

# SUBSTITUIÇÃO DE BOMBA DE VÁCUO PARA SISTEMA DE VALVULA VENTURI

## VACUUM PUMP REPLACEMENT FOR VENTURI VALVE SYSTEM

Alan Henrique Fernandes<sup>1, i</sup>

### RESUMO

Em uma fábrica de embalagens de isopor, surgiu a necessidade de reduzir o tempo de manutenção preventiva do sistema de vácuo, impactando diretamente na eficiência operacional e nos custos dos componentes utilizados. Este trabalho aborda a substituição da bomba de vácuo por um sistema de válvula geradora de vácuo. Esse sistema possui uma manutenção mais simples acarretando menor tempo de manutenções preventivas, além de custos significativamente inferiores ao sistema atuante.

Com base na capacidade de sucção da bomba de vácuo e no tempo de moldagem programado na linha de produção, desenvolvi um projeto de um sistema com duas válvulas geradoras. Foi realizado um teste prático, onde substituímos a bomba de vácuo por uma válvula geradora montada próxima ao molde. Produzimos algumas bandejas para uma avaliação visual em conjunto com a equipe de gestão, tendo a oportunidade de discutir maneiras de melhorar a linha de produção ou o sistema de vácuo. Durante o teste, observamos que as bandejas fabricadas não atingiam a qualidade necessária, utilizando apenas uma válvula geradora, reforçando a necessidade de duas unidades de válvulas. Portanto, decidimos realizar um novo teste prático utilizando as duas válvulas geradoras.

Conclui-se que a substituição da bomba de vácuo pela válvula geradora de vácuo não só atingiu os objetivos propostos, como também se mostrou uma solução viável para melhoria da eficiência operacional. A redução de custos e a manutenção simplificada são fatores decisivos que tornam essa substituição uma alternativa vantajosa para o processo produtivo.

**Palavras-chave:** válvula geradora de vácuo, bomba de vácuo, manutenção preventiva, redução de custos, vácuo.

### ABSTRACT

In a Styrofoam packaging factory, the need arose to reduce the preventive

---

<sup>1</sup> Pós-graduado em Automação e Controle de Processos Industriais na Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. E-mail: alan.columbari@gmail.com

maintenance time of the vacuum system, directly impacting operational efficiency and the costs of the components used. This work addresses the replacement of the vacuum pump with a vacuum generating valve system. This system has simpler maintenance, resulting in less preventive maintenance time, in addition to significantly lower costs than the current system.

Based on the suction capacity of the vacuum pump and the molding time programmed on the production line, I developed a design for a system with two generator valves. A practical test was carried out, where we replaced the vacuum pump with a generator valve mounted close to the mold. We produced some trays for a visual evaluation together with the management team, having the opportunity to discuss ways to improve the production line or the vacuum system. During the test, we observed that the manufactured trays did not reach the required quality using only one generator valve, reinforcing the need for two valve units. Therefore, we decided to carry out a new practical test using the two generator valves.

It is concluded that replacing the vacuum pump with the vacuum generating valve not only achieved the proposed objectives, but also proved to be a viable solution for improving operational efficiency. Cost reduction and simplified maintenance are decisive factors that make this replacement an advantageous alternative for the production process.

**Keywords:** vacuum generating valve, vacuum pump, preventive maintenance, cost reduction, vacuum.

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria de embalagens, as bombas de vácuo desempenham o papel na moldagem de embalagens de isopor, garantindo a precisão e a eficiência do processo. Essa tecnologia remove o ar do molde, criando baixa pressão que permite a compactação uniforme do material. Assim, o isopor expandido preenche o molde de forma precisa, resultando em peças com acabamento detalhado e em embalagens leves e resistentes. Além disso, o uso do vácuo otimiza o ciclo de produção, permitindo um enchimento rápido e sem falhas, como bolhas de ar ou lacunas estruturais.

Na linha de moldagem analisada, utiliza-se uma bomba de vácuo com princípio de garra instalada próxima à área de produção. Embora apresente boa eficiência, seus custos de manutenção representam um desafio significativo. O desgaste natural dos componentes exige manutenções preventivas, com gastos consideráveis em peças de reposição como filtros, óleo específico, rotores tipo garra, retífica ou substituição de eixos. Esses custos podem aumentar caso a bomba não seja mantida em boas condições, gerando reparos mais complexos e impactos indiretos, como perda de produtividade.

A imagem 1 apresenta o modelo de bomba utilizado, posicionado próximo à parede, o que dificulta o acesso para intervenções como a troca do filtro de sucção montado acima dela. A fábrica realiza paradas mensais para manutenção e troca de moldes. As manutenções preventivas duram em média duas horas, enquanto as corretivas podem demandar um dia inteiro de parada, segundo o gerente de manutenção.

**Imagem 1: Bomba de vácuo.**

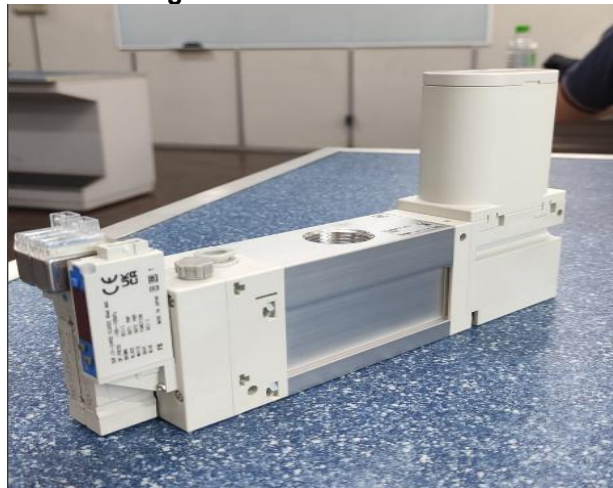


Fonte: (Autor, 2024)

Para reduzir o tempo de manutenção e os custos operacionais na linha de moldagem, este artigo propõe a substituição da bomba de vácuo utilizada hoje por um sistema de válvula geradora de vácuo. Essa mudança visa melhorar a eficiência operacional e minimizar o tempo e os gastos associados as manutenções, oferecendo uma alternativa mais eficaz e mais econômica para a empresa.

Para substituição, foi utilizada uma válvula geradora de vácuo com princípio Venturi, conforme mostrado na imagem 2. A válvula conta com um sistema de controle e gerenciamento de vácuo, garantindo uma alta eficiência com baixo consumo de energia, além disso, possui a função de sopro de ar, que auxilia na soltura de peças, facilitando a remoção.

**Imagem 2: Geradora de vácuo.**



Fonte: (Autor, 2024)

Essa válvula geradora de vácuo possui dois ejetores com três estágios internos, através do princípio de Venturi. Com essa configuração de estrutura, a válvula consegue gerar um vácuo de 600 L/min com pressão de  $-93\text{kPa}$ , com entrada de pressão de  $0,6\text{Mpa}$  e vazão de 270 L/min.

A substituição da bomba de vácuo por uma válvula geradora de vácuo com princípio Venturi exemplifica como soluções podem transformar processos, reduzir significativamente o tempo e os custos relacionados às manutenções. Além disso, a redução das paradas operacionais proporciona maior confiabilidade à linha de produção, impactando positivamente a produtividade e a eficiência do processo. Essa transição para uma solução mais eficiente e compacta ao conceito de economia de energia ressalta a importância da implementação de novas tecnologias na busca por processos mais sustentáveis e econômicos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 VÁCUO

Segundo Gama (2002, p.2) “desde o tempo de Aristóteles, tem-se a noção de que o vácuo, significando um espaço vazio, é uma impossibilidade lógica. Esta ideia permaneceu aceita desde o tempo dos gregos até meados do século XVII [...]”. Essa crença citada por Gama se manteve aproximadamente por 1900 anos. Ainda em seu artigo, Gama cita o início do processo feito por Torricelli, o qual mudou o conceito.

### 2.2 BOMBA DE VÁCUO TIPO GARRA

Bush (2020) explica que uma bomba de vácuo tipo garra funciona com dois rotores montados próximos, girando em sentidos opostos. Durante o funcionamento, uma garra se encaixa no vão da outra dentro de uma carcaça cilíndrica, permitindo que o meio bombeado seja aspirado, comprimido e expelido pela saída, gerando vácuo na entrada. Na ilustração 2, observe-se o posicionamento dos rotores, com setas brancas indicando o sentido de giro e outras setas representadas pelo sentido do fluxo de ar.

Ilustração 2: Rotores princípio de Garra.



Fonte: (BUSCH, 2022, p,04)

### 2.3 PRINCIPIO VENTURI

Segundo o Grupo MB (2024, p.1), “o efeito Venturi se dá quando o ar flui em maior velocidade ao circular por uma passagem mais estreita, a qual cria uma pressão negativa no percurso. Esse fenômeno gera um vácuo parcial que impulsionará o fluido[...]”.

Nesse sentido, MTI (2024) explica que a geração do vácuo ocorre de forma simples, resultando da queda de pressão causada pela velocidade do

ar aplicado em outra entrada da válvula geradora, esse processo gera um fluxo de ar na saída da válvula e sucção em sua entrada.

### 2.3.1 VALVULA GERADORA DE VÁCUO TIPO VENTURI

Segundo SMC (2024), válvula geradora de vácuo é um equipamento para geração de vácuo utilizando o princípio Venturi, com operação de trava no consumo de ar quando a peça trabalhada está totalmente adsorvida.

## 2.4 UNIDADE DE PREPARAÇÃO DE AR LUBRIFIL

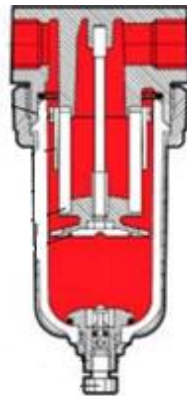
Segundo Silva (2002, *apud* Bortolin, 2014, p. 26) “[...] O ar comprimido, antes de ser utilizado em uma máquina ou ferramenta pneumática, passa por uma unidade de conservação ou unidade de preparação, que é composta por um filtro, uma válvula reguladora de pressão e um lubrificador [...]”.

Esses sistemas de preparação de ar são necessários para que nenhuma partícula de sujeiras e umidade entre no sistema, causando riscos aos componentes pneumáticos.

### 2.4.1 FILTRO REGULADOR DE PRESSÃO

O filtro regulador de pressão é especificamente o filtro de ar (Ilustração 3) e o regulador de pressão. Segundo Dorneles e Mugge (2008), o filtro remove as impurezas e a condensação do ar, que passa pelo filtro de forma espiralada, girando dentro de sua estrutura, com a saída do ar passando pelos poros do filtro. O ar condensado deve ser drenado do filtro após atingir a capacidade de retenção.

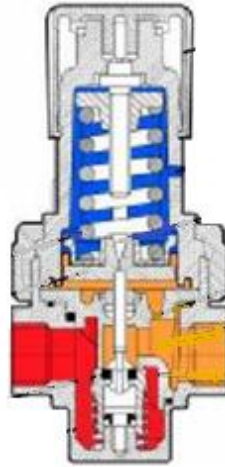
Ilustração 3: Filtro de ar



Fonte: (Dorneles; Mugge, 2008, p. 23)

Dorneles e Mugge (2008) explicam que os reguladores de pressão possuem um sistema composto por uma mola que comprime um diafragma, acionando uma agulha que controla a pressão e permite a passagem do fluxo de ar, como apresentado na Ilustração 4.

**Ilustração 4: Regulador de pressão**

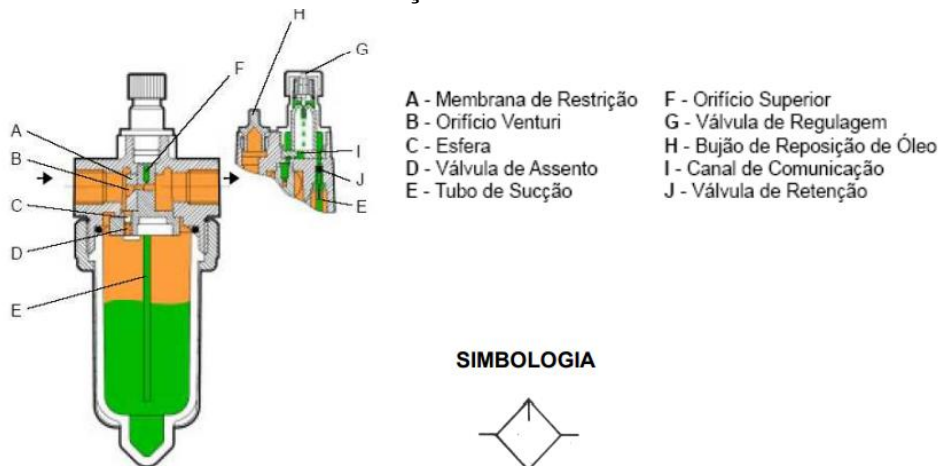


Fonte: (Dorneles; Mugge, 2008, p. 23)

## 2.4.2 LUBRIFICADOR

“Neste sistema de lubrificação, a diferença de pressão, entre a pressão antes do local pulverizador e, a pressão de estrangulamento do bocal, suga o óleo do reservatório, pulverizando-o na corrente de ar” (Dorneles; Mugge, 2008, p. 24). Na ilustração 5 temos a representação da passagem do ar na cor laranja, e na cor verde temos a representação do óleo.

**Ilustração 5: Lubrificador**



Fonte: (Dorneles; Mugge, 2008, p. 24)

## 2.5 VÁLVULAS

Uma válvula pneumática é um componente que controla o movimento do ar em sistemas pneumáticos. Elas são essenciais para regular o início, a interrupção e a direção do fluxo de ar, garantindo o funcionamento eficiente e preciso dos dispositivos que dependem de pressão de ar para operar. As válvulas possuem posições em que cada posição representa uma maneira distinta de direcionar o fluxo de ar dentro do sistema. (Dorneles; Mugge, 2008)

As válvulas possuem vários tipos de acionamentos, segundo Dorneles e Mugge (2008 p.32). “Os tipos de acionamentos são diversificados conforme a necessidade do usuário e podem ser: Musculares - Mecânicos - Pneumáticos - Elétricos – Combinados[...]”.

## 2.7 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Para Cavalcante e Almeida (2005), a manutenção preventiva consiste em ações planejadas para prevenir a ocorrência de falhas nos sistemas, por meio da substituição antecipada de componentes. Neste trabalho, o termo refere-se ao planejamento estratégico de substituição de peças ou partes de equipamentos que apresentam risco de falha durante a operação, caso não sejam trocadas oportunamente. Esse tipo de manutenção é especialmente indicado para equipamentos cuja taxa de falhas aumenta progressivamente com o uso.

## 3 METODOLOGIA

Para o dimensionamento da quantidade de válvulas para substituir a bomba de vácuo, precisamos analisar a pressão de vácuo atual, a área do molde e as saídas para as bandejas. Apresentado na imagem 3, temos o manômetro da bomba indicando a pressão de vácuo de 59cmHg.

Imagem 3: manômetro pressão de vácuo da bomba



Fonte: (Autor, 2024)

A válvula geradora foi testada em bancada conforme é apresentado pela imagem 4, acionamos o vácuo e montamos o manômetro, obtivemos o resultado de 60cmHg.

**Imagem 4: manômetro pressão de vácuo da válvula geradora**



Fonte: (Autor, 2024)

Portanto, a pressão de ambos os geradores de vácuo é próxima, tendo a geradora com uma pressão maior que a bomba por 1cmHg.

Na tabela 1 são apresentados os dados técnicos da bomba de vácuo, vamos utilizar como base a capacidade de bombeamento e pressões, para elaborar o projeto, também válido observar as dimensões da bomba e peso, que são alguns defeitos do sistema.

**Tabela 1 - Dados Técnicos da bomba de Vácuo**

No	Descrição	Dados Técnicos
1	Capacidade nominal de bombeamento	290(m <sup>3</sup> /h)
2	Pressão final	100(hPa)
3	Pressão final (operação contínua)	200(hPa)
4	Potência nominal do motor	6,5(kW)
5	Velocidade nominal do motor	3600(rpm)
6	Nível de ruído (dB(A)) (ISO 2151)	79 dB
7	Capacidade do óleo	1(l)
8	Peso aproximado	290(kg)
9	Dimensões (C x L x A)	1.065 x 515 x 450(mm)
10	Entrada de gás	G 2"
11	Saída de gás	R 1"

Fonte: (BUSCH, Geração de vácuo industrial, 2024)

A tabela 2 reúne os dados técnicos da válvula geradora de vácuo. Nesses dados podemos observar que o consumo de ar da válvula é menor do que a vazão de sucção, tendo assim um baixo consumo de ar para gerar uma alta vazão de vácuo. A vazão de sopro de ar também é muito significativa em relação à vazão de ar consumida pela válvula.

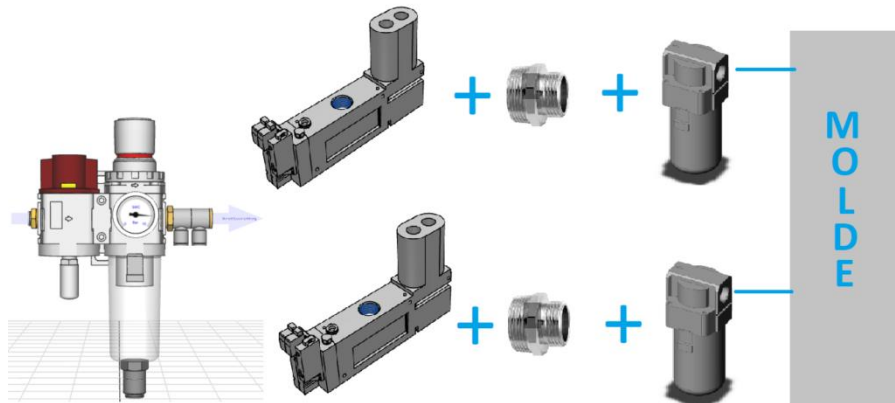
**Tabela 2 - Dados Técnicos da válvula geradora de vácuo**

No	Descrição	Dados Técnicos
1	Consumo de ar	270(L/min)
2	vazão de sucção	600(L/Min)
3	Vazão de sopro	580(L/Min)
4	Pressão Vácuo (operação contínua)	-93(KPa)
5	Peso	470(g)
6	taxa de vazão de sucção/consumo de ar	2,22

Fonte:(SMC Multistage Ejector,2024, p. 23)

Sem dados detalhados da área do molde, estimou-se a necessidade de utilizar duas válvulas geradoras para o projeto, baseado no tamanho do molde, no tempo de vácuo de 1,5 segundos e nas características da bomba mencionadas na Tabela 1.

O projeto prevê um filtro regulador de pressão, com a saída direcionada para duas válvulas geradoras conectadas a filtros para garantir a qualidade do ar na geração do vácuo, conforme apresentado na ilustração 6.

**Ilustração 6: Projeto válvulas geradoras de vácuo**

Fonte: (Autor, 2024)

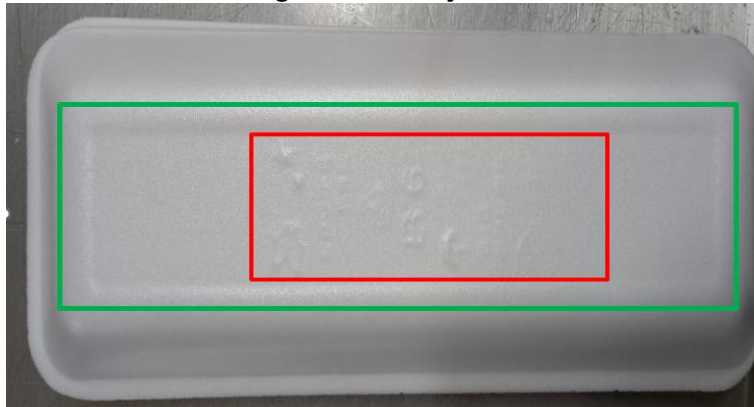
A empresa solicitou um teste com uma única válvula geradora de vácuo para validar o conceito de melhoria sem prolongar a manutenção preventiva. Na substituição da bomba, instalamos um filtro regulador em paralelo ao Lubrifil para evitar danos à válvula, conforme o manual tópico 3.3: “● não use ar que contenha produtos químicos, óleos sintéticos que contenham solventes orgânicos, sais ou gases corrosivos [...]” (SMC. Instruction Manual, 2024, p3, tradução nossa)<sup>8</sup>.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a produção, foi realizada uma análise visual com o gerente de manutenção, identificando bandejas com moldagem incompleta, o que reforça a necessidade de uma válvula geradora adicional. A imagem 5 mostra uma dessas bandejas: os símbolos centrais e a sigla B6 estão pouco nítidos (em vermelho), enquanto as bordas e linhas apresentam boa definição (em verde).

<sup>8</sup> No original: Instruction Manual. 3.3 Air Supply. Do not use air containing chemicals, synthetic oils containing organic solvents, salts, or corrosive gases.

Imagem 5: Bandeja com falhas



Fonte: (Autor, 2024)

O investimento inicial desse projeto é apresentado na tabela 3, considerando todas as peças necessárias para essa substituição, os valores apresentados são referentes ao ano de 2024.

Tabela 3 Valores dos componentes

Item	Quantidade	Valor Total (R\$)
Geradora de vácuo	2 Unid	8127,99
Filtro para vácuo	2 Unid	765,10
Filtro e regulador de pressão	1 Unid	547,32
Válvula manual	1 Unid	209,84
Silenciador	1 Unid	17,98
Espaçador suporte	1 Unid	29,67
Conexão pneumática reta	1 Unid	7,88
Conexão Pneumática dupla	1 Unid	28,34
Niple macho	2 Unid	202,66
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 9936,78</b>

Fonte: (Autor 2024)

A gestão eficiente dos sistemas de vácuo e sopro requer atenção aos componentes e aos prazos de substituição. Filtros, por exemplo, têm vida útil de dois anos, enquanto válvulas e injetores devem ser avaliados conforme o desgaste. A Tabela 4 apresenta a quantidade de cada item, os intervalos recomendados de troca e as condições de uso, facilitando o planejamento e a organização dos recursos operacionais.

Tabela 4 - Valores dos elementos filtrantes e componentes

Item	Quantidade	Quando trocar	Valor Total (R\$)
Elemento vácuo	2 Unid	Após 2 anos	113,60
Elemento filtro	1 Unid	Após 2 anos	85,54
Válvula sopro e vácuo	4 Unid	Apresentar danos	2.048,48
Injetor vácuo	4 Unid	Apresentar danos	886,88
Silenciador ZL6	2 Unid	Apresentar danos	341,16
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 3475,66</b>

Fonte: (Autor 2024)

O custo total do projeto é de 9936,78R\$ e, a cada dois anos, deve ser realizada a troca dos elementos filtrantes, valor total de 199,14 R\$. Estes valores são referentes ao ano de 2024.

Para efeito de comparação dos valores gastos com o sistema de vácuo atual da linha utilizando a bomba de vácuo, foi elaborada uma tabela com as peças de reposição e seus valores das manutenções, entre os meses de janeiro de 2024 até o mês de julho de 2024, somente da linha de moldagem referente ao teste.

**Tabela 5 - Gastos em manutenções Janeiro – julho 2024**

Quantidade	Item	Valor (R\$)
6	Filtro de exaustão	2493,90
3	Elemento filtrante para sucção	714,73
1	Filtro de óleo	126,60
1	Válvula de entrada R50160	545,88
6	Óleo Vítrea 100	173,40
3	Palhetas para bomba	4494,00
	<b>Total</b>	<b>8548,51</b>

Fonte: (Autor,2024)

Comparando os valores das Tabelas 3 e 5, os custos dos itens trocados de janeiro a julho de 2024 correspondem a 86,03% do valor de aquisição do novo sistema de geração de vácuo, já evidenciando a diferença de custos para manter ambos os sistemas em apenas uma linha de produção. A fábrica conta com cinco linhas utilizando esse sistema.

Em 2023, não houve desgastes mais severos nas bombas. A Tabela 6 apresenta os gastos das cinco bombas com trocas de filtros e óleo lubrificante. Esses valores podem ser considerados como média de custos anuais, desconsiderando manutenções mais complexas.

**Tabela 6 - Gastos com bomba de vácuo em 2023**

Item	Dados Técnicos	Valor
1	Filtro de exaustão	R\$ 8.982,06
2	Óleo lubrificante	R\$ 5.222,43
3	Válvula de entrada	R\$ 288,23
4	Bucha D55	R\$ 257,22
5	Anel rotor D55	R\$ 504,32
6	Filtro de óleo	R\$ 3.619,55
7	Arruelas de pressão	R\$ 271,57
8	Parafuso sextavado	R\$ 268,23
9	Elemento filtrante (sucção)	R\$ 4.280,00
	<b>Total</b>	<b>R\$ 23.693,60</b>

Fonte: (Autor,2024)

Para todas as linhas, o custo total do projeto seria de R\$ 49.683,90, com retorno do investimento em 2 anos. No terceiro ano, os gastos cairiam de R\$ 23.693,60 para R\$ 995,70, já que os filtros seriam trocados apenas a cada dois anos. É importante definir a quantidade ideal de válvulas e avaliar se maior vazão de vácuo poderia reduzir o tempo de aplicação de 1,5 s para 1 s. A validação prática enfrenta desafios devido à alta demanda de produção.

## 5 CONCLUSÃO

Tempo de manutenção em sistema atual com a bomba de vácuo foi contabilizado a média de 2 horas (120 minutos) e pode passar de meio-dia de trabalho a um dia inteiro quando é necessário realizar alguma manutenção corretiva ou troca dos componentes internos como eixos e rotores. Por mais que a manutenção destes itens não seja tão corriqueira por terem uma vida útil elevada, pelo tempo de uso atual nas linhas, já estão começando a apresentar essas manutenções e a troca destes.

Os valores praticados para as manutenções são bem divergentes um do outro, valores de manutenção de janeiro até julho do sistema com a bomba de vácuo, somente os itens de manutenção preventiva foram de 8.548,51 R\$, já apresentados acima na tabela 5, esse valor já representa 86,03% do valor da compra dos itens de substituição.

Devido a alta demanda na fábrica, não foi possível realizar novos testes com duas válvulas geradoras de vácuo, e a falta do técnico terceiro que realiza os processos de programação do CLP não estava presente para alterarmos o tempo de sucção para validar o tempo necessário de vácuo utilizando uma única válvula neste teste. Foi indicado para uma próxima parada de linha, para as manutenções preventivas, realizarmos este teste com as duas válvulas geradoras, com a presença do técnico para os testes alterando o tempo de aplicação do vácuo.

## REFERÊNCIAS

BORTOLIN, EDUARDO. **Dimensionamento de um sistema de ar comprimido para uma empresa de pequeno porte**. 2014. 44 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia, Fator - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014. Disponível em: [https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng\\_Mecanica/2014/Eduardo\\_Bortolin.pdf](https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2014/Eduardo_Bortolin.pdf). Acesso em: 20 maio 2024.

BUSCH. **Geração de vácuo industrial – Alto desempenho, baixa manutenção: especificações técnicas**. Especificações técnicas. Disponível em: <https://www.buschvacuum.com/br/pt/products/mink-mm-1202-1252-av.html>. Acesso em: 06 fev. 2024.

BUSCH. **Manual de instruções: MINK MM 1202-1322 AV**. 2022. Disponível em: [https://www.buschvacuum.com/br/assets/65259/1/Instruction%20Manual%20MINK%20MM%201202-1322%20AV\\_PT\\_pt.pdf](https://www.buschvacuum.com/br/assets/65259/1/Instruction%20Manual%20MINK%20MM%201202-1322%20AV_PT_pt.pdf). Acesso em 06 fev. 2024

BUSCH. **O que é uma bomba vácuo de garras secas?** 2020. Disponível em: <https://www.buschvacuum.com/br/pt/products/vacuum-pumps/claw/claw-technology/> Acesso em: 09 maio 2024.

CAVALCANTE, CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO; ALMEIDA, ADIEL TEIXEIRA DE. **Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza**. 2005. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Pernambuco (Ufpe), Recife, 2004. Cap. 9. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/mPs5rkScXQrCLJzxJZw6TNr/?lang=pt>. Acesso em: 06 dez. 2024.

CORADI, FERNANDO EMÍLIO. **Análise Energética e Econômica na Rede de Distribuição de Ar de uma Indústria de Autopeças**. 2011. 136 f. TCC (Graduação) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Ciências Térmicas e Fluidos, Universidade Federal de São João del Rei, São Joao del Rei, 2011. Disponível em: [https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2009/Fernando\\_Coradi.pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2009/Fernando_Coradi.pdf). Acesso em: 20 set. 2024.

DEGASPERI, FRANCISCO TADEU. **Modelagem e Análise Detalhadas de Sistemas de Vácuo**. 2002. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica e de Computação, Semicondutores, Instrumentos e Fotônica, Universidade Estadual de Campinas Unicamp, Campinas, 2002. Acesso em: 11 out. 2024.

DORNELES, VIVIANE; MUGGE, TOBIAS. **Pneumática Básica**. 2008. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Técnico Mecânica de Precisão, Escola Técnica Senai Plínio Gilberto Kroeff, São Leopoldo, 6 de outubro de 2008, 2008. Cap. 12 e 14. Disponível em: <https://tobiasmugge.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/10/apostila-pneu.pdf> Acesso em: 11 out. 2024.

GAMA, SERGIO. **Introdução à Ciência e Tecnologia de Vácuo**. 2002. 70 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas Unicamp, Campinas, 2002. Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/labvacrio/files/2014/09/F-640-apostila.pdf>. Acesso em: 22 out. 2024.

GRUPO MB (Brasil). **O que é e para que serve o sistema Venturi**. Disponível em: <https://grupomb.ind.br/o-que-e-efeito-venturi/#:~:text=Esse%20fen%C3%B4meno%20gera%20um%20v%C3%A1cuo,de%20bombas%20ou%20ventiladores%20mec%C3%A2nicos>. Acesso em: 23 out. 2024.

MTI MASTER TECNOLOGIA INDUSTRIAL (Brasil). **Geradora de vácuo para aplicações industriais**: Como funciona o gerador de vácuo Venturi. Disponível em: <https://mtibrasil.com.br/blog/pneumatica-geral/gerador-de-vacu-venturi/#:~:text=Como%20funciona%20o%20gerador%20de%20v%C3%A1cuo%20venturi&text=Quando%20o%20ar%20comprimido%20passa,como%20indicado%20pe lo%20diagrama%20abaixo>. Acesso em: 03 mar. 2024.

SILVA, EMILIO CARLOS NELLI. **Sistemas de fluido mecânicos**. 2002. 114 f. Tese - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Usp, São Paulo, 2002. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4203382/mod\\_resource/content/1/Apostila%20de%20pneuma%CC%81tica%20Poli.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4203382/mod_resource/content/1/Apostila%20de%20pneuma%CC%81tica%20Poli.pdf). Acesso em: 20 out. 2024.

SMC. **Multistage Ejector**. Akihabara: Smc Corporation, 2024. Disponível em: <https://ca01.smcworld.com/catalog/New-products-en/mpv/ES100-108-ZL/data/ES100-108-ZL.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2024.

SMC. **Instruction Manual**. Tokyo: Smc, 2024. Disponível em: <https://www.smcworld.com/upfiles/etc/international/imm/ZL3-TF2Z370EN.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2024.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força e sabedoria ao longo desta jornada.

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo constante, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Aos professores e colegas da pós-graduação, que contribuíram com conhecimento, discussões valiosas e troca de experiências ao longo do curso.

Agradeço especialmente ao professor Michel de Moura Chaparro, pela orientação, disponibilidade e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço também à empresa Awaltech, pela colaboração, que foi fundamental para a realização deste estudo.

## SOBRE O AUTOR

Sobre o autor:

---

### **ALAN HENRIQUE FERNANDES**



Possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Faculdade Uni Anchieta (2020), Pós-Graduado em Automação e controle de processos industriais pela Faculdade SENAI de Tecnologia (2025). Tem experiência na área de Automação industrial, com ênfase em Projetos de Máquinas e Fornecimento de itens de automação. É consultor técnico de automação na empresa Awaltech responsável por atender empresas de Jundiaí e região.