

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VINICIUS JOSÉ AMARAL MELHEM

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
REDES DE AR COMPRIMIDO MEDICINAL APLICADO A UM POSTO DE SAÚDE**

GUARAPUAVA

2022

VINICIUS JOSÉ AMARAL MELHEM

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE
DE AR COMPRIMIDO MEDICINAL APLICADO A UM POSTO DE SAÚDE**

***Comparative Study Between Medicinal Compressed Air Net Sizing Methods
Applied To A Health Care Center***

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Guarapuava.

Orientador: Prof. Dr. David Lira Nunez

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VINICIUS JOSÉ AMARAL MELHEM

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE
DE AR COMPRIMIDO MEDICINAL APLICADO A UM POSTO DE SAÚDE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Guarapuava.

Orientador: Prof. Dr. David Lira Nunez

Data de aprovação: 23 de agosto de 2022

Professor Dr. David Lira Nunez

Membro 1

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Professor Dr. Vlademir Aparecido Freire Junior

Membro 2

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Mestre Lucas Franco Wrege

Membro 3

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. David Lira Nunez, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Com o início da pandemia da COVID-19 ocorreu uma necessidade imediata de criação de novos hospitais e manutenção dos que já existiam, e, por conta dessa grande necessidade, é necessário que estes sejam projetados de maneira eficiente e com menores custos. Este trabalho visa realizar o dimensionamento de uma rede de ar comprimido medicinal de maneira mais eficiente. No dimensionamento, serão determinados os sistemas de geração, purificação e distribuição do ar comprimido, sendo que para o sistema de distribuição serão comparados três métodos: Fialho, *TopFusion* e *AirNet*. Sendo que os dois últimos são métodos práticos, utilizados por fornecedores de tubulação de ar comprimido, e o método Fialho é analítico, utilizando cálculos iterativos. Para dimensionar corretamente, levam-se em conta as perdas de pressão na rede de ar comprimido entre os diferentes métodos. Após a realização do dimensionamento, puderam ser comparados os três métodos, e assim, foi percebido que métodos *AirNet* e *TopFusion* são menos conservadores do que o método Fialho, mas que todos os três métodos atendem às necessidades propostas no projeto.

Palavras-chave: Ar comprimido; gases medicinais; perda de carga; pneumática.

ABSTRACT

With the beginning of the COVID-19 pandemic, there was an immediate need to create new hospitals and maintain the existing ones, and, because of this great need, it is necessary that they be designed efficiently and at lower costs. This work aims to carry out the design of a medical compressed air network in a more efficient way. In the design, the systems of generation, purification and distribution of compressed air will be determined, and for the distribution system three methods will be compared: Fialho, *TopFusion* and *AirNet*. The last two are practical methods, used by compressed air piping suppliers, and the Fialho (method is analytical, using iterative calculations. In order to dimension correctly, the pressure losses in the compressed air network between the different methods are taken into account. After the sizing, the three methods could be compared, and thus, it was noticed that *AirNet* and *TopFusion* methods are less conservative than the Fialho method, but that all three methods meet the needs proposed in the project.

Keywords: compressed air; medicinal gases; head loss; pneumatics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Composição da atmosfera seca	13
Figura 2 – Pressões Absoluta e Manométrica	14
Figura 3 - Tipos de filtro/elemento	17
Figura 4 – Método de secagem de ar comprimido por refrigeração	18
Figura 5 – Método de secagem de ar comprimido por adsorção	19
Figura 6 – Método de secagem de ar comprimido por absorção	20
Figura 7 – Quadro Geral de Compressores Industriais	21
Figura 8 – Compressor isento de óleo modelo CSV 20	23
Figura 9 – Compressor de membrana Z type	24
Figura 10 – Compressor com selo de água modelo Vectra XL 35	24
Figura 11 – Tipos de redes de distribuição de ar comprimido	25
Figura 12 – Inclinação e derivação da rede de ar comprimido	26
Figura 13 – Características, benefícios e pontos de atenção de cada material	27
Figura 14 – Fluxograma da Metodologia do trabalho	30
Figura 15 – Tabela para determinar diâmetro externo da tubulação ar comprimido	36
Figura 16 – Tabela para determinar o diâmetro da tubulação <i>AirNet</i>	37
Figura 17 – Tabela de perdas de carga para cada tipo de conexão <i>AirNet</i>	39
Figura 18 – Filtro Coalescente modelo PF 11	43
Figura 19 – Secador por adsorção modelo KA – MT	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de compressor, pressão e vazão máxima	22
Tabela 2 – Vazão necessária de ar comprimido medicinal para cada tipo de leito ...	31
Tabela 3 – Valores de R para cada tipo de conexão.....	34
Tabela 4 – Vazão necessária para cada leito.....	42
Tabela 5 – Valores de perda de carga – Método Fialho (2011)	46
Tabela 6 – Valores de perda de carga – Método <i>TopFusion</i>	47
Tabela 7 – Valores de perda de carga – Método <i>AirNet</i>	48
Tabela 8 – Valores de p_2 e da porcentagem da pressão necessária em cada método	49
Tabela 9 – Valores da velocidade média do fluido e do número de <i>Mach</i> em cada método	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Associação Nacional de Vigilância Sanitária
NBR	Norma Brasileira
PPCR	<i>Polipropileno Copolímero Random</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	12
1.1.1	Objetivos específicos.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Ar Comprimido	13
2.1.1	Propriedades do Ar comprimido	13
<u>2.1.1.1</u>	<u>Pressão</u>	<u>14</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Umidade</u>	<u>15</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Gás Ideal</u>	<u>15</u>
2.1.2	Sistemas de Purificação da rede de ar comprimido	15
<u>2.1.2.1</u>	<u>Resfriadores</u>	<u>16</u>
<u>2.1.2.2</u>	<u>Filtros</u>	<u>16</u>
<u>2.1.2.3</u>	<u>Secadores</u>	<u>18</u>
<u>2.1.2.3.1</u>	<u>Ponto de orvalho</u>	<u>20</u>
<u>2.1.2.4</u>	<u>Purgadores</u>	<u>20</u>
2.1.3	Compressores	21
<u>2.1.3.1</u>	<u>Compressores isentos de óleo</u>	<u>22</u>
2.1.4	Distribuição do ar comprimido	25
<u>2.1.4.1</u>	<u>Material da tubulação da rede de ar comprimido</u>	<u>26</u>
2.2	Escoamento de Fluidos	27
2.2.1	Equação da energia para escoamento incompressível e estacionário...29	
2.2.2	Perda de Carga	29
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	30
3.1	Coleta De Dados	31
3.2	Cálculo Da Vazão Total Necessária	31
3.3	Escolha Dos Sistemas De Purificação Da Rede	32
3.4	Cálculo Do Tamanho Do Reservatório Necessário Para O Compressor	32
3.5	Dimensionamento Da Rede Por Diferentes Métodos	32
3.5.1	Método Fialho (2011)	33
3.5.2	Método <i>TopFusion</i>	36
3.5.3	Método <i>AirNet</i>	37
3.6	Comparação entre os métodos	39

4	CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	41
4.1	Resultados e discussões.....	42
4.2	Vazão Total Necessária.....	42
4.3	Escolha Dos Sistemas De Purificação Da Rede	43
4.3.1	Filtro	43
4.3.2	Secador	44
4.3.3	Purgadores.....	44
4.4	Tamanho Do Reservatório Do Compressor	45
4.5	Dimensionamento Da Rede	45
4.5.1	Método Fialho (2011)	45
4.5.2	Método <i>TopFusion</i>	47
4.5.3	Método <i>AirNet</i>	48
4.6	Comparação Entre Os Métodos	49
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS.....	52
	APÊNDICE A - Esboço da instalação a ser realizada.....	54
	APÊNDICE B - Valores de comprimento e número de singularidades para cada leito.....	56
	APÊNDICE C - Memorial de cálculos de diâmetro – Método Fialho (2011)	58
	APÊNDICE D - Memorial de cálculos de perda de carga – Método Fialho (2011)	60

1 INTRODUÇÃO

A utilização de ar como facilitador em processos feitos por seres humanos não é algo tão novo como se pode imaginar. Os primeiros usos do ar como agente de resfriamento de metais em processos metalúrgicos datam de 1500 a.C., e isso já criou a necessidade de um compressor mecânico de ar, que utilizava foles movidos pelas mãos e pés. Essa tecnologia primitiva foi utilizada em fornalhas, até que no século XVIII foi criado outro sistema para substituí-la. Com o aumento da industrialização no século XIX, processos que anteriormente eram manuais foram sendo substituído por processos mecânicos, e isso fez com que o ar comprimido fosse também utilizado em ambiente industrial, como uma forma de transportar energia mecânica (NEHLER, 2018).

No Brasil, o aumento da utilização do ar comprimido em indústrias ocorreu por volta de 1960, em paralelo com a terceira revolução industrial, quando várias indústrias do ramo automobilístico se instalaram no país (FIALHO, 2011).

O ar comprimido é utilizado em indústrias de diversos ramos, como um condutor de energia, pois possui uma grande eficiência, pode ser aplicado de diversas formas (como movimentos lineares, rotatórios, vibratórios, entre outros), além de ser uma forma econômica e segura de transporte de energia.

Porém, a aplicação do ar comprimido não é somente industrial. Hoje em dia, também por conta da flexibilidade de aplicações, o ar comprimido é utilizado largamente no mercado medicinal, o que faz com que instalações hospitalares e medicinais necessitem de sistemas de geração, tratamento e distribuição de ar comprimido.

O ar comprimido é caracterizado como essencial em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), e é necessário que os equipamentos e componentes que utilizam ar comprimido sejam instalados e geridos por profissionais especializados, para garantir que o suprimento de ar seja suficiente e esteja em condições adequadas para a aplicação e chegue de forma segura ao local de consumo, sem danificar outras estruturas do local de instalação (SANTOS, 2002).

As aplicações do ar comprimido em ambiente hospitalar são diversas. O ar comprimido pode ser aplicado em ventilação ou anestesia de pacientes, como vetor para nebulização ou como força motriz de instrumentos cirúrgicos, sendo que esta

última aplicação necessita de pressões mais altas que as outras citadas anteriormente (DINIS; CAPOULAS; NEVES, 2012).

A utilização de ar comprimido em ambiente hospitalar tem como finalidade facilitar a atuação das equipes médicas e de enfermagem no atendimento de pacientes. É necessário que o funcionamento da rede de ar comprimido, e todos os equipamentos envolvidos seja ininterrupto, por se tratar de equipamentos vitais para alguns pacientes.

Para o funcionamento correto, utilizam-se as normas brasileiras vigentes, como a NBR12188 e a resolução 1884 da ANVISA, que estabelecem os requisitos para a tubulação de ar comprimido medicinal e de seu sistema de purificação.

Além do funcionamento seguro e dentro das normas, também é necessário que o sistema seja eficiente, utilizando materiais que condizem com a necessidade, sem superdimensionamentos. Ao se fazer estudos de diferentes possibilidades de instalações, os recursos investidos no sistema serão alocados de maneira correta, e assim, haverá economia para os responsáveis pela instalação hospitalar.

A pandemia do COVID-19 trouxe mais uma justificativa para estudos a respeito de redes de ar comprimido medicinal, já que se verificou uma maior necessidade de construção de hospitais no Brasil, principalmente por conta da necessidade maior de UTI's e leitos com respiradores (OLIVEIRA et al., 2020).

1.1 Objetivo

Comparar três diferentes métodos de dimensionamento para redes de ar comprimido medicinal de um posto de saúde de cerca de 1200 m² de área total.

1.1.1 Objetivos específicos

Para se chegar ao objetivo, deverão ser seguidos os seguintes passos:

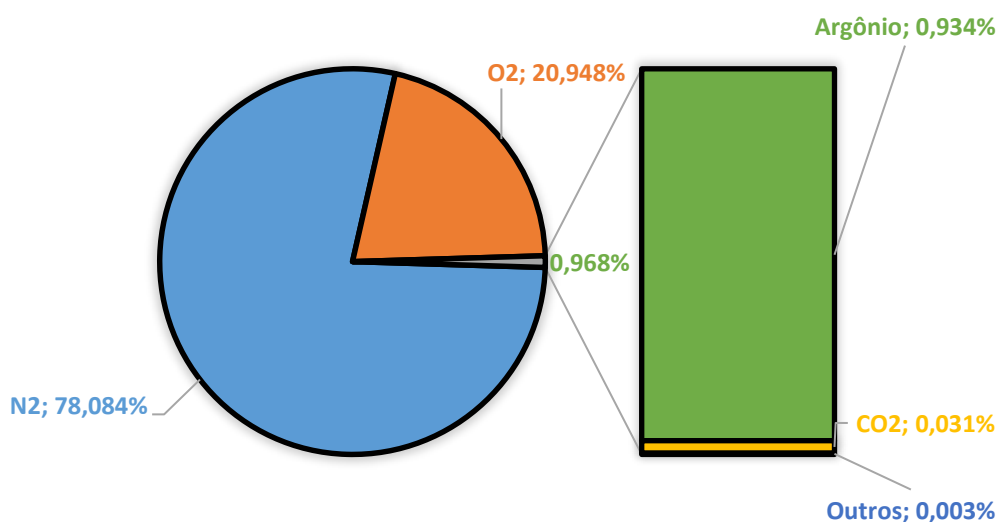
- Realizar levantamento no local da instalação;
- Calcular a vazão total necessária de acordo com as normas vigentes;
- Dimensionar a tubulação e o compressor necessários utilizando diferentes métodos, bem como as perdas de carga em cada método;
- Comparar os métodos utilizados para o dimensionamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ar Comprimido

O ar comprimido é o ar atmosférico, em que foi colocada energia através de trabalho, que ocasionou um aumento de pressão. O ar que é retirado da atmosfera é inodoro e incolor, em atmosferas secas possui em sua composição 78,08% de gás nitrogênio (N₂), 20,95% de gás oxigênio (O₂), 0,93% de argônio (Ar), 0,03% de gás carbônico (CO₂) e participação relativamente pequena de outros gases, como neônio, hélio, gás metano e gás hidrogênio, como pode ser visto na Figura 1 (HAYNES, 2014).

Figura 1 – Composição da atmosfera seca



Fonte: Adaptado de HAYNES (2014)

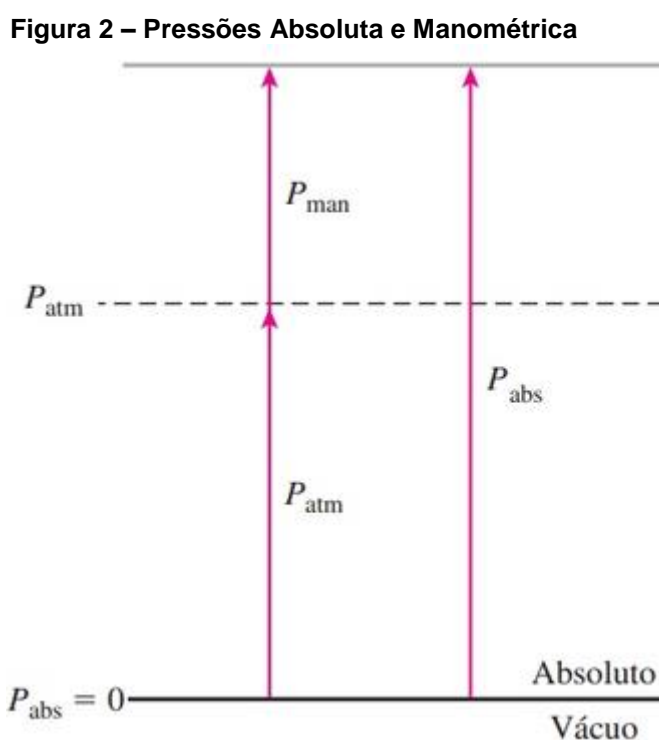
2.1.1 Propriedades do Ar comprimido

Ao se comprimir o ar atmosférico e produzir o ar comprimido, algumas propriedades físicas do ar influenciam no desempenho do funcionamento do ar comprimido em uma rede de distribuição, sendo elas: pressão, umidade, temperatura, entre outras. (BOSCH, 2008).

2.1.1.1 Pressão

A pressão é a força exercida por um líquido ou um gás por uma unidade de área, essa força é causada pela agitação das moléculas desse fluido (ÇENGEL; BOLES, 2013).

Ao se medir a pressão, é necessário que esteja claro a qual pressão está se referindo, pois há duas definições de pressão: a pressão absoluta e a pressão manométrica. A pressão absoluta se refere à medida de pressão em relação ao vácuo absoluto, enquanto a pressão manométrica é a medida de pressão em relação à pressão atmosférica, que possui valor de 101,325 Pa a nível do mar. Na Figura 2, pode ser observada a relação entre pressão manométrica e absoluta (ÇENGEL; BOLES, 2013).



Fonte: Adaptado de ÇENGEL; BOLES (2013)

Ao comprimir o ar através da atuação de um compressor, a pressões superiores à pressão atmosférica, obtém-se o ar comprimido (SANTOS, 2002).

2.1.1.2 Umidade

Ao se admitir o ar atmosférico dentro de compressores, também são admitidos outros gases, entre eles, se encontra vapor d'água. Cerca de 18g de água em forma de vapor são admitidas para cada m^3 de ar que entra em um compressor, e essa presença de água pode ocasionar problemas no sistema de ar comprimido (PARKER HANNIFIN, 2006).

2.1.1.3 Gás Ideal

Ao se estudar substâncias no estado gasoso, deve-se saber se o comportamento desta substância pode ser considerado como um gás ideal ou não, já que estes tipos de gases possuem propriedades diferentes dos gases normais e influenciam nos estudos realizados. Para se saber se determinada substância é ou não um gás ideal, devem ser calculadas a temperatura reduzida e a pressão reduzida. A temperatura reduzida é a razão entre a temperatura no estudo e a temperatura crítica. A pressão reduzida é a razão entre a pressão e a pressão crítica. Temperatura e pressão críticas são as propriedades encontradas no ponto crítico de cada substância, que é o ponto no qual os estados de líquido saturado e vapor saturado são iguais, para o ar, a temperatura crítica é de 132,5 K e a pressão crítica é de 3,77 MPa. Após esse cálculo, se for verificada que a temperatura reduzida (razão entre a temperatura da aplicação em K e a temperatura crítica em K) tem valor maior que 2 e a pressão reduzida (razão entre a pressão da aplicação e a pressão crítica utilizando a mesma unidade de medida) tem valor menor que 1, o gás pode ser considerado ideal. Ao se utilizar essa verificação no ar, seria necessária uma combinação muito específica de propriedades para que não seja considerado um gás ideal (ÇENGEL; BOLES, 2013).

2.1.2 Sistemas de Purificação da rede de ar comprimido

Quando se admite ar para dentro de um sistema, também se admitem outras partículas que estão presentes no ar, como o vapor da água em forma de umidade, partículas sólidas, e outras sujeiras presentes na atmosfera. A função dos sistemas

de purificação da rede é retirar estas impurezas do ar, chegando ao pleno funcionamento da rede de ar, e em aplicações medicinais o sistema de purificação deve ser ainda mais eficiente, já que terá grande importância no tratamento a ser realizado. Para se obter ar filtrado estéril, é necessário que o sistema de purificação da rede possa reter partículas de tamanho igual a $0,3\mu\text{m}$ ou maiores (DINIS; CAPOULAS; NEVES, 2012).

2.1.2.1 Resfriadores

Após o processo de compressão do ar, ocorre um aumento de temperatura, ocasionado pelo atrito do ar com as peças móveis do compressor. Para que seja utilizado de maneira eficiente e segura, é necessário que o ar seja resfriado (FIALHO, 2011).

Os processos de refrigeração mais utilizados são refrigeração por ar, refrigeração por água e refrigeração por aletamento, podendo também ocorrer compressão em diversos estágios com a refrigeração ocorrendo entre os estágios (PEIXOTO; SPERB INDRUSIAK, 2011).

Em instalações de compressores de ar comprimido com potência menor que 40hp, as próprias aletas do compressor são suficientes para a refrigeração do ar (FIALHO, 2011).

2.1.2.2 Filtros

Para se manter a quantidade de poeiras e materiais abrasivos dentro de limites que ainda possibilitem o funcionamento da rede de ar é necessário a utilização de filtros (PACCO, 2013).

Existem três tipos de filtros que podem ser utilizados em redes de ar comprimido: o coalescente, o interceptor e o adsorvente.

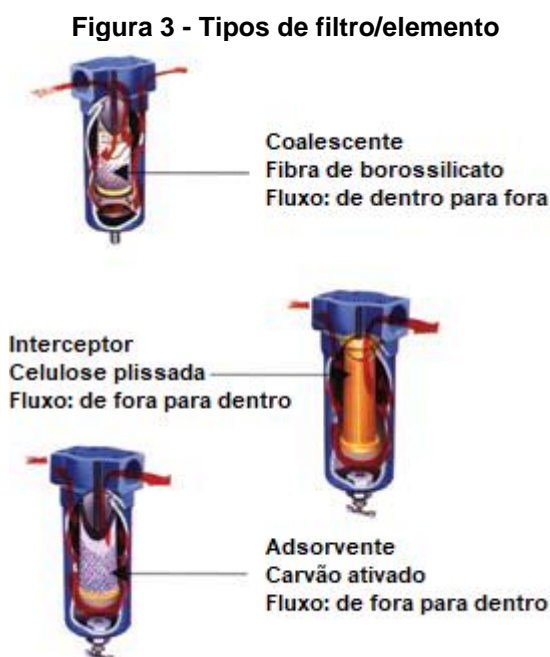
No filtro do tipo coalescente o ar entra pela parte interna de um elemento filtrante cilíndrico, saindo pela camada externa fazendo com que as impurezas fiquem presas no elemento filtrante (PARKER HANNIFIN, 2006).

O filtro interceptor possui uma malha porosa em que as impurezas são retidas quando passariam pela malha. Esse tipo de filtro possui capacidade de reter grande

quantidade de impurezas, porém, não tem capacidade de reter partículas menores que $3\mu\text{m}$ (PARKER HANNIFIN, 2006).

O filtro adsorvente possui um funcionamento semelhante ao interceptor, porém, o elemento filtrante é de carvão ativado, que é um material com poros muito pequenos, sendo assim tem capacidade de reter partículas menores do que o filtro interceptor (PARKER HANNIFIN, 2006).

Pode ser vista a diferença na forma que o ar percorre o filtro e dos elementos filtrantes na Figura 3 (PARKER HANNIFIN, 2006).



Fonte: Adaptado de PARKER HANNIFIN (2006)

Essa diferença na forma de filtrar e de elementos filtrantes, faz com que a eficiência na filtragem se altere, bem como a quantidade de vapor d'água e de partículas de óleo que o filtro pode remover do sistema.

Em sistemas de ar comprimido medicinal, os filtros, juntamente com os outros sistemas de purificação devem manter o ar comprimido com as seguintes quantidades de materiais segundo a NBR 12188, 2016:

- O_2 : de 20,4% a 21,4% em volume de oxigênio;
- CO : $5\ \mu\text{g/g}$ máx.
- CO_2 : $500\ \mu\text{g/g}$ máx.
- SO_2 : $1\ \mu\text{g/g}$ máx.
- $\text{NO} + \text{NO}_2$: $2\ \mu\text{g/g}$ máx.

- f) Óleos e partículas sólidas: 0,1 mg/g máx.
- g) Vapor de água: 67 µg/g máx.
- h) N₂: restante

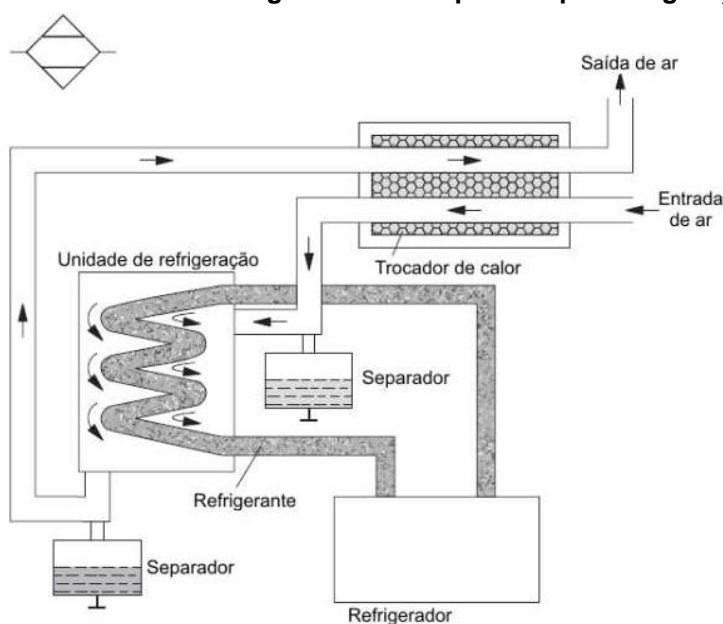
2.1.2.3 Secadores

Os secadores de uma rede de ar comprimido têm função de retirar a água em forma de vapor que está presente na rede. Se esse vapor se tornar água, pode interferir no funcionamento dos equipamentos e aumentar a proliferação de microrganismos no sistema, sendo assim é necessária a instalação de secadores (SANTOS, 2002).

Existem 3 tipos de secadores em redes de ar comprimido: secador por refrigeração, absorção ou adsorção. A principal diferença entre os tipos é o método de secagem.

Na secagem por refrigeração o ar passa por um trocador de calor, como pode ser visto na Figura 4, em que é resfriado, assegurando que a maior parte do vapor da água presente no ar condense e goteje, e após isso o ar é aquecido novamente (SILVEIRA FILHO; SANTOS, 2018).

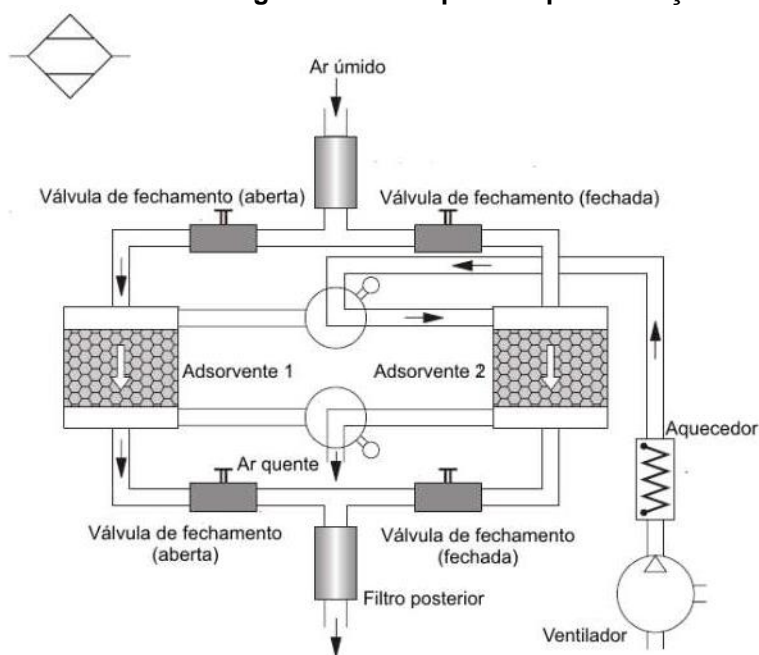
Figura 4 – Método de secagem de ar comprimido por refrigeração



Fonte: Adaptado de CROSER; EBEL, 2002

A secagem por adsorção é realizada em dois tanques de secagem diferentes, nestes tanques é encontrado um material granulado (normalmente dióxido de silício) que retira a umidade, como é ilustrado na Figura 5. Quando o material de um dos tanques fica muito úmido, o fluxo do ar passa pelo outro tanque, enquanto o tanque com material úmido é aquecido, e assim regenera o material granulado, podendo ser utilizado novamente (SILVEIRA FILHO; SANTOS, 2018).

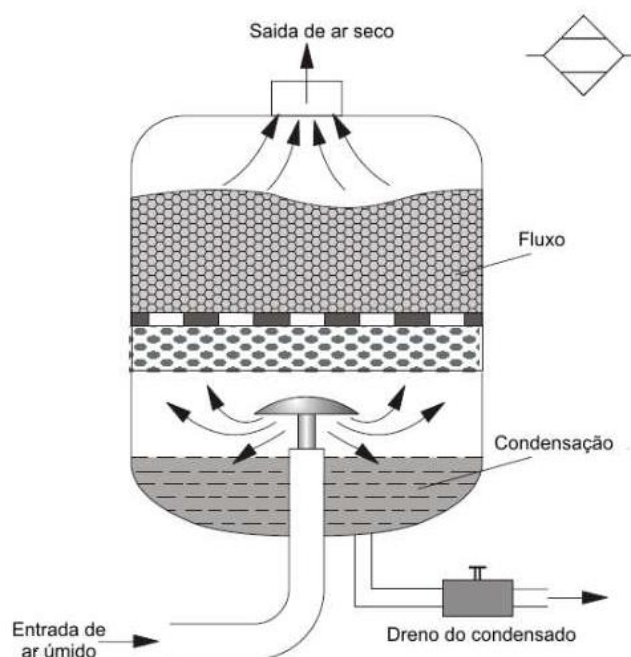
Figura 5 – Método de secagem de ar comprimido por adsorção



Fonte: Adaptado de CROSER; EBEL, 2002

A secagem por absorção é um processo químico em que o vapor da água presente no ar reage com uma substância, transformando-se em condensado, que será descartado, conforme está na Figura 6. Esse processo não é muito utilizado na prática, por ter custos altos, já que a substância que reage com o vapor da água não é reutilizável após a primeira vez que age (SILVEIRA FILHO; SANTOS, 2018).

Figura 6 – Método de secagem de ar comprimido por absorção



Fonte: Adaptado de CROSER; EBEL, 2002

A escolha entre os tipos de secadores depende principalmente do ponto de orvalho que é necessário para a rede de ar comprimido, sendo que os menores pontos de orvalho são atingidos por secadores por adsorção (PARKER HANNIFIN, 2006).

2.1.2.3.1 Ponto de orvalho

O ponto de orvalho é a temperatura em que a água presente em forma de vapor no ar se torna saturada (SANTOS, 2002). O ponto de orvalho em aplicações medicinais deve ser $-45,5^{\circ}\text{C}$, e é atingido ao se instalar secadores de ar por adsorção e filtros, com filtragem de $0,3\mu\text{m}$ e 99% de eficiência (NBR 12188, 2016).

2.1.2.4 Purgadores

Diferentemente de purgadores utilizados em linhas de vapor, que tem a função de eliminar o ar e condensado formado na rede, os purgadores em uma linha de ar comprimido possuem a função de eliminar apenas o condensado que se forma na rede. A drenagem dos purgadores pode ser automática, com utilização de uma

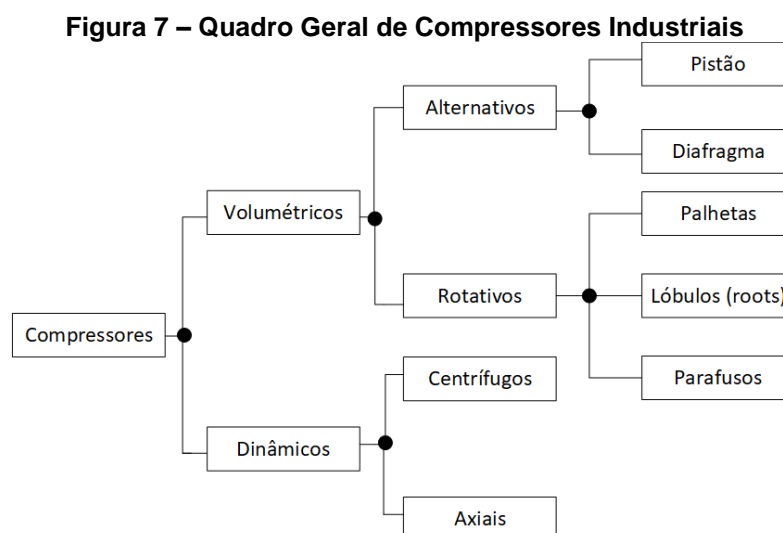
boia, ou com utilização de temporizadores para eliminação do condensado de dentro do purgador eletronicamente (MOREIRA, 2012).

Há a necessidade de colocar purgadores, mesmo com os tratamentos realizados previamente na rede de ar comprimido, pois a condensação pode ocorrer em pequenas quantidades, principalmente em baixas temperaturas ambientes (FIALHO, 2011). É recomendado colocar purgadores na rede a cada 20 ou 30 metros de tubulação na parte mais baixa das tubulações (TOPFUSION, 2021).

Também é recomendado colocar purgadores a cada sistema de purificação, para retirar partículas de vapor d'água que poderiam estar nesses equipamentos (PARKER HANNIFIN, 2006).

2.1.3 Compressores

Além de tratar o ar para o pleno funcionamento dos equipamentos pneumáticos, para que o ar atmosférico se torne ar comprimido é necessário que sua pressão seja aumentada. Nesse sentido, os compressores são os equipamentos utilizados para isso. Eles são classificados em dois princípios de compressão: volumétrico (em que o aumento de pressão é alcançado pela diminuição do volume ocupado pelo ar) e dinâmico (em que a pressão é alcançada por uma aceleração da massa de ar que está dentro do compressor) (FIALHO, 2011). Após estas classificações, os compressores ainda são divididos em mais tipos, conforme a Figura 7:



Fonte: Adaptado de FIALHO (2011)

A aplicação de cada tipo de compressor depende da pressão e da vazão necessárias para a rede de ar comprimido (SILVEIRA FILHO; SANTOS, 2018), conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Tipos de compressor, pressão e vazão máxima

Tipo de compressor	Pressão máxima de utilização (bar)	Vazão máxima (m³/h)
Pistão	35	600
Diafragma	Baixa	Pequena
Palhetas	16	4500
Lóbulos	1,6	1200
Parafusos	22	750
Centrífugo	10	200000
Axial	10	200000

Fonte: Adaptado de SILVEIRA FILHO; SANTOS, 2018

Em uma instalação de ar comprimido medicinal são necessários ao menos dois compressores, para trabalharem de maneira intermitente, e a vazão de cada compressor deve atender totalmente a rede de ar, com a finalidade de que o sistema continue em funcionamento com um compressor estando fora de uso (NBR 12188, 2016).

2.1.3.1 Compressores isentos de óleo

Compressores isentos de óleo, são compressores com projetos diferentes de compressores convencionais, e são utilizados em aplicações em que o óleo pode ser prejudicial ao processo, porém, compressores isentos de óleo precisam de mais manutenção do que compressores convencionais, por conta dessas diferenças de projeto, já que sem óleo para lubrificar, há mais atrito e vibrações entre os componentes do compressor, gerando maior desgaste dos componentes (BROWN, 2005).

Figura 8 – Compressor isento de óleo modelo CSV 20



Fonte: SCHULZ, 2022

O ar comprimido para aplicação medicinal deve ser isento de óleo, sendo assim, o compressor deve ser específico para esta aplicação, podendo ser um compressor com selo de água, de membrana ou de pistão com lubrificação a seco (RESOLUÇÃO 1884 - MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1994). Alguns modelos de compressores parafuso também podem apresentar configuração em que o óleo não entra em contato com o ar comprimido (SCHULZ, 2022).

Figura 9 – Compressor de membrana Z type



Fonte: Adaptado de SHANGHAI SOLLANT ENERGY SAVING TECHNOLOGY CO., 2022

Podemos ver imagens de compressores de pistão isento de óleo, de membrana e com selo de água na Figura 8, Figura 9 e Figura 10, respectivamente.

Figura 10 – Compressor com selo de água modelo Vectra XL 35

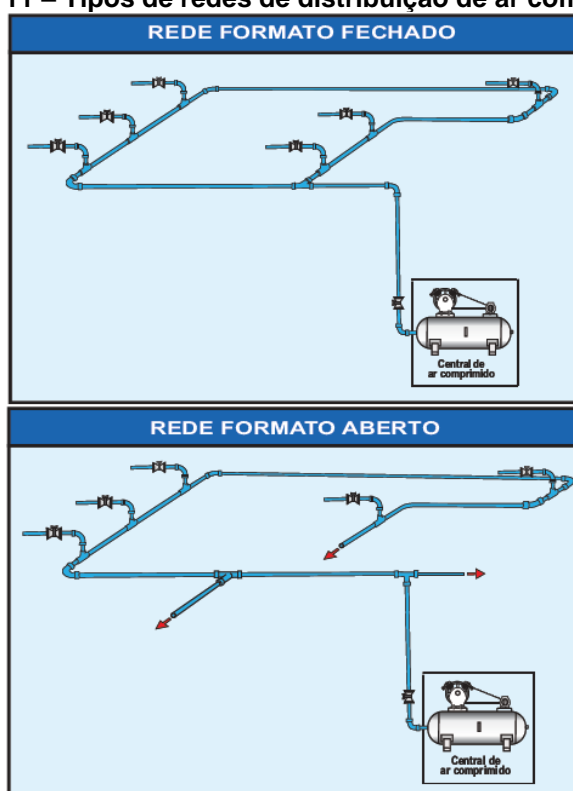


Fonte: NASH, 2019

2.1.4 Distribuição do ar comprimido

Após a compressão e purificação do ar comprimido, para que ele chegue até o local de aplicação, é necessária uma tubulação através da qual o ar se desloque. Essa tubulação normalmente é montada na parte superior do local, próximo a paredes, para que não interfira em deslocamento de pessoas ou máquinas no local. As redes de ar comprimido podem ser montadas em dois layouts: aberta ou fechada. Se a rede for aberta, quer dizer que há finais para a rede e não há interligação entre eles, já se a rede for fechada, não há finais na rede, pois há um anel fechado de ar vindo de ambos os lados (TOPFUSION, 2021). Redes abertas são mais indicadas para abastecer pontos mais distantes, pois assim será utilizado menos material para a tubulação, já redes fechadas são mais indicadas quando a rede de ar possui vários pontos, fazendo com que todos os pontos sejam alimentados de maneira igual, pois o ar chega até o local de uso pelos dois sentidos (FIALHO, 2011). A Figura 11 demonstra a diferença entre os dois tipos de rede.

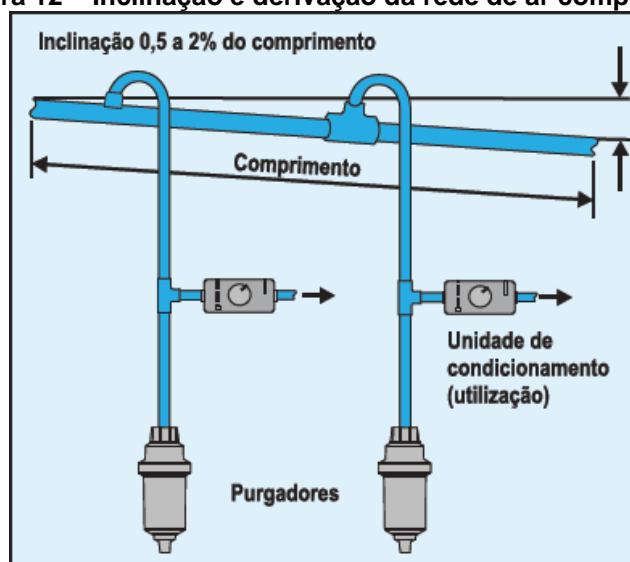
Figura 11 – Tipos de redes de distribuição de ar comprimido



Fonte: Adaptado de TOPFUSION, 2021

A rede de ar comprimido deve ter uma pequena inclinação para baixo, com a finalidade de possíveis condensados se concentrarem na parte inferior da tubulação. Outro detalhe da instalação da rede de ar comprimido é que ao se chegar no local em que há um ponto de utilização de ar comprimido, é necessário que a tubulação de ar desça até a altura de utilização. A forma correta de se fazer essa descida é com uma curva de 180° para cima, essa curva tem a finalidade de diminuir ainda mais a possibilidade de partículas sólidas ou líquidas que possam estar na rede cheguem até o ponto de utilização, pois estes líquidos irão se depositar na parte inferior da tubulação, pela ação da gravidade no interior da tubulação, sendo assim, há uma maior possibilidade de apenas ar subir pela curva de 180° (TOPFUSION, 2021). A Figura 12 demonstra como está curva é feita, e também a inclinação da tubulação.

Figura 12 – Inclinação e derivação da rede de ar comprimido



Fonte: Adaptado de TOPFUSION, 2021

2.1.4.1 Material da tubulação da rede de ar comprimido

Quando compressores isentos de óleo são utilizados, tubulações que resistem a corrosão são mais indicadas, já que não há a película de óleo protegendo a tubulação (PACCO, 2013).

Em tubulações que precisam de proteção contra corrosão, materiais como aço carbono e ferro galvanizado são menos indicados em comparação com materiais plásticos (TELLES, 2001).

Há a indicação para a utilização de materiais menos propensos a corrosão, como polipropileno, alumínio e aço inoxidável em tubulações de ar comprimido, conforme a Figura 13, que também apresenta outras vantagens e desvantagens entre os materiais mais utilizados em tubulações de ar comprimido (ATLAS COPCO, 2021).

Figura 13 – Características, benefícios e pontos de atenção de cada material

	ALUMÍNIO	PPR (PLÁSTICO)	PRETO (AÇO-CARBONO)	GALVANIZADO (AÇO-CARBONO)	AÇO INOX
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	Alto ●	Baixo ●	Baixo ●	Baixo ●	Alto ●
PERDA DE CARGA	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●	Baixo ●
VAZAMENTOS	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●	Baixo ●
RUGOSIDADE INTERNA	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●	Baixo ●
RESIST. À CORROSÃO	Alto ●	Alto ●	Baixo ●	Baixo ●	Alto ●
RESIST. AO CALOR	Alto ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●
RESIST. AO IMPACTO	Médio ●	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●
RESIST. RADIAÇÃO UV	Alto ●	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●
RESIST. AOS HIDROCARBONETOS	Alto ●	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●
RESIST. À PRESSÃO	Alto ●	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●
PINTURA EXTERNA	Eletrostática (azul) ●	Pigmento azul ●	Exige pintura ●	Exige pintura ●	N/A ●
REUTILIZÁVEL	Sim ●	Eventualmente ●	Eventualmente ●	Eventualmente ●	Eventualmente ●
TEMPO DE MONTAGEM	Baixo ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●	Alto ●
DISTÂNCIA ENTRE SUPORTES	3 a 4 metros ●	0,4 a 1,4 metro ●	3 a 4 metros ●	3 a 4 metros ●	3 a 4 metros ●

Fonte: Adaptado de ATLAS COPCO (2021)

2.2 Escoamento de Fluidos

O comportamento de fluidos, podendo eles estarem em movimento ou em repouso, é estudado pela mecânica dos fluidos. A mecânica dos fluidos é o estudo de substâncias no estado líquido ou gasoso, podendo estar elas em repouso ou em movimento. Entre as diversas aplicações da mecânica dos fluidos se encontram a

hidráulica, aerodinâmica, dinâmica de gases, entre outras (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Quando fluidos estão em movimento é definido que há o escoamento desses fluidos. Para facilitar o estudo do escoamento de fluidos, é necessário adotar uma classificação para os escoamentos, tomando como base suas propriedades (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Escoamento interno ocorre quando o fluido está em movimento em um espaço confinado, como um tubo ou um duto (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Um escoamento diz-se compressível quando a massa específica do fluido pode mudar ao longo do tempo, já em escoamentos incompressíveis a massa específica, e outras propriedades que dependem dela se mantêm constantes. Normalmente líquidos são classificados como incompressíveis, e gases podem ser compressíveis ou incompressíveis, esta classificação depende principalmente do número de *Mach* do fluido, que é definido por (1). Se o número de *Mach* for menor que 0,3 em gases, pode-se considerar que o escoamento é incompressível (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

$$Ma = \frac{\vartheta}{c} \quad (1)$$

Em que Ma é o número de *Mach*, adimensional; ϑ é a velocidade do escoamento do fluido, medida em m/s; e c a velocidade do som no ar, que possui valor de 346 m/s em temperatura ambiente (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Um escoamento pode ser turbulento ou laminar dependendo do nível de organização entre as camadas do fluido. Se há a regularidade entre as camadas, formando lâminas, o escoamento é dito laminar. Se essas camadas não são regulares o escoamento é classificado como turbulento. O movimento do ar normalmente é classificado como turbulento (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

O escoamento de um fluido é classificado como estacionário ou totalmente desenvolvido quando as propriedades do fluido, como velocidade ou temperatura, sem mantêm ao longo do tempo (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

2.2.1 Equação da energia para escoamento incompressível e estacionário

Ao se aplicar as equações de energia em um escoamento incompressível e estacionário, com a finalidade de se descobrir a perda de carga entre duas seções 1 e 2, pode ser utilizada a equação (2) (WHITE, 2018):

$$\frac{p_1}{\rho * g} + \alpha * \frac{v_1^2}{2 * g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho * g} + \alpha * \frac{v_2^2}{2 * g} + z_2 + h_p \quad (2)$$

Sendo p a pressão em cada seção, medida em Pa; ρ a densidade média do fluido, medida em kg/m^3 ; g a aceleração da gravidade, medida em m/s^2 ; α o fator de correção da energia cinética, que em escoamentos turbulentos, totalmente desenvolvidos tem valor 1,05 e é adimensional; v a velocidade média do fluido em cada seção, medida em m/s , z a altura de cada seção, medida em m ; e h_p a perda de carga entre as seções, medida em m (WHITE, 2018).

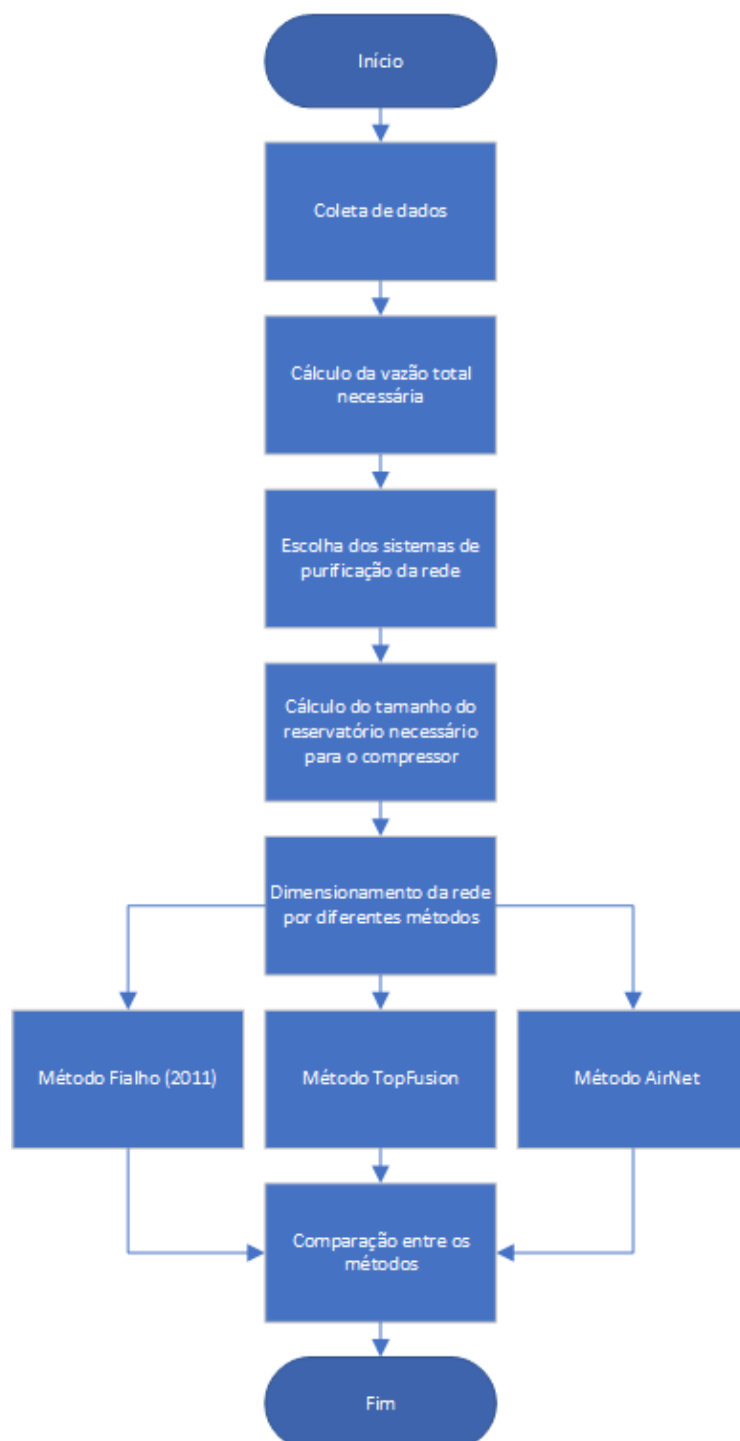
2.2.2 Perda de Carga

As perdas de carga em uma tubulação se dividem em dois tipos, chamados, de perdas maiores e menores. As perdas maiores são as perdas referentes às forças de atrito entre a tubulação e o fluido, já as perdas menores são perdas causadas por singularidades na tubulação, como curvas ou reduções, já que nestas singularidades, podem haver maiores turbulências (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2014).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para se chegar aos resultados, a metodologia a ser seguida será a que está apresentada na Figura 14. Cada passo será explicado posteriormente.

Figura 14 – Fluxograma da Metodologia do trabalho



Fonte: Autoria Própria (2021)

3.1 Coleta De Dados

Coleta feita em visita ao local de instalação, nesta visita foi determinado o comprimento de tubulação de ar comprimido, a quantidade de leitos que serão instalados e qual o tipo destes leitos de acordo com o que está na NBR 12188:2016.

3.2 Cálculo Da Vazão Total Necessária

Para se determinar a vazão necessária para cada leito, e, posteriormente, a vazão total necessária para o sistema, será seguido o que está na norma NBR 12188:2016 que determina a vazão necessária para cada tipo de leito, de acordo com a necessidade. Os valores da vazão necessária estão na Tabela 2 (ABNT, 2016).

Tabela 2 – Vazão necessária de ar comprimido medicinal para cada tipo de leito

Tipo de leito	Vazão de projeto por leito (L/min)
Sala de inalação	20
Consultório odontológico	60
Sala de trauma ou procedimento invasivo de emergência	40
Sala de emergência	20
Quarto/enfermaria	20
Sala de exames e curativos da internação	20
Sala de exames e curativos de queimados/balneoterapia	40
Área de cuidados e higienização de RN	20
Berçário de cuidados intermediários	20
Berçário de cuidados intensivos – UTI neonatal	60
Quarto/área coletiva de UTI	60
Sala de raios X intervencionista	60
Sala de hemodinâmica	20
Sala de exames de tomografia, RMN	40
Sala de exames endoscópicos	20
Sala de indução e recuperação pós-anestésica	40
Sala de cirurgia	40
Sala de parto	40
Sala/quarto pré-parto/parto/pós-parto (PPP)	20
Sala de aplicação de quimioterápicos	20

Fonte: ABNT, 2016

Para se determinar a vazão total necessária, serão somadas todas as vazões necessárias dos leitos.

3.3 Escolha Dos Sistemas De Purificação Da Rede

Para aplicações medicinais, o filtro escolhido deve manter o balanço de substâncias conforme o que está relatado na NBR 12188:2016 para se ter uma filtragem adequada na vazão total necessária para o sistema e possuir filtragem de 0,3µm. O filtro a ser escolhido é de um modelo que está disponível comercialmente e que atenda a esse nível de filtração e a vazão necessária do sistema.

No ar comprimido medicinal, os secadores devem ter 99% de eficiência na secagem. O secador escolhido é um modelo com estas características que está disponível no mercado.

Para se realizar a escolha dos purgadores, e a quantidade deles, será levada em conta a vazão do sistema, bem como o comprimento da linha. O purgador escolhido será um modelo disponível comercialmente, que atenda a esses requisitos.

3.4 Cálculo Do Tamanho Do Reservatório Necessário Para O Compressor

Para se determinar o tamanho do reservatório de ar comprimido se utiliza a equação (3) (PARKER HANNIFIN, 2006):

$$V = 0,2 * Q \quad (3)$$

Em que V é o volume do reservatório, medido em m^3 e Q é a vazão volumétrica total do sistema, medida em m^3/min (PARKER HANNIFIN, 2006).

3.5 Dimensionamento Da Rede Por Diferentes Métodos

Três métodos serão utilizados para dimensionar a rede e escolher o compressor correto. O Método Fialho (2011) é um método analítico, podendo ser iterativo, e tem a finalidade de se encontrar o diâmetro da tubulação através de uma equação. Os métodos *TopFusion* e *AirNet* são métodos utilizados na prática por fabricantes de tubos para ar comprimido, sendo que o fabricante *TopFusion* é de tubos de PPCR e o fabricante *Atlas Copco* é de tubos de alumínio ou aço inoxidável.

Os compressores escolhidos em cada método serão compressores isentos de óleo, disponíveis no mercado. Para a escolha dos compressores, também será levado em conta a grande necessidade de manutenção dos compressores, então o compressor escolhido deve ser de um fabricante que possua uma rede ampla de assistência técnica.

3.5.1 Método Fialho (2011)

Neste método será utilizado o método de dimensionamento que Fialho (2011) utiliza, que segue a seguinte fórmula:

$$D = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot Lt}{\Delta P \cdot P}} \right] \quad (4)$$

Em que D é o diâmetro interno da tubulação, medido em mm; Q é a vazão volumétrica do sistema, medida em m³/h; Lt é o comprimento total da linha (soma entre o comprimento retilíneo e o comprimento equivalente das perdas de carga), medido em m; ΔP é a queda de pressão admitida no sistema, que em grandes redes chega ao valor máximo de 0,5 kgf/cm²; P é a pressão do ar comprimido armazenado no reservatório, medida em kgf/cm² (FIALHO, 2011).

Como o cálculo do diâmetro depende do comprimento da linha, somado ao comprimento equivalente das perdas de carga (Lt), será utilizado um método iterativo para cálculo do diâmetro, com a iteração inicial considerando que o comprimento equivalente das perdas de carga é nulo. As iterações são cessadas quando se chega ao mesmo valor de diâmetro comercial da tubulação em duas iterações subsequentes.

Os diâmetros comerciais escolhidos para este cálculo são os disponíveis do fabricante *TopFusion*, pois este fabricante deixa claro em seu catálogo os valores das perdas de carga referentes a singularidades na tubulação, e isso facilitará os cálculos de perda de carga que serão feitos posteriormente.

Como cada leito deste caso pode ter uma vazão diferente, será calculado o diâmetro necessário por leito, que atenderá a vazão necessária, e também será calculado o diâmetro da linha de ar geral, e será escolhido para o dimensionamento o maior dos diâmetros calculados.

Após o cálculo dos diâmetros, será calculada a perda de carga por conta do atrito com o tubo e a perda de carga causada pelas singularidades da tubulação.

As perdas de carga causadas pelo atrito com a tubulação são calculadas pela fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} \quad (5)$$

Em que h_L é a perda de carga causada pelo atrito, medida em m; f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach, que é um fator adimensional que depende do material da tubulação; L é o comprimento da tubulação, medida em m; D é o diâmetro interno da tubulação, medido em m; v é a velocidade média do escoamento, medida em m/s; e g é a aceleração da gravidade, medida em m/s^2 (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

As perdas de carga causadas pelas singularidades são calculadas pela seguinte fórmula, do catálogo de *TopFusion*:

$$h_s = \sum R \left(\frac{v^2}{2 * g} \right) \quad (6)$$

Em que h_s é o valor da perda de carga das singularidades, medida em m; R é um coeficiente adimensional de resistência que muda para cada tipo de singularidade; v é a velocidade média do ar, medida em m/s; e g é a aceleração da gravidade, que possui valor de $9,81 m/s^2$ (TOPFUSION, 2021).

O valor do coeficiente R pode variar de acordo com cada fabricante de material de tubulação, sendo assim, quando for possível, devem-se utilizar as resistências fornecidas por catálogos de fabricantes (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2014).

Tabela 3 – Valores de R para cada tipo de conexão

Tipo de conexão	Valor de R
Luva	0,25
Bucha de redução	0,55
Joelho 90°	1,30
Joelho 45°	0,50
Luva com inserto metálico	0,50
Adaptador com inserto metálico	0,70
Curva 180°	1,20
Joelho 90° com inserto metálico, rosca interna	1,40
Curva 90°	0,60
Joelho 90° com inserto metálico, rosca externa	1,60
Tê	2,20
Registro esfera	1,40

Fonte: Adaptado de TOPFUSION, 2021

Os valores de R é obtido pelo catálogo do fabricante TOPFUSION, 2021, e estão na Tabela 3, para se chegar ao valor de R de curvas de 180° foi somado o valor de R de duas curvas 90° e para o valor de R de registro esfera, somou-se o valor de dois adaptadores com inserto metálico.

Após isso, soma-se as perdas de carga e se obtêm a perda de carga total em cada leito, e é verificada qual a maior perda de carga que deve ser suprida, a fim de que o compressor supra a necessidade do leito mais crítico.

Sabendo o valor da perda de carga, utiliza-se (2) que é a equação da energia para escoamento turbulento, completamente desenvolvido e incompressível. A característica de incompressibilidade do escoamento será testada posteriormente.

Para este caso é considerado que $z_1 = z_2$, já que a energia potencial decorrente da diferença de altura entre o compressor e o leito é desprezível em relação às outras formas de energia em questão.

O diâmetro escolhido será o mesmo para toda a tubulação, para se diminuir peças sobressalentes necessárias no local, facilitando a manutenção posterior, então se pode afirmar que $\vartheta_1 = \vartheta_2$ neste caso, já que a velocidade se relaciona com o diâmetro segundo a seguinte fórmula:

$$\vartheta = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (7)$$

Em que ϑ é a velocidade média, medida em m/s; Q é a vazão volumétrica do sistema, medida em m³/s; D é o diâmetro interno da tubulação, medido em m.

Sendo assim, neste método, para se encontrar a pressão necessária no compressor (p_1), será utilizada a equação (8):

$$p_1 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_p \quad (8)$$

Em que p_1 é a pressão do estado 1, ou seja, a pressão logo após a saída do compressor, medida em Pa; p_2 é a pressão do estado 2, ou seja, a pressão no ponto de saída de ar para o leito, medida em Pa; ρ é a massa específica do ar, que possui valor de 1,204m³/kg com a temperatura ambiente a 20°C (ÇENGEL; CIMBALA, 2015); g é a aceleração da gravidade, que possui valor 9,81m/s²; h_p é a perda de carga que ocorre entre o estado 1 e o estado 2, essa perda de carga é a soma entre as perdas maiores (h_L) e as perdas menores (h_S), medida em m.

Sabendo a pressão, a vazão e o tamanho do reservatório necessários para o compressor, será escolhido um compressor isento de óleo que esteja disponível no mercado e que atenda essas necessidades.

3.5.2 Método *TopFusion*

Neste método, os dados de entrada serão a vazão do sistema e a distância entre o compressor e o ponto mais distante da rede para se determinar o diâmetro. Utilizando estes dados e a Figura 15, chega-se ao diâmetro comercial do fabricante *TopFusion* para esta aplicação. Neste caso, será calculado apenas um diâmetro para toda a tubulação, pois a vazão que é utilizada como entrada no método é a do sistema como um todo.

Figura 15 – Tabela para determinar diâmetro externo da tubulação ar comprimido

TABELA PARA DETERMINAR DIÂMETRO EXTERNO DA TUBULAÇÃO AR COMPRIMIDO - TOPFUSIÓN											
VAZÃO		DISTÂNCIA ENTRE O COMPRESSOR E O PONTO MAIS DISTANTE DA REDE									
		25 m	50 m	100 m	150 m	200 m	300 m	400 m	500 m	750 m	1.000 m
M ³ /h	P _{cm}	82 ft	164 ft	328 ft	492 ft	656 ft	984 ft	1.312 ft	1.640 ft	2.460 ft	3.280 ft
14	8	20	20	25	25	25	32	32	32	32	40
39	23	20	25	25	32	32	32	40	40	40	50
54	32	25	25	32	32	40	40	50	50	50	50
72	42	25	32	40	40	40	50	50	50	50	63
105	62	32	40	40	50	50	50	63	63	63	63
120	71	32	40	40	50	50	63	63	63	63	75
150	88	40	40	50	50	63	63	63	75	75	75

Fonte: Adaptado de TOPFUSION, 2021

Após isso, são calculadas as perdas de carga referentes ao atrito com o tubo e as perdas de carga causadas pelas singularidades, da mesma forma que foi feito no método anterior, já que em ambos os métodos se utilizou o mesmo fabricante como base para os cálculos do diâmetro.

Para se determinar a pressão necessária para o compressor novamente será escolhido o leito mais crítico, e tendo como base este leito, será utilizada a Equação da energia para escoamento turbulento, completamente desenvolvido e incompressível, com as mesmas considerações que o Método Fialho (2011), já que tanto a vazão quanto os diâmetros são constantes ao longo da tubulação neste

método. Sendo assim, para se encontrar a pressão do compressor neste caso, será utilizada (8).

Novamente, ao se determinar a pressão, vazão e tamanho do reservatório necessários para o compressor, será realizada a escolha do compressor utilizando os mesmos critérios para a escolha que foram utilizados no Método Fialho.

3.5.3 Método *AirNet*

Neste método os dados de entrada serão a vazão volumétrica do sistema e o comprimento total da tubulação e será utilizada a Figura 16, proveniente do catálogo da fabricante *AirNet* para escolha do diâmetro da tubulação, sendo que novamente o diâmetro será constante ao longo de toda a rede. O material escolhido para este método é aço inoxidável 304L.

Figura 16 – Tabela para determinar o diâmetro da tubulação *AirNet*

N[l/s]	N[l/min]	N[m ³ /min]	50	100	150	300	500
3	200	0,2	20	20	20	20	20
8	500	0,5	20	20	20	25	25
14	800	0,8	20	20	25	25	40
19	1.200	1,2	20	25	25	40	40
28	1.700	1,7	25	25	40	40	40
42	2.500	2,5	25	40	40	40	40
69	4.000	4	40	40	40	50	50
97	6.000	6	40	40	50	50	63
139	8.000	8	40	50	50	63	63
208	13.000	13	50	63	63	63	80
278	17.000	17	50	63	63	80	80
347	21.000	21	63	63	80	80	100
417	25.000	25	63	80	80	100	100
486	29.000	29	63	80	80	100	100

Fonte: Adaptado de ATLASCOPCO, 2021

Após a escolha do valor do diâmetro, será calculado o valor das perdas de carga referentes ao comprimento da tubulação. Como o fabricante Atlas Copco não informa o valor de f , essas perdas de carga devem ser calculadas de outra forma.

Uma outra forma de se calcular a perda de carga depende dos valores do número de Reynolds e da rugosidade específica, então estes serão calculados antes de proceder com o dimensionamento e, posteriormente, verificado se está dentro das condições da equação.

Para se calcular o número de Reynolds em tubos, utiliza-se a equação (9):

$$Re = \frac{\vartheta * D}{\nu} \quad (9)$$

Em que Re é o número de Reynolds, adimensional; ϑ é a velocidade média do fluido no interior da tubulação, medida em m/s e ν a viscosidade cinemática do fluido, que possui valor de $1,516 * 10^{-6}$ m²/s com temperatura ambiente de 20°C (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Para se obter o valor a rugosidade específica, é calculada a razão entre a rugosidade absoluta da tubulação (ϵ), que para o aço inoxidável o valor mais adequado para ser utilizado é de 0,050mm (SCHRODER, 2011), e o diâmetro interno da tubulação em mm.

Em tubulações que o número de Reynolds está entre $3,0 \times 10^3$ e $3,0 \times 10^8$ e a rugosidade específica entre $1,0 \times 10^{-6}$ e $1,0 \times 10^{-2}$, há uma correlação em que não são necessários cálculos numéricos para determinação da perda de carga referente ao comprimento da tubulação (ÇENGEL; CIMBALA, 2015). Esta correlação segue a equação (10):

$$h_L = 1,07 * \frac{Q^2 * L}{g * D^5} * \left\{ \ln \left[\frac{\epsilon}{3,7 * D} + 4,62 * \left(\frac{\nu * D}{Q} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} \quad (10)$$

Em que h_L é a perda de carga referente ao comprimento da tubulação, medida em m; Q é a vazão volumétrica no interior da tubulação, medida em m³/s; L é o comprimento da tubulação até o ponto escolhido, medido em m; g é a aceleração da gravidade, que possui valor de 9,81 m/s²; D é o diâmetro interno da tubulação, medido em m; ϵ é a rugosidade absoluta da tubulação medida em m e ν é a viscosidade cinemática do fluido, que possui valor de $1,516 * 10^{-6}$ m²/s com temperatura ambiente de 20°C (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Após o cálculo da perda de carga referente ao comprimento da tubulação, calculam-se as perdas de carga das singularidades, também de acordo com o catálogo do fabricante *AirNet*, que estão mostradas na Figura 17:

Figura 17 – Tabela de perdas de carga para cada tipo de conexão *AirNet*

Fittings	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"
Ball valve	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
Angle 45°	0.4	0.5	0.7	0.7	1.0	1.3	1.8	2.0
Angle 90°	0.7	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.5	4.0
T-piece	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Reduction fitting 2d to d	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5

Fonte: Adaptado de ATLASCOPCO, 2021

A Figura 17 mostra a perda de carga de cada tipo de singularidade, medida em metros. Para se chegar ao valor da perda de carga para uma curva 180°, somam-se os valores das perdas de duas curvas 90°. Como o fabricante dos tubos *AirNet* não deixa claro o valor da perda de carga de joelhos com inserto metálico de rosca interna, será utilizado o mesmo valor que a curva 90°.

Após a determinação das perdas de cargas, será escolhido novamente o ponto de saída de ar mais crítico, e será aplicada (8) neste ponto, para se obter a pressão necessária para o compressor.

Tendo em mãos os dados de pressão, vazão e tamanho do reservatório necessário, se utiliza a mesma metodologia que foi usada nos outros métodos para escolher o compressor adequado.

3.6 Comparação entre os métodos

Os métodos serão comparados ao se escolher um mesmo compressor disponível comercialmente para os três, e verificando se este compressor atenderia as três tubulações dimensionadas, e se esse não fosse o caso, qual seria a eficiência do atendimento do compressor em cada caso.

Essa verificação se o compressor atenderia as tubulações será feita ao se calcular a pressão no leito mais crítico em cada método, seguindo a equação:

$$p_2 = p_1 - \rho * g * h_p \quad (11)$$

Em que p_2 é a pressão do leito mais crítico com o compressor escolhido, medida em Pa; p_1 é a pressão nominal do compressor escolhido, medida em Pa; ρ é a massa específica do ar, que possui valor de 1,204m³/kg com a temperatura

ambiente a 20°C (ÇENGEL; CIMBALA, 2015); h_P é a perda de carga total entre o compressor e o ponto mais crítico, medida em m.

Após este cálculo, verifica-se se a pressão atende às necessidades solicitadas do projeto, calculando a porcentagem da pressão de projeto solicitada que estaria chegando no leito em questão.

Após esses cálculos, e escolhido o compressor, serão calculadas as velocidades médias, utilizando (7), e, posteriormente, os números de *Mach* para cada tubulação utilizando (1), para se verificar se a equação (2) pode ser utilizada.

4 CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O estudo em questão foi iniciado por conta de uma oportunidade comercial proposta ao local em que o autor estava empregado. Essa oportunidade comercial era para o estudo de uma rede de ar comprimido medicinal de um posto de saúde de aproximadamente 1200 m² de área total, pressão solicitada em cada ponto de ar de 6 bar, e 165 m de tubulação necessária para ar comprimido, dividida em dois sentidos, pela direita, que deve possuir 52m de tubulação sem contar as descidas, e pela esquerda, que deve possuir 65m de tubulação sem contar as descidas.

Pode se observar um esboço da instalação no Apêndice A, em que estão ilustradas as salas em que o ar comprimido será utilizado, quais leitos estão em cada sala, bem como a localização da central de suprimento e purificação de ar comprimido.

Ao se fazer o dimensionamento foi constatado que haviam diferentes métodos de se calcular as características da tubulação, então foi feito este estudo para se determinar qual seria o melhor método.

Para o dimensionamento correto da rede, foi feito levantamento das necessidades do projeto, e tamanho da tubulação de ar comprimido no local em que haveria a instalação. Após esse levantamento, foi constatado que a rede teria 22 pontos de ar comprimido, a serem instalados em diferentes classificações de leitos, de acordo com a NBR 12188:2016.

Também neste levantamento foram conhecidas as singularidades e comprimentos de rede para cada leito que está no projeto.

As classificações dos leitos de acordo com a NBR 12188:2016, número de singularidades e comprimento da rede em cada ponto de ar comprimido estão no Apêndice B.

Os valores das luvas entre os materiais *TopFusion* e *AirNet* são diferentes por conta dos diferentes valores de comprimento de barras que são vendidos pelos fornecedores, sendo que de acordo com os catálogos, o fornecedor *TopFusion* fornece barras de tubos de 3m de comprimento (TOPFUSION, 2021) e o fornecedor *AirNet* fornece barras de tubos de 5,7m de comprimento (ATLASCOPCO, 2021).

4.1 Resultados e discussões

Ao se utilizar a metodologia descrita anteriormente, o dimensionamento utilizando três métodos diferentes chegou aos resultados que são apresentados nesta seção.

4.2 Vazão Total Necessária

Combinando os dados da Tabela 2 e do Apêndice B, chegaram-se aos seguintes dados de vazão para cada leito:

Tabela 4 – Vazão necessária para cada leito

Nº do leito	Vazão necessária (L/s)
1	20
2	20
3	20
4	20
5	20
6	20
7	20
8	20
9	20
10	20
11	20
12	20
13	20
14	20
15	60
16	20
17	20
18	20
19	20
20	20
21	40
22	40

Fonte: Autoria Própria (2022)

A vazão total é a soma de todas as vazões necessárias, e possui valor de 560 l/min, equivalente a 33,6 m³/h e 19,78 pcm (pés cúbicos por minuto).

4.3 Escolha Dos Sistemas De Purificação Da Rede

Os sistemas de purificação escolhidos foram do fabricante Parker, que é uma marca que possui ampla rede de revendas no mercado. A ampla rede de revendas facilita a aquisição de peças de manutenção ou reposição para o sistema.

4.3.1 Filtro

O filtro escolhido para esta aplicação foi o modelo PF 11 G 04 D J R SS, que é um filtro coalescente, com elemento filtrante de fibra de borossilicato, vazão atendida de até 45 pcm, nível de filtragem de 0,01µm e eficiência de 99,9997%, possuindo pressão de operação de até 12 bar. Esse filtro também possui dreno automático, o que facilita a operação. A Figura 18 mostra o modelo do filtro escolhido.

Figura 18 – Filtro Coalescente modelo PF 11

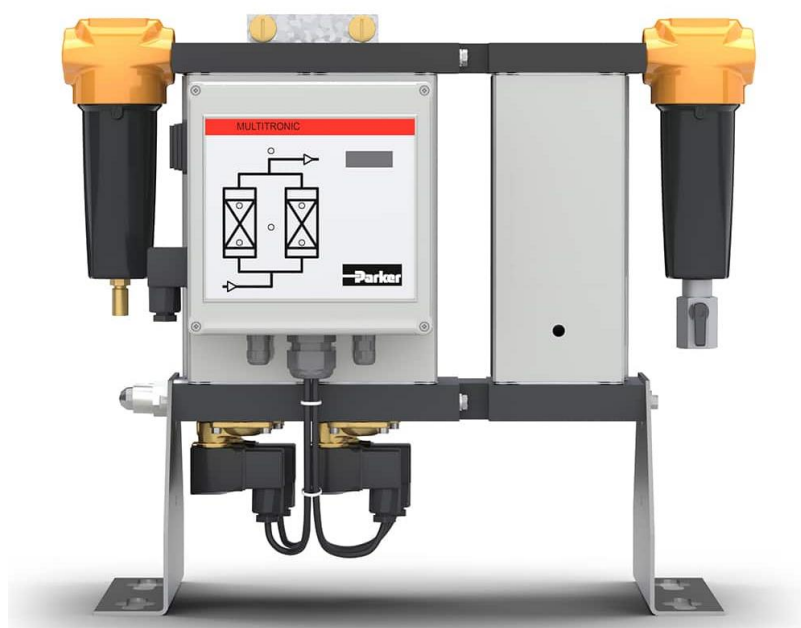


Fonte: Adaptado de PARKER HANNIFIN, 2017

4.3.2 Secador

O modelo de secador escolhido foi o KA – MT – 4, e este está sendo mostrado na Figura 19. Esse modelo é um secador com vazão de secagem de 21pcm, possui opção de ponto de orvalho de -70°C , que atende a NBR12188:2016 e que realiza secagem por adsorção utilizando carvão ativado e possui pressão de operação de até 16 bar.

Figura 19 – Secador por adsorção modelo KA – MT



Fonte: Adaptado de ZANDER, 2021

4.3.3 Purgadores

Para atender a necessidade de um purgador a cada 20m de tubulação, serão necessários 7 purgadores no total: 1 no início da rede de ar, logo após o compressor, 3 na linha que vai pela direita e mais 3 na linha que vai pela esquerda.

O modelo escolhido é o P3TF A 2 2WA A N, que realiza a função em vazões de até 21 pcm e tem pressão de operação de até 16 bar.

4.4 Tamanho Do Reservatório Do Compressor

Seguindo a equação (3), o valor necessário para o reservatório do compressor é $0,112 \text{ m}^3$, equivalente a 112 L. Esse valor é o mesmo para os três métodos de dimensionamento, já que o valor da vazão necessária para atender todos os leitos é o mesmo, de $33,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.5 Dimensionamento Da Rede

4.5.1 Método Fialho (2011)

Seguindo o que está descrito em Fialho, foram necessárias 2 iterações para se chegar ao diâmetro comercial necessário para atender a vazão e o comprimento da rede, conforme está nos Apêndices C e D.

O valor do diâmetro comercial escolhido foi de 63mm. O valor 63mm é o diâmetro externo, sendo que o diâmetro interno é 45,6mm (TOPFUSION, 2021).

Utilizando esse valor para o diâmetro, as perdas de carga referentes ao comprimento da tubulação e às singularidades de cada leito estão na Tabela 5, que leva em conta os dados levantados no local da instalação do Apêndice B.

Conforme pode ser visto na Tabela 5, o leito mais crítico é o 22, com valor de perda de carga total de 104,17m

Utilizando (8), o valor de p_1 deve ser 601230,35 Pa, equivalente a 87,20 psi.

Já que o compressor a ser escolhido deve ser isento de óleo, e isso pode ocasionar mais necessidade de manutenção, o compressor escolhido é da marca Schulz, que possui uma grande rede de assistência técnica no país, e fornece compressores de diversas aplicações, incluindo medicinais.

Tabela 5 – Valores de perda de carga – Método Fialho (2011)

Nº do Leito	h_L (m)	h_s (m)	h_P (m)
1	12,41	26,97	39,38
2	13,87	23,72	37,59
3	14,60	38,37	52,97
4	16,06	35,13	51,19
5	21,17	50,61	71,78
6	21,90	46,94	68,85
7	30,67	61,76	92,43
8	29,21	63,26	92,46
9	27,74	65,01	92,75
10	27,01	62,84	89,86
11	27,74	61,34	89,09
12	26,28	62,43	88,71
13	24,82	58,76	83,59
14	22,63	45,86	68,50
15	40,16	49,19	89,35
16	35,78	46,20	81,97
17	36,51	35,21	71,71
18	18,25	28,22	46,47
19	31,40	38,04	69,43
20	40,89	47,03	87,92
21	45,27	52,19	97,46
22	49,65	54,52	104,17

Fonte: Aatoria Própria (2022)

Para este conjunto de pressão, vazão e volume do reservatório, foi escolhido o compressor modelo Isento de Óleo CSV 20/250, que é do tipo pistão, tem pressão de trabalho máxima de 120 psi, vazão produzida de 20 pcm e reservatório de 261 L. Este modelo de pistão têm uma potência de 5 hp e dois estágios de compressão com aletamento para resfriamento entre os estágios (SCHULZ, 2022).

4.5.2 Método *TopFusion*

Sabendo que a vazão necessária do sistema é 33,6 m³/h, a distância entre o compressor e o ponto mais distante da rede é 68m, e seguindo o que está na Figura 15, o valor do diâmetro comercial para este método é de 25mm. O diâmetro interno neste caso é 18mm (TOPFUSION, 2021).

Novamente levando em conta os dados do Apêndice B, calculam-se as perdas de carga de cada leito, que estão na Tabela 6:

Tabela 6 – Valores de perda de carga – Método *TopFusion*

Nº do Leito	h_L (m)	h_S (m)	h_P (m)
1	1295,12	1110,76	2405,88
2	1447,49	977,06	2424,55
3	1523,68	1580,43	3104,11
4	1676,04	1446,73	3122,77
5	2209,33	2084,39	4293,72
6	2285,51	1933,54	4219,06
7	3199,72	2543,78	5743,50
8	3047,35	2605,49	5652,84
9	2894,98	2677,48	5572,46
10	2818,80	2588,34	5407,14
11	2894,98	2526,64	5421,62
12	2742,62	2571,20	5313,82
13	2590,25	2420,36	5010,61
14	2361,70	1888,98	4250,67
15	4190,11	2026,11	6216,22
16	3733,01	1902,69	5635,70
17	3809,19	1450,16	5259,35
18	1904,59	1162,18	3066,78
19	3275,90	1566,72	4842,62
20	4266,29	1936,97	6203,27
21	4723,40	2149,53	6872,92
22	5180,50	2245,52	7426,02

Fonte: Autoria Própria (2022)

O leito mais crítico nesse método é o 22. Aplicando o valor da perda de carga de 7426,02m em (8), chega-se a um valor de p_1 de 687710,45 Pa, equivalente a 99,74 psi.

Esse valor de pressão, vazão e volume do reservatório, é atendido novamente pelo compressor modelo Isento de Óleo CSV 20/250 da marca Schulz.

4.5.3 Método *AirNet*

Aplicando os valores de 560 l/min de vazão volumétrica necessária do sistema e 165m de comprimento total da rede, encontra-se na Figura 16 o diâmetro de valor 25mm que é o valor comparável à 1 polegada na Figura 17, com diâmetro interno de 24mm (ATLASCOPCO, 2021).

Com este valor do diâmetro, pode ser calculado o valor do número de Reynolds, seguindo (9). O valor de Reynolds é de $3,27 \times 10^5$.

O valor da razão entre a rugosidade absoluta e o diâmetro da tubulação é de $2,08 \times 10^{-3}$, que é a rugosidade específica.

Já que o número de Reynolds e da rugosidade específica estão dentro dos limites, (10) pode ser utilizada.

Na Tabela 7 estão os valores referentes às perdas de carga em cada leito, tendo como base a Figura 17 e (10).

Tabela 7 – Valores de perda de carga – Método *AirNet*

Nº do Leito	h_L (m)	h_s (m)	h_P (m)
1	372,78	355,79	728,57
2	416,64	321,08	737,72
3	438,57	494,63	933,20
4	482,42	451,25	933,67
5	635,92	642,16	1278,08
6	657,85	598,77	1256,62
7	920,99	778,83	1699,82
8	877,13	789,68	1666,81
9	833,27	813,54	1646,82
10	811,35	781,00	1592,35
11	833,27	770,16	1603,43
12	789,42	781,00	1570,42

13	745,56	728,94	1474,50
14	679,78	587,92	1267,70
15	1206,05	622,63	1828,69
16	1074,48	581,41	1655,90
17	1096,41	451,25	1547,66
18	548,21	373,15	921,35
19	942,91	485,96	1428,87
20	1227,98	590,09	1818,07
21	1359,55	663,85	2023,40
22	1491,12	683,38	2174,50

Fonte: Autoria Própria (2022)

O leito mais crítico neste método é o 22, com valor de perda de carga 2174,50m.

Fazendo o cálculo de p_1 utilizando (8), chega-se a um valor de 625683,52Pa, equivalente a 90,75psi.

Novamente, para os valores calculados de vazão, volume do reservatório e pressão, o compressor modelo Isento de Óleo CSV 20/250 da marca Schulz é o que atende as necessidades de projeto.

4.6 Comparação Entre Os Métodos

Como o compressor escolhido nos três métodos foi o mesmo, não será necessário escolher outro compressor para a comparação.

Fazendo o cálculo de p_2 utilizando (11), e da porcentagem da pressão necessária que chega ao leito mais crítico em relação com a pressão solicitada em projeto, chegam-se aos valores que estão na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de p_2 e da porcentagem da pressão necessária em cada método

Método Utilizado	p_2 (bar)	Porcentagem da pressão necessária
Fialho	8,26	137,69%
<i>TopFusion</i>	7,40	123,28%
<i>AirNet</i>	8,02	133,61%

Fonte: Autoria Própria (2022)

A velocidade média do fluido e o número de *Mach*, também foram calculados, e estão na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores da velocidade média do fluido e do número de *Mach* em cada método

Método Utilizado	Velocidade média (m/s)	Ma
Fialho	3,03	0,00875
<i>TopFusion</i>	37,09	0,10720
<i>AirNet</i>	20,86	0,06030

Fonte: Aatoria Própria (2022)

De acordo com o que está na Tabela 9 sabe-se que os escoamentos dos três métodos são incompressíveis, então (2) pode ser utilizado e os valores de massa específica e viscosidade cinemática do ar são constantes, conforme foi utilizado nos cálculos.

Verificando os dados da Tabela 8, pode-se perceber que os três métodos atendem às necessidades de projeto, sendo que a pressão atingida no leito mais crítico é de pelo menos 20% maior do que a pressão solicitada inicialmente nos três métodos.

Também pode ser percebido que o método que teve uma porcentagem maior da pressão solicitada é o método Fialho, que é o único dos métodos que é analítico, isso é uma indicação de que métodos de dimensionamento sugeridos por fabricantes de tubulações de ar comprimido são menos conservadores.

Outro fator que possui bastante importância é o diâmetro da tubulação, que tem grande influência nos custos de montagem e manutenção, já que, quanto maior o diâmetro, maiores serão os preços dos tubos e das peças necessárias para a tubulação. Nesse sentido, ao se comparar o método Fialho com o método *TopFusion*, pode ser percebido que o diâmetro encontrado no método Fialho é consideravelmente maior, ou seja, se for escolhido o método Fialho para dimensionar a rede proposta neste trabalho, os custos de instalação e manutenção seriam maiores do que se o método *TopFusion* fosse escolhido.

5 CONCLUSÃO

Conforme foi proposto no objetivo geral, este trabalho busca dimensionar uma rede de ar comprimido medicinal e comparar três métodos utilizados para dimensionar a tubulação de ar comprimido. Para se chegar a este objetivo, foi calculada a vazão necessária para o projeto, tendo como base as normas brasileiras vigentes, como a NBR 12188. Também foram dimensionados os dispositivos de purificação do ar comprimido, que devem atender às demandas das redes de ar comprimido medicinal, de maneira eficiente e segura.

Após o final dos cálculos dos três métodos de dimensionamento da rede em questão, pôde ser verificado que utilizando o método analítico se chegou a um resultado mais conservador, tanto no diâmetro da rede, como na pressão no leito mais crítico, isso quer dizer que neste caso não foi um método de cálculo eficiente, e que os métodos práticos seriam mais adequados para um dimensionamento correto da rede.

Sendo assim, dos três métodos apresentados, o escolhido para o dimensionamento foi o método *TopFusion* já que é o que apresentou um menor sobredimensionamento, o que ocasiona menores custos de materiais, instalação e posterior manutenção. O diâmetro comercial calculado para este método é de 25mm, e o material da tubulação é PPCR.

Por fim, foi escolhido um compressor que atende à carência da rede, tanto na pressão necessária como na vazão, e que é adequado para o funcionamento correto de uma rede de ar comprimido medicinal.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugerem-se estudos que abordem os custos das tubulações e conexões para cada método, podendo ter uma comparação entre esses custos, e assim, verificando qual o método que possui uma maior relação custo-benefício.

REFERÊNCIAS

ANVISA. **Resolução 1884 - Normas para Projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde** Brasil Brasília, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12188: SISTEMAS CENTRALIZADOS DE SUPRIMENTO DE GASES MEDICINAIS, DE GASES PARA DISPOSITIVOS MÉDICOS E DE VÁCUO PARA USO EM SERVIÇOS DE SAÚDE** Rio de Janeiro, 2016.

ATLASCOPCO. **Tubulação de ar comprimido: compare tipos e características**. Disponível em: <<https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/air-compressor-blog/tubulacao-de-ar-comprimido-tipos-e-caracteristicas>>.

ATLASCOPCO. **AirNet - Catalog 2021**, 2021.

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

BROWN, R. N. **Compressors : Selection and Sizing**. Oxford: Gulf Professional Publishing, 2005.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7. ed ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 3. ed. ed. Porto Alegre: [s.n.].

CROSER, P.; EBEL, F. **Pneumática** Festo Didatic, , 2002.

DINIS, E.; CAPOULAS, M.; NEVES, V. **Manual de Gases Medicinais**. [s.l: s.n.].

FIALHO, A. B. **Automação Pneumática - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. [s.l.] Saraiva, 2011.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8. ed. [s.l: s.n.].

HAYNES, W. M. **Handbook of Chemistry and Physics**. 95. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

MOREIRA, A. C. **Proposta de substituição de um sistema embarcado de controle de secagem de ar comprimido por um sistema de controle baseado em controlador programável** Curitiba, 2012.

NASH. **LIQUID RING PUMPS, COMPRESSORS & SYSTEMS -VECTRA XL SERIES**, 2019. Disponível em: <<https://www.gardnerdenver.com/-/media/files/nash/downloads/product-brochures/english-us/vectra-xl-series-s-1032c-0719-web.pdf>>

NEHLER, T. **Linking energy efficiency measures in industrial compressed air systems with non-energy benefits – A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 89, n. March, p. 72–87, 2018.

OLIVEIRA, W. K. DE et al. **Como o Brasil pode deter a COVID-19**. Epidemiologia e serviços de saúde: revista do Sistema Único de Saúde do Brasil, v. 29, n. 2, p. e2020044, 2020.

PACCO, R. **Projeto de uma rede de ar comprimido industrial**. 2013.

PARKER HANNIFIN. **Dimensionamento de Redes de Ar Comprimido**. Apostila M1004 BR, p. 75, 2006.

PARKER HANNIFIN. **Air Preparation Products - Stainless Steel Products**, 2017.

PEIXOTO, D.; SPERB INDRUSIAK, M. L. **Análise do sistema de resfriamento de uma planta de ar comprimido**. Revista Liberato, v. 12, n. 17, p. 55–66, 2011.

SANTOS, R. **Sistemas Centralizados De Gases E Vácuo Mediciniais - Uma Abordagem Para O Gerenciamento Da Tecnologia Médico-Hospitalar**. Ufsc, v. 15, p. 27–36, 2002.

SCHRODER, F. C. **Levantamento Em Campo Da Rugosidade Equivalente De Tubos Metálicos**. [s.l.] UNICAMP, 2011.

SCHULZ. **Catálogo Geral de Produtos**, 2022.

SHANGHAI SOLLANT ENERGY SAVING TECHNOLOGY CO., L. **SCREW AIR COMPRESSOR**, 2022.

SILVEIRA FILHO, E. S. D. DA; SANTOS, B. K. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos**. Porto Alegre: Grupo A, 2018.

TELLES, P. C. S. **Tubulacoes Industriais - Projeto, materiais e montagem**, 2001.

TOPFUSION. **TOPAIR - Rev. 13**, 2021.

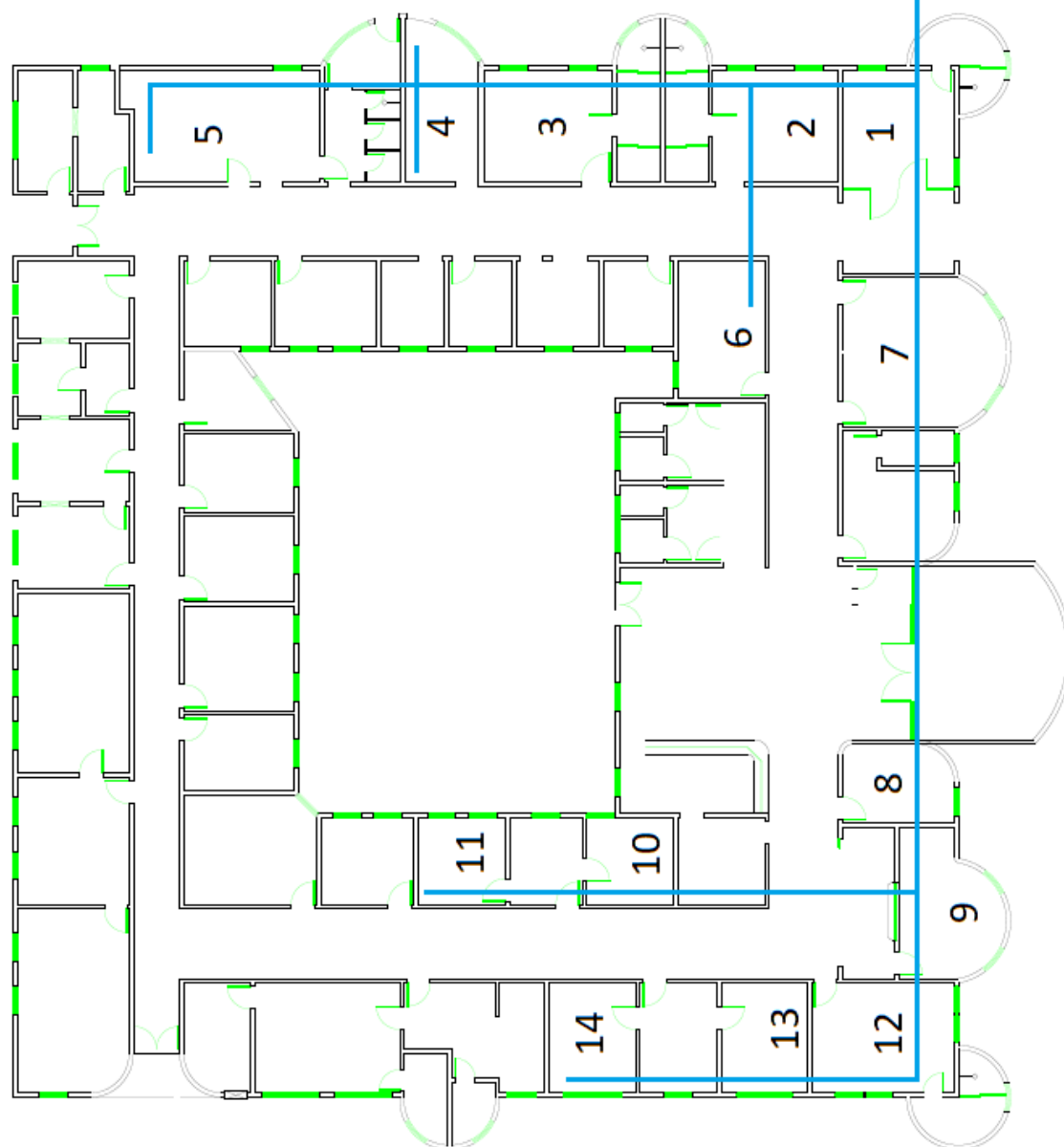
TOPFUSION. **TOPHIDRO - Rev. 21**, 2021.

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. 8. ed. Porto Alegre: [s.n.].

ZANDER. **Service Catalog 2021**, 2021.

APÊNDICE A - Esboço da instalação a ser realizada

Legenda	
1	Salas de emergência 1 e 2
2	Quarto/Enfermaria 1 e 2
3	Quarto/Enfermaria 3 e 4
4	Quarto/Enfermaria 5 a 7
5	Quarto/Enfermaria 8 a 11
6	Sala de exames/curativos de internação 1
7	Sala de Inalação
8	Quarto/enfermaria 12
9	Sala de exames/curativos de internação 2
10	Berçário de cuidados intermediários
11	Consultório odontológico
12	Sala de pré-parto
13	Sala de parto 1
14	Sala de parto 2
15	Sala de compressores e sistemas de purificação de ar
	Tubulação de ar comprimido



APÊNDICE B - Valores de comprimento e número de singularidades para cada leito

Nº do Leito	Tipo do Leito	Comprimento até o compressor (m)	Joelhos 90°	Tês	Registros Esfera	Número de cada tipo de singularidade				Joelhos 45°
						Luvras (TopFusion)	Luvras (AirNet)	Joelhos 90° com inserto metálico, rosca interna	Curvas 180°	
-	Linha Geral	114	2	0	1	38	20	0	0	0
1	Sala de emergência 1	17	3	2	2	6	3	1	1	2
2	Sala de emergência 2	19	3	1	2	7	4	1	1	2
3	Quarto/enfermaria 1	20	3	5	2	7	4	1	1	2
4	Quarto/enfermaria 2	22	3	4	2	8	4	1	1	2
5	Quarto/enfermaria 3	29	3	8	2	10	6	1	1	2
6	Quarto/enfermaria 4	30	3	7	2	10	6	1	1	2
7	Quarto/enfermaria 5	42	4	10	2	14	8	1	1	2
8	Quarto/enfermaria 6	40	3	11	2	14	8	1	1	2
9	Quarto/enfermaria 7	38	4	11	2	13	7	1	1	2
10	Quarto/enfermaria 8	37	3	11	2	13	7	1	1	2
11	Quarto/enfermaria 9	38	4	10	2	13	7	1	1	2
12	Quarto/enfermaria 10	36	3	11	2	12	7	1	1	2
13	Quarto/enfermaria 11	34	3	10	2	12	6	1	1	2
14	Sala de exames/curativos de internação 1	31	4	6	2	11	6	1	1	2
15	Consultório odontológico	55	4	6	2	19	10	1	1	2
16	Berçário de cuidados intermediários	49	3	6	2	17	9	1	1	2
17	Sala de exames/curativos de internação 2	50	3	3	2	17	9	1	1	2
18	Sala de inalação	25	3	2	2	9	5	1	1	2
19	Quarto/enfermaria 12	43	3	4	2	15	8	1	1	2
20	Sala de pré-parto	56	3	6	2	19	10	1	1	2
21	Sala de parto 1	62	5	6	2	21	11	1	1	2
22	Sala de parto 2	68	4	7	2	23	12	1	1	2

APÊNDICE C - Memorial de cálculos de diâmetro – Método Fialho (2011)

	Q (m3/h)	Lt_0 (m)	Di_0 (mm)	DCE_0 (mm)	DCi_0 (mm)	Lt_1 (m)	Di_1 (mm)	DCE_1 (mm)	DCi_1 (mm)	Lt_2 (m)	Di_2 (mm)	DCE_2 (mm)	DCi_2 (mm)
Linha Geral	31,2	114	20,47941	32	23	2611,87	38,311303	63	45,6	2703,02	38,575036	63	45,6
1	1,2	17	4,192627	20	14,4	5763,19	13,444016	20	14,4				
2	1,2	19	4,286937	20	14,4	5884,67	13,500219	20	14,4				
3	1,2	20	4,331142	20	14,4	7356,3	14,11654	20	14,4				
4	1,2	22	4,414494	20	14,4	7477,78	14,162858	20	14,4				
5	1,2	29	4,665262	20	14,4	10230,4	15,079075	25	18	13932,6	16,039946	25	18
6	1,2	30	4,697001	20	14,4	10114,3	15,044702	25	18	13752,2	15,998181	25	18
7	1,2	42	5,023961	20	14,4	13816,5	16,013122	25	18	18768,8	17,024866	25	18
8	1,2	40	4,975175	20	14,4	13543,5	15,949328	25	18	18417,6	16,96067	25	18
9	1,2	38	4,924398	20	14,4	13292,1	15,889676	25	18	18096,9	16,901191	25	18
10	1,2	37	4,898203	20	14,4	12903	15,795538	25	18	17565,3	16,800699	25	18
11	1,2	38	4,924398	20	14,4	12974,5	15,813021	25	18	17649,3	16,816746	25	18
12	1,2	36	4,871435	20	14,4	12665,4	15,736944	25	18	17247,2	16,739418	25	18
13	1,2	34	4,816063	20	14,4	11945	15,553686	25	18	16265,3	16,544322	25	18
14	1,2	31	4,727905	20	14,4	10221,9	15,076591	25	18	13887,1	16,029447	25	18
15	3,6	55	7,961663	20	14,4	15345,8	24,554403	40	28,8	15957	24,746928	40	28,8
16	1,2	49	5,181263	20	14,4	13877,2	16,027173	25	18	18736,6	17,019016	25	18
17	1,2	50	5,20224	20	14,4	13126,1	15,849785	25	18	17660,9	16,818957	25	18
18	1,2	25	4,528813	20	14,4	7483,18	14,164905	20	14,4				
19	1,2	43	5,04766	20	14,4	11961,2	15,557907	25	18	16136,7	16,518072	25	18
20	1,2	56	5,321499	20	14,4	15359,7	16,355836	25	18	20708,4	17,363038	25	18
21	2,4	62	7,018686	20	14,4	17015,9	21,574888	32	23	18906,8	22,034403	32	23
22	2,4	68	7,14956	20	14,4	18426,8	21,921356	32	23	20464,5	22,386057	32	23

APÊNDICE D - Memorial de cálculos de perda de carga – Método Fialho (2011)

	hL_1 (m)	hS_1 (m)	hP_1 (m)	hL_2 (m)	hS_2 (m)	hP_2 (m)
Linha Geral	2198,47441	299,3975015	2497,871908	71,76891506	19,37760707	91,14652212
1	3407,94207	2338,249195	5746,191266			
2	3808,87643	2056,793273	5865,669705			
3	4009,34361	3326,95333	7336,296942			
4	4410,27797	3045,497408	7455,775382			
5	5813,54824	4387,82565	10201,37389	1904,983487	1797,253386	3702,236873
6	6014,01542	4070,285635	10084,30105	1970,672572	1667,188996	3637,861569
7	8419,62159	5354,879329	13774,50092	2758,941601	2193,358573	4952,300175
8	8018,68723	5484,782062	13503,46929	2627,56343	2246,566733	4874,130163
9	7617,75286	5636,335251	13254,08811	2496,185258	2308,642919	4804,828177
10	7417,28568	5448,697969	12865,98365	2430,496173	2231,786688	4662,282861
11	7617,75286	5318,795236	12936,5481	2496,185258	2178,578529	4674,763787
12	7216,8185	5412,613877	12629,43238	2364,807087	2217,006644	4581,813731
13	6815,88414	5095,073863	11910,958	2233,428915	2086,942254	4320,37117
14	6214,4826	3976,466995	10190,94959	2036,361658	1628,760881	3665,122539
15	11025,6949	4265,139735	15290,83467	344,5529667	266,5712334	611,1242001
16	9822,89185	4005,334269	13828,22612	3218,765202	1640,584917	4859,350118
17	10023,359	3052,714227	13076,07326	3284,454287	1250,391747	4534,846035
18	5011,67952	2446,501472	7458,180988			
19	8620,08877	3298,086056	11918,17482	2824,630687	1350,896048	4175,526736
20	11226,1621	4077,502454	15303,66457	3678,588802	1670,145005	5348,733807
21	12428,9652	4524,945201	16953,9104	1195,66152	695,2675312	1890,929051
22	13631,7683	4727,016119	18358,7844	1311,370699	726,3161609	2037,68686