

ESTUDO PARA REDUÇÃO DE GASTOS COM REPOSIÇÃO DE PONTEIRAS TORX NA ÁREA DE MONTAGEM DE UMA INDUSTRIA AUTOMOBILISTICA.

ALUNO: BRUNO LUIZ NAZARIO BASSETTO

PROFESSOR ORIENTADOR: BRUNO HENRIQUE SILVEIRA

FACULDADE GALILEU

Resumo:

O presente trabalho teve como objetivo a redução de gastos na área de montagem de uma empresa que fabrica peças de fibras de vidros para o segmento automobilístico, sendo que esses gastos estavam ocorrendo com a reposição de ponteiras Torx, que são utilizadas para apertar parafusos na fixação de componentes através do processo de aperto de parafusos. Para esse estudo foi utilizadas algumas ferramentas, sendo elas o brainstorming, formulário A3, diagrama de Ishikawa, 5 porquês e também o plano de ação 5w2h. Para que fosse possível desenvolver esse trabalho foi montado um comitê, onde com ajuda desse comitê foi dado início através de um brainstorming, que também é conhecido como tempestade de ideias, nessa etapa foi levado em conta todas as opiniões de cada um, após essa etapa foi utilizado o diagrama de Ishikawa, onde foi possível organizar e separar as ideias mais relevantes em seis categorias, sendo elas, matérias, mão de obra, máquina, método, meio ambiente e medição, quando essa etapa ficou pronta, demos sequência com a análise dos cinco porquês, com ajuda dessa ferramenta conseguimos chegar a possíveis causas raízes para o problema que foi apresentado. Ainda utilizamos por final o plano de ação 5w2h, sendo possível demonstrar como iria ser resolvido as possíveis causas, e por quem seria feito.

Palavras-chave: gastos; Ishikawa; método 5 porquês; formulário A3; brainstorming; 5w2h;

STUDY FOR REDUCING EXPENSES WITH REPLACEMENT OF TORX TIPS IN THE ASSEMBLY AREA OF AN AUTOMOBILE INDUSTRY.

Abstract:

This work had as a purpose the reduction of expenses in the assembly area of a company that manufactures fiberglass parts for the automobile segment, and these expenses were occurring with the replacement of Torx tiles, which are used to tighten screws in fixing components through the screwing process. Some tools were used for this study, being brainstorming, A3 form, ishikawa diagram, 5 whys and also the 5w2h action plan. In order to be possible to develop this work, a committee was assembled, where with the help of this committee, a brainstorming, which is also known as an idea storm, was taken into account at this stage all the opinions of each one were taken into account after this stage the ishikawa diagram was used, where it was possible to organize and separate the most relevant ideas into six categories, which are materials, labor, machine, method, environment and measurement, when this stage was ready, we demoted the analysis of the five whys, with the help of this tool, we managed to find possible root causes for the problem that was presented. Finally, we use the 5w2h action plan, being possible to demonstrate how the possible causes would be resolved, and by whom it would be done.

Keywords: EXPENSES; ISHIKAWA; METHOD 5 WHY; FORM A3; BRAINSTORMING; 5W2H;

1. INTRODUÇÃO

No setor automobilístico, a busca por eficiência produtiva e sustentabilidade é constante, especialmente em ambientes de alta complexidade técnica (Womack; Jones, 2003). Ferramentas como as ponteiros Torx, essenciais no aperto de parafusos hexalobulares, impactam diretamente a produtividade.

Apesar das vantagens, como maior aderência e menor deslizamento (Milani; Hamedi, 2008), o uso inadequado acarreta desgaste precoce, aumento de custos e perda de eficiência. Fatores como torque aplicado, frequência de uso e qualidade do material influenciam sua durabilidade (Nascimento, 2005).

Na empresa estudada, os gastos com reposição superam o previsto, revelando falhas de controle, má gestão e descarte ineficaz (Brandão; Novaes, 2013). Tais desperdícios ferem os princípios do Lean Manufacturing (Ohno, 1988) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

A qualificação dos operadores também se mostrou crítica, pois o manuseio inadequado acelera o desgaste (Coutinho, 2011). Assim, este estudo propõe uma análise técnica e humana do problema, com testes comparativos, avaliação do conhecimento operacional e aplicação de ferramentas da qualidade, como Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês e 5W2H.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Lean Manufacturing* e a Eliminação de Desperdícios

O Lean Manufacturing, derivado do Sistema Toyota de Produção, visa eliminar desperdícios e gerar valor ao cliente (Womack; Jones, 2003). Seus cinco princípios — valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e perfeição — são amplamente aplicados na indústria automobilística para aumentar eficiência e reduzir custos.

Para Ohno (1988), desperdícios como superprodução, retrabalho e movimentos desnecessários prejudicam o desempenho fabril. O uso inadequado de ferramentas, como as ponteiros Torx, se enquadra em várias dessas categorias, impactando o fluxo produtivo.

Autores como Liker (2004) e Rother e Shook (2003) reforçam a importância da padronização e da capacitação para a melhoria contínua. Já Bicheno e Holweg (2016) observam que falhas em ferramentas, mesmo pequenas, podem gerar grandes perdas em ambientes automatizados.

Além do impacto operacional, a durabilidade das ferramentas envolve fatores econômicos e ambientais. Corrêa e Corrêa (2012) associam a redução de variabilidade à maior

previsibilidade e menores estoques. Campos (2011) destaca que o descarte frequente de ferramentas metálicas fere os princípios da Produção mais limpa e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

Dessa forma, gerenciar o ciclo de vida das ponteiras Torx é uma prática Lean essencial para assegurar qualidade, confiabilidade e competitividade (Slack et al., 2009).

2.2 Fixadores Mecânicos e a Evolução dos Parafusos Torx

A evolução dos fixadores mecânicos acompanha o avanço da indústria automobilística, que exige segurança, precisão e confiabilidade nos processos de montagem (Borelli, 2012). Entre os diversos modelos, destaca-se o parafuso Torx, ou hexalobular interno, desenvolvido na década de 1960 pela Textron Fastening Systems para superar falhas comuns dos encaixes do tipo fenda ou Phillips, como o deslizamento e a deformação do parafuso (Higgins, 2010).

Sua geometria proporciona maior área de contato com a ponteira e distribuição uniforme do torque, o que reduz desgastes e aumenta a confiabilidade do sistema de fixação, especialmente em ambientes automatizados que requerem alta precisão (Machado et al., 2023).



Figura 1: Parafuso Hexalobular TORX. Fonte: DALAPAR (2020).

Segundo Miller (2015), o design dos parafusos Torx assegura maior precisão no torque, fundamental em processos automatizados, prevenindo subaperto ou sobreaperto e garantindo fixações confiáveis em setores como o automotivo e aeroespacial. Milani e Hamedi (2008) afirmam que os fixadores Torx reduzem em até 25% o tempo de montagem devido ao melhor acoplamento. Grandes montadoras, como Volkswagen, GM e Toyota, adotam amplamente esse padrão, facilitando manutenção e controle de qualidade (Miller, 2015).

Porém, o sistema Torx requer rigor operacional: desgaste da ponteira e impurezas no encaixe prejudicam o desempenho. A escolha correta da ponteira, gestão de sua durabilidade e capacitação dos operadores são essenciais (Nascimento, 2005). A qualidade da liga metálica,

tratamento térmico e frequência de uso influenciam diretamente a durabilidade; ferramentas inferiores elevam falhas e custos (Costa e Mendes, 2018).

A eficácia do sistema depende da integração entre ferramenta, ergonomia, controle de torque e manutenção, justificando a necessidade de estudos técnicos contínuos.

2.3 Gestão de Ferramentas, Capacitação e Impactos Econômicos

Na indústria automobilística, a gestão eficiente de ferramentas é estratégica para reduzir custos, garantir qualidade e evitar falhas operacionais. O desgaste acelerado de ponteiras Torx impacta diretamente a produção, elevando custos com paradas, retrabalho e substituições não planejadas (Costa e Mendes, 2018; Milani e Hamed, 2008). Em alguns casos, os custos indiretos podem superar em até três vezes o valor da própria ferramenta (Ballou, 2006).

A durabilidade das ponteiras depende da qualidade da liga metálica, tratamento térmico, torque aplicado e frequência de uso. Ferramentas de baixa qualidade resultam em falhas recorrentes, perda de produtividade e aumento dos passivos ambientais pelo descarte frequente (Nascimento, 2005; Barros et al., 2021; Seiffert, 2007).

Além dos aspectos técnicos, falhas operacionais também estão ligadas à baixa capacitação dos operadores. A falta de treinamento adequado compromete o uso correto da ferramenta, agravando o desgaste e dificultando a manutenção preventiva (Paladini, 2012; Al-Samarraie; Hurmuzan, 2018). A implementação de Procedimentos Operacionais Padronizados (POPs) e treinamentos contínuos contribui para a padronização dos processos e para o aumento da vida útil dos insumos (Coutinho, 2011; Fernandes; Godinho Filho, 2010).

A ausência de controle sobre o ciclo de vida das ponteiras reduz o desempenho dos equipamentos (OEE) e compromete a previsibilidade do processo (Slack et al., 2009). Sistemas de rastreabilidade e o envolvimento ativo das equipes, como propõe o modelo de Manutenção Produtiva Total (TPM), tornam-se fundamentais para uma gestão eficaz e sustentável dos recursos (Nakajima, 1989).

2.4 Ferramentas da Qualidade Aplicadas na Análise do Problema

A análise das causas do desgaste prematuro das ponteiras Torx utilizou ferramentas da qualidade para diagnóstico e estruturação das ações corretivas. O uso integrado do Diagrama de Ishikawa, do método dos 5 Porquês e do plano 5W2H permitiu identificar causas raiz, planejar intervenções e promover a melhoria contínua do processo (Ishikawa, 1986; Ohno, 1988; Paladini, 2012).

O Diagrama de Ishikawa organizou visualmente as causas em seis categorias (6M): mão de obra, métodos, máquinas, materiais, meio ambiente e medição, facilitando o levantamento colaborativo de hipóteses. As causas mais relevantes foram aprofundadas com os 5 Porquês, permitindo chegar à origem do problema. Em seguida, as ações foram estruturadas com o plano 5W2H, adaptado sem o item “How much”, por se tratar de medidas de baixo custo.

A integração dessas ferramentas com a participação de operadores, supervisores e técnicos proporcionou uma análise sistêmica, envolvendo fatores técnicos, operacionais e humanos. Esse modelo segue os princípios da Indústria 4.0 e do Lean Manufacturing, com foco na eliminação de desperdícios e no fortalecimento da cultura de melhoria contínua (Rodrigues et al., 2023; Campos, 2004).

A metodologia adotada foi qualitativa e exploratória, por meio de estudo de caso em uma empresa do setor de fibra de vidro localizada em Botucatu/SP. Foram realizadas observações in loco, entrevistas com colaboradores e análise de dados históricos de consumo de ponteiros, visando mapear as principais falhas no processo.

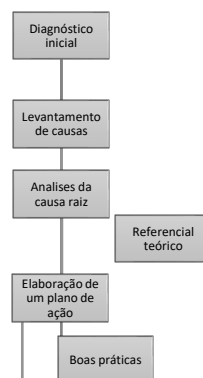


Figura 2 Estrutura metodológicas de desenvolvimento da pesquisa.

3. OBJETIVO

O presente trabalho propõe, assim, uma análise detalhada dos fatores que levam ao desgaste acelerado das ponteiros Torx, com foco nos aspectos técnicos, operacionais e humanos. Com base nessa questão, o objetivo geral da pesquisa é identificar, analisar e propor ações corretivas para minimizar o desgaste precoce dessas ferramentas.

3.1 Objetivos específicos

- Mapear as principais causas da deterioração;
- Testar marcas distintas de ponteiros em condições controladas;
- Avaliar o nível de conhecimento dos operadores e;

- Propor um plano de ação utilizando as ferramentas da qualidade — Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês e 5W2H — para orientar a implementação de melhorias.

4. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa aplicada, focada na análise prática de um problema real — o elevado gasto de ponteiros decorrente de fadiga e deformação. O método utilizado envolve ferramentas clássicas da qualidade, eficazes para identificação de causas e estruturação de soluções.

A coleta de dados ocorreu por observações in loco, entrevistas com operadores e supervisores, análise de relatórios internos e revisão documental. Para estimar o desperdício mensal, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$VM = CMA - CMx$$

$$\% \text{ de redução} = \frac{(CMA - CMD) \times 100}{CMA}$$

Onde:

CMA representa o Custo Mensal Atual;

CMx é o custo mensal do modelo “D”, que teve o melhor custo-benefício;

VM é o valor economizado;

% de redução é o percentual de economia obtido em relação ao modelo inicialmente utilizado.

As etapas da metodologia seguiram a seguinte sequência:

4.1 Análise do Problema e Ação Proposta

O diagnóstico inicial foi conduzido por um comitê técnico composto por colaboradores das áreas de montagem, processo e supervisão. A equipe analisou registros históricos de consumo e observações de campo, identificando um padrão de desgaste prematuro das ponteiros Torx em determinadas células produtivas.

Com base nas hipóteses levantadas, foi elaborado um Diagrama de Ishikawa, categorizando as causas potenciais nos seis grupos clássicos (6M): mão de obra, métodos, máquinas, materiais, meio ambiente e medição. A análise revelou fatores recorrentes como: falta de capacitação dos operadores, uso de ponteiros de baixa qualidade, ausência de controle sistemático do desgaste, falhas na regulação das parafusadeiras e incompatibilidade entre ferramenta e ponteiro.

DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ISHIKAWA)					
MÃO DE OBRA	MATERIAIS	MEIO AMBIENTE	MÁQUINA	MEDIDA	MÉTODO
Colaborador sem treinamento	Qualidade das ponteiros	Exposição das ponteiros a umidade excessiva, favorecendo	Calibração da ferramenta	Falta de monitoramento do desgaste da	Falha no procedimento
Conhecimento do colaborador sobre o procedimento correto para exercer a	Compatibilidade entre a ponteira e ferramenta	Presença de poeira e resíduos abrasivos que aceleram o desgaste	Vibração excessiva da ferramenta, acelerando o desgaste da ponteira	Falta de indicadores ou controles visuais de desgaste das ponteiros	Falta de orientação do modo certo de utilizar a ferramenta
Uso inadequado de força excessiva pelo operador	Uso de ponteiros com baixa resistência ao torque aplicado	Falta de controle sobre a temperatura do ambiente, alterando propriedades do material	Deficiência na manutenção preventiva da parafusadeira pneumática	Ausência de uma rotina sistemática de inspeção da ferramenta antes e após o uso	Procedimento operacional padrão (POP) desatualizado ou inexistente
Falta de atenção na centralização da ponteira com o parafuso	Ausência de tratamento térmico adequado nas ponteiros	Contaminação cruzada com outros lubrificantes inadequados	Desalinhamento entre a ferramenta e a peça	Não definição de critérios claros para troca preventiva das ponteiros	Falta de padronização na especificação da ponteira ideal para cada tipo de fixação
Troca tardia da ponteira, mesmo quando já apresenta desgaste	Compra de ponteiros de fornecedores com qualidade inconsistente		Uso incorreto do torque, mesmo com calibração — por exemplo, aplicação contínua em ângulo incorreto	Erro no registro de vida útil das ponteiros, dificultando o planejamento de reposição	Não utilização de acessórios que prolongam a vida útil da ponteira, como limitadores de profundidade
Rotatividade elevada de operadores, gerando falta de padronização na operação	Desgaste prematuro devido a materiais abrasivos presentes no ambiente de trabalho				Adoção de práticas inadequadas, como o uso de ponteiros danificados para finalizar tarefas

Figura 3 Diagrama de causa e efeito Ishikawa aplicado na empresa estudada. Fonte: Autoria Própria (2023)

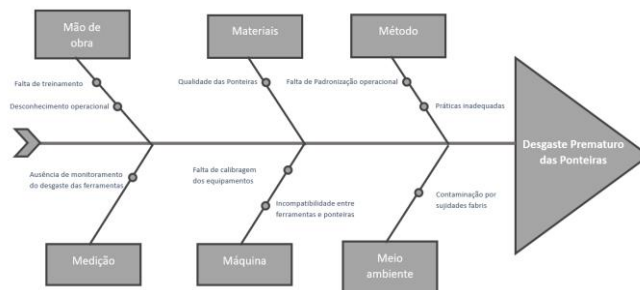


Figura 4 Diagrama Ishikawa: Desgaste Prematuro das ponteiros TORX T30. Fonte: Autoria Própria (2025)

As três causas consideradas prioritárias foram aprofundadas com o método dos 5 Porquês, que levou às seguintes conclusões: ponteiros com desempenho técnico insuficiente, operadores sem treinamento padronizado e inexistência de um responsável direto pelo monitoramento das ferramentas, conforme apresentado na **Figura 5**.

ANÁLISE DOS 5 PORQUÊS				
Qualidade das ponteiros	Porque as ponteiros estão tendo um desgaste muito rápido	Porque o material da ponteira não tem uma boa durabilidade	Porque a empresa está utilizando ponteiros de baixa qualidade	
Conhecimento do colaborador sobre o procedimento correto para exercer a operação	Porque o supervisor não deu os treinamentos necessários para o colaborador executar a operação	Falta de treinamento		
Falta de monitoramento do desgaste da ferramenta	Falta de procedimento de monitoramento	Não tem colaboradores responsáveis por esse monitoramento	Falta de atribuição clara para o responsável para essa atividade	

Figura 5 Análise dos 5 Porquês aplicada na empresa estudada, Fonte: Autoria Própria (2023)

Para tratar as causas identificadas, foi desenvolvido um plano de ação com base na ferramenta 5W2H (adaptada, sem o item “How much”), contemplando:

- **Qualidade das ponteiros:** realização de testes comparativos entre três marcas e um modelo com adaptador e bit intercambiável;
- **Capacitação:** aplicação de treinamentos técnicos pelos supervisores com foco em torque, posicionamento e inspeção visual;
- **Monitoramento:** atribuição da responsabilidade ao monitor da área para registrar e acompanhar o desgaste das ponteiros.

As ações propostas foram aplicadas em paralelo à fase de testes controlados, com o objetivo de mensurar resultados práticos e validar as melhorias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados testes controlados para comparar a durabilidade de quatro modelos de ponteiros Torx T30, com o objetivo de reduzir os custos de reposição. A operação foi padronizada com torque de 40 Nm, conforme instrução interna da empresa (DOCUMENTO INTERNO, 2023), simulando os 2.880 ciclos mensais de fixação realizados na célula de montagem.

Os resultados demonstraram diferenças significativas entre os modelos testados. O modelo “A”, então em uso, apresentou alto desgaste, com consumo médio de 15 unidades por mês e custo mensal de R\$ 330,00. Os modelos “B” e “C” proporcionaram economias de R\$ 180,00 e R\$ 266,00, respectivamente. O melhor desempenho foi obtido com o modelo “D”, composto por um adaptador com bit intercambiável, cujo custo mensal foi de apenas R\$ 19,04 — uma economia de R\$ 310,96, representando redução de 94,23% em relação ao modelo anterior, conforme dados apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1 Comparativo de custo mensal entre modelos de ponteiros Torx. *Fonte: Autoria própria (2025).*

	VALOR UNID.	TEMPO DE USO EM DIAS	QUANT. UTILIZADA EM 2.880 CICLOS (MENSAL)	GASTO MENSAL
MODELO "A"	R\$ 22,00	2	15	R\$ 330,00
MODELO "B"	R\$ 25,00	5	6	R\$ 150,00
MODELO "C"	R\$ 32,00	20	2	R\$ 64,00
MODELO "D"*	R\$ 13,99	24	1	R\$ 19,04
	R\$ 5,05	24	1	

Na primeira coluna é apresentado os modelos, na coluna seguinte é apresentado o valor unitário de cada um dos modelos (MODELO “D” *, apresenta o valor do bit e do soquete), na terceira coluna temos a quantidade de dias que uma ponteira conseguiu resistir na operação, sendo que em um dia é feito 144 ciclos de apertos.

Esse resultado está alinhado ao estudo de Costa e Mendes (2018), que apontam a gestão eficaz das ferramentas como fator de redução significativa nos custos operacionais. A

substituição estratégica da ponteira, associada à padronização de uso e à capacitação dos operadores, demonstrou ser uma solução de alto impacto com investimento mínimo.

Durante os testes, também foram realizadas instruções técnicas com os operadores, focando no posicionamento correto da ponteira, limpeza dos encaixes e verificação da regulagem das parafusadeiras. A orientação para calibragem diária dos equipamentos — assegurando torque constante de 40 Nm — foi incorporada à rotina, e os registros passaram a ser acompanhados pelo líder da célula produtiva.

Essas ações reforçaram a importância do fator humano na durabilidade das ferramentas, conforme destacado por Coutinho (2011) e Paladini (2012). Operadores mais conscientes e treinados contribuíram diretamente para a estabilidade do processo e a redução de falhas por uso incorreto.

5.1. Análise de Incertezas e Estatísticas dos resultados

Além da análise comparativa dos custos mensais, foi realizada uma estimativa de incerteza baseada na variação do consumo mensal e no custo unitário das ponteiras. Considerando que o modelo A possui um custo médio mensal de R\$ 330,00 com uma possível flutuação de $\pm$ R\$ 10,00, e que o modelo D apresentou custo mensal de R\$ 19,04 com variação estimada de $\pm$ R\$ 2,00 (devido à durabilidade do bit e do adaptador), foi aplicada a fórmula de propagação de erro:

$$\Delta_{TOTAL} = \sqrt{(\Delta_A)^2 + (\Delta_D)^2}$$

Sendo:

- $\Delta_A = \pm$ R\$ 10,00 (variação do modelo A)

- $\Delta_D = \pm$ R\$ 2,00 (variação do modelo D)

Logo:

$$\Delta_{TOTAL} = \sqrt{(10^2 + 2^2)} = \sqrt{104} \approx \pm R\$10,20$$

Com isso, a economia mensal obtida com a substituição do modelo é estimada em R\$ 310,96 $\pm$ 10,20, o que representa uma redução de 94,23% $\pm$ 3,1% em relação ao modelo anterior. Essa incerteza reforça a confiabilidade dos resultados mesmo com pequenas variações operacionais.

Para aprofundar a análise, foram avaliados quatro modelos de ponteiras com base em seus custos unitários, consumo mensal e durabilidade média em dias. A tabela abaixo resume os dados coletados:

Tabela 2 Comparativo entre modelos de ponteiras Torx T30 quanto à durabilidade, custo unitário, consumo mensal e custo total estimado. Fonte: Autoria Própria.

Modelo	Durabilidade (Dias)	Custo Unit. (R\$)	Consumo Mensal (Un)	Custo Mensal (R\$)
A	2	R\$ 22,00	15	R\$ 330,00
B	5	R\$ 25,00	6	R\$ 150,00
C	20	R\$ 32,00	2	R\$ 64,00
D	24	R\$ 13,99	1	R\$ 19,04
	24	R\$ 5,05	1	

Para que fosse possível avaliar a relação entre a durabilidade das ponteiras e custos mensais, foi calculado o coeficiente de relação de Pearson, utilizando a seguinte formula:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde:

- x_i representa os valores de durabilidade,
- y_i representa os valores de custo mensal,
- $\bar{x}$ e $\bar{y}$ são as médias respectivas de cada variável.

O valor obtido foi de $r = -0,92$, o que indica uma correlação negativa muito forte. Ou seja, quanto maior a durabilidade da ponteira, menor tende a ser o custo mensal.

Também foi aplicada uma regressão linear simples, que demonstrou que a cada dia adicional de durabilidade, o custo mensal tende a reduzir, em média, R\$ 11,34. O modelo apresentou $R^2 = 0,845$, indicando que cerca de 84,5% da variação no custo pode ser explicada pela durabilidade da ponteira. O p-valor obtido foi de 0,027, demonstrando que o modelo é estatisticamente significativo.

Esses dados estatísticos confirmam, de forma quantitativa, a viabilidade da substituição do modelo, com significativa redução de custo e variabilidade operacional.

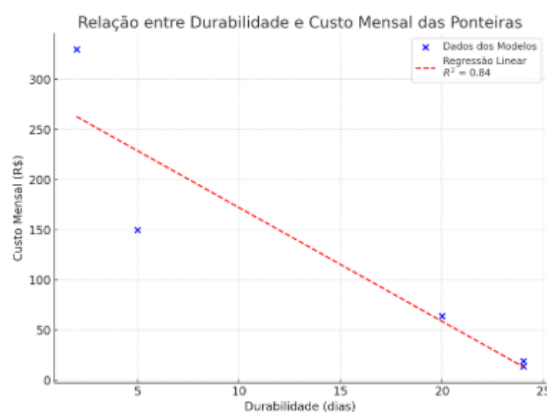


Figura 6 Relação entre a durabilidade das ponteiras Torx T30 e o custo mensal de reposição. Fonte: Autoria Própria (2025)

6. CONCLUSÃO

O estudo permitiu identificar as principais causas do desgaste prematuro de ponteiros Torx T30 em uma linha de montagem e demonstrou que ações de baixo custo podem gerar reduções significativas nos gastos operacionais. O uso de ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa, o método dos 5 Porquês e o plano 5W2H, possibilitou um diagnóstico estruturado e eficiente das causas técnicas, operacionais e humanas envolvidas no problema.

A substituição do modelo de ponteiro por uma versão com adaptador e bit intercambiável (modelo D) gerou uma economia de 94,23% em relação ao modelo anterior, demonstrando a importância de testes comparativos e critérios técnicos na escolha de insumos.

Considerando essa economia mensal de R\$ 310,96, estima-se uma redução de custos superior a R\$ 3.700,00 ao ano — com potencial de ampliação caso a solução seja replicada em outros setores da produção.

Associadas à padronização do uso e à capacitação dos operadores, as ações implantadas reduziram falhas, ampliaram a durabilidade das ferramentas e melhoraram a previsibilidade do processo.

Os resultados estão alinhados com princípios do Lean Manufacturing e com estudos que reforçam a relação entre gestão de ferramentas, qualificação da força de trabalho e sustentabilidade operacional. Reforça-se, assim, que decisões técnicas simples, baseadas em dados e executadas com disciplina, podem gerar impactos significativos na eficiência industrial.

Recomenda-se a continuidade do monitoramento dos insumos e a replicação do modelo de análise aplicado neste trabalho para outros recursos críticos da produção. A formalização dos procedimentos e a cultura de melhoria contínua são fundamentais para garantir a longevidade dos resultados e a competitividade da empresa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SAMARRAIE, H.; HURMUZAN, S. The influence of familiarity and user interface design on e-learning acceptance: A review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, v. 15, n. 3, p. 1–17, 2018.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BARROS, F. R.; MARTINS, T. J.; LIMA, A. C. Otimização da durabilidade de ferramentas de aperto por meio de tratamentos superficiais. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 17, n. 45, p. 256–270, 2021.
- BICHENO, J.; HOLWEG, M. *O guia para o pensamento enxuto: como usar o pensamento enxuto para transformar sua organização*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- BORELLI, F. M. *Elementos de fixação: parafusos, porcas, pinos e rebites*. São Paulo: Érica, 2012.
- BRANDÃO, H. P.; NOVAES, A. G. N. Sustentabilidade na cadeia de suprimentos: estratégias e práticas na indústria brasileira. *Revista de Administração da UFSM*, v. 6, n. 2, p. 327–345, 2013.
- CAMPOS, V. F. *TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)*. 9. ed. Belo Horizonte: INDG, 2011.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de produção e operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- COSTA, R. B.; MENDES, G. H. S. Aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria de processos industriais: estudo de caso em uma indústria metalúrgica. *Revista Produção Online*, v. 18, n. 4, p. 1280–1303, 2018.
- COUTINHO, A. L. Gestão de pessoas e competências: um modelo para capacitação contínua. *Revista Gestão & Tecnologia*, v. 11, n. 2, p. 56–70, 2011.
- DALAPAR. Parafuso hexalobular Six Lobe Torx abaulada autoatarraxante ISO 14585. [Imagem]. 2020. Disponível em: <https://www.dalapar.com.br/wp-content/uploads/2020/07/PARAFUSO-HEXALOBULAR-SIX-LOBE-TORX-ABAUULADA-AUTOATARRAXANTE-ISO-14585-img1.jpg>. Acesso em: 24 maio 2025.
- FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Capacitação de operadores e estabilidade do processo: um estudo de caso em ambiente de produção enxuta. *Revista Gestão & Produção*, v. 17, n. 1, p. 55–70, 2004.
- HIGGINS, L. R. *Maintenance engineering handbook*. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

- IMAI, M. *Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo*. São Paulo: IMAM, 1994.
- ISHIKAWA, K. *What is total quality control? The Japanese way*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986.
- LIKER, J. K. *O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo*. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- MACHADO, L. T.; PEREIRA, V. H.; SANTOS, J. R. Avaliação da performance de sistemas de fixação Torx sob diferentes condições de torque em ambientes industriais. *Revista Matéria (UFRJ)*, v. 28, n. 1, p. e12858, 2023.
- MILANI, J. R.; HAMED, M. Estudo sobre a durabilidade de ponteiros Torx em processos industriais. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia da Produção – COBEPRO*, 2008.
- MILLER, S. Fastening systems: trends and technologies in automotive assembly. *Automotive Engineering*, SAE International, 2015.
- NAKAJIMA, S. *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Portland: Productivity Press, 1989.
- NASCIMENTO, P. M. Comparativo técnico de ponteiros de aperto em linhas de produção. *Revista de Engenharia Mecânica Aplicada*, v. 7, n. 2, p. 101–107, 2005.
- OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1988.
- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 11 maio 2025.
- PALADINI, E. P. *Gestão da qualidade: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- RODRIGUES, A. P.; ALMEIDA, J. R.; COSTA, C. R. Aplicação de ferramentas da qualidade no contexto da Indústria 4.0: estudo em empresa do setor metalmeccânico. *Revista Gestão Industrial*, v. 19, n. 1, p. 109–127, 2023.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. *Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- SANTOS, E. F.; GOMES, L. R.; FERREIRA, M. T. Impacto do desgaste de ferramentas nos custos ocultos da produção: um estudo de caso em montadora automotiva. *Revista Gestão & Tecnologia*, v. 22, n. 3, p. 87–104, 2022.
- SEIFFERT, M. E. B. *Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações*. São Paulo: Atlas, 2007.

SHINGO, S. *Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

EMPRESA ESTUDADA. *Manual de operação e procedimentos padrão: especificações técnicas das parafusadeiras pneumáticas*. [Documento interno]. Botucatu, 2023.