being the compression result of the atmospheric air. The compressed air has been widely used in industry, applied in various processes that need force and movement, for example, in pneumatic machines. In the present paper, was developing a compressed air system for a small Company. The general objective of the study is to dimension a compressed air system, contemplating all the production, distribution and preparing stages of the compressed air, to reach the point in conditions and quantities enough to a good performance of the pneumatic machines and tools. To carry out the work was necessary information obtained from the literature and database collection inside the company, like: selection of the machines that will use the compressed air, straight of the feeding and distribution tubing and the singularities choices. The results are presenting the calculation of the diameter in the distribution lines and feeding, the choice of the tank and compressor, the layout of the compressed air network. Concluding that the air compressed system dimensioned can produce air with appropriate characteristics to attend the needs of the machines, providing a good performance and a greater useful life of the pneumatic automation.

**Keywords:** Compressed air. Compressor. Dimensioning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Compressibilidade do ar .....	15
Figura 2: Produção, distribuição e tratamento do ar comprimido .....	16
Figura 3: Classificação dos compressores.....	17
Figura 4: Reservatório e seus principais componentes.....	22
Figura 5: Tipos de redes de distribuição .....	24
Figura 6: Instalação da linha de alimentação .....	25
Figura 7: Layout da linha de distribuição .....	38
Figura 8: Layout da linha de alimentação.....	38
Figura 9: Layout geral .....	39

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1. JUSTIFICATIVA.....	10
1.2. OBJETIVOS.....	11
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1. AR COMPRIMIDO .....	12
2.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR .....	14
2.3. PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO .....	15
2.4. COMPRESSOR DE AR .....	16
2.4.1. COMPRESSORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO OU VOLUMÉTRICOS .....	17
2.5. RESFRIADOR POSTERIOR .....	19
2.6. FILTRO DE AR.....	19
2.7. SECADOR DE AR.....	20
2.8. RESERVATÓRIO .....	22
2.9. REDES DE DISTRIBUIÇÃO .....	24
2.10. UNIDADE DE PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO.....	26
2.11. DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES .....	27
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
3.1 . MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	28
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1. DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO .....	32
4.2. DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE ALIMENTAÇÃO .....	34
4.3. PARÂMETROS PARA SELEÇÃO DO RESERVATÓRIO DE AR .....	36
4.4. ESCOLHA DO COMPRESSOR DE AR.....	36
4.5. DEFINIÇÃO DO LAYOUT.....	37
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO A – CAMPO DE ATUAÇÃO DE CADA COMPRESSOR EM FUNÇÃO DA PRESSÃO X VAZÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO B – DIÂMETRO COMERCIAL PARA TUBOS DE AÇO PRETO OU GALVANIZADO ASTM A 120 SCHEDULE 40.....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXO C – COMPRIMENTO EQUIVALENTE DAS SINGULARIDADES.....</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ar comprimido é uma importante forma de energia, sendo o resultado da compressão do ar ambiente, que é composto por oxigênio, nitrogênio e gases raros. O ar comprimido está presente em empresas de diferentes setores, como por exemplo: alimentício, metalmecânico, moveleiro, entre outros.

A história demonstra que a utilização do ar comprimido é anterior a Da Vinci, que em diversos inventos dominou e utilizou o ar. No antigo testamento, são encontradas referências do uso do ar comprimido na fundição da prata, ferro, chumbo e estanho. No entanto, somente na segunda metade do século XIX é que o ar comprimido adquiriu importância industrial (PARKER, 2006).

O ar comprimido vem sendo amplamente utilizado na indústria, aplicado como energia em diversos processos que necessitam de movimento, força ou ambos em máquinas e ferramentas pneumáticas. O ar comprimido é bastante aplicado nas indústrias como condutor de energia, possuindo um excelente grau de eficiência, sendo insubstituível em diversas áreas, executando operações com flexibilidade, gerando racionalização do trabalho, economia, além de proporcionar segurança ao trabalho.

No presente trabalho, desenvolveu-se um dimensionamento de um sistema de ar comprimido para uma empresa de pequeno porte, localizada na cidade de Santa Rosa/RS. Tal empresa, não possui um sistema de ar comprimido em uma de suas unidades, sistema essencial para a realização de determinadas atividades de produção, como a soldagem de lonas, rebitamento e aplicação de ilhós. Para um bom funcionamento das máquinas, o ar comprimido produzido deve ser limpo e seco.

### 1.1.JUSTIFICATIVA

A empresa atua no ramo de materiais e serviços para revestimento, atendendo a área residencial, industrial e comercial. No segmento de lonas, apresenta um portfólio de produtos seriados e não seriados. No ramo não seriado atua na fabricação de toldos, coberturas, cortinas, entre outros. Já no ramo seriado, desenvolve produtos para o segmento do agronegócio, sendo o principal, a cobertura de lona para tanque graneleiro de colheitadeiras de grãos.

Atualmente a empresa possui três unidades de produção, sendo duas destas alugadas. Para diminuir os custos com os aluguéis dos pavilhões, a empresa irá

permanecer com apenas duas unidades. Decidiu-se, portanto, que a empresa manterá sua sede e uma de suas unidades com maior área construída, que possui espaço suficiente para acomodar uma nova produção. O problema dá-se justamente por essa unidade ser a única, dentre as três, que não possui um sistema de ar comprimido instalado.

Em vista disso, o dimensionamento do sistema ar comprimido justifica-se pelo fato da empresa utilizar o ar em vários processos de fabricação, como a soldagem das lonas, aplicação de ilhós, rebitamento, entre outros.

A implantação do sistema de ar comprimido é fundamental, pois um sistema bem dimensionado pode atender a demanda atual de ar comprimido das máquinas pneumáticas e oportunizar futuras ampliações dos pontos de consumo. Assim, a empresa poderá aumentar sua produção com a aquisição de mais máquinas, sem precisar substituir componentes do sistema, como o compressor, reservatório ou as próprias tubulações, o que implicaria em custos, devido à aquisição destes componentes, mão-de-obra para a instalação, tempo sem produzir por falta de ar comprimido, entre outros.

## 1.2.OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo é dimensionar um sistema de ar comprimido, contemplando todas as etapas de produção, distribuição e preparação de ar comprimido, para que este chegue aos pontos de aplicação em condições de quantidade e qualidade suficientes, possibilitando um bom funcionamento das máquinas e ferramentas pneumáticas. Os objetivos específicos são:

- Dimensionar a rede de distribuição de ar;
- Selecionar os acessórios da rede pneumática;
- Planejar um sistema de ar comprimido que atenda às necessidades atuais, bem como necessidades futuras;
- Selecionar o reservatório, de modo a garantir uma reserva de ar para o sistema;
- Selecionar o compressor, a partir da pressão e vazão requeridas pelo sistema;
- Criar um layout para distribuição do ar comprimido.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

No referencial teórico são levantados os conceitos referentes à pneumática e identificados os componentes que fazem parte da produção, distribuição e tratamento do ar comprimido.

### 2.1. AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é o resultado da compressão do ar ambiente, que é composto por uma mistura de oxigênio (20,5%), nitrogênio (79%) e alguns gases raros. Atualmente, cerca de 5 bilhões de toneladas de ar são comprimidas no mundo anualmente, produzindo um consumo de 400 bilhões de kWh, com um custo de 20 bilhões de dólares (METALPLAN, 2010).

Karmouche (2009) afirma que quase todas as plantas industriais, da pequena à grande empresa, tem algum tipo de sistema de ar comprimido. O ar comprimido é utilizado em várias aplicações como: ferramentas pneumáticas, acionamentos mecânicos, controle de equipamentos e transporte de materiais. Entre os muitos processos industriais, os sistemas de ar comprimido tem um significativo papel na produção, correspondendo a uma parcela expressiva dos gastos com energia em uma unidade industrial.

A palavra pneumática é derivada da raiz grega *pneuma*, que significa vento, fôlego, sopro. A pneumática é definida como a matéria que se ocupa dos movimentos e fenômenos dos gases (FIALHO, 2011). Nesta mesma linha de pensamento Parker Training (2006) sustenta que a pneumática é conceituada como a parte da física que abrange a dinâmica e os fenômenos físicos ligados aos gases ou vácuos.

A pneumática apresenta algumas vantagens, tais como:

- O ar comprimido não sofre oscilações de temperatura, proporcionando um funcionamento seguro, mesmo quando as condições forem extremas (FIALHO, 2011).

- Uma importante vantagem da pneumática, conforme Bosch (2008) é a quantidade, pois o ar existe em abundância.
- Ainda segundo Fialho (2011) outra vantagem é a limpeza, pois o ar comprimido utiliza o ar como fluido e por isso não há risco de poluição ambiental, mesmo que ocorram vazamentos no sistema.
- Outro privilégio do ar comprimido é o transporte, pois ele pode ser conduzido por grandes distâncias em tubulações e nenhuma linha de retorno é necessária, pelo fato de que a exaustão de ar é realizada através da abertura de descarga ao ambiente (BOSCH, 2008).
- O ar comprimido não possui perigo de incêndio ou explosão. Mesmo se um componente falhar e acontecer uma explosão, a pressão do ar usada em pneumática é considerada baixa (6 á 12 bar), já na hidráulica as pressões de trabalho podem atingir até 350 bar (FIALHO, 2011).
- O ar comprimido pode ser armazenado em reservatório. O reservatório possui reserva de pressão disponível por algum tempo, permitindo que um trabalho seja executado, mesmo com o compressor não funcionando (BOSCH, 2008).
- Também é necessário mencionar outras vantagens da pneumática como: a dimensão dos elementos de comando e ação pneumáticos são menores e mais leves; permite alta velocidade de deslocamento e; os elementos pneumáticos possuem segurança contra sobrecarga, ou seja, não sofrem nenhum dano, se solicitados em carga, até parar, funcionando normalmente quando a resistência parar (FIALHO, 2011).

É preciso reconhecer que a pneumática também apresenta algumas desvantagens:

- Uma das desvantagens do ar comprimido, citada por Silva (2002) é que o ar apresenta umidade (vapor d'água). Esse vapor pode se condensar ao longo das tubulações, dependendo das condições de temperatura e pressão da linha pneumática. Em vista disso, deve-se instalar um sistema para que o condensado seja retirado evitando danos ao sistema pneumático.

- O ar, assim como todos os gases, é compressível. Essa característica impossibilita que a pneumática trabalhe com velocidades uniformes e constantes durante seu curso (FIALHO, 2011).
- Para Silva (2002) o ar possui baixa viscosidade. A viscosidade indica a velocidade com que o fluido se movimenta. Se um fluido apresenta baixa viscosidade, a possibilidade de acontecer vazamentos é grande. Em virtude disso, é comum acontecer vazamentos em sistemas de ar comprimido.
- É imprescindível destacar, os custos expressivos da energia elétrica consumida em sistemas de ar comprimido. Muitas vezes, as indústrias consomem mais energia elétrica do que deveriam, em razão da deficiência de seu sistema. Portanto, promover a eficiência em sistemas de ar comprimido é um desafio para as indústrias de transformação (KARMOUCHE, 2009).

## 2.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR

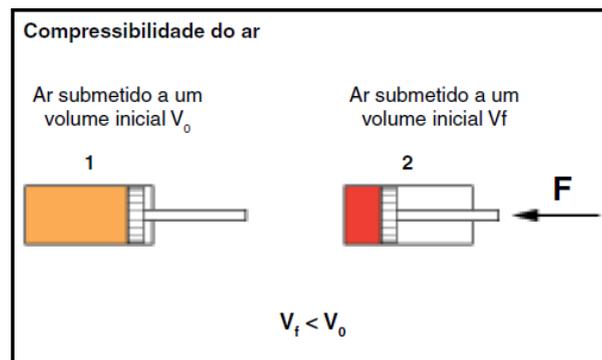
O ar apresenta características que merecem ser abordadas, pois, para que se possa dimensionar uma rede de ar comprimido é preciso, antes de qualquer coisa, entender quais as características deste gás para prever seu comportamento mediante á situações diversas.

Pode-se dizer que a compressibilidade, identificada na Figura 1, é uma característica que o ar apresenta de reduzir o seu volume quando sujeito à aplicação de forças opostas, ou seja, forças essas que produzem um aumento de pressão e uma diminuição do volume ocupado por ele. Esta propriedade física relacionada ao ar atmosférico, talvez seja para a pneumática a mais significativa, pelo fato de que é por meio da compressão do ar atmosférico que é produzida a energia pneumática, que em seguida é transformada em transmissão de potência ou trabalho pelos atuadores (FARIA, 2007).

Nesta mesma linha de pensamento, Parker Training (2006) diz que a compressibilidade é uma importante propriedade do ar.

O ar, assim como todos os gases, tem a propriedade de ocupar todo o volume de qualquer recipiente, adquirindo seu formato, já que não tem forma própria. Assim, podemos encerrá-lo num recipiente com volume determinado e posteriormente provocar-lhe uma redução de volume usando uma de suas propriedades - a compressibilidade. Podemos concluir que o ar permite reduzir o seu volume quando sujeito à ação de uma força exterior (PARKER TRAINING, 2006, p.5).

Figura 1 – Compressibilidade do ar



Fonte: Parker Training, 2006, p. 5.

A elasticidade é uma propriedade que possibilita ao ar retornar ao seu volume inicial, quando terminada a força responsável pela diminuição do volume (CORADI, 2011).

Parker Training (2006) salienta que a difusibilidade é uma propriedade que o ar possui de misturar-se homoganeamente com gases que não estejam saturados.

Fialho (2011) afirma que a expansibilidade é uma característica do ar, de adquirir a forma do recipiente que o contém, ocupando totalmente seu volume, mudando sua forma ao menor esforço.

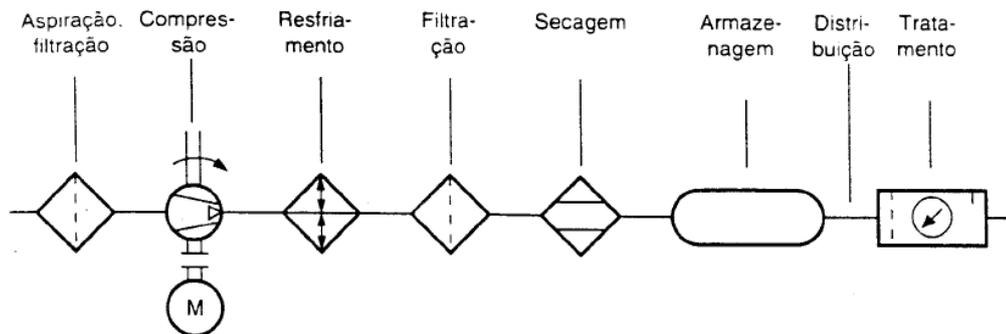
### 2.3. PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

Cabe destacar que o ar comprimido passa por um conjunto de etapas antes de ser utilizado. Estas etapas compreendem a produção e o tratamento do ar até ser distribuído nas máquinas. O ar sofre um tratamento após ser comprimido, para que chegue aos pontos de consumo com qualidade (JESUS, 2012). A Figura 2 apresenta um típico sistema de ar comprimido.

Segundo Silva (2002) o sistema apresentado na Figura 2, contém os equipamentos essenciais para fornecer ar comprimido de qualidade. O ar

comprimido é produzido de forma centralizada e distribuído na fábrica. Após ser comprimido, o ar sofre um tratamento que pode envolver diversos processos para a separação de impurezas a fim de atender as exigências de qualidade do sistema à que ele se destina.

Figura 2 – Produção, distribuição e tratamento do ar comprimido



Fonte: Silva, 2002, p. 25.

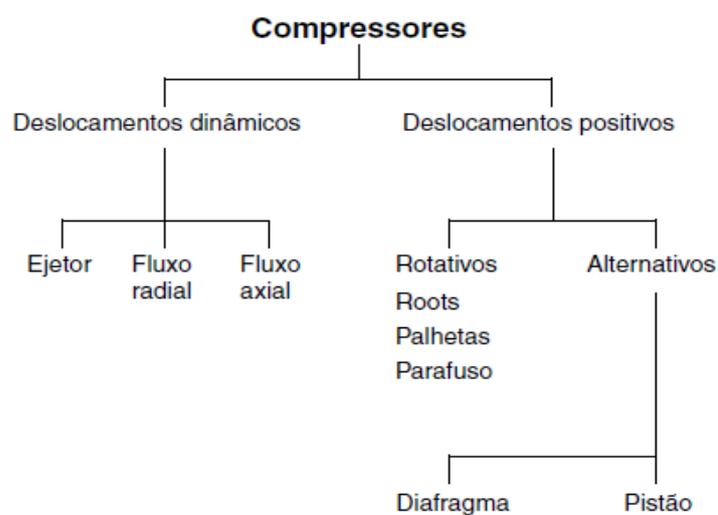
Como visto na Figura 2, o ar aspirado passa pelo filtro que tem a função de reter as partículas sólidas existentes no ambiente, com o objetivo de proteger o compressor. Depois de filtrado, o ar chega ao compressor onde é comprimido. Após sua compressão, o ar aquece, elevando sua temperatura, sendo necessário resfriá-lo com o auxílio de um resfriador. Na etapa seguinte, o ar passa por um processo de secagem com o objetivo de retirar a umidade presente no ar. O próximo passo é o armazenamento do ar num reservatório, para garantir uma reserva de ar, assegurando uma pressão constante na linha, a fim de que o compressor não necessite ser ligado e desligado diversas vezes. Por fim, o ar é distribuído na fábrica, onde ele será ajustado de acordo com as necessidades de cada máquina, com o auxílio de unidades de preparação de ar (JESUS, 2012).

## 2.4. COMPRESSOR DE AR

Compressor pode ser definido como uma máquina na qual a energia mecânica ou elétrica é transformada em energia pneumática (ar comprimido), por meio da compressão do ar ambiente (JESUS, 2012).

Os compressores são máquinas industriais que tem a finalidade de aumentar a energia dos gases através da elevação da pressão. O compressor aspira ar atmosférico e o comprime, elevando sua pressão até um valor determinado à realização de trabalho. (CORADI, 2011). A Figura 3 mostra a classificação dos compressores existentes no mercado.

Figura 3 – Classificação dos compressores



**Fonte:** Parker Training, 2006, p. 12.

Metalplan (2010) destaca que um sistema de ar comprimido eficiente começa pela definição do tipo de compressor mais adequado para realizar cada atividade. A escolha do compressor é feita em função da vazão e pressão e pode ser identificada através do Gráfico (vide anexo A).

#### 2.4.1. Compressores de deslocamento positivo ou volumétricos

Nos compressores volumétricos ou de deslocamento positivo, o aumento de pressão é obtido com a diminuição do volume ocupado pelo gás. O ciclo de funcionamento destas máquinas inicia quando uma quantia de gás é admitida dentro de uma câmara de compressão, que é cerrada e sofre diminuição do volume. Posteriormente, é aberta a câmara e o gás é disponibilizado para o consumo (FIALHO, 2011).

Enquanto os compressores dinâmicos (ou turbocompressores) ocupam a gama das grandes vazões e das grandes potências, em virtude de seu alto rendimento e suas dimensões moderadas, os compressores de deslocamento positivo, sobretudo os de pistão, dominam a faixa das médias e pequenas vazões. Conforme o tipo de movimento do elemento que interage com o fluido, enquanto este passa pela máquina, os compressores de deslocamento positivo são classificados em compressores alternativos e compressores rotativos (HENN, 2006).

Henn (2006) afirma que o compressor de deslocamento positivo alternativo utiliza um sistema biela-manivela, que converte o movimento rotativo do motor de acionamento em movimento retilíneo alternativo do pistão. Assim, um ciclo de operação se dá a cada rotação do acionador. A cada ciclo, o pistão efetua um movimento de ida e de vinda em direção ao cabeçote.

O compressor alternativo de pistão é um compressor de deslocamento oscilante, que comprime o ar através do movimento retilíneo do pistão. O controle do ar na câmara de compressão é realizado através de válvulas de admissão e descarga (BOSH, 2008).

Parker Training (2006) apresenta dois tipos de compressores alternativos de pistão:

- Compressor alternativo de pistão de simples efeito: Apresenta somente uma câmara de compressão, ou seja, apenas a face superior do pistão aspira e comprime o ar. Com o pistão em movimento descendente, a válvula de admissão é aberta, dando passagem ao ar que preenche a câmara de admissão. No movimento ascendente, o pistão comprime o ar até que se obtenha uma pressão suficiente para abrir a válvula de descarga e liberar o ar para o sistema.
- Compressor de pistão de duplo efeito: Apresenta duas câmaras de compressão, ou seja, as duas faces do pistão aspiram e comprimem o ar. Quando o pistão está em movimento descendente, o ar é admitido na câmara superior e comprimido e expulso na câmara inferior. No movimento ascendente, a câmara superior que havia admitido ar realiza sua compressão e a câmara inferior que havia realizado a compressão efetua a admissão e assim sucessivamente.

## 2.5. RESFRIADOR POSTERIOR

O resfriador posterior, também chamado de *After Cooler*, é um trocador de calor que resfria o ar comprimido após sua compressão. Neste processo tem-se o surgimento do condensado, que deve ser retido evitando que a água permaneça nas tubulações, o que é prejudicial para um bom funcionamento do sistema. O resfriamento do ar comprimido pode ser feito de duas maneiras: por ar ou água (ELETROBRÁS, 2005).

Buck (2004) sustenta ser fundamental que o resfriador posterior esteja instalado antes dos secadores, para que a temperatura do ar comprimido possa ser reduzida para um nível aceitável. Neste processo, 50 a 75% do vapor de água presente no ar é retirado. As condições de admissão do compressor e o tipo de resfriador posterior vão determinar a quantidade exata de vapor de água retirado. Nesta etapa de tratamento do ar comprimido, a medida que é reduzida a temperatura do ar, o vapor de água condensa, sendo retirado em forma líquida.

Somente na etapa que compreende o resfriamento e a secagem do ar comprimido, cerca de 80 a 90% do condensado deverão ser precipitados. Atualmente, o resfriador posterior e o compressor estão reunidos em um único conjunto (ELETROBRÁS, 2005).

## 2.6. FILTRO DE AR

Filtros são dispositivos aplicados na filtragem do ar sendo extremamente necessários para o bom funcionamento e vida útil do sistema de ar comprimido. Eles são capazes de reter umidade e partículas presentes no ar (CORADI, 2011).

É oportuno lembrar que, o filtro de ar é empregado em três posições diferentes na rede de distribuição. Um filtro antes e um depois do secador de ar comprimido e outro no ponto de uso (METALPLAN, 2010).

Metalplan (2010) afirma que o filtro instalado antes do secador (pré-filtro) tem a função de separar o restante do condensado e sujeira que não foram totalmente eliminadas pelo resfriador posterior, aumentando assim a capacidade do secador de

resfriar o ar comprimido. Já o filtro instalado após o secador de ar (pós-filtro) tem a função de eliminar a umidade residual e as partículas sólidas, nos secadores por refrigeração. Nos secadores por adsorção, o pós-filtro retém apenas as partículas sólidas.

O ar procedente da rede de distribuição pode conter umidade, impureza e contaminantes. A grande parte dessas impurezas é contida no processo de tratamento do ar, mas as partículas pequenas que não foram retidas nesse processo ficam suspensas no interior da canalização e são levadas pelo fluxo do ar comprimido, chegando às partes móveis das máquinas pneumáticas, agindo como abrasivos, prejudicando seu funcionamento. O filtro instalado no ponto de uso é empregado para minimizar esse problema, proporcionando uma melhor qualidade do ar (CORADI, 2011).

Buck (2004) destaca ainda o filtro de ar de admissão empregado junto ao compressor, pois, durante seu funcionamento, os compressores movimentam volumes significativos de ar e, embora não se perceba, o ar apresenta sujeira que pode acumular-se em quantidade considerável se o ponto de entrada de ar não estiver em um local adequado. O filtro de ar tem a função de deixar a qualidade do ar dentro de limites aceitáveis, retendo uma quantidade de sujeira e materiais abrasivos que poderiam ser admitidos facilmente pelo compressor.

## 2.7. SECADOR DE AR

O ar possui vapor d'água que pode condensar devido à variação da pressão e temperatura ao longo da rede de distribuição do ar comprimido. Drenos e filtros separadores de água têm o papel de retirar esse condensado da linha pneumática. Porém, tais componentes não são capazes de retirar vapor d'água, por isso torna-se conveniente o uso de secadores de ar (SILVA, 2002).

Gresh *apud* Coradi (2011) afirma que a compra de um secador de ar comprimido é um alto investimento para a empresa. Um secador pode representar 25% do valor total da instalação do ar comprimido. No entanto, o custo da aquisição do secador é compensado pelos inúmeros benefícios que ele traz, minimizando os prejuízos causados pelo ar úmido, como por exemplo: substituição de componentes

pneumáticos, impossibilidade de utilizar o ar em algumas operações e o refugo gerado na produção de produtos. Diante do exposto, pode-se concluir que o uso do secador torna-se benéfico ao sistema.

Conforme faz notar Coradi (2011) são múltiplos os meios de secagem do ar comprimido. Os três mais utilizados no mercado industrial e com melhores resultados finais são:

- Secagem por refrigeração: O secador de ar por refrigeração é o tipo mais utilizado nas indústrias atualmente. Neste secador, o ar comprimido quente entra e atravessa um trocador de calor ar/ar, onde é pré-resfriado pelo ar frio que está saindo do secador. Depois é deslocado para outro trocador de calor fazendo com que sua temperatura diminua para cerca de 3 °C. Isso faz com que o vapor d'água presente no ar seja condensado e eliminado do sistema. Para que o ar possa ser filtrado ele deve ser aquecido, passando novamente pelo trocador de calor ar/ar, resfriando o ar que está entrando e, conseqüentemente, aumentando sua temperatura (ELETROBRÁS, 2005).
- Secagem por absorção: Os secadores por absorção utilizam um dessecante (agente de secagem) para absorver a umidade. O dessecante possui inúmeros pequenos poros nos quais a água é retida. Assim, uma pequena parte do dessecante pode coletar uma grande quantidade de água. Suas vantagens são: baixo ponto de orvalho e custo de operação moderado (BUCK, 2004).
- Secagem por adsorção: Os secadores por adsorção atuam através de substâncias secadoras que adsorvem (ou seja, admitem uma substância à superfície da outra) o vapor d'água, que com o auxílio do ar quente podem ser regeneradas. Para efetuar a limpeza do elemento secador, o sistema de adsorção possui um arranjo de circulação de ar quente em paralelo. Enquanto um lado é regenerado (limpo) o outro pode ser utilizado. A substância normalmente usada é o dióxido de silício, conhecida como sílica gel. O secador por adsorção é mais caro

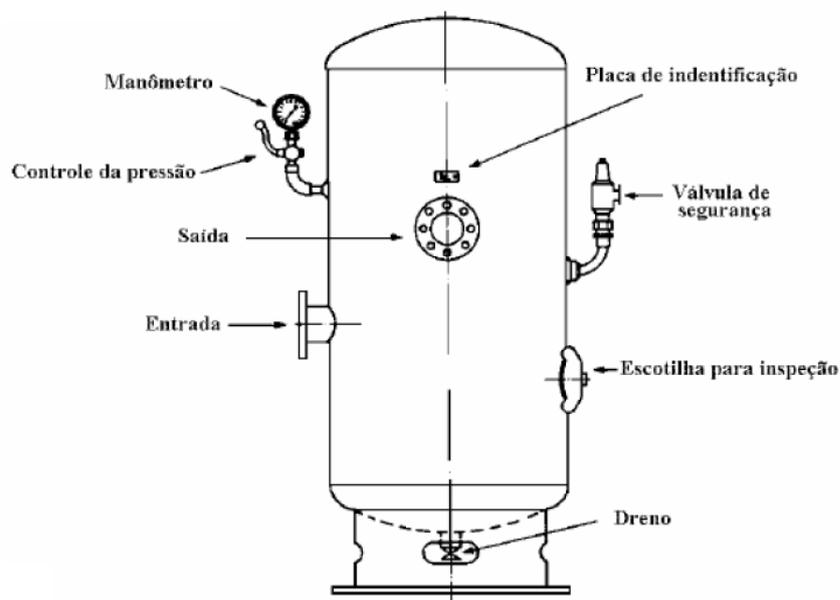
que os demais porém, é o sistema mais efetivo para reter a umidade (SILVA, 2002).

## 2.8. RESERVATÓRIO

Segundo Buck (2004) em uma rede de ar comprimido é indispensável a presença do reservatório de ar (Figura 4), que possua ampla capacidade de atender o consumo do sistema. Cabe destacar que o reservatório tem várias funções:

Amortece as oscilações da tubulação de descarga, resultando numa pressão estável no sistema; serve como reservatório para tomar conta de consumos repentinos ou não usuais pesados, mas mais elevados que a capacidade do compressor; elimina ou reduz a troca muito frequente das operações em carga ou em alívio do compressor. Adicionalmente serve para condensar alguma umidade que possa estar presente no ar comprimido que sai do compressor ou que não foi separada no resfriador posterior (BUCK, 2004, p. 227).

Figura 4 – Reservatório e seus principais componentes



**Fonte:** Reis *apud* Faria, 2007, p. 42.

É imprescindível destacar que, na seleção de reservatórios de ar comprimido, deve-se ter atenção especial a segurança. Muitos são os casos de acidentes fatais que envolvem reservatórios fora de normas técnicas e que não são inspecionados

periodicamente, sendo tais inspeções obrigatórias pela legislação brasileira (METALPLAN, 2010).

O reservatório é um vaso de pressão e, portanto, deve ser calculado, projetado e construído conforme as normas dos países em que foram desenvolvidos. A norma de segurança brasileira NR-13 acompanha a norma americana da ASME (American Society of Mechanical Engineers) (ELETROBRÁS, 2005).

Segundo NR-13 (2008), constitui-se risco grave e eminente a falta de qualquer um dos itens abaixo no vaso de pressão:

- Válvula ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA), instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui;
- Dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula quando esta não estiver instalada diretamente no vaso;
- Instrumento que indique a pressão de operação.

Ainda, conforme NR-13 (2008) os reservatórios de ar comprimido devem ser instalados de forma que sua inspeção e manutenção sejam facilitadas, de modo que os drenos, respiros, indicadores de nível, pressão e temperatura sejam acessíveis.

Parker Training (2006) afirma que para dimensionar o volume de um reservatório de ar comprimido, é necessário adotar a seguinte regra:

- Para compressores de pistão: volume do reservatório = 20% da vazão total do sistema (em m<sup>3</sup>/min);
- Para compressores rotativos: volume do reservatório = 10% da vazão total do sistema (em m<sup>3</sup>/min).

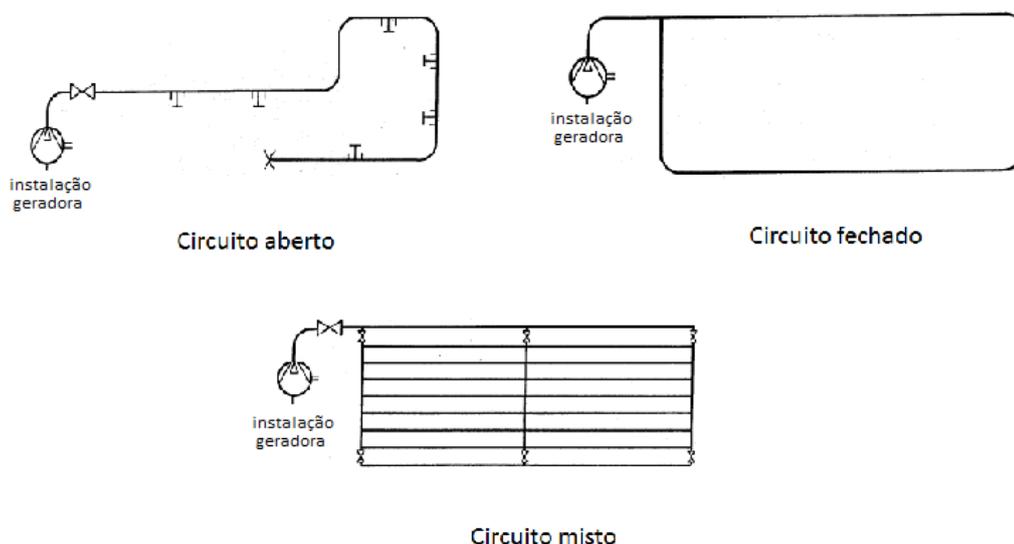
A pressão de regime também deve ser identificada. A pressão de regime é a pressão em que o ar se encontra armazenado no reservatório (7 a 12 kgf/cm<sup>2</sup>) e deve ser maior do que a pressão de trabalho utilizada pelos automatismos pneumáticos, geralmente 6 kgf/cm<sup>2</sup> (FIALHO, 2011).

## 2.9. REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Coradi (2011) afirma que utilizar um compressor próprio para cada máquina pneumática é possível somente em casos isolados. Em lugares com muitos pontos de uso, a distribuição do ar comprimido é feita pelas tomadas próximas aos utilizadores. Basicamente a rede de distribuição do ar comprimido é composta por tubulações que ligam o reservatório aos pontos de utilização. Para uma melhor eficiência na distribuição do ar comprimido é importante definir um layout que apresente a rede de distribuição principal, as ramificações e os pontos de consumo. Assim, torna-se mais fácil definir o tipo de rede de distribuição a ser implantada, com o menor percurso possível, a fim de diminuir a perda de carga e os custos.

As tubulações pneumáticas devem ser instaladas em locais adequados para facilitar a realização de manutenções periódicas, auxiliando a detecção de fugas de ar. Pequenos vazamentos podem parecer insignificantes, mas provocam expressivas perdas de pressão. Há três tipos principais de redes de distribuição: Rede em circuito aberto, rede em circuito fechado e rede combinada, apresentadas na Figura 5 (JESUS, 2012).

Figura 5 – Tipos de redes de distribuição



**Fonte:** Adaptado de Silva, 2002, p. 36 e p. 37.

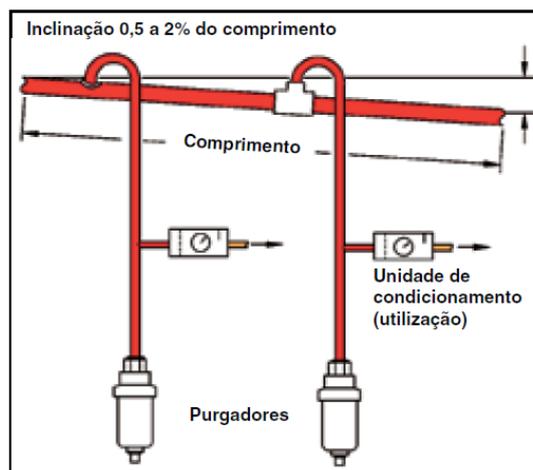
Segundo Fialho (2011) a rede em circuito aberto é utilizada quando se deseja alimentar pontos localizados a uma maior distância ou isolados. Como o ar comprimido flui em uma única direção neste tipo de rede de distribuição, os pontos de consumo dificilmente serão alimentados de maneira uniforme.

Cabe destacar que o tipo de rede mais utilizado nas indústrias é o sistema de rede em circuito fechado. Nesse sistema, a rede de distribuição ocupa toda a extensão da indústria, fazendo com que ocorra uma distribuição uniforme de ar comprimido em todos os pontos, pelo fato do ar fluir nos dois sentidos. Esse sistema tem ainda a vantagem de poder instalar novos pontos de consumo, que não foram previstos no projeto (FIALHO, 2011).

A rede combinada é descrita por Silva (2002) como sendo também um sistema em circuito fechado. O que difere é a presença de válvulas de fechamento que provocam o bloqueio de determinadas linhas de ar comprimido, quando estas estiverem em manutenção ou não forem usadas.

Como faz notar Fialho (2011) a linha de alimentação de cada máquina deve estar localizada na parte superior da linha de distribuição, conforme apresentado na Figura 6. Tal procedimento é recomendado para evitar que o condensado presente na linha de distribuição seja arrastado para a linha de alimentação.

Figura 6 – Instalação da linha de alimentação



O ar que circula pela tubulação da rede pneumática, sofre o efeito da condensação, devido às variações de temperatura ambiente, que ocorrem ao longo do ano. Para que a condensação não prejudique o funcionamento dos componentes pneumáticos, ela é retirada do sistema através de purgadores instalados no final das linhas verticais de alimentação (FIALHO, 2011).

As tubulações devem possuir uma inclinação de 0,5 a 2% do comprimento do tubo no sentido do fluxo, para que eventuais condensações e impurezas presentes ao longo da tubulação sejam recolhidas com maior facilidade, sendo eliminadas por meio de drenos (FARIA, 2007).

Segundo Coradi (2011) é muito importante à presença de válvulas de fechamento na rede de distribuição de ar comprimido, em especial para redes maiores, para permitir que ela possa ser dividida em seções, ficando assim isoladas, possibilitando sua inspeção e manutenção. Dessa maneira, evita-se que outras seções sejam atingidas, paralisando a produção da empresa.

## 2.10. UNIDADE DE PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

O ar comprimido, antes de ser utilizado em uma máquina ou ferramenta pneumática, passa por uma unidade de conservação ou unidade de preparação, que é composta por um filtro, uma válvula reguladora de pressão e um lubrificador. Estas unidades contribuem para uma melhor eficiência nas máquinas, pois ajustam as características do ar de forma específica para ser usado em cada máquina (SILVA, 2002).

A aplicação da unidade de condicionamento ou lubrefil é fundamental em vários sistemas, do mais simples ao mais sofisticado, que utilizam o ar comprimido como fonte de energia. A utilização dessa unidade possibilita maior vida útil dos componentes pneumáticos, pois permite que eles funcionem em condições ideais de trabalho. O bom funcionamento dos componentes pneumáticos depende, antes de tudo, da filtragem, da umidade, da pressão de alimentação da máquina e da lubrificação das partes móveis (BLOCH *apud* CORADI, 2011).

## 2.11. DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

Fialho (2011) afirma que o diâmetro mínimo da tubulação principal de ar comprimido, pode ser obtido pela Equação 1. O diâmetro das linhas de alimentação também pode ser encontrado aplicando a mesma equação. Mas, para isso, deve-se ajustar os valores das variáveis vazão e comprimento total.

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot Lt}{\Delta P \cdot P}} \right] \quad (1)$$

Onde:

- d = Diâmetro interno da tubulação, em mm;
- Q = Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação, em m<sup>3</sup>/h;
- Lt = Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.), em m;
- ΔP = Queda de pressão admitida: Perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades, em kgf/cm<sup>2</sup>;
- P = Pressão de regime: Pressão do ar armazenado no reservatório, em kgf/cm<sup>2</sup>.

O diâmetro comercial dos tubos pode ser estabelecido por meio do Quadro (vide anexo B) para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A 120 SCHEDULE 40 (FIALHO, 2011).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS**

Um sistema de ar comprimido bem dimensionado poderá proporcionar um menor custo de produção para a empresa, em virtude do menor consumo de energia, além de um melhor rendimento e maior vida útil dos equipamentos pneumáticos. Diante disso, procurou-se determinar da maneira mais simples possível o melhor caminho para efetuar o dimensionamento do sistema de ar comprimido.

O primeiro passo foi o levantamento das máquinas que farão uso do ar comprimido. Nesta etapa foi identificado o volume total de ar que será consumido pelos equipamentos pneumáticos, bem como a pressão necessária que deve chegar a cada máquina para seu correto funcionamento.

A etapa 2 serviu para determinar a localização das linhas de alimentação e distribuição de ar comprimido. Após, estimou-se os comprimentos retilíneos das linhas pneumáticas. Também, levantaram-se as singularidades necessárias para a construção das tubulações.

Na sequência, identificou-se a queda de pressão admitida para o sistema e determinou-se a pressão de regime. Com os dados levantados partiu-se para a próxima etapa do trabalho: Análises e discussões.

- **CAPACIDADE DE AR REQUERIDA**

Cabe destacar a importância de se conhecer a exata necessidade de ar comprimido que será consumida pelas máquinas pneumáticas, pois uma avaliação precisa, não só irá proporcionar uma capacidade apropriada para hoje, mas, também, garantir uma capacidade adicional para futuras ampliações dos pontos de consumo.

É preciso tomar cuidado, pois, uma avaliação abaixo da necessidade de consumo irá fazer com que o ar chegue com pressão e vazão insuficiente nos equipamentos e impossibilite ampliações futuras. Por outro lado, uma avaliação acima das reais necessidades de consumo ocasionará em um investimento de capital excessivo para a empresa.

A capacidade de ar requerida depende do volume de ar corrente e da pressão. O volume de ar corrente ou vazão é o volume de ar por hora que será consumido pelos equipamentos pneumáticos, supondo que todos eles estejam em funcionamento ao mesmo tempo. Para determinar a vazão, deve-se somar o consumo total de ar de cada equipamento pneumático.

O conhecimento da pressão que cada máquina necessita é outro importante fator a ser identificado. A maioria dos equipamentos pneumáticos industriais operam a uma pressão de 6 bar.

Para efeito dos cálculos de diâmetro da tubulação, investigaram-se os equipamentos pneumáticos que devem ser alimentados pelo sistema de ar comprimido e descritas algumas funções básicas que cada equipamento realiza na empresa, o resultado pode ser observado a seguir:

- 01 rebitador pneumático: usados principalmente para fixar a lona na estrutura metálica de toldos e cortinas.
- 01 ilhoseira: usados para perfurar e aplicar ilhós em lonas.
- 05 máquinas de solda eletrônica: Utilizadas para solda de alta frequência. Tem a função de unir as lonas sem a necessidade de costura.

O Quadro 1 resume de maneira simplificada a vazão, pressão e a quantidade de cada equipamento pneumático da empresa:

Quadro 1 – Máquinas pneumáticas

<b>Equipamentos</b>	<b>Qtde</b>	<b>Pressão</b>	<b>Vazão Unitária</b>	<b>Vazão Total</b>
Máquina de solda	6	6 kgf/cm <sup>2</sup>	17 m <sup>3</sup> /h	102 m <sup>3</sup> /h
Rebitador	1	6 kgf/cm <sup>2</sup>	22 m <sup>3</sup> /h	22 m <sup>3</sup> /h
Ilhoseira	1	6 kgf/cm <sup>2</sup>	26 m <sup>3</sup> /h	26 m <sup>3</sup> /h
<b>TOTAL</b>				<b>150 m<sup>3</sup>/h</b>

Como visto, a vazão total das máquinas pneumáticas é de 150 m<sup>3</sup>/h. É de fundamental importância, somar à vazão total um percentual estimado para uma futura ampliação dos pontos de consumo. Estudos mostram que, se a expansão não

estiver precisamente definida, deve-se estimar cerca de 50% para futuras ampliações. Em vista disso, o percentual estimado foi de 50%.

Somando-se a vazão total das máquinas e o percentual de futura ampliação chegou-se a vazão total de 225 m<sup>3</sup>/h. Essa vazão será utilizada para os cálculos de dimensionamento das tubulações, do reservatório e do compressor.

- **COMPRIMENTO DAS LINHAS E SINGULARIDADES**

Para esta etapa, foram feitas diversas medições a fim de se determinar o comprimento da linha de distribuição e da linha de alimentação, bem como a localização destas.

A linha de distribuição, que leva o ar comprimido da casa do compressor até as linhas de alimentação, ficou com comprimento de 90 m.

As linhas de alimentação, que conduzem o ar comprimido da linha de distribuição aos pontos de uso, obteve um comprimento de 2,70 m.

As singularidades (curvas, registros, tês), necessárias às linhas de distribuição também foram identificadas nesta etapa. É preciso destacar que, para o planejamento da rede, adotaram-se as singularidades com menor restrição ao fluxo, ou seja, com menor perda de carga.

- **QUEDA DE PRESSÃO ADMITIDA**

O ar comprimido, ao deslocar-se pela tubulação sofre uma perda de carga, ou queda de pressão, em virtude das perdas pelo atrito ao longo da tubulação e pelas singularidades. Estudos apontam que, para um bom desempenho do sistema, a queda de pressão não deve ultrapassar 0,3 kgf/cm<sup>2</sup>.

- **PRESSÃO DE REGIME**

Para o dimensionamento das tubulações de ar comprimido é necessário conhecer a pressão de regime. As máquinas pneumáticas identificadas na empresa operam a uma pressão de trabalho de 6 kgf/cm<sup>2</sup>. Porém, para que o ar chegue com

esta pressão nas máquinas é preciso que o ar comprimido esteja a uma pressão superior a esta no reservatório, em virtude das perdas de carga e eventuais picos de consumo.

Como visto, a pressão de regime gira em torno de 7 a 12 kgf/cm<sup>2</sup>. Em vista disso, para os dimensionamentos das tubulações optou-se por utilizar uma pressão de regime de 9 kgf/cm<sup>2</sup>.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o estudo detalhado do ar comprimido e dos elementos que compõem o sistema de produção, distribuição e preparação do ar e a definição da metodologia a ser seguida, partiu-se para o dimensionamento das linhas de distribuição e de alimentação, o cálculo do reservatório, a escolha do compressor e por fim, a apresentação do layout das tubulações pneumáticas.

### 4.1. DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO

A linha de distribuição conduz o ar comprimido da casa do compressor às linhas de alimentação. Para obter suas características, realizaram-se diversas medições na empresa e coletadas informações fundamentais para efetuar o dimensionamento da tubulação. As características da linha de distribuição estão apresentadas abaixo:

- Comprimento da tubulação linear..... 90 m;
- Queda de pressão admitida ..... 0,3 kgf/cm<sup>2</sup>;
- Pressão de regime ..... 9 kgf/cm<sup>2</sup>;
- Volume de ar consumido + previsão de ampliação..... 225 m<sup>3</sup>/h.

Singularidades:

- 11 curvas de 90° raio longo
- 9 têscados com fluxo em linha
- 1 têscado com fluxo em ramal
- 4 válvulas do tipo gaveta roscadas

É necessário conhecer o comprimento equivalente de todas as singularidades para realizar o dimensionamento da tubulação. Porém, ao analisarmos o Quadro (vide anexo C), constatamos que há a necessidade de um diâmetro nominal.

O diâmetro nominal é encontrado pela Equação 1. Primeiramente, não se considerou a existência das singularidades, ou seja, somente considerou-se o comprimento da tubulação retilínea.

$$d = 10 \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot \left(225 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)^{1,85} \cdot 90 \text{ m}}{\left(0,3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)}}$$

$d = 41,6 \text{ mm} \rightarrow 2 \text{ pol (diâmetro nominal - Anexo B)}$

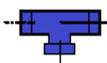
Pode-se notar que o diâmetro interno obtido foi de 41,6 mm. No entanto, para encontrar o comprimento equivalente das singularidades é preciso conhecer o diâmetro nominal correspondente, que pode ser encontrado no Quadro (vide anexo B) para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A 120 SCHEDULE 40.

Examinando o Quadro (vide anexo B) não se constatou diâmetro interno igual a 41,6mm, então, optou-se por escolher um diâmetro ligeiramente superior. O diâmetro interno encontrado foi de 52,5 mm que corresponde ao diâmetro nominal de 2 pol.

O diâmetro nominal 2 pol é um diâmetro de referência usado para consulta do comprimento equivalente das singularidades.

Utilizando o diâmetro de 2 pol e conhecendo as singularidades da linha de distribuição, pode-se encontrar o comprimento equivalente. O comprimento obtido foi de 38,34 m e pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 - Singularidades da linha de distribuição e seus comprimentos equivalentes

Singularidades	Qtde	Comprimento equivalente (m)	Total (m)
 Curva 90° de raio longo roscada	11	1,1	12,1
 Tê roscado com fluxo em linha	9	2,3	20,7
 Tê roscado com fluxo em ramal	1	3,7	3,7
 Válvula do tipo gaveta, roscada	4	0,46	1,84
<b>Comprimento Equivalente Total (L1)</b>			<b>38,34 m</b>

Assim, o comprimento total da linha tronco (Lt) será:

$$L_t = L_1 + L_2 \rightarrow 90 \text{ m} + 38,34 \text{ m} \rightarrow L_t = 128,34 \text{ m}$$

Aplicando novamente a Equação 1, temos:

$$d = 10 \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot \left(225 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)^{1,85} \cdot 128,34 \text{ m}}{\left(0,3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)}}$$

$$d = 44,66 \text{ mm} \rightarrow 2 \text{ pol (diâmetro nominal - Anexo B)}$$

Analisando o Quadro (vide Anexo B) pode-se notar que, mesmo considerando a queda de pressão devido às singularidades o diâmetro ainda corresponde ao tubo de diâmetro 2 pol.

#### 4.2. DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE ALIMENTAÇÃO

Vale notar que o dimensionamento da linha de alimentação pode ser feito utilizando também a Equação 1. No entanto, deve-se ajustar o valor da variável comprimento (Lt) e da variável vazão (Q).

São oito as linhas de alimentação, portanto, deve-se dividir a vazão total pelo nº de linhas de alimentação.

$$\frac{225 \text{ m}^3/\text{h}}{8} = 28,125 \text{ m}^3/\text{h}$$

A linha de alimentação apresenta as seguintes características:

- Comprimento da tubulação linear..... 2,70 m;
- Queda de pressão admitida ..... 0,3 kgf/cm<sup>2</sup>;
- Pressão de regime ..... 9 kgf/cm<sup>2</sup>;
- Volume de ar ..... 28,125 m<sup>3</sup>/h.

Singularidades:

- 2 tês roscados com fluxo em ramal
- 1 curva 180° raio longo roscada
- 2 curvas 45° roscadas
- 1 válvula do tipo gaveta roscada

Aplicando a Equação 1, temos:

$$d = 10 \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot \left(28,125 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)^{1,85} \cdot 2,70 \text{ m}}{\left(0,3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)}}$$

$d = 9,56 \text{ mm} \rightarrow 1/2 \text{ pol (diâmetro nominal - Anexo B)}$

Analisando o Quadro (vide anexo B), percebe-se que há o diâmetro nominal 3/8 pol, que seria usado no cálculo. No entanto, o Quadro (vide anexo C) não possui tal diâmetro.

Em vista disso, adotou-se o diâmetro 1/2 pol, ligeiramente superior a 3/8 pol e que consta no Quadro (vide anexo C).

Utilizando o diâmetro de 1/2 pol e sabendo quais são as singularidades da linha de alimentação, pode-se encontrar o comprimento equivalente. O comprimento equivalente encontrado foi de 4,29 m e pode ser analisado no Quadro 3.

Quadro 3 - Singularidades da linha de alimentação e seus comprimentos equivalentes

Singularidades	Qtde	Comprimento equivalente (m)	Total (m)
 Curva 180° raio longo roscada	1	1,1	1,1
 Curva 45° roscada	2	0,21	0,42
 Tê roscado com fluxo em ramal	2	1,3	2,6
 Válvula do tipo gaveta, roscada	1	0,17	0,17
<b>Comprimento Equivalente Total (L1)</b>			<b>4,29 m</b>

Assim, o comprimento total da linha tronco (Lt) será:

$$L_t = L_1 + L_2 \rightarrow 2,70 \text{ m} + 4,29 \text{ m} \rightarrow L_t = 6,99 \text{ m}$$

Aplicando novamente a Equação 1, temos:

$$d = 10 \left[ \sqrt[5]{ \frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot \left( 28,125 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)^{1,85} \cdot 6,99 \text{ m}}{\left( 0,3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)} } \right]$$

$$d = 11,56 \text{ mm} \rightarrow 1/2 \text{ pol (diâmetro nominal - Anexo B)}$$

Como explicado anteriormente, o tubo a ser escolhido é o de diâmetro nominal 1/2 pol, já que o tubo de diâmetro 3/8 pol não consta no Quadro (vide anexo C).

#### 4.3. PARÂMETROS PARA SELEÇÃO DO RESERVATÓRIO DE AR

Como visto, para dimensionar o volume do reservatório de ar comprimido utilizando um compressor de pistão, adota-se a seguinte regra:

- Volume do reservatório = 20% da vazão total do sistema (em m<sup>3</sup>/min).

Sendo a vazão total do sistema igual a 225 m<sup>3</sup>/h (3,75 m<sup>3</sup>/min).

Então:

- Volume do reservatório = 20% de 3,75 m<sup>3</sup>/min
- Volume do reservatório = 0,75 m<sup>3</sup>

Portanto, o volume do reservatório será de 0,75 m<sup>3</sup>. A pressão de regime já é conhecida, 9 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 4.4. ESCOLHA DO COMPRESSOR DE AR

A escolha do compressor pode ser feita utilizando o Gráfico (vide anexo A), mas para isso, deve-se conhecer a vazão total e a pressão do compressor.

Como a pressão do ar armazenado no reservatório está a uma pressão de 9 kgf/cm<sup>2</sup>, o compressor deve ter uma pressão superior a esta para conseguir comprimir o ar comprimido para o interior do reservatório.

Para a escolha do compressor adotou-se uma pressão de 10 kgf/cm<sup>2</sup> (9,81 bar), ligeiramente superior á encontrada no reservatório. A vazão total já é conhecida: 225 m<sup>3</sup>/h.

Com a pressão e a vazão identificadas, pode-se partir para a escolha do compressor (vide anexo A).

Analisando o Gráfico (vide anexo A), percebe-se o campo de atuação de cada compressor em função da vazão e pressão. Cruzando as variáveis (vazão e pressão) nota-se que o compressor indicado foi o compressor de êmbolo ou compressor de pistão. Portanto, o compressor escolhido para o sistema de ar comprimido da empresa é o compressor de deslocamento positivo alternativo de pistão.

#### 4.5. DEFINIÇÃO DO LAYOUT

O correto dimensionamento da rede pneumática contribui para que o ar alimente os equipamentos com a quantidade necessária de ar comprimido, além de diminuir a perda de carga (queda de pressão) entre a produção e os pontos de consumo e minimizar os custos com energia.

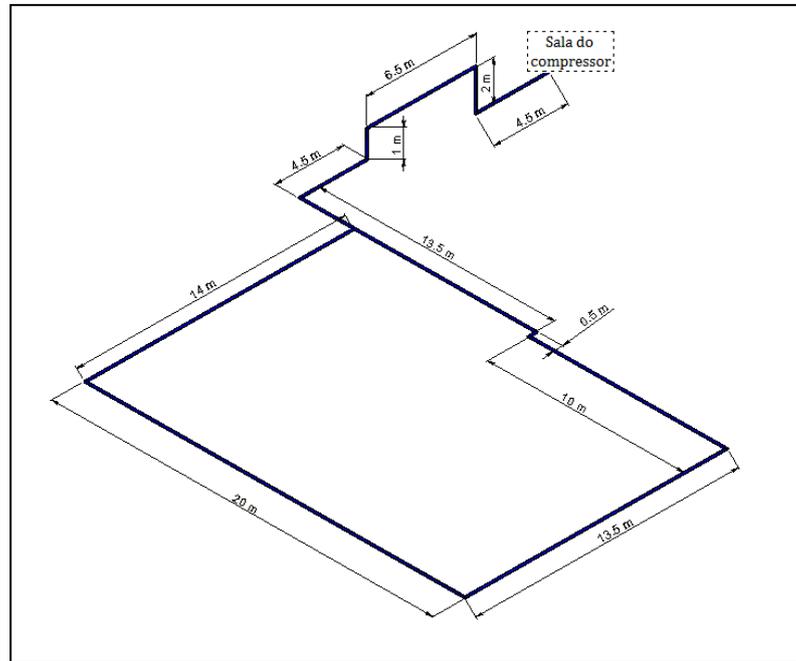
Para tanto, faz-se necessário à definição de um layout, para determinar o menor caminho possível para a tubulação, bem como definir o tipo de rede de distribuição a ser adotado, analisando as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos. Assim pode-se obter o comprimento das tubulações nos diversos trechos.

Optou-se por escolher uma rede de circuito fechado, pois este tipo de rede possui a vantagem do ar poder fluir nos dois sentidos, permitindo que os pontos de consumo sejam alimentados de maneira uniforme, além de favorecer a instalação de pontos de consumo ainda não previstos.

Os layouts da linha de distribuição e da linha de alimentação foram elaborados com o auxílio do software Solidworks.

A linha de distribuição, que liga a casa do compressor ás linhas de alimentação, pode ser observada na Figura 7.

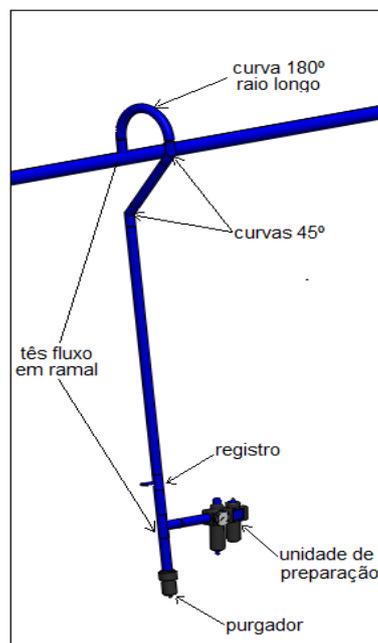
Figura 7 – Layout da linha de distribuição



Através da Figura 7 pode-se perceber o layout da linha de distribuição de ar comprimido com as dimensões propostas.

A linha de alimentação, que liga a linha de distribuição ao ponto de consumo, pode ser analisada na Figura 8.

Figura 8 – Layout da linha de alimentação

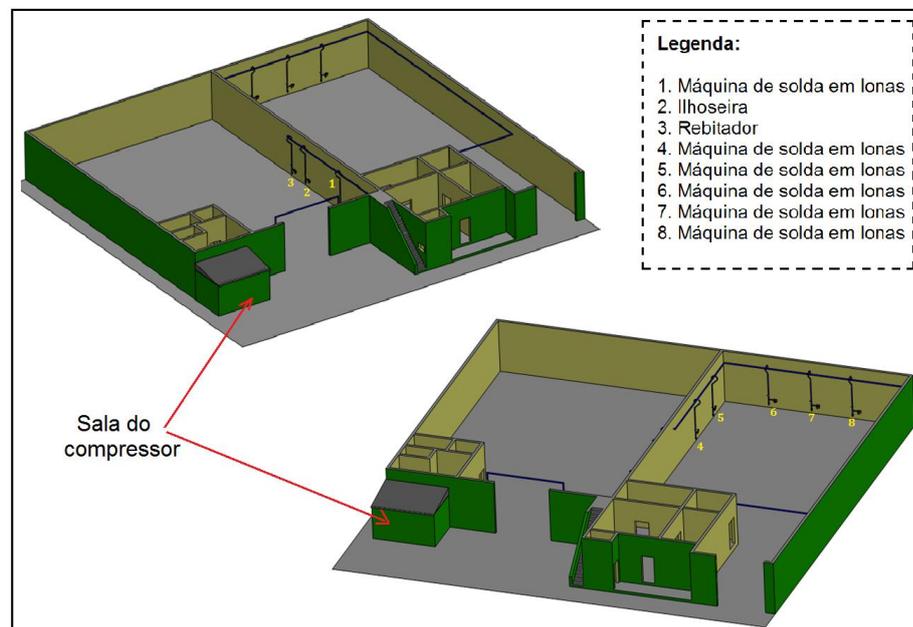


Pode-se perceber que as linhas de alimentação dos equipamentos pneumáticos foram planejadas para saírem pela parte superior da linha de distribuição, para evitar que o condensado, que possa estar presente na linha de distribuição, seja arrastado para a linha de alimentação.

Cabe destacar também, que cada linha de alimentação será dotada de uma unidade de preparação de ar munida de um registro, para que possibilite realizar a manutenção da unidade de preparação ou do dreno, sem a necessidade de desligar parte da linha de distribuição, o que afetaria outros equipamentos conectados nesta linha.

A Figura 9 mostra a localização das linhas de distribuição principal e de alimentação na empresa, bem como a casa do compressor.

Figura 9 – Layout geral



Cabe destacar que as máquinas 1, 2 e 3 devem ser dispostas onde existe a produção de toldos e cortinas. Já as máquinas 4, 5, 6, 7 e 8 que atualmente encontram-se na unidade que será desalugada, vão ser transferidas para essa unidade, que têm maior área construída e espaço suficiente para acomodar as duas produções.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento do sistema de ar comprimido foi necessário pelo fato da empresa não possuir tal sistema em uma de suas unidades, sendo este essencial para a realização de determinados processos de fabricação, como a soldagem de lonas, aplicação de ilhós e rebitamento.

Através da revisão bibliográfica foi possível conhecer as etapas de produção, distribuição e preparação do ar comprimido. A coleta de dados referente às máquinas pneumáticas e a análise do local a ser instaladas as linhas de distribuição e de alimentação foram o passo seguinte.

Procurou-se construir um sistema de ar comprimido eficiente, que garanta uma capacidade adequada para hoje e possibilite ampliações futuras. Sabe-se que um sistema subdimensionado poderia provocar uma pressão de ar inadequada, provocando baixo rendimento das máquinas e por consequência baixa produtividade. Por outro lado, um superdimensionamento acarretaria em um investimento excessivo de capital.

A seleção do compressor e reservatório foi fundamental para garantir um fornecimento adequado de ar comprimido, proporcionando confiabilidade ao sistema. Uma escolha equivocada implicaria em uma produção de ar inadequada e um possível aumento no consumo de energia elétrica. É oportuno destacar que a definição do layout da rede pneumática, aliado aos diâmetros das tubulações encontrados deve contribuir para que as máquinas sejam alimentadas de maneira uniforme e com quantidade suficiente.

Pode-se concluir que o sistema dimensionado poderá produzir ar comprimido com qualidade, em virtude da utilização de componentes capazes de deixar o ar com as características desejadas. O sistema dimensionado será capaz de fornecer pressão e vazão suficientes para atender as necessidades das máquinas, proporcionando um bom desempenho e uma maior vida útil dos automatismos pneumáticos.

Cabe destacar que este estudo originou-se como um desafio e tornou-se uma grande oportunidade para testar os conhecimentos empíricos e desenvolvê-los de maneira a buscar soluções para o problema encontrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas, 2008.

BUCK, B. **Manual de ar comprimido e gases**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

CORADI, F. E. **Análise energética e econômica na rede de distribuição de ar de uma indústria de autopeças**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2011.

ELETROBRÁS. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro, 2005.

FARIA, R. R. de. **Elementos de pneumática e automação, classificação e dimensionamento de atuadores: Aplicação ao caso de plataformas de embarque de deficientes físicos em veículos do transporte urbano coletivo**. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

FIALHO, A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2011.

HENN, E. L. **Máquinas de fluido**. 2. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2006.

JESUS, C. S. A. de. **Otimização energética em uma unidade industrial – O caso da Cerutil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica / Energia e Automação Industrial) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, 2012.

KARMOUCHE, A. R. **Análise da eficiência energética em compressores a pistão em sistemas de ar comprimido**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

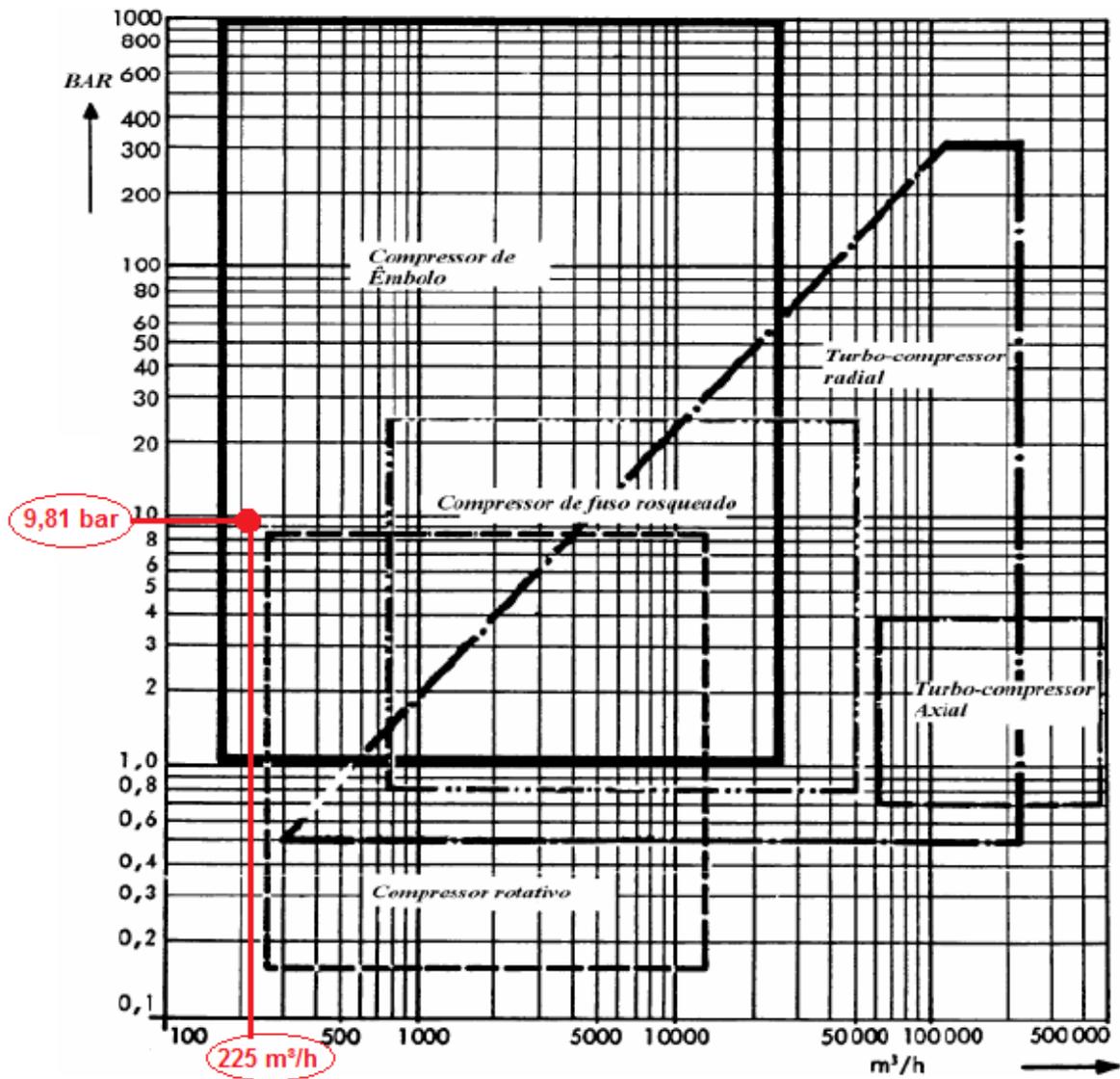
METALPLAN. **Manual de ar comprimido**. 4ª ed. 2010.

NR 13. **Caldeiras e vasos de pressão**. 2008.

PARKER TRAINING. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Jacareí, 2006. Apostila M1004 BR.

SILVA, E. C. N. **PMR2481 – Sistemas Fluidomecânicos**. Apostila Pneumática. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002.

## ANEXO A – CAMPO DE ATUAÇÃO DE CADA COMPRESSOR EM FUNÇÃO DA PRESSÃO X VAZÃO



Fonte: Adaptado de Faria, 2007, p. 31.

**ANEXO B – DIÂMETRO COMERCIAL PARA TUBOS DE AÇO PRETO OU GALVANIZADO ASTM A 120 SCHEDULE 40**

*Tubo de aço para condução de fluidos e outros fins*

Diâmetro				Espessura de parede		Peso teórico do tubo preto		Pressão de ensaio
Nominal	Externo		Interno			Pontas lisas	Com rosca e luvas <sup>17</sup>	
in	in	mm	mm	in	mm	kg/m	kg/m	kgf/cm <sup>2</sup>
1/4	0,540	13,7	9,2	0,088	2,24	0,63	0,66	50
3/8	0,675	17,2	12,6	0,091	2,31	0,85	0,88	50
1/2	0,840	21,3	15,8	0,109	2,77	1,27	1,29	50
3/4	1,050	26,7	21,0	0,113	2,87	1,68	1,72	50
1	1,315	33,4	26,1	0,133	3,38	2,50	2,56	50
1.1/4	1,660	42,2	35,1	0,140	3,56	3,38	3,45	70
1.1/2	1,900	48,3	40,9	0,145	3,68	4,05	4,18	70
2	2,375	60,3	52,5	0,154	3,91	5,43	5,60	70
2.1/2	2,875	73,0	62,7	0,203	5,16	8,62	8,76	70
3	3,500	88,9	77,9	0,216	5,49	11,28	11,60	70
3.1/2	4,000	101,6	90,1	0,226	5,74	13,56	14,11	85
4	4,500	114,3	102,3	0,237	6,02	16,06	16,81	85
5	5,563	141,3	128,2	0,258	6,55	21,76	22,67	85
6	6,625	168,3	154,1	0,280	7,11	28,23	29,59	85
8	8,625	219,1	202,7	0,322	8,18	42,49	44,66	90
10	10,75	273,0	254,5	0,365	9,27	60,23	-	85

Fonte: Fialho, 2011, p. 288 e 289.

## ANEXO C – COMPRIMENTO EQUIVALENTE DAS SINGULARIDADES

Conexões	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 90° Cotovelo comum	ROSQ.	1,1	1,34	1,58	2	2,25	2,6	2,8
	FLAN.	0,30	0,37	0,50	0,62	0,73	0,95	1,1
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	3,4	3,7	4,0	-	-	-	-	
FLAN.	1,3	1,55	1,8	2,2	2,7	3,7	4,3	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Tê fluxo em linha	ROSQ.	0,52	0,73	0,99	1,4	1,7	2,3	2,8
	FLAN.	0,21	0,25	0,30	0,4	0,45	0,55	0,58
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	3,7	4,45	5,2	-	-	-	-	
FLAN.	0,67	0,74	0,85	1,0	1,2	1,4	1,6	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Curva 90° raio longo	ROSQ.	0,67	0,70	0,83	0,98	1,0	1,1	1,1
	FLAN.	0,33	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	1,2	1,3	1,4	-	-	-	-	
FLAN.	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Tê fluxo pelo ramal	ROSQ.	1,3	1,6	2,0	2,7	3,0	3,7	3,9
	FLAN.	0,61	0,80	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	5,2	5,8	6,4	-	-	-	-	
FLAN.	2,9	3,3	3,7	4,6	5,5	7,3	9,1	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Curva 45°	ROSQ.	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97
	FLAN.	0,14	0,18	0,25	0,34	0,40	0,52	0,61
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	1,2	1,45	1,7	-	-	-	-	
FLAN.	0,8	0,95	1,1	1,4	1,7	2,3	2,7	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Válvula gaveta	ROSQ.	0,17	0,20	0,25	0,34	0,37	0,46	0,52
	FLAN.	-	-	-	-	-	0,80	0,83
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	0,58	0,67	0,76	-	-	-	-	
FLAN.	0,85	0,86	0,88	0,95	0,98	0,98	0,98	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Curva 180° raio longo	ROSQ.	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,8
	FLAN.	0,34	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	3,4	3,7	4,0	-	-	-	-	
FLAN.	1,00	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	

Conexão	Diâmetro nominal (in)							
	1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Válvula globo	ROSQ.	6,7	7,3	8,8	11,3	12,8	16,5	18,9
	FLAN.	11,6	12,2	13,7	16,5	18,0	21,4	23,5
Diâmetro nominal (in)								
	3	3.1/2	4	5	6	8	10	
ROSQ.	24,0	27,25	33,5	-	-	-	-	
FLAN.	28,7	32,65	36,6	45,7	47,9	49,3	94,5	

Fonte: Fialho, 2011, p. 290 e 291.