

## **FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE USINAGEM EM UMA EMPRESA DO SETOR DE AUTOPEÇAS**

**Luiz Felipe Matos Franco**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Boituva  
luizfelipefranco26@gmail.com

**Henrique Küll Neto**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Boituva  
henrique.kn@ifsp.edu.br

**RESUMO:** As ferramentas da qualidade são instrumentos que permitem a melhoria de processos, pois facilitam a identificação e a solução de problemas. Na usinagem em acabamento é necessário garantir as tolerâncias dimensionais e a textura superficial especificadas no projeto do produto, o que depende de diversas variáveis, como: parâmetros de usinagem, material e geometria da ferramenta, sistema de fixação da peça e máquina utilizada no processo. Este trabalho é um estudo de caso realizado em uma empresa do setor automotivo, que teve como objetivo identificar a causa da ocorrência um elevado índice de refugos na produção de uma engrenagem da bomba de óleo do motor de combustão interna. A metodologia escolhida para a abordagem do problema foi o ciclo *DMAIC*, englobando diversas ferramentas da qualidade. Os resultados permitiram concluir que a máquina que é utilizada pela empresa não é capaz de manter a estabilidade dimensional que o produto necessita.

**PALAVRAS-CHAVE:** *DMAIC*. Seis Sigma. Torneamento.

## 1. Introdução

No mundo atual, totalmente globalizado, o mercado tem se tornado cada vez mais competitivo e as empresas brasileiras precisam se adequar a essa nova condição para garantirem o seu espaço. A melhoria constante dos indicadores de produção e de qualidade dos produtos é essencial para que as empresas se mantenham competitivas, frente aos avanços tecnológicos e mudanças dos padrões de consumo da sociedade (SANTOS *et al.*, 2021).

A implementação de ações de melhoria contínua pode proporcionar ganhos de eficiência nos processos industriais (MARTINS e TOLEDO, 1998). Portanto, as empresas brasileiras precisam inovar e se adaptar ao cenário atual, procurando meios mais eficientes de produção, já que os clientes estão cada vez mais exigentes, buscando o melhor produto pelo menor preço possível. Assim, o conceito atualmente utilizado é o de fazer mais com menos, reduzindo os custos operacionais e evitando desperdícios.

As ferramentas da qualidade são capazes de otimizar os processos operacionais de uma empresa e permitem a identificação e entendimento das causas de um problema, auxiliando na sua solução. Essas ferramentas estão relacionadas às etapas de um ciclo *DMAIC*, que é bastante utilizado na abordagem Seis Sigma, e objetiva a melhoria da qualidade de produtos e processos (DANIEL e MURBACK, 2014).

A usinagem é um dos processos de fabricação mais importantes na indústria mecânica e, por ser capaz de produzir peças acabadas, sua otimização pode ter um impacto significativo na redução dos custos totais de produção de uma peça. Por outro lado, o controle do processo é dificultado pela grande quantidade de variáveis envolvidas (PERUCHI *et al.*, 2020).

Este trabalho trata-se de um estudo de caso, em que se buscou aplicar ferramentas da qualidade em um ciclo *DMAIC*, para identificar e resolver problemas de usinagem em uma empresa do setor de autopeças. O estudo baseou-se na análise da operação de torneamento interno de uma engrenagem que é conectada ao virabrequim do motor automotivo e é responsável por comandar a bomba de óleo do motor. Um componente mecânico importante, que exige alta precisão de usinagem e cuja fabricação tem resultado em um elevado índice de refugos, gerando insatisfação por parte dos clientes.

Desse modo, a redução do índice de refugos desta linha de produção permitirá que a empresa reestabeleça a confiança dos seus clientes, melhorando sua credibilidade no mercado e possibilitando o estabelecimento de novas parcerias e projetos. Para cumprir seus objetivos, o trabalho apresenta a fundamentação teórica, seguida pela metodologia utilizada para coleta e análise dos dados, resultados e conclusões.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Ferramentas da Qualidade

O programa Seis Sigma foi desenvolvido pela empresa Motorola, após diversas tentativas malsucedidas de implementação de programas de qualidade. Sua aplicação resultou em ganhos financeiros acima de 1,3 bilhões de dólares, o que contribuiu para a sua difusão para outras empresas norte americanas, que trouxeram esse programa ao Brasil por meio de suas subsidiárias (CARVALHO *et al.*, 2007).

Linderman *et al.* (2003) referem-se ao Seis Sigma como um método organizado e sistemático para a melhoria estratégica de processos e de novos produtos, que depende de métodos estatísticos e científicos para a obtenção de reduções significativas na taxa de defeitos definida pelo cliente. Marchwinski *et al.* (2008) também mostraram que o Seis Sigma representa uma nova abordagem organizacional e estrutural para atingir melhorias e reduções de variabilidades.

As ferramentas da qualidade são instrumentos que permitem a identificação das causas de problemas e auxiliam nas tomadas de decisões para solucioná-los. São utilizadas para identificar e propor soluções para os problemas que interferem no desempenho dos processos organizacionais, além de ajudar a estabelecer melhorias de qualidade (DANTAS *et al.*, 2014).

O *DMAIC* é uma metodologia aplicada na solução de problemas, utilizada em programas Seis Sigma para melhorar a qualidade de processos, permitindo identificar e resolver as causas principais de defeitos, por meio de um roteiro de ações predefinido (GODINA *et al.*, 2021). A sigla, em inglês, significa *Define, Measure, Analyze, Improve e Control* (em português: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), sendo, portanto, um ciclo de ações que pode ser repetido quantas vezes forem necessárias, até que se atinja o resultado desejado (NADOLNY, 2014).

Conforme descrito por Oliveira *et al.* (2013), a primeira fase do ciclo *DMAIC* consiste na identificação das necessidades do cliente, que se tornarão especificações do processo. Durante a segunda fase será realizada a medição do desempenho de cada etapa do processo, para identificação de pontos que necessitam de melhoria. Na terceira fase ocorrerá a análise dos resultados, enquanto na quarta fase serão avaliadas e implementadas as melhorias no processo. Por fim, na quinta fase, se estabelecerá um sistema de controle permanente, para garantia da qualidade.

As ferramentas da qualidade podem ser incorporadas ao ciclo *DMAIC* para facilitar a identificação de problemas de qualidade. Entre as diversas ferramentas, pode-se citar a folha de verificação, gráfico de Pareto, gráfico sequencial, diagrama de Ishikawa e o *brainstorming*.

As folhas de verificação são tabelas que auxiliam a análise de dados, por meio da identificação da frequência de ocorrência de eventos previamente selecionados, em um período definido (RODRIGUES, 2012).

O gráfico de Pareto possibilita a priorização dos problemas por meio de ordenação da frequência de ocorrência de eventos, utilizando um gráfico de barras, que permite a identificação dos problemas mais frequentes (SOUZA NETO *et al.*, 2017).

De acordo com Werkema (1995), o gráfico sequencial constitui-se em um gráfico de dados ao longo do tempo. É utilizado para pesquisar tendências nos dados ao longo da produção, o que pode auxiliar na identificação de causas especiais de variação.

O diagrama de Ishikawa, é uma ferramenta da qualidade que ajuda a identificar as causas principais de um problema, permitindo relacionar os resultados de um processo com as causas que afetam esses resultados (WERKEMA, 1995). Como o número de causas encontradas pode ser elevado, elas normalmente são divididas em categorias, ou famílias, sendo elas: materiais, máquinas, métodos, meio ambiente, mão-de-obra e medidas (HOLANDA e PINTO, 2009).

A identificação das causas de um problema, segundo Holanda e Pinto (2009), pode ocorrer por meio da realização de um *brainstorming*, que é uma técnica utilizada para levantar ideias para a solução de problemas. O termo pode ser traduzido por “tempestade de ideias”, ou “explosão de ideias”, e é uma ferramenta bastante utilizada em reuniões de planejamento estratégico (WERKEMA, 1995).

Peruchi *et al.* (2020) avaliaram a aplicação do ciclo *DMAIC* em uma operação de torneamento de aço endurecido incorporando análises multivariadas ao programa Seis Sigma. Os resultados mostram que a utilização de métodos estatísticos aplicados ao ciclo *DMAIC* são eficientes e eficazes para a identificação e solução de problemas, quando existem múltiplas características críticas para a qualidade.

## 2.2 Operações de Usinagem por Torneamento

A usinagem é um processo de fabricação mecânica que dá forma ao material por meio da remoção de cavaco. Segundo Trent e Wright (2000), o torneamento é uma das operações de

usinagem mais utilizadas, na qual o material é fixado na placa do torno e colocado em rotação, enquanto a ferramenta, presa a uma torre, move-se com velocidade constante, promovendo a remoção de material e gerando um produto axialmente simétrico.

Um dos problemas mais comuns no processo de torneamento é o controle das medidas da peça. Ainda mais se tratando de peças de alta precisão, em operações de torneamento interno em acabamento. Existem diversas variáveis que devem ser controladas para o bom desempenho do processo, mantendo-o estável e com a menor variação possível.

De acordo com Lisboa *et al.* (2013), devido ao grande calor gerado pelo atrito entre a ferramenta e a peça nos processos de usinagem, o fluido de corte se mostra fundamental para manter a qualidade dimensional e do acabamento superficial da peça, pois tem como características: refrigerar a região de corte, lubrificar as áreas em atrito e retirar o cavaco da zona de corte.

As operações de torneamento interno exigem cuidados em relação à escolha de ferramentas e parâmetros de usinagem. Os longos comprimentos em balanço e o controle do escoamento de cavacos são dois desafios desse tipo de operação. Os longos balanços podem causar problemas de deflexão e vibrações da ferramenta. As vibrações e o escoamento de cavacos inadequado podem levar ao acabamento superficial insatisfatório e, até mesmo, causar a quebra da ferramenta de corte (SANDVIK, 2009).

A escolha da ferramenta de torneamento interno é limitada pelo diâmetro e comprimento do furo a ser usinado. O ideal é selecionar a ferramenta mais rígida possível, com o menor comprimento em balanço e o maior diâmetro que permita a realização do processo (SANDVIK, 2009). Escolher a ferramenta certa para a operação, aplicando-a e fixando-a corretamente, minimiza a deflexão da ferramenta e a ocorrência de vibrações, reduzindo a variabilidade das dimensões e proporcionando bom acabamento superficial.

Em operações de torneamento interno, o recomendado é que se utilize ferramentas com ângulo de saída positivo, pois isso diminui a força de corte e a força de profundidade, que é responsável por causar a deflexão da ferramenta (DINIZ *et al.*, 2014). De acordo com Sandvik (2009), a menor vibração é conseguida pela redução do ângulo de ponta, bem como do raio de ponta da ferramenta, pois esses parâmetros geométricos interferem na distribuição dos esforços de usinagem e, quanto menores forem os seus valores, menor será a vibração. O ângulo de posição da ferramenta também interfere na distribuição dos esforços, sendo recomendado que seja o mais próximo possível de 90° em operações de torneamento interno.

### 3. Metodologia

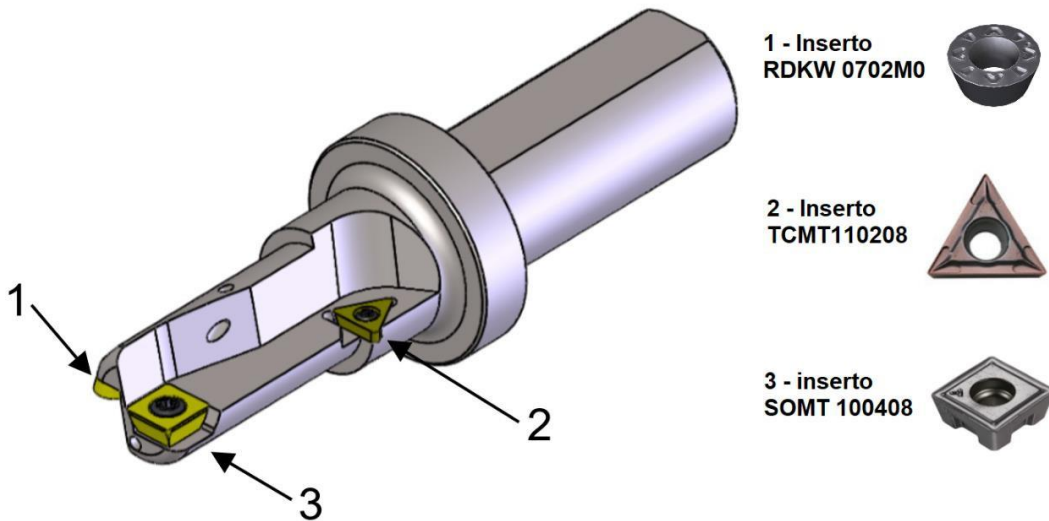
Este estudo de caso foi executado por meio de uma pesquisa descritiva e exploratória, com a finalidade de auxiliar uma empresa do setor de autopeças a solucionar seus problemas de qualidade em uma célula de produção. Foi utilizada uma abordagem quantitativa, para mensurar quais os impactos de cada defeito no índice de refugos da empresa.

O estudo foi aplicado na primeira etapa de usinagem da bomba de óleo do motor automotivo. Tal operação consiste no torneamento interno de um furo que exige alta precisão dimensional. A máquina utilizada nessa operação de usinagem é um torno INDEX, com sistema de fixação por placa com 3 castanhas e rotação máxima permitida de 7000 rpm. A pressão de fixação da peça pode ficar entre 20 e 25 bar e a concentração do fluido de corte deve ser mantida entre 3% e 5%.

O material a ser usinado foi fornecido pelo próprio cliente da empresa e consiste em um aço médio carbono produzido pelo processo de sinterização. As ferramentas e parâmetros de usinagem foram escolhidos por meio de um estudo realizado por Souza (2018). O desbaste do furo da peça sinterizada utilizou uma broca para furos escalonados, com insertos intercambiáveis, código RDKW 0702M0 YG602, TCMT 110208 VP15TF e SOMT 100408-

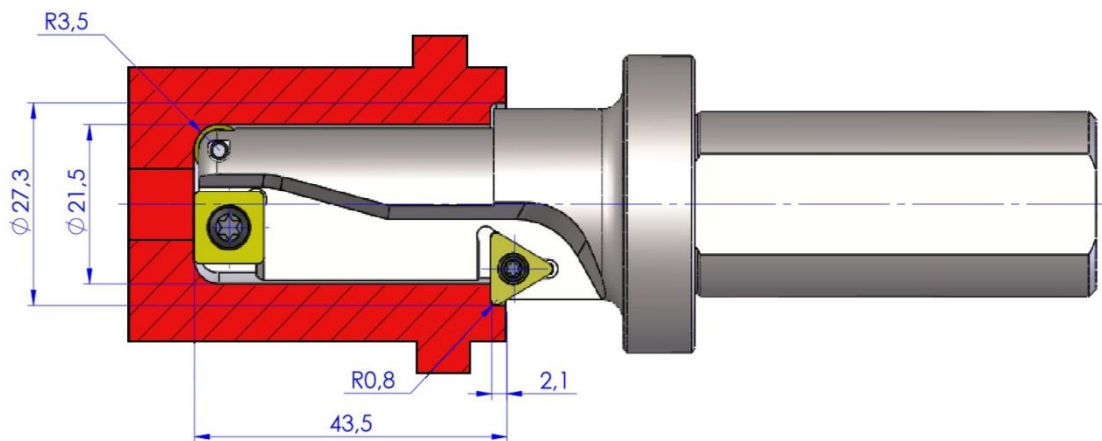
DT IC908, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2. A vida esperada dos inserts é de 250, 250 e 450 peças por aresta, respectivamente.

Figura 1 - Suporte para furo escalonado



Fonte: Souza (2018)

Figura 2 - Operação de desbaste do furo



Fonte: Souza (2018)

O acabamento do furo foi realizado por torneamento interno, utilizando-se uma ferramenta código E12Q SDUCR-07, com inserto intercambiável código DCMT 070204 MV NX2525. A vida esperada da ferramenta é de 150 peças por aresta. A Tabela 1 mostra os dados de corte utilizados na usinagem da peça, nas operações de desbaste e acabamento.

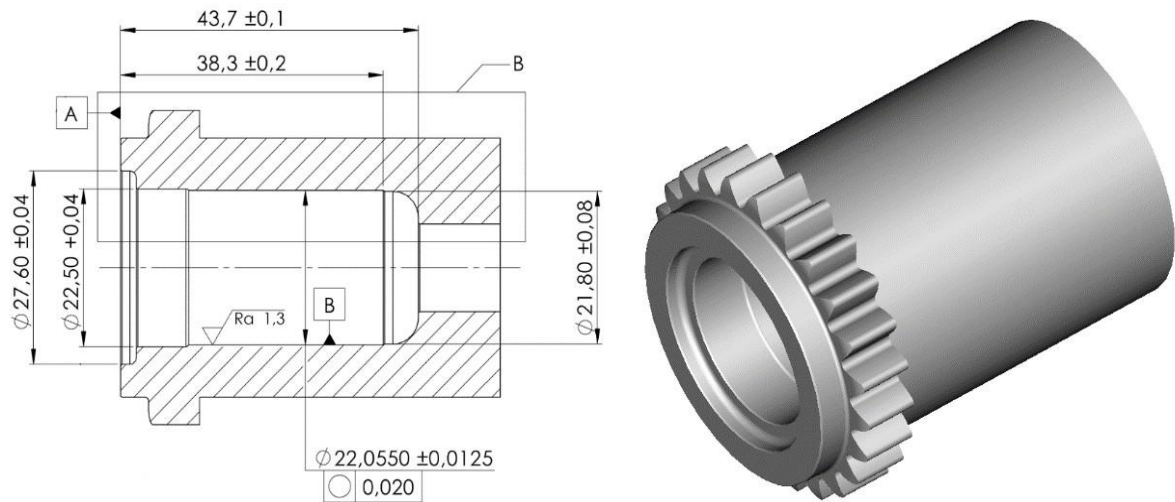
Tabela 1 - Dados de corte utilizados na usinagem da peça

	<b>Desbaste</b>	<b>Acabamento</b>
<b>Velocidade de corte (<math>v_c</math>)</b>	100 m/min	200 a 250 m/min
<b>Avanço (<math>f</math>)</b>	0,05 a 0,15 mm/rev	0,05 a 0,15 mm/rev

Fonte: Adaptado de Souza (2018)

A Figura 3 mostra o desenho da peça acabada. Nota-se que a operação de acabamento do furo deve garantir uma tolerância dimensional de 0,025 mm e uma rugosidade média ( $R_a$ ) de 1,3  $\mu$ m, além de uma tolerância geométrica de circularidade de 0,02 mm.

Figura 3 - Desenho da peça acabada



Fonte: Souza (2018)

Durante o processo de produção é realizado o controle dimensional em 100% das peças, através de uma coluna de medição eletropneumática. A medida do furo é uma característica crítica, tanto para o produto, quanto para o processo, pois possui impacto direto na operação posterior e no processo de montagem do cliente final.

A metodologia utilizada para abordagem do problema foi o ciclo *DMAIC*. A primeira etapa consistiu na definição do problema a ser resolvido. No caso, encontrar o maior contribuinte para o elevado índice de refugos na célula de produção.

Para se fazer o levantamento de dados sobre os defeitos das peças na célula de produção, foi utilizada uma folha de verificação. Após a coleta de dados, elaborou-se um gráfico de Pareto para a identificação do defeito que possui o maior impacto sobre o índice de refugos.

Além disso, foi reunida uma equipe com colaboradores de diferentes áreas da empresa para a realização de um *brainstorming*. As informações obtidas a partir do *brainstorming* permitiram a criação de um diagrama de Ishikawa, para se encontrar as possíveis causas do defeito mais recorrente.

O gráfico sequencial foi utilizado para a avaliação das paradas de máquina da célula de produção ao longo de um ano. Também foi utilizado um gráfico de barras, para identificação dos motivos de intervenções na máquina utilizada nas operações de acabamento do produto. Por fim, utilizou-se o software MINITAB para executar um estudo de capacidade do processo, a fim de avaliar a sua estabilidade.

#### 4. Resultados

A Tabela 2 mostra a folha de verificação obtida a partir da análise dos refugos da célula de produção ao longo de um mês.

A partir da análise da Tabela 2, pode-se verificar que o número total de peças que apresentaram inconformidades em relação ao projeto (refugos), ultrapassou o limite estabelecido pelo cliente, que era de 2,5% em relação ao total produzido.

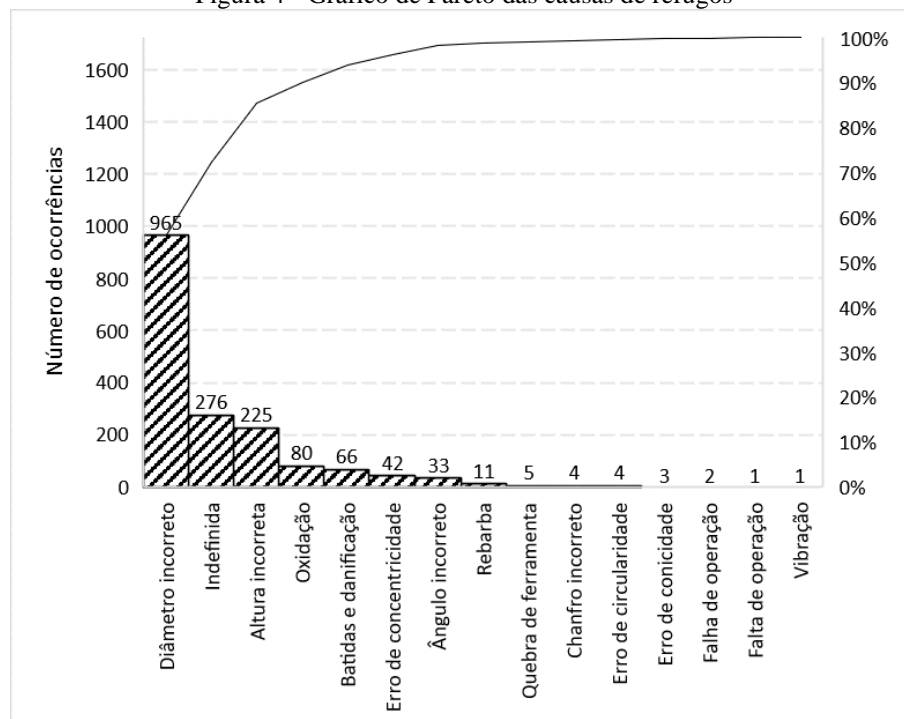
Tabela 2 - Descrição das causas de refugos

DESCRIÇÃO DOS DEFEITOS	QUANTIDADE
Batidas e danificações	66
Rebarba	11
Acabamento irregular	5
Diâmetro incorreto	965
Oxidação	80
Chanfro incorreto	4
Ângulo incorreto	33
Falta de operação	1
Trepidação	1
Falha de operação	2
Erro de circularidade	4
Quebra de ferramenta	5
Erro de concentricidade	42
Conicidade	3
Altura incorreta	225
Indefinido	276
<b>SUBTOTAL DE REFUGOS</b>	<b>1723</b>
<b>REFUGO MÁXIMO (2,5% DO TOTAL PRODUZIDO)</b>	<b>1084</b>

Fonte: Dados da empresa estudada

A Figura 4 mostra o gráfico de Pareto, que foi construído a partir dos dados coletados por meio da folha de verificação.

Figura 4 - Gráfico de Pareto das causas de refugos

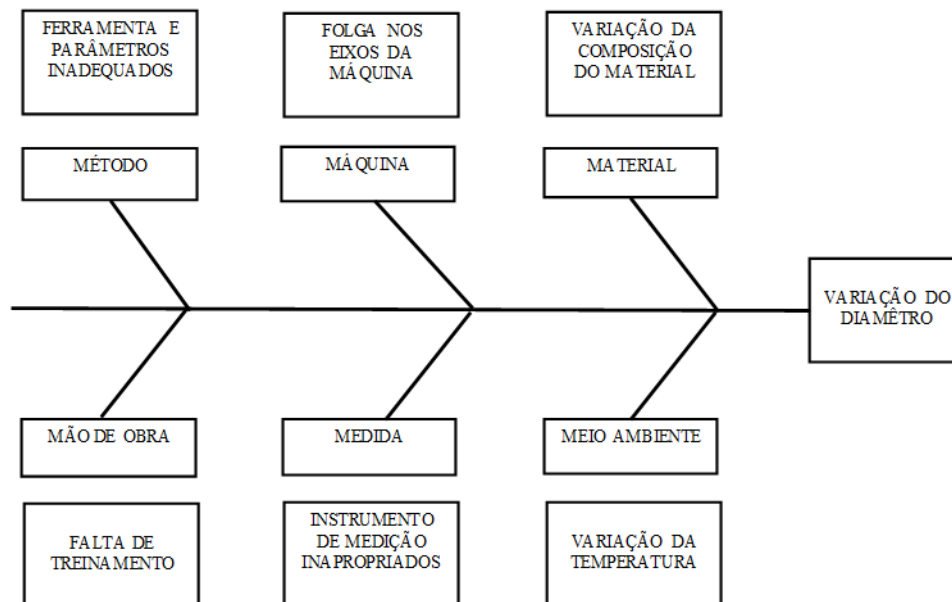


Fonte: Dados da empresa estudada

A análise da Figura 4 permite concluir que o diâmetro incorreto do furo representa 56% do total de refugos da célula de produção estudada. Por esse motivo, o primeiro ciclo *DMAIC* baseou-se na avaliação das causas deste defeito. A Figura 4 também mostra que o segundo defeito mais influente para o índice de refugos foi identificado como “indefinido”, correspondendo a 16% do total de perdas. Isso pode estar associado à falta de treinamento dos operadores que realizaram o registro das ocorrências na folha de verificação, não sendo capazes de definir a causa da inconformidade, o que deverá ser analisado em um trabalho futuro.

Após a identificação do principal defeito causador de inconformidades na célula de produção, reuniu-se uma equipe de colaboradores de diferentes áreas da empresa para a realização de um *brainstorming*, para se avaliar as possíveis causas para esse problema. As informações e sugestões obtidas a partir do *brainstorming* permitiram a elaboração de um diagrama de Ishikawa, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Diagrama de Ishikawa sobre possíveis causas de refugos



Fonte: Dados da empresa estudada

A Figura 5 mostra que as possíveis causas do alto índice de refugos podem ser resultado de:

- Falta de método adequado na seleção das ferramentas e parâmetros de usinagem para esse tipo de operação;
- Problemas inerentes à máquina utilizada na operação de torneamento interno, que pode estar apresentando folga excessiva nos eixos, ocasionando instabilidades no processo;
- Variação da composição química da matéria-prima fornecida pelo cliente, de um lote para o outro, o que pode causar instabilidade na usinagem;
- Falta de treinamento dos operadores, pois os operadores de máquinas podem não estar sabendo fazer as intervenções corretas nos parâmetros da máquina, quando necessário;
- Instrumentos de medição incapazes de fazer a aferição correta das medidas das peças, levando os operadores à tomadas de decisões erradas. Como, por exemplo, descartar uma peça boa, ou efetuar uma correção na máquina de modo desnecessário;



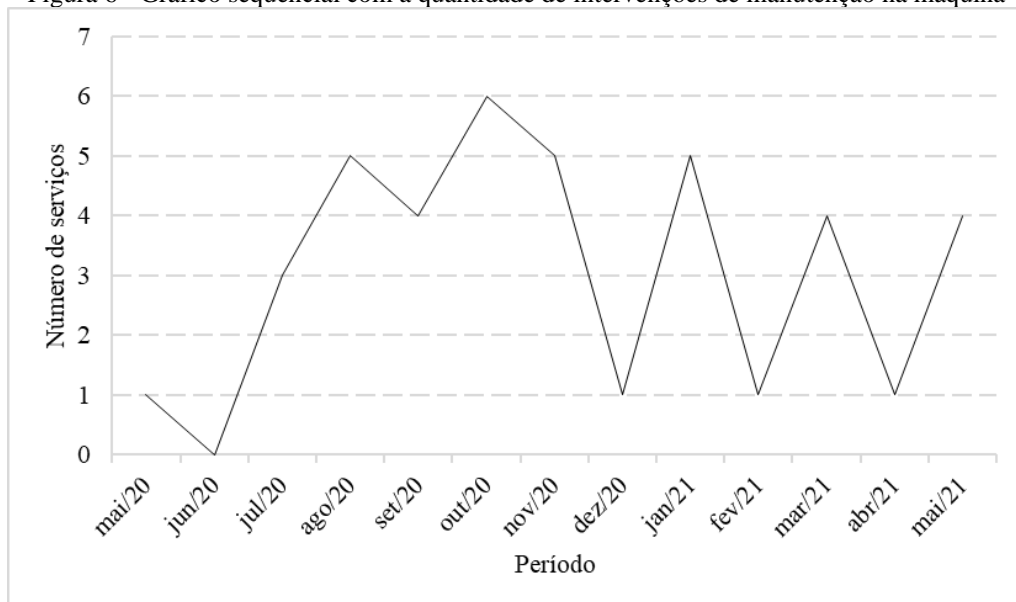
- Variação da temperatura ambiente, causando dilatação térmica dos componentes e prejudicando a precisão do processo.

O controle da composição química é feito pelo próprio cliente e a escolha das ferramentas e parâmetros de usinagem foi realizada em um estudo prévio conduzido por Souza (2018), que apresentou uma economia anual de 45% em relação aos custos com ferramental e custos hora máquina. Além disso, os instrumentos de medição são calibrados periodicamente, o que diminuiu a prioridade na abordagem dessas causas.

Com base nas informações obtidas a partir do diagrama de Ishikawa (Figura 5), decidiu-se investigar os problemas inerentes à máquina utilizada no processo de fabricação, já que esse é um fator que depende exclusivamente da empresa onde foi realizado este estudo.

Sendo assim, foi levantado o histórico de atuação do departamento de manutenção na célula de produção analisada. A Figura 6 mostra um gráfico sequencial, construído a partir do histórico de intervenções ao longo de 12 meses.

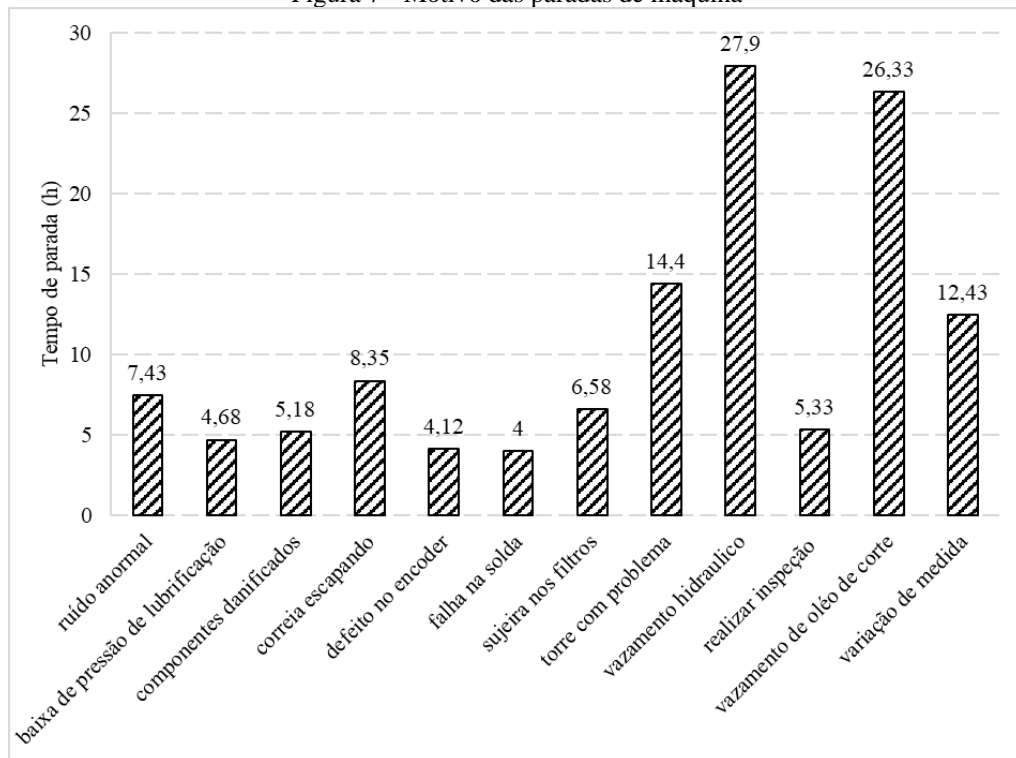
Figura 6 - Gráfico sequencial com a quantidade de intervenções de manutenção na máquina



Fonte: Dados da empresa estudada

A fim de se avaliar os motivos das intervenções de manutenção corretiva na máquina, foi construído um gráfico de barras (Figura 7), a partir das informações fornecidas pelo departamento de manutenção da empresa.

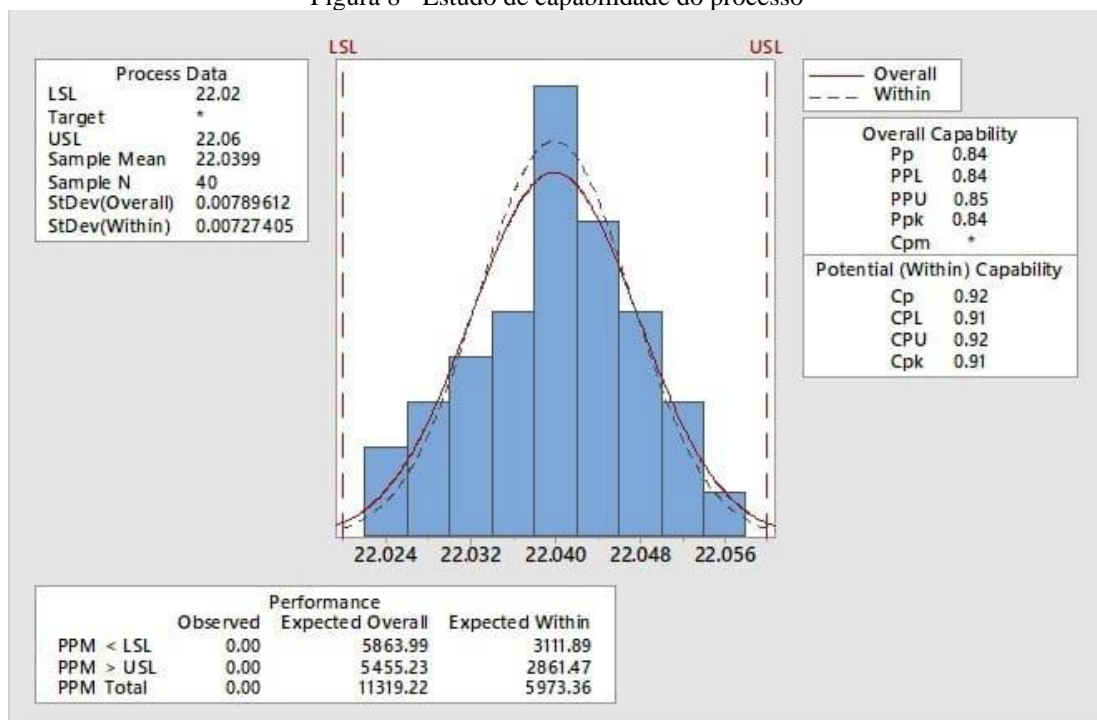
Figura 7 - Motivo das paradas de máquina



Fonte: Dados da empresa estudada

A Figura 7 mostrou que os principais motivos de parada da máquina estavam relacionados a problemas mecânicos, sendo que os principais problemas foram referentes a vazamentos de óleo hidráulico e vazamentos de fluido de corte. Por esse motivo, realizou-se um estudo de capacidade da máquina, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Estudo de capacidade do processo



Fonte: Dados da empresa estudada

A análise de capacidade (Figura 8) permitiu verificar que o índice  $c_p$  é de 0,92 e o índice  $c_{pk}$  é de 0,91. Os valores dos índices  $c_p$  e  $c_{pk}$  menores do que 1,33 (valor tomado como referência) indicam que a variação está maior do que os limites de especificação, embora a distribuição esteja centralizada. Dessa forma, pode-se inferir que a máquina utilizada não é capaz de atender as especificações do projeto do produto.

## 5. Conclusão

A aplicação das ferramentas da qualidade incorporadas ao ciclo *DMAIC* permitiu identificar que o diâmetro incorreto do furo usinado foi a principal causa do alto índice de refugos na célula de produção analisada.

O diagrama de Ishikawa, que foi construído a partir do *brainstorming* realizado com os colaboradores da empresa, mostrou que as causas de erro no diâmetro interno das peças poderiam estar associadas à falta de método adequado para a escolha de ferramentas, problemas inerentes à máquina utilizada no processo, variação da composição química da matéria-prima, falta de treinamento dos operadores, falta de precisão dos instrumentos de medição ou variação da temperatura ambiente.

Após se realizar o estudo de capacidade do processo, concluiu-se que a máquina não é robusta o suficiente para garantir a estabilidade dimensional com a precisão que o projeto do produto exige. Existem máquinas mais apropriadas para esse tipo processo no mercado, que podem garantir uma maior precisão dimensional. Porém, isto requer um investimento elevado na aquisição de um maquinário novo.

O que pode ser feito para se tentar minimizar o problema, com um menor custo para a empresa, é realizar a medição da folga dos eixos da máquina e efetuar a troca dos fusos, caso seja constatada uma folga maior do que aquela considerada normal, segundo dados fornecidos pelo fabricante da máquina.

Se mesmo assim as ações tomadas não atingirem resultados satisfatórios, recomenda-se testar alterações nos parâmetros do processo, como alteração do ângulo de posição, ângulo de ponta e raio de ponta da ferramenta, que influenciam a deflexão da ferramenta e a vibração durante a usinagem. Como o estudo se trata de um ciclo de melhoria contínua, o *DMAIC* pode ser repetido quantas vezes a empresa considerar necessárias em futuras avaliações do processo, até se atingir o resultado desejado.

## Referências

CARVALHO, Marly Monteiro; HO, Linda Lee; PINTO, Silvia Helena Boarin. Implementação e difusão do programa Seis Sigma no Brasil. **Produção**, v. 17, n. 3, p. 486-501, 2007.

DANIEL, Érika Albina; MURBACK, Fábio Guilherme Ronzelli. Levantamento bibliográfico das ferramentas da qualidade. **Revista do curso de administração**. Poços de Caldas: PUC Minas, n. 08, 2014.

DANTAS, Leila Figueiredo; SAKURABA, Celso Satoshi; ALVES, Uitan Barreto; MOURA, Evelin Mara dos Reis; FIGUEIREDO, Luiz Eduardo Nascimento. As Ferramentas da Qualidade Integradas ao Método de Solução de Problemas para a Melhoria dos Processos de uma Linha de Produção de uma Fábrica de Produtos Elétricos. In: XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, 2014. **Anais do XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Curitiba: ABEPRO, 2014.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 9.ed. São Paulo: Artliber, 2014.

GODINA, Radu; SILVA, Beatriz Gomes Rolis; ESPADINHA-CRUZ, Pedro. A DMAIC Integrated Fuzzy FMEA Model: A Case Study in the Automotive Industry. **Applied Sciences**, v.11, p.1-17, 2021.

HOLANDA, Mariana de Almeida; PINTO, Ana Carla Bittencourt Reis Fernandes. Utilização do Diagrama de Ishikawa e Brainstorming para Solução do Problema de Assertividade de Estoque em uma Indústria da Região Metropolitana de Recife. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, 2009. **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador: ABEPRO, 2009.

LINDERMAN, Kevin; SCHROEDER, Roger G; ZAHEER, Srilata, CHOO, Adrian S. Six Sigma: a goal-theoretic perspective, **Journal of Operations Management**, v. 21, n. 2, p. 193-203, 2003.

LISBOA, Fabio Cordeiro.; MORAES, Jessyca Jordanna Barroso; HIRASHITA, Massako de Almeida. Fluidos de corte: Uma abordagem geral e novas tendências. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2013. **Anais do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador: ABEPRO, 2013.

MARCHWINSKI, Chet; SHOOK, John; SCHROEDER, Alexis. **Lean lexicon**: a graphical glossary for lean thinkers. 4 ed. Cambridge: Lean Enterprise Institute, 2008.

NADOLNY, Rodrigo Bueno. **Estudo de caso**: Six sigma e seu uso nas aplicações de marketing utilizando o método Dmaic. Curitiba: UFPR, 20 p. Especialização - Marketing Empresarial, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, José Augusto; QUEIROZ, Geandra Alves; ESPOSTO, Kleber Francisco; RENTES, Antônio Freitas; OMETTO, Aldo. Um Estudo Quantitativo em Trabalhos Científicos sobre o Método DMAIC para a Sustentabilidade Ambiental Empresarial. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2013. **Anais do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador: ABEPRO, 2013.

PERUCHI, Rogerio Santana; ROTELA JUNIOR, Paulo; BRITO, Tarcisio G.; PAIVA, Anderson P.; BALESTRASSI, Pedro P.; Araujo, Lavinia M. Mendes. Integrating Multivariate Statistical Analysis Into Six Sigma DMAIC Projects: A Case Study on AISI 52100 Hardened Steel Turning. **IEEE Access**, vol. 8, p. 34246-34255, 2020.

RODRIGUES, Marcus Vinícius. **Ações para a qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SANDVIK Coromant. **Manual Técnico**. Sandviken: Sandvik, 2009.

SANTOS, Diego Michael Cornelius; SANTOS, Bruna Karine; SANTOS, César Gabriel. Implementation of a standard work routine using Lean Manufacturing tools: A case Study, **Gestão & Produção**, v. 28, p. 1-15, 2021.

SOUZA, Odirlei. **Melhoria do Processo de Usinagem em Torno CNC da Engrenagem da Bomba de Óleo do Motor Automotivo**. Sorocaba: FATEC, 2018. 46 p. Trabalho de conclusão de curso - Graduação em Tecnologia de Fabricação Mecânica, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2018.

SOUZA NETO, Rubens Mendonca; GALDINO, Derycly Douglas Eufrasio; DANTAS, Saulo de Moraes; SILVA NETO, José Marcelino. Aplicação das Sete Ferramentas da Qualidade em uma Fábrica de Blocos Standard de Gesso. In: XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Joinville, 2017. **Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Joinville: ABEPRO, 2017.

MARTINS, Roberto Antônio; TOLEDO, José Carlos. Proposta de modelo para a elaboração de programas de gestão para a qualidade total. **Revista de Administração**, FEA-Usp, v. 33, n. 2, p. 52-59, 1998.

TRENT, Edward M.; WRIGHT, Paul K. **Metal Cutting**. 4. ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2000.

WERKEMA, Maria Cristina. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. 2 ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.