

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PNEUMÁTICO EM UMA EMPRESA DE FUNILARIA E PINTURA AUTOMOTIVA DE SANTA ROSA/RS**

SANTOS, Diego M. C.<sup>1\*</sup>; SANTOS, Bruna K.<sup>2</sup>; OST, Rodrigo<sup>1</sup>; FERNANDES, Felipe<sup>3</sup>

<sup>1</sup> FAHOR, Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

<sup>2</sup> UFSM, Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, Brasil.

<sup>3</sup>FAHOR, Engenharia de Produção, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: ds001887@fahor.com.br.

**RESUMO**

Com o constante aumento da realização de reparos automotivos ao longo dos últimos anos, uma empresa de funilaria e pintura automotiva, localizada em Santa Rosa-RS, optou pela implantação de um sistema de ar comprimido, com o intuito de apresentar melhores níveis de produtividade do processo e de maior segurança aos seus operadores. Desta forma, este trabalho tem como objetivo principal realizar o dimensionamento da tubulação a ser utilizada na empresa, garantindo que os equipamentos utilizados funcionem de forma adequada. O presente trabalho pode ser classificado sob o ponto de vista de: sua natureza, seus objetivos e procedimentos técnicos. A natureza do trabalho pode ser definida como pesquisa aplicada, que busca a aplicação prática do conhecimento. Quanto aos seus objetivos o estudo é classificado como pesquisa exploratória envolvendo o levantamento bibliográfico em livros, artigos e manuais dos fabricantes dos equipamentos pneumáticos. Quanto aos procedimentos técnicos se relaciona como um estudo de caso, pois depende da coleta de dados na empresa e do desenvolvimento do memorial descritivo. A metodologia escolhida na realização do dimensionamento leva em consideração alguns parâmetros: a vazão total do sistema, queda de pressão admissível, pressão de regime e o comprimento total da tubulação a ser utilizada. Com a definição destes parâmetros será possível calcular o diâmetro ideal que a

tubulação deverá apresentar. Porém, dificilmente o diâmetro calculado será encontrado comercialmente, sendo necessário determinar o diâmetro da tubulação por meio de tabelas.

**Palavras chave:** Pneumática, Dimensionamento, Ar comprimido, Otimização.

## **SIZE OF A PNEUMATIC SYSTEM IN A COMPANY OF FUNILARIA AND AUTOMOTIVE PAINTING OF SANTA ROSA / RS**

### **ABSTRACT**

With a growing focus on automotive repairs in recent years, an automotive metal repair and painting company based in Santa Rosa - RS, has opted for the implementation of compressed air system in order to acquire better levels of process productivity and process and greater safety for its operators. In this way, this work has as main aim to perform the sizing of the pipe to ensure the used equipment works properly. The present work can be classified from the point of view of its nature, its objectives and technical services. The nature of the work can be defined as applied research, which seeks a practical application of knowledge. Concerning its objectives the study is classified as exploratory research involving bibliographical survey in books, articles and manuals of the manufacturers of pneumatic equipment. As for the technical procedures, it is classified as a study case, as it depends on collection of the company data and the development of a memorial descriptive. The chosen methodology on the execution of sizing takes in consideration some parameters: the total system flow, the permissible pressure drop, the regime pressure and the overall length of the pipe to be used. With the consent of all these parameters it will be possible to calculate the ideal diameter that the piping must present. However, this diameter will hardly be found commercially, being necessary to determine the pipe diameter by means of tables.

**Keywords:** Pneumatics, Sizing, Compressed air, Optimization.

## **1 INTRODUÇÃO**

O aumento da busca por manutenção e reparos dos veículos nos últimos anos em uma empresa de Santa Rosa – RS, especializada em funilaria e pintura automotiva, fez com que o

proprietário da empresa optasse por realizar melhorias nos processos realizados. Uma dessas melhorias está relacionada a implantação de um sistema de ar comprimido ao seu processo, com o intuito de melhorar seus níveis de produtividade, garantindo a entrega dos trabalhos conforme os prazos de entrega definidos com os seus clientes. Conforme informações coletadas no site do DETRAN (Departamento Estadual de Trânsito - 2018) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - 2019), a cidade de Santa Rosa possui atualmente 1,4 habitantes para cada veículo em circulação. O aumento da procura por reparos automotivos esta diretamente ligada ao aumento na quantidade de veículos em circulação na cidade. Em 2009 a cidade possuía 34.236 automóveis, porém em 2017 essa quantidade passou a ser de aproximadamente 51.852 veículos (automóveis, caminhões, ônibus e motocicletas), representando um aumento de aproximadamente 51% (DETRAN, 2018).

Sistemas pneumáticos permitem que o ar seja controlado com bom nível de eficiência, permitindo a execução de atividades sem a presença de fadiga, economizando tempo, materiais e ferramentas, além de proporcionar maior nível de segurança aos operadores envolvidos. Devido a estas características, trata-se de um sistema amplamente utilizado na indústria (máquina agrícola, automotiva, etc.), consultórios odontológicos, oficinas, postos de combustíveis, entre outros. Para Bunse *et al.* (2011) diversos setores da indústria buscam a otimização do consumo de energia empregada nos processos de manufatura, visando a redução no consumo de energia e da emissão de poluentes, assim como a diminuição dos custos de produção.

De acordo com essas informações, este trabalho tem como objetivo o dimensionamento da tubulação principal, a fim de garantir o fluxo constante de ar comprimido até os equipamentos. Para que o objetivo seja alcançado será necessário determinar uma metodologia que permita a implantação de um sistema de ar comprimido.

A pesquisa será realizada em livros, artigos publicados em revistas e manuais dos fabricantes dos equipamentos pneumáticos e se caracteriza por ser uma pesquisa de caráter quantitativo, onde as informações serão coletadas na empresa, e posteriormente, analisadas e desenvolvidas por meio de cálculos, tendo como foco principal o objetivo do trabalho. Com as informações coletadas será possível determinar a vazão máxima do sistema, as perdas de carga e determinação do diâmetro que a tubulação deverá possuir.

## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1.1 Sistema Pneumático

O termo Pneumática deriva do grego Pneumos ou Pneuma (respiração, sopro) e é definida como a parte da física responsável pela dinâmica e pelos fenômenos físicos relacionado a gases ou vácuos. Pode ser definida como uma ciência aplicada do uso do ar comprimido e gases, os quais são responsáveis pela atuação de dispositivos que irão gerar movimentos alternativos, movimentos de vai-e-vem rotativos e combinados (Pavani, 2010).

A utilização do ar como fonte de geração de energia ocorre devido as suas características, tais como a compressibilidade, elasticidade, difusibilidade, expansibilidade, peso, entre outros (Parker, 2006).

Como resultado da implantação de um sistema pneumático, é possível se obter alto grau de eficiência, execuções de operações com ausência de fadiga, melhoria de produtividade e de segurança (Parker, 2006), conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1- Vantagens e desvantagens da implantação de um sistema Pneumático

Vantagens	Desvantagens
Simplicidade de manipulação	É necessário preparar o ar para realizar o trabalho proposto
Redução dos custos operacionais	Velocidades baixas são difíceis de ser obtidas
Fácil manutenção	Os componentes são projetados para uma pressão máxima de 17 bar
O ar para ser comprimido existe em quantidades ilimitadas	Custo inicial elevado (produção, preparação, distribuição e manutenção)
Resistência a ambientes hostis	Nível elevado de ruído
Redução do número de acidentes	Impossibilidade de se obter paradas intermediárias e velocidades uniformes
Segurança	

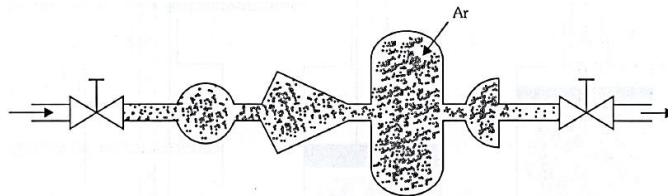
Fonte: Adaptado Parker, 2006.

Para que seja possível compreender melhor as vantagens da utilização do ar comprimido como meio de automação, Fialho (2004) enfatiza que três propriedades físicas do ar precisam ser analisadas, pois elas conferem ao sistema pneumático o status de meio de

automatização de baixo custo, limpo e altamente rentável. As propriedades físicas citadas referem-se a:

- **Expansibilidade:** como os gases não possuem forma definida, a sua ocupação em determinado recipiente ocorre de acordo com o formato do recipiente, como pode ser visualizado na Figura 1.

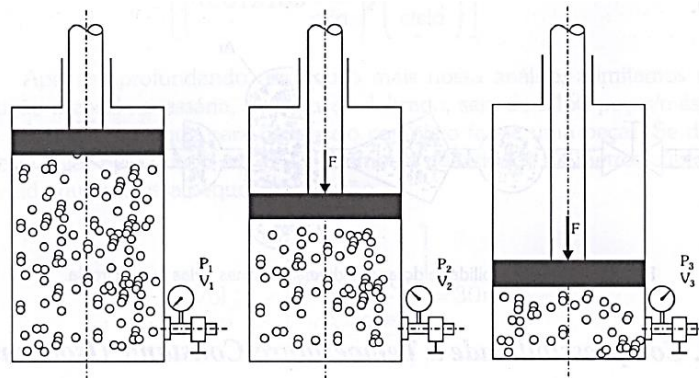
Figura 1 - Expansibilidade do ar



Fonte: Fialho, 2004.

- **Compressibilidade:** por meios mecânicos é possível comprimir o ar em um recipiente hermeticamente fechado, aumentando a pressão interna do recipiente, conforme ilustrado na Figura 2.

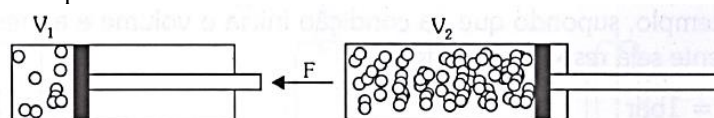
Figura 2 - Exemplo de compressibilidade



Fonte: Fialho, 2004.

- **Elasticidade:** esta propriedade está relacionada a possibilidade do ar comprimido retornar a sua posição inicial com o cessar do esforço que estava comprimindo o ar, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Elasticidade do ar comprimido



Fonte: Fialho, 2004.

Em relação a rentabilidade real da utilização de um sistema pneumático, é necessário considerar o custo da energia e os custos gerais acumulados. Desta forma, verifica-se que o custo da energia utilizada para desempenhar determinado trabalho relacionado a pneumática é significativamente menor quando comparado aos salários, custos de investimentos e manutenibilidade (Fialho, 2004).

### 2.1.2 Dimensionamento do sistema Pneumático

O ar é utilizado como fonte de energia para garantir o funcionamento dos equipamentos, então, é preciso que ele seja inserido no sistema em condições apropriadas de utilização, as quais estão relacionadas a pressão adequada e qualidade do ar utilizado (isenção de impurezas e umidade). Além disso, a instalação de um sistema pneumático requer alguns cuidados que vão desde a escolha do local em que o compressor se encontra, o dimensionamento da rede, sistemas de montagem e fixação da rede, tratamento do ar comprimido e identificação conforme normas (Fialho, 2004).

Em relação ao dimensionamento do diâmetro mínimo necessário à linha principal, Fialho (2004) destaca que sempre se deve levar em consideração a pressão e a vazão necessárias aos diversos pontos de alimentação assim como possíveis aumentos na demanda futura de ar comprimido. Este cálculo pode ser realizado utilizando-se a Equação 1.

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

Onde:

- Vazão (Q) [m<sup>3</sup>/h];
- $L_t = L_1 + L_2$ ;
- Comprimento retilíneo total ( $L_1$ ) [m];
- Comprimento equivalente total ( $L_2$ ) [m];
- Queda da pressão admissível ( $\Delta P$ ) [kgf/cm<sup>2</sup>];
- Pressão de regime (P) [kgf/cm<sup>2</sup>].

No caso do comprimento equivalente, esta informação está relacionada as singularidades (curvas, registros, tês, entre outros) da tubulação. Essas singularidades precisam ser transformadas em medida de comprimento equivalente por meio da utilização de tabelas padronizadas. Outro parâmetro importante utilizado no cálculo está relacionado a

queda de pressão que ocorre devido ao deslocamento do ar pela tubulação, apresentando redução na sua pressão ao longo do comprimento, em função dos atritos internos e dos estrangulamentos. Desta forma, uma queda de pressão ( $\Delta P$ ) para um desempenho de rede satisfatório, não deve exceder  $0,3 \text{ kgf/cm}^2$  para tubulações até 500 m (Fialho, 2004).

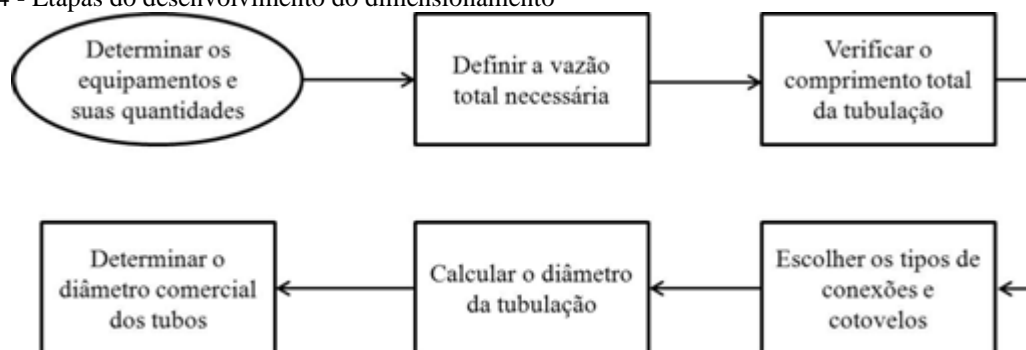
As tubulações pneumáticas exigem manutenção regular, razão pela qual não devem serem mantidas dentro de paredes ou cavidades estreitas, pois isto dificulta a detecção de fugas de ar. Pequenos vazamentos são causas de consideráveis perdas de pressão (Silva, 2002).

Um fator extremamente importante e que deve ser levado em consideração ao realizar o dimensionamento de uma rede Pneumática está diretamente ligado ao vazamento do ar comprimido. Este vazamento ocorre devido a utilização de conexões, engates rápidos, corrosão da tubulação (devido a ação corrosiva de vapores), entre outros, e precisa ser evitado ao máximo possível (Fialho, 2004).

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a desenvolvimento deste trabalho foi necessária à realização de uma pesquisa exploratória, envolvendo o levantamento bibliográfica em dissertações, livros, artigos e manuais do fabricante (Prodanov & Freitas, 2013). Esta pesquisa foi realizada com o intuito de determinar um método que permitisse realizar o dimensionamento da tubulação. Optou-se pela metodologia de cálculo proposta por Fialho (2004), que aborda um método que pode ser dividido em seis etapas, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Etapas do desenvolvimento do dimensionamento



Fonte: Autores, 2019.

Analisando detalhadamente a Figura 4, a primeira etapa do dimensionamento está relacionada a definição dos equipamentos que serão utilizados na empresa, assim como suas

respectivas quantidades. Posteriormente será definida a vazão total necessária ao sistema, a qual irá garantir o perfeito funcionamento dos equipamentos utilizados. Na terceira etapa, será realizado um esboço do sistema pneumático, com a finalidade de definir o comprimento total que a tubulação deverá possuir. Na etapa seguinte, serão indicados os tipos de conexões e cotovelos a serem utilizados em cada ponto de estrangulamento. Na quarta etapa do trabalho, será possível calcular o diâmetro que a tubulação deverá possuir por meio da utilização da equação 1, que se utiliza das informações abordadas nas etapas anteriores. Por fim, será determinado o diâmetro comercial da tubulação a ser utilizada, pois dificilmente a dimensão do diâmetro calculado será encontrada comercialmente.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Equação 1, os seguintes fatores devem ser considerados para a realização do dimensionamento da linha tronco: vazão do sistema, comprimento total da linha tronco, queda de pressão admissível (0,3 kgf/cm<sup>2</sup>), número de pontos de estrangulamento e pressão de regime. Em relação a pressão de regime, utilizou-se uma pressão de 9 bar, que se refere a pressão do reservatório de ar comprimido a ser utilizado pela empresa.

A vazão total do sistema pode ser visualizada na Tabela 2, destacando-se o acréscimo de 40%, sugerido por um especialista, para atender eventuais aumentos no consumo de ar comprimido, devido ao aumento de demanda futura ou para compensar possíveis vazamentos.

Tabela 2 - Vazão do sistema

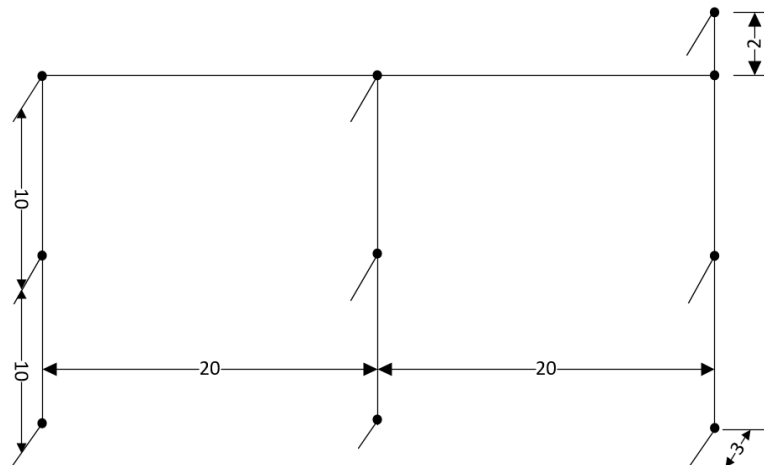
Equipamento	Quantidade	Pressão de trabalho (bar)	Vazão (m <sup>3</sup> /min.)	Total (m <sup>3</sup> /h)
Parafusadeira 3/4	1	6,3	0,24	14,4
Parafusadeira 1/2	1	6,3	0,125	7,5
Lixadeira	1	6,3	0,708	42,48
Polidora	1	6,3	0,340	20,4
Pistola (pintura)	2	2,5 bar	0,2	24
Consumo de ar total utilizado no sistema				108,78
Previsão futura +40%				152,3

Fonte: Autores, 2019.



Outro fator a ser determinado é o comprimento total da tubulação, o qual será definido por meio de um esquema gráfico que irá ilustrar quais pontos irão utilizar ar comprimido, conforme ilustrado na Figura 5.


Figura 5 - Esboço do Esquema do Sistema pneumático



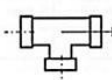
Fonte: Autores, 2019.

De acordo com a Figura 5, o comprimento linear total da tubulação será de 129 metros. Em cada ponto de estrangulamento será utilizado um tipo de conexão. Para compensar as perdas pelo uso de conexões, o tipo de conexão deverá possuir um comprimento equivalente, que é determinado por meio de tabelas padronizadas, as quais podem ser analisadas na Figura 6.

Figura 6 - Comprimento equivalente dos acessórios

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

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

Fonte: Adaptado de Fialho, 2004.

No esboço ilustrado na Figura 6 são utilizadas 5 conexões de 90° Cotovelo comum (comprimento equivalente igual a 0,62 m) e 8 conexões do tipo “T” fluxo em linha (comprimento equivalente de 0,4 m). De acordo com estas informações, o comprimento total

equivalente das conexões em 90° será de 3,1 m (5 x 0,62 m), enquanto o comprimento equivalente das conexões em T somam 3,2 m (8 x 0,4 m). Desta forma, o comprimento total da tubulação será de 135,3 m (129 m + 6,3 m).

Com esses parâmetros definidos é possível determinar o diâmetro interno da tubulação por meio da utilização da Equação 1. Neste caso, o resultado do dimensionamento será de 39,1 mm. Para estabelecer o diâmetro comercial do tubo, utilizou-se a tabela para tubos de aço ASTM A 120 SCHEDULE 40, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 - Tabela ASTM A 120 SCHEDULE 40

Diâmetro				Espessura de Parede		Peso Teórico do Tubo Preto		Pressão de Ensaio
Nominal	Externo		Interno			Pontas Lisas	Com Roscas e Luvas <sup>17</sup>	
in	in	mm	mm	in	mm	Kg/m	Kg/m	Kgf/cm <sup>2</sup>
1	1,315	33,4	26,1	0,133	3,38	2,50	2,56	50
1.1/4	1,660	42,2	35,1	0,140	3,56	3,38	3,45	70
1.1/2	1,900	48,3	40,9	0,145	3,68	4,05	4,18	70
2	2,375	60,3	52,5	0,154	3,91	5,43	5,60	70
2.1/2	2,875	73,0	62,7	0,203	5,16	8,62	8,76	70
3	3,500	88,9	77,9	0,216	5,49	11,28	11,60	70
3.1/2	4,000	101,6	90,1	0,226	5,74	13,56	14,11	85
4	4,500	114,3	102,3	0,237	6,02	16,06	16,81	85
5	5,563	141,3	128,2	0,258	6,55	21,76	22,67	85
6	6,625	168,3	154,1	0,280	7,11	28,23	29,59	85
8	8,625	219,1	202,7	0,322	8,18	42,49	44,66	90
10	10,75	273,0	254,5	0,365	9,27	60,23	-	85

Fonte: Adaptado de Fialho, 2004.

Conforme indicado na Figura 7, para o diâmetro calculado (39,1 mm) deverá ser adquirida comercialmente uma tubulação com diâmetro interno de 40,9 mm. Outro fator que também precisará ser levado em consideração refere-se a vazão do compressor a ser utilizado. Neste caso, o compressor precisa fornecer ao sistema uma vazão mínima de 152,3 m<sup>3</sup>/hora, garantindo desta forma o correto funcionamento dos equipamentos utilizados ao longo dos processos. Caso o compressor utilizado não atenda essa vazão, os equipamentos podem não funcionar adequadamente, influenciando na produtividade e qualidade do trabalho a ser realizado.

## CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho determinou o diâmetro interno da tubulação a ser utilizada e a definiu importantes parâmetros, responsável pelo funcionamento adequado do ar comprimido pelos equipamentos. Dentre estes parâmetros destaca-se o acréscimo de 40% em relação a vazão total utilizada pelos equipamentos. Este complemento na vazão teve como finalidade compensar possíveis vazamentos e garantir a funcionalidade de novos equipamentos em uma futura expansão do sistema pneumático da empresa nos próximos anos.

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho demonstrou-se clara e objetiva, permitindo o dimensionamento da tubulação, levando em consideração as características da tubulação e as necessidades da empresa.

Com a implantação dos resultados informados neste trabalho, será possível implantar um sistema de ar comprimido, o qual irá garantir a melhoria na produtividade e maior segurança aos operadores envolvidos. Por consequência, será possível entregar os serviços aos seus clientes em um intervalo de tempo menor, resultando na redução dos custos envolvidos no processo.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. IBGE. **População Santa Rosa**, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-rosa/panorama>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

BRASIL. DETRAN. **Frota do Rio Grande do Sul**, 2017. Disponível em: <<http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/27453/frota-do-rs>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

BUNSE, Katharina; VODICKA, Matthias; SCHONSLEBEN, Paul; BRULHART, Marc; ERNST, Frank. **Integrating energy efficiency performance in production management-gap analysis between industrial needs and scientific literature**. Journal of Cleaner Production, v. 19, n. 6, p. 667-679, 2011.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação pneumática: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2004.

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

PAVANI, Sergio Adalberto. **Comandos pneumáticos e hidráulicos**. 3ª ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio técnico industrial de Santa Maria, 2010.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SILVA, Emilio Carlos Nelli. **Apostila de pneumática**. São Paulo, 2002.