



<http://ensaios.usf.edu.br/>

ESTUDO DA CAPABILIDADE E SUA IMPORTÂNCIA NO PROCESSO DE USINAGEM

STUDY OF CAPACITY AND ITS IMPORTANCE IN THE PROCESS OF MACHINING

CRESPO, Adalberto Nobiato¹ CONTIERI, Gabriel Rodolfo² SILVA, Rafael Castelani³

¹Professor Orientador, Curso de Engenharia de Produção, Universidade São Francisco; Campus Swift Campinas; ²Aluno do Curso de Engenharia de Produção, Universidade São Francisco; Campus Swift, Campinas.

adalberto.crespo@gmail.com

RESUMO. O objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade no processo produtivo para aprovação de uma melhoria de processo em uma empresa fornecedora de transmissões mecânica para veículos automotores. A melhoria consiste em verificar se um equipamento de torno de controle numérico é capaz de executar o processo de torneamento duro de engrenagens com corte interrompido para substituir o processo de retífica que é utilizada mas não atende às normas de segurança, devendo ser substituída por um novo equipamento ou ser reformada para adequação, conforme a norma de segurança NR12. Segundo o manual dos fabricantes de autopeças, sempre que houver qualquer alteração na forma de processamento dos produtos, é necessária a aprovação do PPAP (Processo de Aprovação da Peça de Produção). Desta forma, o estudo foi feito de maneira exploratória em testes com três amostras de produtos e com tipos diferentes de insertos de usinagem em cada amostra, com o objetivo de verificar em qual situação se obtém melhor resultado para aprovação dos índices de capacidade de processo (C_p e C_{pk}). O terceiro tipo de inserto foi o que obteve o melhor resultado em relação à durabilidade e variação de medidas, atendendo aos valores de C_p e C_{pk} necessários para aprovação do processo. A importância deste trabalho é mostrar que o processo de torneamento duro é capaz de atender aos requisitos de qualidade com um equipamento já disponível na empresa, e evitar custos desnecessários na compra de um equipamento novo ou na reforma da retífica para adequação junto a norma NR12

Palavras-chave: PPAP, estudo de capacidade, índices de capacidade do processo, NR12.

ABSTRACT. The objective of this work is to evaluate the capability in the production process to approve a process improvement in a company providing mechanical transmissions for motor vehicles. The improvement consists in verifying that a numerical control lathe equipment is capable of performing the hard turning process of interrupted cutting gears to replace the grinding process which is used but does not meet the safety standards and must be replaced by a new equipment, or be retrofitted to suit NR12 safety standard. According to the manual of auto parts manufacturers, whenever there is any change in the way the products are processed, approval of the PPAP (Production Part Approval Process) is required. In this way, the study was done in an exploratory way in tests with three samples of products and with different types of machining inserts in each sample, in order to verify in which situation the best result is obtained for the approval of the indices of process capability (C_p and C_{pk}). The third type of insert was the one that obtained the best result regarding durability and variation of measurements, taking into account the values of C_p and C_{pk} required for approval of the process. The importance of this work is to show that the hard turning process is able to meet the quality requirements with an equipment already available in the company, and to avoid

unnecessary costs in the purchase of a new equipment or in the reforming of the grinding machine to suit the standard NR12

Keywords: PPAP, Capability Study, NR12.

INTRODUÇÃO

Com a revolução industrial, surge a necessidade de as empresas produzirem em larga escala. Com isso o trabalho artesanal deixou de ser utilizado, surgindo atividades de trabalhos fragmentadas e automatizadas, com a necessidade de inspeção final de qualidade em 100% dos produtos. Devido à presença de fontes de variação nos processos de fabricação, dois produtos ou características nunca são idênticos, e diferenças entre ambos estão sempre presentes. Com a evolução do sistema de qualidade nas empresas, técnicas por amostragem começaram a ser utilizadas, porém com custos elevados e com maior tempo de fabricação. Durante a segunda guerra mundial, os princípios de controle estatísticos começaram a ser utilizados e após o término da guerra houve o surgimento de um modelo de produção orientado por estatísticas e com prioridade no controle da qualidade. Para saber se o processo de fabricação garante a qualidade que o cliente espera a pessoa envolvida no processo de fabricação deve obter conhecimento do comportamento do produto que está sendo processado por meio de medições por amostragem. Para isso, são utilizadas ferramentas estatísticas que servem para avaliar e identificar fontes de variabilidade no processo produtivo, mostrando se este é, ou não, capaz de atender às especificações do cliente, ou seja, é aplicado o estudo de capacidade de processo, tornando-se um modelo de gestão da qualidade, com objetivo de reduzir retrabalhos e também o custo de peças que não estejam em conformidade com as condições de qualidade.

Num processo aprovado tem-se a garantia de que o produto seja produzido dentro das especificações ditadas pelo cliente. Na década de 80, as empresas automobilísticas desenvolveram um manual dos fabricantes com objetivo de estabelecer padrões de produção entre as empresas e seus fornecedores. Nesse manual está incluso o PPAP (Processo de Aprovação da Peça de Produção), onde as empresas fazem os relatórios de especificação do produto para que os fornecedores possam se planejar como será o processo produtivo, os testes e as coletas de dados, e obtenham condições de fornecimento dos produtos. Além das condições de especificação de produto, as empresas precisam ter processos de fabricação que possuam equipamentos adequados conforme a norma NR12. Norma que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, visando assegurar a integridade física dos trabalhadores.

A empresa “X”, onde o trabalho será realizado, produz atualmente transmissões mecânicas para veículos automotores. Nesta empresa existe um equipamento antigo de retífica que processa engrenagens com rasgo de chaveta no diâmetro interno, mas que não atende aos requisitos de segurança. Assim, tem-se a possibilidade de avaliar a compra de um novo equipamento de retífica, ou efetuar a reforma do equipamento atual para que atenda a adequação à norma NR12 ou ainda efetuar a homologação da operação em outro processo disponível dentro da empresa. Devido ao alto custo para aquisição de um equipamento novo ou para a reforma do equipamento de retífica, ficou estabelecida a opção de homologação do processo já disponível na empresa. Trata-se do processo de torneamento duro de engrenagem, pois a empresa possui a capacidade de produção disponível para este processo. Segundo a norma dos fabricantes, sempre que houver alterações no processo, é necessário fazer um estudo de capacidade para verificar se o novo processo é ou não capaz de atender às especificações do cliente.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade no processo de torneamento duro de engrenagem, que uma vez aprovado, não será necessário aplicar altos investimentos para resolução do problema na empresa.

Diante do problema exposto, este estudo tem a sua importância fundamentada na solução de um problema real dentro de uma empresa. Com este estudo será possível para a empresa avaliar se deverá optar pela compra de um novo equipamento, pela reforma do equipamento existente no sentido de atender às normas exigidas ou adotar o processo de torneamento duro de engrenagem. Nas duas primeiras opções a empresa deverá arcar com altos custos de investimentos. A opção que não envolve investimentos é a avaliação do processo de torneamento duro de engrenagem, mas para isso é necessária a avaliação da capacidade do processo.

Norma regulamentadora NR12 (segurança no trabalho em máquinas e equipamentos)

Atualmente, não é suficiente apenas atender aos requisitos de qualidade e produtividade nas empresas, é preciso ter um ambiente seguro a todos os envolvidos nos processos produtivos. Desta forma, as empresas têm tomado consciência e, cada vez mais, estão entendendo que os acidentes no trabalho afetam de forma negativa a organização. Segundo a consolidação das leis do trabalho, as empresas têm de garantir aos seus empregados a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais através das normas regulamentadoras de medicina e segurança no trabalho (NRs). Dentro dessas normas, tem-se a norma NR12 que visa à proteção dos trabalhadores em relação ao manuseio dos equipamentos industriais.

Segundo o guia trabalhista, (GUIA TRABALHISTA, 2017), tem-se:

“A NR12 e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas”

Portanto, as empresas ficam obrigadas a adotarem medidas que protegem o trabalhador e que sejam capazes de garantir a saúde e a integridade física durante a execução das tarefas. Neste guia trabalhista, prioriza-se primeiro as medidas de proteção coletiva, depois as medidas de organização do trabalho e posteriormente as medidas de proteção individual.

Portanto, segurança e qualidade são requisitos que as empresas devem zelar, pois podem prejudicar o nome da corporação. Quando se aplica as medidas de segurança referente a NR12, é preciso entender alguns conceitos.

Qualidade

Devido à concorrência, a qualidade é uma arma competitiva para as empresas, tanto que em 1980, fabricantes de veículos do Japão buscaram a melhoria contínua da qualidade de seus produtos e criaram dificuldades para os demais fabricantes mundiais em relação à venda de produtos, tornando-se mais competitivos com excelentes níveis de qualidade e preços competitivos com bons serviços de pós-venda (MARTINS E LAUGENI, 2015).

Desta forma, as empresas iniciaram a qualidade em seus sistemas de gerenciamento em cinco pontos relevantes conforme definição de Martins e Laugeni (MARTINS E Laugeni, 2015):

- Transcendental: que é constituída de padrões elevados e reconhecidos.
- Focada no Produto: Com variáveis e atributos que podem ser medidos e controlados.

- Focada no usuário: Segundo Juran (JURAN, 1997), “a qualidade é a adequação ao uso, onde o produto é o que o cliente compra permitindo manter a competitividade da empresa”.
- Focada na fabricação: Produtos e processos devem estar conforme especificações, buscando melhorias constantes nas técnicas de fabricação.
- Focada no Valor: Atender a visão do cliente de que o produto/serviço satisfaça a necessidade em relação ao uso e preço.

Características da Qualidade de um Produto

Segundo Martins e Laugeni (2015), a qualidade de um produto é determinada e percebida pelo cliente, podendo ter diferentes focos e deve contemplar oito elementos:

- Características operacionais principais – Os produtos devem funcionar corretamente.
- Características operacionais adicionais – Os produtos devem oferecer características complementares para tornarem mais atrativo.
- Confiabilidade – Os produtos devem ser confiáveis não apresentando falhas durante um período de tempo.
- Conformidade – Os produtos devem estar adequados às normas e especificações de projeto.
- Durabilidade - Tempo de vida útil.
- Assistência técnica - Qualidade no atendimento dos clientes no momento de um reparo.
- Estética - Atenção especial ao design do produto.
- Qualidade Percebida – Os produtos devem ser eficientes e eficazes, excedendo às expectativas dos clientes e permitindo que os fabricantes tenham uma imagem associada de boa qualidade.

Histórico da Qualidade

Segundo Maximiano (2011), no início do século XX, quando a produção em massa se tornou comum, qualidade significava uniformidade ou ausência de variação, ou seja, grandes quantidades de um mesmo item deveriam ser fabricadas de acordo com especificações de projeto, sendo eles idênticos entre si. Para evitar que fossem usadas peças com defeitos, era preciso controlar a qualidade através de inspeção final. A inspeção 100% de produtos não evita perdas por se tratar de um procedimento de detecção e gera retrabalhos, refugos e como consequência, eleva os custos de produção. Com a impossibilidade em se fazer a inspeção de milhões de peças produzidas, iniciou-se o controle de qualidade por amostragem estatística por volta de 1924 com Walter A. Shewart (SHEWART, 1991) com o uso da carta de controle.

Por volta de 1950 no Japão, Willian E. Deming (DEMMING, 1990) começou a sensibilizar dirigentes de grandes empresas, adotando o conceito de que o caminho para a prosperidade era a melhoria da qualidade, sendo necessário aumentar a produtividade, reduzir custos, conquistar mercados e expandir empregos. Deming introduziu a ideia de correntes de clientes, onde cada processo posterior é um cliente, e essa corrente é quem paga a conta e sustenta a empresa. Para a que qualidade tenha sentido, é preciso predominância no cliente, mentalidade preventiva e envolvimento da alta administração (MAXIMIANO, 2011).

Segundo Maximiano (2011), muitas empresas começaram a perceber que eram responsáveis pela qualidade de seus fornecedores. Programas de qualidade assegurada começaram a ser inseridos com a finalidade de que qualquer empresa dentro de uma cadeia de produção, busque aprimorar e controlar a administração da qualidade de seus fornecedores, exigindo que os mesmos possuam departamentos de qualidade com especificações precisas de produtos, métodos de medições e sistemáticas para lidar com defeitos.

No final dos anos 80, as três maiores empresas automobilísticas formaram uma comissão com seus melhores especialistas e desenvolveram um manual para a padronização de requisitos para seus fornecedores, exigindo que todos tenham o processo de PPAP (Processo de Aprovação de Peças) aprovado, garantindo assim um processo estável e confiável, ou seja, a gestão do processo produtivo como prioridade.

Controle do Processo

Deve-se ter em mente que a detecção tolera perdas e a prevenção evita perdas. Tantos clientes internos como externos são preocupados com o desempenho do processo. Para isso existe uma sistemática de controle que serve para fazer previsões sobre o estado atual e futuro, onde é preciso primeiramente obter informações de desempenho do processo, para tomar decisões e agir sobre o mesmo ou sobre o resultado, conforme ilustrado na Figura 1 (Manual AIAG, 2005).

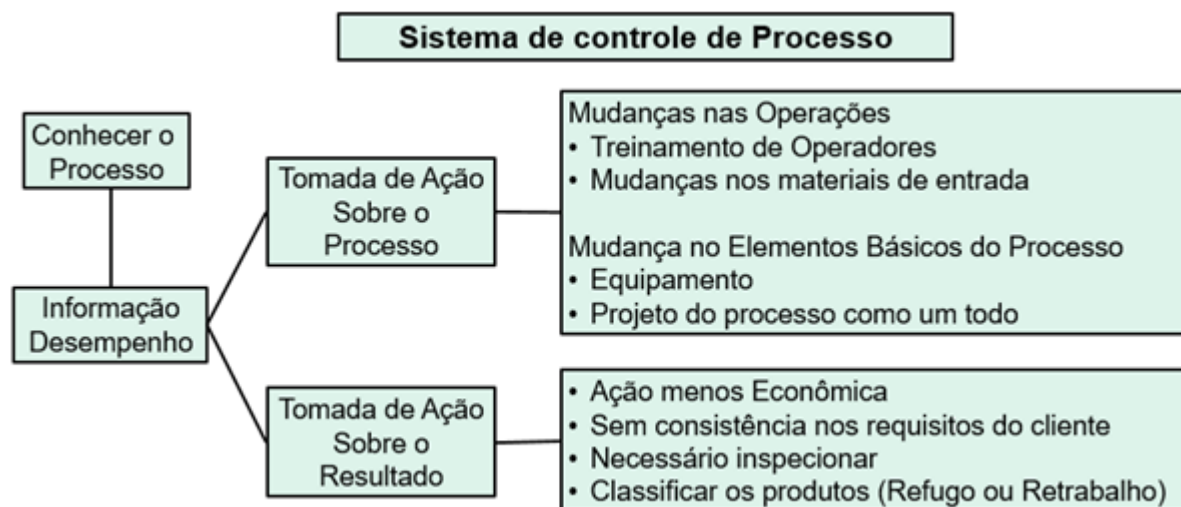


Figura 1 – Fluxograma da sistemática para controle de processo (Fonte: Adaptado MANUAL AIAG, 2005).

Controle Estatístico de Processo - CEP

Com a finalidade de assegurar a conformidade, a qualidade dos produtos e as necessidades dos clientes internos e externos, deve-se controlar o processo em todos os setores da empresa com objetivo de fazer previsões de comportamento do processo produtivo. Um processo está sob controle estatístico quando apenas as fontes de variação de causas comuns estão presentes. Desta forma, o sistema de controle de processo busca identificar a presença de fontes de causas especiais e permitir tomar ações a fim de eliminá-las, mantendo o processo sob controle.

A Figura 2 mostra a diferença entre um processo fora de controle, onde se observa a presença de causas especiais e um processo sob controle, onde as causas especiais são eliminadas.

Uma vez que o processo foi entendido e compreendido, devem-se manter níveis de variações aceitáveis, ser monitorados pelo motivo de serem dinâmicos podendo sofrer alterações inesperadas. A coleta de dados é feita através da ferramenta carta de controle que ajuda no monitoramento, e quando a análise sinaliza alterações de comportamento do processo, medidas rápidas e eficientes devem ser aplicadas a fim de isolar e eliminar as causas da variabilidade apresentada (Manual AIAG, 2005).

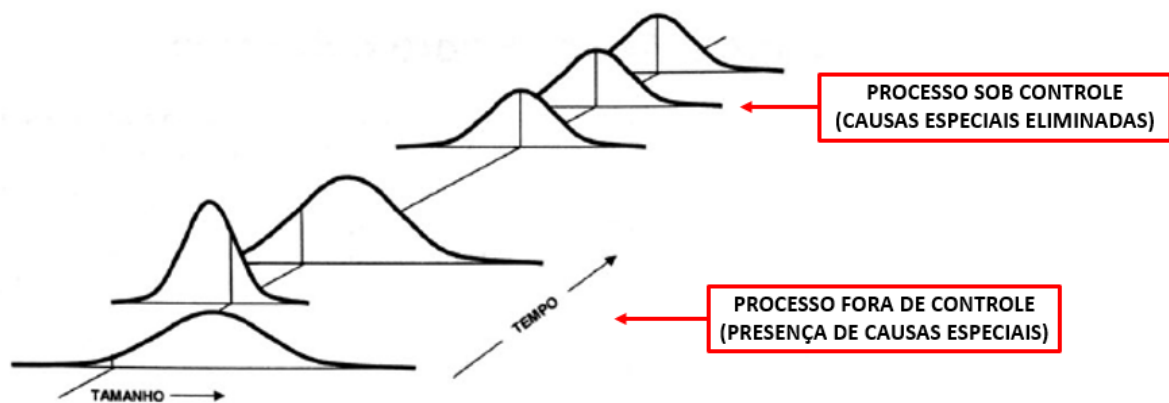


Figura 2 – Comparação entre um processo fora de controle e um processo sob controle. (Fonte: Adaptado Manual AIAG, 2005).

A carta de controle é uma ferramenta gráfica que permite acompanhar um determinado processo e determina limites superiores e inferiores de especificação para entender as variações presentes.

Capabilidade

O resultado de um processo estável pode ser descrito por sua distribuição estatística, devendo estar sob controle para que a distribuição seja útil na previsão dos resultados futuros. O maior interesse são os resultados de localização da distribuição e da dispersão da amostra dos dados com relação às necessidades dos clientes, onde a centralização e a dispersão se interagem com o objetivo de produzir um produto estável (MANUAL AIAG, 2005).

Desta forma, é preciso obter uma boa combinação entre a localização da distribuição, a dispersão da distribuição e a forma da distribuição da amostra dos dados, conforme ilustra a Figura 3.

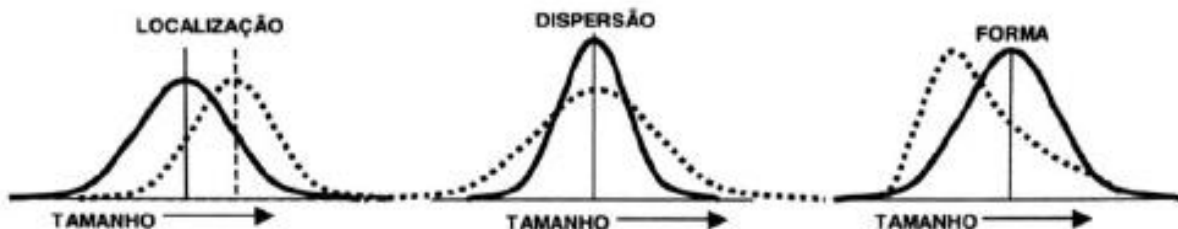


Figura 3 – Classificação da distribuição quanto a localização, dispersão e forma dos dados da amostra (Fonte: MANUAL AIAG).

Conforme a distribuição vai se deslocando do centro, o espaço disponível para a variação do processo se reduz e uma mudança na centralização do mesmo, um aumento na dispersão do processo ou uma combinação entre ambos, podem produzir peças fora dos limites de especificação (Manual AIAG, 2005).

A capacidade do processo é representada por um melhor desempenho quando contém apenas variações de causas comuns, ou seja, causas inerentes ao processo produtivo conforme ilustra a Figura 4.

Existem dois tipos de fontes de variação de processo. Uma delas são as variações que vêm de causas comuns, onde agem de forma consistente, permitindo resultados previsíveis e produzem uma distribuição estável de maneira repetitiva ao longo do tempo, tornando o processo sob controle estatístico, ou seja, o comportamento do processo é conhecido.

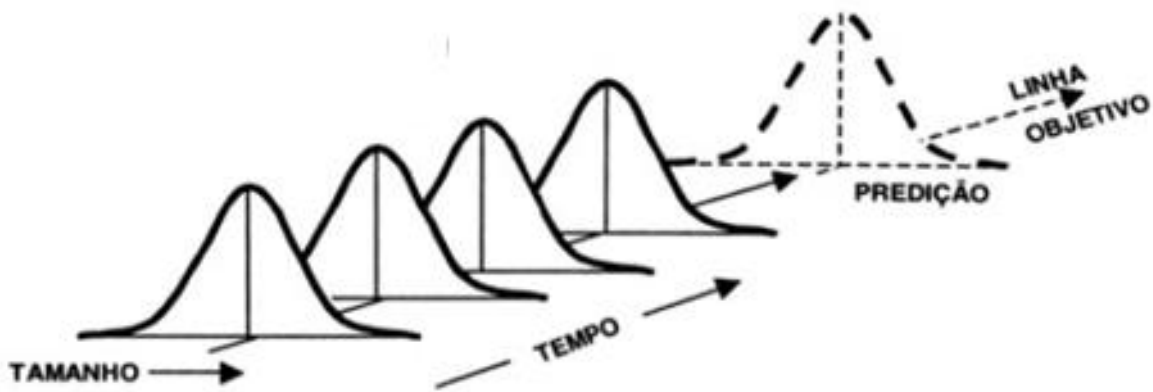


Figura 4 – Distribuição com presença de variações de causas comuns
(Fonte: MANUAL AIAG).

Existem também as variações de causas especiais que afetam apenas parte do processo. A Figura 5 ilustra a presença de resultados intermitentes, imprevisíveis e são sinalizadas por um ou mais pontos além dos limites de controle, ou qualquer alteração da dispersão ou localização da distribuição. Sendo assim, elas podem afetar a centralização ou a variação do processo, ou seja, é impossível prever o resultado do processo ao longo do tempo (Manual AIAG, 2005).

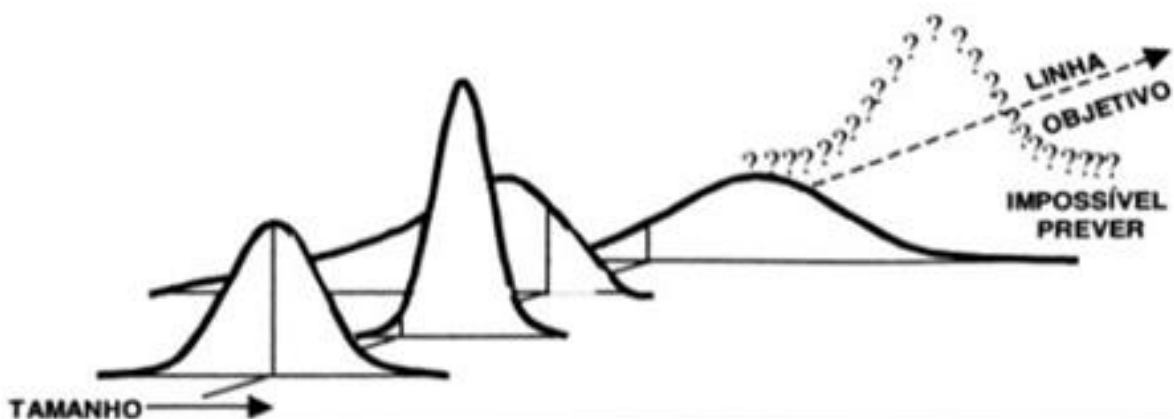


Figura 5 – Distribuição com presença de variações de causas especiais
(Fonte: Manual AIAG).

Padrões ou Tendências

Mesmo quando a amplitude da amostra estiver dentro dos limites de controle, é possível identificar variações de causas especiais pela presença de padrões anormais ou tendências, sendo um aviso para uma condição desfavorável que deve ser corrigida (Manual AIAG, 2005).

Ao fazer a análise dos dados estatísticos, utiliza-se alguns critérios para identificar a presença de padrões de não-aleatoriedade. Esses padrões são mostrados na Tabela 1, e quando estão presentes, exprimem quebra de ordem com certa imprevisibilidade.

Tabela 1 – Resumo de padrões de não-aleatoriedade usados para identificar causas especiais.

RESUMO DOS CRITÉRIOS DE CAUSAS ESPECIAIS	
1	1 ponto a mais do que 3 desvios padrão a partir da linha central
2	7 pontos consecutivos no mesmo lado da linha central
3	6 ponto consecutivos, todos aumentando ou diminuindo
4	14 pontos consecutivos, alternando acima e abaixo
5	2 de 3 pontos > 2 desvios a partir da linha central (mesmo lado)
6	4 de 5 pontos > 1 desvio padrão a partir da linha central (mesmo lado)
7	15 pontos consecutivos dentro de 1 desvio padrão da linha central (qualquer lado)
8	8 pontos consecutivos > 1 desvio padrão a partir da linha central (qualquer lado)

Fonte: adaptado Manual AIAG, 2005.

Índices de capacidade de processo

O estudo da capacidade do processo serve para avaliar e conhecer as variações presentes no processo que podem afetar seu desempenho, ou seja, analisar a variabilidade e a tendência central de uma característica de qualidade do produto. Para realizar o estudo, é preciso que o processo esteja sob controle estatístico e a maneira mais comum de fazer a avaliação é através do estudo dos índices de capacidade (IC), onde é coletada uma amostra de uma determinada característica, comparando a saída real das medidas do processo com os limites de especificação. Dentre os existentes, o índice de capacidade potencial do processo (Cp) e o índice de capacidade real do processo (Cpk) são os mais utilizados (KANE, 1986).

O índice Cp é o resultado da comparação entre a *variação tolerada* e a *variação real* do processo estudado. Um processo é classificado como capaz, quando o índice Cp é maior que um (1), ou seja, a *variação tolerada* tem que ser maior que a *variação real* existente no processo. Em resumo, o índice Cp é utilizado para avaliar a amplitude do processo em relação aos limites de especificação conforme Figura 6.

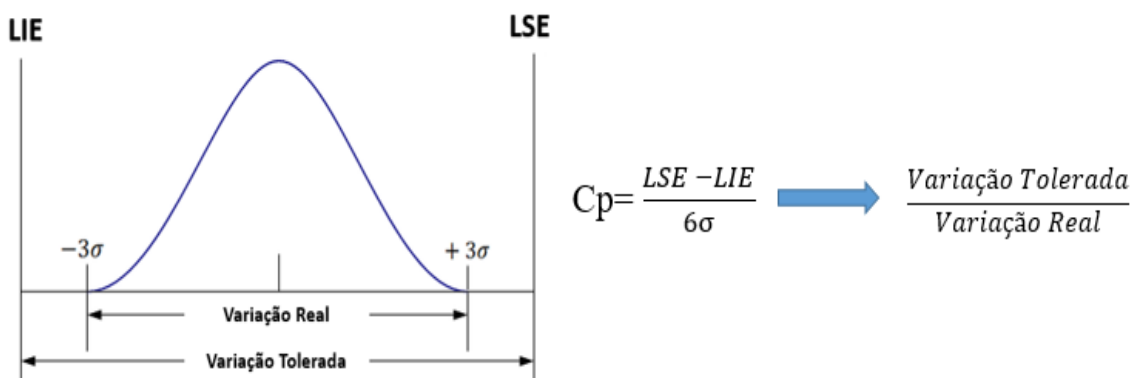


Figura 6 – Índice de Capacidade Potencial de Processo (Cp)
(Fonte: adaptado MANUAL AIAG).

Sendo:

- **LSE:** Limite superior de especificação.

- **LIE:** Limite inferior de especificação.
- **σ :** Desvio Padrão da amostra (variação real).

O índice Cp desconsidera a centralização do processo e mostra apenas sua variação, não tem sensibilidade de identificar causas especiais e pode não estar de acordo com as especificações do cliente se não estiver centralizado. Para avaliação do cálculo do índice, considera-se processo incapaz quando o $Cp < 1$; processo aceitável quando o valor encontrado estiver entre 1 e 1,33 e; processo capaz quando $Cp \geq 1,33$.

Em resumo:

$$Cp: \begin{cases} Cp < 1, \text{ processo incapaz} \\ 1 \leq Cp \leq 1,33, \text{ processo aceitável} \\ Cp \geq 1,33, \text{ processo capaz} \end{cases}$$

O índice de capacidade real (Cpk) foi criado para levar em conta não apenas a amplitude do processo, mais também a localização da amostra dos dados em relação aos limites de especificação, ou seja, mede a proximidade dos limites de controle com os limites de especificados. O índice Cpk igual a 1, significa que o processo está centrado, diminuindo a probabilidade de que um ponto do processo ultrapasse os limites de especificações fornecidos pelo cliente. Na Figura 7 observa-se o cálculo do Cpk:

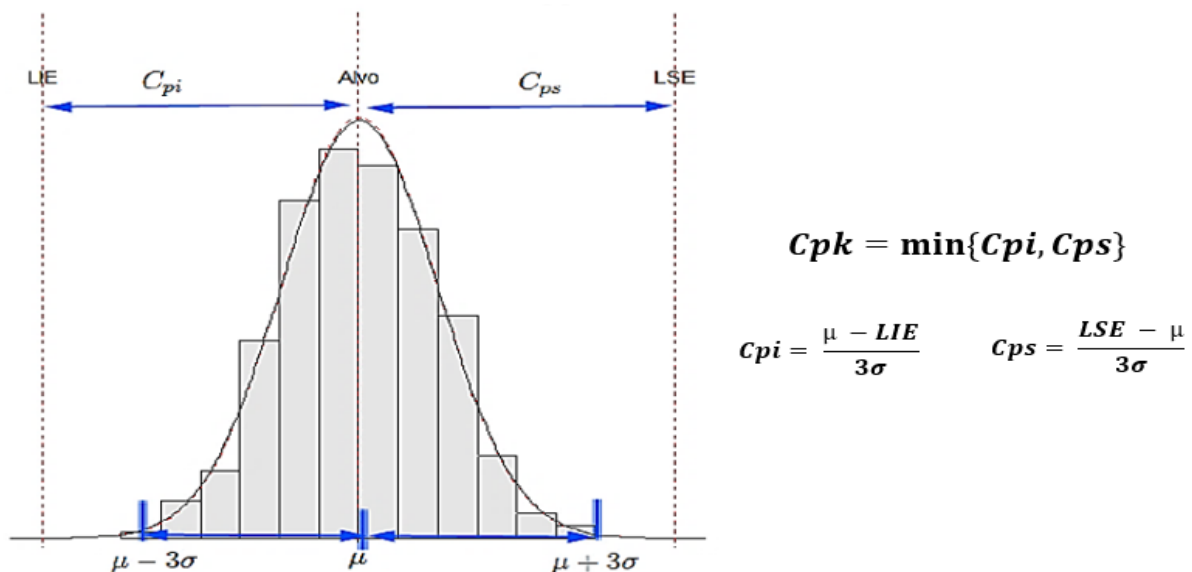


Figura 7 – Índice de Capacidade Real de Processo (Cpk)
(Fonte: adaptado MANUAL AIAG).

Dados:

- **LIE** – Limite Inferior de Especificado.
- **LSE** – Limite Superior de Especificado.
- **μ** - Valor Central entre LIE e LSE.
- **CPi** – Capacidade Potencial Inferior.
- **CPs** – Capacidade Potencial Superior.

Em resumo:

$$\text{Cpk: } \left\{ \begin{array}{l} \text{Cpk} < 1, \text{ processo incapaz.} \\ 1 \leq \text{Cpk} \leq 1,33, \text{ processo aceitável.} \\ \text{Cpk} \geq 1,33, \text{ processo capaz.} \end{array} \right.$$

Para aprovação inicial de qualquer processo, a indústria automobilística tem como especificação C_p e C_{pk} maior que 1,33. Se o resultado da análise dos dados for menor do que um, o processo é reprovado tendo a necessidade de tomada de ação para aprovação do mesmo e quando o processo é modificado, por exemplo, com implementação de uma nova máquina ou quando é ajustado o método de fabricação é preciso aplicar o estudo de capacidade do processo (Manual AIAG, 2005).

Melhoria do Processo

O estudo foi aplicado na empresa “X” localizada em Valinhos, sendo ela líder global no seguimento de transmissão de energia e sistemas de trem de força de automóveis e caminhões para melhoria de desempenho, economia de combustível e segurança. A planta fabrica transmissões mecânicas para veículos de passageiros, picapes, caminhões leves, médios e pesados e peças de reposição para transmissões mecânicas (Figura 8).



Figura 8 – Imagem ilustrativa de uma transmissão mecânica para veículos automotores.
Disponível em (EATON, 2017)

O produto envolvido no projeto é uma engrenagem, identificada como um componente interno das transmissões mecânicas, que possui características especiais de processo, tais como, acabamento da superfície e tolerâncias máximas e mínimas do diâmetro interno do furo (Figura 9).

Conforme ilustra a Figura 9, a engrenagem possui um furo retificado no centro para possibilitar a montagem no eixo da transmissão. O furo possui um rasgo para acoplamento de uma chaveta no seu diâmetro, o que eleva o nível de dificuldade no momento da usinagem em outros tipos de equipamentos, tais como torno CNC (Controle Numérico Computadorizado).

O processo de torneamento permite usinar peças cilíndricas, onde a peça gira em torno do seu eixo, mediante a ação de uma ferramenta de corte, retirando cavaco de forma progressiva a fim de dar forma bem definida para a peça. A Figura 10 ilustra a condição de uma aresta de corte do inserto gerando cavaco no momento de cortar o material. Neste momento a temperatura da ponta do inserto pode chegar em 800°C, sendo considerado um processo de impacto severo e com altas temperaturas.

Rasgo de Alojamento de Chaveta
(corte interrompido)

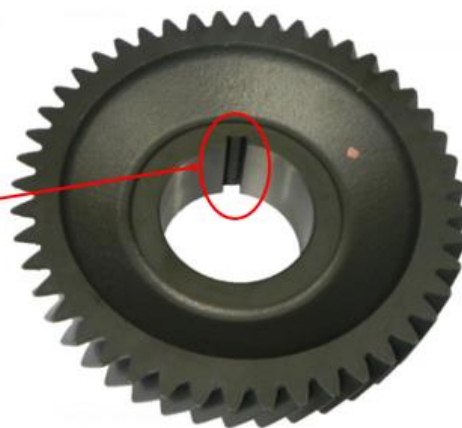


Figura 9 – Engrenagem com rasgo de Chaveta (Fonte: Empresa “X”).

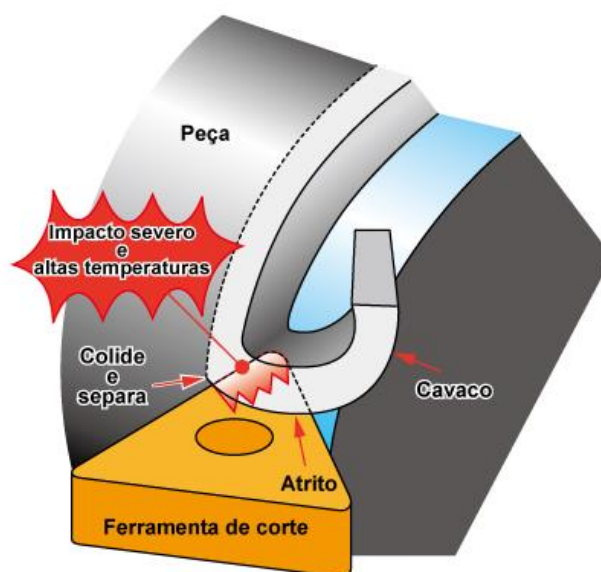


Figura 10 – Ilustração do processo de torneamento de peças
Disponível em (MITSUBISHI MATERIALS NO BRASIL, 2017)

Durante o processo de torneamento é comum ocorrer desgaste ou avarias no inserto. Dentre esses problemas, podem também aparecer rupturas da ponta do inserto que é originada pela ação de elevados esforços durante a usinagem (Figura 11). As quebras podem ser causadas pelo uso de material quebradiço ou a ocorrência de corte interrompido, a exemplo da engrenagem envolvida no processo em estudo.

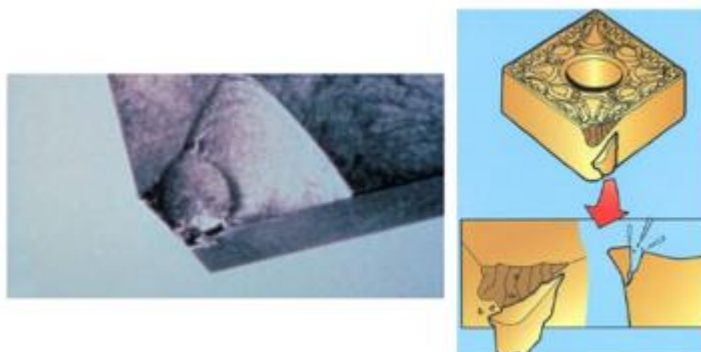


Figura 11 – Inserto que sofreu quebra no momento da usinagem
Disponível em (AVARIAS E DESGASTES DA FERRAMENTA, 2017)

Devido a presença do corte interrompido na superfície da engrenagem, o processo tem elevado grau de esforço no momento da usinagem. Desta forma é utilizado o processo de retífica, por apresentar melhor desempenho em relação à quebra ou desgaste das ferramentas. A Figura 12 ilustra o funcionamento do processo de retífica por abrasão que utiliza rebolo como ferramenta de corte e possui superfície abrasiva constituída por grãos de óxido de alumínio ou de carbeto de silício, entre outros.

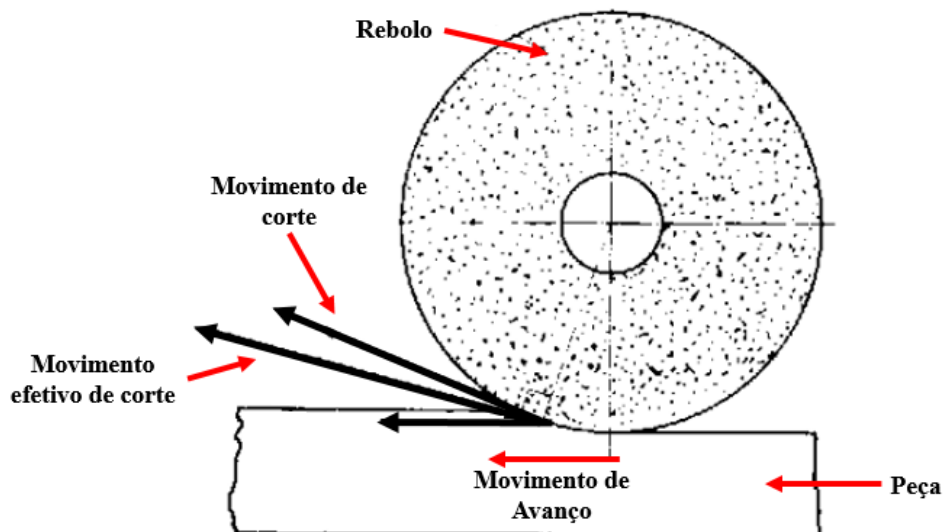


Figura 12 – Processo de retífica por abrasão
Disponível em (PROCESSO DE RETIFICAÇÃO, 2017)

Por serem abrasivos e trabalharem com altas rotações, os rebolos podem sofrer quebra e oferecer riscos ao trabalhador se o equipamento não for preparado com medidas de segurança adequadas. Por se tratar de um equipamento antigo, a retífica precisava de modificações de adequações de segurança para atender aos requisitos da norma NR12. (Figura 13).



Figura 13 – Foto da retífica utilizada para usinagem da engrenagem, que não está adequada à norma NR12 (Fonte: Empresa “X”).

A área de engenharia da produção da empresa levantou orçamento a fim de programar as alterações necessárias de adequação de segurança da retífica, mas chegou à conclusão que não era viável por se tratar de um equipamento obsoleto, sendo necessário disponibilizar outro equipamento para efetuar o possível desligamento da retífica.

Antes de direcionar para o processo de compra de um equipamento novo de retífica, foi disponibilizado um torno CNC que tem capacidade suficiente para absorver a produção da

engrenagem, e é preparado com as medidas de segurança para atender aos requisitos da NR12 (Figura 14).



Figura 14 – Imagem do torno CNC disponibilizado para aplicar o estudo de capacidade (Fonte: Empresa “X”).

No entanto, o processo de torneamento duro utiliza inserto de usinagem, o que torna um processo diferente ao de retífica. Segundo o Manual AIAG, quando um processo sofre algum tipo de alteração é necessário aplicar a medida de capacidade do equipamento a ser utilizado com objetivo de avaliar se o novo equipamento é capaz ou não de atender às normas de especificação do produto.

Com isso, o trabalho se concentra na avaliação da capacidade do processo de torneamento sugerido, a fim de efetuar o desligamento da retífica evitando a necessidade de custos para reforma ou a compra de um novo equipamento.

METODOLOGIA

Método de Avaliação

Com o objetivo de avaliar o novo processo de usinagem da engrenagem por torneamento e verificar se os índices de C_p e C_{pk} estariam dentro dos valores estabelecidos, foi necessário realizar as seguintes atividades:

- Separar um lote de 100 peças do produto envolvido e usar peças no torno disponibilizado e usar inserto comum de produção e fazer a coleta dos dados da especificação crítica para qualidade (diâmetro interno).
- Utilizar a ferramenta estatística MINITAB para avaliar os dados coletados.
- Solicitar classes de insertos especiais para corte interrompido junto ao fornecedor, com objetivo de repetir os testes e identificar diferenças entre eles.
- Usinar um segundo lote de peças e fazer a coleta dos dados.
- Inserir novamente os dados na ferramenta MINITAB e através dos dados coletados avaliar a necessidade de solicitar outra classe de inserto especial para novos testes.
- Avaliar os dados inseridos no MINITAB dos testes realizados com os insertos para conclusão do trabalho.

A figura 15 ilustra o lote de engrenagens que foi utilizado na usinagem. Em cada engrenagem, foi usinado o diâmetro interno do furo e após a usinagem os dados obtidos foram analisados para o estudo da capacidade do torno CNC.



Figura 15 – Lote separado para ser usinado (Fonte: Empresa “X”).

Para o processo de torneamento foi utilizado insertos fabricado de aço rápido, metal duro ou cerâmica (Figura 16), dependendo do tipo de usinagem que foi feito. Insertos são ferramentas de usinagem com formas variadas e confeccionadas com diferentes tipos de materiais. Foram fixados em suportes na máquina para fazer a usinagem dos materiais e as variações de materiais e de forma determinam a classe dos insertos. Para iniciar os testes foi utilizado um inserto comum, sendo o mesmo utilizado para usinagem de peças que não possuem corte interrompido em sua superfície.

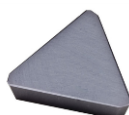


Figura 16 – Inserto comum. (Fonte: Empresa “X”).

Para a medição da amostra foi utilizado um anel padrão com relógio digital que possuem controle de aferição metrológico, tendo como base as medidas com tolerâncias de especificação do diâmetro do furo. Os valores das medidas foram: mínimo de 45,615 milímetros e máximo de 45,640 milímetros, com uma amplitude total de 0,025 milímetros, conforme ilustra a Figura 17.



Tolerância de Especificação do Diâmetro do Furo

- **Mínimo** = 45,615 mm
- **Máximo** = 45,640 mm
- **Total** = 0,025 mm

Figura 17 – Instrumentos de medição e tolerâncias de especificação da peça (Fonte: Empresa “X”).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 18 ilustra os resultados da primeira amostra estudada com o auxílio da ferramenta MINITAB. Com o uso do inserto comum foi possível a produção de vinte e três peças, sendo necessário a correção dos parâmetros da máquina na décima peça produzida para

centralizar a média. Após a intervenção nos parâmetros, as medidas se mantiveram dentro dos limites de controle até a vigésima terceira peça, vindo a ocorrer a quebra do inserto e interrupção da usinagem. A distribuição dos dados observados teve sua localização com proximidade do limite inferior de especificação, o que resultou nos índices $Cp=1,44$ $Cpk=0,94$.

Os resultados obtidos na primeira amostra podem ser resumidos como:

- Os índices obtidos foram $Cp=1,44$ e $Cpk=0,94$ o que resulta num processo sobre controle, mas não capaz.
- Baixa durabilidade do inserto utilizado, pois permitiu a produção de apenas 23 peças.
- Houve a necessidade de intervenção (correção dos parâmetros) durante o processo para que não fosse produzidas peças fora dos limites especificados.
- A distribuição dos dados coletados está deslocada da média, com 2 medições próximos ao limite inferior de especificação, determinando o valor de $Cpk < 1$.

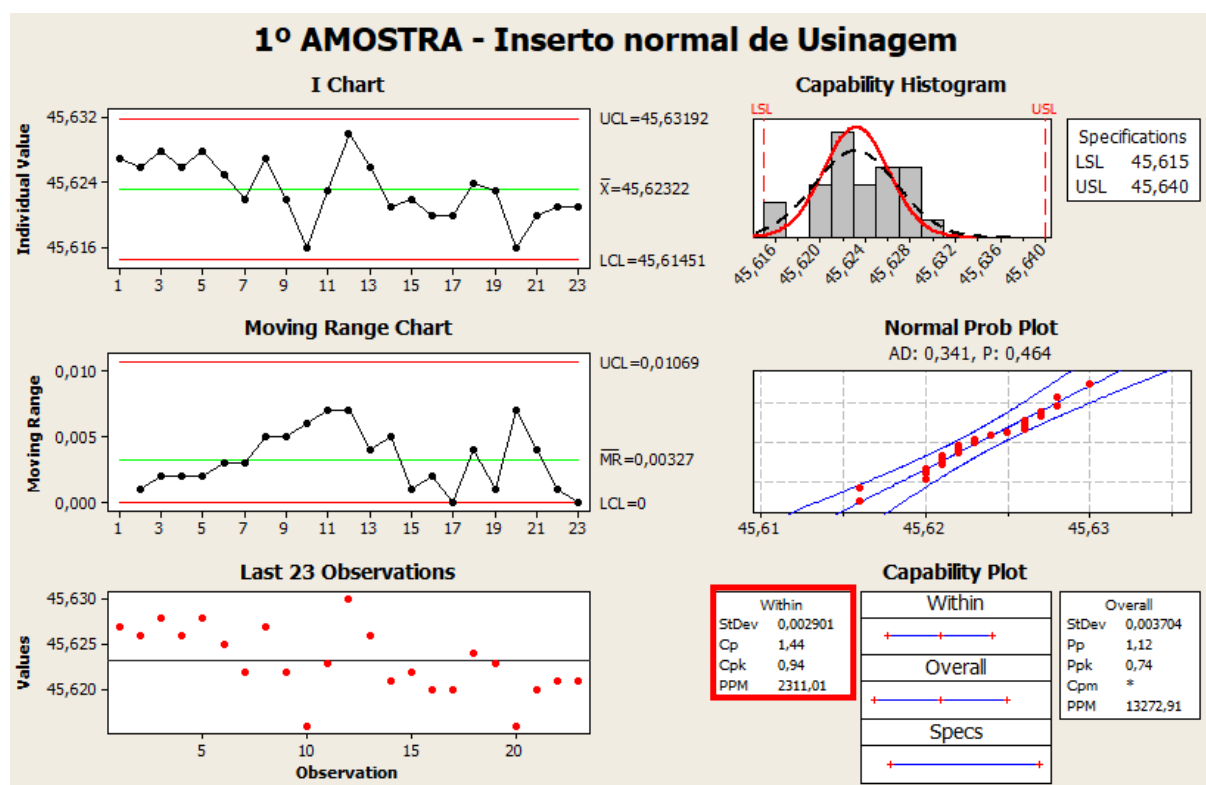


Figura 18 – Resultado da primeira amostra com uso do inserto normal de produção
Fonte: Empresa “X”, obtido pelo MINITAB.

A Figura 19 ilustra os resultados da segunda amostra, onde foi utilizada uma segunda classe de inserto (redondo). Foi utilizado um lote de 100 peças (Figura 15), sendo a usinagem iniciada com média centralizada. Observou-se uma tendência para diminuição da medida devido ao desgaste do inserto. Foram necessárias duas correções de parâmetros da máquina (peças números 32 e 52) com objetivo de centralizar a média e evitar peças com medidas fora dos limites especificados. Ao usinar a peça de número setenta e cinco, a medida saiu do limite devido à quebra do inserto, vindo a interromper a usinagem.

Os resultados obtidos na segunda amostra podem ser resumidos como:

- Os índices obtidos foram $Cp=2,62$ e $Cpk=1,84$ o que resulta num processo capaz.
- Os dados se comportam com tendência para diminuir a medida devido ao desgaste da ferramenta.
- Houve a necessidade de duas intervenções (correções) durante a usinagem.
- Maior durabilidade do inserto utilizado comparado ao primeiro estudo (74peças).

- Amplitude de 0,015 mm, o que representa 60% da tolerância especificada (0,025mm).
- Houve a rejeição em 5 peças devido a presença de padrões de não aleatoriedade no processo (causas especiais), conforme mostrado na Tabela 1.
 - Teste 1 – 1 ponto a mais do que 3 desvios padrão a partir da linha central
 - Teste 2 – 7 pontos consecutivos no mesmo lado da linha central
 - Teste 5 – 2 de 3 pontos > 2 desvios padrão a partir da linha central (mesmo lado)
 - Teste 6 – 4 de 5 pontos > 1 desvios padrão a partir da linha central (mesmo lado)
 - Teste 8 – 8 pontos consecutivos > 1 desvio padrão a partir da linha central (qualquer lado).

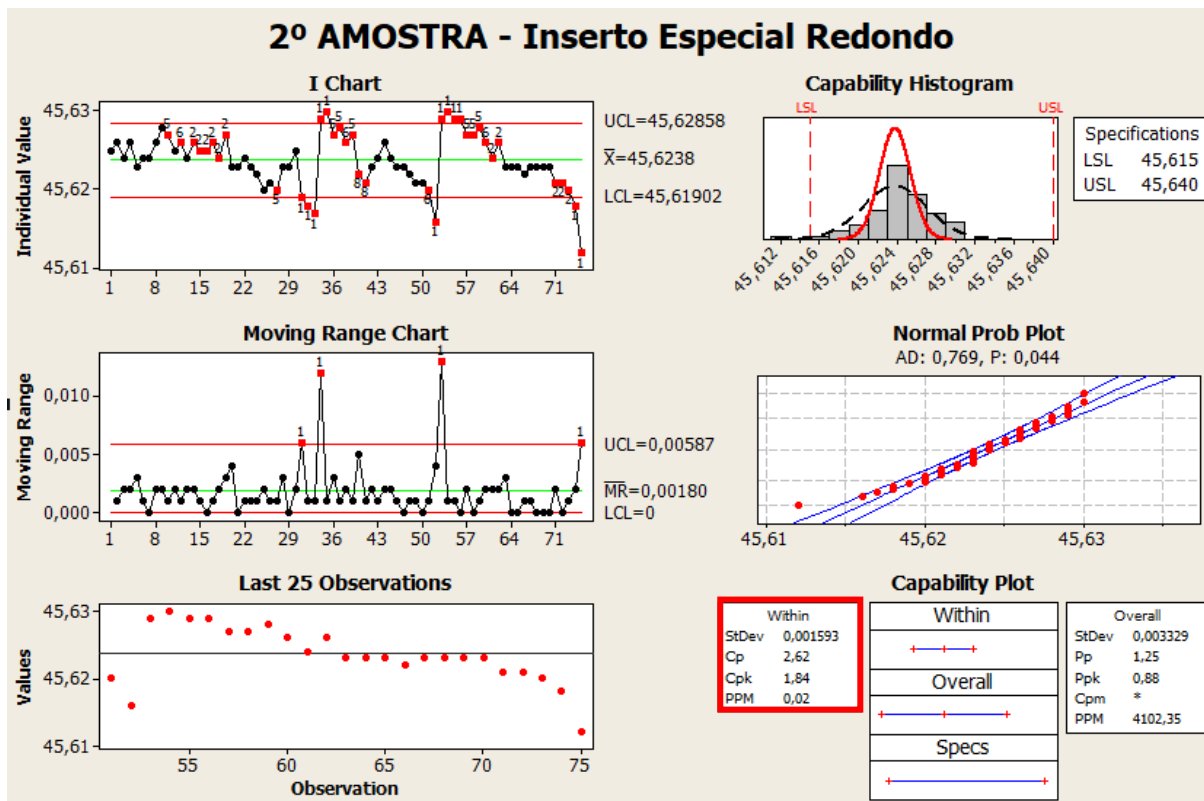


Figura 19 – Resultado da segunda amostra com inserto redondo
 Fonte: Empresa “X”, obtido pelo MINITAB.

A Figura 20 ilustra os resultados da terceira amostra, onde foi utilizada outra classe de inserto com propriedades diferentes das anteriores. Neste teste foi possível usar 90 peças sem nenhuma intervenção do operador. Apesar da presença de causas especiais mostradas nos valores individuais, na Figura 20, observaram-se os seguintes resultados:

Os resultados obtidos na terceira amostra podem ser resumidos como:

- Os índices obtidos foram $C_p = 3,03$ e $C_{pk} = 2,83$ tendo como resultado um processo capaz.
- A durabilidade do inserto utilizado é maior em relação às amostras anteriores (90 peças).
- O processo é aceitável e sem intervenção do operador em relação às medidas.
- Amplitude de 0,004 microns, o que representa 16% da tolerância especificada (0,025mm).
- A distribuição dos dados está centralizada.
- Houve a rejeição em 3 peças devido a presença de padrões de não aleatoriedade no processo (causas especiais), conforme mostrado na Tabela 1.
 - Teste 1 – 1 ponto a mais do que 3 desvios padrão a partir da linha central
 - Teste 2 – 7 pontos consecutivos no mesmo lado da linha central

- Teste 6 – 4 de 5 pontos > 1 desvios padrão a partir da linha central (mesmo lado).

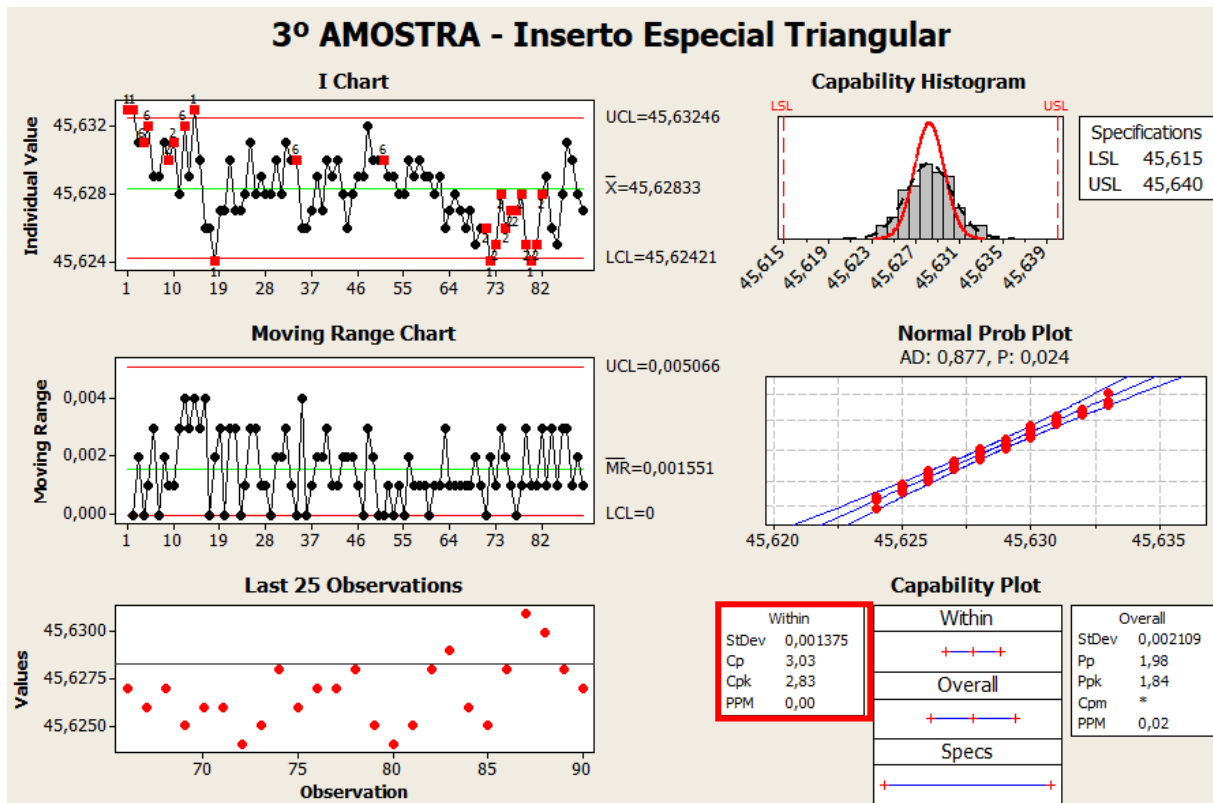


Figura 20 – Resultado da terceira amostra com inserto triangular
 Fonte: Empresa “X”, obtido pelo MINITAB.

CONCLUSÃO

As informações foram coletadas por meio de situações reais de fabricação, pois foram feitas de maneira prática na empresa “X”, onde foram vivenciadas situações que necessitam de alterações de processos. Os experimentos tiveram uma evolução significativa, onde foram utilizadas três amostras com diferentes classes de insertos. o que possibilitou um melhor resultado no terceiro teste.

No primeiro teste foi usinado um lote de peças com o uso de inserto de classe normal. Neste teste obteve-se o pior resultado devido à baixa durabilidade e instabilidade dos resultados, permitindo usinar apenas 23 peças tendo a necessidade de intervenção nas medidas dos parâmetros.

No segundo teste foi utilizado em inserto especial redondo alcançando uma melhor durabilidade do inserto em relação ao primeiro teste. Foi possível usinar 75 peças. Apesar de apresentar índices de Cp e Cpk acima de 1,33, os resultados não foram satisfatórios porque foi identificado a presença de causas especiais com rejeição em 5 dos 8 testes de padrões de não aleatoriedade e um valor de amplitude que representa 60% da tolerância de especificação. Além disso, houve a necessidade de intervenção nas correções das medidas com objetivo de não produzir peças fora da conformidade e pela tendência do processo em diminuir a medida se aproximando do limite inferior de especificação.

No terceiro teste foi utilizada outra classe de inserto para corte interrompido com geometria triangular. Observou-se uma maior durabilidade do inserto quando comparado com os testes anteriores. Foram usinadas 90 peças obtendo-se melhores valores de Cp e Cpk apresentando, desta forma, uma melhora significativa. A amplitude dos dados diminuiu de 60% para 16% da tolerância de especificação. A troca do tipo de inserto permitiu diminuir de 5 para 3 testes de padrões de não aleatoriedade rejeitados o que se mostrou ser um processo

mais estável. Não foi necessária nenhuma intervenção nas correções até ocorrer a quebra do inserto na peça número 90.

Devido ao grau de dificuldade em usinar superfícies com corte interrompido, no terceiro teste também foi identificado a presença de causas especiais. Desta forma o processo precisa de acompanhamento mais detalhado e com maiores frequências de medições objetivando melhorar e aperfeiçoar o processo até a eliminação completa das causas especiais presentes.

Apesar de o estudo obter resultados satisfatórios, onde foi realizado 3 testes com insertos de classes diferentes melhorando a cada teste, pode-se concluir que fica comprovada a eficácia do processo de torneamento duro da engrenagem. No entanto, é de responsabilidade do departamento de qualidade da empresa tomar a decisão de aprovar ou não a alteração do processo permitindo assim que a empresa efetue o desligamento da retífica que não atende às normas de segurança.

Desta forma, pode-se concluir que o objetivo do trabalho foi alcançado uma vez que os resultados obtidos nos três testes realizados caracterizam a avaliação do processo de torneamento duro de engrenagem por meio da avaliação da capacidade do processo.

REFERÊNCIAS

AVARIAS E DESGASTES DA FERRAMENTA, Disponível em:
<http://slideplayer.com.br/slide/3693295>, acessado em 14 de outubro de 2017.

BISSOLI, Ferramentas de Usinagem. Produtos. **Insertos**. Disponível em:
<<http://bissoliferramentas.com/produto/inserto-tpkn/>>. Acesso em 18 de setembro de 2017.

CORPORATION, D.C., COMPANY, F.M, CORPORATION, G.M. **Manual de Referência do Controle Estatístico do Processo – CEP**, 2.ed., IQA, São Paulo, 2005.

DEMING, William Edward. **Qualidade: A revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

EATON DIVISÃO DE TRANSMISSÕES. Produtos e Soluções. Veículos. Produtos e Serviços. **Transmissões Mecânicas Leves**. Disponível em:
<http://www.eaton.com.br/EatonBR/ProductsSolutions/Vehicle/ProductsServices/Transmiss%C3%B5es/PCT_503783> Acesso em 22 de outubro de 2017.

Guia Trabalhista. Segurança e Saúde. **NR12 - Máquinas e Equipamentos**. Disponível em:
<<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>>. Acesso em 10 de agosto de 2017.

JURAN, J. M. **Qualidade Desde O Projeto: Novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**, Cengage Learning 1997 São Paulo.

Kane, V.E. **Process Capability Indices**, Journal of Quality Technology, 18, pp. 41-52. 1986.

Ministério do Trabalho e Emprego. Legislação. **Consolidação das Leis Trabalhistas – CLT**. Disponível em: <<http://acesso.mte.gov.br/legislacao>>. Acesso em 06 de outubro de 2017.

Manual AIAG(2005).Statiscal Porcess Control. Disponível em:
<<https://pt.scribd.com/doc/246789487/AIAG-Statistical-Process-Control-SPC-2nd-Edition-pdf>>. Acesso em 06 de outubro de 2017.

MARTINS, P.G, LAUGENI, F.P. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo. Saraiva. 2015.

MAXIMIANO, A.C.A. **Introdução a administração**. 8. ed. rev. e ampl. São Paulo. Atlas. 2011.

MITSUBISHI MATERIALS NO BRASIL. Informações Técnicas. Formulas. Introdução. **O que é usinagem**. Disponível em:
<http://www.mnbr-carbide.com.br/technical_information/tec_guide/tec_guide_carbide>.
Acesso em 27 de setembro de 2017.

OLIVEIRA, J.B., SOUTO, R.R., MAIA, R.D.A, MEIRA, J.A., LIMA, V.S.P. Análise da Capacidade de um Processo: Um Estudo de Caso Baseado nos Indicadores Cp e Cpk. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXI., 2011, Belo Horizonte. Disponível em:
<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_136_863_19320.pdf>. Acesso em 02 de março de 2017.

Portal PPAP. Processo de Aprovação de Peças de Produção. **O que é PPAP**. Disponível em:<<http://www.ppap.com.br/website/index.html>>. Acesso em 10 de agosto de 2017.

Portal de Conhecimentos. Conteúdo. **Índices de Capacidade do Processo (Cp, Cpk)**. Disponível em: <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/Indices-de-Capabilidade-do-Processo-Cp-CpK>>. Acesso em 14 de agosto de 2017.

PROCESSO DE RETIFICAÇÃO. Disponível em
<<http://slideplayer.com.br/slide/11835903/>>. Acesso em 14/09/2017).

Slide Player. **Avarias e Desgaste da Ferramenta**. Disponível em:
<<http://slideplayer.com.br/slide/3693295>>. Acesso em 14 de setembro de 2017.

Slide Player. **Processo de Retificação**. Disponível em:
<<http://slideplayer.com.br/slide/11835903/>>. Acesso em 14 de setembro de 2017.

SHEWART, A. WALTER. **Shewhart control charts**. International Organization for Standardization. ISO 8258-1991.

Aceito em: 05/12/2018.

Publicado em: 10/12/2018.