

TESTE DE ESTANQUEIDADE EM CILINDROS PARA MOTORES À COMBUSTÃO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DA REGIÃO DO VALE DO RIO DOS SINOS

SOUZA, Douglas Vargas de¹

FORTE, Luiz Antonio²

RESUMO

Os testes de estanqueidade é uma avaliação crítica realizada em sistemas ou equipamentos para verificar se eles são hermeticamente selados e não permitem vazamentos indesejados de líquidos, gases ou substâncias. Assim, eles são importantes para a garantia de qualidade e a segurança na sua utilização. O presente trabalho tem o objetivo de desenvolver um novo método para a realização dos testes de estanqueidade em cilindros de motores de combustão que evite a reprovação de equipamentos que não tem perdas significativas de pressão ou vazamento. Como metodologia, utilizou-se a pesquisa aplicada, quanti qualitativa e de caráter exploratório. Além disso, realizou-se um estudo de caso em uma empresa metalmeccânica situada na cidade de São Leopoldo/RS, fabricante de equipamentos de moto serras, roçadeiras, sopradores, cortadores de pedras, entre outros, ambos compostos por motores de combustão e que necessitam dos testes de estanqueidade antes da venda para o cliente. Como resultados, verificou-se que o novo método proposto pode evitar a reprovação de equipamentos que, na prática, não possuem vazamentos consideráveis, reduzindo o número de retrabalhos e descartes, assim como a otimização da etapa do processo relacionado ao teste de estanqueidade, uma vez que o tempo desse processo pode ser diminuído.

PALAVRAS-CHAVE: teste de estanqueidade, motores de combustão, indústria metalmeccânica.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as empresas do segmento metal mecânico vêm se aperfeiçoando na busca por novas tecnologias. Seus próprios clientes estão cada vez mais exigentes na busca e excelência da qualidade e, acompanhar o dinamismo do mercado é fundamental para o sucesso e a sustentabilidade de uma empresa.

Assim, considerando a fabricação e venda de motores de combustão, os testes de estanqueidade dos cilindros que compõem as câmaras de combustão são importantes para garantir a qualidade e segurança necessária para a aquisição e manuseio dos motores de alguns equipamentos portáteis, tais como moto serras, roçadeiras, sopradores, cortadores de pedras, entre outros. Dessa forma, o teste de

¹ Graduando em Engenharia de Produção Uninter.

² Professor orientador e graduado em Engenharia Ambiental pela UTP e pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UTFPR.

estanqueidade é uma avaliação crítica realizada em sistemas ou equipamentos para verificar se eles são hermeticamente selados e não permitem vazamentos indesejados de líquidos, gases ou substâncias. Nesse caso, o procedimento tem o objetivo de verificar se há penetração externa de ar ou se existe perda de pressão interna dentro do cilindro (VTECH, 2006).

A motivação deste artigo está relacionada aos problemas no funcionamento motores, tendo perdas de pressões com desempenho reduzido, vazamento de combustível, baixa vida útil do motor. Essas perdas estão relacionadas nos defeitos de fabricação do corpo do cilindro, podendo ter micro porosidades ou trincas de calor que surgem durante seu processo de fundição, sendo que seu processo de fabricação envolve diversas operações que podem gerar falhas não identificáveis em inspeções visuais.

Dessa forma, a presente pesquisa realiza um estudo de caso em uma empresa metalmeccânica de origem alemã, subsidiada na cidade de São Leopoldo/RS. Nela, analisou-se e identificou-se que há problemas com alguns motores de combustão portáteis e, a partir disso, tem-se a possibilidade de promover melhorias em seu processo de estanqueidade. Sendo assim, tem-se a seguinte questão problema: de que forma o teste de estanqueidade pode ser melhorado em seu procedimento a fim de evitar sucatear equipamentos que, se testados na prática, não apresentariam vazamentos ou perdas de pressão?

Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo geral, desenvolver um novo método para a realização dos testes de estanqueidade em cilindros de motores de combustão que evite a reprovação de equipamentos que não tem perdas significativas de pressão ou vazamento. Como objetivos específicos tem-se: (a) caracterizar as taxas de vazamentos dos cilindros de alumínio com diferentes parâmetros, comparando com os resultados do método atual; (b) comparar os resultados do novo método com o método atual; (c) testar na prática os resultados dos testes reprovados no método atual e aprovados no novo método para identificar os limites e critérios de aceitação.

Este artigo se justifica, para a organização, nas exigências de qualidade e segurança nas indústrias da metalmeccânica para o processo de fabricação de motores mais robustos e econômicos. Cilindros sem vazamento utilizados nos motores portáteis apresentam uma melhor eficiência de trabalho aumentando sua

vida útil em funcionamento sem colocar em risco a integridade do usuário do equipamento.

Para a Engenharia de Produção, esse estudo pode fornecer mais dados e informações acerca do comportamento dos motores de combustão sob o ponto de vista da realização dos testes de estanqueidade e o comportamento esperado em função dos parâmetros utilizados. Com isso, em trabalhos futuros, os acadêmicos podem vir a realizar mais pesquisas nesse campo de atuação que podem vir a auxiliar outras empresas que utilizam essa prática a melhorar os seus processos.

Para a sociedade, a justificativa se detém na possibilidade de entender melhor sobre o processo e uso dos testes de estanqueidade, ao mesmo tempo em que podem entender sobre a importância de garantir a qualidade e segurança de equipamentos que são utilizados por pessoas e por empresas, haja vista que eles têm suas particularidades e que requerem atenção no uso também.

Portanto, a seguir, apresenta-se o artigo estruturado em três seções: a fundamentação teórica, a metodologia e a análise dos dados e discussão. Por fim, fecha-se o trabalho com as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Testes de estanqueidade

O teste de estanqueidade é um procedimento utilizado para verificar se um sistema, equipamento, recipiente ou estrutura é hermeticamente selado e é capaz de manter a integridade de líquidos, gases ou substâncias que deveriam permanecer confinadas. De acordo com a norma ABNT NBR 9575, a estanqueidade é a propriedade de um elemento ou de um conjunto de componentes de impedir a penetração ou passagem de fluidos de si. A sua determinação está associada a uma pressão-limite de utilização a que se relaciona com as condições de exposição do elemento ao fluido (ABNT, 2010).

O conceito de estanqueidade é exposto como sendo “um neologismo que significa estanque, hermético, "sem vazamento", em inglês no-leak, ou seja, é a definição dada a um produto que está isento de furos, trincas ou porosidades que possam deixar sair ou entrar parte de seu conteúdo” (WIKIPÉDIA, 2022). Dessa

forma, quando se fala em vazamentos, de acordo com Vtech (2006), ele é caracterizado como uma abertura não planejada, seja uma rachadura, furo ou porosidade, presente numa superfície ou junção que deveria manter ou isolar diversos líquidos e gases, mas que acaba possibilitando a escapada ou entrada de substâncias indesejadas. Os locais mais sensíveis a vazamentos em sistemas herméticos costumam ser as conexões, uniões, pontos soldados e brasados, assim como defeitos no material, entre outros.

Os Ensaio Não Destrutivos (END) são métodos concebidos para testar uma peça, material ou sistema sem comprometer a sua futura utilidade. Em contrapartida, os ensaios destrutivos acarretam a deterioração da utilidade do produto, como ocorre nos testes de tração destinados a avaliar as propriedades mecânicas de uma peça. Com o propósito de preservar a integridade da qualidade de um produto, os END baseiam-se em fenômenos físicos e na interação da peça com seu ambiente externo. Dessa forma, obtêm-se parâmetros capazes de inferir sobre a qualidade do produto (PIAZZETTA, 2017).

França Filho (2022) cita que um dos ENDs mais frequentemente empregados nas indústrias é o teste de vazamento, que tem a finalidade de detectar possíveis perdas de fluido decorrentes de irregularidades no material. O que se almeja avaliar, gerir ou prevenir é a taxa de vazamento, que corresponde à quantidade de gás que atravessa uma determinada seção durante um intervalo de tempo específico.

Durante a produção de um equipamento, não é viável submetê-lo a um teste funcional completo, que envolve o preenchimento com óleo ou ar e a circulação interna sob pressão e fluxo conforme indicado pelo fabricante. Por essa razão, torna-se imperativo adotar métodos de ensaios não destrutivos. Esses métodos são aplicados às peças sem causar danos ou interferir em sua funcionalidade final, sendo exemplificados pelo teste de pressão e subsequente verificação de vazamentos. (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2017).

2.2 Detecção de vazamentos

O termo "vazamento" diz respeito à perda de fluido através de falhas no material. Nesse cenário, o termo "taxa de vazamento" é usado para descrever o

fluxo do fluido que escorre através da falha que resulta no vazamento (BIRAM; BURROWS, 1964; JACKSON; SHERLOCK, 1998). A taxa de vazamento é estabelecida como a quantidade de gás (ou massa) que atravessa uma determinada falha em um intervalo específico de tempo. De forma geral, sistemas confinados que incluem gases reagem a vazamentos com alterações em sua pressão interna e, a partir disso, pode-se calcular a taxa de vazamento correspondente (PIAZZETTA, 2017).

Segundo Curriel (2022), o teste de estanqueidade é considerado como um método em que se verifica, com a diferença de pressão simples, a existência de vazamentos, sendo considerado um teste muito prático, eficiente e de baixo custo. Através da pressurização de fluido, gás ou ar, observa-se se existe perda de pressão durante um período de tempo pré-determinado e, com o auxílio de um manômetro, é possível medir a quantidade de vazamento que possa ter durante esse período estipulado. A partir do valor encontrado, é possível tomar decisões acerca dos equipamentos defeituosos e que podem promover riscos para as pessoas que estão manuseando-os.

Na visão de Vtech (2006), os métodos de detecção de vazamentos estão ganhando popularidade em diversas esferas da produção industrial, assumindo funções cruciais em todos os procedimentos em que componentes ou equipamentos devem permanecer completamente vedados para evitar a entrada não desejada de ar externo ou a perda interna de gases. Essas aplicações abrangem câmaras de vácuo, vasos de pressão, bombas, produção de tubos de raios catódicos, sistemas de refrigeração e HVAC, bem como isolamento térmico a vácuo, entre outros. Invólucros com diferentes níveis de estanqueidade devem garantir um isolamento satisfatório entre o ambiente externo e o interno, seja sobre pressão ou em vácuo.

2.3 Estanqueidade em cilindros de alumínio para motores portáteis à combustão

A estanqueidade em cilindros de alumínio para motores portáteis a combustão é o quando um cilindro está estanque, ou seja, sem vazamento de ar, é quando o cilindro está em condições ideais para trabalho sem porosidades do

processo inicial de fabricação (fundição), isento de trincas aonde o ar não sai e não entra da câmara de combustão, ou seja, quando o cilindro está totalmente vedado.

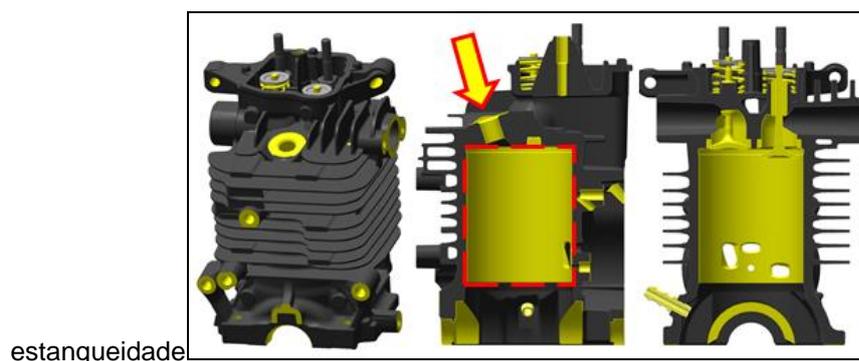
As indústrias trabalham com diversos tipos de processo no que diz respeito à aplicação do teste de estanqueidade. Segundo Vtech (2006), pode-se utilizar variados tipos de testes de estanqueidade, por imersão, aonde se injeta ar dentro da peça com ela submersa na água e verifica-se as bolhas identificando a região de vazamento ou por queda de pressão aonde é injetado ar dentro da peça e monitorado a queda de pressão identificando um vazamento, este monitorando é realizado através de um transdutor de pressão eletrônico ou mecânico.

Palmieri (1997) explica que os sistemas de cilindros hidráulicos não têm o funcionamento correto se apresentarem vazamentos. Para Saggin *et al.* (2004), esse funcionamento é comprometido em decorrência dos vazamentos de estanqueidade desses sistemas hidráulicos, o que pode apresentar baixo rendimento.

O procedimento do teste de estanqueidade em cilindros é um processo que permite medir a taxa de vazamento integral de um determinado cilindro, o método para realização do teste é uma medição da queda de pressão, sua grandeza de teste de vazamento é VL (volume) em cm^3/min . A taxa de vazamento permitida está relacionada à pressão do teste e o volume interno de cada cilindro.

A Figura 1 demonstra um cilindro para teste de estanqueidade, ilustrando a região de enchimento com ar comprimido.

Figura 1 – Representação da área de avaliação no teste de



Fonte: elaborada pelo autor.

A injeção de ar comprimido é realizada pela região de fixação da vela de ignição, conforme orientação da seta. O ar comprimido é injetado através de um *plug* com um anel de vedação *o'ring* que entra em contato com a face do cilindro. Quando este *plug* entra em contato com o cilindro, todas as regiões que podem ter escape

de ar como janelas de admissão e escape são vedadas para não ter fuga de ar. Após esse procedimento de vedação estiver completo, é injetado ar para a câmara do cilindro por cinco segundos, adicionando cinco segundos sem injeção de ar para a realização da estabilização de ar. Após estes dois passos, é realizado o teste de vazamento com dez segundos monitorando a queda de pressão com transdutores de pressão. Ao final, com este ciclo completo, pode se monitorar a taxa de queda de pressão.

Nesse teste, torna-se necessário criar seu diferencial de pressão durante o teste de vazamento para limitar as condições de vazamento garantindo a qualidade do seu teste, desta forma os vazamentos são identificados (VACUUM ENGINEERING SERVICES, 2020).

3 METODOLOGIA

Para alcançar o entendimento científico exige a aplicação do método científico, e assegurar que esse método seja apropriado para a pesquisa é a função da metodologia científica. Assim, a metodologia, em termos literais, envolve a análise sistemática e lógica dos métodos utilizados nas ciências, compreendendo seus princípios, sua legitimidade e sua conexão com as teorias científicas (OLIVEIRA, 2011).

Quanto à natureza, essa pesquisa classifica-se como sendo uma pesquisa aplicada, haja vista que os testes de estanqueidade são aplicados nas mais variadas indústrias no mundo. A pesquisa aplicada concentra sua abordagem nos desafios encontrados nas operações de instituições, organizações, grupos ou indivíduos na sociedade. Seu foco está na elaboração de diagnósticos, reconhecimento de problemas e exploração de soluções. Esses esforços respondem a demandas que são formuladas por clientes, atores sociais ou instituições (THIOLLENT, 2009).

Já no que diz respeito à abordagem do problema, esse estudo é quanti-qualitativo. Quantitativo pois será utilizado os valores de perdas de pressão encontrados para comparar os dois métodos de testes de estanqueidade estudados. Também será qualitativo, uma vez que os resultados encontrados servem de parâmetro para análise dos equipamentos que devem ou não serem rejeitados durante o processo de fabricação deles.

Na abordagem quantitativa, o foco recai na análise ao examinar os componentes individualmente, ao passo que a abordagem qualitativa tem como objetivo de “compreender o significado de uma experiência dos participantes, em um ambiente específico, bem como o modo como os componentes se mesclam para formar o todo” (JONES, 2007, p. 298). Do contrário, a pesquisa qualitativa procura uma compreensão profunda de um fenômeno específico e baseia-se em descrições, comparações e interpretações, sendo mais participativa e menos controlável, uma vez que os participantes podem influenciar a direção por meio de suas interações com o pesquisador (MICHEL, 2005).

Quanto aos objetivos desse estudo, optou-se pela pesquisa exploratória, utilizando-se do levantamento das informações dentro da empresa em questão a fim de poder explorar mais possibilidades e analisar os resultados encontrados, visando definir uma prática melhor para o problema existente. Na visão de Prodanov e Freitas (2013), o objetivo da pesquisa exploratória é enriquecer o entendimento do tópico a ser investigado, facilitando sua definição e estruturação. Isso implica em auxiliar na definição do escopo do tema, guiar a formulação dos objetivos e hipóteses, ou mesmo descobrir uma nova abordagem para o assunto. Comumente, essa fase adota formas como pesquisas bibliográficas e estudos de caso.

Sendo assim, essa pesquisa utiliza o estudo de caso como procedimento técnico. De acordo com Yin (2001, p. 32), “o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, sendo que os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. Ainda, segundo o autor, é a abordagem preferencial quando se busca abordar questões de “como” e “por quê”, especialmente quando o pesquisador tem limitado controle sobre os eventos que está investigando.

A partir dessa metodologia, esse estudo parte para a realização de etapas importantes para o cumprimento do objetivo proposto, que é desenvolver um novo método para a realização dos testes de estanqueidade em cilindros de motores de combustão que evite a reprovação de equipamentos que não tem perdas significativas de pressão ou vazamento. Dentro da empresa escolhida, pretende-se realizar testes de estanqueidade em 45 cilindros produzidos pela organização. O teste é realizado com os parâmetros atuais que a empresa utiliza e, depois, submetido novamente ao teste com os parâmetros novos sugeridos pelo autor dessa

pesquisa. Nos casos em que os cilindros apresentaram resultados próximos do limite estabelecido – seja abaixo ou acima desse limite –, eles são submetidos aos testes práticos em campo com o equipamento em funcionamento, a fim de verificar se, de fato, existe vazamento e perda de pressão na utilização desse equipamento.

Após a coleta dos dados do teste atual, utilizou-se os índices de Cp e Cpk das análises da capacidade de processo, também conhecidos como estudo de capacidade de processo. Para a realização de um estudo de capacidade é necessário não ter variações em processo, necessita ter um processo estável ou sob controle, isso quer dizer que a variabilidade presente deve vir apenas de causas comuns ou previsíveis, ou seja, deve estar isento de causas especiais de variação. De acordo com Costa, Epprech e Carpinetti (2008, p. 24), “uma causa especial é um problema ou modo de operação anormal do processo, que pode, portanto, ser corrigido ou eliminado”.

Os índices de CP e Cpk utilizam inferências estatísticas para determinar a variação e a centralização de um processo com base em dados de uma ou mais amostras, com esses índices são comparados os limites de controle de um processo com seus limites especificados em um produto e, dessa maneira, estimar a probabilidade de defeitos. Já a inferência estatística é a obtenção dos resultados ou a tomada de decisão sobre uma população baseada em amostras selecionada desse montante de dados (MONTGOMERY, 2009).

Para os estudos e cálculos de processos, foram utilizados os *softwares* Minitab17 para estudo de RR e Q-das qs-STAT para estudo de capacidade, onde os dados compilados vieram dos testes de estanqueidade. Os valores de vazamentos analisados foi a taxa de vazamento por queda de pressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse estudo foi realizado em uma indústria metal mecânica situada na região do Vale dos Sinos, na cidade de São Leopoldo/RS. A empresa fabrica diversos tipos de componentes e equipamentos, entre eles moto serras, roçadeiras, sopradores, cortadores de pedras, todos equipamentos portáteis que possuem um motor com câmara de combustão. Esses produtos necessitam, para fins de qualidade e

segurança do usuário, que eles passem por testes de estanqueidade, a fim de detectar vazamentos e possíveis problemas de fabricação nesses materiais.

O método utilizado neste artigo para apresentar os resultados, no que se diz a respeito à qualidade na produção, foi aplicado no processo de estanqueidade em um processo de manufatura da indústria do ramo metal mecânico, este atingido pelo aumento de capacidade do processo após a implementação de novos parâmetros de processo. E, com a avaliação estatística de processo, foi utilizado como meio de avaliação capacidade de processo.

Assim, analisou-se o processo de estanqueidade atual a fim de entender a influência dos parâmetros de processo com seus modos de falha, bem como também comparar os testes do processo de estanqueidade com testes funcionais validando a eficácia do teste em produção, ou seja, comparar os resultados das avaliações dos testes de estanqueidade com o cilindro montado com seus conjuntos no motor em trabalho validando se o cilindro irá vazar ou não.

4.1 Análise do processo atual

A fase inicial dessa pesquisa estruturou os dados do processo atual criando banco de dados com os valores de vazamento com os cilindros testados. Dessa forma, foi possível realizar o estudo de capacidade do processo atual *versus* processo proposto com melhorias realizadas.

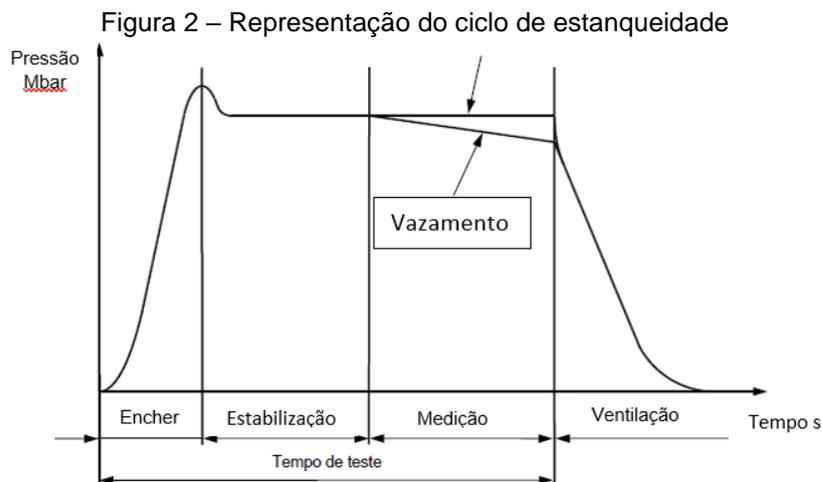
Para a realização do teste de estanqueidade em cilindros de alumínio utiliza-se de uma bancada pneumática e um dispositivo apropriado para cada modelo de cilindro. A realização do teste de estanqueidade é executada com os seguintes parâmetros e tempos, tem se com a utilização dos seguintes parâmetros:

Quadro 1 – Parâmetros do teste de estanqueidade atual

Parâmetros estanqueidade	Parâmetros atuais
Tempo Enchimento	5 segundos
Tempo Estabilização	5 segundos
Tempo de teste	10 segundos
Pressão Teste (Mbar)	800 mMBar

Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, com base nesses parâmetros, o teste é executado e apresenta a seguinte representação gráfica:



Fonte: elaborada pelo autor.

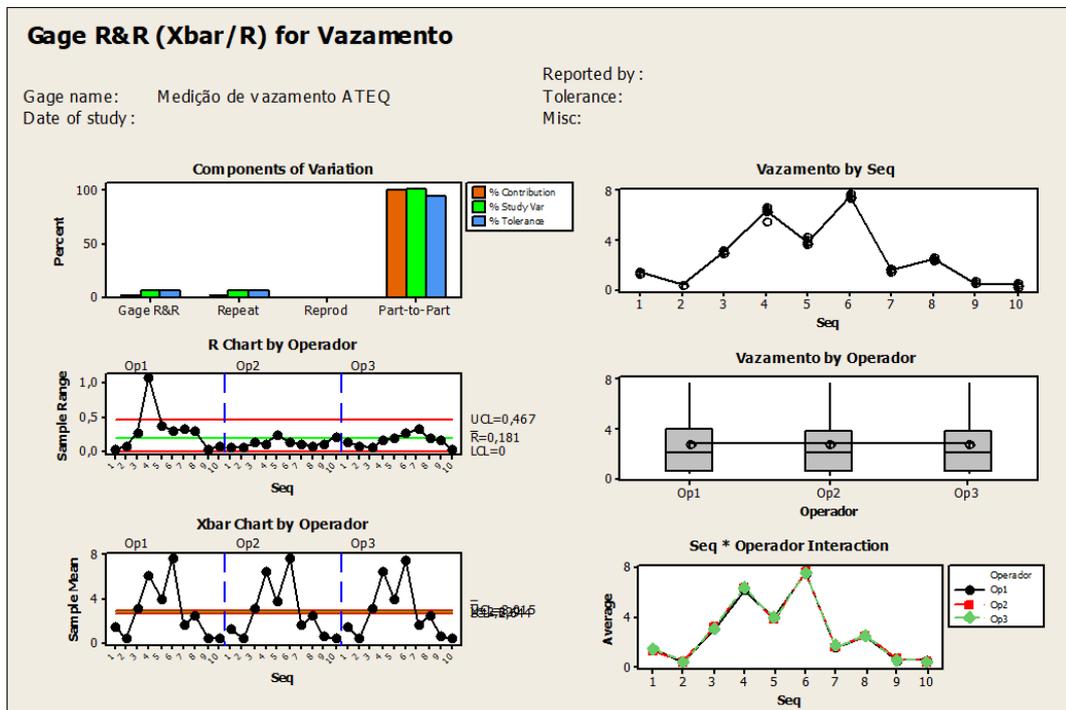
A peça do teste é vedada com acionamento de cilindros pneumáticos, isolando todos os pontos de fugas de ar como janelas e galerias e iniciando o processo de verificação para medir a taxa de vazamento por queda de pressão. Depois, começa com o enchimento da câmara de combustão por 5 segundos e, depois, passa-se para o processo de estabilização, ou seja, o sistema é monitorado por mais 5 segundos e, então, inicia-se o tempo de medição para verificar a queda de pressão, com um tempo de medição igual a 10 segundos. Com a diferença de pressão, esse valor é aplicado com a peça estanque ou não, dependendo da taxa vazamento de cada cilindro.

Antes de realizar qualquer experimento de avaliação com um sistema de detecção de vazamento é necessário garantir que o sistema esteja funcionando corretamente e esteja definitivamente calibrado. Um sistema não calibrado pode produzir resultados falsos e inesperados ou sem sentido. Embora essas medições possam não ser necessariamente utilizadas no cálculo de vazamento do sistema, elas são usadas qualitativamente para determinar a conveniência de prosseguir com a avaliação. Se a falha do sistema for tão grande, o desempenho exigido não possa ser alcançado, mesmo que nenhuma outra fonte de falha esteja presente, o procedimento de avaliação pode ser interrompido e uma reavaliação do projeto do sistema pode ser considerado.

Após a coleta dos dados do teste atual, utilizou-se os índices de C_p e C_{pk} das análises da capacidade de processo, também conhecidos como estudo de capacidade de processo. Antes de iniciar o teste de estanqueidade variando os

tempos de processos foi realizado um estudo de Repetição e Repetibilidade (RR), conforme demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Estudo de RR para validar o início dos testes em processo



Fonte: elaborada pelo autor com base no *software* utilizado.

Foi utilizado, para o teste inicial, dez peças com o valor de vazamento conhecido, assim validando o sistema, as peças utilizadas foram testadas uma pressão de 800 Mbar, mesma pressão do processo. Para a execução do teste foi alternado o operador três vezes, cada operador realizou dez medições na mesma peça. O Quadro 2 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 1 – Resultados de aprovação estudo RR

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,10711	0,6426	4,77	4,48
Repeatability	0,10711	0,6426	4,77	4,48
Reproducibility	0,000	0,000	0,000	0,000
Part-To-Part	2,24458	13,4675	99,89	93,91
Total Variation	2,24714	13,4828	100	94,01

Fonte: elaborada pelo autor com base no *software* utilizado.

Um estudo estatístico de RR foi realizado com o resultado de aprovação, reprodutividade baixa devido a medição ser feita via equipamento eletrônico e não existiu interferência de operador para operador. A variação de medição foi baixa em

relação à variação das peças e o instrumento aprovado para avaliação do processo de estanqueidade.

4.2 Análise do processo novo

Para a realização da comparação entre os dois testes, foi selecionado um modelo de cilindro, sendo que trinta deles estavam aprovados no texto atual e quinze cilindros reprovados. Neles, aplicou-se os novos parâmetros, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros utilizados no Processo de Estanqueidade

Parâmetros Estanqueidade	Parâmetros Atual	Novos Parâmetros
Tempo Enchimento	5	3
Tempo Estabilização	5	3
Tempo de teste	10	7
Pressão Teste (Mbar)	800	800

Fonte: elaborado pelo autor.

O teste de estanqueidade foi realizado duas vezes em cada cilindro, ou seja, alternando os parâmetros conforme Quadro 3, considerando que o critério de aceitação do teste de estanqueidade atual é o limite de 4,0 Mbar. Também foi efetuado as primeiras 30 medições com os parâmetros atuais e compilados os dados da taxa de vazamento.

Em um segundo momento, foi realizado um novo teste de estanqueidade com os novos parâmetros e compilados os dados da nova taxa de vazamento. Durante a execução deste teste não houve substituição de operador, todos foram realizados com o mesmo técnico e os resultados encontram-se no Quadro 4.

Quadro 4 – Tabela com valores da taxa de vazamento em Mbar – Modelo Cilindro

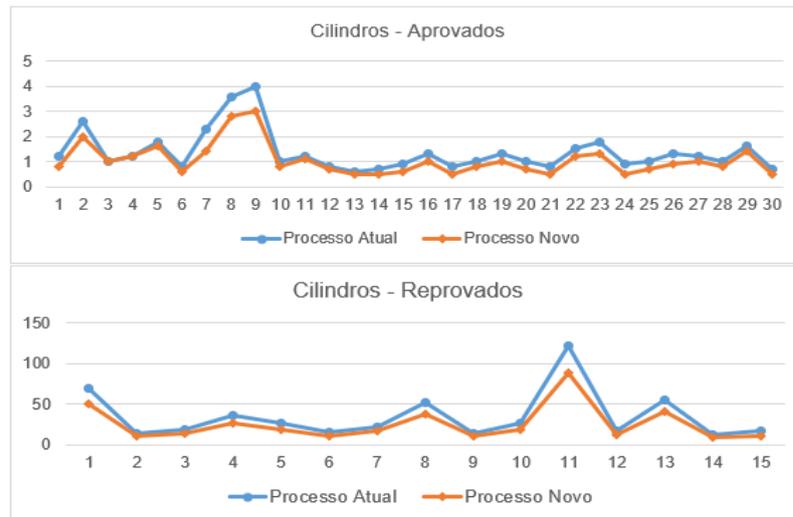
Nº cilindro	Processo atual	Processo novo	Nº cilindro	Processo atual	Processo novo	CILINDROS REPROVADOS		
						Nº cilindro	Processo atual	Processo novo
1	1,2	0,8	16	1,3	1	1	70	50,4
2	2,6	2	17	0,8	0,5	2	13,5	10,1
3	1,0	1,0	18	1,0	0,8	3	18,6	13,6
4	1,2	1,2	19	1,3	1	4	36,3	26,2
5	1,8	1,6	20	1,0	0,7	5	25,6	18,5
6	0,8	0,6	21	0,8	0,5	6	15,3	11,2
7	2,3	1,4	22	1,5	1,2	7	22,3	16,3
8	3,6	2,8	23	1,8	1,3	8	52,0	37,4
9	4,0	3,0	24	0,9	0,5	9	14,3	10,6
10	1,0	0,8	25	1,0	0,7	10	25,9	18,6
11	1,2	1,1	26	1,3	0,9	11	122,3	89
12	0,8	0,7	27	1,2	1	12	4,2	3,15
13	0,6	0,5	28	1,0	0,8	13	55,3	40,2

14	0,7	0,5	29	1,6	1,4	14	4,5	3,38
15	0,9	0,6	30	0,7	0,5	15	16,4	11

Fonte: elaborado pelo autor.

Já a Figura 4 apresenta um comparativo entre os resultados encontrados.

Figura 4 – Comparativo dos parâmetros de processo de Estanqueidade



Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se observar que o resultado obtido está variando para menos no processo novo, uma vez que o tempo diminuiu. Ao analisar os índices de capacidade do processo, teve os resultados de Ppk de 4,20 para Ppk de 6,0, o que é muito positivo. A Figura 5 apresenta esses índices.

Figura 5 – Índices de capacidade dos testes realizados

HEXAGON		Capacidade do Processo.					Pag. 1 / 6									
Q-DAS																
Divisão.	NN	Setor.	NN	Nome.	NN	Data/Hora.	16/04/2023									
Peça.																
Nome.	Capabilidade Vazamento	Mat.Prima.		Nome Disp.Med.												
Peça No.		Nome Op.		Motivo Insp.												
Obs.																
Ca	Caract.	T.m	LIE.	LSE.	Gráfico Valores Indivi	Histograma - Valore	Distribul	\bar{x}	XMin.	XMáx.	X.Sup.3-X.	Índice.	Índice.	LIE.'Min.	LSE.'Min.	Avaliação
1	Modelo Cil1 Proc. Atual	---		14,000			DM.	1,36333	0,600	4,000	4,14540	Pp --- p1	Ppk 4,20	---	5,365	
2	Modelo Cil1 Proc. Novo	---		14,000			DM.	1,04667	0,500	3,000	3,08623	Pp --- p1	Ppk 6,00	---	3,918	

Fonte: elaborado pelo autor com base no software utilizado.

Além dos resultados positivos encontrados, foi realizado um teste prático de bancada (conforme modelo exposto na Figura 1) com dois cilindros que foram aprovados no teste atual (cilindros 8 e 9) e dois cilindros que foram reprovados no teste atual (cilindros 12 e 14), todos com resultados próximos do limite do critério de

aceitação do teste atual que é de 4,0 Mbar (cilindros marcados em vermelho no Quadro 4). No teste prático, utilizando os parâmetros do processo novo, os quatro cilindros foram aprovados, ou seja, mesmo tendo sido reprovado no teste atual por terem apresentado valores de vazamento superior ao critério, no processo novo, se fosse mantido o mesmo critério de aceitação, os cilindros teriam sido aprovados sem gerar problemas durante o uso do cliente final.

Importante salientar que, mesmo não sendo objeto dessa pesquisa, também se verificou que, ao adotar os novos parâmetros sugeridos para o teste de estanqueidade, a produtividade da empresa nessa etapa de produção aumenta em pelo menos 50%, o que reflete em um ganho de custos e aumento de produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho abordou as questões que envolvem o teste de estanqueidade em cilindros de alumínio que compõem as câmaras de combustão, sendo realizado dentro de uma empresa metalmeccânica situada na cidade de São Leopoldo/RS. Essa verificação é importante para garantir a qualidade e segurança necessária para a aquisição e manuseio dos motores de alguns equipamentos portáteis, tais como moto serras, roçadeiras, sopradores, cortadores de pedras, entre outros tipos de equipamentos.

É notável a contribuição desta metodologia de trabalho para a indústria e organizações que buscam melhorias em seus processos produtivos. Assim, é possível analisar para verificar melhores ganhos financeiros, redução de custos, otimização em processo redução de sucatas e ou retrabalho de maneira organizada e estruturada com o intuito de melhores resultados.

Pode-se observar a relevância do entendimento que a Engenharia de Produção no que tange melhorias em processos variados, aumentando os ganhos e qualidade dos processos nas indústrias. Assim, é possível buscar o autodesenvolvimento com qualidade e satisfação de seus clientes, garantindo sua permanência com competitividade no mercado de trabalho.

Durante a pesquisa, analisou-se os parâmetros atuais para o teste de estanqueidade nos cilindros das câmaras de combustão e realizou-se um estudo com parâmetros diferentes para o mesmo teste. Ao reduzir o tempo de cada etapa

do procedimento do teste, verificou-se que os cilindros reprovados no teste atual com resultados próximo do critério de aceitação, a partir do teste prático do equipamento reprovado e com os parâmetros novos, foram aprovados para seguir o processo. Com isso, verificou-se que, ao aplicar o mesmo critério de aceitação atual, mas trocando os parâmetros para o novo processo proposto, a empresa evitaria de sucatear um equipamento que poderia ser vendido sem apresentar nenhum problema durando o uso. Com isso, reduziria o número de retrabalhos e sucata da empresa.

Além disso, apesar de não ser o foco do trabalho, percebeu-se que, ao alterar o processo executado no teste de estanqueidade para os novos parâmetros propostos, a empresa poderia realizar mais testes por dia, haja vista que o tempo de execução do teste diminuiria. Com isso, a produtividade dessa etapa poderia aumentar em cerca de 50%.

Portanto, com esse trabalho, foi possível atingir melhores resultados no processo de estanqueidade em cilindros para motores a combustão. Para futuras pesquisas, sugere-se que sejam feitas novas simulações para definições de outras possíveis variantes de tempos e pressões de trabalhos, assim podendo avaliar novos ganhos em produtividade e qualidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BIRAM, J.; BURROWS, G. Bubble tests for gas tightness. **Vacuum**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 221–226, 1964.

COSTA, Antônio Fernando Branco; EPPRECHT, Eugênio Kahn; CARPINETTI, Luiz César Ribeiro. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CURRIEL, Vera. **Orientação**: teste de estanqueidade – ramal de gas de cozinha merenda. Guarulhos: Diretoria de Ensino, 2022. *E-book*. Disponível em: <https://midiasstoragesec.blob.core.windows.net/001/2022/05/158-nom-comunicacao-direta-teste-de-estanqueidade.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2023.

FRANÇA FILHO, Romilson. **Utilização de tinymt para avaliação de teste de estanqueidade**. 2022. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237601>. Acesso em: 08 ago. 2023.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Álvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTc, 2017.

JACKSON, C. N.; SHERLOCK, C. N. **Nondestructive testing handbook: leak testing**. 3. ed. Ohio: American Society of Nondestructive Testing, 1998.

JONES, F. P. Pesquisa qualitativa. *In*: THOMAS, J. R.; NELSON, J. K.; SILVERMAN, S. S. (orgs.). **Métodos da pesquisa em atividade física**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

MICHEL, M. H. **Metodologia e pesquisa científica: um guia prático para acompanhamento da disciplina e elaboração de trabalhos monográficos**. São Paulo: Atlas, 2005.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTc, 2009.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração**. Catalão: UFG, 2011. *E-book*. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

PALMIERI, A. C. **Manual de hidráulica básica**. 10. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos, 1997.

PIAZZETTA, Guilherme Ranzolin. **Avaliação de estanqueidade em vasos de pressão de pequeno porte com técnicas acústicas**. 2017. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/186186>. Acesso em: 10 ago. 2023.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. *E-Book*. Disponível em: <https://www.feevale.br/cultura/editora-feevale/metodologia-do-trabalho-cientifico-2-edicao>. Acesso em: 13 ago. 2023.

SAGGIN, Adagir *et al.* **Hidráulica e técnicas de comando**. Florianópolis: SENAI-SC, 2004.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2009.

VACUUM ENGINEERING SERVICES. **Leak rate definition**. [S. l.]: Vacuum Engineering Services, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://vac-eng.com/wp-content/uploads/2020/03/leak-rate-definition.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2023.

VTECH. **Theory and practise comparison among leak testing techniques**. Greensboro: Vtech Cool Innovation, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://vtechprocess.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/vtech-leak-detection.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

WIKIPÉDIA. Estanqueidade. *In*: WIKIPÉDIA. [S. l.], 25 ago. 2022. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Estanqueidade>. Acesso em: 15 ago. 2023.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.