

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DAIVID DE CASTRO SOEIRO

LUCAS MATOS ROSA

REDIMENSIONAMENTO E MELHORIA DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO DA

INSTITUIÇÃO Sesi/SENai DE ARACRUZ

ARACRUZ

2017

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DAIVID DE CASTRO SOEIRO

LUCAS MATOS ROSA

REDIMENSIONAMENTO E MELHORIA DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO DA

INSTITUIÇÃO SESI/SENAI DE ARACRUZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica das
Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial
para a obtenção do título de Graduação em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Harerton Oliveira Dourado.

ARACRUZ

2017

DAIVID DE CASTRO SOEIRO

LUCAS MATOS ROSA

**REDIMENSIONAMENTO E MELHORIA DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO DA
INSTITUIÇÃO SESI/SENAI DE ARACRUZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica das
Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial
para a obtenção do título de Graduação em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Harerton Oliveira Dourado.

Aprovado em 11 de setembro de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profº. Dr. Harerton Oliveira Dourado

Faculdades Integradas de Aracruz

Orientador

Profº. Anderson Fanchiotti da Silva

Faculdades Integradas de Aracruz

Profº. João Alberto Altoé

Instituto Federal do Espírito Santo
Campus Aracruz

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus por estar conosco em todos os momentos e pela oportunidade de completarmos mais uma etapa em nossas vidas.

Agradecemos também ao nosso orientador, Professor Dr. Harerton Oliveira Dourado, que nos direcionou e nos instruiu na realização deste trabalho.

Às nossas famílias, por todo apoio, carinho e incentivo ao longo da nossa formação acadêmica.

Ao nosso amigo Patrick Cunha Peluchi e ao corpo docente da Instituição Sesi/Senai de Aracruz, pela confiança e dedicação em nos atender e fornecer todas as informações necessárias.

Ao Leandro Bitti Santa Anna, servidor do Ifes Aracruz, pelo apoio prestado na fase inicial do trabalho.

Aos demais professores das Faculdades Integradas de Aracruz (Faacz), que contribuíram com seus conhecimentos passados ao longo do curso.

Aos amigos que estiveram juntos e que fizeram parte de grandes momentos.

E por fim, à Faacz, por permitir concluir este curso de engenharia.

“A persistência é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

“We cannot solve our problems with the same thinking we used when we created them.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma visão geral do uso do ar comprimido nas indústrias, a importância de um sistema dimensionado adequadamente, as etapas para produção, tratamento e distribuição do ar comprimido, os seus principais componentes, além dos procedimentos necessários para a realização de um dimensionamento. O objetivo do trabalho é realizar o estudo para redimensionar e melhorar o sistema de ar comprimido na instituição Sesi/Senai de Aracruz (ES). Durante o estudo, buscou-se, através de um novo layout, desenvolver um sistema capaz de atender às necessidades da instituição, visando solucionar os problemas existentes. O redimensionamento seguiu dois métodos diferentes a fim de determinar os diâmetros das tubulações. No primeiro método utilizou-se da literatura de Fialho (2004), e no segundo método adotaram-se os procedimentos sugeridos por Pacco (2013), adaptados da literatura de Telles (1999). Ao final do dimensionamento, os resultados obtidos foram satisfatórios, pois o compressor e o reservatório existentes ainda serão capazes de atender à demanda de ar comprimido do sistema proposto, e o arranjo do novo layout prevê soluções para os problemas encontrados na instituição, além de garantir o fornecimento de ar em todos os pontos de consumo. De forma geral, o segundo método apresentou ser mais vantajoso em relação ao primeiro, pois retornou um diâmetro de 1" da linha principal, enquanto no primeiro método, encontrou-se um diâmetro de 1.1/4". Em relação às linhas secundárias e de alimentação, ambos os métodos apresentaram um mesmo diâmetro, sendo de 1/4", com exceção das linhas de alimentação 3 e 7 para o segundo método.

Palavras chaves: Ar comprimido, sistema de ar comprimido, dimensionamento, Sesi/Senai.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração, tratamento e distribuição de ar comprimido.....	18
Figura 2 - Compressor de parafuso com reservatório – Schulz.....	19
Figura 3 - Exemplo de localização do compressor.....	20
Figura 4 – Classificação dos compressores	20
Figura 5 - Compressor de parafuso.....	21
Figura 6 – Resfriador com separador de condensado.....	22
Figura 7 - Filtro com regulador	22
Figura 8 - Secador por absorção	23
Figura 9 - Reservatórios de ar comprimido	24
Figura 10 - Esquema de inclinação dos trechos retos.....	26
Figura 11 - Representação de saída para linha de alimentação	27
Figura 12 - Purgador instalado ao final da linha vertical de alimentação	28
Figura 13 - Unidade de condicionamento - LUBRIFIL	28
Figura 14 - Circuito tipo fechado	30
Figura 15 - Circuito tipo aberto	30
Figura 16 - Layout do sistema antigo	38
Figura 17 - Layout do sistema proposto	39
Figura 18 – Detalhe da linha secundária 2	39
Figura 19 – Detalhes da linha secundária 1 e do ponto de consumo 2.....	40
Figura 20 – Detalhes dos purgadores 1 a 4.....	40
Figura 21 – Medidas no galpão (CE)	73
Figura 22 – Medidas da linha de alimentação 1 (CE)	74
Figura 23 – Medidas das linhas de alimentação 3, 4, 7 e 8 (CE)	74
Figura 24 – Medidas da linha de alimentação 5 (CE)	75

Figura 25 - Medidas da linha de alimentação 6 (CE).....	75
Figura 26 – Medidas no galpão (CP).....	76
Figura 27 – Medidas na sala de pneumática (CP)	77
Figura 28 – Medidas na sala do compressor (CP).....	77
Figura 29 – Medidas da linha secundária 2 (CP)	78
Figura 30 - Medidas da linha de alimentação 1 (CP)	78
Figura 31 – Medidas da linha de alimentação 2 (CP)	79
Figura 32 - Medidas da linha de alimentação 3 (CP)	79
Figura 33 - Medidas da linha de alimentação 4 (CP)	80
Figura 34 - Medidas das linhas de alimentação 5 e 6 (CP)	80
Figura 35 – Medidas da linha de alimentação 7 (CP)	81
Figura 36 – Medidas da linha de alimentação 8 (CP)	81
Figura 37 – Medidas da linha de alimentação 9 (CP)	82
Figura 38 – Medidas da linha de alimentação 10 (CP)	82
Figura 39 – Medidas das linhas de alimentação 11 e 12 (CP).....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista dos consumidores	41
Tabela 2 - Lista dos consumidores com consumo final corrigido.....	42
Tabela 3 - Características técnicas do Compressor Schulz SRP 3015 compact.....	44
Tabela 4 - Resultados dos dimensionamentos das linhas secundárias	53
Tabela 5 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 1 a 4.....	54
Tabela 6 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 5 a 8.....	55
Tabela 7 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 9 a 12.....	55
Tabela 8 - Resultados dos dimensionamentos das linhas secundárias	58
Tabela 9 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 1 a 4.....	60
Tabela 10 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 5 a 8.....	60
Tabela 11 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 9 a 12.....	61
Tabela 12 - Resultados dos redimensionamentos das linhas de alimentação 3 e 7.....	62
Tabela 13 - Diâmetros das linhas obtidos nos dois métodos.....	63
Tabela 14 - Orçamento dos materiais.....	64
Tabela 15 - Perdas de cargas do sistema atual.....	66
Tabela 16 - Perdas de cargas do sistema proposto	67
Tabela 17 - Vazões das linhas do sistema proposto	84
Tabela 18 - Comprimentos dos trechos retos da linha principal do sistema proposto	85
Tabela 19 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha principal do sistema proposto.....	85
Tabela 20 - Comprimentos dos trechos retos das linhas secundárias do sistema proposto.....	87
Tabela 21 - Comprimentos equivalentes das singularidades das linhas secundárias do sistema proposto.....	87
Tabela 22 - Comprimentos dos trechos retos das linhas de alimentação do sistema proposto	88

Tabela 23 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 1	88
Tabela 24 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 2	89
Tabela 25 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 3	89
Tabela 26 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 4	89
Tabela 27 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 5	90
Tabela 28 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 6	90
Tabela 29 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 7	90
Tabela 30 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 8	91
Tabela 31 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 9	91
Tabela 32 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 10	91
Tabela 33 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 11	92
Tabela 34 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 12	92
Tabela 35 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha principal do sistema proposto.....	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA.....	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	OBJETIVO GERAL.....	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1	DEFINIÇÃO DE AR COMPRIMIDO.....	18
4.2	GERAÇÃO DO AR COMPRIMIDO	18
4.2.1	Compressor	19
4.2.1.1	Localização do compressor	19
4.2.2	Tipos básicos de compressores	20
4.2.2.1	Compressor de parafuso	21
4.2.3	Resfriador.....	21
4.2.4	Filtro	22
4.2.5	Secador	23
4.2.6	Reservatório	23
4.2.6.1	Volume do reservatório	24
4.3	DISTRIBUIÇÃO E TRATAMENTO DO AR COMPRIMIDO	26
4.3.1	Linhas de distribuição.....	26
4.3.1.1	Inclinação da linha.....	26
4.3.1.2	Saída para linha de alimentação	26
4.3.2	Purgadores	27
4.3.3	Lubrifil	27
4.3.4	Material de aplicação dos tubos	28

4.3.5	Normatização para a cor	29
4.3.6	Layout.....	29
4.3.6.1	Tipos de circuitos	29
4.3.6.2	Ferramentas para elaboração do layout	31
4.4	VARIÁVEIS PARA UM DIMENSIONAMENTO.....	31
4.4.1	Pressão de regime	31
4.4.2	Volume de ar corrente	32
4.4.2.1	Fator de previsão de crescimento	32
4.4.2.2	Fator de utilização	32
4.4.3	Perda de carga admitida.....	33
4.4.4	Vazamentos	33
4.4.5	Comprimentos equivalentes	34
4.4.5.1	Trechos retos	34
4.4.5.2	Singularidades	34
4.4.5.3	Comprimento equivalente total	35
5	METODOLOGIA	36
5.1	COLETA DE DADOS	36
5.2	REDEFINIÇÃO DO LAYOUT	36
5.3	VAZÃO DO SISTEMA OU VOLUME DE AR CORRENTE	41
5.4	FATOR DE PREVISÃO DE CRESCIMENTO	42
5.5	VOLUME DO RESERVATÓRIO.....	43
5.6	PRESSÃO DE REGIME (P).....	43
5.6.1	Compressor de parafuso	43
5.7	QUEDA DE PRESSÃO ADMITIDA (ΔP).....	44
5.8	COMPRIMENTOS EQUIVALENTES	45
5.8.1	Trechos retos.....	45

5.8.2	Singularidades	45
5.8.3	Comprimento equivalente total (Lt)	46
5.9	DIMENSIONAMENTO	46
5.9.1	Métodos	46
5.9.1.1	Primeiro método	46
5.9.1.2	Segundo método	47
5.10	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	49
5.11	LEVANTAMENTO DE CUSTOS	49
5.12	COMPARAÇÃO DAS PERDAS DE CARGA DOS SISTEMAS EXISTENTE E PROPOSTO	50
6	RESULTADOS	51
6.1	CAPACIDADE DO COMPRESSOR E VOLUME DO RESERVATÓRIO	51
6.2	DIMENSIONAMENTO PELO PRIMEIRO MÉTODO	51
6.2.1	Linha principal	51
6.2.2	Linhas secundárias	53
6.2.3	Linhas de alimentação	54
6.3	DIMENSIONAMENTO PELO SEGUNDO MÉTODO	56
6.3.1	Linha principal	56
6.3.2	Linhas secundárias	58
6.3.3	Linhas de alimentação	59
6.4	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	62
6.5	LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA O ESTUDO	64
6.6	COMPARAÇÃO DAS PERDAS DE CARGAS	66
7	CONCLUSÃO	68
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
	REFERÊNCIAS	71

APÊNDICE A	73
Medidas das tubulações do sistema de ar comprimido existente (CE).....	73
APÊNDICE B	76
Medidas dos trechos retos das tubulações do sistema de ar comprimido proposto (CP).....	76
APÊNDICE C	84
Tabela referente às vazões do sistema proposto	84
APÊNDICE D	85
Tabelas referentes ao dimensionamento da linha principal pelo primeiro método	85
APÊNDICE E	87
Tabelas referentes aos dimensionamentos das linhas secundárias.....	87
APÊNDICE F.....	88
Tabelas referentes aos dimensionamentos das linhas de alimentação	88
APÊNDICE G	93
Tabela referente ao dimensionamento da linha principal pelo segundo método	93
ANEXO A.....	94
Tubos de aço para condução de fluidos e afins - Norma ASTM A 120 Schedule 40.....	94
ANEXO B.....	95
Comprimento de tubo equivalente à perda de carga por singularidade (m).....	95
ANEXO C.....	96
Autorização da instituição Sesi/Senai de Aracruz para realização do trabalho	96

1 INTRODUÇÃO

O ar comprimido é uma forma de transporte de energia bastante utilizada com inúmeras aplicações, chegando a competir com a energia elétrica em certos campos de aplicação. Em alguns casos particulares somente ele pode ser utilizado, como por exemplo, em interior de minas, onde pode haver riscos de explosões, ou em trabalhos subaquáticos, onde pode haver riscos de descargas elétricas (ELEKTRO, 2012).

Tratando-se de custos, a implantação de um sistema de ar comprimido dentro de uma indústria pode ser significativa levando em consideração a produção, preparação, distribuição e manutenção. Entretanto, o custo com a energia é em parte compensado pelos elementos de preços vantajosos e rentabilidade do equipamento (FIALHO, 2004).

Estima-se que cerca de 5 bilhões de toneladas de ar são comprimidos todo ano em todo o planeta, gerando um consumo de 400 bilhões de kWh a um custo de 20 bilhões de dólares, além de provocar um grande impacto no meio ambiente (METALPLAN, 2010).

Considera-se que boa parte dessa imensa produção é causada pela falta ou mau planejamento antes da implantação. Isso afeta no excesso de produção do ar comprimido devido a problemas no sistema de distribuição, como por exemplo, vazamentos, que, segundo dados da podem gerar perdas de até 40% (METALPLAN, 2010).

Outros problemas existentes são o acúmulo de condensado, que pode proporcionar um funcionamento defeituoso e elevar custos da manutenção de instrumentos de controle e dispositivos lógicos; e um mau posicionamento nas linhas de ar comprimido que também acarreta em grandes perdas de carga (ROLLINS, 2004).

Considerando esses fatores, o planejamento é essencial para manter o sistema em boas condições de operação e com um mínimo de perdas de carga, a fim de obter boa economia e bom desempenho (ROLLINS, 2004). Para tanto, realiza-se um dimensionamento com base nos

procedimentos da literatura e nas melhores práticas de engenharia, que pode garantir uma perfeita instalação e, conseqüentemente, operação do sistema. Portanto, torna-se necessário selecionar cuidadosamente o equipamento e elaborar o layout, garantindo assim o sucesso da implantação do sistema de ar comprimido.

2 JUSTIFICATIVA

A instituição de ensino técnico Sesi/Senai em Aracruz (ES) possui um sistema de ar comprimido que opera constantemente durante os dias letivos para a realização de atividades como, corte a plasma, ensaios mecânicos, usinagem, jateamento, aulas de pneumática aplicada, mecânica automotiva (plataforma elevatória) e limpeza.

Entretanto, o sistema existente apresenta diversas irregularidades, tais como, vazamentos, erros no posicionamento das tubulações, deficiência de acessórios e de pontos de consumo, além do acúmulo excessivo de condensado.

Este último, por sua vez, é prejudicial a qualquer equipamento, principalmente para o centro de usinagem, o torno CNC (controle numérico computadorizado) e a máquina de ensaios mecânicos por serem os equipamentos mais caros da instituição e que necessitam de ar isento de umidade para sua operação.

Em relação aos pontos de consumo, uma expansão de laboratórios e salas foi realizada após a implantação da atual rede de ar comprimido. Portanto, nesses novos locais não há pontos de fornecimento de ar ou os mesmos são insuficientes para a realização das atividades.

Diante da situação apresentada, torna-se necessário um estudo para um novo dimensionamento do sistema de ar comprimido da instituição, pretendendo-se, ao final do projeto, atenuar ou solucionar os problemas mencionados.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo de redimensionamento e melhoria do sistema de ar comprimido na instituição Sesi/Senai de Aracruz.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- verificar se o compressor existente atende à demanda de ar comprimido;
- elaborar um novo layout do sistema proposto;
- especificar elementos do sistema de ar comprimido;
- dimensionar por dois métodos diferentes as linhas de distribuição para aço galvanizado e comparar os resultados; e
- levantar custo de aquisição de material para o sistema dimensionado com base no menor diâmetro encontrado para a linha principal.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 DEFINIÇÃO DE AR COMPRIMIDO

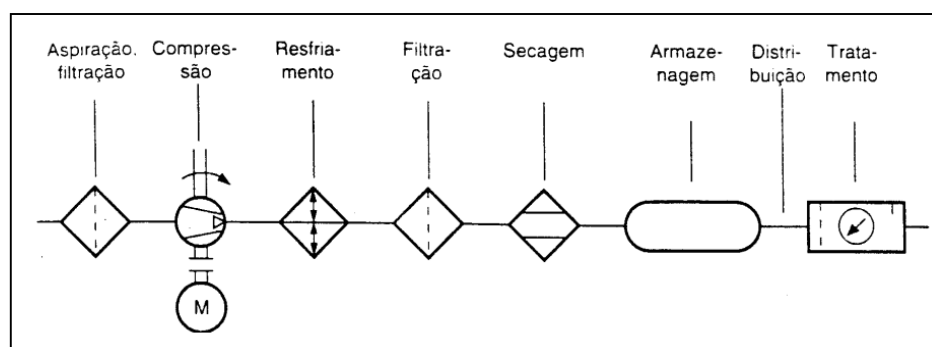
“O ar comprimido é um produto dotado de alta energia, resultado de uma transformação termodinâmica sofrida pelo ar atmosférico por meio do consumo de trabalho mecânico de compressão realizado por uma máquina térmica, denominada compressor” (ELETROBRÁS/PROCEL; EFFICIENTIA/FUPAI, 2005).

4.2 GERAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

Segundo Rollins (2004), o sistema responsável pela preparação e distribuição do ar comprimido, como mostrado na figura 1, é composto por, basicamente:

- compressor;
- resfriador posterior com separador de condensado;
- filtro;
- secador de ar;
- reservatório de ar;
- tubulação, levando o ar comprimido até os pontos de consumo.

Figura 1 - Geração, tratamento e distribuição de ar comprimido



Fonte: Silva, 2002.

4.2.1 Compressor

O compressor, conforme mostrado na figura 2, é um equipamento que realiza a compressão do ar ambiente transformando a energia de acionamento, geralmente energia elétrica, em energia pneumática (METALPLAN, 2010).

As pressões manométricas atingidas pelos compressores variam, em geral, entre 6 bar e 40 bar, sendo a pressão 7 bar tipicamente encontrada na maioria das aplicações (PARKER TRAINING, 2006).

Figura 2 - Compressor de parafuso com reservatório – Schulz

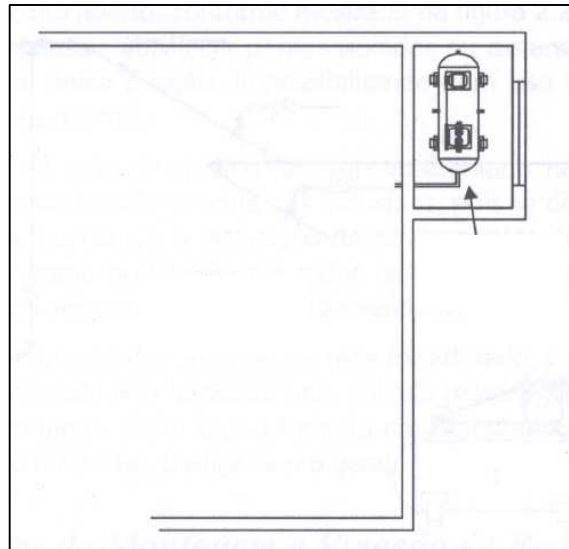


Fonte: Disponível em Schulz, 2017.

4.2.1.1 Localização do compressor

Recomenda que o compressor esteja alocado em uma sala externa anexa à fábrica ou oficina, como representado na figura 3. O local deve ser coberto, arejado, livre de poeira e umidade e de fácil acesso para manutenção ou intervenção (FIALHO, 2004).

Figura 3 - Exemplo de localização do compressor

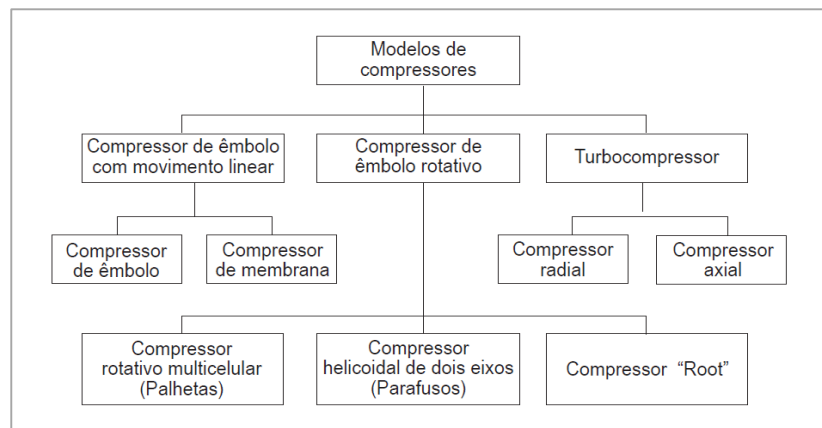


Fonte: Adaptado de Fialho, 2004.

4.2.2 Tipos básicos de compressores

Os compressores de diversos tipos são empregados conforme as necessidades fabris em relação à pressão de trabalho e ao volume (ELETROBRÁS et al., 2009). A figura 4 classifica os compressores conforme seu tipo de construção.

Figura 4 – Classificação dos compressores

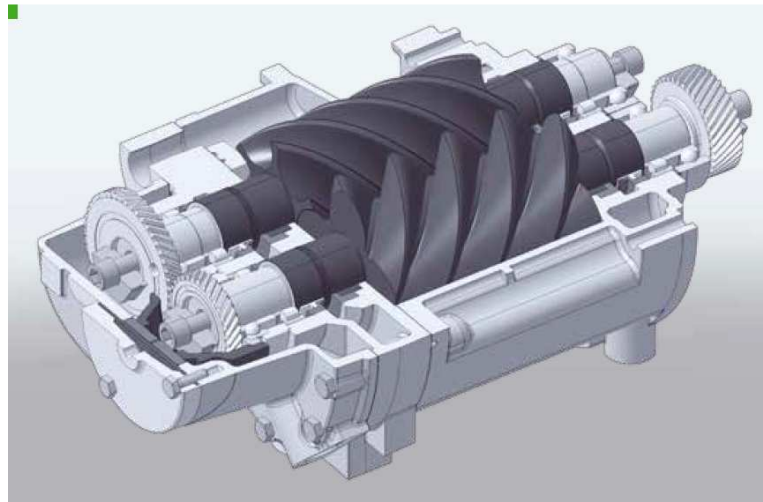


Fonte: Eletrobrás et al., 2009.

4.2.2.1 Compressor de parafuso

O compressor de parafuso, mostrado na figura 5, é composto por dois rotores de parafusos que giram em sentidos opostos. Quando ocorre o engrenamento o ar é empurrado em uma direção e este fica contido no espaço existente entre os rotores e a carcaça. Enquanto o ar caminha, o espaço disponível diminui devido à condição de engrenamento, e assim sofre a compressão (FIALHO, 2004).

Figura 5 - Compressor de parafuso



Fonte: Atlas Copco, 2015.

4.2.3 Resfriador

O resfriador, mostrado na figura 7, é utilizado para reduzir a temperatura do ar para níveis próximos da temperatura ambiente, pois durante o processo de compressão a temperatura do ar é elevada (METALPLAN, 2010).

Figura 6 – Resfriador com separador de condensado



Fonte: Disponível em Ar Energia, 2017.

4.2.4 Filtro

O Filtro de ar tem como função separar o restante de contaminantes líquidos e sólidos (~30%) não totalmente eliminada pelos purgadores, protegendo os trocadores de calor e os secadores contra o excesso de óleo oriundo dos compressores. Geralmente, aparece antes ou depois do secador de ar comprimido e também junto ao ponto de uso (METALPLAN, 2010). A figura 6 apresenta um filtro com regulador.

Figura 7 - Filtro com regulador



Fonte: Disponível em Brucompressores, 2017.

4.2.5 Secador

O secador tem a finalidade de retirar a umidade presente no ar comprimido, estando ela no estado líquido ou de vapor. Esse processo pode ocorrer antes ou depois do seu armazenamento no reservatório e de três formas: por absorção, por adsorção e por resfriamento (ELETROBRÁS et al., 2009). A figura 9 mostra um secador do fabricante Metalplan.

Figura 8 - Secador por absorção



Fonte: Disponível em Brucompressores, 2017.

4.2.6 Reservatório

O reservatório desempenha um papel importante em um sistema de ar comprimido, e, segundo a Eletrobrás/Procel;Efficientia/Fupai (2005), com a instalação deste pode-se garantir diversas vantagens como:

- estabilização da distribuição de ar comprimido, evitando oscilações de pressão;
- reserva, pois atende aos picos de demanda;
- coleta de condensado; e
- redução dos ciclos do motor elétrico.

Como o reservatório (Figura 8) se trata de um vaso de pressão, todo o seu procedimento de cálculo, projeto e construção deve seguir a NR 13, e “os operadores dos sistemas de ar comprimido devem ser treinados nas regras de segurança existentes para vasos de pressão (NR 13)” (ELETROBRÁS/PROCEL; EFFICIENTIA/FUPAI, 2005).

Figura 9 - Reservatórios de ar comprimido



Fonte: Disponível em Artecnic, 2017.

4.2.6.1 Volume do reservatório

A capacidade de armazenamento do reservatório deve ser de no mínimo 10% da vazão total do sistema para compressores do tipo rotativo, conforme equação 1, e de 20% para compressores do tipo pistão (PARKER TRAINING, 2006), de acordo com a equação 2.

$$V = 0,1 \times Q \quad (1)$$

$$V = 0,2 \times Q \quad (2)$$

Onde:

- V = Volume do reservatório (m^3);
- Q = Vazão total do sistema (m^3/min).

Porém, recomenda-se que o volume para compressores rotativos seja calculado conforme a equação 3 (MACYNTIRE, 2011).

$$V = \frac{1}{2} \times \sqrt{5 \times Q} \quad (3)$$

Onde:

- V = Volume do reservatório (m^3);
- Q = Volume de ar livre aspirado (m^3/min).

Para um cálculo mais sofisticado do volume, é recomendado o uso da equação 4 (ELETROBRÁS et al., 2009).

$$VR = \frac{DLE \times F}{T_C \times (P_{MAX} - P_{MIN})} \quad (4)$$

Onde:

- VR = Volume do reservatório (m^3);
- DLE = Vazão do compressor (m^3/min);
- $F = 5$, para compressores de parafuso;
- $F = 15$, para compressores de pistão;
- T_C = Taxa de ciclos seguidos do motor (1/h);
- P_{MAX} = Pressão de desligamento do compressor (bar);
- P_{MIN} = Pressão de religamento do compressor (bar).

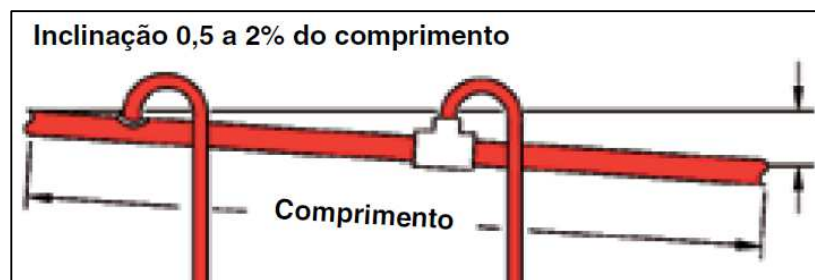
4.3 DISTRIBUIÇÃO E TRATAMENTO DO AR COMPRIMIDO

4.3.1 Linhas de distribuição

4.3.1.1 Inclinação da linha

As tubulações da linha principal devem apresentar uma leve inclinação, cerca de 0,5 a 2% do comprimento do trecho reto, como mostrado na figura 10, no sentido do fluxo de ar a fim de facilitar a drenagem do condensado e o arraste das impurezas que se acumulam com o tempo (PARKER TRAINING, 2006).

Figura 10 - Esquema de inclinação dos trechos retos

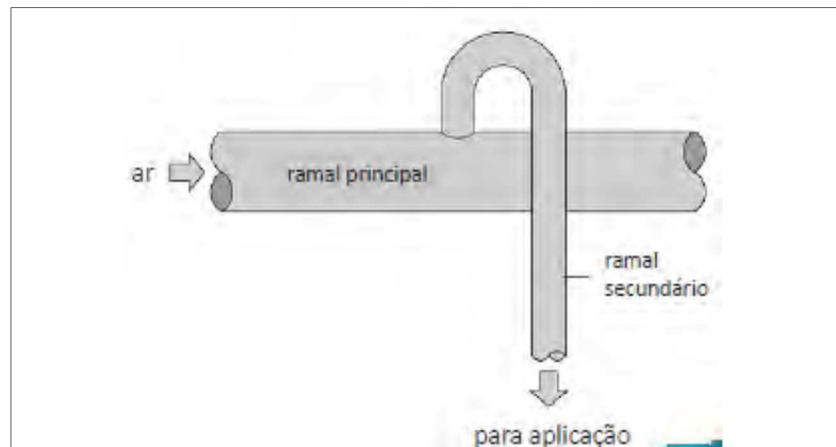


Fonte: Parker Training, 2006.

4.3.1.2 Saída para linha de alimentação

Recomenda-se que cada linha de alimentação possua sua saída pela parte superior da linha secundária ou principal, conforme representada na figura 11, pois dessa forma, evita-se a passagem de condensado para os pontos de consumo. O final desse trecho deve conter uma válvula para facilitar a manutenção do LUBRIFIL (FIALHO, 2004).

Figura 11 - Representação de saída para linha de alimentação



Fonte: Metalplan, 2006 apud Pacco, 2013.

4.3.2 Purgadores

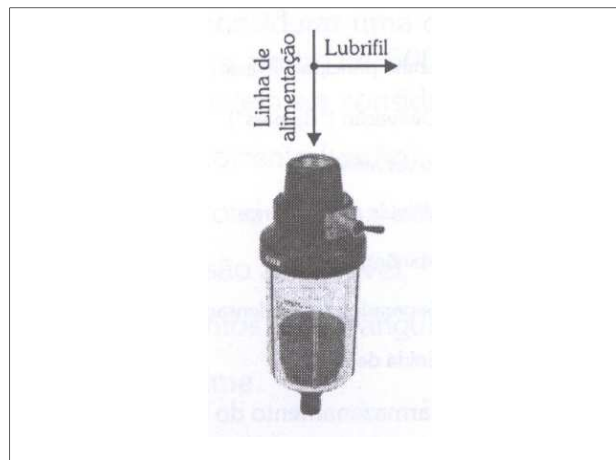
Os purgadores devem estar localizados nos pontos mais baixos da linha, facilitando a retirada do condensado, que tem seu acúmulo ocasionado pela inclinação dos trechos (PARKER TRAINING, 2006).

Ressalta-se que os purgadores também devam ser instalados ao final da linha vertical de alimentação e abaixo do ponto de consumo, como mostrado na figura 12, evitando a passagem do condensado para os equipamentos (FIALHO, 2004).

4.3.3 Lubrifil

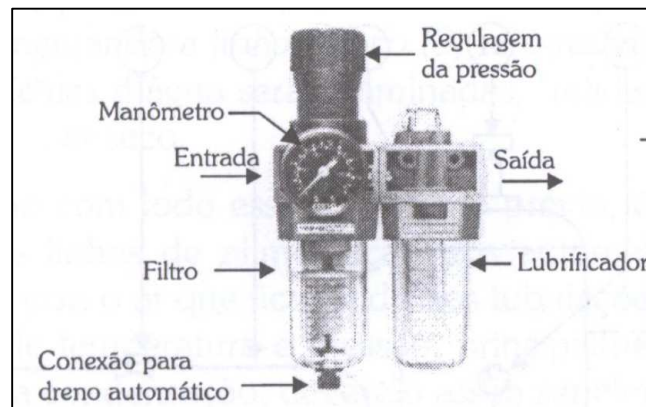
O Lubrifil é uma unidade indispensável de condicionamento onde ocorre a última etapa de tratamento do ar antes de ser utilizado nos equipamentos e deve ser instalado nos pontos de consumo. Conforme indicado na figura 13, é composto por um filtro, uma válvula reguladora de pressão (com manômetro) e um pequeno reservatório de óleo para lubrificação dos componentes pneumáticos dos equipamentos (PARKER TRAINING, 2006).

Figura 12 - Purgador instalado ao final da linha vertical de alimentação



Fonte: Fialho, 2004.

Figura 13 - Unidade de condicionamento - LUBRIFIL



Fonte: Fialho, 2004.

4.3.4 Material de aplicação dos tubos

Para os materiais de fabricação da tubulação, é preferível a utilização daqueles mais resistentes à oxidação como: aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plásticos de engenharia (METALPLAN, 2010).

O material mais aplicado nos tubos é o aço galvanizado e as ligações dos mesmos processam-se de diversas formas, sendo rosca, solda, flange e acoplamento rápido, devendo apresentar uma perfeita vedação (PARKER TRAINING, 2006).

4.3.5 Normatização para a cor

A NR-26 é uma norma que define as cores padrões que devem ser utilizadas nos locais de trabalho a fim de prevenir acidentes (PORTAL SESMT, acesso em 27 mar. 2017).

Conforme o item 26.1.2 da Portaria SIT n.º 229, de 24 de maio de 2011, disponível no site do Tribunal Regional do Trabalho da 2ª Região SP (acesso em 27 mar. 2017), “As cores utilizadas nos locais de trabalho para identificar os equipamentos de segurança, delimitar áreas, identificar tubulações empregadas para a condução de líquidos e gases e advertir contra riscos, devem atender ao disposto nas normas técnicas oficiais”.

Portanto, a norma técnica oficial para a designação da cor para tubulações de ar comprimido é a NBR 6493/1994, que define a cor para essa aplicação sendo o Azul Segurança, que corresponde à classificação 2.5 PB 4/10 do sistema Munsell (ABNT/NBR-6493/1993).

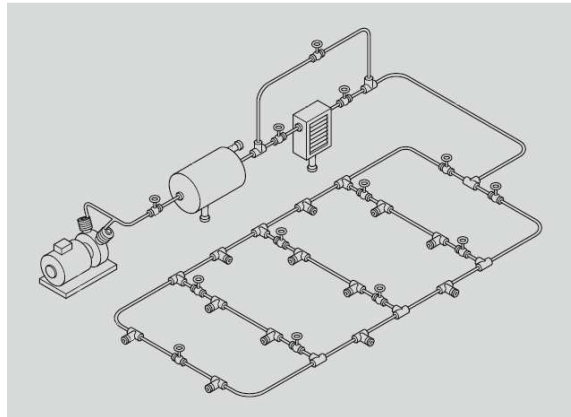
4.3.6 Layout

O layout deve se apresentar em escala ou desenho isométrico do local de estudo a fim de permitir a definição dos comprimentos das tubulações e a localização dos acessórios. O mesmo deve ser disposto de forma a atender todos os pontos de consumo de ar comprimido sem que ocorra queda de pressão nos pontos mais distantes (PARKER TRAINING, 2006).

4.3.6.1 Tipos de circuitos

Existem dois tipos de circuitos básicos para o layout de um sistema, o fechado e o aberto. O primeiro fornece uma pressão constante e uma distribuição uniforme de ar, pois flui nos dois sentidos. Este é indicado para situações onde se necessita de instalação de novos pontos de consumo não previstos (FIALHO, 2004). A figura 14 exemplifica um circuito do tipo fechado.

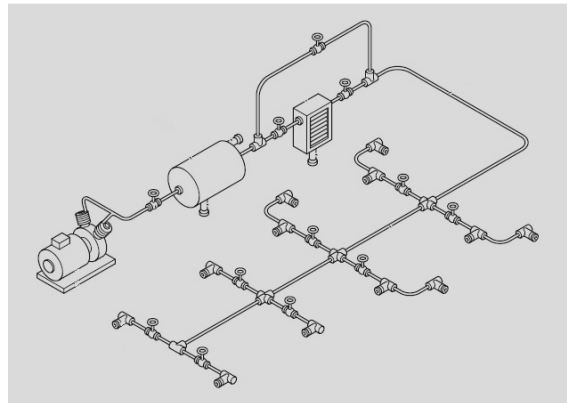
Figura 14 - Circuito tipo fechado



Fonte: Adaptado de Bosch, 2008.

O circuito do tipo aberto, mostrado na figura 15, fornece ar de forma desigual, pois flui em uma única direção. Esse tipo é indicado para abastecer pontos isolados e distantes e geralmente é aplicado em pequenas oficinas onde se tem um baixo consumo de ar comprimido (FIALHO, 2004).

Figura 15 - Circuito tipo aberto



Fonte: Adaptado de Bosch, 2008.

4.3.6.2 Ferramentas para elaboração do layout

É muito comum o emprego de softwares na elaboração do layout de um sistema de ar comprimido, mesmo porque alguns podem ser bastante extensos ou possuírem muitas curvas e derivações. Nesses casos, um programa que possibilite a visão tridimensional (3D) do sistema de distribuição é de extrema importância, pois confere uma facilidade na visão dos detalhes e modificação do todo ou de algumas partes em específico. Dentre os programas mais utilizados podemos citar o AutoCad.

O AutoCad, em particular, é um dos softwares mais completos que se pode encontrar no mercado, apresentando e desempenhando uma vasta gama de funções. Com essa ferramenta, pode-se realizar uma infinidade de desenhos ou projetos, independente do modelo, tamanho ou tipo, seja em 2D ou em 3D. Por esses e outros diversos motivos, o AutoCad é um dos mais empregados na indústria em geral.

4.4 VARIÁVEIS PARA UM DIMENSIONAMENTO

4.4.1 Pressão de regime

A pressão de regime (P) é definida no projeto conforme a necessidade. Em alguns casos, onde já exista um sistema em operação, a pressão de regime pode ser definida como a pressão que se encontra dentro do reservatório, e, então, utilizada nos cálculos do novo sistema. Esta pressão geralmente está entre 7 e 12 kgf/cm², e deve ser suficiente para suprir toda a demanda sem que ocorra queda de pressão acentuada ao longo das linhas (FIALHO, 2004).

4.4.2 Volume de ar corrente

O volume de ar corrente (Q), ou vazão, é a vazão mínima suficiente para atender toda a demanda considerando também um crescimento futuro e as perdas por vazamentos. É obtida por meio da soma das quantidades de ar consumido pelos equipamentos, ferramentas, laboratórios, etc (BOSCH, 2008).

4.4.2.1 Fator de previsão de crescimento

Para a previsão de crescimento futuro utiliza-se um fator multiplicador no volume de ar corrente do sistema para cada caso de dimensionamento uma vez que haja a possibilidade de expansão das instalações. Esse fator é arbitrário e cada projetista pode adotar um valor que julgue necessário (MACINTYRE, 2011).

4.4.2.2 Fator de utilização

Com o auxílio da experiência de operadores e mestres de oficinas, se estabelece o fator de utilização de um equipamento analisando sua constância de operação. Isso porque alguns equipamentos fazem uso ininterrupto de ar comprimido, outros podem trabalhar intermitentemente, e, já outros, utilizam apenas para ligar ou desligar dispositivos (MACINTYRE, 2011).

Esse fator indica o tempo de uso de ar comprimido de um equipamento em um determinado período de tempo. Portanto, multiplicando-se o fator de utilização pelo consumo máximo do equipamento, obtém-se o consumo máximo provável daquele trecho da linha (MACINTYRE, 2011).

4.4.3 Perda de carga admitida

A perda de carga admitida (ΔP) é a queda de pressão admitida que ocorre devido às perdas de cargas do sistema geradas por conexões, válvulas, trechos retos, curvas, etc. Seguindo uma boa prática, recomenda-se que se tenha um valor máximo de perda de carga igual a 0,3 bar, sendo do compressor até o ponto de consumo mais distante. Para a linha principal, é recomendada uma perda de carga máxima de 0,02 bar, para as linhas secundárias 0,08 bar, e um valor de 0,2 bar para as linhas de alimentação, considerando estes valores para cada 100 metros de tubo (ELETROBRÁS/PROCEL;EFFICIENTIA/FUPAI, 2005).

Porém, também é sugerido que se adote o valor dentro da faixa de 0,3 a 0,5 kgf/cm² para pontos de consumo que estejam até 500m do compressor, e a partir dessa medida, é adotado o valor de 0,5 kgf/cm². Para este caso, utiliza-se o mesmo valor da perda de carga admitida para os cálculos do diâmetro da linha principal, das linhas secundárias e das linhas de alimentação (FIALHO, 2004).

Seguindo-se outros parâmetros recomendados, sugere-se que seja adotado o valor de 0,2 kgf/cm² para a queda de pressão admitida na linha principal e nas linhas secundárias, e de 0,07 kgf/cm² para as linhas de alimentação (ROLLINS, 2004).

4.4.4 Vazamentos

Todos os sistemas de ar comprimido estão sujeitos a vazamentos. Em um sistema novo de distribuição de ar comprimido é comum o usuário estimar nos cálculos aproximadamente 5% do volume total de fornecimento que consiste em perdas; e os vazamentos e o atrito tendem a aumentar com o tempo de vida das instalações (BOSCH, 2008).

As válvulas, conexões, mangueiras mal vedadas, tubos corroídos e sem manutenção, assim como outros fatores, são os responsáveis por enormes proporções de vazamentos em um sistema pneumático. Um método simples para saber a ordem de grandeza dessas perdas é interromper

todo o consumo do sistema de alimentação de ar comprimido e manter o compressor em carga até as linhas de distribuição chegarem à pressão de trabalho. Dessa forma, o compressor deveria entrar em alívio por não haver consumo de ar. Se caso existirem vazamentos, a pressão cairá e o compressor tornará a comprimir. Portanto, tendo o conhecimento dos tempos de carga/alívio e vazão efetiva do compressor, pode-se deduzir a magnitude total dos vazamentos (METALPLAN, 2010).

Vale ressaltar que identificar e eliminar ou pelo menos reduzir os vazamentos de ar comprimido é uma das maneiras eficientes de economizar energia (METALPLAN, 2010).

4.4.5 Comprimentos equivalentes

4.4.5.1 Trechos retos

O comprimento total dos trechos retos é obtido por meio da soma dos trechos retos contidos nas linhas de distribuição de ar comprimido (FIALHO, 2004), conforme equação 5.

$$L_r = \sum_1^i L_i \quad (5)$$

Onde:

- L_r = Comprimento total dos trechos retos (m);
- L_i = Comprimento do trecho reto (m).

4.4.5.2 Singularidades

As singularidades são os acessórios, como por exemplo, válvulas, conexões, curvas, etc, contidos ao longo das linhas, e em muitos casos elas são responsáveis pela maior parcela de perda de carga do sistema. O comprimento equivalente de cada acessório pode ser obtido

através das tabelas de comprimento de tubo equivalente à perda de carga por singularidades (FIALHO, 2004) (ANEXO B).

O comprimento equivalente total das singularidades é encontrado através da soma do comprimento equivalente de cada singularidade contida na linha, de acordo com a equação 6.

$$L_e = \sum_1^j L_j \quad (6)$$

Onde:

- L_e = Comprimento equivalente total das singularidades (m);
- L_j = Comprimento equivalente da singularidade (m).

4.4.5.3 Comprimento equivalente total

O comprimento equivalente total (L_t) é determinado através da soma do comprimento total dos trechos retos (L_r) e do comprimento equivalente total das singularidades (L_e) (FIALHO, 2004), conforme equação 7.

$$L_t = L_r + L_e \quad (7)$$

Onde:

- L_t = Comprimento equivalente total (m);
- L_r = Comprimento total dos trechos retos (m);
- L_e = Comprimento equivalente total das singularidades (m).

5 METODOLOGIA

5.1 COLETA DE DADOS

Todos os dados necessários aos cálculos foram obtidos por meio de visitas técnicas realizadas nas dependências do Sesi/Senai de Aracruz (ES), mediante autorização (ANEXO C).

As medidas dos laboratórios foram tomadas fazendo-se uso de uma fita métrica, dessa forma, puderam-se conhecer as dimensões do local para a elaboração do layout atual e do proposto.

A lista de equipamentos e a necessidade de consumo foram fornecidas pelos técnicos responsáveis pelos laboratórios da instituição. Mediante a listagem verificou-se nos manuais de cada equipamento dados relevantes como pressão de trabalho e consumo de ar, porém, para alguns não foi possível encontrar o consumo de ar, sendo necessário estipular os valores a partir de equipamentos similares.

5.2 REDEFINIÇÃO DO LAYOUT

Decidiu-se adotar o circuito do tipo fechado, pois as vantagens apresentadas pela Parker Training (2006) mostraram que este é mais indicado que o circuito do tipo aberto para aplicação no contexto da instituição.

O novo layout propõe um arranjo apropriado da rede a fim de garantir:

- diminuição de perdas de carga;
- eliminação de curvas ou derivações desnecessárias;
- fornecimento uniforme de ar em todos os pontos de consumo;
- redução do acúmulo de condensado; e

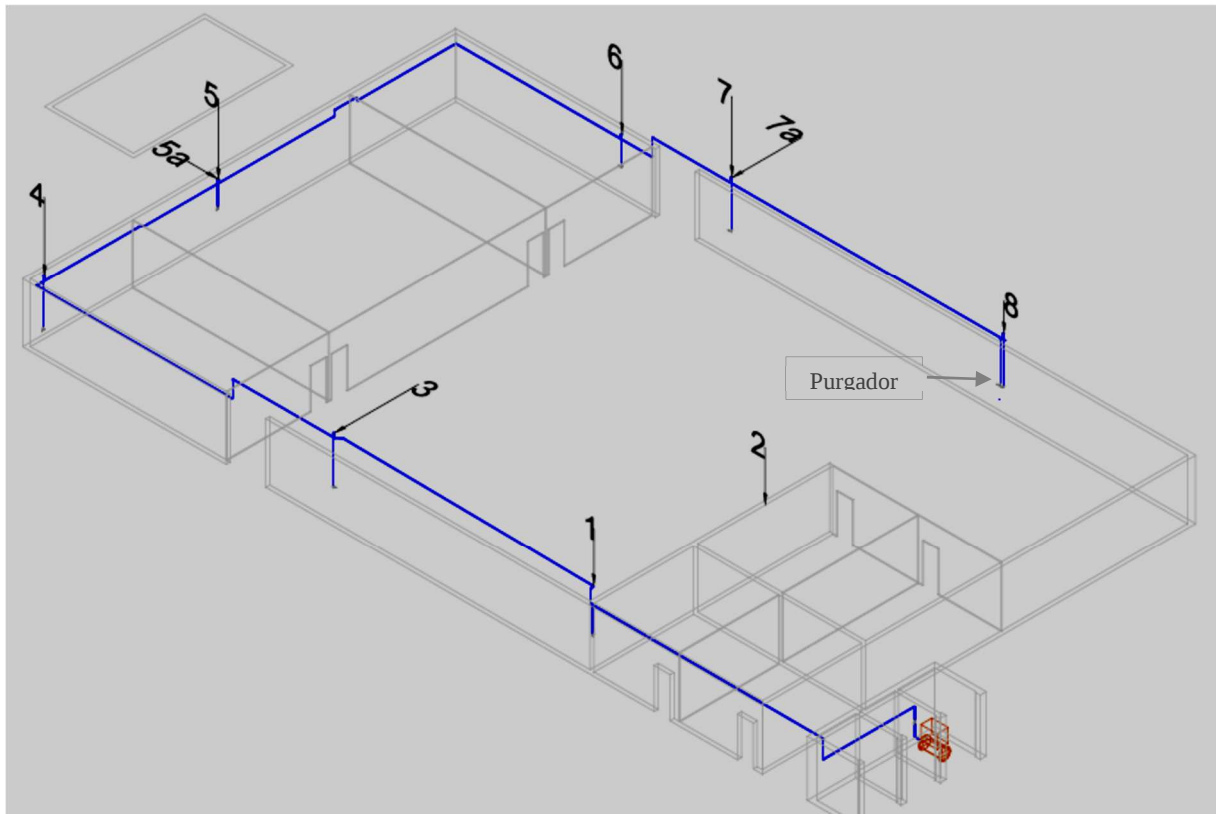
- inserção de pontos de consumo onde eram inexistentes ou insuficientes, principalmente nos pontos distantes que ficam em regiões anexas ao galpão onde se encontra a linha principal.

Para a elaboração do layout antigo, layout proposto e outros detalhes, fez-se uso do software AutoCad 2012.

A figura 16 apresenta o layout do sistema antigo, onde é possível verificar diversas irregularidades:

- há um excesso de curvas ao longo da linha principal;
- faltam purgadores ao final das linhas de alimentação;
- existe apenas 1 purgador na linha principal, sendo ao final da mesma, ao lado do ponto de consumo 8;
- a linha principal passa por dentro das salas, sendo necessários desvios;
- devido à queda existente entre os pontos de consumo 3 e 6, o condensado fica retido no trecho;
- a elevação no ponto de consumo 1 resulta no acúmulo de condensado no ponto;
- as duas elevações consecutivas e sem queda posterior, após a saída do compressor, resulta no retorno e acúmulo de condensado no reservatório; e
- falta de linhas de alimentação que leve ar comprimido da linha principal até os pontos de consumo 2, 5a (condução até o elevador de carros) e 7a (condução até o laboratório de pneumática).

Figura 16 - Layout do sistema antigo

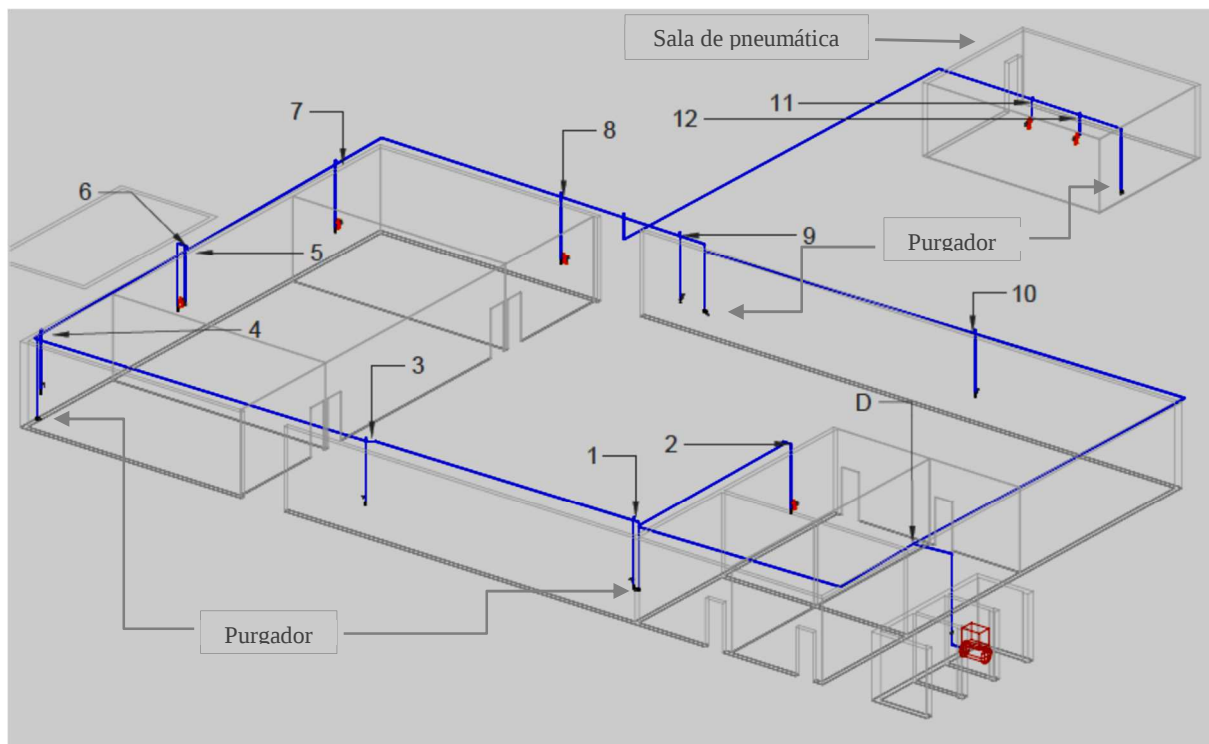


Fonte: Autores.

No layout do sistema proposto (figura 17) verifica-se que:

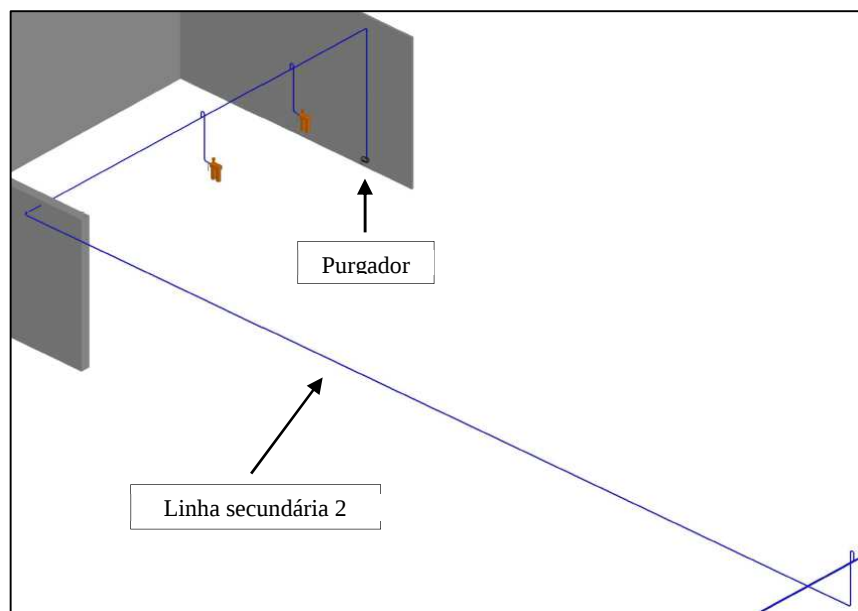
- trata-se de um circuito fechado;
- a linha principal é instalada acima das salas;
- não há curvas desnecessárias;
- existe 1 purgador ao final de cada linha de alimentação;
- Existem 3 purgadores ao longo da linha principal (entre os pontos 1 e 2, 4 e 5, 9 e 10), e 1 purgador ao final da linha secundária 2, após os pontos 11 e 12 (figura 20);
- há uma queda posterior à elevação na saída do reservatório;
- há quedas em todos os trechos retos que direcionam o condensado para os purgadores;
- há tubulação que conduz ar comprimido até a sala de pneumática (figura 18), o ponto de consumo 2 (figura 19) e o elevador de carros (ponto de consumo 6);
- existe um ponto de purga (purgador 1) instalado antes do ponto de consumo 1, onde havia acúmulo de condensado (figura 20).

Figura 17 - Layout do sistema proposto



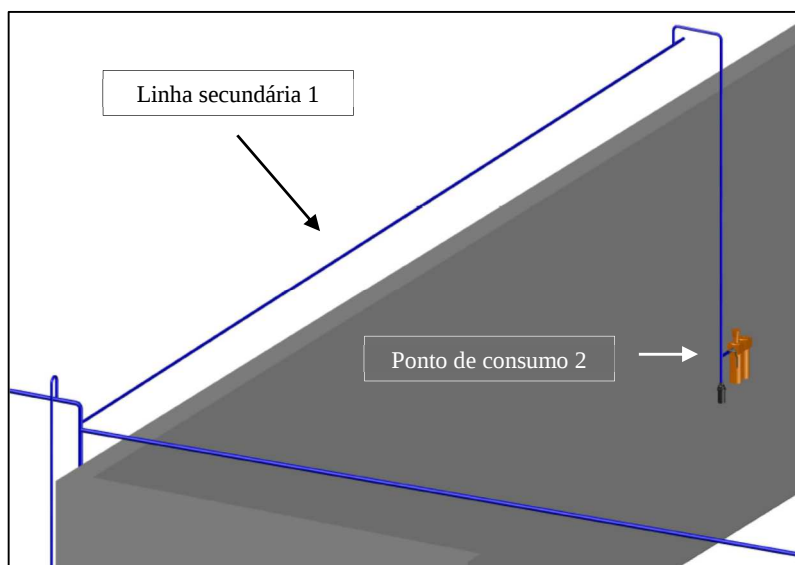
Fonte: Autores.

Figura 18 – Detalhe da linha secundária 2



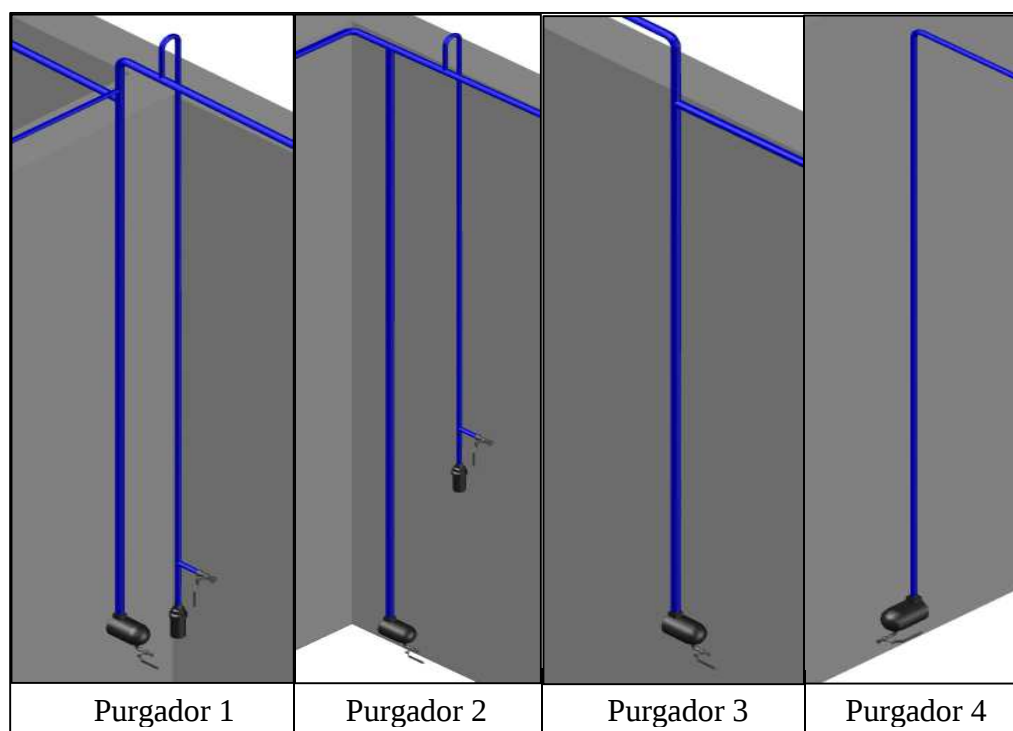
Fonte: Autores.

Figura 19 – Detalhes da linha secundária 1 e do ponto de consumo 2



Fonte: Autores.

Figura 20 – Detalhes dos purgadores 1 a 4



Fonte: Autores.

As medidas dos trechos de todas as linhas do circuito existente são encontradas nas figuras 21 a 25 do APÊNDICE A, e do circuito proposto são apresentadas nas figuras 26 a 39 do APÊNDICE B.

5.3 VAZÃO DO SISTEMA OU VOLUME DE AR CORRENTE

O volume de ar corrente pôde ser obtido mediante o levantamento do quantitativo e o tipo de equipamento pneumático, a vazão¹, pressão de trabalho, conforme manuais do fabricante, além do fator de utilização de cada um. Os dados coletados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Lista dos consumidores

Item	Equipamento	Quantidade (unid)	Pressão de trabalho (bar)	Consumo unitário (m³/h)	Fator de uso (h/h)	Consumo total (m³/h)
1	Bico de limpeza	5	7	30	0,1	15
2	Centro de usinagem	1	7	30	0,3	9
3	Atuador 1	1	7	0,195	0,3	0,0585
4	Atuador 2	2	7	0,054	1	0,108
5	Atuador 3	6	7	0,1	0,25	0,15
6	Gabinete de jateamento	1	7	39	0,4	15,6
7	Máq. corte a plasma	1	5,2	12,72	0,3	3,816
8	Máq. ensaios mecânicos	1	7	20	0,2	4
9	Torno CNC	1	7	19,8	0,2	3,96
Total						51,69
Total (l/min)						861,54

Fonte: Autores.

Para se evitar perda de pressão por possíveis vazamentos no novo circuito, adicionou-se também mais 5% na vazão total.

Nota: A instituição possui um laboratório de pneumática, porém a lista de seus consumidores não é apresentada na tabela 1. Isso se deve ao fato de que os equipamentos possuem um consumo extremamente baixo e são utilizadas apenas algumas unidades durante as aulas e em

¹ As vazões dos itens 2, 7, 8 e 9, da tabela 1, foram estipuladas ou aproximadas conforme equipamentos similares devido à impossibilidade de acesso aos manuais técnicos.

um curto período de tempo. No entanto, estimou-se um consumo total do laboratório para 6 atuadores lineares que possuem vazão unitária de 0,1 m³/h (Atuador 3).

5.4 FATOR DE PREVISÃO DE CRESCIMENTO

Para o fator de previsão de crescimento futuro adotou-se o valor de 1,25, ou seja, a demanda de ar para os cálculos é aumentada em 25%. Esse fator possibilita um cálculo onde a vazão seja superior à vazão necessária em vista de possibilidade de ampliações das instalações ou inserção de novos equipamentos.

A tabela 2 apresenta o consumo total corrigido que considera os fatores mencionados, sendo, fator para vazamentos (5%) e fator de previsão de crescimento (25%).

Tabela 2 - Lista dos consumidores com consumo final corrigido

Item	Equipamento	Quantidade (unid)	Consumo total (m ³ /h)	Consumo total corrigido (m ³ /h)
1	Bico de limpeza	5	15	19,845
2	Centro de usinagem	1	9	11,907
3	Atuador 1	1	0,0585	0,077
4	Atuador 2	2	0,108	0,143
5	Atuador 3	6	0,15	0,198
6	Gabinete de jateamento	1	15,6	20,639
7	Máq. corte a plasma	1	3,816	5,049
8	Máq. ensaios mecânicos	1	4	5,292
9	Torno CNC	1	3,96	5,239
Total			51,69	68,39
Total (l/min)			861,54	1139,82

Fonte: Autores.

5.5 VOLUME DO RESERVATÓRIO

Conforme recomendação da Parker Training (2006), calculou-se o volume mínimo do reservatório através da equação 1 (Seção 4.2.6.1, página 24), pois se trata de um método de cálculo mais objetivo e que independe de condições muito específicas, depende apenas da vazão.

$$V = 0,1 \times Q \quad (1)$$

Onde:

- V = Volume do reservatório (m^3);
- Q = Volume de ar corrente (m^3/min).

5.6 PRESSÃO DE REGIME (P)

A pressão de regime foi definida através da pressão indicada no manômetro acoplado ao reservatório do compressor, nesse caso, o valor de 11 bar. Essa pressão também pode ser encontrada no manual do equipamento.

5.6.1 Compressor de parafuso

A instituição possui um compressor do tipo parafuso, mostrada na figura 1 (Seção 4.2.1, página 19), cujo modelo é o SRP 3015 Compact do fabricante Schulz. A tabela 3 apresenta os dados do compressor.

Tabela 3 - Características técnicas do Compressor Schulz SRP 3015 compact

Característica	Unidade	Unidade
Potência do motor	15 hp	11 kW
Nº de pólos	2	-
Pressão nominal	11 bar	160 psi
Vazão efetiva	45 pcm	1274 l/min
Conexão de descarga	3/4"	-
Volume do reservatório	200 l	-
Volume de óleo	5,2 l	-
Peso líquido	195 kg	-
Dimensões	136 cm x 139,2 cm x 60,5 cm	-

Fonte: Adaptado do catálogo de Compressor Rotativo SRP3015 Compact II. Schulz Compressores, 2013.

Por meio dessa tabela, analisando-se as medidas de vazão e volume do reservatório, conseguiu-se verificar se o compressor e o reservatório seriam capazes de suprir a demanda de ar comprimido da instituição, apresentada na Tabela 2 (seção 5.4, página 42).

5.7 QUEDA DE PRESSÃO ADMITIDA (ΔP)

Para a queda de pressão admitida na linha principal, nas linhas secundárias e de alimentação, optou-se em adotar o valor de 0,3 kgf/cm² visando um melhor desempenho da rede, conforme Fialho (2004). Outro fator para a escolha desse valor é o tamanho da rede que pode ser considerada pequena. Este valor foi considerado apenas no primeiro método de dimensionamento.

Tratando-se do segundo método de dimensionamento, adotou-se um valor de 0,2 kgf/cm² para a queda de pressão das linhas principal e secundárias. O valor adotado para a queda de pressão admitida nas linhas de alimentação é de 0,07 kgf/cm², conforme sugerido por Rollins (2004).

5.8 COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

5.8.1 Trechos retos

O comprimento total dos trechos retos (L_r) do layout atual foi encontrado por meio do somatório das medidas dos trechos da linha principal, assim como o comprimento dos trechos retos de cada ponto de alimentação, observando-se que o sistema existente não possui linhas secundárias.

Para o layout proposto, determinou-se o comprimento total dos trechos retos (L_r) somando-se as medidas dos trechos retos da linha principal para o cálculo do diâmetro desta linha. Da mesma forma se procedeu para as 2 linhas secundárias e para os 12 pontos de alimentação.

Os comprimentos de todos os trechos retos foram calculados conforme a equação 5 (Seção 4.4.5.1, página 34).

5.8.2 Singularidades

O comprimento equivalente total (L_e) foi determinado somando-se os comprimentos equivalentes de cada singularidade presente na rede pneumática (Seção 4.4.5.2, página 34). Os comprimentos equivalentes foram encontrados verificando-se as tabelas de comprimento de tubo equivalente à perda de carga por singularidades, conforme sugerida por Fialho (2004) (ANEXO B).

Estes comprimentos equivalentes foram calculados tanto para o layout proposto quanto para o existente na instituição.

5.8.3 Comprimento equivalente total (Lt)

O comprimento equivalente total de cada trecho dos layouts foi encontrado conforme a equação 7 (Seção 4.4.5.3, página 35).

5.9 DIMENSIONAMENTO

5.9.1 Métodos

Neste trabalho utilizaram-se dois métodos de cálculos diferentes para se alcançar os resultados dos diâmetros das tubulações. Os métodos são abordados nas seções 5.9.1.1 e 5.9.1.2 seguintes.

Nota: Durante os cálculos os resultados parciais obtidos foram normalizados para as medidas de tubos comerciais. Para a normalização, analisaram-se os diâmetros encontrados na tabela de diâmetro de tubo de aço para condução de fluidos e outros afins, conforme Fialho (2004) (ANEXO A).

Ao término dos dimensionamentos, os resultados finais foram comparados.

5.9.1.1 Primeiro método

Neste primeiro método utilizou-se a equação 8, sugerida por Fialho (2004) e utilizada por Bortolin (2014).

$$d = 10 \times \sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times Q^{1,85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \quad (8)$$

Onde:

- d = Diâmetro interno (mm);
- Q = Volume de ar corrente (m^3/h);
- L_t = Comprimento total da linha (m);
- ΔP = Queda de pressão admitida (kgf/cm^2);
- P = Pressão de regime (kgf/cm^2).

Por meio dessa equação, conhecendo-se todas as variáveis nela contidas, chegaram-se aos resultados parciais e finais das medidas dos tubos.

5.9.1.2 Segundo método

Para este método, faz-se uso da equação 9, muito empregada para escoamento de ar comprimido e gases combustíveis. A mesma é denominada equação de Weymouth, sugerida por Telles (1999).

$$Q = 18,062 \times \frac{T_0}{P_0} \times \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) \times d^{5,33}}{\gamma \times T \times L}} \quad (9)$$

Onde:

- Q = Vazão, nas condições de T_0 e P_0 (pes^3/h);
- T_0, P_0 = Temperatura e pressão de referência ($^{\circ}F$ absolutos, psia);
- P_1, P_2 = Pressões nos extremos das tubulações (psia);
- d = Diâmetro interno do tubo (pol);
- γ = Densidade do gás em relação ao ar na temperatura de escoamento;
- T = Temperatura de escoamento ($^{\circ}F$ absolutos);
- L = Comprimento equivalente da tubulação (milhas terrestres).

Porém, para o presente trabalho consideraram-se condições padrões, onde:

- $T = T_0 = 60^\circ\text{F} + 460$;
- $P_0 = 14,7 \text{ psia}$.

Logo, a equação pôde ser simplificada para a forma abaixo, gerando a equação 10, utilizada por Pacco (2013).

$$Q = 27,95 \times \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) \times d^{5,33}}{L_t}} \quad (10)$$

Onde:

- Q = Vazão ($\text{pé}^3/\text{h}$);
- P_1, P_2 = Pressões nos extremos das tubulações (psia);
- d = Diâmetro interno do tubo (pol);
- L_t = Comprimento equivalente da tubulação (milhas terrestres).

Fazendo as devidas manipulações na equação e isolando a variável d , pôde-se chegar de forma direta aos resultados parcial e final dos diâmetros das tubulações.

Nesse método, para o início dos cálculos, P_1 equivale à pressão de regime e a perda de carga admitida, que varia para cada tipo de linha, equivale à diferença entre P_1 e P_2 , conforme a equação 11. Dessa forma obtém-se P_2 , que é admitido como P_1 para o cálculo do próximo trecho da linha.

$$P_2 = P_1 - \Delta P \quad (11)$$

Onde:

- P_1 = Pressão no início da tubulação (kgf/cm^2);

- P_2 = Pressão no final da tubulação (kgf/cm²);
- ΔP = Queda de pressão admitida (kgf/cm²).

5.10 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a realização dos dimensionamentos por meio dos dois métodos apresentados, fez-se um comparativo dos resultados obtidos, que foram inseridos em uma tabela para se ter uma melhor visualização.

5.11 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Fez-se apenas o levantamento do custo de aquisição do material, pois no caso de uma possível instalação, esta será realizada pelos próprios funcionários da instituição.

Os orçamentos das tubulações e suas conexões foram realizados com base no menor diâmetro encontrado para a linha principal independentemente do método. Isso se deve ao fato de a tubulação principal apresentar um maior comprimento, gerando uma parcela considerável no custo total do orçamento de todos os itens do sistema.

Baseando-se no layout proposto, os seguintes acessórios também foram considerados no orçamento:

- 1 purgador automático em cada linha de alimentação, com exceção das linhas 11 e 12;
- 3 purgadores automáticos ao longo da linha principal e 1 na linha secundária 2; e
- unidade de condicionamento (LUBRIFIL) apenas nas linhas de alimentação 2, 3, 6, 7, 8, 11 e 12.

5.12 COMPARAÇÃO DAS PERDAS DE CARGA DOS SISTEMAS EXISTENTE E PROPOSTO

As perdas de carga de um sistema pneumático são basicamente as perdas de pressão. Portanto, para calcular as perdas de pressão do sistema existente mede-se a pressão na saída de cada ponto de consumo com o auxílio de um manômetro. A diferença de pressão entre um ponto de consumo e o reservatório do compressor representa a perda de carga para aquele trecho.

As perdas de pressão do sistema proposto foram obtidas nas tabelas que apresentam os resultados dos dimensionamentos das linhas pelo segundo método. A diferença entre os valores de P_{2a} de cada ponto de consumo e a pressão de regime define a perda de pressão até aquele ponto.

Com a obtenção das perdas de cargas dos dois sistemas foi possível compará-los, e, então, mensurar a eficiência do sistema proposto em relação ao sistema atual.

6 RESULTADOS

6.1 CAPACIDADE DO COMPRESSOR E VOLUME DO RESERVATÓRIO

Analisando-se a tabela 3 (Seção 5.6.1, página 43), verificou-se que a vazão de 1274 l/min do compressor, é superior à vazão de 1139,82 l/min calculada para o sistema (Tabela 2, seção 5.4, página 42). Então, o compressor é apropriado para atender à demanda de ar comprimido da instituição.

Quanto ao reservatório, a tabela 3, usado anteriormente, apresenta um valor de 200 l para a capacidade de armazenamento de ar comprimido. Calculando-se essa capacidade utilizando a vazão calculada para o sistema, mediante a equação 1 (Seção 4.2.6.1, página 24), tem-se V igual a 113,98 l.

Comparando os dois valores obtidos, verifica-se que o volume do reservatório do compressor é maior que o volume calculado, portanto, o reservatório também atende às necessidades do sistema de ar comprimido.

6.2 DIMENSIONAMENTO PELO PRIMEIRO MÉTODO

6.2.1 Linha principal

Para o dimensionamento desta linha utilizou-se as variáveis já identificadas no capítulo 5, sendo:

- $Q = 68,39 \text{ m}^3/\text{h}$;
- $\Delta P = 0,3 \text{ kgf/cm}^2$;
- $P = 11,22 \text{ kgf/cm}^2$;
- $L_r = 123,63 \text{ m}$.

O comprimento total dos trechos retos da linha (L_r), assim como os demais comprimentos equivalentes de cada trecho reto da mesma, são mostrados na tabela 18 (APÊNDICE D).

Como a princípio não se tem os valores das perdas por singularidades, o cálculo se realiza considerando apenas os trechos retos. Então, substituindo-se os valores na equação 8:

$$d = 10 \times \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 68,39^{1,85} \times 123,63}{0,3 \times 11,22}} \right]$$

$$d = 27,304mm$$

O diâmetro encontrado é normalizado para um diâmetro comercial, sendo 1.1/4", e utilizado como valor de referência para encontrar as perdas de carga por singularidades, conforme tabelas do ANEXO B. A tabela 19 (APÊNDICE D) mostra as singularidades existentes na linha indicando seus comprimentos equivalentes para o diâmetro de 1.1/4", que se encontra normalizado.

Com o valor total das perdas de cargas por singularidades têm-se o L_e , que somado com o L_r , obtém-se o valor de L_t , conforme aplicação na equação 7:

$$L_t = 123,63 + 30,98$$

$$L_t = 154,61m$$

Substituindo-se novamente na equação 8:

$$d = 10 \times \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \times 10^{-3} \times 68,39^{1,85} \times 154,61}{0,3 \times 11,22}} \right]$$

$$d = 28,552mm$$

$$d = 1.1/4'' (Normalizado)$$

Analisando-se o novo valor do diâmetro por meio da tabela do ANEXO A, nota-se que o mesmo se encontra dentro da faixa de valor utilizado como referência anteriormente. Logo, o diâmetro encontrado corresponde ao tubo de 1.1/4”.

O procedimento desta seção é o mesmo que se aplica para os dimensionamentos das linhas secundárias e de alimentação, porém observando-se as características particulares de cada uma, como por exemplo, vazão, comprimento dos trechos retos e singularidades.

6.2.2 Linhas secundárias

Os resultados encontrados para as linhas secundárias são mostrados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos dimensionamentos das linhas secundárias

Variável	Linha secundária 1	Linha secundária 2
Q (m³/h)	5,292	0,198
ΔP (kgf/cm²)	0,3	0,3
P (kgf/cm²)	11,22	11,22
L _r (m)	8,93	31,44
d ₁ (mm)	6,262	2,388
d ₁ (pol)	1/4	1/4
L _e (m)	0,52	4,15
L _t (m)	9,45	35,59
d ₂ (mm)	6,334	2,448
d ₂ (pol)	1/4	1/4

Fonte: Autores.

Observações:

- os valores de Q são encontrados na tabela 17 (APÊNDICE C);
- o valor de P é encontrado na tabela 3 (Seção 5.6.1, página 43);
- os valores de L_r são encontrados na tabela 20 (APÊNDICE E);
- os valores de d_1 e d_2 normalizados são encontrados no ANEXO A;
- os valores de L_e são encontrados na tabela 21 (APÊNDICE E).

6.2.3 Linhas de alimentação

Os resultados encontrados para as linhas de alimentação são mostrados nas tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 1 a 4

Variável	Linha de alimentação 1	Linha de alimentação 2	Linha de alimentação 3	Linha de alimentação 4
Q (m ³ /h)	3,969	5,292	20,639	3,969
ΔP (kgf/cm ²)	0,3	0,3	0,3	0,3
P (kgf/cm ²)	11,22	11,22	11,22	11,22
L_r (m)	2,7	3,05	2,57	2,41
d_1 (mm)	4,432	5,051	8,076	4,332
d_1 (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
L_e (m)	2,6	2,84	2,6	2,6
L_t (m)	5,3	5,89	5,17	5,01
d_2 (mm)	5,072	5,762	9,288	5,015
d_2 (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4

Fonte: Autores.

Tabela 6 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 5 a 8

Variável	Linha de alimentação 5	Linha de alimentação 6	Linha de alimentação 7	Linha de alimentação 8
Q (m ³ /h)	3,969	0,22	11,907	5,239
ΔP (kgf/cm ²)	0,3	0,3	0,3	0,3
P (kgf/cm ²)	11,22	11,22	11,22	11,22
L _r (m)	2,68	2,78	2,75	2,75
d ₁ (mm)	4,425	1,529	6,679	4,929
d ₁ (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
L _e (m)	3,47	2,17	2,6	2,6
L _t (m)	6,15	4,95	5,35	5,35
d ₂ (mm)	5,225	1,716	7,63	5,631
d ₂ (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4

Fonte: Autores.

Tabela 7 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 9 a 12

Variável	Linha de alimentação 9	Linha de alimentação 10	Linha de alimentação 11	Linha de alimentação 12
Q (m ³ /h)	3,969	3,969	0,01	0,01
ΔP (kgf/cm ²)	0,3	0,3	0,3	0,3
P (kgf/cm ²)	11,22	11,22	11,22	11,22
L _r (m)	2,71	2,57	1,17	1,15
d ₁ (mm)	4,435	4,388	0,410	0,408
d ₁ (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
L _e (m)	2,6	2,6	1,97	1,97
L _t (m)	5,31	5,17	3,14	3,12
d ₂ (mm)	5,074	5,047	0,499	0,498
d ₂ (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4

Fonte: Autores.

Observações:

- os valores de Q são encontrados na tabela 17 (APÊNDICE C);
- o valor de P é encontrado na tabela 3 (Seção 5.6.1, página 43);
- os valores de L_r são encontrados na tabela 22 (APÊNDICE F);
- os valores de d_1 e d_2 normalizados são encontrados no ANEXO A;
- os valores de L_e são encontrados nas tabelas 23 a 34, consecutivamente (APÊNDICE F).

6.3 DIMENSIONAMENTO PELO SEGUNDO MÉTODO

6.3.1 Linha principal

Para esse caso, as variáveis conhecidas são:

- $Q = 68,39 \text{ m}^3/\text{h}$;
- $\Delta P = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$
- $P_1 = 12,253 \text{ kgf/cm}^2$ absolutos;
- $L_r = 123,63 \text{ m}$.

O comprimento total dos trechos retos da linha (L_r) é mostrado na tabela 18 (APÊNDICE D).

Para encontrar o valor de P_2 considera-se uma queda de pressão admitida de $0,2 \text{ kgf/cm}^2$, conforme recomendação de Rollins (2004). Aplicando-se a equação 11:

$$P_2 = 12,253 - 0,2$$

$$P_2 = 12,053 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

Obtido P_2 , substituem-se na equação 10 as variáveis encontradas, já convertidas para as unidades necessárias, considerando-se, a princípio apenas os trechos retos da linha.

$$2415,17 = 27,95 \times \sqrt{\frac{(174,274^2 - 171,430^2) \times d^{5,33}}{0,07682031}}$$

$$d = 0,904''$$

O diâmetro encontrado é normalizado para um diâmetro comercial, sendo 1", e utilizado como valor de referência para encontrar as perdas de carga por singularidades, conforme tabelas do ANEXO B. A tabela 35 (APÊNDICE G) mostra as singularidades existentes na linha indicando seus comprimentos equivalentes para o diâmetro de 1", que se encontra normalizado.

Com o valor total das perdas de cargas por singularidades têm-se o L_e , que somado com o L_r , obtém-se o valor de L_t , conforme aplicação na equação 7:

$$L_t = 123,63 + 23,32$$

$$L_t = 146,95m$$

Logo, substituiu-se novamente na equação 10, após conversão apropriada das variáveis. Porém, nessa etapa será encontrado o valor de P_2 . O valor do diâmetro utilizado é o que foi encontrado e normalizado.

$$2415,17 = 27,95 \times \sqrt{\frac{(174,274^2 - P_2^2) \times 1^{5,33}}{0,09131072}}$$

$$P_2 = 172,306 \text{ psia}$$

Aplicando-se o novo valor P_2 na equação 11:

$$172,306 = 174,274 - \Delta P$$

$$\Delta P = 1,968 \text{ psia}$$

$$\Delta P = 0,138 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

O diâmetro comercial para essa tubulação é de 1", pois nota-se que ΔP está dentro do limite de 0,2 kgf/cm², recomendado por Rollins (2004). O valor de P_2 , por sua vez, será adotado como P_1 para os cálculos das duas linhas secundárias e das linhas de alimentação dos pontos de consumo 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Novamente, o procedimento desta seção é o mesmo que se aplica para os dimensionamentos das linhas secundárias e de alimentação, porém, também se observam as características particulares de cada uma, como por exemplo, vazão, comprimento dos trechos retos, singularidades, perda de carga admissível e P_2 .

6.3.2 Linhas secundárias

Os resultados encontrados para as linhas secundárias são mostrados na tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos dimensionamentos das linhas secundárias

(continua)

Variável	Linha secundária 1	Linha secundária 2
Q (m ³ /h)	5,292	0,198
ΔP (kgf/cm ²)	0,2	0,2
P_1 (kgf/cm ²)	12,115	12,115
P_2 (kgf/cm ²)	11,915	11,915
L_r (m)	8,93	31,44

(conclusão)

Variável	Linha secundária 1	Linha secundária 2
d_1 (pol)	0,212	0,078
d_{1N} (pol)	1/4	1/4
L_e (m)	0,52	4,15
L_t (m)	9,45	35,59
d_2 (pol)	0,222	0,079
d_{2N} (pol)	1/4	1/4
P_{2a} (kgf/cm ²)	12,028	12,115
ΔP_a (kgf/cm ²)	0,087	5×10^{-4}

Fonte: Autores.

Observações:

- os valores de Q são encontrados na tabela 17 (APÊNDICE C);
- os valores de L_r são encontrados na tabela 20 (APÊNDICE E);
- os valores de d_1 e d_2 normalizados são encontrados no ANEXO A;
- os valores de L_e são encontrados na tabela 21 (APÊNDICE E).

6.3.3 Linhas de alimentação

Os resultados encontrados para as linhas de alimentação são mostrados nas tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 1 a 4

Variável	Linha de alimentação 1	Linha de alimentação 2	Linha de alimentação 3	Linha de alimentação 4
Q (m ³ /h)	3,969	5,292	20,639	3,969
ΔP (kgf/cm ²)	0,07	0,07	0,07	0,07
P ₁ (kgf/cm ²)	12,115	12,028	12,115	12,115
P ₂ (kgf/cm ²)	12,045	11,958	12,045	12,045
L _r (m)	2,7	3,05	2,57	2,41
d ₁ (pol)	0,185	0,211	0,340	0,181
d _{1N} (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
L _e (m)	2,6	2,84	2,6	2,6
L _t (m)	5,3	5,89	5,17	5,01
d ₂ (pol)	0,210	0,239	0,387	0,207
d _{2N} (pol)	1/4	1/4	3/8	1/4
P _{2a} (kgf/cm ²)	12,088	11,973	12,032	12,089
ΔP_a (kgf/cm ²)	0,027	0,055	0,083*	0,026

Fonte: Autores.

*O valor encontrado está fora do parâmetro recomendado por Rollins (2004) e deverá ser recalculado.

Tabela 10 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 5 a 8

(continua)

Variável	Linha de alimentação 5	Linha de alimentação 6	Linha de alimentação 7	Linha de alimentação 8
Q (m ³ /h)	3,969	0,22	11,907	5,239
ΔP (kgf/cm ²)	0,07	0,07	0,07	0,07
P ₁ (kgf/cm ²)	12,115	12,115	12,115	12,115
P ₂ (kgf/cm ²)	12,045	12,045	12,045	12,045
L _r (m)	2,68	2,78	2,75	2,75
d ₁ (pol)	0,185	0,063	0,280	0,206
d _{1N} (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
L _e (m)	3,47	2,17	2,6	2,6

Tabela 10 – Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 5 a 8

(conclusão)

Variável	Linha de alimentação 5	Linha de alimentação 6	Linha de alimentação 7	Linha de alimentação 8
L_t (m)	6,15	4,95	5,35	5,35
d_2 (pol)	0,216	0,070	0,317	0,233
d_{2N} (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
P_{2a} (kgf/cm ²)	12,083	12,115	11,864	12,067
ΔP_a (kgf/cm ²)	0,032	$7,8 \times 10^{-5}$	0,251*	0,048

Fonte: Autores.

*O valor encontrado está fora do parâmetro recomendado por Rollins (2004) e deverá ser recalculado.

Tabela 11 - Resultados dos dimensionamentos das linhas de alimentação 9 a 12

Variável	Linha de alimentação 9	Linha de alimentação 10	Linha de alimentação 11	Linha de alimentação 12
Q (m ³ /h)	3,969	3,969	0,01	0,01
ΔP (kgf/cm ²)	0,07	0,07	0,07	0,07
P_1 (kgf/cm ²)	12,115	12,115	12,115*	12,115*
P_2 (kgf/cm ²)	12,045	12,045	12,045	12,045
L_r (m)	2,71	2,57	1,17	1,15
d_1 (pol)	0,185	0,183	0,017	0,017
d_{1N} (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
L_e (m)	2,6	2,6	1,97	1,97
L_t (m)	5,31	5,17	3,14	3,12
d_2 (pol)	0,210	0,209	0,020	0,020
d_{2N} (pol)	1/4	1/4	1/4	1/4
P_{2a} (kgf/cm ²)	12,088	12,088	12,115	12,115
ΔP_a (kgf/cm ²)	0,027	0,027	1×10^{-7}	1×10^{-7}

Fonte: Autores.

*Os valores permaneceram os mesmos, pois a queda de pressão da linha secundária é desprezível.

Os diâmetros das linhas de alimentação 3 e 7 foram recalculados por estarem fora dos parâmetros recomendados por Rollins (2004), e os resultados são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Resultados dos redimensionamentos das linhas de alimentação 3 e 7

Variável	Linha de alimentação 3	Linha de alimentação 7
Q (m ³ /h)	20,639	11,907
ΔP (kgf/cm ²)	0,07	0,07
P ₁ (kgf/cm ²)	12,115	12,115
P ₂ (kgf/cm ²)	12,045	12,045
L _r (m)	2,57	2,75
d ₁ (pol)	0,340	0,280
d _{1N} (pol)	1/4	1/4
L _e (m)	2,6	2,6
L _t (m)	5,17	5,35
d ₂ (pol)	0,5	0,375
d _{2N} (pol)	1/2	3/8
P _{2a} (kgf/cm ²)	12,097	12,086
ΔP_a (kgf/cm ²)	0,018	0,029

Fonte: Autores.

Visto que ΔP das duas linhas está dentro do limite recomendado de 0,07 kgf/cm², os valores dos novos diâmetros encontrados são considerados válidos.

6.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

A tabela 13 faz o comparativo dos diâmetros encontrados, onde nota-se que nos dois métodos de dimensionamento os diâmetros encontrados em cada tipo de linha são muito semelhantes. As exceções se encontram no método 2 onde se tem o diâmetro de 1” na linha principal, 1/2” na linha de alimentação 3 e 3/8” na linha de alimentação 7.

Um dos principais fatores responsável por essa diferença de diâmetros é a queda de pressão admitida, onde no primeiro método utiliza-se um valor padrão de 0,3 kgf/cm² para os cálculos de todas as linhas, o que implica em uma margem de erro maior quanto à seleção do diâmetro

normalizado. Entretanto, no segundo método utiliza-se um valor de 0,2 kgf/cm² para as linhas principal e secundária, e 0,07 kgf/cm² para as linhas de alimentação, o que resulta na diminuição da margem de erro.

Tabela 13 - Diâmetros das linhas obtidos nos dois métodos

Linha	Primeiro método	Segundo método
Principal	1.1/4"	1"
Secundária 1	1/4"	1/4"
Secundária 2	1/4"	1/4"
Alimentação 1	1/4"	1/4"
Alimentação 2	1/4"	1/4"
Alimentação 3	1/4"	1/2"
Alimentação 4	1/4"	1/4"
Alimentação 5	1/4"	1/4"
Alimentação 6	1/4"	1/4"
Alimentação 7	1/4"	3/8"
Alimentação 8	1/4"	1/4"
Alimentação 9	1/4"	1/4"
Alimentação 10	1/4"	1/4"
Alimentação 11	1/4"	1/4"
Alimentação 12	1/4"	1/4"

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos e apresentados na tabela acima mostram que o sistema de ar comprimido atual não seguiu qualquer prática ou regra de engenharia quando foi instalado, pois o mesmo apresenta um padrão de diâmetro de 3/4" para as tubulações de todas as linhas.

6.5 LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA O ESTUDO

Pelo fato de o menor diâmetro da linha principal ser obtido no segundo método, o orçamento das tubulações desta linha e suas conexões foi realizado com base nos resultados encontrados nesse método.

Observações:

- devido à grande dificuldade, ou até mesmo impossibilidade, de se encontrar no mercado conexões com redução de 1" para 1/4" ou para 3/8", adotou-se o diâmetro nominal de 1/2" para os tubos de todas as linhas secundárias e de alimentação. Consequentemente, as conexões também terão um diâmetro nominal de 1/2", e as que possuírem redução, terão redução de 1" para 1/2", apresentando essas, maior disponibilidade no mercado. Isso será possível, pois, por meio dos mesmos cálculos utilizados nos dimensionamentos, verificou-se que as variações de pressão (ΔP) para o diâmetro adotado são menores ou iguais às variações encontradas anteriormente;
- o orçamento também inclui os itens considerados na seção 5.11 (Página 49).

A tabela 14 apresenta o orçamento de todos os itens necessários para o sistema de ar comprimido proposto, realizado por um fornecedor anônimo da região.

Tabela 14 - Orçamento dos materiais

(continua)

Material	Quantidade	Unidade	Valor unit.(R\$)	Valor total (R\$)
Tampão Galv. REF 300 TUPY 1/2"	1	pç	2,75	2,75
Curva de retorno 180° RL DN 1/2" Galv.	10	pç	13,13	131,3
Curva 45° RL DN 1" Galv.	2	pç	11,46	22,92
Curva 90° RL DN 1" Galv.	8	pç	21,74	173,92
Curva 90° RL DN 1/2" Galv.	9	pç	10,6	95,4

Tabela 14 – Orçamento dos materiais

(conclusão)

Material	Quantidade	Unidade	Valor unit.(R\$)	Valor total (R\$)
Niple p/ união 371 assento plano M/F rosca BSP TUPY DN 1/2" Galv.	23	pç	3,45	79,35
Niple p/ união 371 assento plano M/F rosca BSP TUPY DN 1" Galv.	2	pç	5,2	10,4
Niple duplo Galv. Ref 280 TUPY DN 1/2"	11	pç	2,74	30,14
Luva M/F de redução 1" x 1/2" Galv.	3	pç	10,14	30,42
Tê DN 1" Galv.	4	pç	12,29	49,16
Tê DN 1/2" Galv.	14	pç	5,25	73,5
Tê redução DN 1" x 1/2" Galv.	10	pç	13,72	137,2
Tubo Carb. Cond. Galv. RED NBR 5580 L DN 1"	22	pç	100,66	2214,52
Tubo Carb. Cond. Galv. RED NBR 5580 L DN 1/2"	12	pç	55,68	668,16
Válvula Esfera Trip. WCB. Rosca BSP MCR DN 1"	1	pç	54,03	54,03
Válvula Esfera Trip. WCB. MCR Rosca DN 1/2"	16	pç	36,54	584,64
Purgador automático tipo boia DN 1/2" rosca BSP	4	pç	639,45	2557,8
Conjunto preparação de ar 135psi Bfc4000 Ab35 DN 1/2" rosca BSP	7	pç	79,9	559,3
Purgador automático DN 1/2" rosca BSP	10	pç	99,9	999
Total				8473,91

Fonte: Fornecedor anônimo, 2017.

6.6 COMPARAÇÃO DAS PERDAS DE CARGAS

Os resultados das medições das perdas de cargas do sistema atual são apresentadas na tabela 15 e as perdas de cargas calculadas para o sistema proposto encontram-se na tabela 16.

Tabela 15 - Perdas de cargas do sistema atual

Do compressor até o ponto de consumo:	Pressão de saída (kgf/cm²)	Perda de carga ΔP (kgf/cm²)
1	8,4	2,82
2 ²	8,3	2,92
3	8,3	2,92
4	8,3	2,92
5	8,3	2,92
5a ³	8,2	3,02
6	8,3	2,92
7	8,3	2,92
7a ⁴	8,1	3,12
8	8,2	3,02
Perda de carga máxima		3,12

Fonte: Autores.

² Utilização na máquina de ensaios mecânicos. Não há condução tubular entre a linha principal e o equipamento. Quando necessário, o transporte do ar é realizado por uma mangueira acoplada ao ponto de consumo 1.

³ Utilização no elevador de carros. Não há condução tubular entre a linha principal e o ponto de uso. Quando necessário, o transporte do ar é realizado por uma mangueira acoplada ao ponto de consumo 5.

⁴ Utilização no laboratório de pneumática. Não há condução tubular entre a linha principal e o laboratório. Quando necessário, o transporte do ar é realizado por uma mangueira acoplada ao ponto de consumo 7.

Tabela 16 - Perdas de cargas do sistema proposto

Do compressor até o ponto de consumo:	Pressão de saída (kgf/cm²)	Perda de carga ΔP (kgf/cm²)
1	12,088	0,165
2	11,973	0,280
3	12,097	0,156
4	12,089	0,164
5	12,083	0,170
6	12,115	0,138
7	12,086	0,167
8	12,067	0,186
9	12,088	0,165
10	12,088	0,165
11	12,115	0,138
12	12,115	0,138
Perda de carga máxima		0,280

Fonte: Autores.

Analisando-se as tabelas, é possível considerar que o sistema proposto é mais eficiente, pois possui perdas de cargas substancialmente inferiores às perdas encontradas no sistema atual. A perda de carga máxima do sistema atual supera em mais de 10 vezes a perda de carga máxima calculada para o sistema proposto, mesmo considerando que o layout deste último é superior ao atual em comprimento total das linhas e em quantidade de pontos de consumo.

Essa considerável redução de perdas de cargas proporciona vantagens para sistema em geral (equipamentos, linhas de distribuição, eficiência, etc), pois evita-se queda brusca e variação da pressão nas linhas, diminui-se o ciclo do motor do compressor, evita o desgaste prematuro do equipamento e o consumo excessivo de energia elétrica.

7 CONCLUSÃO

O trabalho foi motivado pelo fato de existir, na instituição Sesi/Senai de Aracruz, um sistema de ar comprimido na qual dispõe-se de forma irregular e não planejado. A partir dessa situação houve o interesse de ambas as partes em realizar um estudo para o redimensionamento do sistema, buscando otimizar a distribuição do ar comprimido e reduzir ou eliminar os problemas encontrados.

Para a realização do redimensionamento, utilizaram-se os procedimentos e métodos sugeridos pelas literaturas abordadas com o intuito de obter os resultados necessários que pudessem cumprir com os objetivos do estudo.

Ao longo do estudo, constatou-se que o compressor existente na instituição, com vazão de 1274 l/min, é capaz de suprir a vazão de 1139,82 l/min calculada para o sistema proposto.

Em relação à redefinição do layout, os métodos utilizados não influenciaram em sua elaboração e através de uma correta escolha de conexões e acessórios, torna-se possível uma melhor distribuição e uso do ar comprimido em todos os 12 pontos de consumo, sendo que, no arranjo atual existem apenas 8 pontos.

Para os métodos utilizados no dimensionamento, os dois se mostraram eficientes e retornaram valores semelhantes, sendo o diâmetro de 1.1/4" para a linha tronco utilizando o primeiro método, e o diâmetro de 1" para o segundo método. Estes, são superiores ao diâmetro único de 3/4" do sistema existente. Para as linhas secundárias e de alimentação foram encontrados os diâmetros de 1/4" nos dois métodos, com apenas duas exceções para o segundo método. Portanto, caso seja necessário o redimensionamento de um sistema de ar comprimido, qualquer um dos métodos apresentados pode ser utilizado.

Tratando-se do levantamento do custo de aquisição de material, este baseou-se no segundo método, pois apresentou o menor diâmetro da linha principal, que possui o maior comprimento,

reduzindo assim, uma considerável parcela do orçamento. Quanto ao orçamento para as linhas secundárias e de alimentação, os seus diâmetros foram alterados para 1/2" devido à dificuldade de se encontrar no mercado as devidas conexões.

Por fim, conclui-se que os resultados obtidos provaram que o sistema proposto é capaz de fornecer ar comprimido com qualidade, de maneira uniforme e suficiente, além de propor soluções para os problemas relacionados ao acúmulo de condensado, linhas irregulares, falta de pontos de consumo e perda excessiva de carga.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, recomendam-se:

- realizar o estudo aplicando plásticos de engenharia como material de fabricação das tubulações, como por exemplo, o Polipropileno Randon (PPR); e
- desconsiderar o fator de utilização para o cálculo da vazão total dos equipamentos, o que implicaria na seleção de um novo compressor.

REFERÊNCIAS

LIVROS

FIALHO, A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2004. 324p.

MACINTYRE, J.A. **Equipamentos industriais e de processo**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 277p.

ROLLINS, J. P. **Manual de Ar Comprimido e Gases**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

TELLES, P. C. D. S. **Tubulações Industriais: Cálculo**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 163p.

TRABALHOS ACADÊMICOS

BORTOLIN, E. **Dimensionamento de um sistema de ar comprimido para uma empresa de pequeno porte**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014. 45p.

PACCO, R. **Projeto de uma rede de ar comprimido industrial**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2013. 63p.

APOSTILAS E MANUAIS

ATLAS COPCO. **Compressed Air Manual**. Apostila. 8ª Edição. Bélgica: Atlas Copco Airpower NV. 2015. 144p.

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Apostila. Campinas: Robert Bosch Limitada, 2008. 30p.

ELETROBRÁS/PROCEL; EFFICIENTIA/FUPAI. **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Apostila. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 208p.

ELETROBRÁS; PROCEL; PROCEL INDÚSTRIA; INSTITUTO EUVALDO LODI; CNI. **Compressores: Guia Básico**. Apostila. Brasília: IEL/NC - Instituto Euvaldo Lodi/Núcleo Central, 2009, 138p.

METALPLAN. **Manual de ar comprimido**. Apostila. 4ª ed. 2010. 60p.

METALPLAN. **Manual de Ar Comprimido**. Apostila. São Paulo: Metalplan, 2006.

PARKER TRAINING. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Apostila. Jacareí, São Paulo: Parker Hannifin Indústria e Comércio. 2006. 73p.

SILVA, E. C. N. **Apostila de Pneumática**. Apostila. São Paulo: Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da Poli (USP), 2002.

SITES

AR ENERGIA. **Resfriador de Ar Comprimido**. Disponível em: <<http://www.ar-energia.com/tratamento-de-ar-comprimido/resfriador-3/>>. Acesso em 06 mar. 2017.

ARTECNICA. **Reservatório de Ar Comprimido**. Disponível em: <<http://www.artecnicaltda.com.br/portfolio/reservatorio-de-ar-comprimido/>>. Acesso em 06 mar. 2017.

BRUCOMPRESSORES. **Filtro com Regulador 1/2" - BEFR4000**. Disponível em: <<http://www.brucompressores.com.br/Produto/Details/120>>. Acesso em 06 mar. 2017.

BRUCOMPRESSORES. **Secador de Ponto de Uso - D6 – Metalplan**. Disponível em: <<http://www.brucompressores.com.br/Produto/Details/134>>. Acesso em 06 mar. 2017.

ELEKTRO, **Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações**. Apostila. Disponível em: <http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/Livro_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em 30 nov. 2016.

PORTAL SESMT, **Sinalização de Segurança - NR-26/NBR 6493 e NBR 7195**. Disponível em: <<http://www.sesmt.com.br/Blog/Artigo/sesmt-sinalizacao-de-seguranca>>. Acesso em 27 mar. 2017.

SCHULZ. **Compressor Rotativo SRP3015 Compact II**. 2013, 2p. Disponível em: <<http://www.maximocompressores.com.br/linha-schulz/SRP3015CompactII.pdf>>. Acesso em 09 mar. 2017.

SCHULZ. **SRP 3015 Compact..** Disponível em: <<http://www.schulz.com.br/pt/site/compressores/produto/index/id/293#produto=293>>. Acesso em 09 mar. 2017.

TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO DA 2ª REGIÃO SP, **Portaria Nº 229, de 24 de Maio de 2011**. Disponível em: <http://www.trtsp.jus.br/geral/tribunal2/ORGaos/MTE/Portaria/P229_11.html>. Acesso em 27 mar. 2017.

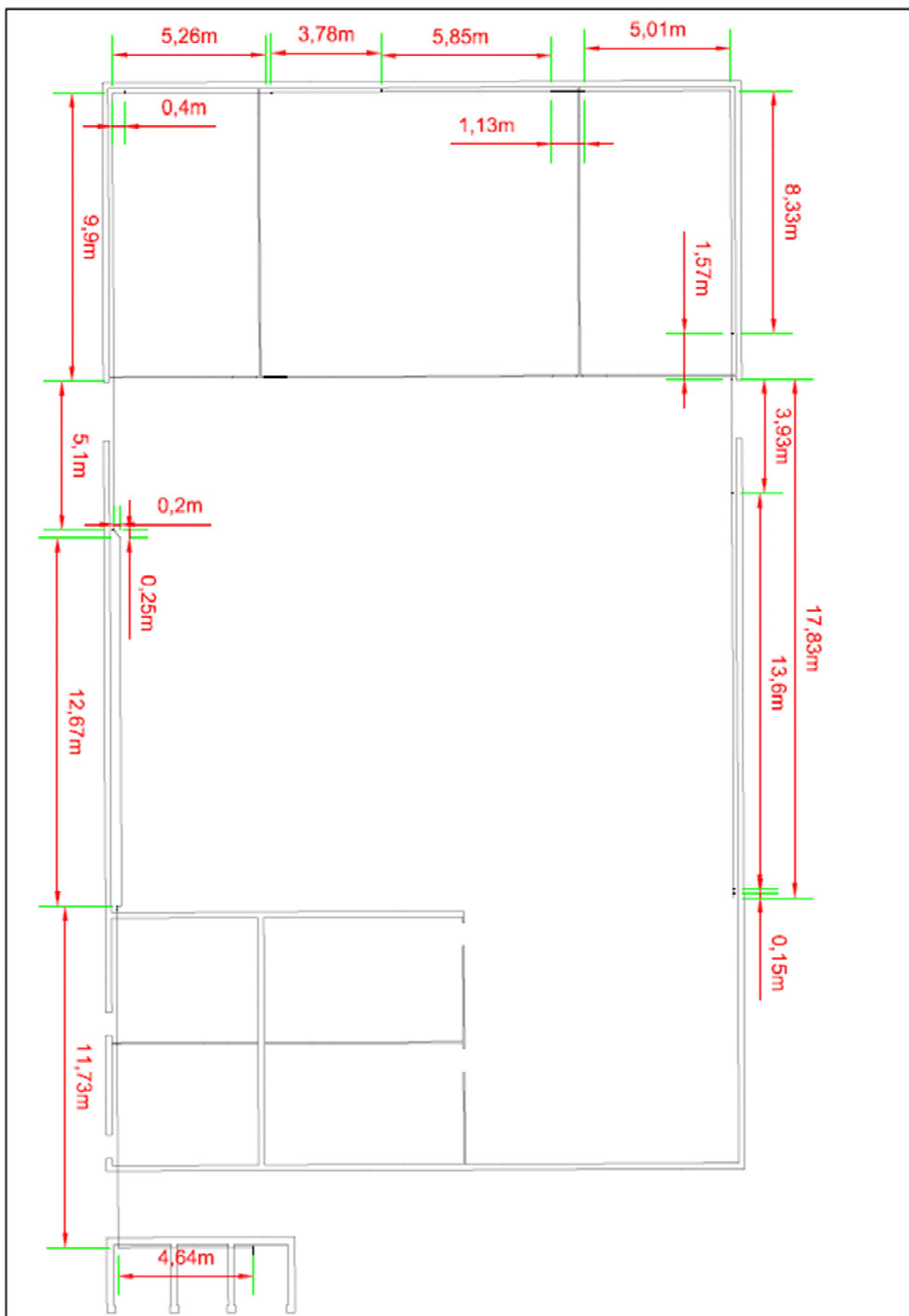
NORMAS

ABNT/NBR-6493/1993. **Emprego de cores para identificação de tubulações**. 1994. 5p.

APÊNDICE A

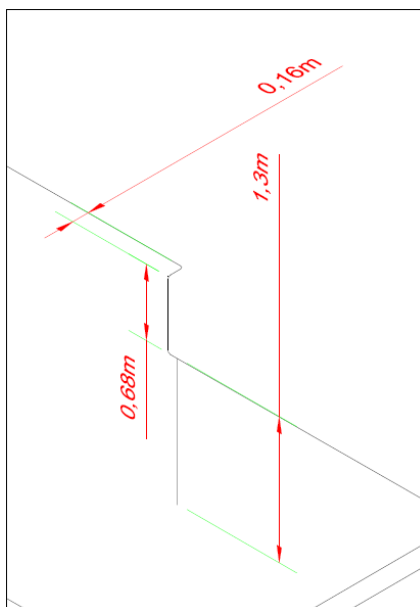
Medidas das tubulações do sistema de ar comprimido existente (CE)

Figura 21 – Medidas no galpão (CE)



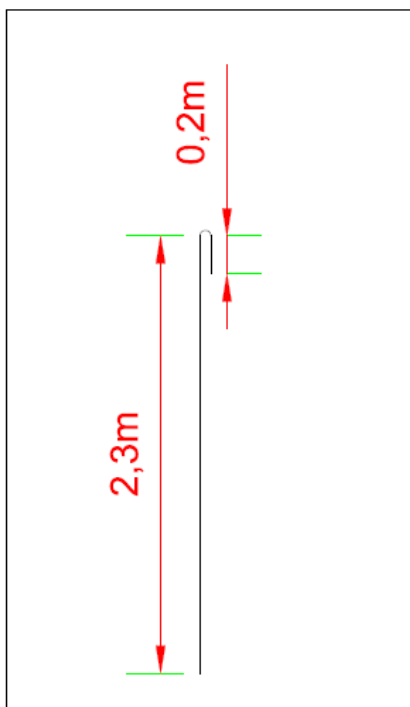
Fonte: Autores.

Figura 22 – Medidas da linha de alimentação 1 (CE)



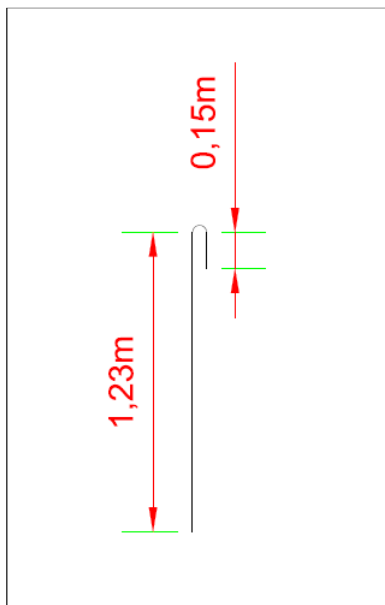
Fonte: Autores.

Figura 23 – Medidas das linhas de alimentação 3, 4, 7 e 8 (CE)



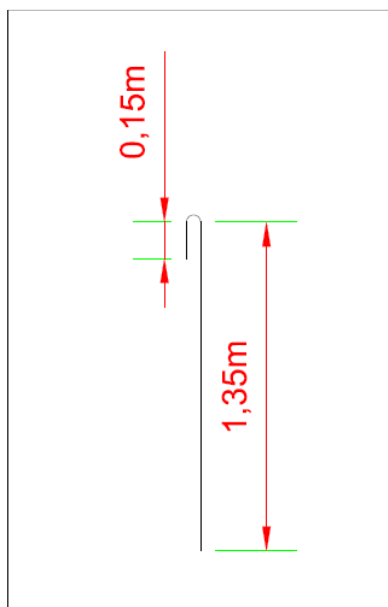
Fonte: Autores.

Figura 24 – Medidas da linha de alimentação 5 (CE)



Fonte: Autores.

Figura 25 - Medidas da linha de alimentação 6 (CE)

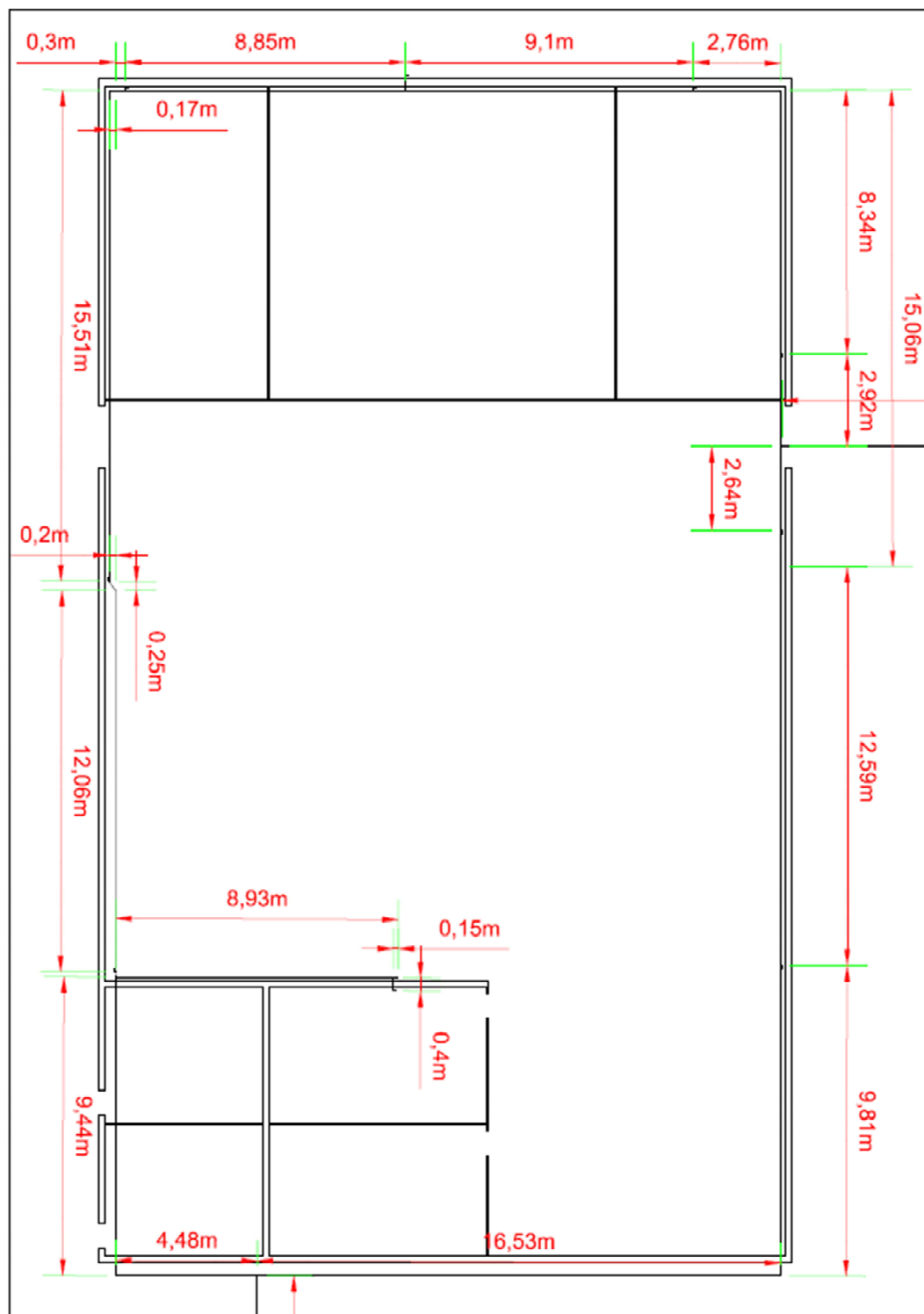


Fonte: Autores.

APÊNDICE B

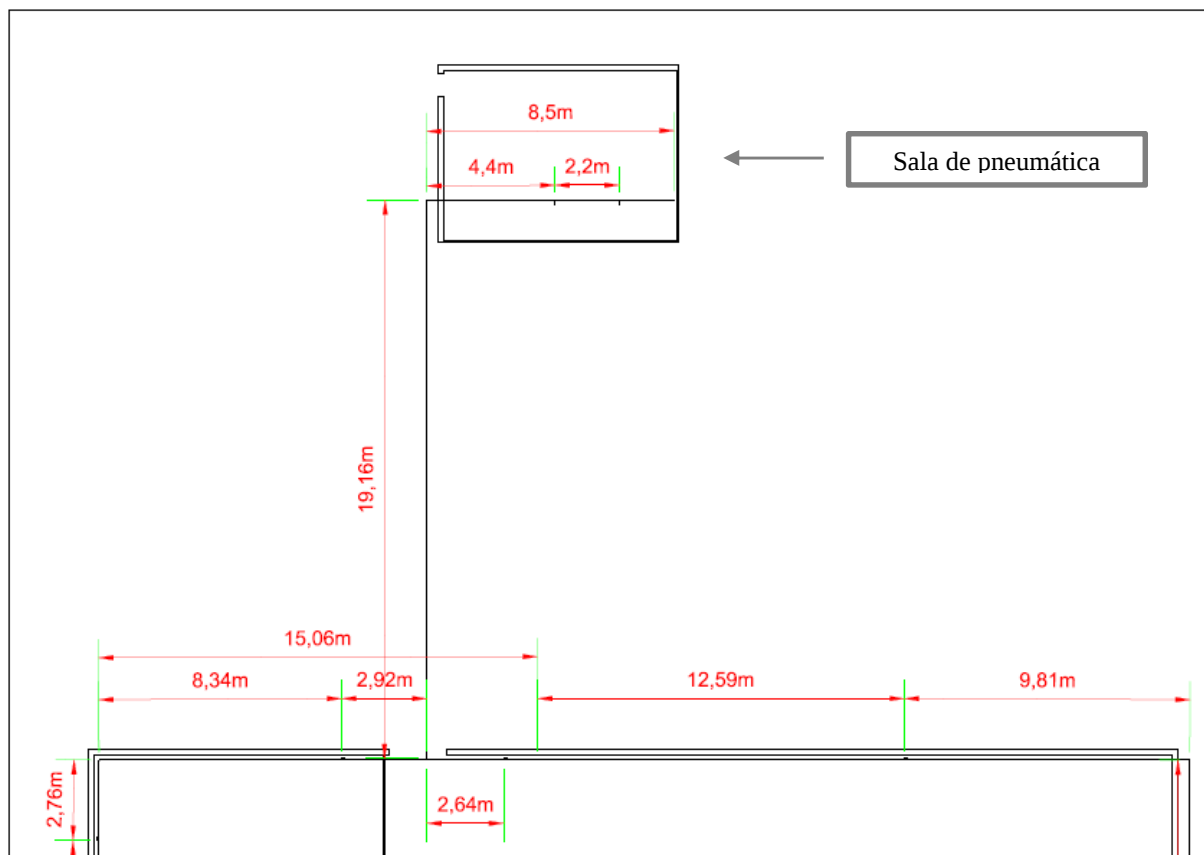
Medidas dos trechos retos das tubulações do sistema de ar comprimido proposto (CP)

Figura 26 – Medidas no galpão (CP)



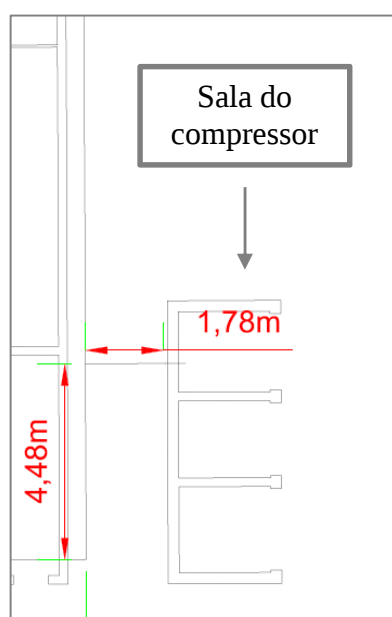
Fonte: Autores.

Figura 27 – Medidas na sala de pneumática (CP)



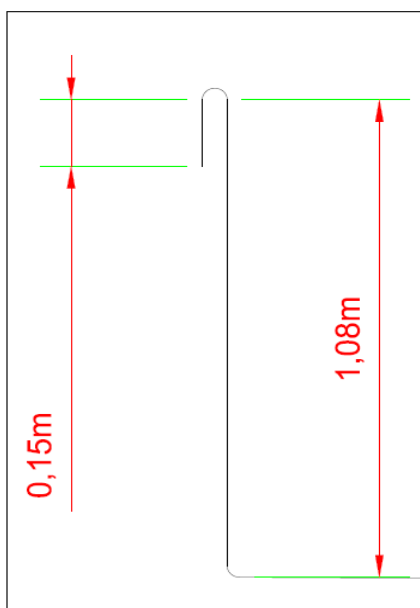
Fonte: Autores.

Figura 28 – Medidas na sala do compressor (CP)



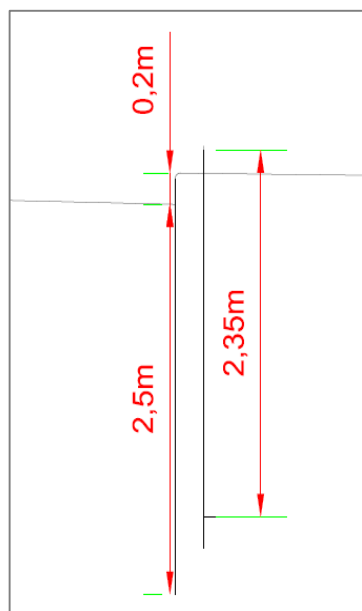
Fonte: Autores.

Figura 29 – Medidas da linha secundária 2 (CP)



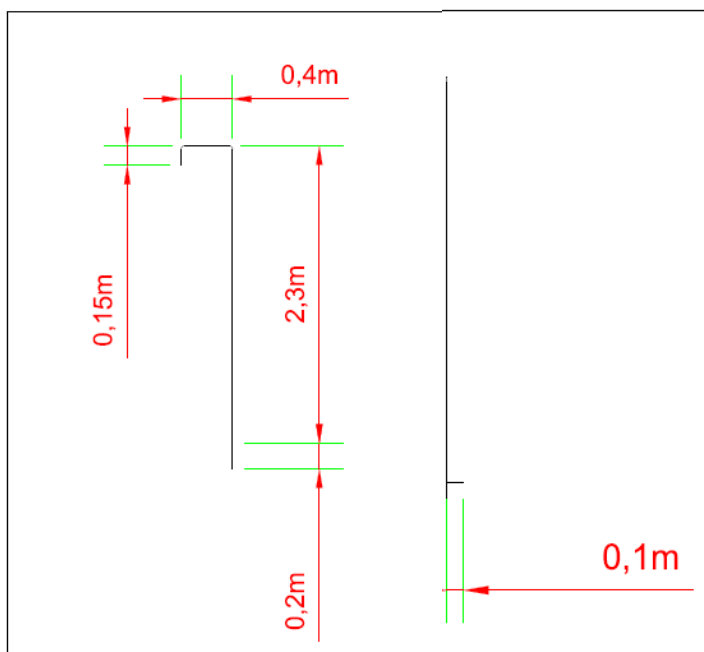
Fonte: Autores.

Figura 30 - Medidas da linha de alimentação 1 (CP)



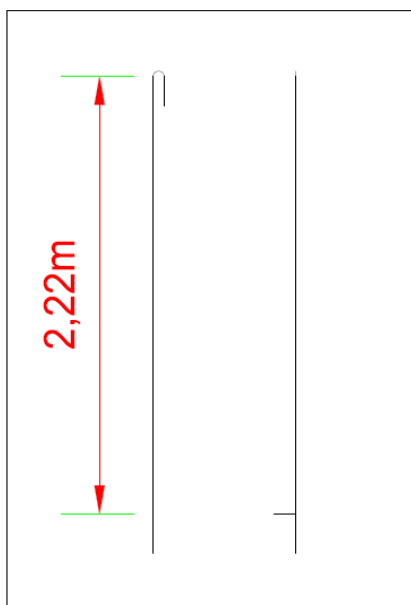
Fonte: Autores.

Figura 31 – Medidas da linha de alimentação 2 (CP)



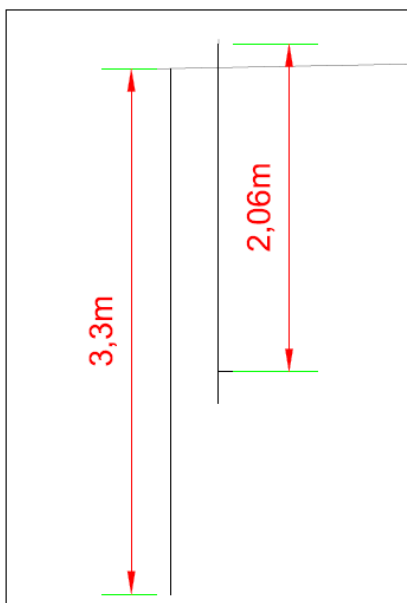
Fonte: Autores.

Figura 32 - Medidas da linha de alimentação 3 (CP)



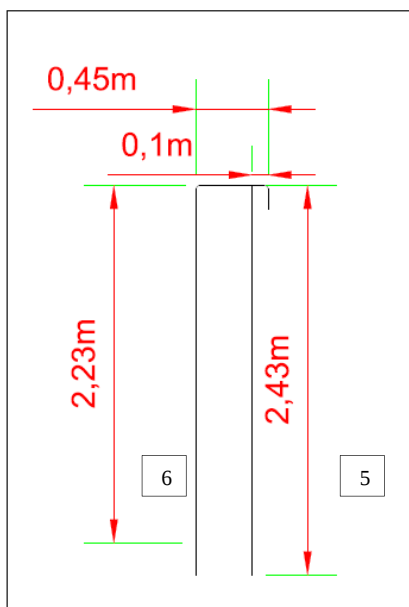
Fonte: Autores.

Figura 33 - Medidas da linha de alimentação 4 (CP)



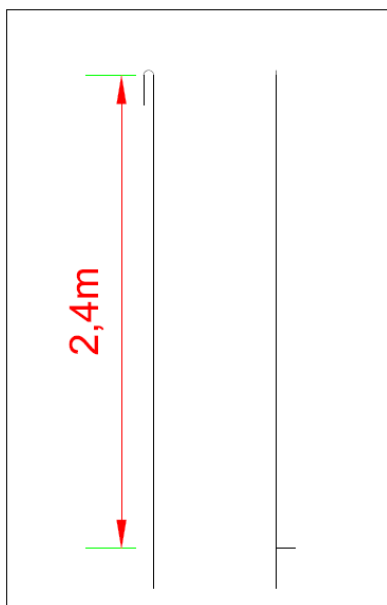
Fonte: Autores.

Figura 34 - Medidas das linhas de alimentação 5 e 6 (CP)



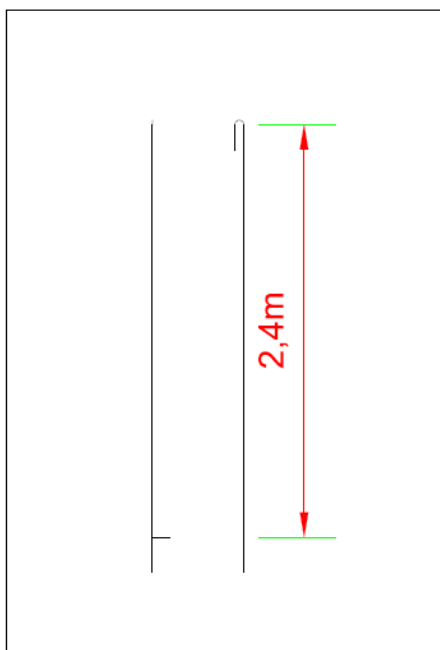
Fonte: Autores.

Figura 35 – Medidas da linha de alimentação 7 (CP)



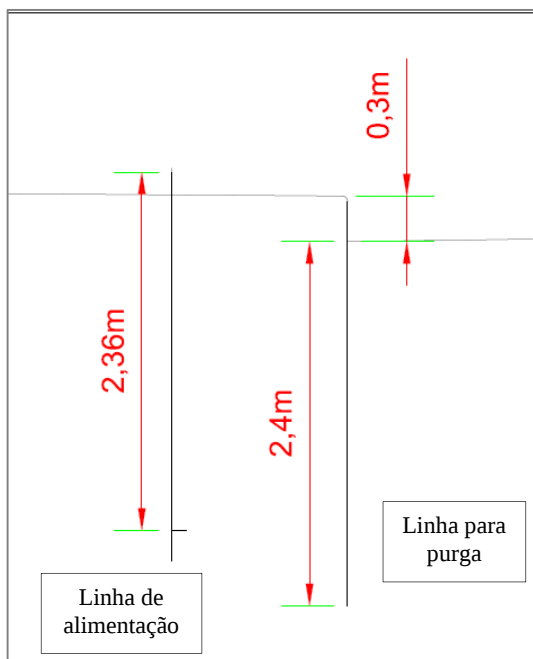
Fonte: Autores.

Figura 36 – Medidas da linha de alimentação 8 (CP)



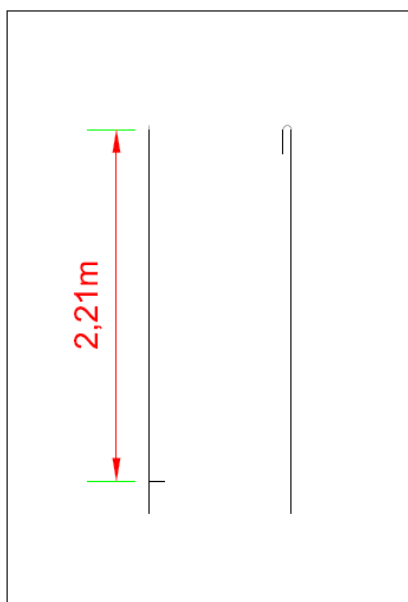
Fonte: Autores.

Figura 37 – Medidas da linha de alimentação 9 (CP)



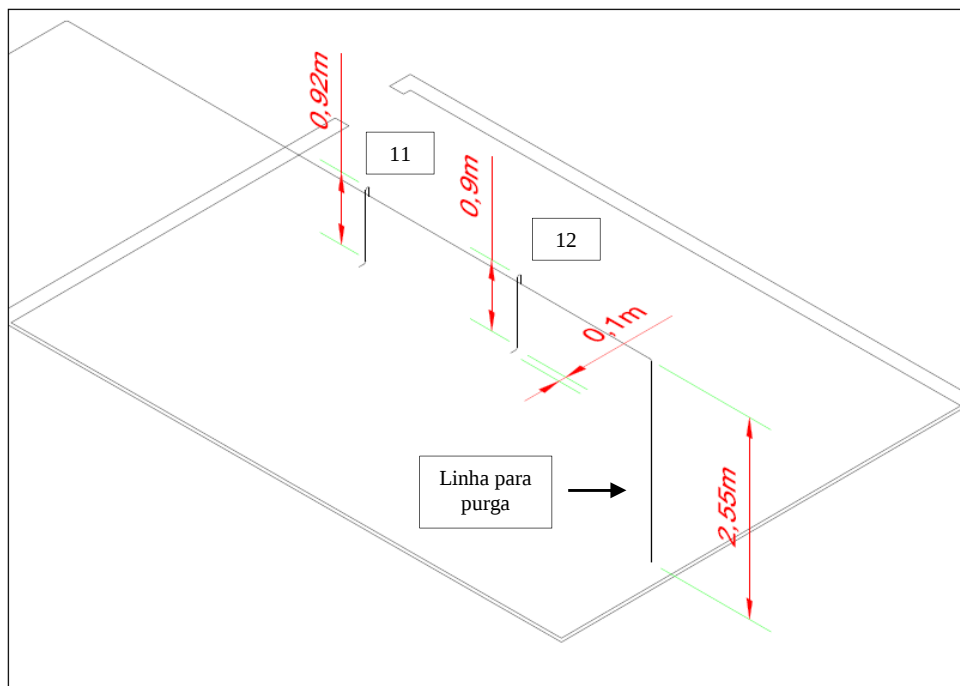
Fonte: Autores.

Figura 38 – Medidas da linha de alimentação 10 (CP)



Fonte: Autores.

Figura 39 – Medidas das linhas de alimentação 11 e 12 (CP)



Fonte: Autores.

APÊNDICE C

Tabela referente às vazões do sistema proposto

Tabela 17 - Vazões das linhas do sistema proposto

Linha	Vazão (m³/h)	Vazão (pe³/h)
Principal	68,390	2415,170
Secundária 1	5,292	186,885
Secundária 2	0,198	6,992
Alimentação 1	3,969	140,164
Alimentação 2	5,292	186,885
Alimentação 3	20,639	728,859
Alimentação 4	3,969	140,164
Alimentação 5	3,969	140,164
Alimentação 6	0,220	7,769
Alimentação 7	11,907	420,492
Alimentação 8	5,239	185,014
Alimentação 9	3,969	140,164
Alimentação 10	3,969	140,164
Alimentação 11	0,010	0,353
Alimentação 12	0,010	0,353

Fonte: Autores.

APÊNDICE D

Tabelas referentes ao dimensionamento da linha principal pelo primeiro método

Tabela 18 - Comprimentos dos trechos retos da linha principal do sistema proposto

Trecho em relação aos pontos de consumo	Comprimento (m)
Do compressor até o ponto 1	20,27
Do ponto 1 até o ponto 3	12,38
Do ponto 3 até o ponto 4	15,98
Do ponto 4 até o ponto 5	8,85
Do ponto 5 até o ponto 7	9,1
Do ponto 7 até o ponto 8	11,1
Do ponto 8 até o ponto 9	5,56
Do ponto 9 até o ponto 10	14,05
Do ponto 10 até o ponto D	26,34
Total	123,63

Fonte: Autores.

Tabela 19 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha principal do sistema proposto

(continua)

Trecho em relação aos pontos de consumo	Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Do compressor até o ponto 1	Curva 90° RL 1.1/4"	4	0,98	3,92
Do compressor até o ponto 1	Tê roscado 1.1/4"	2	1,4	2,8
Do compressor até o ponto 1	Tê roscado 1.1/4" fluxo ramal	2	2,7	5,4
Do ponto 1 até o ponto 3	Curva 45° 1.1/4"	2	0,52	1,04
Do ponto 1 até o ponto 3	Tê roscado 1.1/4"	1	1,4	1,4
Do ponto 3 até o ponto 4	Curva 90° RL 1.1/4"	1	0,98	0,98

Tabela 19 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha principal do sistema proposto

(conclusão)

Trecho em relação aos pontos de consumo	Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Do ponto 3 até o ponto 4	Tê roscado 1.1/4"	2	1,4	2,8
Do ponto 4 até o ponto 5	Tê roscado 1.1/4"	1	1,4	1,4
Do ponto 5 até o ponto 7	Tê roscado 1.1/4"	1	1,4	1,4
Do ponto 7 até o ponto 8	Curva 90° RL 1.1/4"	1	0,98	0,98
Do ponto 7 até o ponto 8	Tê roscado 1.1/4"	1	1,4	1,4
Do ponto 8 até o ponto 9	Tê roscado 1.1/4"	1	1,4	1,4
Do ponto 9 até o ponto 10	Curva 90° RL 1.1/4"	1	0,98	0,98
Do ponto 9 até o ponto 10	Tê roscado 1.1/4"	1	1,4	1,4
Do ponto 9 até o ponto 10	Tê roscado 1.1/4" fluxo ramal	1	2,7	2,7
Do ponto 10 até o ponto D	Curva 90° RL 1.1/4"	1	0,98	0,98
Total				30,98

Fonte: Autores.

APÊNDICE E

Tabelas referentes aos dimensionamentos das linhas secundárias

Tabela 20 - Comprimentos dos trechos retos das linhas secundárias do sistema proposto

Linha	Comprimento (m)
Linha secundária 1	8,93
Linha secundária 2	31,44

Fonte: Autores.

Tabela 21 - Comprimentos equivalentes das singularidades das linhas secundárias do sistema proposto

Linha	Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Linha secundária 1	Tê roscado 1/4"	1	0,52	0,52
Linha secundária 2	Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Linha secundária 2	Curva 90° RL 1/4"	3	0,67	2,01
Linha secundária 2	Tê roscado 1/4"	2	0,52	1,04
Total linha secundária 1				0,52
Total linha secundária 2				4,15

Fonte: Autores.

APÊNDICE F

Tabelas referentes aos dimensionamentos das linhas de alimentação

Tabela 22 - Comprimentos dos trechos retos das linhas de alimentação do sistema proposto

Linha	Comprimento (m)
Linha de alimentação 1	2,7
Linha de alimentação 2	3,05
Linha de alimentação 3	2,57
Linha de alimentação 4	2,41
Linha de alimentação 5	2,68
Linha de alimentação 6	2,78
Linha de alimentação 7	2,75
Linha de alimentação 8	2,75
Linha de alimentação 9	2,71
Linha de alimentação 10	2,57
Linha de alimentação 11	1,17
Linha de alimentação 12	1,15

Fonte: Autores.

Tabela 23 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 1

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,6

Fonte: Autores.

Tabela 24 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 2

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 90° RL 1/4"	2	0,67	1,34
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,84

Fonte: Autores.

Tabela 25 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 3

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,6

Fonte: Autores.

Tabela 26 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 4

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,6

Fonte: Autores.

Tabela 27 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 5

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 90° RL 1/4"	1	0,67	0,67
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	2	1,3	2,6
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Total			3,47

Fonte: Autores.

Tabela 28 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 6

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 90° RL 1/4"	1	0,67	0,67
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,17

Fonte: Autores.

Tabela 29 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 7

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,6

Fonte: Autores.

Tabela 30 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 8

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,6

Fonte: Autores.

Tabela 31 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 9

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,6

Fonte: Autores.

Tabela 32 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 10

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Tê roscado fluxo ramal 1/4"	1	1,3	1,3
Total			2,6

Fonte: Autores.

Tabela 33 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 11

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Curva 90° RL 1/4"	1	0,67	0,67
Total			1,97

Fonte: Autores.

Tabela 34 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha de alimentação do ponto de consumo 12

Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Curva 180° RL 1/4"	1	1,1	1,1
Válvula esfera 1/4"	1	0,2	0,2
Curva 90° RL 1/4"	1	0,67	0,67
Total			1,97

Fonte: Autores.

Observações:

- Os valores para todas as singularidades, com exceção das válvulas esfera, foram encontrados com base em um diâmetro de referência de 1/2", pois este é o valor mínimo disponível nas tabelas do ANEXO A;
- Os valores para as válvulas esferas foram estimados para uma equivalência de perda de carga de aproximadamente treze vezes o diâmetro nominal.

APÊNDICE G

Tabela referente ao dimensionamento da linha principal pelo segundo método

Tabela 35 - Comprimentos equivalentes das singularidades da linha principal do sistema proposto

Trecho em relação aos pontos de consumo	Singularidade	Quantidade	Comprimento equivalente (m)	Sub-total (m)
Do compressor até o ponto 1	Curva 90° RL 1"	4	0,83	3,32
Do compressor até o ponto 1	Tê roscado 1"	2	0,99	1,98
Do compressor até o ponto 1	Tê roscado 1" fluxo ramal	2	2	4
Do ponto 1 até o ponto 3	Curva 45° 1"	2	0,39	0,78
Do ponto 1 até o ponto 3	Tê roscado 1"	1	0,99	0,99
Do ponto 3 até o ponto 4	Curva 90° RL 1"	1	0,83	0,83
Do ponto 3 até o ponto 4	Tê roscado 1"	2	0,99	1,98
Do ponto 4 até o ponto 5	Tê roscado 1"	1	0,99	0,99
Do ponto 5 até o ponto 7	Tê roscado 1"	1	0,99	0,99
Do ponto 7 até o ponto 8	Curva 90° RL 1"	1	0,83	0,83
Do ponto 7 até o ponto 8	Tê roscado 1"	1	0,99	0,99
Do ponto 8 até o ponto 9	Tê roscado 1"	1	0,99	0,99
Do ponto 9 até o ponto 10	Curva 90° RL 1"	1	0,83	0,83
Do ponto 9 até o ponto 10	Tê roscado 1"	1	0,99	0,99
Do ponto 9 até o ponto 10	Tê roscado 1" fluxo ramal	1	2	2
Do ponto 10 até o ponto D	Curva 90° RL 1"	1	0,83	0,83
Total				23,32

Fonte: Autores.

ANEXO A

Tubos de aço para condução de fluidos e afins - Norma ASTM A 120 Schedule 40

Diâmetro				Espessura de Parede		Peso Teórico do Tubo Preto		Pressão de Ensaio
Nominal	Externo		Interno			Pontas Lisas	Com Roscas e Luvas ¹⁷	
in	in	mm	mm	in	mm	Kg/m	Kg/m	Kgf/cm ²
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, 2004.

ANEXO B

Comprimento de tubo equivalente à perda de carga por singularidade (m)

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
 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
 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
 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 angular	ROSQ.	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	5,55	5,55
	FLAN.	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	6,4	6,7
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	5,55	5,55	5,55	-	-	-	-
	FLAN.	8,5	10,05	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
 Válvula Retenção Portinhola	ROSQ.	2,4	2,7	3,4	4,0	4,6	5,8	6,7
	FLAN.	1,2	1,6	2,2	3,0	3,7	5,2	6,4
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	8,2	9,7	11,6	-	-	-	-
	FLAN.	8,3	9,6	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6

Conexão		Diâmetro Nominal (in)						
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2
 União Filtro Y	ROSQ.	0,07	0,07	0,08	0,11	0,12	0,14	0,14
	FLAN.	1,5	2,0	2,3	5,5	8,1	8,3	8,8
	Diâmetro Nominal (in)							
		3	3.1/2	4	5	6	8	10
	ROSQ.	0,16	0,175	0,19	-	-	-	-
	FLAN.	10,4	11,6	12,8	16,2	18,6	-	-

Fonte: Adaptado de Fialho, 2004.

ANEXO C

Autorização da instituição Sesi/Senai de Aracruz para realização do trabalho

 Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Autorização
O Centro de Educação Profissional Sérgio Rogério de Castro – SENAI Aracruz, representado neste instrumento pelo seu funcionário Walber José Avancini, autoriza a publicação do trabalho intitulado Dimensionamento do Sistema de Ar Comprimido da Instituição de Ensino Sesi/SENAI Aracruz, apresentado em projeto de conclusão de curso de Bacharel em Engenharia Mecânica das FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz, dos alunos Daivid de Castro Soeiro e Lucas Matos Rosa. A empresa confirma, ainda, ter conhecimento do conteúdo do trabalho e de que está ciente que a publicação poderá ser realizada em qualquer meio acadêmico, científico ou impressa.
 Walber José Avancini Analista Técnico SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial CNPJ: 03.810.810.0012-54 Rua Ephifânio Pontin, 985 – Vila Nova, Aracruz – ES, 29194-611 (27) 3256-9950

Fonte: Arquivo autores.