



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO PARA
APLICAÇÃO EM UMA INCUBADORA DE EMPRESAS NO ENTORNO DO
LAGO DE TUCURUÍ**

DRUSCILLA MAFALDA ZAGHETTI

**TUCURUÍ - PA
2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO PARA
APLICAÇÃO EM UMA INCUBADORA DE EMPRESAS NO ENTORNO DO
LAGO DE TUCURUÍ**

DRUSCILLA MAFALDA ZAGHETTI

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Mecânica do Campus de Tucuruí, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Engenheiro Mecânico.

Orientador:
Profº Dr.º Wassim Raja El Banna

**TUCURUÍ - PA
2020**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO PARA
APLICAÇÃO EM UMA INCUBADORA DE EMPRESAS NO ENTORNO DO
LAGO DE TUCURUÍ

DRUSCILLA MAFALDA ZAGHETTI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de
Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

BANCA EXAMINADORA

Wassim Raja El Banna

Orientador: Prof^o Dr^o Wassim Raja El Banna
FEM/CAMTUC/UFPA

Danilo Silva Santos

Membro Interno: Eng^o Danilo Silva Santos
CAMTUC/UFPA/NDAE

J. L. Padilha

Membro Interno: Prof^o Msc Jessé Luís Padilha
FEM/CAMTUC/UFPA

Conceito BC

TUCURUÍ, 17 de FEV de 2020

Dedico este trabalho à minha mãe, Simone Braga, aquela que ensinou-me a consistência do amor, razão e inspiração de minha vida, por todo apoio além do requerido cedido à mim durante esta trajetória. Shalom!

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pelo fôlego de vida, pelo sustento, por sua graça e misericórdia, infinita bondade, por ser meu Aba. Sem sombra de dúvidas não teria forças sem Ele.

À meus pais, João Lopes e Simone Braga, por serem o esteio de minha vida, por todo seu apoio e dedicação infinitos em me proporcionar o melhor desta terra, todo seu esmero em me formar humana e cidadã além de profissional, e por me ensinarem todos os dias o que é o amor das mais variadas formas possíveis. Sou grata por terem me apresentado a vida sem filtros, e estou certa de que jamais estaria aqui sem o apoio de vocês. Gratidão eterna!

Á meu orientador, Wassim Raja El Banna, que foi como um pai para mim durante estes 5 anos, e que não mediu esforços para proporcionar-me tantas experiências acadêmicas quanto possível, além de ser uma ferramenta fundamental no forjamento de minha disciplina e caráter através dos projetos de extensão/laboratório em que fui inserida mediante sua orientação, tornando-se um grande amigo. Não há palavras para expressar tamanha gratidão. Continue voando alto.

Á meus irmãos, Alexandre Silva, Jonathan Braga e Marianne Silva, e meus sobrinhos Daniel, Gabriel e Isadora Novaes, por seu apoio emocional, logístico e por vezes até financeiro. Sou grata por ter o privilégio de ser família de vocês, podendo partilhar de momentos agradáveis em que me senti amada e acolhida, podendo ser lembrada do real sentido da vida.

Á família Cardoso, que tive a graça de encontrar em Tucuruí e que me apoiou de todas as formas durante a universidade, tornando-se uma segunda família, acolhedora, amorosa e divertida, que esteve comigo nos dias de riso e também de tempestade. Serei grata eternamente!

Á minha amiga Auricélia e sua família, que estiveram sempre à meu lado, preocupados com meu conforto e segurança, dando importância aos mínimos detalhes para me fazer um pouco mais feliz. Amo-te!

Á minha amiga Ananda Lopes (meu trevinho de 4 folhas) e sua família, incluindo Jhovany Lopes e Geiseli Corrêa, por serem minha rede de apoio, pela preocupação e até mesmo pelas broncas dadas na tentativa de me manter no caminho certo. Eu poderia escrever um agradecimento inteiro somente para vocês, mas como não poderei, apenas direi que meu amor por vocês têm dimensões continentais e não sei como seria minha vida se não os tivesse conhecido no fatídico dia em que me juntei ao Baja Tucuruí. Mais que amigos, friends!

Ás minhas amigas Bárbara Silva, Priscila Machado e Sara Souza por terem permanecido comigo apesar da distância e todas as circunstâncias que nos acometeram nos últimos anos. Obrigada por todo o apoio, preocupação e amizade.

Aos meus amigos Mateus e Brena de Almeida, por fazerem parte de minha vida me proporcionando momentos leves, além da assistência dada de diversas maneiras, com suporte emocional, incluindo as reuniões de intervenção que contam com as estrelas Jhovany Lopes e Geiseli Corrêa (minha pessoa). Amo a vida de todos vocês, e só sinto gratidão pelo amor que os 4 depositaram em mim!

Á minha amiga Valéria Ramos e sua família, que estiveram junto de mim nos momentos mais felizes e também nos mais tempestuosos dessa fase. Minha maninha, obrigada por ter estado sempre comigo, até na lama das competições Baja, me ouvindo e compreendo as dificuldades do dia a dia, sendo o Chris do meu Greg e a perna torta do meu passo curto. Te amo demais!

Á meu amigo Jurandir Sousa, por seu auxílio técnico/acadêmico e também emocional, por ter sido sempre paciente e nunca ter deixado de me tranquilizar com a frase: Calma, Carrie... Apesar dos desencontros da vida você continua sendo aquele pequeno grande homem que merece o mundo! Gratidão!

Aos professores da FEM, que além de aporte de conhecimento acadêmico foram também fundamentais para minha formação enquanto cidadã, mostrando muitas das vezes seu lado mais humano frente às situações do cotidiano.

Ao professor Jessé Padilha e Eng^o Danilo Santos, por todo o apoio técnico/acadêmico, e também por terem se tornado meus amigos durante a caminhada, me orientando quanto á vida profissional e dando suporte emocional quando necessário. Muito Obrigada!

Aos amigos mais recentes, representados aqui na pessoa do Eng^o Wagner Santos, que esteve dando todo o suporte necessário no estágio Vale em Parauapebas. Obrigada pelo aporte de conhecimento técnico e também pelas inúmeras lições de vida lecionadas diariamente durante esses 6 meses, sem dúvida esta experiência foi “a cereja do bolo” em minha formação, e você foi peça chave disto.

“Bem-vindo à Hollywood! Todo mundo que vem para Hollywood tem um sonho. Qual é o seu sonho? ... Há sempre tempo para sonhar, portanto continuem sonhando.”

Uma linda Mulher.

RESUMO

DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO PARA APLICAÇÃO EM UMA INCUBADORA DE EMPRESAS NO ENTORNO DO LAGO DE TUCURUÍ

RESUMO: O ar comprimido é tido como o resultado da compressão do ar atmosférico complementado por processos de tratamento, sendo este amplamente utilizado no setor industrial com aplicação em diversos processos que requerem força e movimento, como por exemplo, as máquinas pneumáticas. O presente trabalho propõe o dimensionamento de uma rede de ar comprimido, de maneira que estejam contempladas as etapas de produção, distribuição, preparação e ampliação desta rede, afim de que o produto seja entregue aos pontos de aplicação em condições quantitativa e qualitativamente satisfatórias para o bom funcionamento de ferramentas e equipamentos pneumáticos. Para a realização do trabalho, fez-se necessário o embasamento teórico, tal como a norma regulamentadora do Ministério do Trabalho (NR-13) para vasos de pressão entre outros e a norma (ASME VIII) descrita *Boiler and Pressure Vessel Code*; bem como a coleta de dados, como: quantidade de máquinas que utilizarão o ar comprimido, comprimento das tubulações de distribuição e alimentação, além da escolha das singularidades. Assim, foi possível apresentar os cálculos dos diâmetros das linhas de distribuição e alimentação, a seleção do reservatório e do compressor e a apresentação de um layout primário da rede de ar comprimido. Em suma, verificou-se que a rede dimensionada atenderá as necessidades dos equipamentos de forma a oferecer maior tempo de vida útil e bom desempenho aos componentes pneumáticos para o galpão existente, que comportará uma incubadora de empresas no Parque Tecnológico de Tucuruí.

Palavras-chave: Ar comprimido, Compressor, Dimensionamento de rede.

ABSTRACT

SIZING A COMPRESSED AIR NETWORK FOR APPLICATION IN A BUSINESS INCUBATOR IN THE SURROUNDING OF TUCURUÍ LAKE

ABSTRACT: Compressed air is seen as the result of the atmospheric air compression complemented by treatment processes, which is widely used in the industrial sector with applications in several processes that require strength and movement, such as pneumatic machines. The present work proposes the dimension of a compressed air network, so that the stages of production, distribution, preparation and expansion of this network are contemplated, so that the product is delivered to the application points in quantitative and qualitatively satisfactory conditions for the smooth operation of pneumatic tools and equipment. In order to carry out the work, it was necessary to have a theoretical basis, as well as data collection, such as: number of machines that will use compressed air, length of the distribution and supply pipes, besides that to the singularities choice. Thus, it was possible to present the calculations of the distribution diameters and supply lines, the selection of the reservoir, compressor and presentation of a primary compressed air network layout. Generally, it was found that the dimensioned network will achieve the needs of the equipment in order to offer a longer lifetime and good performance to the pneumatic components for the existing shed that will hold a business incubator in the Tucuruí Technological Park.

Keywords: Compressed air, Compressor, Network design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Produção, distribuição e tratamento usual de ar comprimido.	19
Figura 2. Classificação dos compressores.	20
Figura 3. Reservatório de ar comprimido.	23
Figura 4. Tipos de redes de distribuição.	24
Figura 5. Instalação da linha de alimentação.	25
Figura 6. Instalações atuais do Parque Tecnológico de Tucuruí (TECNOLAGO).	27
Figura 7. Fluxograma de seguimento para equipamento pneumático (via software @MS Excel).	28
Figura 8. Fluxograma de seguimento para cilindro pneumático (via software @MS Excel). ...	28
Figura 9. Fluxograma de seguimento para acessórios do trecho, diâmetro comercial e perda de carga (via software @MS Excel).	29
Figura 10. Fluxograma de seguimento via monograma.	29
Figura 11. Layout básico de tubulação do TECNOLAGO.	32
Figura 12. Esquemático da chegada de tubulações nos boxes.	33
Figura 13. Nomograma para determinação de diâmetro da tubulação de distribuição.	34
Figura 14. Nomograma para determinação dos comprimentos equivalentes.	35
Figura 15. Especificações do equipamento pneumático.	36
Figura 16. Especificações do cilindro pneumático.	37
Figura 17. Especificações de acessórios e acesso ao diâmetro e perda de carga.	37
Figura 18. Resultados do dimensionamento do trecho 1.	38
Figura 19. Campo de atuação de um compressor em função da relação pressão x vazão.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados extraídos do nanograma.....	35
Tabela 2. Especificações técnicas do compressor 15 Pés Atg2 Pressure.	40
Tabela 3. Folha de dados do compressor GA 90 VSDFF.	41
Tabela 4. Folha de dados do compressor GA 45 VSDFF.	42
Tabela 5. Resumo das principais informações obtidas da rede de ar comprimido.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVO	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.1 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 AR COMPRIMIDO	17
2.1.1 Utilização do ar comprimido	18
2.1.2 Produção e preparação de ar comprimido	19
2.2 COMPRESSOR DE AR	20
2.3 RESFRIADOR POSTERIOR.....	20
2.4 FILTROS DE AR	21
2.5 SECADOR DE AR	21
2.6 RESERVATÓRIOS DE AR	22
2.7 REDES DE DISTRIBUIÇÃO	23
2.8 UNIDADE DE PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO	25
2.9 DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES.....	26
3 METODOLOGIA	27
4 RESULTADOS	32
4.1 LAYOUT DA TUBULAÇÃO PRIMÁRIA	32
4.2 VIA NOMOGRAMA	33
4.3 VIA PROGRAMA DE DIMENSIONAMENTO	36
4.4 DIMENSIONAMENTO DO COMPRESSOR DE AR.....	38
4.5 RESUMO DO DIMENSIONAMENTO DA REDE DE AR COMPRIMIDO	42
5 CONCLUSÕES	44
6 REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE A: PLANTA ARQUITETÔNICA (GALPÃO NDAE)	47
ANEXO A: COMPRIMENTOS EQUIVALENTES À PERDAS LOCALIZADAS, EM METROS DE CANALIZAÇÃO DE AÇO GALVANIZADO	48

1 INTRODUÇÃO

O ar comprimido consiste em uma forma de energia resultante da compressão do ar atmosférico, tendo esta sua utilização industrial justificada por sua habilidade de conduzir energia pneumática e transformá-la em energia mecânica às mais variadas aplicações como, por exemplo, os setores moveleiro, alimentício e metalmeccânico.

Historicamente, o uso do ar comprimido antecede Da Vinci, tendo este dominado o uso do ar em diversos experimentos. Ademais, mesmo no antigo testamento é possível localizar referências ao uso de ar comprimido na fundição de metais, porém, apenas na segunda metade do século XIX este recurso atingiu o uso industrial (PARKER, 2006). Segundo Fialho (2011), a difusão do ar comprimido no Brasil deu-se na década de 1960, acompanhando a expansão da indústria automobilística, sendo este recurso adotado pela necessidade de produção de peças em série, uma vez que, demandava-se um número considerável de operações repetitivas e, conseqüente necessidade de déficit de custos e tempo de produção.

Entende-se que o uso do ar comprimido tornou-se imprescindível em diversas áreas por sua capacidade de executar operações com flexibilidade, apresentando um certo grau de eficiência, gerando economia, além de proporcionar racionalização e segurança ao trabalho.

Assim, no presente trabalho, dimensionou-se uma rede de ar comprimido para um galpão que abrigará uma incubadora de empresas, localizado na cidade de Tucuruí-PA. Este galpão será reformado afim de receber as instalações da incubadora de empresas, recebendo um sistema de ar comprimido que alimentará 22 pontos de consumo dentro do Parque Tecnológico de Tucuruí, atendendo-os com a qualidade necessária de acordo com sua demanda.

Afim de compreender a relevância do estudo realizado neste trabalho, faz-se necessário o entendimento do empreendimento como um todo: O Parque Tecnológico de Tucuruí (TECNOLAGO). O objetivo da implantação deste é oportunizar aos acadêmicos e à sociedade em geral da Região do Entorno do Lago de Tucuruí, incluindo os municípios a jusante da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Tucuruí e outros municípios de influência comercial na região, suporte científico e tecnológico, mediante a estruturação e gestão sustentável de ambientes de negócios (parque tecnológico e incubadora de empresas) para o desenvolvimento de empreendimentos e projetos de caráter inovador, que possam representar avanços tecnológicos significativos para a Região Amazônica.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Projeto de dimensionamento da rede de ar comprimido para reforma do galpão do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE), no caso específico de uma nova rede de ar para alimentação de 22 (vinte e dois) boxes para as empresas incubadoras, será desenvolvido por meio deste trabalho, de forma a garantir o melhor aproveitamento possível tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo na implantação desta rede no empreendimento chamado Parque Tecnológico de Tucuruí.

A implantação de um sistema bem dimensionado que atenda à demanda inicial de ar comprimido, bem como oportunizar futuras ampliações dos pontos de consumo da rede de ar comprimido é indispensável para o start-up do empreendimento e, ainda, para futuros aumentos de produção, e/ou aquisição de novos equipamentos.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Dimensionar um sistema de ar comprimido que atenda a demanda de pressão e vazão requeridas pela instalação do Parque Tecnológico de Tucuruí e sua incubadora de empresas, de forma que todas as etapas de produção, preparação e distribuição de ar comprimido sejam contempladas, e este chegue aos pontos de aplicação em qualidade e quantidade satisfatórios, possibilitando um bom funcionamento das máquinas e ferramentas pneumáticas.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Criar layout do sistema de distribuição.
- Dimensionar a rede de distribuição.
- Selecionar o compressor de acordo com o sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AR COMPRIMIDO

A compressão do ar atmosférico resulta em uma fonte de energia conhecida como ar comprimido, puro, incolor e inodoro, composto por oxigênio (20,5%), nitrogênio (79%) e alguns gases raros. Atualmente, cerca de 5 bilhões de toneladas de ar são comprimidas anualmente, totalizando um consumo de 400 bilhões de kWh, custando aproximadamente 20 bilhões de dólares (METALPLAN, 2010).

A palavra pneumática deriva da raiz grega *pneuma*, que significa vento, fôlego, sopro. Logo, a pneumática é definida como a matéria que estuda os movimentos e fenômenos relacionados aos gases (FIALHO, 2011). Semelhantemente, Parker Training (2006) indica que a pneumática define-se como a parte da física que abrange a dinâmica e os fenômenos físicos ligados aos gases ou vácuos.

Segundo Karmouche (2009) quase todas as plantas industriais, independente de seu porte possuem algum tipo de sistema de ar comprimido. De maneira geral, as aplicações do ar comprimido são: acionamentos mecânicos, controle de equipamentos e ferramentas pneumáticas e transporte de materiais. Ou seja, confere-se relevância ao papel do ar comprimido na produção, e este corresponde a uma parcela significativa de gastos energéticos das indústrias.

Vale ressaltar que, a pneumática apresenta algumas vantagens, tais como:

- Mesmo em condições extremas, o ar comprimido não sofre oscilações de temperatura, fato este que vem a proporcionar um funcionamento seguro do sistema (FIALHO, 2011)
- Segundo Fialho (2011), a limpeza das operações também é tida como vantagem, já que o ar comprimido utiliza ar como fluido e, por esta razão, não há risco de poluição ambiental mesmo que o sistema venha a apresentar vazamentos.
- Mesmo que ocorra uma falha no sistema que ocasione uma explosão, pela sua baixa pressão pneumática não haverá riscos de incêndios ou explosões de dimensões catastróficas (FIALHO, 2011).
- A dimensão dos comandos e ações pneumáticas são pequenos e leves, permitindo alta velocidade de deslocamento, além de segurança contra sobrecarga (FIALHO, 2011).
- Segundo Bosch (2008), o ar comprimido pode ser armazenado em reservatório, e este possui reserva de pressão disponível por dado tempo, o que permite execução de trabalhos mesmo com falha no compressor.
- Ainda segundo Bosch (2008), outra vantagem é o seu transporte, uma vez que o ar

comprimido pode ser conduzido á grandes distâncias em tubulações não sendo necessária a criação de uma linha de retorno, uma vez que, a exaustão de ar é realizada por meio da descarga no ambiente.

Por outro lado, é preciso reconhecer que a pneumática apresenta algumas desvantagens, tais como:

- O consumo de energia elétrica requerido para o funcionamento de sistemas de ar comprimido é notável, e este se agrava se houver quaisquer deficiência no sistema. Tal fato, torna a promoção de eficiência energética em sistemas de ar comprimido um desafio para as indústrias de transformação, criando elementos auxiliares na questão energética, como o inversor de frequência (KARMOUCHE, 2009).
- Segundo Silva (2002), o ar apresenta baixa viscosidade, esta propriedade refere-se á velocidade com que o fluido se movimenta, ou seja, quanto menor a viscosidade do fluido maior a possibilidade de ocorrerem vazamentos.
- Segundo Fialho (2011), devido á propriedade física do ar chamada compressibilidade, não é possível que a pneumática possa trabalhar com velocidades constantes e uniformes.
- O ar apresenta umidade, e este vapor pode se condensar ao longo do percurso dependendo da temperatura e pressão da linha. Desta forma, faz-se necessária a instalação de um sistema condensador, afim de evitar danos (SILVA, 2002).

2.1.1 Utilização do ar comprimido

Devido á sua simplicidade, segurança e flexibilidade, existem várias possibilidades de aplicação do ar comprimido, e, segundo Rollins (2004), as principais são:

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

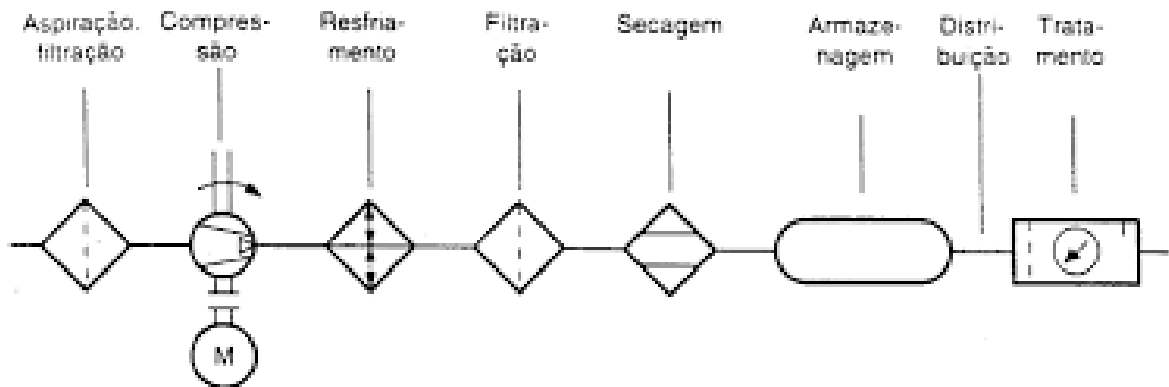
Vale frizar que, o ar comprimido é uma fonte de energia que demanda expressiva

quantidade de energia elétrica para sua produção, logo, sua aplicação custa em média oito vezes mais que a energia elétrica para uma aplicação de cunho similar. No entanto, como já citado anteriormente, os fatores que vem a justificar o uso deste sistema são a conveniência, segurança, flexibilidade e relativa facilidade de armazenamento que o ar comprimido proporciona.

2.1.2 Produção e preparação de ar comprimido

Em conformidade com Jesus (2012), um conjunto de etapas deve ser vencida pelo ar comprimido antes de sua aplicação, sendo que, tais etapas compreendem a produção e o tratamento do ar até este ser distribuído. Além disso, o ar comprimido deve passar por um tratamento após ser comprimido, afim de que se alcance a qualidade desejada nos pontos de distribuição. A Figura 1 apresenta um sistema usual de ar comprimido.

Figura 1. Produção, distribuição e tratamento usual de ar comprimido.



Fonte: Silva, 2002.

De posse da informação de quais os equipamentos essenciais para o fornecimento de um ar comprimido de qualidade, o entendimento de sua produção e distribuição é facilitado. Após sua compressão, o ar passa por um tratamento que envolve processos para a separação de impurezas afim de atender aos requerimentos de uso de sua aplicação final (SILVA, 2002).

Entende-se que, após passar pelo filtro que tem por função reter partículas sólidas para proteger o compressor, o ar chega ao compressor. Após sua compressão, o ar sofre uma elevação de temperatura e há a necessidade de resfriá-lo com a ajuda de um resfriador. Logo após ser resfriado, o ar passa por um processo de secagem para que se diminua a umidade presente. Seguindo-se o fluxo, o ar é armazenado em um reservatório, afim de que se obtenha uma reserva de ar e pressão constante na linha. Finalmente, o ar é distribuído e deve ser ajustado de acordo com suas necessidades de aplicação com o auxílio de unidades de preparação de ar (JESUS, 2012).

2.2 COMPRESSOR DE AR

O compressor de ar pode ser definido como uma máquina de fluxo que proporciona a transformação de energia mecânica ou elétrica em energia de pressão por meio da compressão do ar ambiente (JESUS, 2012).

Basicamente, a função do compressor é aumentar a energia dos gases com aumento de pressão. Depois de aspirado e comprimido, o ar tem sua pressão elevada até um valor pré-determinado para a realização do trabalho desejado. A Figura 2 apresenta classificação dos tipos de compressores.

Figura 2. Classificação dos compressores.



Fonte: ELEARNING, 2002.

2.3 RESFRIADOR POSTERIOR

Também chamado de *After Cooler*, o resfriador posterior é um trocador de calor que tem a função de resfriar o ar comprimido após sua compressão. O condensado resultante desse processo deve ser retido para que a água não prejudique o funcionamento do sistema quando nas tubulações, sendo que este resfriamento pode ser realizado por ar ou água (ELETROBRAS, 2015).

Segundo Buck (2004), a locação correta do resfriador é antes dos secadores de ar, afim de que a temperatura do ar comprimido seja reduzida a um nível aceitável antes da próxima etapa. Aqui, conforme a temperatura do ar cai, o condensado líquido é formado. Comumente, o resfriador posterior pode ser encontrado junto do compressor.

2.4 FILTROS DE AR

Filtros são sistemas utilizados na filtragem de ar, com a função de manter a qualidade deste tendo a quantidade de sujeiras e materiais abrasivos dentro dos limites aceitáveis . Os filtros retêm a umidade e partículas diversas presentes no ar e, sua aplicação ideal dá-se em três diferentes pontos do sistema: um filtro antes e um depois do secador e outro no ponto de uso (METALPLAN, 2010).

Vale ressaltar que, o filtro de admissão de ar deve estar posicionado junto ao compressor, uma vez que, os compressores realizam movimentação de volumes consideráveis de ar e, o ar apresenta impurezas acumulativas em quantidades que podem se tornar críticas caso o ponto de entrada de ar não esteja em um ambiente adequado.

2.5 SECADOR DE AR

Devido á variação de pressão e temperatura ao longo da rede de distribuição de ar comprimido, o vapor d'água contido no ar pode condensar-se. Filtros separadores e drenos ocupam a função de remover o condensado formado da linha pneumática, mas, esses componentes não são capazes de retirar vapor d'água, tornando o uso dos secadores de ar uma conveniência (SILVA, 2002).

Segundo Gresh *apud* Coradi (2011), a aquisição de um secador de ar representa até 25% do valor total da instalação de um sistema de ar comprimido. Porém, esse custo é validado pelos benefícios que este vem a agregar como, por exemplo, diminuindo a substituição de componentes pneumáticos, retirando a impossibilidade de uso do ar em algumas operações e também o refugo gerado na produção.

Os meios de secagem de ar comprimido são numerosos, mas os três mais utilizados e com melhor resultado são, secagem por refrigeração, secagem por absorção e secagem por adsorção. Na secagem por refrigeração, método mais utilizado, o ar comprimido quente entra e atravessa um trocador de calor onde será pré-resfriado pelo ar frio do secador. Seguindo o fluxo, este é deslocado para outro trocador de calor, ocasionando a diminuição de sua temperatura para aproximadamente 3°C. Assim, o vapor d'água presente no ar é condensado e eliminado do sistema. Afim de que o ar possa ser filtrado, este deve ser aquecido, passando novamente pelo trocador de calor de forma a aumentar sua temperatura. Este é o método mais utilizado nas indústrias atualmente.

2.6 RESERVATÓRIOS DE AR

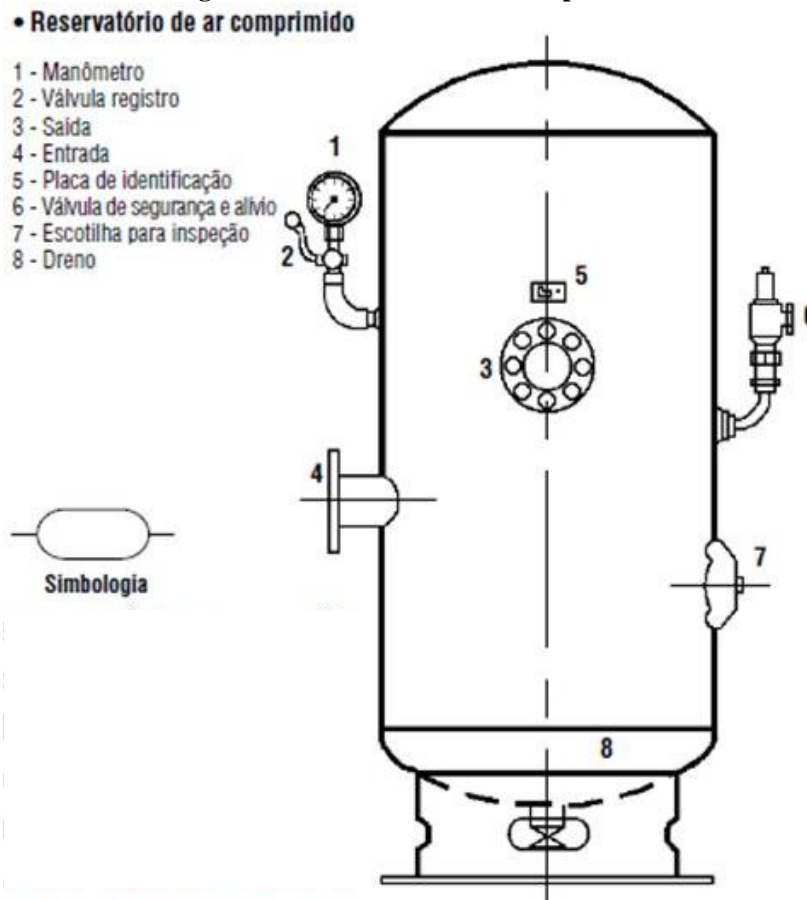
Segundo Parker (2006), a utilização de um reservatório de ar capaz de atender ao consumo requerido em uma rede de ar comprimido é de suma importância, e, este geralmente assume as seguintes funções:

- Controlar as marchas dos compressores;
- Compensar as flutuações de pressão em todo o sistema de distribuição;
- Estabilizar o fluxo de ar;
- Resfriar o ar auxiliando na eliminação do condensado;
- Armazenar ar comprimido.

Deve-se ter cuidado especial na seleção deste componente com relação à segurança. Os casos de acidentes fatais envolvendo reservatórios que não atendem normas técnicas e com ausência de inspeção periódica são recorrentes (METALPAN, 2010).

O reservatório de ar é um vaso de pressão, e, deve ser projetado e construído de acordo com a especificação das normas dos países em que foram desenvolvidos. No Brasil, a norma de segurança brasileira NR-13 acompanha a norma americana ASME (American Society of Mechanical Engineers) (ELETROBRAS, 2005). A Figura 3 apresenta a imagem de reservatório de ar comprimido.

Figura 3. Reservatório de ar comprimido.



Fonte: Parker Training, 2006.

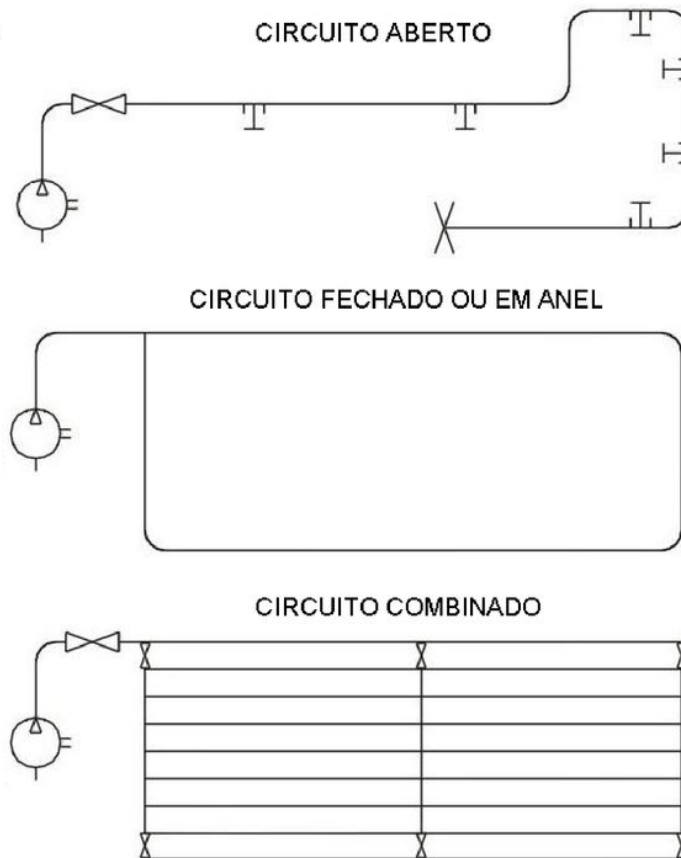
2.7 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo Coradi (2011), somente em casos isolados é possível utilizar-se de um compressor para cada máquina. A realidade é que, com muitos pontos de utilização, a distribuição do ar comprimido é feita pelas tomadas próximas aos usuários. Simplóriamente, a rede de distribuição é composta por tubulações que ligam o reservatório aos pontos de utilização. Afim de se obter uma maior eficiência na distribuição de ar comprimido é importante definir um layout que apresente a rede de distribuição principal, as ramificações e os pontos de consumo. Desta forma, pode se definir o tipo de rede de distribuição a ser implantada, priorizando que esta apresente o menor percurso possível, para que se diminuam tanto perda de carga quanto custos.

A instalação das tubulações pneumáticas deve dar-se de tal forma que, haja a possibilidade de detectar fugas de ar e realizar manutenções periódicas. Existem três principais tipos de redes de distribuição: rede combinada, rede em circuito aberto e rede em circuito fechado, conforme apresenta a Figura 4 (JESUS, 2012).

Figura 4. Tipos de redes de distribuição.
Rede de Ar Comprimido

Tipos Variados de Redes de Distribuição:



Fonte: Silva, 2002.

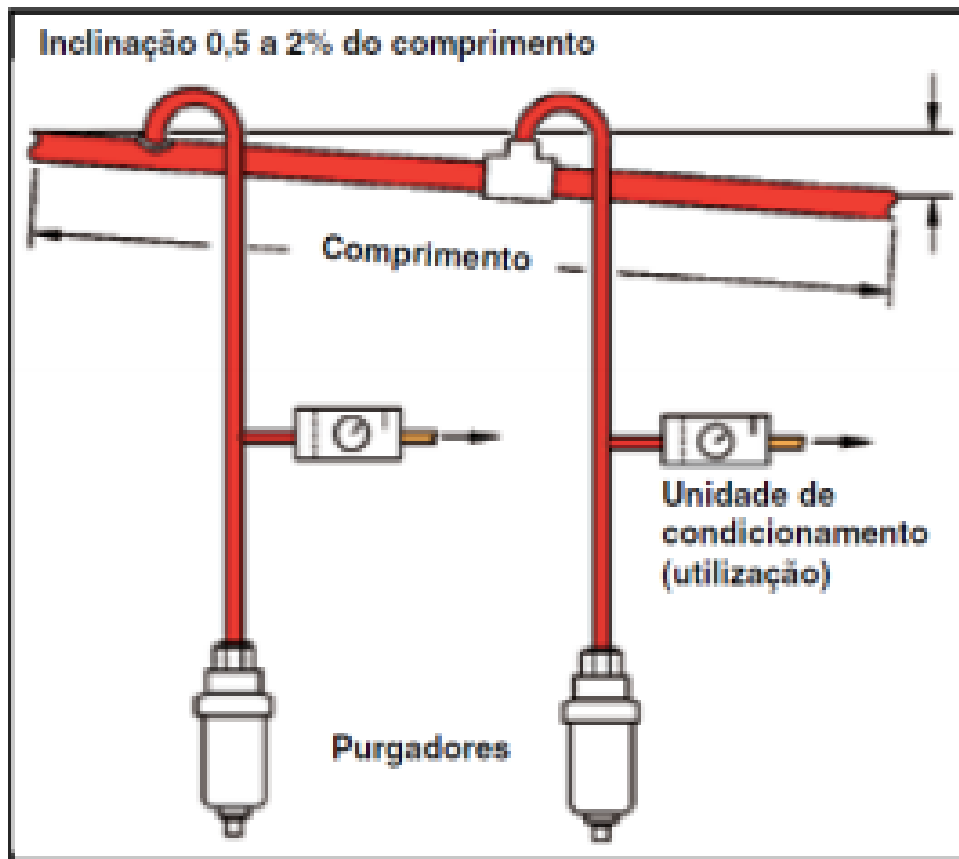
De acordo com Fialho (2011), a rede em circuito aberto é utilizada quando há a necessidade de alimentar pontos isolados ou com maior distância da unidade de geração, uma vez que, o ar comprimido flui em uma única direção, e os pontos de consumo muito dificilmente serão alimentados de maneira uniforme.

A rede em circuito fechado ocupa toda a extensão do local, proporcionando uma distribuição de ar comprimido mais uniforme, já que o ar pode circular em todos os sentidos. Esse sistema é o mais utilizado pela indústria e possui como vantagem principal o fato de proporcionar a adição de pontos de consumo não previstos em projeto (FIALHO, 2011).

Para que o efeito de condensação não seja prejudicial ao funcionamento dos equipamentos, esta deve ser retirada do sistema por meio de purgadores instalados na extremidade final das linhas de alimentação (FIALHO, 2011).

A tubulação principal deve apresentar uma inclinação de 0,5 a 2% do comprimento do tubo no sentido do fluxo, para que eventuais condensações e impurezas sejam recolhidas com maior facilidade para ação dos drenos (FARIA, 2007). A Figura 5 mostra como se dá a configuração ideal de instalação das linhas.

Figura 5. Instalação da linha de alimentação.



Fonte: Parker Training, 2006.

Coradi (2011) reforça a importância de utilizar-se válvulas de fechamento na rede de distribuição de ar comprimido, permitindo sua divisão em seções, que com isolamento garantido possibilitam inspeções e manutenções, evitando-se a paralisação da linha de produção da empresa.

2.8 UNIDADE DE PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

De acordo com Silva (2002), antes do ar comprimido ser finalmente utilizado, este deve passar por uma unidade de conservação ou preparação, sendo composta por um filtro, uma válvula reguladora de pressão e um lubrificador. Estas ferramentas contribuem para uma melhor eficiência nas máquinas, pois permitem ajustar as características do ar especificamente para o uso em dada aplicação.

O bom funcionamento dos componentes pneumáticos depende antes de tudo, da filtragem, da umidade, da pressão de alimentação da máquina e da lubrificação de partes móveis (BLOCHI *apud* CORADI, 2011).

2.9 DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

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

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

Onde:

d = Diâmetro interno da tubulação (mm);

Q = Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação (m³/h); Lt = Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.) (m);

P = Queda de pressão admitida: Perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades (kgf/cm²);

P = Pressão de regime: Pressão do ar armazenado no reservatório (kgf/cm²)

3 METODOLOGIA

Nesta seção, desenvolver-se-á a metodologia utilizada para que se atingissem os resultados propostos nos objetivos. Afim de que, se tenha o entendimento do trabalho com maior clareza, o empreendimento em questão será apresentado, estando suas instalações atuais representadas na Figura 6. Tal empreendimento desenvolver-se-á nas seguintes áreas de atuação: agricultura familiar, agronegócio, setor de serviços em geral, energia e mineração. Desta forma, a incubadora de empresas tem como principal objetivo, proporcionar condições necessárias para que as empresas incubadas possam se preparar e se fortalecer para o mercado superando as barreiras existentes nos primeiros anos de sua atuação, revertendo assim em atividade econômica os investimentos em pesquisa realizados pela sociedade. Estes benefícios fazem com que a taxa de mortalidade de empresas incubadas seja bastante minimizada.

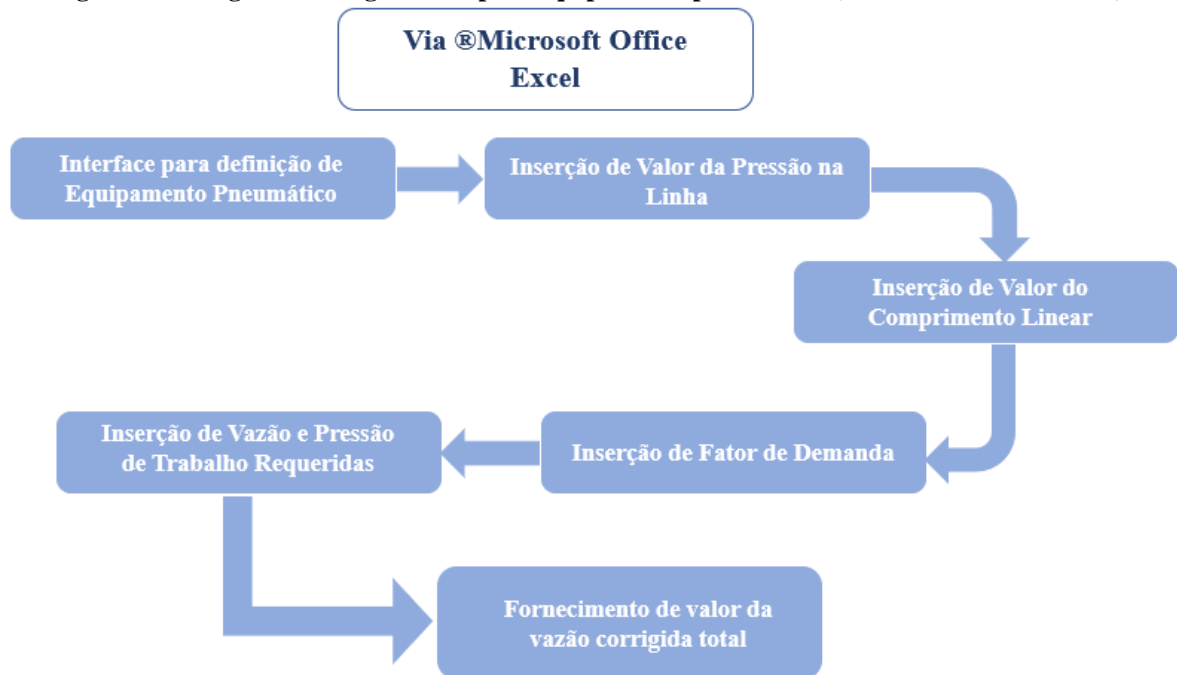
Figura 6. Instalações atuais do Parque Tecnológico de Tucuruí (TECNOLAGO).



Fonte: Autoria Própria, 2019.

O projeto seguiu com duas metodologias diferentes de dimensionamento e projeto do sistema de ar comprimido. A primeira abordagem deu-se analiticamente, baseando-se no programa de dimensionamento do diâmetro de tubulações de ar comprimido e seus equipamentos, e, que foi utilizado conforme fluxograma de seguimento apresentado na Figura 7, Figura 8 e Figura 9, respectivamente.

Figura 7. Fluxograma de seguimento para equipamento pneumático (via software @MS Excel).



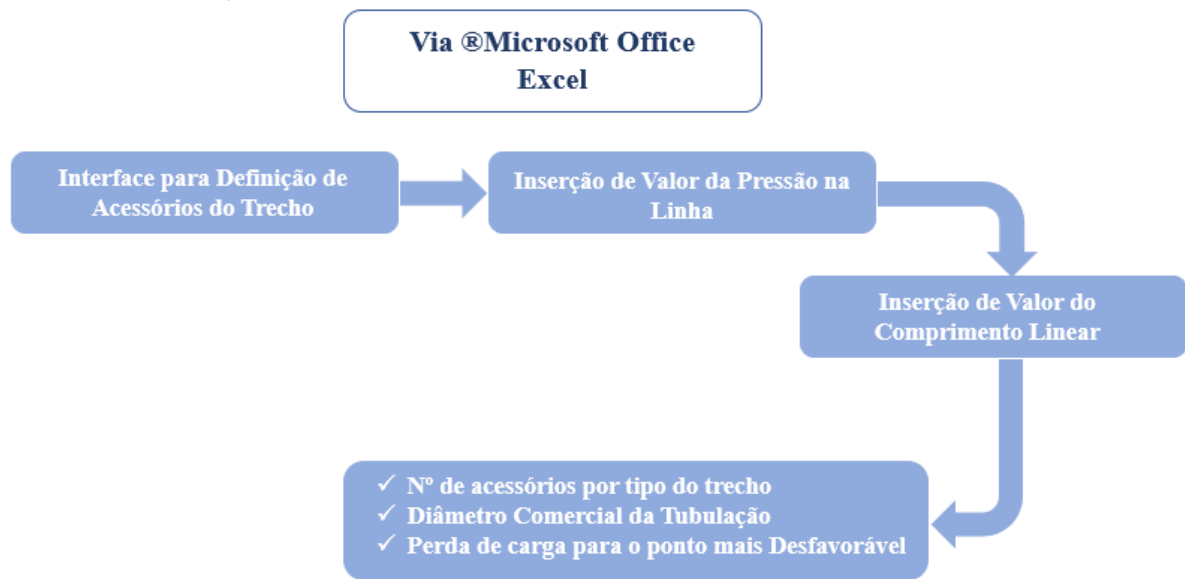
Fonte: Autoria Própria, 2020.

Figura 8. Fluxograma de seguimento para cilindro pneumático (via software @MS Excel).



Fonte: Autoria Própria, 2020.

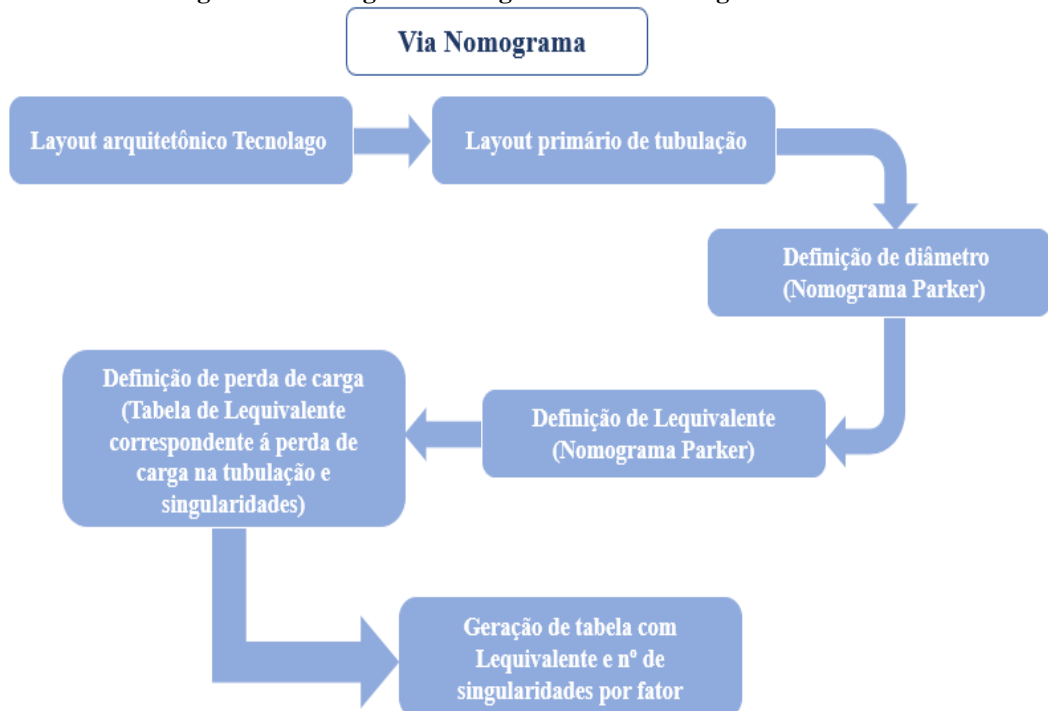
Figura 9. Fluxograma de seguimento para acessórios do trecho, diâmetro comercial e perda de carga (via software @MS Excel).



Fonte: Autoria Própria, 2020.

A segunda, deu-se via nomograma fornecido pelo manual técnico da Parker, onde a partir de algumas premissas de projeto como perda de carga admissível, vazão e pressão inicial traçam-se retas que resultarão em um ponto de intersecção localizado sobre um eixo o qual define o diâmetro interno da tubulação. O fluxograma de seguimento via nomograma está ilustrado na Figura 10.

Figura 10. Fluxograma de seguimento via monograma.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

A abordagem analítica proporcionada pelo programa gerado no @Microsoft Office Excel, pelo discente Lamarck Medeiros (UFAM) em seu Trabalho de Conclusão de Curso, auxiliou na busca pelos diâmetros de tubulação, facilitando também a especificação das singularidades.

O nomograma caracteriza-se por possibilitar a resolução gráfica para problemas que apresentam mais de uma variável, o que vem a ser o caso do dimensionamento das tubulações de ar comprimido, conforme apresentado na Equação 1.

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

Onde:

d = Diâmetro interno da tubulação (mm);

Q = Volume de ar corrente: Vazão total das máquinas + Futura ampliação (m³/h); Lt = Comprimento total da linha: Somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente originado das singularidades (tês, curvas, registros, etc.) (m);

P = Queda de pressão admitida: Perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e singularidades (kgf/cm²);

P = Pressão de regime: Pressão do ar armazenado no reservatório (kgf/cm²).

Para elaboração deste projeto foram consultadas as normas regulamentadoras locais assim como também a NR-13, para que as instalações possam ser feitas com maior segurança, respeitando todos os critérios de seletividade como também, considerando-se os princípios de conservação de energia, através da redução de perda de carga nas instalações dos ditos vasos de pressão.

Há alguns critérios iniciais que devem ser levados em consideração para o entendimento do dimensionamento deste sistema:

- Haverão 22 (vinte e dois) boxes para incubação, sendo que 14 (quatorze) boxes com área de 188,25 m² (tipo 1), seis boxes com área de 310,50 m² (tipo 2);
- A tubulação seguirá até um chamado “ponto ótimo” em via aérea acima de cada box, munida de um ponto cego. A instalação do ar no interior dos boxes fica à cargo da empresa incubada.
- A demanda inicial de ar comprimido foi um critério de projeto inicial estabelecido pelo cliente, haja vista que, haverá entre as empresas incubadas uma empresa do seguimento metalmecânico, sendo o intervalo de demanda de ar comprimido para esta categoria de 7 á 9 bar segundo bibliografia consultada.

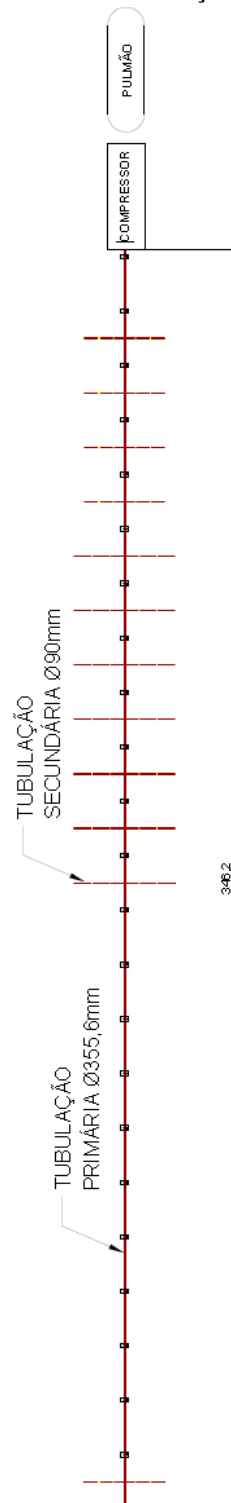
- O dimensionamento deste sistema foi realizado de maneira que haja a possibilidade de ampliação de consumo da rede dentro de um intervalo de tempo.
- Os elementos denominados pulmão e purgadores de ar, não terão dimensionamento contemplado neste trabalho, devido ao escopo à que o mesmo propõe-se.
- Serão referenciadas as normas: (NR-13) do Ministério do Trabalho para vasos de pressão, caldeiras a vapor e tubulações de interligação; e a norma (ASME VIII) descrita *Boiler and Pressure Vessel Code*.

4 RESULTADOS

4.1 LAYOUT DA TUBULAÇÃO PRIMÁRIA

O layout básico das tubulações primária e secundária é apresentado na Figura 11. Para localização deste no galpão do TECNOLAGO, vide Apêndice A.

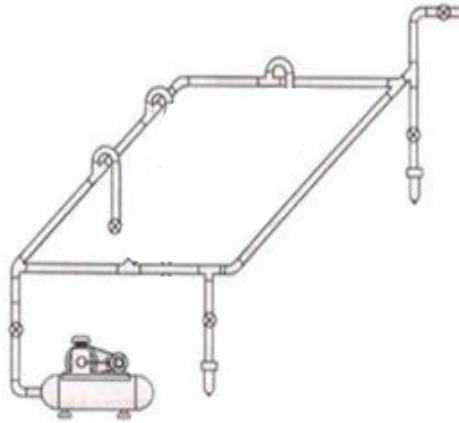
Figura 11. Layout básico de tubulação do TECNOLAGO.



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Como mencionado anteriormente, a tubulação seguirá até um chamado “ponto ótimo” em via aérea acima de cada box, munida de um ponto cego. A instalação do ar no interior dos boxes fica à cargo da empresa incubada. O layout da Figura 12, mostra como se dará a chegada da tubulação em cada um dos boxes.

Figura 12. Esquemático da chegada de tubulações nos boxes.



Fonte: Adaptado de Silva, 2002.

4.2 VIA NOMOGRAMA

Afim de definir a vazão do produto a ser consumido, será utilizado como ponto de partida o padrão médio de consumo para instalações industriais que tem point start de 240 m³/h. A projeção de crescimento de consumo é de 300% em 3 anos, logo:

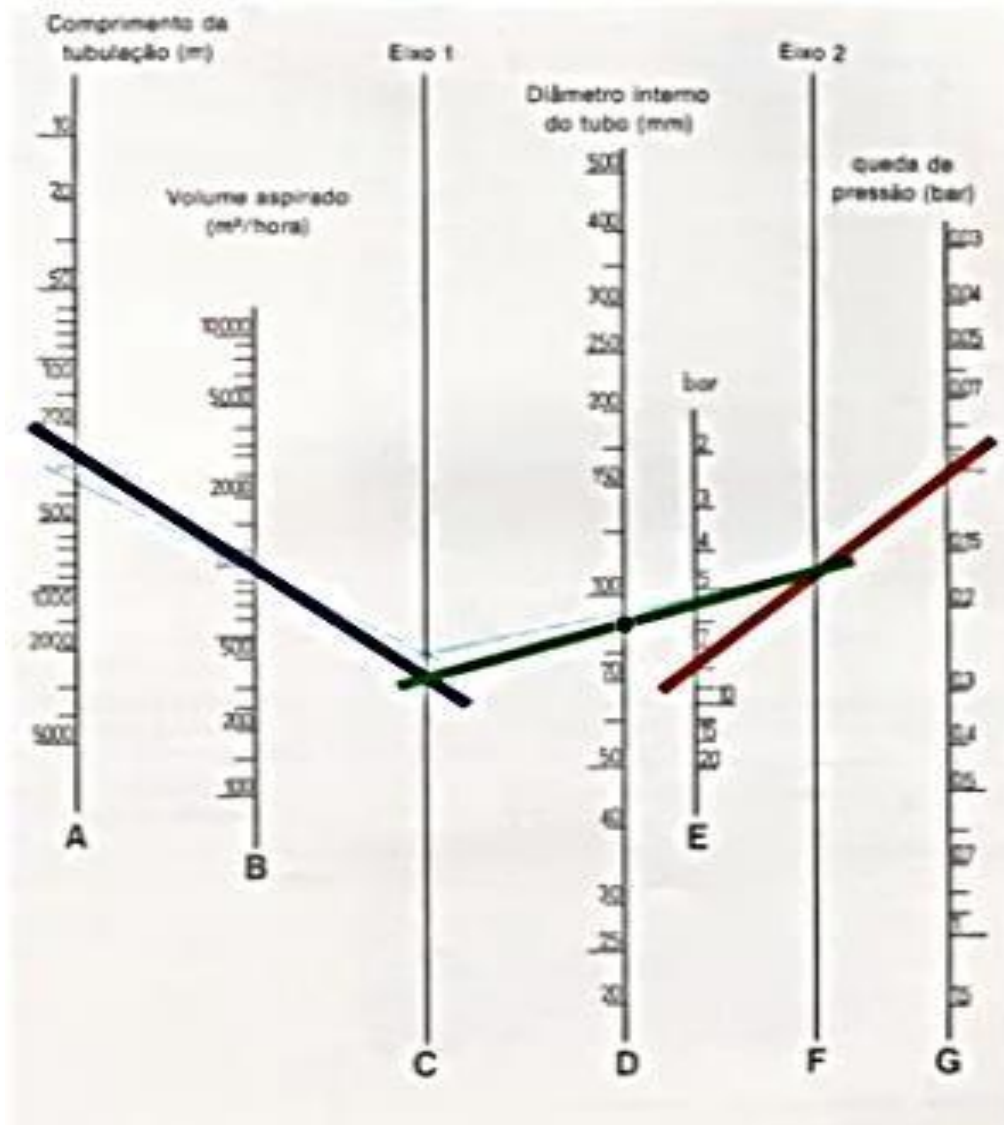
$$Q = 240 \cdot 0,3$$

$$Q = 720 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\therefore Q_T = 720 + 240 = 960 \text{ m}^3/\text{h}$$

A queda de pressão admissível para instalações industriais é de 0,51 bar, e a pressão mínima de rede é de 7 bar. Para este dimensionamento, a pressão de rede será 9 bar, pressuposto esse que leva a um diâmetro interno de aproximadamente 90 mm (3,54pol), de acordo com nomograma apresentado na Figura 13.

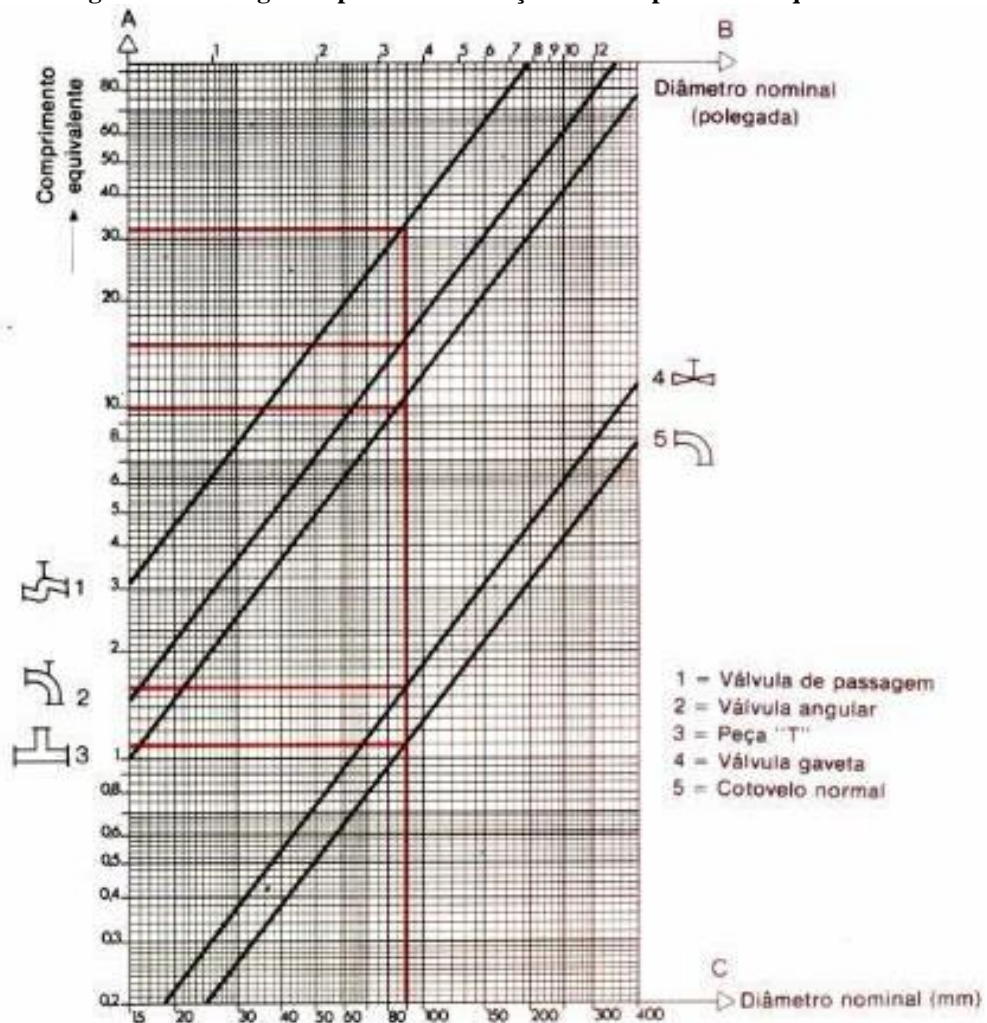
Figura 13. Nomograma para determinação de diâmetro da tubulação de distribuição.



Fonte: Parker Training, 2006.

Desta maneira, por meio de nomograma mostrado na Figura 14, os comprimentos equivalentes podem ser encontrados.

Figura 14. Nomograma para determinação dos comprimentos equivalentes.



Fonte: Parker Trainig, 2006.

Após extrair os fatores necessários do nomograma da Figura 14, e de posse dos valores de perda de carga das singularidades apresentados no Anexo A, tornou-se possível construir a Tabela 1.

Tabela 1. Dados extraídos do nanograma.

Elemento	Nº de elementos	Fator	$L_{EQUIVALENTE}$
Tês	44	10,5	462
Válvula globo	24	32,0	768
Cotovelo normal	28	1,0	28
$L_{EQUIVALENTE} = 1258 \text{ m}$			

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Dado que o comprimento total da tubulação secundária é de 241,20 m:

$$\therefore L_{TOTAL} = 1258 + 241,20 = 1499,2 \text{ m}$$

4.3 VIA PROGRAMA DE DIMENSIONAMENTO

O programa de dimensionamento utilizado é fruto de um Trabalho de Conclusão de Curso, pertencente ao discente da UFAM, Lamarck Medeiros, e que foi obtido por meio de download gratuito. A interface do programa está construída dentro do programa @Microsoft Office Excel, e os resultados obtidos para a tubulação de ramal primário segue na Figura 15, Figura 16 e Figura 17, respectivamente.

Figura 15. Especificações do equipamento pneumático.

ESPECIFICAÇÃO DO TRECHO 1

PRESSÃO DO LINHA 9 bar **COMPRIMENTO LINEAR** 346,20 m

EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO 2

FATOR DE DEMANDA

Click para selecionar o usuário Selecionar o usuário de AC **Selecione o fator**

0,8

Unidade

VAZÃO DE TRABALHO 16 m³/min

PRESSÃO DE TRABALHO 7 bar **CALCULAR**

VAZÃO COSUMIDA 10,24340027763 m³/min **LIMPAR DADOS**

VAZÃO CORRIGIDA TOTAL 10,24340027763 m³/min

EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO

CILINDRO PNEUMÁTICO

ACESSÓRIOS DO TRECHO

PROXIMO TRECHO

RESULTADOS

CALCULAR

DIÂMETRO COMERCIAL mm

PERDA DE CARGA bar

VOLTAR **FINALIZAR**

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 16. Especificações do cilindro pneumático.

ESPECIFICAÇÃO DO TRECHO 1

PRESSÃO DO LINHA 9 bar **COMPRIMENTO LINEAR** 346,20 m

CILINDRO PNEUMÁTICO 8

FATOR DE DEMANDA
 Click para selecionar o usuário Selecionar o usuário de AC **Selecione o fator**

Unidade

PRESSÃO DE TRABALHO 7 bar

CURSO DO CILINDRO 1000 mm

DIÂMETRO DO ÊMBOLO 700 mm **DIÂMETRO DA HASTE** 300 mm

QUANTIDADE DE CICLOS 15 ciclos por hora **CALCULAR**

VAZÃO CONSUMIDA 0,111877836106 m³/min **LIMPAR DADOS**

VAZÃO CONSUMIDA DO TOTAL DE CILINDROS 21,33137408439 m³/min

EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO

CILINDRO PNEUMÁTICO

ACESSÓRIOS DO TRECHO

PROXIMO TRECHO

RESULTADOS

CALCULAR

DIÂMETRO COMERCIAL mm

PERDA DE CARGA bar

VOLTAR **FINALIZAR**

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 17. Especificações de acessórios e acesso ao diâmetro e perda de carga.

ESPECIFICAÇÃO DO TRECHO 1

PRESSÃO DO LINHA 9 bar **COMPRIMENTO LINEAR** 346,20 m

ACESSÓRIOS DO TRECHO

Cotovelo de 90° (Rosca) <input type="text" value="2"/>	Tee Fluxo em linha (Rosca) <input type="text" value="3"/>	Válvula Gaveta ou Esfera (Rosca) <input type="checkbox"/>
Cotovelo de 90° (Flange) <input type="checkbox"/>	Tee Fluxo em linha (Flange) <input type="checkbox"/>	Válvula Gaveta ou Esfera (Flange) <input type="checkbox"/>
Curva Raio Longo 90° (Rosca) <input type="checkbox"/>	Tee Fluxo em Ramal (Rosca) <input type="checkbox"/>	Válvula Globo (Rosca) <input type="text" value="4"/>
Curva Raio Longo 90° (Flange) <input type="checkbox"/>	Tee Fluxo em Ramal (Flange) <input type="checkbox"/>	Válvula Globo (Flange) <input type="checkbox"/>
Curva Raio Curto 180° (Rosca) <input type="checkbox"/>	Conexão para ramal secundário (Rosca) <input type="checkbox"/>	Redução 1/2 do diâmetro (Rosca) <input type="checkbox"/>
Curva Raio Curto 180° (Flange) <input type="checkbox"/>	Conexão para ramal secundário (Flange) <input type="checkbox"/>	Redução 1/2 do diâmetro (Flange) <input type="checkbox"/>
Curva Raio Longo 45° (Rosca) <input type="checkbox"/>	Filtro de linha (Rosca) <input type="checkbox"/>	Separador de condensado (Rosca) <input type="checkbox"/>
Curva Raio Longo 45° (Flange) <input type="checkbox"/>	Filtro de linha (Flange) <input type="checkbox"/>	Separador de Condensado (Flange) <input type="checkbox"/>

FINALIZAR

EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO

CILINDRO PNEUMÁTICO

ACESSÓRIOS DO TRECHO

PROXIMO TRECHO

RESULTADOS

CALCULAR

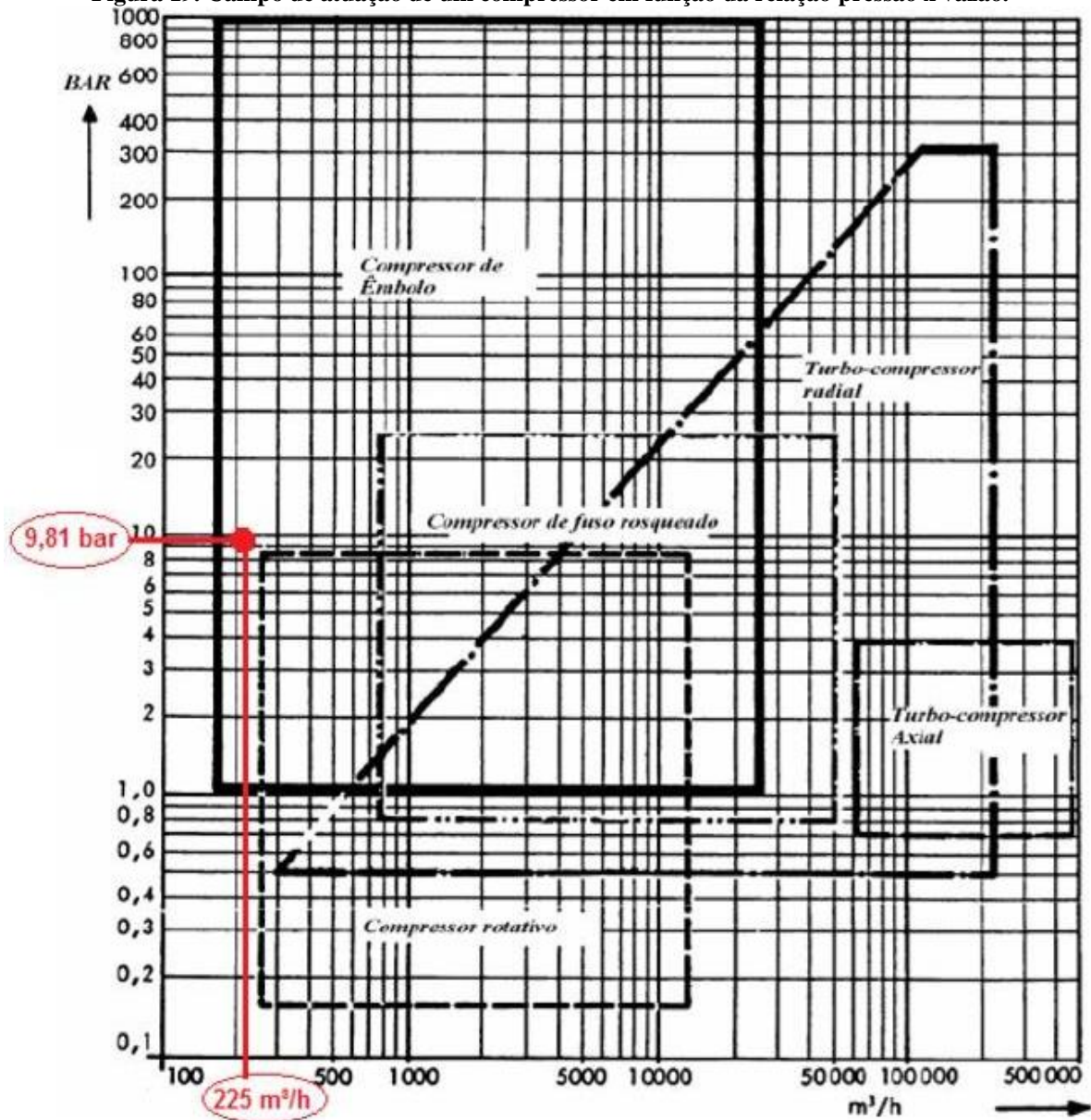
DIÂMETRO COMERCIAL 355,6 mm

PERDA DE CARGA 4,531712022131 bar

VOLTAR **FINALIZAR**

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 19. Campo de atuação de um compressor em função da relação pressão x vazão.



Fonte: Parker Training, 2006.

Tendo em vista que, $9,81 \text{ bar} = 142,28 \text{ psi}$, o compressor 15 pés 175 L Pressure Atg2 15/175 V é de um estágio, de pressão máxima de 140 Libras/Pol² e conta com 2 cilindros em “v”. Suas especificações são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações técnicas do compressor 15 Pés Atg2 Pressure.

Deslocamento Teórico	Pés ³ /Min - 15 Litros/Min - 425
Pressão Mín.	Libras/Pol ² - 100 Bar - 6,9
Pressão Máx.	Libras/Pol ² - 140 Bar - 9,7
Bloco	Número de estágios: 1 Número de Pistões: 2 RPM: 1192 Config: V
Volume de Óleo (ml)	450
Regime de Trabalho	Intermitente
Ruído dB(A)	83
Motor	Potência HP:3 Consumo kW:2,2 Tipo: IP 21 Polos:2
Tensão	Monofásico 127/220
Tempo de enchimento	6'40"
Volante(mm)	320
Polia(mm)	110
Correia	Quantidade: 1 Tipo: A-55
Diâmetro de saída	3/4"
Reservatório	175
Peso líquido	135
Dimensões	Larg.: 455 Altura: 885 Comp. 1260

Fonte: Parker Training, 2006.

Diante do exposto, pode se propor duas soluções para a seleção do compressor de ar, tendo como base os modelos fornecidos mediante solicitação de cotação pela empresa *Atlas Copco*:

- O compressor GA 90 VSDFE, com folha de dados apresentada conforme a Tabela 3, atenderá a vazão total da demanda 960 m³/h na pressão de 9 bar, sendo que ao iniciar o projeto provavelmente não haverá demanda imediata para toda esta vazão, ocasionando falhas no compressor devido á quantidade de vazão fornecida não estar em concordância com a demanda de consumo, o que pode ocasionar a condensação de vapor d'água no sistema interno do elemento compressor vindo a travar a unidade.

Tabela 3. Folha de dados do compressor GA 90 VSDF.

FOLHA DE DADOS

COMPRESSOR GA90VSD		TENSÃO DISPONÍVEL 220V* / 380V / 440V				
CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA		UNIDADE	VALOR			
Pressão de Admissão		bar	1			
Temperatura Ar de Admissão		°C	20			
Umidade Relativa do ar		%	0			
LIMITAÇÕES		UNIDADE	VALOR			
Pressão Máxima de Trabalho	FF	bar	12,8			
	P	bar	13			
Pressão Mínima de Trabalho		bar	4			
Temperatura Máxima na entrada		°C	46			
Temperatura Mínima na entrada		°C	0			
DADOS DE PERFORMANCE		UNIDADE	VALOR			
Pressão de trabalho		bar	4	7	10	13
Vazão - FAD (min-max)**		m ³ /min	2,2-17,6	2,4 -17,5	2,9-15,4	3,6-12,9
Potência nominal do motor		kW	90			
Grau de proteção do motor			IP 55			
Meio de resfriamento			Ar			
Nível de Ruído***		dB(A)	79			
DADOS DO COMPRESSOR		UNIDADE	VALOR			
Secador integrado		Opcional	Somente na versão FF			
Filtros integrados		Opcional	DD ou DD+PD (somente FF)			
Volume do tanque		l	-			
Volume de Óleo		l	27,0			
Tipo de óleo			Óleo Sintético (RXD)			
DIMENSÕES		UNIDADE	VALOR			
Conexão de saída do compressor		G	2 1/2"			
Dimensões	Comprimido	m m	2249			
	Largura	m m	1080			
	Altura	m m	1955			
Peso sem secador (P)		kg	1771			
Peso com secador (FF)		kg	1891			

Fonte: Atlas Copco, 2019.

- Os dois compressores GA 45 VSDF (Tabela 4), sendo que, nesta possibilidade somente um atenderá metade da vazão no primeiro momento de implantação do empreendimento, e, caso haja necessidade de aumento na demanda de consumo de ar comprimido, o segundo GA 45VSDF seria acionado, afim de prover ar nas situações tanto de déficit quanto de superávit de consumo.

Tabela 4. Folha de dados do compressor GA 45 VSDF.

COMPRESSOR		FOLHA DE DADOS				
GA45VSD		TENSÃO DISPONÍVEL				
CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA		UNIDADE	VALOR			
Pressão de Admissão		bar	1			
Temperatura Ar de Admissão		°C	20			
Umidade Relativa do ar		%	0			
LIMITAÇÕES		UNIDADE	VALOR			
Pressão Máxima de Trabalho	FF	bar	12,8			
	P	bar	13			
Pressão Mínima de Trabalho		bar	4			
Temperatura Máxima na entrada		°C	46			
Temperatura Mínima na entrada		°C	0			
DADOS DE PERFORMANCE		UNIDADE	VALOR			
Pressão de trabalho		bar	4	7	10	13
Vazão - FAD (min-max)**		m³/min	1,6-8,8	1,6-8,7	1,5-7,7	2,4-6,4
Potência nominal do motor		kW	45			
Grau de proteção do motor			IP 55			
Meio de resfriamento			Ar			
Nível de Ruído***		dB(A)	75			
DADOS DO COMPRESSOR		UNIDADE	VALOR			
Secador integrado		Opcional	Somente na versão FF			
Filtros integrados		Opcional	DD ou DD+PD (som ente FF)			
Volume do tanque		l	-			
Volume de Óleo		l	23,0			
Tipo de óleo			Óleo Sintético (RXD)			
DIMENSÕES		UNIDADE	VALOR			
Conexão de saída do compressor		G	1 1/2"			
Dimensões	Comprimento	mm	1764			
	Largura	mm	970			
	Altura	mm	1800			
Peso sem secador (P)		kg	1132			
Peso com secador (FF)		kg	1222			

Fonte: Atlas Copco, 2019.

Vale ressaltar que, os equipamentos com folhas de dados acima citados possuem inversores de frequência afim de contribuir na diminuição dos gastos com energia elétrica do sistema.

4.5 RESUMO DO DIMENSIONAMENTO DA REDE DE AR COMPRIMIDO

A Tabela 5 apresenta um breve resumo de algumas informações fundamentais obtidas a partir da rede de ar comprimido.

Tabela 5. Resumo das principais informações obtidas da rede de ar comprimido.

TUBULAÇÕES	Diâmetro Comercial	Extensão	Perda de carga	Vazão de linha
Tubulação ramal primário	354,62 mm	346,20 m	0,045 bar	0,79 m ³ /s
Tubulação ramal secundário	90 mm	1499,2 m	0,51 bar	960 m ³ /h

Fonte: Autoria Própria, 2019.

5 CONCLUSÕES

Em suma, diante do cenário altamente competitivo, em que os clientes buscam cada vez mais produtos e serviços eficientes e de alta qualidade, é imprescindível que haja renovação e evolução dos processos produtivos industriais. Com o intuito de contribuir para o desenvolvimento da indústria em escala regional, o presente trabalho apresentou o dimensionamento de uma rede pneumática de ar comprimido para a reforma do galpão do NDAE (Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia) para a instalação do futuro Parque Tecnológico de Tucuruí (TECNOLAGO).

O dimensionamento de uma rede de ar comprimido exige conhecimento técnico de engenharia para a análise de casos particulares. As fundamentações teóricas proporcionaram o conhecimento básico da produção à distribuição final de ar comprimido, não deixando de atentar-se para a importância de se manter uma interface com fornecedores e fabricantes, facilitando o dimensionamento e seleção de um sistema com equipamentos que atendam às demandas.

O layout básico de encaminhamento de tubulação da rede foi apresentado, juntamente dos diâmetros das tubulações encontrados que devem oferecer uma distribuição uniforme de ar aos pontos de alimentação, em quantidades satisfatórias para o bom funcionamento dos equipamentos que vierem à ser instalados. Aliado à isto, houve a seleção do compressor, em duas alternativas para análise do que fizer-se economicamente viável para o primeiro momento do empreendimento.

Dessa forma, o dimensionamento do sistema de ar comprimido de maneira correta poderá proporcionar uma produção de ar comprimido eficiente, em quantidade satisfatória e boa qualidade de uso. Ou seja, a rede de distribuição poderá fornecer vazão e pressão suficientes para atender à demanda, o que corrobora para um bom desempenho e aumento da vida útil das ferramentas e equipamentos pneumáticos.

6 REFERÊNCIAS

BORTOLIN, Eduardo. Dimensionamento de um Sistema de ar Comprimido para uma Empresa de Pequeno Porte, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Horizontina.

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

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

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

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

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

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

<<http://ndae.ufpa.br/index.php/noticias/100-parque-de-ciencia-e-tecnologia-do-entorno-do-lago-de-tucurui- tecnolago>> Acesso em 21 de Janeiro de 2020.

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

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

MEDEIROS, Lamarck. Programa de dimensionamento do diâmetro da tubulação do ramal primário, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Manutenção Eletromecânica Industrial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

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

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

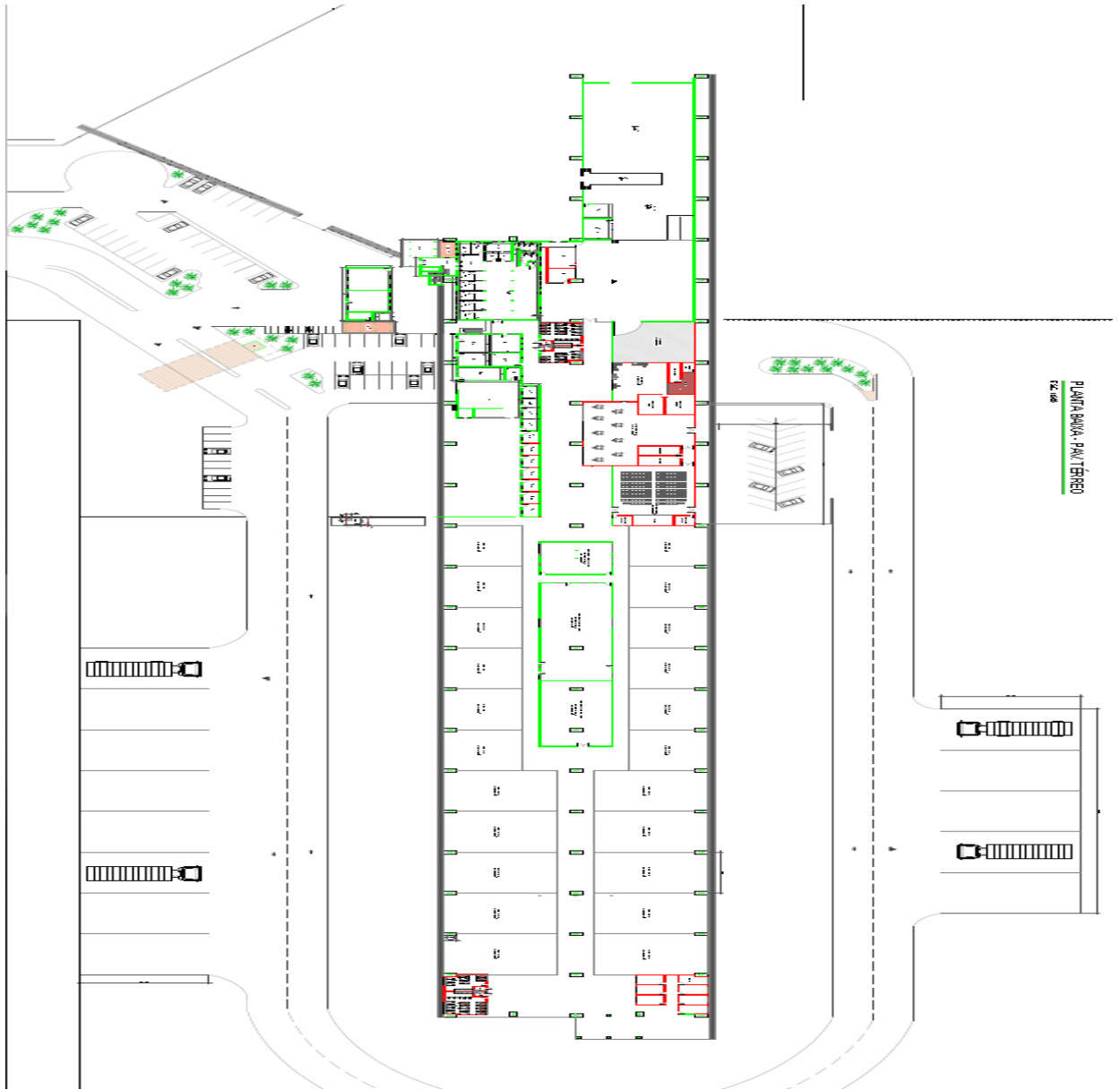
PARKER TRAINING. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Jacareí, 2006. Apostila M1004 BR.

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

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

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

APÊNDICE A: PLANTA ARQUITETÔNICA (GALPÃO NDAE)



ANEXO A: COMPRIMENTOS EQUIVALENTES À PERDAS LOCALIZADAS, EM METROS DE CANALIZAÇÃO DE AÇO GALVANIZADO

Diâmetro nominal <i>D</i>	Código																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
13	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,4	0,9	0,2	11,3	6,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9
125	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	36,0	5,0	12,5	19,3
200	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	42,0	6,0	16,0	26,0
250	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	50,0	7,5	20,0	32,0
300	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

Os valores indicados para registro de globo aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descargas.