

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

STEFANY CAROLINE CASSIANO PEREIRA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO
PROCESSO NA ANÁLISE DE DESGASTE DE BOMBAS DE
PISTÃO AXIAL**

**LINS/SP
1º SEMESTRE/2023**

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

STEFANY CAROLINE CASSIANO PEREIRA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO
PROCESSO NA ANÁLISE DE DESGASTE DE BOMBAS DE
PISTÃO AXIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins para a obtenção
do título de Tecnólogo em Gestão da Qualidade.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Outa.

**LINS/SP
1º SEMESTRE/2023**

Bortoli, Adriana

B739a APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO
PROCESSO NA ANÁLISE DE DESGASTE DE BOMBAS DE PISTÃO A
Adriana Bortoli. – Lins, 2023.

15f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão da
Qualidade) – Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio :
Lins, 2023.

Orientador(a): Dr. Roberto Outa

1. Desgaste da Bomba . I. Outa, Roberto . II. Faculdade de Tecn
de Lins Professor Antonio Seabra. III. Título.

CDD 658.5t

STEFANY CAROLINE CASSIANO PEREIRA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO
PROCESSO NA ANÁLISE DE DESGASTE DE BOMBAS DE
PISTÃO AXIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins como parte dos
requisitos para obtenção do título de Tecnólogo
em Gestão da Qualidade sob orientação do prof.
Dr. Roberto Outa

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Prof. Dr. Roberto Outa

Prof. Me. Sandro da Silva Pinto

Prof. Dr. Fernando Augusto Garcia Muzzi

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 6 |
| ABSTRACT | 6 |
| 1 INTRODUÇÃO | 6 |
| 2 A QUALIDADE NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL | 7 |
| 2.1 ESTATÍSTICA APLICADA A QUALIDADE | 8 |
| 3 BOMBA DE PITÃO AXIAL | 10 |
| 4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL..... | 11 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 15 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 16 |

APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA ANÁLISE DE DESGASTE DE BOMBAS DE PISTÃO AXIAL.

Stefany Caroline Cassiano Pereira¹
Roberto Outa²

¹ Acadêmicos do Curso de Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

² Docente do Curso de Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia De Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar o desgaste da superfície do pistão de uma bomba de pistão axial, utilizando o controle estatístico do processo. A motivação deste trabalho advém de se observar que grandes quantidades de bombas de pistão axial quebram e não possuem mais valia, pelo desgaste dos materiais e até mesmo pela falha dimensional de processos posteriores ao encamizamento dos do cilindro. Os resultados deste trabalho atendem as especificações e exigências da técnica de controle estatístico do processo, cuja metodologia é aplicada no chão de fábrica de diversas empresas. Em específico, este trabalho demonstra a aplicação da técnica no setor de manutenção industrial, ao qual, através do resultado positivo, demonstra a possibilidade de maiores investigações com o resultado deste trabalho.

Palavras-chave: Qualidade. Controle Estatístico do Processo. Bomba de Pistão Axial. Confiabilidade. Estatística.

ABSTRACT

The objective of this work is to investigate the wear of the runway surface of an axial pistachio pump, using statistical control of the process. The motivation of this work comes from observing that large amounts of axial piston pumps break and have no added value, due to the wear of the materials and even the dimensional failure of processes after the cylinder's encamizamento. The results of this work meet the specifications and requirements of the statistical process control technique, whose methodology is applied on the shop floor of several companies. In particular, this work demonstrates the application of the technique in the industrial maintenance sector, to which, through the positive result, demonstrates the possibility of further investigations with the result of this work.

Keywords: Quality. StatisticalProcessControl. AxialPistonPump. Reliability. Statistcs.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial tem a finalidade de manter a máquina, e/ou equipamento em seu perfeito estado de conservação e uso, dentro das especificações

de projeto e o objetivo fim da máquina operante no maior tempo disponível. Portanto, considerando o tempo de produção, uma máquina parada não produz, com isso, os custos de produção são maiores pela falta de produtos entregues ao consumidor. A manutenção industrial pode ser entendida como um dos setores na empresa com desenvolvimento rápido. Isso é devido, ao fato de que, diferentes equipamentos e tecnologia têm sido utilizados para gerir informações das condições das máquinas e equipamentos. A tomada de decisões pela alta gerência, se tornaram mais assertivas e objetivas, reduzindo os custos do processo e de paradas fora do planejamento (KARDEC; NASCIF, 2002).

O mercado para este setor requer tanto que o engenheiro, quanto o operador tenham especificações e conhecimentos em diferentes áreas, como mecânica, elétrica, eletrônica, hidráulica e pneumática, tornando assim, o trabalho confiável devido a mão de obra qualificada. Empresas de desenvolvimento tecnológico em parceria com empresas fabricantes de máquinas de alta performance, a cada dia, promovem treinamentos direcionados para atender as necessidades dos usuários no dia a dia, focando na resolução da deficiência do uso, conjuntamente com os usuários. Este tipo de trabalho resulta em alta eficácia, qualidade e produtividade (XENOS, 2014).

O objetivo deste trabalho é investigar, analisar e demonstrar ferramentas que possam auxiliar o trabalho da manutenção industrial, na visão de programas da qualidade total e, para isso, neste trabalho, é investigado o desgaste da superfície dos pistões da bomba de pistão axial. Essas bombas são utilizadas em diversos locais, como indústria, construção, navios, turbinas, entre outros, o desgaste de peças tende a perda da eficiência, conseqüentemente a falha do equipamento.

O estudo das bombas de pistão tem sido intenso na engenharia, podemos citar o trabalho de Hast et al, (2015) que demonstra especificações quantitativas e qualitativas de parâmetros de falhas utilizando metodologia de modelos não-linear. Já outro autor estuda aplicações de lubrificantes em bombas hidráulicas para o entendimento do desgaste das respectivas superfícies de contato (SEQUART-BASE et al, 2018).

Este trabalho demonstra uma rotina aplicada na linha de produção através da técnica das cartas de controle de Shewhart, aplicado na área de manutenção industrial. O resultado demonstra credibilidade, pois apresenta dados concretos e sólidos, e ainda, permite o avanço das investigações utilizando diferentes metodologias e técnicas da engenharia da qualidade e matemática estatística.

2 A QUALIDADE NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção industrial é dividida em diferentes técnicas, cuja aplicação fica a critério da escolha e forma que a indústria opera. Assim, as técnicas de manutenção podem ser divididas em corretiva não planejada, corretiva planejada, preventiva, preditiva, detectiva e engenharia da manutenção, (KARDEC; NASCIF, 2002).

A manutenção corretiva pode ser entendida como o ato do conserto, a troca efetiva da peça, e as características desta são: planejada e não planejada. Portanto a manutenção corretiva não planejada ocorre com a quebra aleatória do componente da máquina, parando-a sem a intervenção do operador, enquanto, a manutenção corretiva planejada, parte do princípio em que a máquina é parada por algo já pré-determinado, sendo um cronograma, um sensor, ou alguma informação que pare a máquina, desde que não seja uma quebra de componentes da máquina. A manutenção preventiva é o ato da parada da máquina para a manutenção desta,

utilizando um cronograma, geralmente elaborado com o histórico de paradas de máquinas, e a qualidade da peça, após a troca é analisada averiguando o tempo de vida útil e as condições técnicas como desgaste, materiais, entre outros. Esta técnica visa contribuir antecipando a troca da peça ou componente, sem a quebra da mesma, o qual pode ocorrer que o tempo de vida útil desta, possa não ser utilizado na sua totalidade. A manutenção preditiva pode ser entendida como a análise da vida útil da peça e seu estado, feita pelo incremento de sensores a mesma. Contudo a opção de escolha da utilização do uso da peça na sua totalidade de vida útil até a quebra é da opção do operador, visto que, esta decisão é tomada quando se tem o controle dessas características, e também pela condição da parada da linha de produção. A manutenção detectiva pode ser entendida como a “atuação efetuada de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção” (KARDEC; NASCIF, 2002).

A engenharia da manutenção, última técnica a ser comentada, prevê a importância da garantia da operação das máquinas e da funcionalidade da mesma, considerando o enfoque humanístico, ou seja, esta técnica visa auxiliar o melhoramento da produtividade e do volume de produção treinando o operador para utilizar os procedimentos das máquinas, como também, melhorar as condições de uso da mesma, considerando as habilidades e técnicas de engenharia (KARDEC; NASCIF, 2002).

A manutenção pode ser considerada como a ação de diferentes técnicas administrativas e gerenciais, atuantes no ciclo de vida de um produto, objetivando na manutenção e/ou restauração do estado atual ao inicial, cuja função definida em processo possa ser desenvolvida quando operante (MANZINI et al, 2010).

Os indicadores para se entender o estado da produção e do processo produtivo são variados, podemos citar as técnicas matemáticas que controlam e melhoram a qualidade do produto: controle estatístico do processo – CEP padrão; seis sigmas; entre outras; as técnicas comportamentais e organizacionais, para melhora e aumento de produtividade são: kaizen; poka-yoke; kanban; just in time; house-keeping; já as técnicas de planejamento são: PDCA; sistemas da qualidade; diagrama de Ishikawa; diagrama de Pareto; entre outras. A condição para se introduzir qualquer técnica citada, depende exclusivamente de um excelente diagnóstico, direcionado ou não ao sistema de produção (KARDEC; NASCIF, 2002).

A realização da Gestão da Qualidade, é preciso aplicar três processos gerenciais conhecidos como Trilogia Juran, que são o planejamento da qualidade, que visa o desenvolvimento de projetos e produtos a partir da definição do nicho destinado, identificando as necessidades desse nicho e elaborando as características essenciais para este. Controle da qualidade, que consiste em acompanhar o desenvolvimento do processo e garantir que os objetivos estipulados estejam sendo cumpridos. Melhoramento da qualidade, que busca corrigir falhas identificadas na etapa de controle da qualidade, capacitando os colaboradores nas análises de diagnósticos de possíveis causas, permitindo realizar o melhoramento contínuo dos processos e produtos, sempre embasada no atendimento das necessidades e satisfação dos consumidores (JURAN, 1989).

2.1 ESTATÍSTICA APLICADA A QUALIDADE

Os dados estatísticos de um experimento, considerado estatística descritiva/dedutiva, tem a finalidade de entender o comportamento de fenômenos que se desejam estudar, com isso, é necessário coletar dados e processá-los, de forma

que, apresentem o processo de variabilidade deste fenômeno (WEKEMA, 2014; PRADO, 2014). No desenvolvimento deste contexto, em muitos casos é necessário a atribuição de cálculos baseados na média (\bar{X}), variância ($\sigma_{\bar{X}}^2$) e desvio padrão (σ_x), que podem ser demonstrados pelas respectivas equações,

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \left(\frac{1}{N}\right) (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N) \quad (1)$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N} = \left(\frac{1}{N}\right) [(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2] \quad (2)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) [(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2]} \quad (3)$$

Utilizando o conceito destas equações é possível se obter informações importantes de medições, como o erro e a incerteza de medições. O erro sistemático atua de forma determinística na medição e está relacionado com um desvio no valor médio das medições. O erro aleatório atua na forma imprevisível em uma medição e está relacionado a flutuação observada. A incerteza pode ser entendida como a dúvida dos erros da medição. A incerteza padrão é a incerteza do resultado de uma medição expressa como um desvio padrão (GUM, 2008). Avaliação do Tipo A é o método de avaliação de incerteza feita pela análise estatística de séries de observações (GUM, 2008). Neste caso pode ser utilizado o desvio padrão experimental (MENDES e DO ROSARIO, 2020). Avaliação do Tipo B é o método de avaliação de incerteza feito por outros meios que não a análise estatística de seres e observações (GUM, 2008). Neste caso pode ser utilizado o desvio padrão estimados por distribuições de probabilidades assumidas, entre outros métodos (MENDES e DO ROSARIO, 2020). As equações 4 e 5, demonstram respectivamente o erro e a incerteza de medição A,

$$\varepsilon = v_r - v_m \quad (4)$$

$$I_A = \bar{x}_v - \sigma_x \quad (5)$$

Note que ε é o erro; v_r é o valor de referência; v_m é o valor medido; I_A é a incerteza tipo A; \bar{x}_v é a média das médias das variáveis (MENDES e DO ROSARIO, 2020).

“O Controle Estatístico do Processo – CEP é um conjunto de métodos utilizados para planejar, monitorar e aprimorar um processo produtivo, por meio da coleta de amostras e, em seguida, da mensuração de uma série de variáveis que refletem a qualidade do processo produtivo” (LOUZADA, et al., 2013. p.1). O controle estatístico do processo tem como objetivo monitorar o desempenho do processo ao longo do tempo, cujos eventos incomuns são detectados, considerando que suas respectivas propriedades, se não controladas, atuam diretamente na qualidade do produto final (LOUZADA, et al., 2013).

As variáveis de uma medida podem ser apresentadas através de um gráfico de controle de Shewhart que demonstra a característica da qualidade, e matematicamente podem ser escritas como,

$$L_{sc} = \bar{x}_i + L\sigma_x \quad (6)$$

$$L_{ic} = \bar{x}_i - L\sigma_x \quad (7)$$

$$L_m = \bar{x}_i \quad (8)$$

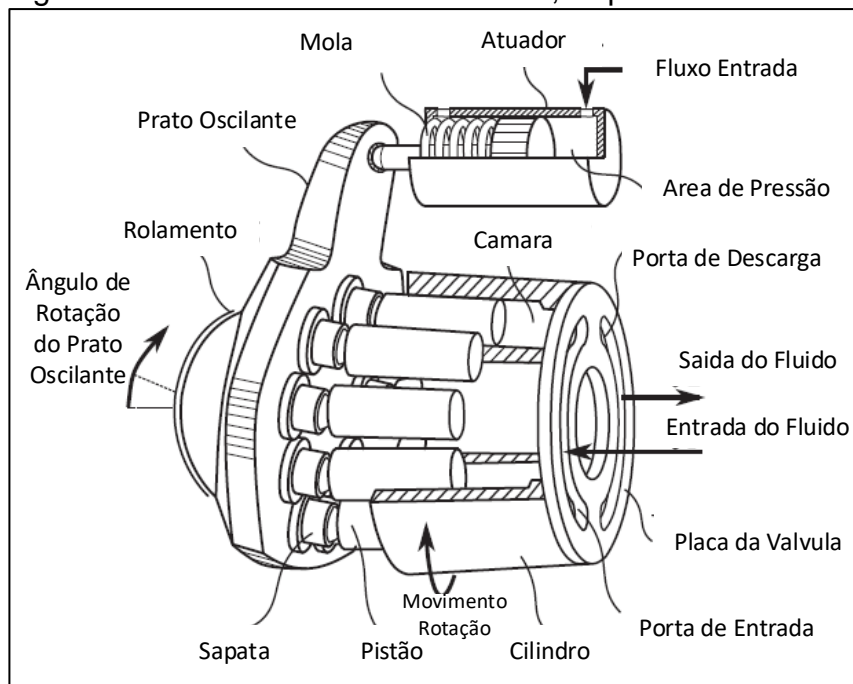
O qual, L_{sc} e L_{ic} são respectivamente o limite superior de controle e limite inferior de controle; L_m represente o limite médio; L o valor do intervalo de confiança; \bar{x}_i a média das variáveis amostrais (LOUZADA, et al., 2013).

3 BOMBA DE PITÃO AXIAL

O funcionamento da bomba de pistão axial utiliza o princípio de Pascal, que pode ser definida como a pressão gerada no fluido, confinado em um recipiente fechado, é transmitida integralmente a todos os pontos deste recipiente. Considerando o princípio de Pascal, a força da pressão sobre o fluido é transmitida pelos pistões e distribuída por todo o vaso de pressão do meio (MOBLEY, 2000).

O prato oscilante tem a finalidade de deslocar os pistões acoplados ao prato, por meio de sapatas, no sentido axial e disposto no interior da câmara do cilindro. O bombeamento do fluido é executado pelos pistões, acoplados no prato oscilante, resultando na pressão do fluido. O movimento do pistão, internamente a câmara de retenção do pistão, tende a gerar atrito entre os corpos, resultando no desgaste do material. Um outro fator que promove o desgaste do material é a pressão do fluido na parede da câmara interna, porém, o fluido também possui a função de lubrificante. A figura 1 mostra o conjunto do sistema da bomba de pistão axial (MOBLEY, 2000).

Figura 3.1 – Sistema Hidráulico Pistão, Sapata. Prato e Cilindro.



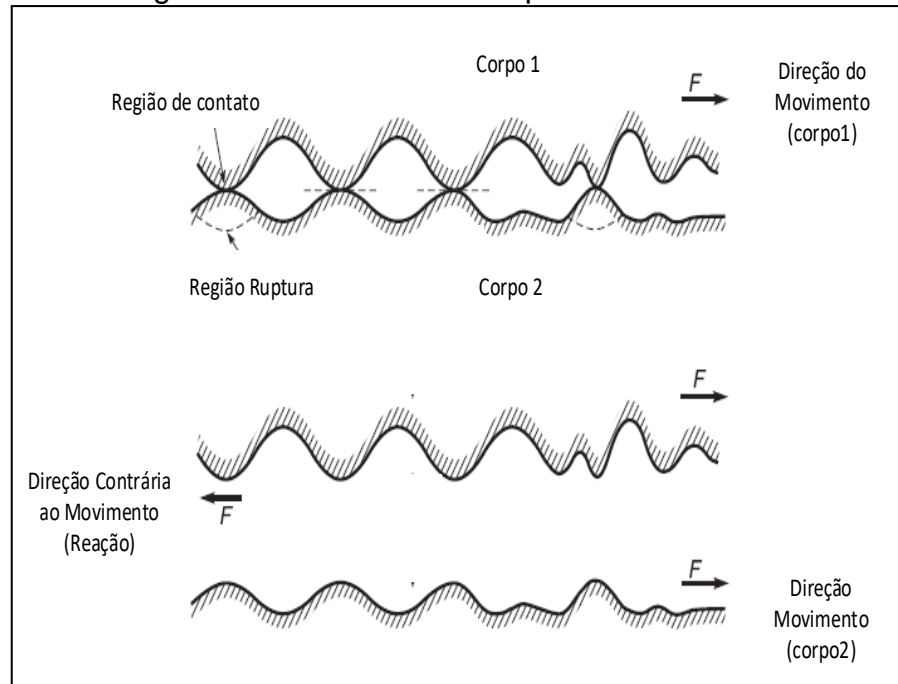
Fonte: Rexroth Bosh, (2018, (Adaptado pela autora)

Note que na figura 3.1 o princípio de funcionamento da bomba de pistão se encontra internamente as câmaras do cilindro, sob a atuação dos pistões, gerando pressão no fluido.

O conceito para a analisar o atrito entre os 2 corpos, considerando a parede interna da câmara e a parede externa do pistão é chamado de tribologia. A tribologia é a ciência do atrito, que neste caso pode demonstrar os efeitos e investigar as causas do resultado deste atrito, mesmo com um lubrificante fluídico (WANG e CHUNG, 2013). A figura mostra a região de contato entre duas superfícies, o qual o lado

esquerdo mostra a área nominal de contato, ao centro, a área real de contato e a esquerda um detalhamento da região de contato entre as superfícies.

Figura: 3.2 Regiões de Contato entre Superfícies



Fonte: Bhushan;2013.p.330

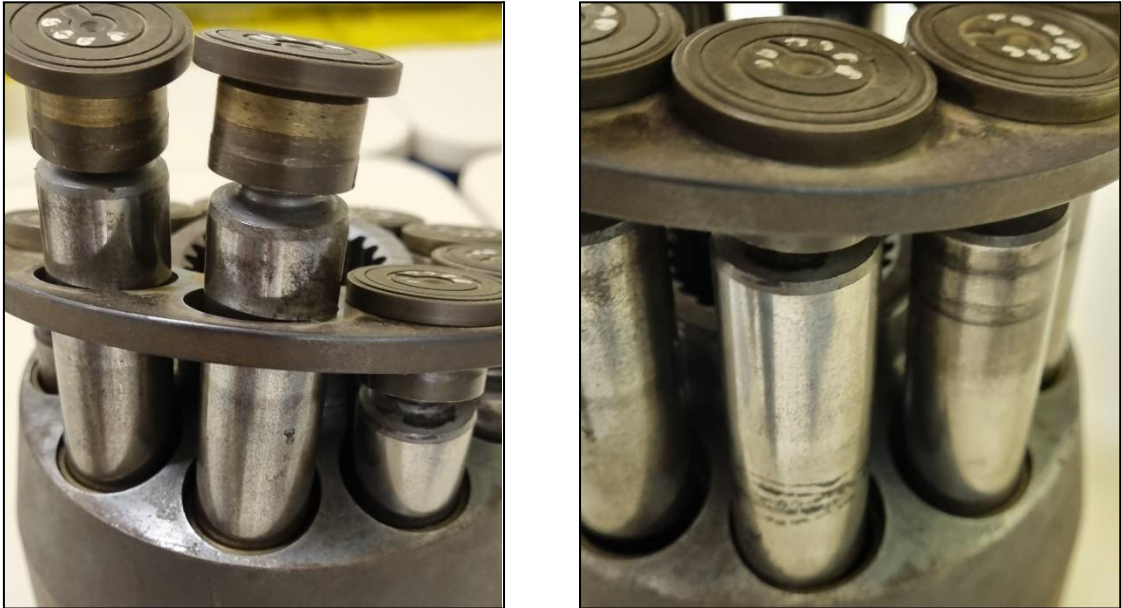
Observe que as superfícies dos dois corpos, por mais lisas e polidas que estejam ainda são rugosas, entretanto, na região de contato é possível obter informações sobre os diferentes tipos de materiais e suas características (MEYERS e CHAWLA, 2009; BHUSHAN, 2013).

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A palavra método pode ser entendida como caminho para se chegar ao objetivo pretendido de uma pesquisa científica, cuja abrangência do assunto é determinada pela escolha e estratégica da modalidade do estudo a ele associado. Neste caso é possível associa-lo a material ou população, instrumentos e procedimento, por fim, a análise pretendida de resultado. A modalidade da pesquisa pode ser qualitativa quando se trata de uma abordagem descritiva, já a quantitativa refere-se à objetividade numérica de informações coletada, para posterior classificação e análise. A pesquisa experimental é uma modalidade que implica realização de intervenções no processo de investigação, cujo resultado esperado ou desconhecido, confirmem relações existentes entre determinadas variáveis (SAKAMOTO; SILVEIRA, 2014).

Este trabalho de pesquisa utiliza um experimento que possui um tempo de vida de grande uso, portanto, algumas informações como os dados originais de projeto, o projeto, entre outros, não foram possíveis de se obter. Entende-se, portanto, que ocorreu uma limitação experimental, mas que não é significativo para a falta de obtenção de resultados do trabalho. As informações coletadas pertencem ao pistão que atua com a pressão sobre o fluido. A figura 4.1a e a 4.1b, subdividida em 4.1a (lado esquerdo) e 4.1b (lado direito) mostram o conjunto de pistões originais utilizados neste trabalho de pesquisa.

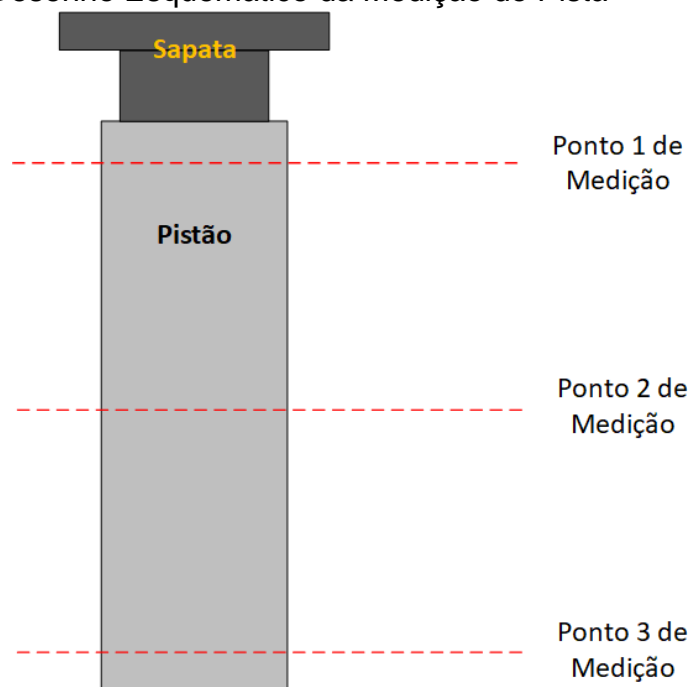
Figura 4.1a e 4.1b – Conjunto de Pistões Acoplados ao Cilindro.



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

A figura 4.1a (lado esquerdo) mostra o conjunto de pistões já posicionados sobre o cilindro. A figura 4.1b (lado direito) mostra o detalhe do prato oscilante apoiado nas sapatas e posicionado, de forma distribuída, com os pistões em posição de uso. A figura 4.2 mostra o desenho esquemático do pistão, cuja linha de medição é representada pelo P1, P2 e P3. Ao total, foram feitas 3 medições rotacionando o pistão com pontos aleatórios, formando assim, 9 medições para cada medição.

Figura 4.2 – Desenho Esquemático da Medição do Pistã



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Dado as circunstâncias do experimento, uma peça já usada, o valor de projeto adotado foi a referência de 22,50 mm de diâmetro. Esta referência foi adotada para que esta pesquisa pudesse ser conclusa, pois na busca do fornecedor não se obteve o valor exato do projeto. Após a medição, foi desenvolvido o cálculo do erro de medição, que pode ser mostrado na tabela 4.1,

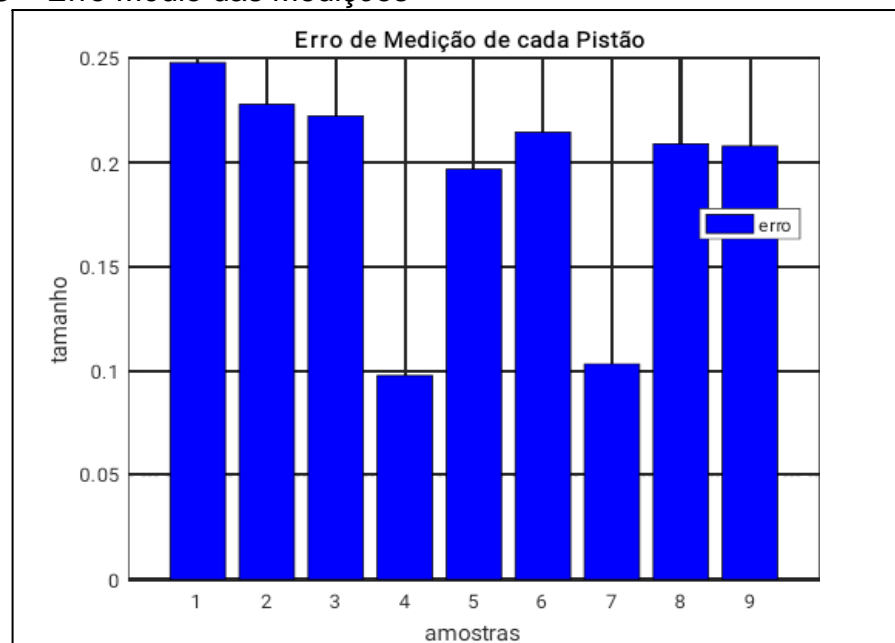
Tabela 4.1 – Erro de Medição

| Tabela de Resultados de Erro de Medição | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | medição 1 | medição 2 | medição 3 | medição 4 | medição 5 | medição 6 | medição 7 | medição 8 | medição 9 |
| erro 1 | 0,130 | 0,070 | 0,030 | 0,030 | 0,010 | 0,110 | -0,890 | 0,030 | 0,010 |
| erro 2 | 0,230 | 0,070 | 0,130 | 0,090 | 0,120 | 0,150 | 0,070 | 0,110 | 0,110 |
| erro 3 | 1,050 | 1,050 | 0,950 | 0,950 | 0,910 | 0,970 | 1,050 | 0,950 | 0,950 |
| erro 4 | 0,190 | 0,170 | 0,170 | -0,830 | 0,190 | 0,150 | 0,170 | 0,210 | 0,190 |
| erro 5 | 0,100 | 0,130 | 0,130 | 0,110 | 0,100 | 0,130 | 0,130 | 0,100 | 0,090 |
| erro 6 | 0,090 | 0,130 | 0,130 | 0,130 | 0,100 | 0,080 | 0,060 | 0,120 | 0,130 |
| erro 7 | 0,080 | 0,110 | 0,130 | 0,110 | 0,100 | 0,110 | 0,090 | 0,100 | 0,130 |
| erro 8 | 0,130 | 0,090 | 0,120 | 0,080 | 0,070 | 0,080 | 0,100 | 0,110 | 0,090 |
| erro 9 | 0,230 | 0,230 | 0,210 | 0,210 | 0,170 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,170 |

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Note que no erro 4, da coluna medição 4, o valor é negativo (-0,830), isso é um valor que deve ser investigado, pois o valor medido não pode ser maior que o valor especificado em projeto. É provável que na medição tenha ocorrido um erro de paralaxe. Conforme as considerações foi desenvolvido um calculo de erro médio, para a adoção de um padrão das medições, com isso, a figura 4 mostra um gráfico de erros médios.

Figura 4.3 – Erro Médio das Medições



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Erro médio da medição foi realizado para efeito de simplificação da análise posterior aos erros de medição. Com isso, a tabela 2 mostra o erro médio das medições.

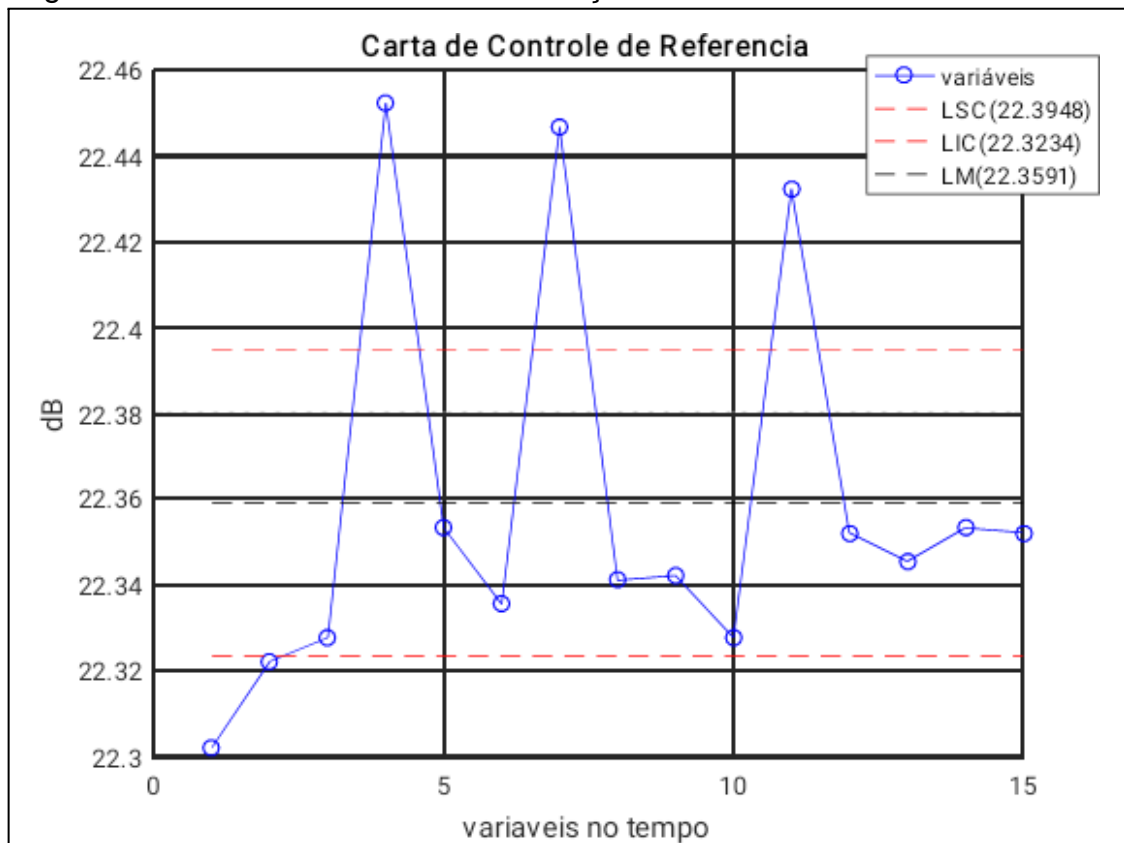
Tabela 4.2 – Erro médio das medições

| Tabela de Resultados de Erros Médio de Medição | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | medição 1 | medição 2 | medição 3 | medição 4 | medição 5 | medição 6 | medição 7 | medição 8 | medição 9 |
| Erro Médio: | 0,248 | 0,228 | 0,222 | 0,098 | 0,197 | 0,214 | 0,103 | 0,209 | 0,208 |

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Considerando que não existem informações anteriores a esta análise, deste experimento, a incerteza de medição adotada neste trabalho é o desvio padrão da média das medidas adquiridas dos pistões, portanto, o valor é 0,046098. Introduzindo o conceito de controle estatístico do processo na pesquisa, é possível de se mostrar a carta de controle das variáveis das medições, assim, a figura 4.4 mostra a carta de controle das medições,

Figura 4.4 – Carta de Controle das Medições - Shewhart



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Note que a carta de controle demonstra vários pontos medidos fora das especificações dos limites, tanto superiores como inferior. Esta condição equivale uma análise detalhada, considerando algumas hipóteses:

- As variáveis medidas promovem um novo conceito de variação de causas naturais ou causas especiais?

As causas naturais podem ser visto como a soma dos efeitos de pequenas causas inevitáveis, inerentes ao processo, ou seja, são causas comuns de variação no processo. Essas causas não comprometem o desempenho do processo e afirma-se que a variação está sob o controle estatístico. As causas especiais geralmente são originárias de máquinas inadequadamente ajustadas; erros de operadores; e lotes de matérias-primas defeituosas, cujo resultado determina que o processo está fora do controle estatístico. Neste caso, as causas especiais são de quantidade de ocorrência maior, quando comparado as causas naturais (LOUZADA et al., 2016).

b. As diferenças encontradas são fonte de informação para a aplicação em cartas de controle por atributos?

O controle das variáveis de atributos é uma forma de demonstrar a frequência com que se produzem itens defeituosos e o número de defeitos observados em uma determinada quantidade de itens produzidos. Desta forma, o gráfico de controle de atributos é utilizado para este tipo de análise, pois possuem as mesmas propriedades dos gráficos de controle de Shewart (LOUZADA et al., 2016).

5 CONCLUSÃO

Considerando os métodos utilizados neste trabalho de pesquisa, como ferramentas da qualidade, a matemática estatística, conceitos de desgastes e métodos numéricos, foi possível de se obter informações relevantes a engenharia da qualidade e engenharia da manutenção. Todos os resultados demonstram solidez, pois estão embasados por aplicações científicas matemáticas já consolidadas no mercado. Portanto, levando em consideração esses resultados é possível de se afirmar que este trabalho atende seus objetivos e demonstra que as ferramentas da qualidade proporcionam informações de aplicação precisas. Considera-se então o trabalho conclusivo e de grande valia.

A CONTRIBUIÇÃO PARA A INDÚSTRIA E PESQUISA CIENTIFICA

O trabalho investiga o desgaste da superfície do pistão de uma bomba de pistão axial, utilizando o controle estatístico do processo. Isso pode levar a uma melhor compreensão do desgaste dos materiais e falhas dimensionais em bombas desse tipo, o qual pode auxiliar na melhoria dos processos de fabricação e manutenção das bombas de pistão axial. A aplicação prática da técnica de controle estatístico do processo no setor de manutenção industrial também pode fornecer insights valiosos para a comunidade científica, mostrando como essa metodologia pode ser adaptada e utilizada em diferentes contextos industriais. Isso pode estimular pesquisas adicionais sobre a aplicação de técnicas estatísticas em outros setores e processos industriais.

PROJETOS FUTUROS

Os resultados obtidos neste trabalho podem servir como base para pesquisas futuras, permitindo investigações mais aprofundadas e o desenvolvimento de novas abordagens para lidar com o desgaste e as falhas em bombas de pistão axial. Podemos citar como exemplo, as aplicações de métodos estatísticos na análise de desgastes de falhas; aplicações de inteligência artificial para a detecção de falhas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHUSHAN, B., **Principles and Applications of Tribology**, 2ed., New York: John Wiley & Sons, 2013. 993p.

GUM, **Avaliação de Dados de Medição: Guia para a Expressão de Incerteza de Medição – GUM 2008**, RJ: BIPM. 2008. 141p.

HAST, D., FINDEISEN, R., STREIF, S., Detection and isolation of parametric faults in hydraulic pumps using a set-based approach and quantitative–qualitative fault specifications, n.1, vol 40, 61-70p., **Control Engineering Practice**. 2015. DOI: 10.1016/j.conengprac.2015.01.003.

JURAN, J.M., **Juran na Liderança pela Qualidade: Um guia para Executivos**, São Paulo, Editora Pioneira, 1993. 386p.

KARDEC, A., NASCIF, J., **Manutenção: Função Estratégica**, 2 ed., , Rio de Janeiro, 2002. 341p.

LEES, F.P., **Loss Prevention In the Process Industries**, Butterworth-Heinemann, 2012.
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-24104-3>.

LOUZADA, f., DINIZ, C., FERREIRA, P., FERREIRA, E., **Controle Estatístico de Processos: Uma abordagem Prática para Cursos de Engenharia e Administração**, Rio de Janeiro, Editora LTC, 2013. 269p.

MANZINI, R.; REGATTIERI, A.; PHAM, H.; FERRARI, E.; **Maintenance for Industrial Systems**, Springer-Verlag, London, 2010. 490 p.

MENDES, A., do ROSÁRIO, P.P.N., **Metrologia e Incerteza de Medição: Conceito e Aplicações**, LTC, RJ, 2020. 253p.

MEYERS, M. A., CHAWLA, K.K., **Mechanical Behavior of Materials**, Cambridge University Press, San Diego, 2009. 882p.

MOBLEY, P.K., **Fluid Power Dynamics**, Woburn, British Library, 2000. 292p.

REXROTH BOSCH, Hydraulic training - **Axial piston units: Basic principles**, Rexroth Bosch, RE 90600/01.98, 2018. Acesso em:<<http://www.insanehydraulics.com/library/files/Hydraulic-Trainings-for-Axial-Piston-Units.pdf>>.

SEQUARD-BASE, J., GRAFL, A., BAYR, C., FRANEK, F., Simulation of Anti Wear Performance Using a Modified Brugger Test Set Up, n.3, vol.4, 410-419p., **Tribology in Industry**, 2018. DOI: 10.24874/ti.2018.40.03.07.

WANG, Q.J., CHUNG, Y.Q., **Encyclopedia of Tribology**, New York, Springer Science+Business, 2013. 4192p.

XENOS, H.G., **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, 2ed. Falcono, 2014. 312p.