

RAFAEL SIMEONI

**UMA METODOLOGIA PARA DEFINIR A
PERIODICIDADE DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA
EM PARAFUSADEIRAS HIDROPNEUMÁTICAS**

JARAGUÁ DO SUL, 2014

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS
CURSO SUPERIOR DE TECNÓLOGO EM FABRICAÇÃO
MECÂNICA**

RAFAEL SIMEONI

**UMA METODOLOGIA PARA DEFINIR A
PERIODICIDADE DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA
EM PARAFUSADEIRAS HIDROPNEUMÁTICAS**

Trabalho de conclusão de curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos
requisitos de obtenção do título de
Tecnólogo em Fabricação
Mecânica.

Professor Orientador:
Gerson Ulbricht, Me.

JARAGUÁ DO SUL, 2014

Simeoni, Rafael

Uma Metodologia para definir a periodicidade da Manutenção Preventiva em Parafusadeiras Hidropneumáticas / Simeoni, Rafael - Jaraguá do Sul: Instituto Federal de Santa Catarina, 2014. 63 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo) - Instituto Federal de Educação de Santa Catarina. Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Gerson Ulbricht, Me.

1. Parafusadeiras
2. Manutenção Preventiva
3. Controle Estatístico

UMA METODOLOGIA PARA DEFINIR A PERIODICIDADE DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM PARAFUSADEIRAS HIDROPNEUMÁTICAS

RAFAEL SIMEONI

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Tecnólogo em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, 10 de Julho de 2014.

Banca Examinadora:



Gerson Ulbricht, Me.



Miriam Hennig, Me.



Edson Sidnei Maciel Teixeira, Me.



Rubens Hesse, Dr.

Este trabalho é dedicado à minha
noiva Valdineia Odwazny.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e inteligência.

Aos meus pais, pelo incentivo.

À minha noiva, pela motivação.

Aos meus amigos do IF-SC, pelos momentos de estudo.

Ao professor orientador Gerson Ulbricht, Me., pelo aprendizado e companheirismo.

À professora Miriam Hennig, Me., pela dedicação e orientações na realização deste trabalho.

Ao meu colega de trabalho Israel Martinello pela ajuda oferecida.

A todos que contribuíram para a minha formação.

Ao IF-SC – Câmpus Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus.

Muito obrigado!

*Não me preocupa o grito dos violentos, dos corruptos, dos desonestos,
dos sem ética. O que me preocupa é o silêncio dos bons.*

Luther King

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo estatístico referente ao desempenho de uma parafusadeira hidropneumática, com o objetivo de elaborar uma metodologia que defina uma periodicidade de sua manutenção preventiva, em linhas de montagem. Para isso, foram coletados dados em três etapas da vida útil de uma parafusadeira, analisando-os com base em ferramentas estatísticas, objetivando-se encontrar correlações entre os dados coletados com o aumento do número de apertos realizados pela parafusadeira. Dentre os parâmetros calculados a partir dos dados coletados, o parâmetro que obteve maior correlação com o aumento do número de apertos foi a precisão da parafusadeira. Essa foi lançada em um diagrama de dispersão no qual se procurou obter a equação de regressão, a qual poderia prever em que momento a parafusadeira em questão sairia dos padrões aceitáveis, também expostos nesse trabalho. Como maior contribuição desse estudo, criou-se um fluxograma que revela a metodologia a ser seguida para definir a periodicidade da manutenção preventiva, atingindo-se assim o objetivo principal. Como sugestão para trabalhos futuros, cita-se a possibilidade de implantar essa metodologia em uma empresa e verificar a efetividade da manutenção preventiva.

Palavras-chave: Parafusadeiras. Manutenção Preventiva. Controle Estatístico.

ABSTRACT

This coursework presents a statistical study concerning the performance of a hydropneumatic screwdriver, with the objective of developing a methodology to define a schedule for its preventive maintenance in assembly lines. In order to achieve this, data in three stages of its life were collected, as well as the analysis based on statistical tools, aiming at finding correlations between this data and the increased number of grips made by the screwdriver. Among the calculated parameters based on the collected data, the one with the highest correlation with the increase in the number of grips was the precision screwdriver. It was released on a scatter diagram where the regression equation was sought, which could predict at what point the screwdriver in question would come out with acceptable standards, also exposed in this work. As a main contribution of this study, a flowchart was created showing the methodology to be followed to define the periodicity of preventive maintenance, thereby achieving its main goal. As a suggestion for a future work, it is important to mention the possibility of implementing this methodology in a company, in order to verify the effectiveness of preventive maintenance.

Keywords: *Screwdriver. Preventive Maintenance. Statistical Control.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Caracterização do torque	17
Figura 2 - Curva de torque linear	19
Figura 3 - Curva de torque pulsativo	20
Figura 4 - Distribuição normal de probabilidade	24
Figura 5 - Correlação: Positiva, negativa e nula.....	26
Figura 6 - Correlação positiva (em destaque correlação nula)	26
Figura 7 - Linha de montagem G1	34
Figura 8 - Junta de simulação de torque.....	35
Figura 9 - Parafusadeira hidropneumática.....	36
Figura 10 - Coletor de dados + transdutor de torque.....	36
Figura 11 - Planilha de cálculo dos valores coletados.....	37
Figura 12 - Diagrama de representação geral da coleta de dados.....	42
Figura 13 - Diagrama de representação da coleta de dados	42
Figura 14 - Evolução da precisão	46
Figura 15 - Linha de tendência - evolução da precisão	47
Figura 16 - Fluxograma referente à metodologia	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados coletados na primeira fase de coleta (2013).....	38
Tabela 2 - Dados coletados na segunda fase de coleta (2014)	40
Tabela 3 - Dados coletados na terceira fase de coleta (2014)	41
Tabela 4 - Correlação geral (três etapas).....	43
Tabela 5 - Teste t nova / meia vida (pressão).....	44
Tabela 6 - Teste t meia vida / final (pressão)	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- C_m* - Índice de potencial da máquina
- C_{mk}* - Índice de desempenho da máquina
- C_p* - Índice de potencial do processo
- C_{pk}* - Índice de desempenho do processo
- ISO - *International standard organisation*
- LIE* - Limite inferior de engenharia
- LSE* - Limite superior de engenharia
- Nm - Newton metro (unidade de medida de torque)
- RPM - Rotações por minuto
- VN - Valor nominal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Definição do Problema	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	Torque	17
2.1.1	Juntas Rígidas	18
2.1.2	Juntas Flexíveis	18
2.2	Parafusadeiras	18
2.2.1	Parafusadeiras Rotativas	19
2.2.2	Parafusadeiras Pulsativas	19
2.3	Medição do Torque	20
2.4	Análises Estatísticas	21
2.4.1	Precisão	21
2.4.2	Capacidade de um processo	22
2.4.3	Cálculo do C_m	23
2.4.4	Cálculo do C_{mk}	23
2.4.5	Variação Natural	24
2.4.6	Teoria dos Ajustamentos	24
2.4.7	Correlação	25
2.4.8	Regressão	27
2.4.9	Teste t de <i>Student</i>	27
2.4.10	Valor p	29
2.4.11	Técnicas de amostragem	29
2.5	Estudos de Manutenção Preventiva	31
2.5.1	Manutenção Preventiva em Parafusadeiras	31
2.5.2	Causas e Soluções	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Aplicação	34
3.2	Materiais utilizados	35
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	38
4.1	Parâmetros coletados	38
4.2	Análise de dados	43
4.2.1	Experimentos com análise de correlação	43

4.2.2	Experimentos com Teste <i>t</i> de <i>Student</i> para o parâmetro pressão 44	
4.2.3	Dispersão de dados do parâmetro precisão	45
4.2.4	Análise de regressão para o parâmetro precisão	46
4.2.5	Definindo o tamanho da amostra	48
4.3	Metodologia para definição da periodicidade de manutenção preventiva em parafusadeiras hidropneumáticas	49
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

As linhas de montagem, atualmente, estão sendo cada vez mais direcionadas a garantir seus processos de forma completa, eliminando erros que possam prejudicar a qualidade dos produtos fabricados. Desse modo, os equipamentos utilizados na montagem devem possuir características de aplicabilidade que realizem o processo de forma correta e dentro de parâmetros pré-estabelecidos.

Nas linhas de montagem, existem vários métodos utilizados para unir peças e montar produtos. O método mais utilizado é a união por parafusos. Além da responsabilidade de unir duas ou mais peças, o parafuso tem por objetivo garantir o funcionamento do conjunto montado. Para que esse conjunto atenda as exigências do projeto, faz-se necessário monitorar as variáveis desse processo.

Admitindo-se o torque como a variável mais fácil de medir e monitorar dentre as variáveis existentes na união de peças por parafusos, optou-se por estudar a ferramenta utilizada para aplicá-lo, a parafusadeira. Ela é responsável pelo aperto dos parafusos de modo a garantir a fixação proposta. Tendo como parâmetros o valor nominal de torque e a tolerância aceitável de até mais ou menos quinze por cento, faz-se necessário garantir a precisão do torque nominal e sua repetibilidade. Afinal, cada vez mais a precisão e a garantia de repetibilidade dos processos influenciam na qualidade final do produto, de modo que montagens com torque fora do especificado podem significar produtos de baixa qualidade.

Também para garantir aplicações de torque em montagens com o grau de exigência adequado, é necessário manter manutenções preventivas de forma intensa e monitorada de modo a possibilitar a redução da variação que ocorre devido a desgastes a partir do uso da parafusadeira, uma vez que as variações podem resultar em produtos defeituosos.

É indiscutível que uma linha de montagem possui necessidade de cumprir metas intensas de qualidade e produtividade, o que torna complexo o ato de monitorar uma quantidade elevada de parafusadeiras e seus resultados de aplicação de torque. Além disso, sabendo-se da exigência para que haja um aumento na vida útil das parafusadeiras, torna-se necessário estudar e identificar pontos de manutenção preventiva que sejam estratégicos em função de sua aplicação e uso.

No cotidiano de uma linha de montagem, pode-se optar por monitorar parafusadeiras e registrar seus apertos de forma intensiva,

porém esse processo em linhas de montagens com grandes quantidades de parafusadeiras torna-se uma atividade complexa e cara.

Nesse sentido, a proposta de monitorar os apertos realizados por uma parafusadeira e realizar uma análise estatística que possa prever manutenções vem ao encontro da possibilidade de implantar um método mais acessível de controle, e assim estruturar uma metodologia de manutenção preventiva com base em dados amostrais.

As medições foram realizadas diariamente numa aplicação específica de uma linha de montagem, de modo a identificar os valores de precisão e média dos torques, extrapolando esses dados para identificar um ponto onde se deva realizar a manutenção preventiva, evitando que a parafusadeira venha a perder a qualidade dos apertos realizados.

Complementa-se esta análise com a busca por uma metodologia para encontrar uma periodicidade de manutenção preventiva, sem que a mesma apresente uma fuga dos parâmetros de torque pré-definidos na aplicação de uma linha de montagem.

1.1 Justificativa

Atualmente, as linhas de montagem estão exigindo ferramentas com mais precisão e garantia de repetibilidade. Além disso, montagens com torques fora dos valores especificados podem significar produtos com baixa qualidade.

Desse modo, as ferramentas devem possuir características que permitam realizar o processo de forma correta e que consigam manter esses requisitos. A manutenção preventiva, quando aplicada no momento correto, ajuda a evitar que problemas ocorram e que as ferramentas possam apresentar desempenho insatisfatório, além de reestabelecer as características ideais de funcionamento.

Para tal, justifica-se o esforço em encontrar um método para identificar uma periodicidade na aplicação de manutenções preventivas nas parafusadeiras.

1.2 Definição do Problema

Considerando as questões de vida útil, desgastes decorrentes da utilização e ainda a severa cobrança pela qualidade dos apertos executados por parafusadeiras, surge a pergunta: qual metodologia seguir para definir a melhor periodicidade para aplicar a manutenção

preventiva, levando em consideração o modo de utilização das parafusadeiras?

Para responder a essa questão é imprescindível estudar uma metodologia que auxilie na determinação da periodicidade. Para isso, faz-se necessário estudar o desempenho de parafusadeiras e estabelecer métodos estatísticos que possam descrever o funcionamento e também estabelecer predições quanto aos períodos adequados para a manutenção preventiva.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Com base no estudo do comportamento de parafusadeiras hidropneumáticas em relação ao desempenho de torque, propor uma metodologia para identificar uma periodicidade de manutenção preventiva adequada para esses equipamentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Monitorar e coletar dados das parafusadeiras hidropneumáticas, de modo a observar a variabilidade no ajuste do torque com o aumento do tempo de uso;
- Estudar possíveis correlações entre variáveis, de modo a fazer previsões quanto ao processo de manutenção preventiva;
- Com base nos dados e na relação estatística, propor uma metodologia para descrever a periodicidade de manutenção preventiva, de modo a evitar que os parâmetros saiam dos padrões de aceitabilidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na busca para alcançar os objetivos deste trabalho, faz-se necessária a compreensão de assuntos relacionados à montagem de produtos com parafusos que, por sua vez, indica a necessidade de conhecimento a respeito da variável usada para medir o aperto, o torque.

Tendo em vista que o torque nesse caso é aplicado por uma parafusadeira, também é necessário conhecer esse equipamento.

Para auxílio na resolução dos objetivos, usam-se ferramentas estatísticas estudadas e adaptadas para essa realidade.

Já que o que se quer propor é um método para identificar uma periodicidade de manutenção preventiva em parafusadeiras, deve-se também entender os conceitos e aplicações que se referem a sua manutenção.

2.1 Torque

Existem várias definições para torque e suas aplicações. Considerou-se nesta análise que o torque ou momento da força é a grandeza utilizada para medir a força de união de uma junta parafusada. Conforme mostrado na figura 1, nota-se que ao parafusar o parafuso, as peças se aproximam cada vez mais gerando mais força de união. Para especificar o torque, faz-se necessário considerar as exigências de qualidade da junta em questão (ATLAS COPCO, 2003a).

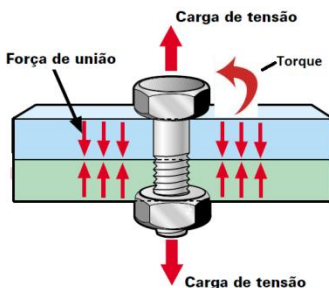


Figura 1- Caracterização do torque
Fonte: Adaptado de Atlas Copco (2003a)

Existem várias maneiras de efetuar a união de peças, sendo algumas permanentes e outras semipermanentes. Segundo Lima, Abrão

e Pertence (2011), os parafusos são os tipos de união mais utilizados para fabricar máquinas e componentes. Para que os parafusos cumpram a sua principal função, a de fixação dos elementos que compõem as juntas, eles devem resistir aos esforços a que são submetidos.

O torque pode variar de acordo com a junta em que está sendo aplicado, podendo ser maior em juntas rígidas e menor em juntas flexíveis, com a mesma regulagem de uma parafusadeira. Por isso, a importância de diferenciar os tipos de juntas existentes.

2.1.1 Juntas Rígidas

Juntas rígidas são caracterizadas pela Norma Internacional ISO 5393 (1994, tradução nossa), como uma junta onde o parafuso gira até 30° após o encosto do mesmo, tendo como exemplo um parafuso curto que une componentes planos de metal e acaba alcançando o torque nominal em apenas uma fração de volta do parafuso.

Essas juntas são menos comuns de serem encontradas e por sua vez exigem menos esforço das parafusadeiras pelo fato do torque ajustado ser alcançado rapidamente após o encosto do parafuso.

2.1.2 Juntas Flexíveis

As juntas flexíveis são caracterizadas pela Norma Internacional ISO 5393 (1994, tradução nossa), por um parafuso que depois de encostado gira mais de 650°, tendo como exemplo um parafuso longo que possui maior estrição devido seu maior comprimento. Sua junta terá componentes macios tais como arruelas e arruelas de pressão, e possivelmente dará mais de duas voltas até atingir o torque nominal.

Em relação à exigência de esforço da parafusadeira, essa junta definitivamente exige mais do que a junta rígida, já que para que o torque ajustado seja alcançado, exige-se maior número de pulsos para o desligamento do equipamento devido ao acomodamento dessa junta.

2.2 Parafusadeiras

As parafusadeiras são ferramentas que auxiliam no aperto de parafusos. Em geral, existem dois tipos básicos de parafusadeiras, sendo elas as parafusadeiras rotativas e as parafusadeiras pulsativas. Uma breve descrição de cada um desses dois tipos é apresentada a seguir.

2.2.1 Parafusadeiras Rotativas

As parafusadeiras rotativas podem ter um acionamento pneumático ou elétrico. São equipadas com um modelo de embreagem mecânica e um sistema de mola que permite o desligamento do motor rotativo quando o torque pré-determinado pela mola é alcançado. No momento em que a força da mola é vencida, ela desloca um batente, que por sua vez desliga o motor imediatamente. Esse método gera uma curva de torque linear (figura 2) onde o torque alvo é alcançado em apenas um pulso (DEPRAG SCHULZ GMBH U. CO, 2008, tradução nossa).

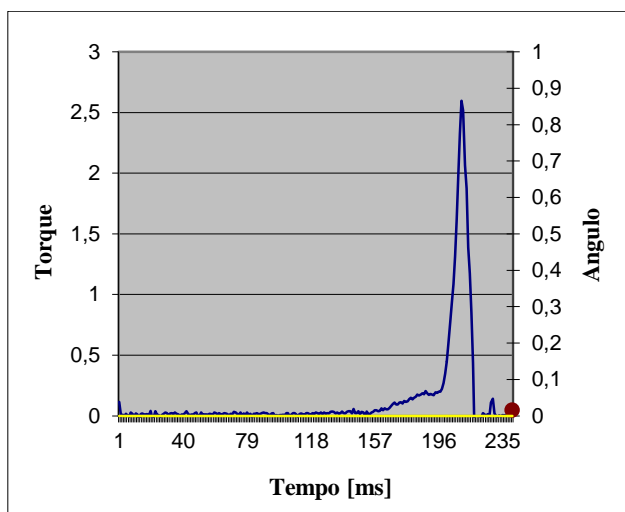


Figura 2 - Curva de torque linear
Fonte: Coletor AsiDatamyte (2014)

Esse modelo de parafusadeira consegue, pelo seu modelo de desligamento, ótimos valores de precisão, em torno de 5%. Porém, o ponto negativo é a grande reação causada no braço do operador limitando, em parafusadeiras retas, por segurança e ergonomia, o torque máximo de $4,0Nm$.

2.2.2 Parafusadeiras Pulsativas

As parafusadeiras pulsativas, geralmente denominadas de hidropneumáticas, completam o aperto aplicando pulsos que incrementam o torque pouco a pouco. Um reservatório hidráulico é

responsável pelos pulsos aplicados ao parafuso e, à medida que é mais comprimido, o torque aumenta. Uma das principais vantagens da parafusadeira hidropneumática é a diminuição da reação na mão do operador, o que permite utilizar este modelo para maiores torques. Porém sua precisão gira em torno de 15%, pelo fato do torque ser aplicado em pulsos (MACCO, 2010).

O incremento de torque em pulsos está representado na figura 3 e pode-se perceber que a parafusadeira leva mais tempo para atingir o mesmo torque alvo (5Nm) e, por consequência, exige de forma mais intensa o equipamento.

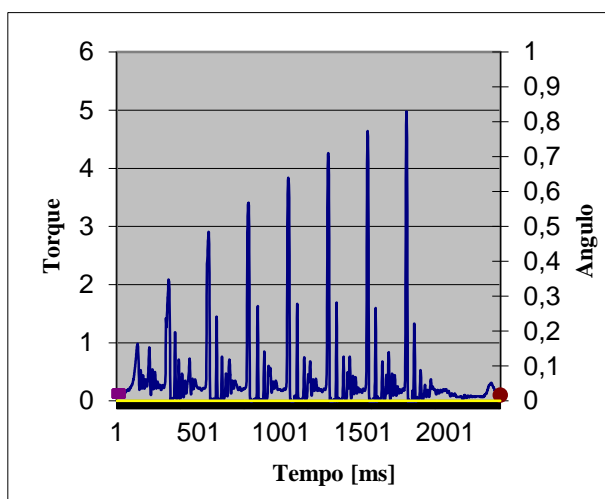


Figura 3 - Curva de torque pulsativo
Fonte: Coletor AsiDatamyte (2014)

2.3 Medição do Torque

O torque pode ser medido estaticamente após o aperto ou dinamicamente no momento do aperto. A medição do torque estático ou residual é necessária quando se quer saber o torque remanescente na fixação após o aperto. Aplica-se um sobre torque na junta e avalia-se o comportamento da mesma. O torque deve ser capturado no momento em que a inércia do parafuso é rompida. Esta medição chama-se torque de reinício e utiliza-se uma chave de torque para realizá-la (ASI DATAMYTE DO BRASIL, 2009).

De acordo com Atlas Copco (2003a), a medição do torque dinâmico é realizada durante o ciclo de aperto e tem a significativa vantagem de fornecer dados que condizem com o desempenho da ferramenta, sem que a influência do relaxamento e do atrito das juntas comprometam os resultados. Esse tipo de medição é realizado através de um transdutor de torque composto por células de carga que sentem a deformação gerada pela aplicação de um torque e convertem o sinal, repassando-o a um coletor de dados que mostra o torque exato.

Esse coletor de dados pode ser programado para armazenar os apertos e, a partir deles, realizar análises estatísticas. Segundo AsiDatamte do Brasil (2009), um transdutor de torque também consegue ler e contar o número de pulsos aplicados pela parafusadeira.

Sabendo identificar o tipo de junta, a parafusadeira, e como coletar dados de torque pode-se, então, estudar ferramentas estatísticas para criar relações entre os dados.

2.4 Análises Estatísticas

A partir do momento em que se coletam dados e se quer analisá-los, faz-se necessário o uso de ferramentas estatísticas. Com o auxílio delas, é possível verificar como um processo de montagem se desenvolve com o tempo.

Segundo Atlas Copco (2003b), aplicando-se apertos em juntas idênticas, ou até mesmo juntas de simulação, identifica-se que os apertos, se medidos, não terão os valores idênticos devido à variação que esse processo contém. Portanto, os valores desviam-se da média e esse desvio pode ser medido através do desvio padrão. Entende-se por desvio padrão o cálculo da variabilidade dos dados em torno de uma média, sendo esse representado pela letra grega σ (sigma). Já a precisão de um equipamento caracteriza parte do seu desempenho. Porém é necessário relacionar a sua aplicação, média e a faixa de tolerância que o processo permite. Relacionando-se a média e o desvio-padrão ao valor alvo e aos limites de tolerância de uma aplicação, pode-se dizer como uma ferramenta está se comportando efetivamente em sua aplicação (ATLAS COPCO, 2003b).

2.4.1 Precisão

O cálculo da precisão de um equipamento é similar ao cálculo de capacidade, que é a capacidade de um determinado processo realizar

operações de fabricação dentro de uma faixa de tolerância. Entre outros critérios de análise de capacidade pode-se utilizar a capacidade potencial de uma máquina (Cm) e a capacidade centrada de uma máquina (Cmk). Enquanto nos cálculos de capacidade os valores de variação normal são comparados com as demandas de tolerância na aplicação, para o cálculo de precisão os valores de variação normais são comparados ao valor médio das amostras coletadas (ATLAS COPCO, 2003b).

Assim, a precisão (P) de um equipamento pode ser calculada pela equação 1, sendo σ (desvio padrão) e μ (média das amostras).

$$P = \frac{3\sigma}{\mu} \quad (1)$$

Esta equação toma 50% da variação natural e a divide pela média dos dados coletados, permitindo comparar diferentes ferramentas em relação à média dos valores, sem relacioná-las a qualquer aplicação específica e mantendo as tolerâncias dos processos sem utilização. Observa-se que quanto maior o valor do desvio padrão (σ), mais variabilidade há no processo e maior será o índice de precisão P . Isso significa, pela definição de precisão usada pela Atlas Copco (2003b), que quanto maior for o índice P calculado, pior será o ajuste da parafusadeira em teste. Assim quando uma parafusadeira que possui 3% de precisão e comparada com uma que possui 15%, pode-se dizer que a primeira é mais precisa que a segunda.

Segundo Atlas Copco (2003b), deve-se para cálculo da precisão, utilizar 25 amostras de torque coletadas em sequência, um após o outro.

2.4.2 Capacidade de um processo

Entende-se por capacidade de um processo a capacidade com que um processo de produção tem de cumprir os requisitos determinados no projeto. “Capacidade do processo é o intervalo de ‘seis sigma’. Conhecendo a capacidade do processo, conhecemos o intervalo dentro do qual está produzindo” (VIEIRA, 2012, p. 181).

Esses requisitos estabelecem desde o valor nominal (VN) de alguma aplicação, assim como o limite superior de especificação (LSE) e o limite inferior de especificação (LIE). Já a diferença entre os limites superior e inferior determinam a tolerância do processo.

Para Vieira (2012), ao calcular a capacidade do processo, existem índices conhecidos como C_p e C_{pk} . Esses indicam se o processo está produzindo de acordo com a especificação do projeto. Quando calculados devem ser comparados a valores predeterminados (geralmente 1,33) e assim caracterizar a qualidade do processo. Assim como existem os índices para medir a capacidade do processo, acima citados, existem índices para medir a capacidade da máquina. Nota-se, na verdade, que os cálculos são os mesmos, porém, ao invés de colher dados oriundos do processo de fabricação ou de peças já fabricadas, colhem-se dados referentes à máquina que está realizando esse processo, nomeando-os como C_m e C_{mk} . Nota-se que apenas substitui-se o p (de processo) por m (de máquina).

2.4.3 Cálculo do C_m

De acordo com Vieira (2012), o índice C_m é utilizado para verificar a amplitude dos dados da máquina em relação à amplitude de especificação de engenharia. Esse é obtido através da equação 2, sendo LSE o limite superior de especificação, LIE o limite inferior de especificação e σ o desvio padrão calculado a partir das amostras coletadas.

$$C_m = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (2)$$

Observa-se pela análise da equação 2 que quanto maior for o valor de C_m encontrado, menor a probabilidade da característica medida estar fora das especificações, o que indica melhor qualidade no processo ou máquina medida.

2.4.4 Cálculo do C_{mk}

Com o propósito de analisar os dados, levando em consideração o centro das amostras coletadas, é necessário dispor de uma medida que possa representar esse tipo de controle. Nesse caso, segundo Vieira (2012), pode-se fazer uso do C_{mk} , sendo que esse relaciona os valores médios calculados a partir da amostragem com os limites superior e inferior de especificação, apontando assim se os dados estão centrados em relação aos seus limites. O C_{mk} é calculado através da equação 3, sendo LSE o limite superior de especificação, LIE o limite inferior de especificação, σ o desvio padrão das amostras e μ a média das amostras.

$$Cmk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\hat{\sigma}}, \frac{\mu - LIE}{3\hat{\sigma}}\right) \quad (3)$$

Do mesmo modo que no índice Cm , quanto maior for o valor de Cmk encontrado, melhor é o desempenho da máquina em questão.

2.4.5 Variação Natural

Entende-se por variação natural (considerando uma distribuição normal de probabilidade), uma diferença de ± 3 desvios padrão em torno da média, sendo que nesse intervalo tem-se aproximadamente 99,74% dos dados. A figura 4 ilustra essa variação natural.

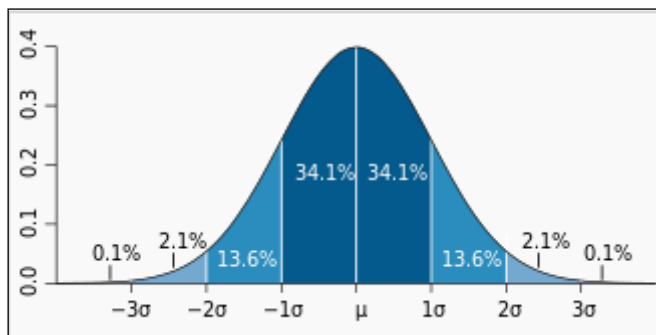


Figura 4 - Distribuição normal de probabilidade
Fonte: Adaptado de Milone (2009)

Considera-se também que um modelo de comparação de dados coletados adequado para a aplicação em parafusadeiras é a teoria dos ajustamentos.

2.4.6 Teoria dos Ajustamentos

De acordo com Milone (2009), a teoria dos ajustamentos permite que se construam modelos matemáticos que cruzem informações de duas ou mais variáveis e verifiquem se há alguma relação entre elas, normalmente em gráficos do tipo de dispersão em dois eixos (x e y). Desse modo, definindo a função de ajustamento, é possível fazer previsões sobre valores futuros.

A partir do momento em que se estudam dados, cria-se um diagrama de dispersão e, para definir uma função de ajustamento, deve-

se observar a nuvem de pontos gerada pelo gráfico. A linha de tendência ou função de ajustamento deve ser tomada como a mais simples e a que mais se aproxima da nuvem de pontos.

Com a análise voltada para os dados coletados, tratada por Milone (2009) como fenômeno, identifica-se a aplicação para encontrar possíveis regularidades ou simetrias que se repetem várias vezes, ou seja, dados probabilísticos.

O modelo probabilístico é o modelo matemático prescrito aos universos recheados de eventos aleatórios, onde há incerteza quanto à ocorrência de dado fato ou àqueles cujos resultados exatos em cada experimento futuro são desconhecidos ou imprevisíveis (MILONE, 2009, p. 118).

Conforme Levine et al. (2008), o grau de ajustamento de uma função que descreve um diagrama de dispersão é fornecido pelo coeficiente de determinação (R^2), cujo valor varia de 0 a 1. Quanto mais o valor de R^2 se aproxima de 1, melhor é o ajustamento da função em relação aos dados e consequentemente mais confiável é a previsão de um fenômeno a partir dos dados.

2.4.7 Correlação

Entende-se por correlação entre duas variáveis, o grau de relacionamento entre elas, ou seja, o quanto uma variável influencia no resultado da outra. Por exemplo, pode-se dizer que pessoas altas tendem a pesar mais, já pessoas baixas, menos. Segundo Barbeta, Reis e Bornia (2010) isso retrata uma correlação entre variáveis.

Quando variáveis x e y , por exemplo, caminham no mesmo sentido, entende-se que essas estão positivamente correlacionadas, ou seja, se aumentar o valor de x , o y também aumentará. Já se as variáveis caminharem em sentidos diferentes, essas estão correlacionadas negativamente, ou seja, quando aumentar o valor de x , o valor de y diminuirá, obedecendo ao grau de correlação entre estas variáveis.

Para facilitar a visualização de correlação entre variáveis, usa-se o diagrama de dispersão.

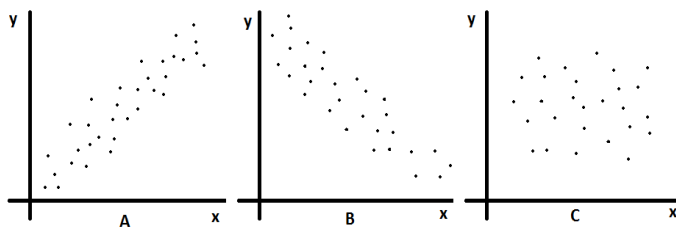


Figura 5 - Correlação: Positiva, negativa e nula.

Fonte: Adaptado de Vieira (2012)

A figura 5, em seus três diagramas de dispersão, sugere que existe correlação positiva no diagrama A, correlação negativa no diagrama B e correlação nula no diagrama C.

Para interpretar um diagrama de dispersão e melhor estudá-lo, indica-se calcular o coeficiente de correlação (linear) de *Pearson*.

Assim, de acordo com Crespo (2009), o cálculo do coeficiente linear de *Pearson* (r) dá-se através da equação 4, onde x e y são os dados a serem relacionados e n é o número de amostras.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)} \sqrt{(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}} \quad (4)$$

Esse coeficiente pode variar de -1 até +1 e a correlação é denominada mais forte quando se aproxima de um dos dois valores, tanto que, se não houver correlação entre os dados, o valor do coeficiente r será zero. Quanto maior for a correlação entre os dados, mais forte será a dependência de uma variável observada em relação à outra.

De acordo com Vieira (2012) deve-se tomar cuidado no momento da análise dos diagramas de dispersão com o número de dados observados, pois pode não necessariamente mostrar a correlação exata.

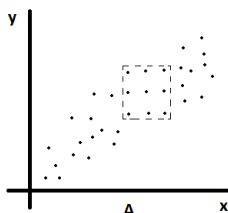


Figura 6 - Correlação positiva (em destaque correlação nula)

Fonte: Adaptado de Vieira (2012)

Na figura 6, os dados em destaque com linhas tracejadas, se analisados individualmente, mostram uma correlação nula; já se for observado um espaço maior de dados, vê-se nitidamente uma correlação positiva.

2.4.8 Regressão

Uma vez determinada a correlação de variáveis de pares de dados, procura-se definir uma relação e descrevê-la através de uma função chamada de equação de regressão, através da qual é possível estabelecer previsões. Segundo Levine et al. (2008), pode-se com base na análise de valores prever valores de uma variável numérica.

Quando uma única variável independente x é utilizada para prever uma variável dependente y , trata-se de uma regressão simples. Já se forem utilizadas mais variáveis para prever uma única variável, trata-se de modelos de regressão múltiplas.

O modelo para determinar uma regressão linear simples é representado na equação 5.

$$\hat{y} = ax + b + \varepsilon \quad (5)$$

Segundo Barbetta, Reis e Bornia (2010), o processo de se obter os coeficientes a e b , conforme mostrado na equação 5, é chamado de Método dos mínimos quadrados. Esses coeficientes podem ser obtidos a partir das equações 6 e 7 mostradas a seguir.

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (6)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (7)$$

Os parâmetros x_i e y_i são obtidos a partir de uma amostra de n valores com coordenadas (x_i, y_i) vindos de um diagrama de dispersão conforme mostrado nas figuras 5 e 6.

2.4.9 Teste t de Student

Há situações em que é necessário saber se alguma característica é realmente diferente entre dois grupos de dados obtidos, ou se as

diferenças detectadas são fruto do acaso, ou seja, estão relacionadas a variáveis externas.

Para Levine et al. (2008), o fato de perceber diferenças significativas entre dois grupos testados retrata que em uma nova amostragem, com elementos diferentes, esse comportamento se mantém.

O teste *t* de *Student*, o qual é comumente chamado apenas de teste *t*, pode ser aplicado para dados pareados, ou para dados independentes. A metodologia para dados pareados é aplicada quando se deseja testar o efeito em um mesmo indivíduo, antes e depois deles serem submetidos a um experimento.

O teste *t* para amostras independentes é utilizado para comparar dados de dois grupos distintos, para verificar se a diferença entre as médias obtidas é ou não significativa.

Sendo assim, o teste *t* é utilizado quando se quer decidir se as diferenças amostrais observadas são reais (causadas por diferenças significativas nas populações observadas) ou casuais (decorrentes da mera variabilidade amostral). Portanto, essa análise parte do pressuposto que o acaso só produz pequenos desvios, sendo as grandes diferenças geradas por causas reais.

De acordo com Barbeta, Reis e Bornia (2010) o teste *t* trabalha com duas hipóteses sendo uma nula e outra alternativa. Elas são definidas como:

- Hipótese nula (H_0): $\mu_1 = \mu_2$: As médias testadas são iguais;
- Hipótese alternativa (H_1): $\mu_1 \neq \mu_2$: As médias testadas diferem.

O teste *t* é calculado com a equação 8, sendo x_1 o primeiro grupo de dados, x_2 o segundo grupo de dados, n_1 e n_2 o número de amostras dos grupos de dados e σ o desvio padrão das amostras. O termo $\sigma_{x_1 x_2}$ é calculado conforme apresentado na equação 9.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{x_1 x_2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (8)$$

$$\sigma_{x_1 x_2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_{x_1}^2 + (n_2 - 1)\sigma_{x_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (9)$$

Na equação 9, o termo $n_1 + n_2 - 2$ representa o grau de liberdade a ser utilizado.

Geralmente, em pesquisas estatísticas, usa-se o valor de 95% como nível de confiança, o que implica que nesse caso tem-se o nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

2.4.10 Valor p

Para Barbeta, Reis e Bornia (2010), ao analisar os resultados obtidos no teste t , deve-se observar o valor p (p -value), obtido mediante a relação do valor t calculado e o valor t tabelado na tabela estatística t de *student*. Sendo assim, deve-se comparar o valor p com o nível de significância (α) adotado, o que leva a uma conclusão conforme os pressupostos a seguir:

- Se $p \geq \alpha$, aceita-se H_0 . Admite-se que a média dos dois conjuntos testados são iguais.
- Se $p < \alpha$, rejeita-se H_0 . As médias dos dois conjuntos testados diferem.

2.4.11 Técnicas de amostragem

Para Levine et al. (2008), ao se trabalhar com amostragem, essas devem ser calculadas para não correr riscos com a distorção das informações.

A amostra age como uma representação em miniatura da população, de modo que, se os valores na população forem distribuídos nos moldes da distribuição normal, os valores na amostra devem ser distribuídos aproximadamente nos moldes da distribuição normal. (LEVINE et al., 2008, p. 231)

Para identificar o tamanho de uma amostra quando se quer trabalhar com amostragem, deve-se fazer um estudo piloto com $n > 30$ amostras do que se quer avaliar, sendo essas escolhidas aleatoriamente.

O fato de se tomar mais que trinta amostras iniciais é definido por Levine et al. (2008) pela consequência de que a aproximação a uma distribuição normal de probabilidade será maior.

Para o cálculo do tamanho de amostras para se estimar médias, é necessário calcular o desvio padrão das primeiras 31 amostras e usa-se, mesmo que conhecendo o tamanho da população (número total de dados), a equação 10. Essa refere-se ao cálculo do tamanho de amostra, considerando tamanho da população desconhecido.

$$n_0 = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2 \quad (10)$$

Onde: n_0 : Número de indivíduos da amostra

$Z_{\alpha/2}$: Valor crítico correspondente ao grau de confiança.

Geralmente utiliza-se 95% de confiança, logo $Z_{\alpha/2} = 1,96$.

σ : desvio padrão populacional da variável estudada.

E : Margem de erro ou erro máximo de estimativa. Identifica a diferença máxima entre a média amostral e a verdadeira média populacional.

O valor de E deve ser definido pelo pesquisador, sendo que quanto maior o seu valor, menor será o tamanho da amostra a ser utilizada. Geralmente, usa-se para E o valor de 0,5% (0,005).

Quando se conhece o tamanho da população que se está estudando utiliza-se, então, a equação 11. Essa corrige o tamanho da amostra considerando, agora, o tamanho da população.

$$n = \frac{N \cdot n_0}{N + n_0} \quad (11)$$

Onde: n_0 : tamanho da amostra (população desconhecida)

n : tamanho da amostra (população conhecida)

N : tamanho da população conhecida

Assim n representa o número de amostras que deve ser considerado quando se conhece o tamanho da população.

2.5 Estudos de Manutenção Preventiva

De acordo com Xavier e Pinto (2013), a manutenção preventiva procura evitar a ocorrência de falhas, ou seja, preveni-las. Este tipo de manutenção é efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Sob essa definição, identifica-se que geralmente os fabricantes indicam o período de manutenção preventiva em seus manuais, porém o usuário deve verificar e adequar os prazos de intervenções de acordo com as suas condições operacionais, no ambiente de trabalho, visto que eles variam de acordo com a frequência e rigidez na utilização do equipamento.

A manutenção preventiva será tanto mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição; quanto mais altos forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança pessoal, operacional e ambiental. (XAVIER E PINTO, 2013, p.61)

Sendo assim, devem-se usar as informações de periodicidade contidas em manuais como referência, e também avaliar a real conveniência de implantação de acordo com a utilização do equipamento, como citaram Xavier e Pinto (2013).

2.5.1 Manutenção Preventiva em Parafusadeiras

Na manutenção preventiva de parafusadeiras hidropneumáticas, de acordo com Macco (2010), deve-se realizar um teste de capacidade e uma checagem da rotação por minuto (RPM) antes de qualquer intervenção.

Após essa verificação, o filtro de entrada e saída de ar devem ser limpos e averiguados, o óleo da unidade de pulsação hidráulica deve ser substituído e uma análise completa do funcionamento da parafusadeira deve ser realizada.

Depois dessa etapa, o teste de capacidade e a checagem da RPM devem ser realizados novamente para certificar-se que o equipamento ficou em perfeito funcionamento.

Segundo Macco (2010), uma parafusadeira hidropneumática pode, com o decorrer do tempo, apresentar variações no torque final, piorando a sua precisão. Isso ocorre devido à viscosidade do fluido hidráulico da unidade de aplicação de torque diminuir com o aumento do número de ciclos realizados pela parafusadeira, ou seja, o fluido hidráulico perde suas propriedades químicas. Para os modelos de parafusadeiras UL e ULT, de acordo com o fabricante UryuSeisakuLtd. (2005), é recomendado que as intervenções preventivas ocorram a cada 120.000 ciclos de apertos se a máquina estiver instalada e operando corretamente, sem esforços excessivos.

O número de apertos entre as manutenções pode variar de acordo com a aplicação que o usuário utiliza. Se a junta em que a parafusadeira está aplicando o torque é flexível, a parafusadeira tende a realizar maior número de pulsos até atingir o torque alvo, causando uma diminuição da vida útil do equipamento.

2.5.2 Causas e Soluções

De acordo com UryuSeisakuLtd. (2005), em seu guia para soluções dos problemas, a perda de torque ou o não atendimento do torque especificado pode acontecer por dois motivos: o primeiro se refere à instalação do equipamento, ou seja, pressão e vazão do ar comprimido não estarem de acordo com as especificações; o segundo motivo refere-se à parte da unidade hidráulica. Ela pode estar com o nível de óleo baixo ou o óleo pode ter perdido as suas propriedades químicas iniciais.

Como solução para o primeiro motivo, deve-se verificar a instalação do equipamento para que os valores de pressão e vazão atendam aos requisitos necessários exigidos nos manuais. Já para o segundo motivo, podem ser realizadas duas ações, sendo a primeira apenas um reabastecimento do óleo da unidade pulsativa e a segunda a substituição completa do óleo. Segundo Macco (2010), a perda das propriedades químicas do óleo é normal e deve ser acompanhada para que não haja problemas na qualidade dos apertos desempenhados pelas parafusadeiras.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de demonstrar uma análise de monitoramento, em busca de uma periodicidade de manutenção preventiva adequada para uma parafusadeira hidropneumática em uma aplicação de montagem, e sabendo que ao longo do tempo de funcionamento um equipamento tende a perder seus valores padrão e sua repetibilidade, desenvolveu-se uma metodologia de análise para o estudo e relação dos dados.

Numa primeira decisão, escolheu-se um equipamento do tipo parafusadeira hidropneumática que estivesse em uso numa aplicação de montagem de relevância. Esse equipamento deveria ter um uso intenso e estar trabalhando em condições reais.

Para a identificação da parafusadeira utilizada de forma mais intensa, foi necessário o mapeamento do número de apertos realizados por produto montado, bem como a contagem dos produtos montados diariamente. A multiplicação do número de apertos realizados por produto pelo número de produtos montados resultou no número total de apertos realizados pela parafusadeira no dia. Ao comparar os diversos produtos montados, optou-se por selecionar a máquina com maior número de apertos.

Após a identificação da parafusadeira utilizada com mais intensidade, foi dado início à coleta de dados de utilização.

Optou-se por coletar a quantidade de apertos realizados no intervalo entre as medições, os valores de torque, a pressão do sistema de ar e a pressão real de trabalho em cada aplicação. A variação significativa nesses dois últimos valores poderia indicar condições de uso diferentes ao longo da coleta de dados e, conseqüentemente, resultados diferentes e não adequados à comparação.

Por representar um tempo médio padrão, definiu-se que seriam coletados 25 apertos diariamente, baseando-se na ISO 5393, por exatos trinta dias úteis.

A parafusadeira monitorada foi adquirida (equipamento novo) pela empresa no dia 22/03/2012 e nunca havia sido submetida a uma manutenção. A primeira medição nessa parafusadeira, para uso neste trabalho foi realizada no dia 26/09/2013.

Para obter uma estatística mais abrangente, visto que a empresa fez a compra de dois novos equipamentos, decidiu-se iniciar nova coleta de dados, porém, nesse caso, com equipamentos novos, os quais iniciaram suas operações em 17/03/2014.

Os dados obtidos dos equipamentos novos demonstraram um ótimo grau de precisão e baixa variabilidade, o que faz com que, para

cumprir o objetivo deste trabalho, seja necessário um estudo por um tempo mais abrangente, o que excede o tempo disponível para sua apresentação.

Sendo assim, neste estudo, optou-se por voltar a monitorar a mesma parafusadeira da quais dados já haviam sido obtidos anteriormente. Porém, para que possam ser realizados estudos futuros, optou-se por dar continuidade ao monitoramento das duas novas parafusadeiras.

Os dados coletados foram lançados em uma planilha de cálculo desenvolvida para apresentar os resultados. Esses resultados calculados foram comparados em função das médias dos torques em cada intervalo de uso, com o cálculo de dados de capacidade C_m e C_{mk} , e torque médio encontrado. Com o cruzamento dos dados, buscou-se encontrar correlações e as funções de ajustamento de forma a definir uma metodologia para identificar o tempo de manutenção preventiva mais adequada para o equipamento estudado.

3.1 Aplicação

A aplicação do estudo foi realizada na empresa Weg Drives & Controls em Jaraguá do Sul – SC, a qual possui linhas de montagem de alta produtividade. A linha utilizada (figura 7) para os estudos foi a G1 que monta inversores de frequência dos modelos CFW09 e CFW11.



Figura 7 - Linha de montagem G1
Fonte: o autor (2014)

Inicialmente, a coleta de dados foi realizada durante trinta dias úteis, sendo feitas 25 medições de torque por dia. Primeiramente, os apertos foram realizados diretamente na linha de montagem no período

de 26/09/2013 a 06/11/2013, totalizando trinta dias úteis. Dando sequência a essas medições, objetivando conhecer o estado dessa máquina, optou-se por reiniciar a coleta de dados da parafusadeira cinco meses depois das trinta primeiras coletas. Assim, realizou-se uma estimativa de quantos apertos a parafusadeira desempenhou nesses cinco meses que ficara sem avaliação dos dados.

Fez-se também uma estimativa para encontrar com quantos apertos a parafusadeira estava quando iniciaram-se as primeiras coletas.

3.2 Materiais utilizados

Os apertos foram realizados em uma junta de simulação flexível cujo fabricante é a empresa Atlas Copco, que aceita simulações de torque na faixa de 0 até 5Nm. Essa junta é a que mais se assemelha às juntas dos produtos montados e esse foi o motivo de sua escolha. A figura 8 mostra a junta de simulação utilizada para a coleta diária de 25 apertos.



Figura 8 - Junta de simulação de torque
Fonte: o autor (2014)

A parafusadeira hidropneumática selecionada (figura 9) que possui uso com maior intensidade foi do fabricante Uryu, modelo ULT-30SD. Sua faixa de torque é de 2,5 a 5,5Nm e esse equipamento estava regulado para atingir um torque de 4,5Nm.



Figura 9 - Parafusadeira hidropneumática
Fonte: o autor (2014)

Para o registro dos torques foi utilizado um coletor de torque da marca AsyDatamate, em conjunto com um transdutor de torque da CraneElectronics, com fundo de escala de 5Nm. O coletor estava programado para capturar o torque dinâmico entre 3,825 e 5,175Nm, ou seja, aproximadamente 15% de tolerância no torque alvo de 4,5Nm, e registrar os valores de 25 apertos por dia. Os valores de torque encontrados e registrados pelo coletor foram utilizados para calcular os valores de média, desvio padrão, C_m , C_{mk} e precisão do equipamento.

O coletor de dados, juntamente com o transdutor de torque, são representados na figura 10.



Figura 10 - Coletor de dados + transdutor de torque
Fonte: o autor (2014)

A Figura 11 mostra a planilha de cálculo com o gráfico de repetibilidade dos valores. No lado esquerdo, notam-se os valores que foram coletados em um dia de medição e lançados na planilha. Já no

lado direito, observam-se os valores calculados de *Média*, *Desvio Padrão*, *Cm*, *Cmk* e *Precisão*.

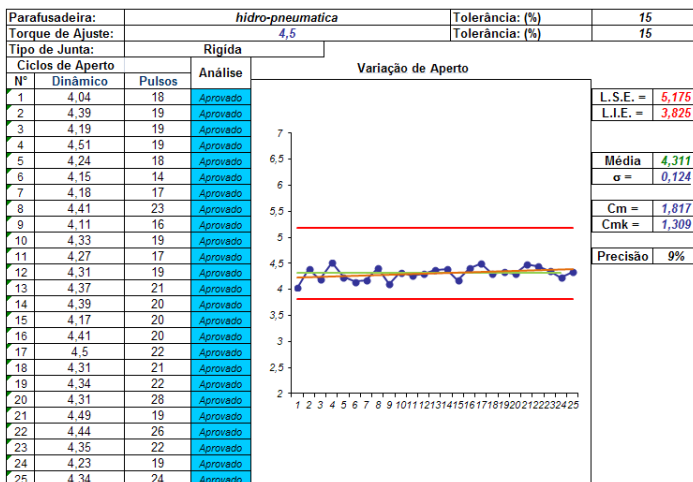


Figura 11 - Planilha de cálculo dos valores coletados

Fonte: o autor (2014)

O número de apertos realizados pela parafusadeira analisada entre as medições foi monitorado com o objetivo de mapear e relacionar a variação dos valores coletados com o número de apertos realizados pelo equipamento a cada dia de medição, ou seja, na medida em que o número de apertos foi aumentando, procurou-se verificar a existência de uma tendência ao erro, considerando a perda de precisão do equipamento.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos durante as três etapas de coleta (nova, meia vida e final), bem como as análises realizadas.

4.1 Parâmetros coletados

Com o objetivo de obter dados reais sobre o funcionamento da parafusadeira, foi monitorada a quantidade de apertos realizados. Ao final dos primeiros trinta dias úteis de coletas, chegou-se a um total de 8832 apertos realizados, ou seja, uma média de aproximadamente 294 apertos por dia.

Considerando que o equipamento foi adquirido em 22 de março de 2012, isso representa um total de 388 dias úteis de trabalho até o início da coleta de dados. Sendo assim, estima-se que a parafusadeira estava, no início da coleta de dados, com 388 dias multiplicados por 294 apertos médios por dia, ou seja, com aproximadamente 114.072 apertos.

Todos os dados coletados e calculados foram lançados em uma planilha eletrônica com o objetivo de poder analisá-los em conjunto.

A Tabela 1 mostra a média dos valores coletados e calculados em trinta dias de medições, já considerando a estimativa de números de apertos realizados pela parafusadeira.

Tabela 1 - Dados coletados na primeira fase de coleta (2013)

Data	Quantidade de Apertos / dia	Nº de apertos acumulados	Média de Torque	Cm	Cmk	Precisão	Pressão
26/set/13	412	114072	4,388	2,429	2,027	6%	6,2
27/set/13	441	114484	4,474	1,733	1,666	9%	6,2
30/set/13	289	114925	4,352	1,759	1,374	9%	6,3
01/out/13	263	115214	4,551	2,568	2,373	6%	6,3
02/out/13	431	115477	4,659	1,664	1,271	9%	6,2
03/out/13	219	115908	4,578	1,65	1,458	9%	6,2
04/out/13	57	116127	4,61	2,806	2,347	5%	6,4
07/out/13	444	116184	4,456	2,259	2,112	7%	6,3
08/out/13	7	116628	4,666	1,778	1,341	8%	6,2
09/out/13	323	116635	4,526	1,507	1,448	10%	6,3

Data	Quantidade de Apertos / dia	Nº de apertos acumulados	Média de Torque	Cm	Cmk	Precisão	Pressão
10/out/13	424	116958	4,522	1,614	1,562	9%	6,1
11/out/13	297	117382	4,549	2,377	2,204	6%	6,1
14/out/13	416	117679	4,637	1,758	1,401	8%	6,2
15/out/13	570	118095	4,324	1,789	1,323	9%	6,3
16/out/13	539	118665	4,354	1,704	1,336	9%	6,2
17/out/13	283	119204	4,542	1,965	1,844	8%	6,2
18/out/13	203	119487	4,178	2,213	1,159	7%	6,3
21/out/13	180	119690	4,311	1,817	1,309	9%	6,1
22/out/13	178	119870	4,271	1,932	1,276	8%	6,1
23/out/13	172	120048	4,48	1,522	1,477	10%	6,2
24/out/13	279	120220	4,719	1,821	1,23	8%	6,3
25/out/13	198	120499	4,322	1,888	1,39	8%	6,2
28/out/13	230	120697	4,27	1,717	1,131	9%	6,3
29/out/13	425	120927	4,576	1,438	1,276	10%	6,1
30/out/13	297	121352	4,287	1,842	1,261	9%	6,2
31/out/13	106	121649	4,68	1,224	0,898	12%	6,3
01/nov/13	86	121755	4,56	2,017	1,836	7%	6,2
04/nov/13	255	121841	4,71	2,284	1,572	6%	6,3
05/nov/13	363	122096	4,563	1,453	1,317	10%	6,2
06/nov/13	445	122459	4,307	2,09	1,492	7%	6,2

Fonte: o autor (2014)

Após esse período de coleta, o equipamento foi mantido em operação na linha de produção por cinco meses, sem quaisquer ajustes. Considerando a média de 294 apertos diários usada anteriormente, estimou-se que nesses cinco meses a parafusadeira realizou mais 36.162 apertos, totalizando mais 123 dias úteis de utilização até o início da segunda etapa de coleta de dados.

Considerando que ao final da primeira etapa o equipamento estava com 122.459 apertos, somando-se então os 36.162 apertos referentes aos cinco meses de utilização, o equipamento totalizou por meio dessas estimativas 158.621 apertos.

A tabela 2 apresenta os dados coletados na segunda etapa de coleta, obtida a partir de abril de 2014.

Tabela 2 - Dados coletados na segunda fase de coleta (2014)

Data	Quantidade de Apertos/ dia	Nº de apertos acumulados	Média de Torque	Cm	Cmk	Precisão	Pressão
25/abr/14	223	158621	4,607	1,150	0,932	14%	6,2
28/abr/14	197	158844	4,619	1,296	1,068	11%	6,3
29/abr/14	312	159041	4,627	1,245	1,011	12%	6,2
30/abr/14	386	159353	4,578	1,081	0,956	14%	6,3
05/mai/14	421	159739	4,619	1,064	0,877	14%	6,2
06/mai/14	15	160160	4,628	1,150	0,932	13%	6,2
07/mai/14	321	160175	4,627	1,245	1,011	12%	6,1
08/mai/14	188	160496	4,766	1,430	0,869	10%	6,2
09/mai/14	439	160684	4,920	1,001	0,368	14%	6,1
12/mai/14	110	161123	4,870	0,955	0,425	15%	6,3
13/mai/14	387	161233	5,076	0,938	0,137	15%	6,1

Fonte: o autor (2014)

Nota-se que na tabela 2 há apenas onze dias de coleta de dados, caso esse explicado pela quebra do equipamento no décimo segundo dia de medição.

Com o objetivo de utilizar os dados coletados do equipamento novo, de mesmo modelo do equipamento em questão, optou-se por colocá-los em um mesmo gráfico de dispersão, considerando as três etapas de medição: nova (tabela 3), meia vida (tabela 1) e final (tabela 2).

Abaixo, na tabela 3, mostram-se os dados coletados no período de 18/03/2014 a 24/04/2014, referentes ao equipamento novo.

Tabela 3 - Dados coletados na terceira fase de coleta (2014)

Data	Quantidade de Apertos / dia	Nº de apertos acumulados	Média de Torque	Cm	Cmk	Precisão	Pressão
18/mar/14	393	393	4,462	1,219	1,150	6%	6,5
19/mar/14	191	584	4,471	1,122	1,074	7%	6,43
20/mar/14	222	806	4,569	1,206	1,082	5%	6,3
21/mar/14	259	1065	4,766	2,307	1,398	6%	6,4
24/mar/14	589	1654	4,735	2,171	1,414	7%	6,5
25/mar/14	276	1930	4,707	1,949	1,351	7%	6,4
27/mar/14	275	2205	4,812	2,757	1,481	5%	6,3
28/mar/14	381	2586	4,585	1,632	1,426	9%	6,3
31/mar/14	348	2934	4,696	2,086	1,478	7%	6,5
01/abr/14	554	3488	4,570	1,115	1,000	13%	6,4
02/abr/14	257	3745	4,577	2,169	1,922	7%	6,4
03/abr/14	392	4137	4,740	1,633	1,053	9%	6,4
04/abr/14	377	4514	4,739	2,364	1,526	6%	6,4
07/abr/14	386	4900	4,648	1,889	1,475	8%	6,3
08/abr/14	327	5227	4,799	2,004	1,117	7%	6,4
09/abr/14	395	5622	4,739	2,778	1,794	5%	6,3
10/abr/14	501	6123	4,685	1,827	1,327	8%	6,2
11/abr/14	76	6199	4,689	1,799	1,285	8%	6,4
14/abr/14	269	6468	4,655	2,372	1,826	6%	6,3
15/abr/14	257	6725	4,665	1,312	0,999	11%	6,4
17/abr/14	370	7095	4,612	1,797	1,499	8%	6,65
23/abr/14	59	7154	4,786	1,672	0,963	8%	6,45
24/abr/14	439	7593	4,682	1,750	1,277	8%	6,3

Fonte: o autor (2014)

De modo a melhor representar a forma como ocorreu a coleta de dados nas três fases, a metodologia foi representada através de um diagrama, apresentado a seguir pela figura 12.

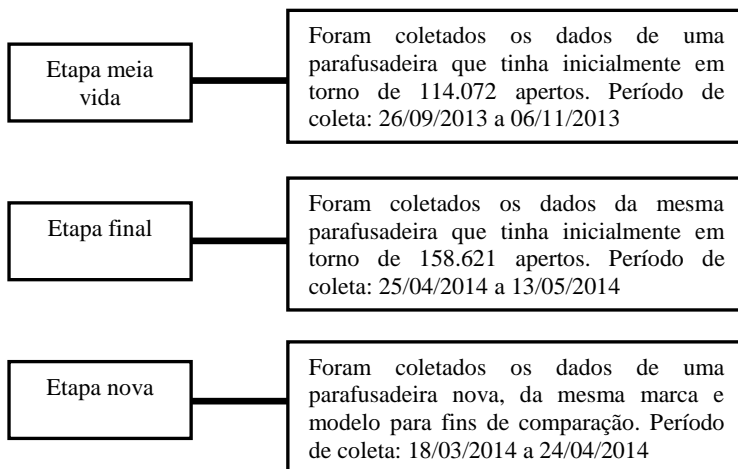


Figura 12 - Diagrama de representação geral da coleta de dados
Fonte: o autor (2014)

Ao considerar que uma máquina nova, da mesma marca e modelo, representaria o mesmo cenário da máquina da qual foram obtidos os dados da etapa “meia vida” e etapa “final”, para fins de análise estatística, os dados obtidos foram organizados de acordo com o figura 13, mostrada a seguir.

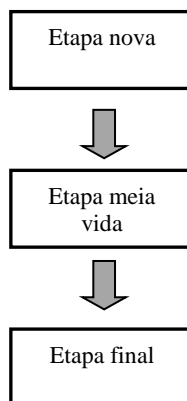


Figura 13 - Diagrama de representação da coleta de dados
Fonte: o autor (2014)

4.2 Análise de dados

Neste tópico são apresentadas as análises realizadas a partir dos dados coletados, conforme apresentação anterior.

4.2.1 Experimentos com análise de correlação

Visto que foram coletados os dados referentes ao torque, e calculados os demais parâmetros conforme apresentado nas tabelas 1, 2 e 3, optou-se por realizar uma análise de modo a verificar quais parâmetros tinham mais chance de estar relacionados entre si. Esse tipo de análise possibilita economizar tempo e recursos quando identificados previamente fatores que realmente influenciam na análise dos dados.

Seguindo a proposta de identificar o tempo ou número de apertos que pudessem ser usados como referência para a manutenção ou o controle da parafusadeira, a análise foi feita com base no número de apertos acumulados.

A tabela 4 apresenta o grau de correlação entre o número de apertos acumulados quando comparados com precisão, torque, C_m e C_{mk} .

Tabela 4 - Correlação geral (três etapas)

Correlação com nº de apertos	r de Pearson
Precisão (P)	0,626
Torque	-0,218
C_m	-0,315
C_{mk}	-0,181

Fonte: o autor (2014)

Analisando os dados coletados, foi possível notar que em relação ao aumento do número de apertos acumulados, o parâmetro “precisão” apresentou uma correlação positiva de 62,6% (0,626). Isso significa que à medida que o número de apertos acumulados aumenta, a precisão P também tende a aumentar. Conforme já citado anteriormente, por meio da definição de precisão, quanto maior for o índice P calculado, pior será o ajuste da parafusadeira em teste.

Em relação às variáveis torque, C_m e C_{mk} , nota-se uma correlação negativa fraca, o que mostra que há grande variabilidade nos resultados encontrados. À medida que aumenta-se o número de apertos,

esses índices tendem a ser reduzidos, demonstrando assim que há redução gradual no torque e nos índices de capacidade - o que significa perda de rendimento do equipamento.

4.2.2 Experimentos com Teste t de *Student* para o parâmetro pressão

Com o propósito de validar os valores obtidos referentes à precisão da parafusadeira, buscou-se analisar se houve alguma interferência externa que pudesse de alguma forma invalidar as análises.

Uma questão primordial a ser verificada é a análise da pressão do ar comprimido durante todo o processo de coleta de dados.

Para que se possa obter resultados coerentes referentes à evolução na precisão da parafusadeira, é necessário que a pressão seja estável. Como nem sempre isso é possível, devido às variações naturais que podem ocorrer, foi necessário estabelecer uma análise estatística referente aos valores obtidos para o parâmetro pressão durante as 3 fases do experimento.

Sendo assim, de modo a buscar identificar significantes mudanças nos dados, decidiu-se utilizar o teste t de *Student* para constatar a real significância entre as diferenças dos valores coletados.

Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Teste t nova / meia vida (pressão)

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes	Dados de pressão Etapa nova	Dados de pressão Etapa meia vida
Média	6,228	6,223
Variância	0,00921502	0,005988506
Observações	23	30
p ($T \leq t$) bi-caudal	0,8368	

Fonte: o autor (2014)

Tabela 6 - Teste t meia vida / final (pressão)

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes	Dados de pressão Etapa meia vida	Dados de pressão Etapa final
Média	6,223	6,219
Variância	0,0059	0,006
Observações	30	11
p (T<=t) bi-caudal	0,397	

Fonte: o autor (2014)

Os valores de p mostrados nas tabelas 5 e 6 garantem que as amostras obtidas para o parâmetro pressão não possuam diferenças significativas entre as três fases de coleta de dados, o que garante que o equipamento foi monitorado nas mesmas condições de instalação.

4.2.3 Dispersão de dados do parâmetro precisão

Visto que o parâmetro pressão foi mantido constante, conforme verificado anteriormente através do teste t , buscou-se representar a evolução da precisão da parafusadeira por meio de um gráfico de dispersão.

Ao lançar os valores da precisão encontrados nas três etapas de coleta (nova, meia vida e final) em um dos eixos do gráfico de dispersão e os valores dos números de apertos realizados pela parafusadeira acumulados a cada dia em outro eixo, criou-se uma relação entre os valores de modo que foi possível perceber uma tendência ao aumento da precisão, ou seja, uma piora no desempenho do equipamento.

A figura 14 apresenta o gráfico de dispersão que relaciona o número de apertos acumulados (eixo x) com a precisão (eixo y) durante as 3 etapas de coleta de dados.

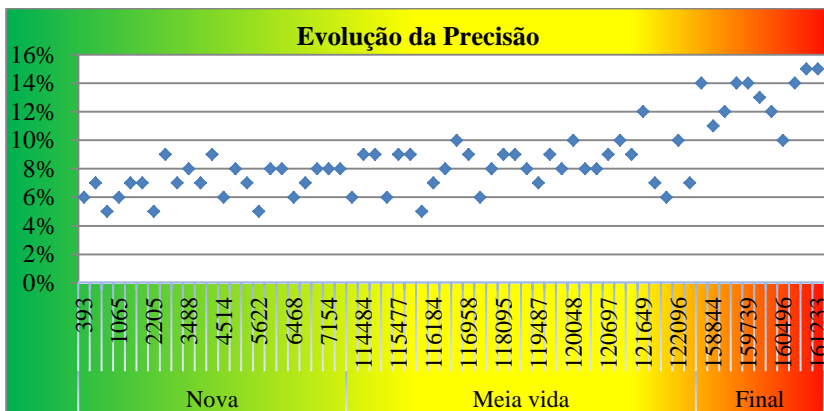


Figura 14 - Evolução da precisão
Fonte: o autor (2014)

De modo a melhor visualizar a evolução na precisão, foi realizada uma análise de regressão, bem explicada no tópico a seguir.

4.2.4 Análise de regressão para o parâmetro precisão

Na figura 14 pode-se perceber que de acordo com o aumento do número de apertos realizados no decorrer dos dias, a precisão da parafusadeira tem uma variação com tendência a sair da faixa de precisão aceitável, a qual é de no máximo 15%.

Para prever o ponto em que a precisão sairia de um valor aceitável na aplicação analisada, foi necessário encontrar a equação que explica esta tendência. Na análise dos dados, foi possível perceber que a evolução na precisão dá-se de forma crescente, sendo o modelo linear aquele de melhor ajuste. A figura 15 busca representar essa evolução sendo que, por questões de dimensão do gráfico, a escala no eixo x foi dividida em três estágios.

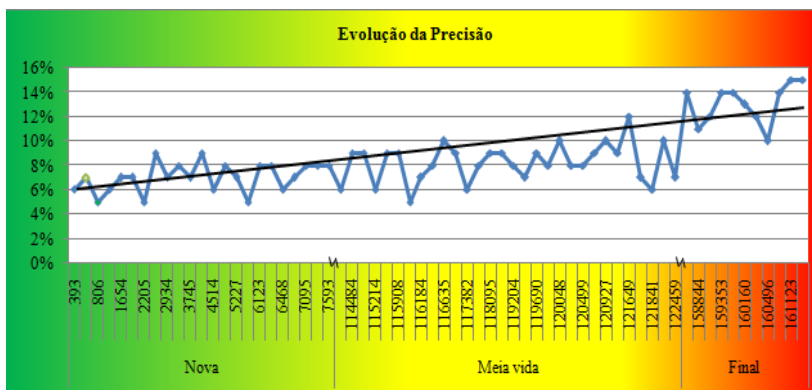


Figura 15 - Linha de tendência - evolução da precisão

Fonte: o autor (2014)

No procedimento de cálculo da equação de regressão, é válida a operação de multiplicação de todos os valores x por uma constante e/ou y por outra constante. Esse procedimento, embora altere os coeficientes da equação de regressão, não altera o resultado quanto à saída de dados, que é nesse caso o valor da precisão.

Sendo assim, para efeito de cálculo, os valores x (apertos acumulados) foram multiplicados por 0,001 e os valores da precisão por 100.

Desse modo, por meio dos dados dispostos na planilha de cálculo, foi obtida a equação de regressão que explica a precisão a partir do número de apertos acumulados.

$$\text{Equação de regressão: } \hat{y} = 0,0462 \cdot x + 6,871$$

$$\text{Grau de ajustamento: } R^2 = 0,593$$

Essa equação permite fazer uma previsão referente à precisão da parafusadeira (\hat{y}) a partir do número de apertos acumulados.

Por exemplo, considerando o número de apertos acumulados $x = 150.000$, o valor a ser substituído na equação é 150.000 multiplicado por 0,001, o que resulta em 150, conforme mostrado a seguir.

$$\hat{y} = 0,0462 \cdot 150 + 6,871$$

$$\hat{y} = 13,801$$

Dessa forma, por meio desse exemplo, é possível fazer a previsão da precisão a partir do número de apertos acumulados.

Pode-se obter o número de apertos acumulados que faz com que a precisão alcance o índice máximo de 15% indicado pelo fabricante. Nesse caso, faz-se $\hat{y} = 15$. Não necessariamente o índice máximo de precisão deve ser o indicado pelo fabricante para determinar a periodicidade da manutenção. Tendo em vista os padrões de aceitação de tolerância, isso varia de empresa para empresa podendo, por exemplo, considerar $\hat{y} = 13$, o que nesse caso manteria a precisão do equipamento em 13%, diminuindo a periodicidade, porém garantindo a precisão.

Visto que o objetivo desse trabalho é o de fornecer uma metodologia para tal previsão, esse valor não é aqui calculado. É importante salientar que em uma situação real faz-se necessário avaliar uma amostra de várias parafusadeiras. Para determinar o tamanho da amostra, o próximo tópico é apresentado.

4.2.5 Definindo o tamanho da amostra

Para definir o tamanho da amostra, conforme apresentado anteriormente, deve-se tomar medidas de precisão de no mínimo 31 parafusadeiras, lembrando que cada medida de precisão é obtida por meio da planilha apresentada na figura 11 deste trabalho. Caso a população for menor que 31, devem-se tomar medidas de precisão de todos os equipamentos.

O próximo passo é calcular o desvio padrão das amostras de precisão coletadas e inseri-lo na equação 10 deste trabalho. Obtém-se, assim, o tamanho de amostra (n_0) a ser utilizado.

Quando se sabe o tamanho da população, ou seja, o número total de parafusadeiras, deve-se corrigir o tamanho da amostra na equação 11 e, assim, obter o tamanho da amostra com população conhecida (n).

Deve-se, então, considerar n a quantidade de parafusadeiras a serem monitoradas, a fim de definir uma periodicidade de manutenção preventiva.

4.3 Metodologia para definição da periodicidade de manutenção preventiva em parafusadeiras hidropneumáticas

Como contribuição deste trabalho, foi proposto um fluxograma, o qual é resultante das pesquisas realizadas pelo autor. Ele mostra as diversas etapas, incluindo a definição do tamanho da amostra, a coleta de dados, o cálculo dos parâmetros, a análise de dados e uma equação de predição de valores, chamada de equação de regressão.

Na figura 16, é apresentado o fluxograma referente à metodologia para manutenção preventiva em parafusadeiras hidropneumáticas. Ele consiste em:

- a) identificar o tamanho da amostra: devem-se seguir as orientações do item 4.2.5 deste trabalho;
- b) escolher as parafusadeiras: considerando o tamanho da amostra definido, sugere-se escolher os equipamentos de acordo com a maior utilização;
- c) coletar 25 apertos diários (medir torque e pressão) de cada uma das parafusadeiras escolhidas, para posterior cálculo da precisão. Fazer essas medições nas parafusadeiras de modo que as medições obtidas contemplem as 3 etapas: nova, meia vida e final.
- d) monitorar o número de apertos realizados por dia: é necessário registrar quantos apertos as parafusadeiras realizam por dia para posterior comparação com a precisão do equipamento;
- e) calcular precisão e número de apertos acumulados: conforme mencionado anteriormente, usar planilha da figura 11 para cálculo da precisão e para número de apertos acumulados basta somar os apertos de cada dia;
- f) traçar o diagrama de evolução da precisão e encontrar equação de regressão conforme os itens 4.2.3 e 4.2.4 deste trabalho, respectivamente;
- g) definir periodicidade de manutenção preventiva: com base na equação de regressão, substituir valor de precisão aceitável e encontrar em qual ponto o equipamento sairá dos padrões aceitáveis. Como não se deseja que o equipamento saia dos padrões aceitáveis, esse é o ponto em que se deve realizar a manutenção preventiva.

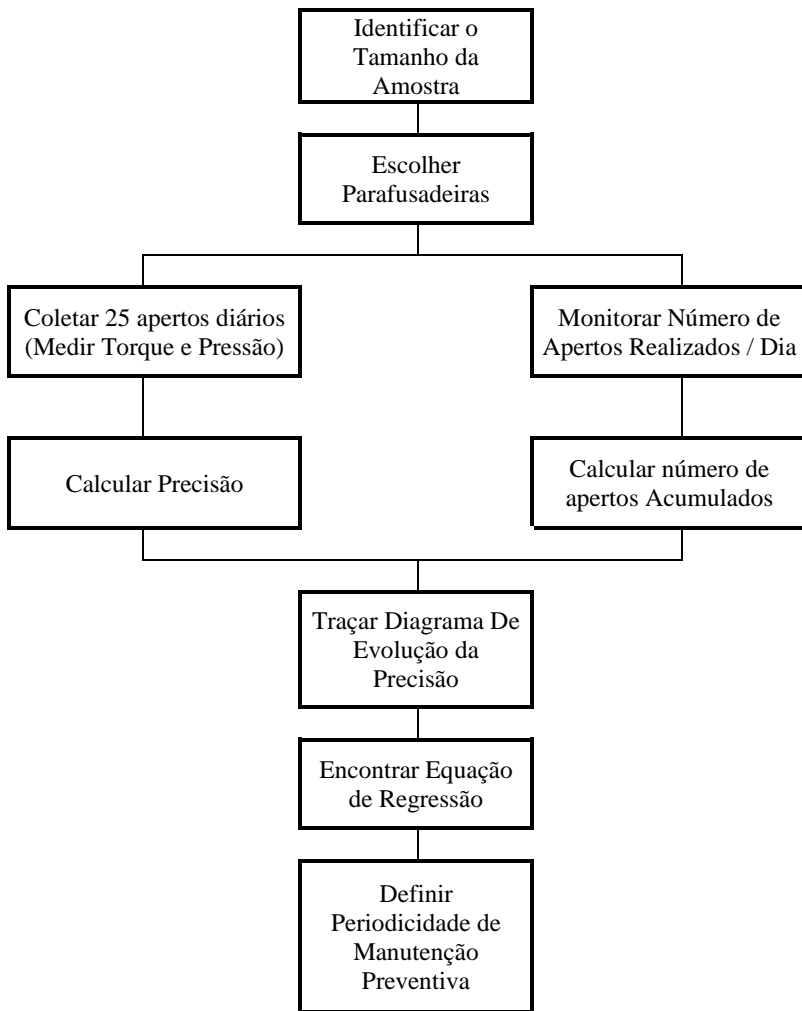


Figura 16 - Fluxograma referente à metodologia
Fonte: o autor (2014)

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista que a manutenção preventiva em parafusadeiras hidropneumáticas, quando realizada em corretas periodicidades, ajuda a evitar que problemas com torques fora de valores aceitáveis aconteçam, e que o aumento da vida útil de uma parafusadeira, ocasionado pela correta aplicação dessa manutenção, traz benefícios para empresa e até mesmo para o meio ambiente, salienta-se a importância deste trabalho quando se fala na criação de uma metodologia que traga mais garantia de confiabilidade nos apertos desempenhados pelas parafusadeiras estudadas.

Acompanhando o comportamento de parafusadeiras hidropneumáticas no monitoramento e coleta de dados, pôde-se perceber que os valores coletados apresentam variações consideráveis no ajuste de torque. Quando calculados parâmetros tais como precisão, C_m e C_{mk} , por exemplo, e ao relacioná-los com o aumento do número de apertos, ou seja, aumento do tempo de uso desempenhado pela parafusadeira, notaram-se graus de correlações que puderam ser estudados.

Foram estudadas as correlações entre os parâmetros obtidos através da coleta de dados realizada, com o aumento do número de apertos desempenhados pelas parafusadeiras, encontrando-se assim o parâmetro precisão. É esse o parâmetro que apresenta o maior grau de correlação com o aumento do número de apertos realizados pela parafusadeira.

Desse modo, direcionando os estudos para a precisão, foram traçados diagramas de dispersão, os quais puderam fornecer as equações de regressão. Essa equação, por sua vez, define o ponto em que a parafusadeira sai dos padrões aceitáveis. Como não se quer isso, esse é o ponto em que se deve aplicar a manutenção preventiva para reestabelecer os padrões de funcionamento do equipamento.

Por fim, este trabalho atinge o seu objetivo ao demonstrar uma metodologia para descrever a periodicidade de manutenção preventiva, identificando um ponto de manutenção adequado à aplicação, a partir da equação de regressão, e sugere que o método de controle para planejar a periodicidade seja a observação da variação da precisão do equipamento em linhas de montagem industriais.

Um fator importante a ser citado é que a equação de regressão proposta neste trabalho é apenas um exemplo para validar a metodologia para a manutenção preventiva proposta. Ela não é válida para aplicação

em casos futuros por se tratar de apenas uma parafusadeira e não de uma amostra calculada.

Considerando a grande importância da aplicação da metodologia, sugere-se essa implementação em trabalhos futuros, assim como a verificação da efetividade da manutenção preventiva, definida por essa metodologia.

REFERÊNCIAS

- ASI DATAMYTE DO BRASIL. **Medição de Torque Residual**. São Paulo, 2009.
- ATLAS COPCO. **Guia de Bolso**: Tecnologia de Aperto. Estocolmo, 2003a.
- ATLAS COPCO. **Guia de Bolso**: Técnicas de Análise Estatística. Estocolmo, 2003b.
- BARBETA, Pedro Alberto; REIS, Marcelo Menezes; BORNIA, Antonio Cezar. **Estatística para cursos de engenharia e informatica**. 3. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2010. 410 p.
- CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística Fácil**. 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.
- DEPRAG SCHULZ GMBH U. CO. **MINIMAT Control Screwdrivers**: The basic solution for almost all screwdriving tasks straight handle design - torque from 0.2 - 20 Nm. Amberg, 2008.
- ISO 5393**: Rotary tools for threaded fasteners - Performance test method. 2 ed. Genebra, 1994.
- LEVINE, David M. et al. **Estatística**: Teoria e Aplicações. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 752 p. Tradução de: Teresa Cristina Padilha de Souza.
- LIMA, Rodrigo Jerber de; ABRÃO, Alexandre Mendes; PERTENCE, Antonio de Melo. **Desenvolvimento de um sistema de torqueamento mecanizado contínuo de uniões aparafusadas**. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2011.
- MACCO MÁQUINAS E ACESSÓRIOS LTDA. **Manutenção de Operação SÉRIE ULT**. São Paulo, 2010.
- MILONE, Giuseppe. **Estatística**: Geral e Aplicada. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- URYU SEISAKU LTD. **Manual de Instruções**: Modelos Série ULT30D - ULT150. Osaka: Macco Máquinas e Acessórios, 2005.
- VIEIRA, Sonia. **Estatística para a Qualidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012. 244 p.
- XAVIER, Julio de Aquino Nascif; PINTO, Alan Kardec. **Manutenção**: Função Estratégica. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.