

METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DE CUSTO E MELHORIA NA PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE CROMO EM VÁLVULAS DE ADMISSÃO E ESCAPAMENTO DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.

Fábio Donisete Batista¹

Sarah Aparecida da Cruz²

RESUMO

Este trabalho descreve o uso da metodologia Seis Sigma para redução de custo e melhoria na produtividade do processo de deposição de cromo em válvulas de admissão e escapamento de motores a combustão interna. Esta metodologia se faz necessária para a redução da variabilidade, aumento da capacidade técnica do equipamento/profissional e para gerar o lucro ótimo. O objetivo deste estudo é eliminar a variação do processo de deposição de cromo, diminuindo a camada aplicada, utilizando as métricas do Seis Sigma, apoiado por ferramentas de qualidade, a fim de deixar as perdas em níveis aceitáveis e a empresa mais competitiva. Este propósito será conseguido através de uma pesquisa-ação em uma multinacional do sul de Minas Gerais fabricante de válvulas para diversos motores, onde serão avaliados estatisticamente os processos que afetam o projeto. O trabalho demonstrou que o Seis Sigma é uma estratégia de negócio muito disciplinada que busca a satisfação dos clientes, exige dados confiáveis e objetivos que devem estar bem focados no problema do trabalho proposto e que, servem como referência para comprovar que as mudanças realizadas foram convertidas em melhorias. Esta metodologia ajudou a solucionar problemas e realizar melhorias no processo, como mudanças de *layout*, mudanças de fluxo de trabalho e ganhos financeiros, onde as perdas foram eliminadas reduzindo os custos de manufatura.

Palavras chave: Seis Sigma. Deposição de cromo. Melhoria.

¹ Graduação em Engenharia Mecânica – Centro Universitário do Sul de Minas. Green Belt, Metodologia 6 Sigmas – UNICAMP. E-mail: fabiocharger73@yahoo.com.br

² Professora Especialista em Gestão Estratégica e Inteligência em Negócios. E-mail: sarahcruz@unis.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com a globalização não há fronteiras para a concorrência, os limites geográficos não mais impedem ou restringem a comercialização, trocas, consultas, pesquisas, visitas técnicas para aquisição de produtos ou serviços. Esta nova forma de mercado faz com que empresas revisem constantemente suas estratégias de sobrevivência, com rápidas e eficientes ações em seus processos de produção, tornando esta atitude fundamental para sustentar suas vendas e seus lucros, garantindo assim a satisfação dos clientes e a perpetuação dos negócios.

O objetivo do trabalho é melhorar o desempenho em um processo produtivo de deposição de cromo diminuindo a camada depositada e conseqüentemente eliminar defeitos como: alto índice de retrabalho, consumo elevado de materiais, falhas e variabilidade na cadeia produtiva, gerando redução de desperdícios, promovendo garantia de qualidade do produto, redução do impacto ambiental, redução de custo operacional e desta maneira atingir satisfação dos clientes. O processo de deposição de cromo é muito oneroso, a camada depositada é muito irregular e causa perda de produtividade em equipamentos para realizar a sua correção. Os resíduos gerados pelo setor e o seu posterior tratamento, que possui alto custo, é crítico ambientalmente e de difícil manuseio, sua armazenagem e controle exige muito cuidado e responsabilidade.

Para atingir este objetivo, será utilizada a metodologia Seis Sigma que irá auxiliar a estruturar estudos baseados em dados, avaliando a variabilidade e o desempenho de todo o fluxo produtivo, buscando o resultado ótimo e visando o lucro. O ponto chave para aplicar a metodologia é utilizar a ferramenta principal do Seis Sigma que, em fases, irá definir o problema com precisão, colher dados, medir e analisar as causas do problema e, propor, melhorar, avaliar e programar as soluções com controle apurado garantindo o sucesso das ações implantadas. Estas fases compõem um método bastante conhecido, que utiliza as iniciais das seguintes palavras em inglês: *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*, e esta ferramenta é o DMAIC. O trabalho será apoiado no *software* com foco em análise estatística, conhecido como Minitab e suportado por ferramentas da qualidade como os gráficos de Pareto, diagramas de causa e efeito que, somados, ajudam na rápida avaliação e interpretação dos fatos.

2 METODOLOGIA SEIS SIGMA

O tema Seis Sigma é bastante abrangente e amplamente aplicado na indústria e no mundo dos negócios. A partir da década de oitenta ficou muito conhecido pelo seu sucesso com grandes empresas. É um processo estruturado, disciplinado baseado em dados para a melhoria do desempenho dos negócios, aplicando-se em toda a empresa e não apenas na manufatura. Sua utilização irá criar uma vantagem competitiva e uma mentalidade de melhoria contínua, aumentando o nível de satisfação do cliente e de desenvolvimento do funcionário e da empresa (ECKES, 2001).

O programa Seis Sigma foi batizado com o nome da letra grega sigma (σ), que representa o desvio padrão em notação estatística, já evidenciando a grande ênfase na utilização desta ferramenta. O uso sistemático da estatística nos projetos tem como objetivo reduzir a variabilidade, até a obtenção da difícil meta de 3,4 defeitos por milhão de peças produzidas (CARVALHO et al, 2005).

O princípio fundamental do programa Seis Sigma é reduzir continuamente a variação nos processos, e desta maneira eliminar os defeitos ou falhas nos produtos e serviços (LINDERMAN et al., 2003).

Segundo Einset e Marzano (2002), em média, as indústrias operam em um nível de qualidade Três Sigma, e isto custa aproximadamente 25% do faturamento em desperdícios como inspeções, retrabalhos, testes, rejeitos, perdas, desgaste da imagem e por fim, até mesmo perda de clientes. O foco dos projetos Seis Sigma nunca são os resultados financeiros, porém aplicando-se a metodologia sempre se tem retorno.

Quadro 01- Tradução do nível da qualidade para a linguagem financeira.

NÍVEL DE QUALIDADE	DEFEITOS POR MILHÃO (PPM)	CUSTO DA NÃO QUALIDADE (% do faturamento da empresa)
Dois Sigma	308.537	Não se aplica
Três Sigma	66.807	25 a 40%
Quatro Sigma	6.210	15 a 25%
Cinco Sigma	233	5 a 15%
Seis Sigma	3,4	< 1 %

Fonte: Werkema (2002, p.17).

A implantação gera uma mudança profunda, pois é uma estratégia de negócio e segundo Rotondaro et al (2002, p. 18), “Seis Sigma é uma filosofia de trabalho para alcançar, maximizar e manter o sucesso comercial, por meio da compreensão das necessidades do cliente (internas e externas). É um conceito que se concentra no cliente e no produto”.

O Seis Sigma parece não envolver nada de novo: são usadas ferramentas estatísticas conhecidas há anos na busca da eliminação de defeitos em todos os processos da empresa. No entanto, apesar de as ferramentas do Seis Sigma não serem novidade, sua abordagem e a forma de implementação são únicas e muito poderosas, o que explica o sucesso do programa. (WERKEMA, 2002, p. 21).

“No Brasil, o Seis Sigma foi disseminado a partir de 1997, quando o Grupo Brasmotor introduziu o programa em suas atividades e apurou em 1999 ganhos de R\$ 20 milhões.” (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007, p. 203 apud WERKEMA, 2002, p. 19).

Para Linderman et al (2003), um processo deve ter como meta o nível Seis Sigma, somente se for importante para o cliente e o investimento não seja tão alto a ponto de economicamente ser inviável para a organização. É fato que melhorar do nível 2 ou 3 para 4 é mais fácil do que melhorar do nível 4 para 5 ou 6.

Os textos, artigos, trabalhos e livros sobre Seis Sigmas são enfáticos em dizer que é muito importante ter pessoas bem preparadas e treinadas para a sua rigorosa implantação e segundo Eckes (2001, p. 28) “as organizações que são consideradas bem sucedidas em seus esforços para a qualidade possuem líderes vibrantes, participantes, bem informados e, sobretudo, pessoalmente envolvidos no processo”.

2.1 Ferramentas

Conforme Pande, Neuman e Cavanagh (2001), para que uma empresa trabalhe com alto desempenho é necessário que se forme uma equipe de trabalho muito comprometida, devendo conter membros treinados, com responsabilidades e papéis muito bem definidos para os patrocinadores e especialistas do Seis Sigma como os *Sponsors, Champions, Master Black Belts, Black Belts, Green Belts, Yellow Belts e White Belts* (WERKEMA, 2002).

Quadro 02 - Exemplos de equipes Seis Sigma.

Papel genérico	Belts ou outros títulos.
Conselho de liderança	Conselho da qualidade, comitê de gestão Seis Sigma, comitê gerencial da empresa.
Patrocinador	<i>Champion</i> , proprietário do processo.
Líder de implementação	Diretor Seis Sigma, líder da qualidade, <i>master black belt</i> .
<i>Coach</i> (Treinador)	<i>Master black belt, black belt</i> .
Líder de equipe	<i>Black belt, green belt</i> .
Membro de equipe	<i>Green belt</i> , membro de equipe.
Proprietário de processo	<i>Champion, green belt</i> .

Fonte: Pande, Neuman e Cavanagh (2001).

Segundo Pande (2002), a metodologia DMAIC se baseia no ciclo *Plan, do, check, action*, conhecido como ciclo PDCA, usado para melhorias em processos e projetos. Sua

utilização é fundamental, pois a fase “Definir” busca identificar necessidade e requisitos dos clientes e associá-los aos objetivos estratégicos da empresa, para então se definir processos críticos que deverão definir projetos a serem realizados. A fase “Medir” é a aplicação de ferramentas estatísticas para traçar estado atual dos processos e se estabelecer metas de aprimoramento. A etapa “Analisar” faz uso de ferramentas estatísticas e não estatísticas para identificação da causa raiz do problema definido. A etapa “Melhorar” faz a utilização de ferramentas estatísticas para melhoria do processo e as ações para correção do problema alvo. A fase “Controlar” é a aplicação de ferramentas com o intuito de manter as melhorias alcançadas e torná-las padrão (ANÁLISE... 2006).

Uma das ferramentas principais da fase inicial do projeto é a sigla para as palavras em inglês: *Supplier, Input, Process, Output, Customer* (SIPOC), que é muito importante para a identificação dos passos do processo e a definição de fronteiras de atuação (ECKES, 2001).

Segundo Linderman et al (2003), outra ferramenta que auxilia na fase de definição do projeto é o *Voice of customer* (VOC) ou voz do cliente. É muito importante para identificar as necessidades e requisitos exigidos pelos clientes internos e externos.

Para obter melhores resultados nesta importante fase do projeto, serão utilizadas mais duas ferramentas de análise que são respectivamente a árvore *Critical to quality* (CTQ) ou árvore CTQ ou crítico para a qualidade e as enquetes, que são utilizadas para melhor analisar e entender as necessidades dos clientes. Estas duas ferramentas tiveram sua elaboração analisada pelo grupo de trabalho Seis Sigma. No quadro 3 temos as questões que foram incluídas nas enquetes de trabalho (ROTONDARO et al., 2002).

Quadro 03 - Questionário CTQ.

Críticos para a Qualidade (CTQ)
1) Qual é o seu fornecedor (operação anterior que tem influência na haste)?
2) Qual é a frequência dos defeitos mais graves que vêm do seu fornecedor e quais são?
3) O que o seu fornecedor não te fornece e que você acha que ele deveria te fornecer?
4) Se o seu cliente te fornecer peças dentro dos limites estabelecidos pelo desenho operacional dele, ele atende completamente às suas expectativas? Sim () Não ()
5) Quais são as principais características (dimensões) do seu produto?
6) O que você deve atender para enviar um produto com boa qualidade e como você tem acesso a estas informações?
7) Qual é o seu cliente (próxima operação relacionada a haste) ?
8) Quais são as principais reclamações de seu cliente em relação ao seu produto?
9) Qual é o seu principal problema operacional (dificuldade na produção)?

Fonte: Próprio autor

3 AS VÁLVULAS E SEU PROCESSO FABRICAÇÃO

As válvulas são componentes de alta precisão, sua função é controlar o processo de troca de gases e estão sujeitas a altas tensões térmicas e mecânicas (TAYLOR, 1985). A fabricação das válvulas passa por diferentes e complexos processos e são utilizados desde materiais de baixo teor de carbono até superligas para o revestimento de alguns de seus elementos (HEYWOOD, 1988).

Antes de receber o banho de cromo, as válvulas passam por um processo de retificação de sua haste, que tem forma cilíndrica e com vários tamanhos de diâmetro e de comprimento a ser retificado. Este processo é denominado como retífica de haste semifinal e se esta operação não for feita corretamente, seguindo todas as especificações técnicas, certamente comprometerá todos os processos subsequentes inclusive o processo de deposição de cromo, podendo até afetar o cliente final.

Atualmente, a eletrodeposição é o principal método de aplicação de cromo deixando o com uma excelente resistência à corrosão, pois forma uma fina camada protetora de óxido de cromo na sua superfície além de ser um metal que apresenta alta resistência ao desgaste e baixo coeficiente de fricção (PANOSSIAN, 1997). Uma das principais propriedades do cromo duro é a alta dureza, com valores entre 850 e 1200 Vickers que são equivalentes a 70 Rockwell C ou 800 Brinell que estão bem ligados à resistência confirmando as propriedades (OLIVEIRA 2010). Os revestimentos de cromo duro que são resistentes ao desgaste possuem camada entre 0,0005 e 0,5 mm de espessura (RAMANATHAN, [1988?]).

4 METODOLOGIA DMAIC

4.1 Fase Definir

É a fase mais importante do projeto, se não for bem gerenciada o projeto tenderá ao fracasso. É importante para as pessoas numa organização terem um mesmo roteiro para o plano de melhorias e este plano exerce essa função baseando-se no modelo DMAIC.

A equipe Seis Sigma foi oficialmente definida em reunião específica, onde também foi definido o contrato do projeto, que contém a proposta com as principais informações preliminares deste projeto a ser desenvolvido juntamente com a missão do projeto, realizando seis perguntas objetivas com todo o planejamento, incluindo: declaração do problema, escopo,

metas, impactos financeiros e *saving*, prazos e equipe. A ferramenta SIPOC foi colocada em prática para definição das fronteiras do projeto, gerando o mapeamento do processo.

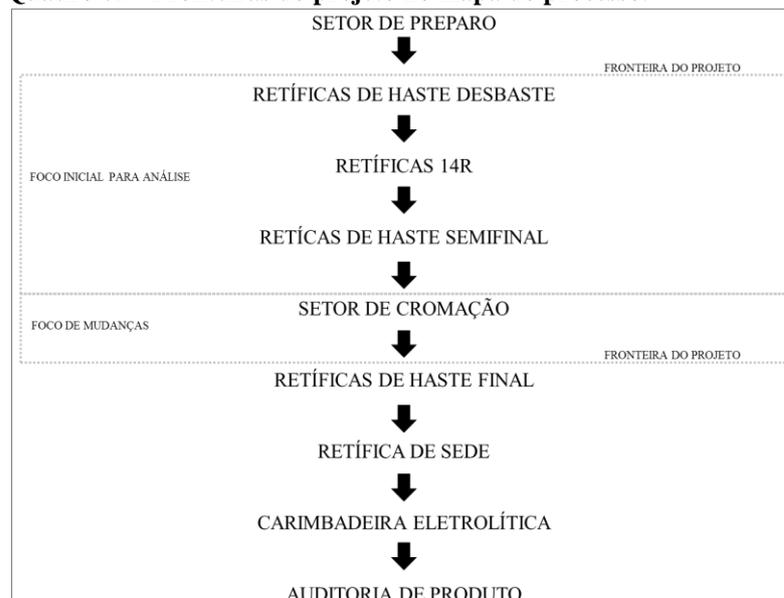
Quadro 04 - SIPOC do processo.

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Setor de Preparo	Válvulas Semi Preparadas	Retíficas de haste Desbaste	Válvulas com as Hastes Acabadas	Auditoria do Produto
		Retíficas de Haste Semifinal		
		Setor de Cromação		
		Retíficas de haste final		

Fonte: Próprio autor

Abaixo está um fluxograma do processo atual para melhor analisarmos as etapas que agregam valor a haste da válvula nas fronteiras do projeto.

Quadro 05 - Fronteiras do projeto no mapa do processo.



Fonte: Próprio autor

O VOC foi utilizado em forma de questionário para a definição das CTQ's. Este questionário foi distribuído para os profissionais responsáveis dos processos que estarão envolvidos no projeto Seis Sigma. As respostas obtidas, resumidamente, foram que, os fornecedores internos devem seguir rigorosamente as orientações dos desenhos operacionais e que, manutenções preventivas são essenciais para as máquinas e equipamentos, o estabelecimento de parâmetros de trabalho é primordial para padronizar os trabalhos definindo assim os processos CTQ. Para guiar os trabalhos, são propostas as metas do projeto conforme o quadro 06, e estas, serão explícitas com o intuito de estimular o desempenho da equipe envolvida.

Quadro 06 - Objetivos do projeto.

Foco do projeto	Parâmetros	Atual	Meta
Operação de deposição de cromo duro na haste.	Camada de cromo	Especificado = de 3 á 20 μm	De 4 á 7 μm
	Nível Sigma	1,8 á 2,4 σ	6 σ
Custos de todo o processo	Custo em US\$/ano	262.132,94	164.250,00

Fonte: Próprio autor

4.2 Fase Medir

4.2.1 Medições deposição de cromo

Este setor deve receber as válvulas com as dimensões da haste dentro do especificado em desenho operacional, ou seja, é fundamental em qualquer processo produtivo o conceito de cliente interno.

Os parâmetros deste processo estão definidos em procedimentos de trabalho onde cada tipo de válvula tem seu próprio tempo, temperatura, amperagem, camada, etc. Para o estudo das válvulas deste cliente os parâmetros de trabalho são conforme quadro 7, válvula A.

Quadro 07 - Parâmetros do processo de deposição de cromo

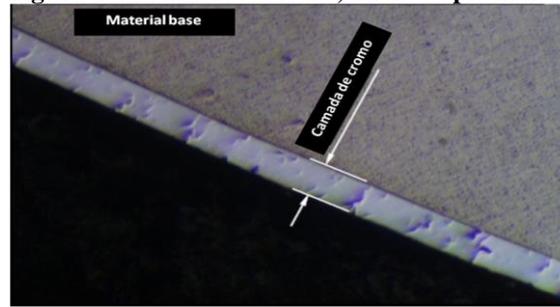
VÁLVULA	PEÇAS/BANDEJA	CAMADA	TEMPO	TEMPERATURA
A	98	3 á 20 μm	16 minutos	60° - 65°
B	98	5 á 26 μm	20 minutos	60° - 65°
C	98	3 á 30 μm	18 minutos	60° - 65°

Fonte: Próprio autor.

4.2.2 Avaliação dimensional

Sendo esta operação objeto de estudo deste trabalho, será avaliado o diâmetro da haste em três pontos distintos de sua extensão após a deposição e nestes trechos da haste também será avaliada a espessura da camada de cromo em laboratório metalúrgico.

Figura 1 - Camada de cromo, microscópio 1000x.



Fonte: Próprio autor.

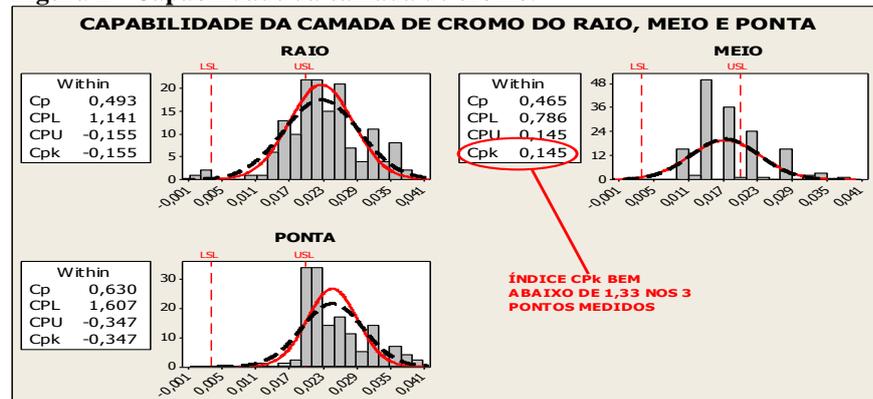
A camada de cromo foi estudada por amostragem, sendo retiradas 4 peças de diferentes pontos da bandeja, por um período de um mês.

4.2.3 Estudo da capacidade técnica da camada de cromo

Medir o quanto os processos são capazes é um bom começo para a identificação de alguns problemas. Foram dimensionadas várias amostras de 150 peças cada, durante alguns meses de trabalho.

Medindo a capacidade deste processo relacionado à camada depositada, observou-se que esta era bem maior que o especificado. Dentro da empresa há um paradigma de que quanto maior a camada depositada menos problemas teríamos com retrabalhos e rejeitos e o excesso de cromo depositado neste caso, ajudaria na correção destas eventuais irregularidades de paralelo, ressaltos, depressões, enfim, “a camada grossa de cromo era a salvação”, já que a haste cromada ainda seria retificada para dar um polimento e supostamente acertar os defeitos. Foi concluído então no gráfico da figura 2 que o processo de cromação é incapaz de atender os desenhos operacionais do projeto.

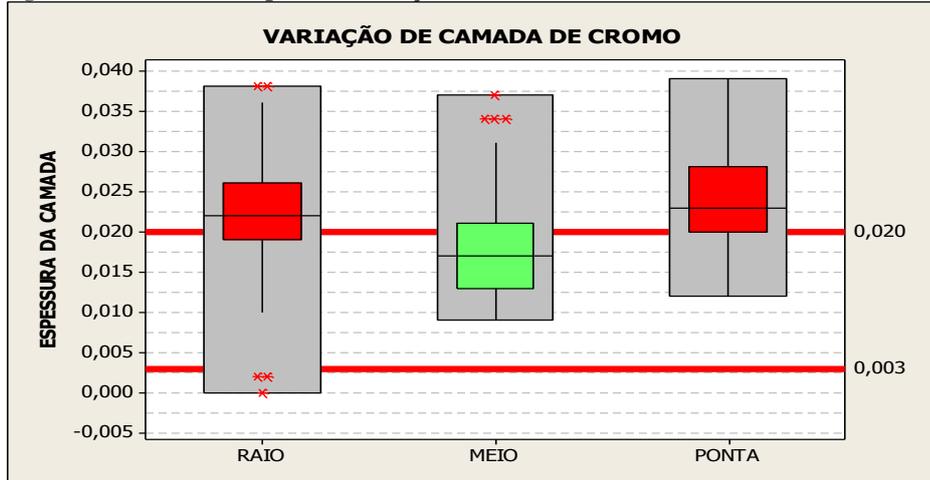
Figura 2 - Capabilidade da camada de cromo.



Fonte: Próprio autor

Conforme gráfico 26 logo abaixo é possível visualizar a variação no paralelo em todo o diâmetro da haste das válvulas, onde as linhas vermelhas representam as camadas mínimas e máximas permitidas em desenho. As linhas horizontais dentro dos quadrados representam a concentração das médias do diâmetro da haste em três pontos, como visto, estando acima do limite permitido em desenho operacional.

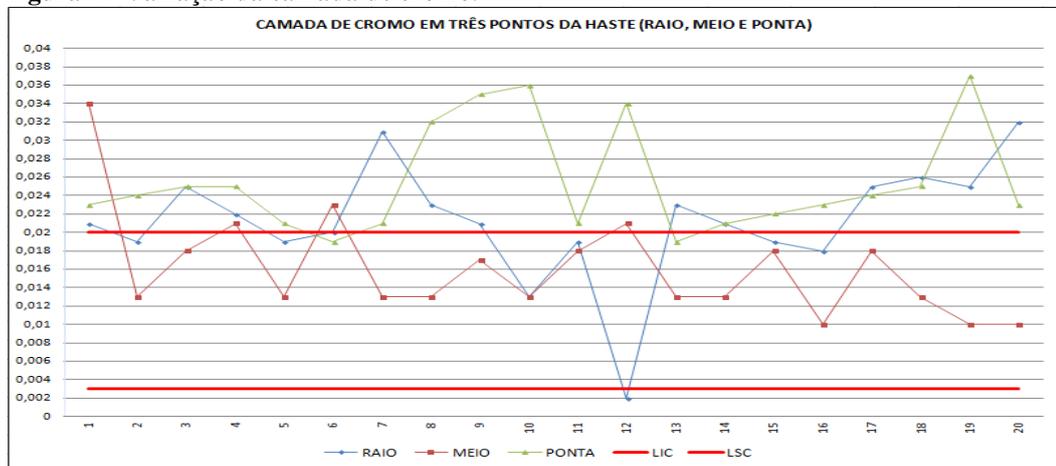
Figura 3 - Gráfico Box plot da variação da camada de cromo.



Fonte: Próprio autor

Para confirmar o mal desempenho, de acordo com o gráfico da figura 25, que apresenta uma parte do total dos dados, é possível visualizar o excesso de cromo depositado, bem acima da tolerância máxima permitida, e após esta operação, haverá uma retífica de haste final para remoção deste excesso que, com muitas dificuldades, possivelmente corrigirá eventuais problemas apresentados por algumas irregularidades anteriores.

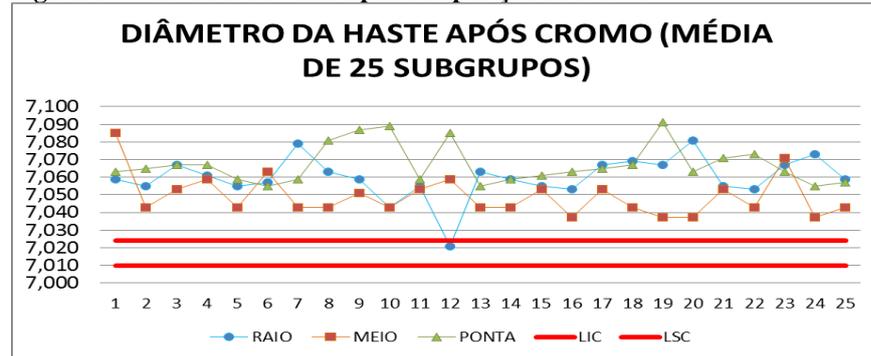
Figura 4 - Variação da camada de cromo.



Fonte: Próprio autor.

Na figura abaixo, está parte do gráfico onde o diâmetro da haste cromado está muito maior que o especificado devido a camada, com o processo nestas condições, os resultados são inviáveis para o fluxo operacional. Nota-se uma grande quantidade de cromo a ser removida na operação posterior, fazendo os tempos de processamento ser bem maiores do que o normal.

Figura 5 - Diâmetro da haste após a deposição de cromo

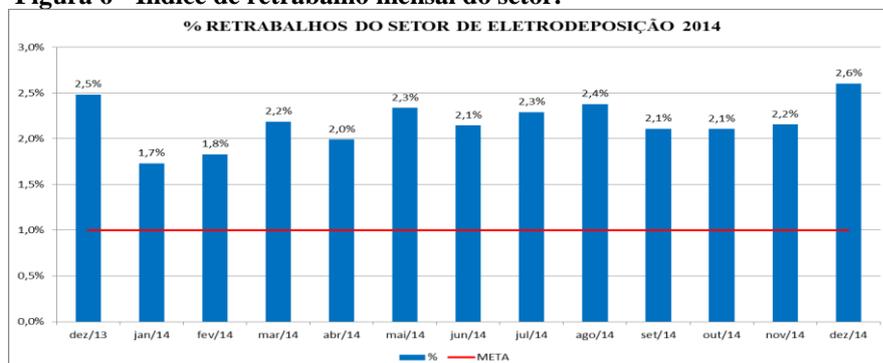


Fonte: Próprio autor

O excesso de cromo gerou muitos retrabalhos e em um ano de produção, o setor de deposição de cromo gerou em média 2% de retrabalho em relação ao total produzido, ocasionando uma perda financeira na ordem de 4% do valor do faturamento mensal, da empresa, mostrando um processo fora de controle.

O setor se tornou a restrição no processo produtivo, pois além de gerar muitos retrabalhos, também tinha um processo produtivo lento, com números bem abaixo da necessidade atual exigida pelo mercado, fazendo com que toda a produção fosse condicionada a aquela situação operacional.

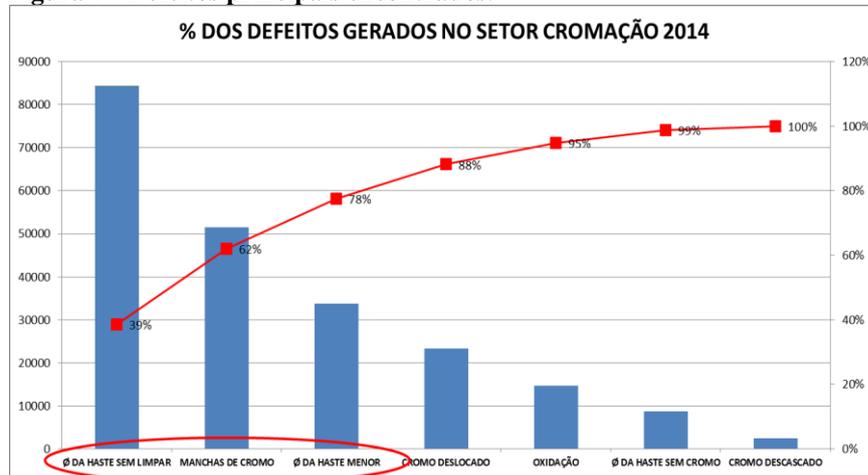
Figura 6 - Índice de retrabalho mensal do setor.



Fonte: Próprio autor

Em relação ao total de defeitos gerados, observou-se através de Pareto que a grande quantidade dos problemas estava concentrada em três situações que se originam das retíficas de haste semifinal que são operações que preparam a haste da válvula para receber o cromo.

Figura 7 - Defeitos principais encontrados.

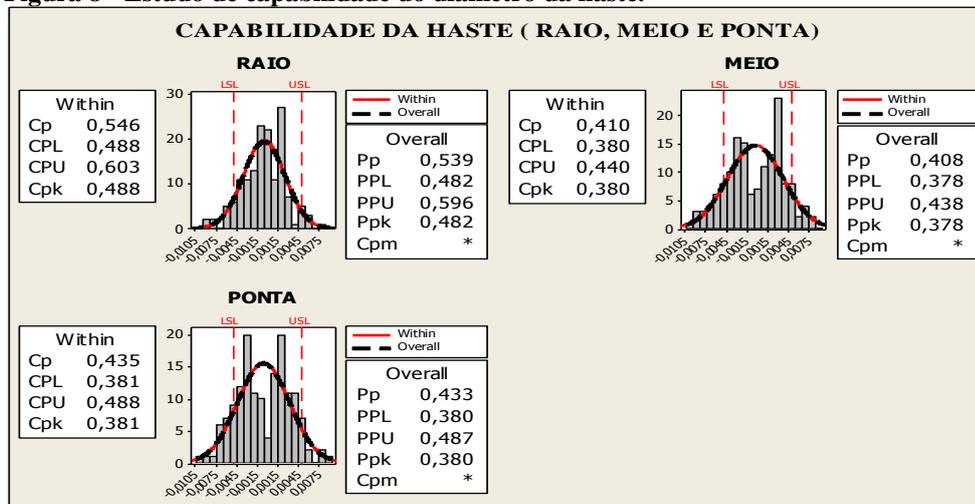


Fonte: Próprio autor

4.2.4 Medições haste semifinal

O diâmetro da haste foi avaliado em três pontos de seu comprimento. Os resultados obtidos foram lançados no programa estatístico Minitab para estudos dos dados desta operação. As dimensões do diâmetro da haste da peça tem tolerância de $\pm 0,005$ mm.

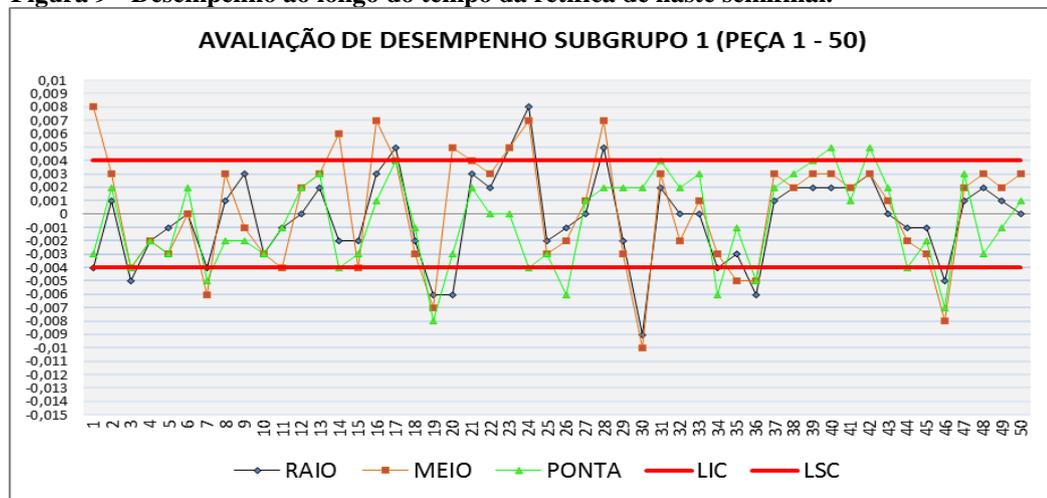
Figura 8 - Estudo de capacidade do diâmetro da haste.



Fonte: Próprio autor

De acordo com os resultados dos vários testes gerados pelo programa, constatou-se que o processo não é capaz de produzir e fornecer peças com estas especificações de tolerâncias para a operação de deposição de cromo, já que em nenhum dos três pontos de medição (raio, meio e ponta) atingiu-se o Cp e Cpk mínimo de 1,33, conforme figura 18 acima. Para obter maior confiabilidade nos resultados e maior acerto nas tomadas de decisões, também foi avaliado individualmente o diâmetro da haste em subgrupos de 50 peças a cada hora de trabalho durante o período de 24 horas, por alguns dias intercalados para garantir a representatividade das amostras.

Figura 9 - Desempenho ao longo do tempo da retífica de haste semifinal.



Fonte: Próprio autor

5 FASE ANALISAR

Analisando os dois processos em sequência, em primeiro lugar está a retífica de haste semifinal, que foi o ponto crucial para a melhoria em todo o processo produtivo, pois foi identificado a não capacidade deste ponto do processo, em segundo, está a deposição de cromo que, como cliente, também tinha uma parcela na má qualidade neste fluxo produtivo.

O FMEA de processo foi atualizado para estes dois processos e como exemplo á seguir um destes documentos.

Figura 10 – FMEA.

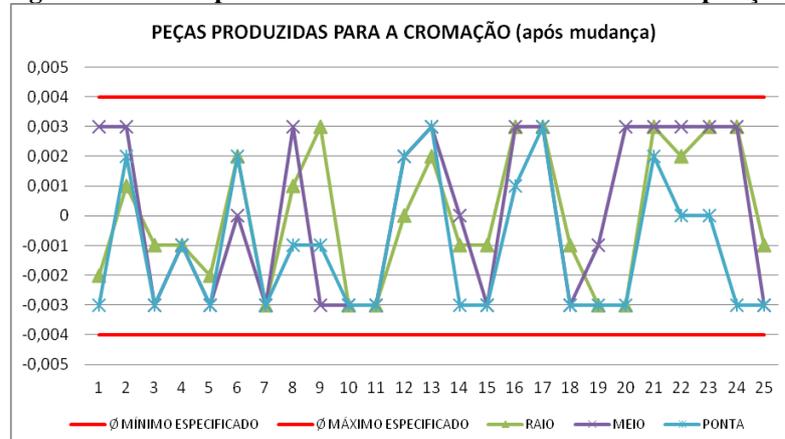
FMEA DE PROCESSO															
Fornecedor Empresa Automotiva_S/A			Identificação do Produto Válvula de Admissão/ Escape				Número da FMEA OP-5260			Página 4 de 5					
Cliente Genérico		Preparado por Fábio Batista		Data Início 08/09/14		Data Revisão 24/04/12		Responsável pelo Processo Supervisor de Produção							
Equipe Grupo FMEA				Aprovado por Supervisor de Qualidade											
Observações															
Função e Requisitos do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	S e l i a v i s e r e s	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	O c o r r	Controle atuais do processo	D e t e c	N P R	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Ações Tomadas	S e v e r	O c o r r	D e t e c	N P R
Banho TC-09 / TC-10 / TC-11 / TC-12 Cromo eletrolítico			7	Amperagem abaixo/ acima do especificado	2	Ampermetro automático	2	28							
				Anodo desgastado / ou improprio	4	Inspeção visual dos anodos diariamente	4	112							
Banho TC-00U Lavagem em água na temperatura ambiente (Spray)	Limpeza incorreta das válvulas	Manchas nas válvulas	4	Falha no sistema de borrifação de água	3	Percepção do profissional	5	30							
Banho TC-00C / TC-00B / TC-00A Lavagem em água na temperatura ambiente por imersão, seguindo a sequência dos banhos	Limpeza incorreta das válvulas	Manchas nas válvulas	2	Acumulação excessiva de substâncias contaminantes ou excesso de cromo	4	Percepção Visual do profissional	4	32							
Desmontagem das bandejas	Manuseio inadequado das válvulas	Barbas, manchas e riscos na válvula	7	Descuido no momento de desmontar	3	Instrução de controle: Inspeção Visual 5 válvulas por bandeja	4	84							

Fonte: Próprio autor

Com base nos dados será proposta a mudança de rota de fabricação para maior eficácia do projeto, obviamente serão recalculadas as dimensões do produto onde um dos pontos principais será a diminuição da tolerância do diâmetro da haste final, que agora será antes da deposição de cromo para contemplar esta proposta e garantir peças dentro do especificado.

Com as máquinas que retificavam a haste após o cromo (retíficas de haste final) fazendo a retificação da haste antes da deposição de cromo, houve uma excelente melhoria na qualidade do diâmetro da haste e em todas as demais especificações das peças recebidas pelo setor de deposição de cromo, ou seja, o setor de cromação receberá somente peças dentro do especificado. No gráfico abaixo, está representado parte dos dados com as médias de 25 amostras, o processo foi acompanhado durante algumas semanas, gerando um banco de dados com valores suficientes para apoiar as mudanças de máquinas.

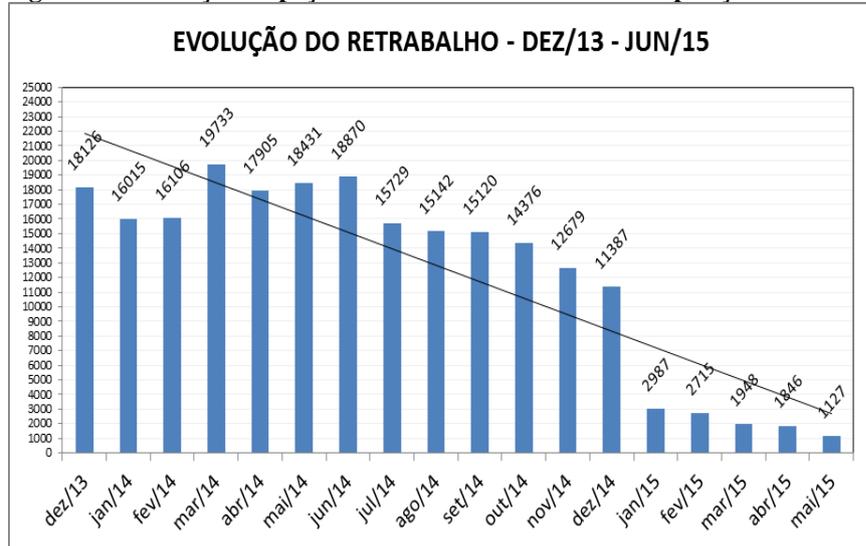
Figura 11 - Desempenho da retífica de haste final antes da deposição de cromo.



Fonte: Próprio autor

Ainda com ajuda de todos os dados, observou-se que a camada de cromo, independentemente de sua espessura, não perde a sua característica de proteção ao metal base, então para concluir os trabalhos definiu-se que a camada de cromo seria diminuída de 0,0115 mm em média para 0,0055 mm em média, uma redução de aproximadamente 50%, por válvula produzida. Lembrando que anteriormente a camada era aplicada em excesso, chegando a absurdos 0,040 mm de camada além do permitido, pois a haste seria retificada e finalmente acabaria ficando praticamente com a mesma camada de atualmente. Com estas melhorias, o retrabalho no setor diminuiu absurdamente.

Figura 12 - Redução de peças retrabalhadas no setor de deposição de cromo.



Fonte: Próprio autor

Houve uma redução nos índices de retrabalho do setor, mostrando uma melhoria de em média 90%, isto quer dizer que, além de mais peças saindo do setor, houve maior aproveitamento da mão de obra e houve uma grande diminuição do retrabalho, sem perdas para a produção, em outras palavras, melhorou a produtividade.

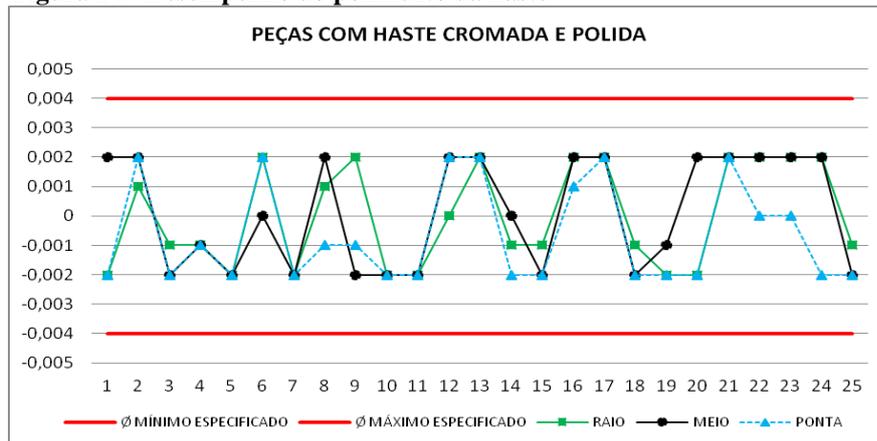
Figura 13 - Redução dos índices de retrabalho.



Fonte: Próprio autor

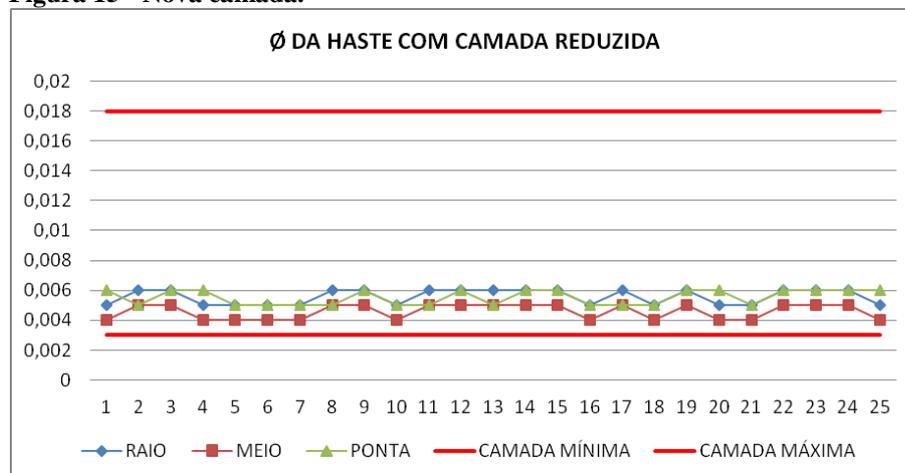
Os gráficos das figuras 34 e 35 mostram a qualidade da dimensão do diâmetro da haste e a excelente estabilidade da espessura da camada depositada, os resultados alcançados trarão enormes benefícios para o fluxo produtivo aumentando a dinâmica do processo tanto anterior quanto posterior á deposição de cromo.

Figura 14 - Desempenho do polimento da haste.



Fonte: Próprio autor

Figura 15 - Nova camada.



Fonte: Próprio autor

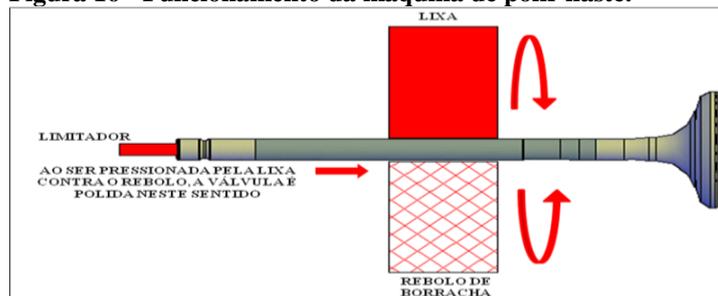
Houve também muita disciplina em seus controles, padronização de parâmetros, muito treinamento para todos os funcionários envolvidos, pois com a camada menor a ser depositada os trabalhos no setor se tornaram mais dinâmicos, exigindo uma resposta mais rápida com relação a correções eventuais das dimensões que ocorrem hora a hora no setor.

6 FASE MELHORAR

Para dar o acabamento à haste das válvulas cromadas haverá uma máquina apenas para fazer o polimento das hastes cromadas das válvulas onde não haverá remoção significativa de material, apenas melhoria no acabamento superficial que também será controlado em desenho operacional específico. Esta operação consiste em basicamente lixar o cromo para deixar as peças com a haste mais brilhante.

Esta máquina funciona automaticamente, sem operador. A válvula, através de alimentadores automatizados, é inserida entre o rebolo de borracha e o rebolo que suporta a lixa, apoiando-se sobre uma régua com rolete giratório, onde a lixa avança em direção a peça, pressionando-a e girando-a. Esta pressão sofrida pela haste da válvula faz com que esta, girando, seja impulsionada para fora dos rebolos polindo toda a extensão de sua haste cromada.

Figura 16 - Funcionamento da máquina de polir haste.



Fonte: Próprio autor

No novo fluxo conforme figura 17, houve mudanças de máquinas, a retífica de haste final já está no lugar da retífica de haste semifinal e o polimento da haste será logo após a cromação.

Figura 17 - Novo fluxo de processo.



Fonte: Próprio autor

7 FASE CONTROLAR

Após a implementação do projeto, será necessário o controle do processo e um monitoramento da permanência e eficácia das mudanças implementadas, uma das técnicas empregadas foi a de auditorias programadas nos setores envolvidos onde estes serão monitorados separadamente quanto a estabilidade e capacidade.

Os processos também foram melhorados individualmente com aplicação de um controle de qualidade em todo o estoque de ferramentais essenciais, para todos os processos do projeto, tudo será registrado em procedimento de trabalho, fará parte das lições aprendidas, para consultas futuras.

Foram desenvolvidos procedimentos específicos para produção destas peças nos setores com a elaboração de novos desenhos operacionais, onde cada setor é auditor interno do processo que o antecede com novas sistemáticas para controle de qualidade, principalmente dos ferramentais com instrução de controle específica para novos processos.

No setor de deposição de cromo, foi estabelecido um novo procedimento de produção específico, houve a padronização de tempo, camada e amperagem, já que são parâmetros fundamentais para o bom desempenho e qualidade do produto em estudo. Também foi padronizada a altura do quadro dos banhos e a utilização do ânodo de acordo com o tamanho da haste a ser cromada. Foi implantado o controle de qualidade de ferramental do processo de deposição de cromo.

Para toda a melhoria, foi criado um sistema de revisão semestral dos padrões de válvulas para monitorar e calibrar seus dimensionais, inicialmente para o cliente escolhido como parte deste projeto por ser o maior volume de produção da empresa e em seguida foi estendido para todos os clientes.

Foram criados planos de manutenção preventiva em equipamentos e máquinas. Alteração nos desenhos operacionais utilizados pela produção. Reciclagem nos conceitos de tolerâncias geométricas e tendências de instabilidade no processo produtivo para todos os profissionais do piso de fábrica.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho foi possível constatar que o uso disciplinado da metodologia Seis Sigma ajuda a solucionar problemas e realizar melhorias no processo como mudanças de *layout*, mudanças de fluxo de trabalho, parâmetros de trabalho, mudança de cultura e hábitos

dos profissionais e ganhos financeiros, mas ainda melhor que a proposta inicial que mostrava uma meta bastante agressiva, as perdas foram eliminadas, reduzindo os custos de manufatura com expansão das melhorias para diversas áreas.

A coleta precisa de dados e a padronização dos estudos estatísticos são fases importantes do projeto, pois através destes são direcionadas as ações de melhoria e contenção. Então, utilizando a metodologia Seis sigma, identificou-se que a causa raiz dos defeitos e as ineficiências nos processos estudados tinham várias fontes, das quais necessitariam ser analisadas individualmente.

A mudança de *layout* sugerida foi a eliminação da operação de retificar haste semifinal da rota atual, transferindo a operação de retificar haste final para o seu lugar e, para o lugar desta haste final, foi inserido um novo processo que é mais barato, rápido e preciso, chamado de polimento de haste cromada ou politriz.

A diminuição da camada de cromo depositada gerou vários ganhos para o setor de deposição de cromo: menor tempo de banho melhorando a quantidade de peças produzidas por hora trabalhada; menor consumo de cromo e insumos do setor; diminuição do número de retrabalhos; diminuição dos resíduos gerados e melhor produtividade do setor.

A metodologia gerou uma reação em cadeia de ganhos em todo o fluxo estudado, estendendo indiretamente para outros setores. Deste ponto em diante pode-se levantar vários ganhos em todas estas estruturas, como: menor tempo de produção nestes processos, economia nos insumos das máquinas, menor volume de resíduos gerados também nas máquinas, diminuição no número de retrabalhos, melhor qualidade técnica dos profissionais com os treinamentos, menor custo de produção, maior qualidade do produto e maior confiança dos clientes. Transformando estes dados em números, foi obtida uma economia nos custos de fabricação deste produto em aproximadamente 61% ao ano ou aproximadamente US\$ 164.250,00/ano.

A utilização da metodologia Seis Sigma é um ótimo caminho para a aplicação da qualidade total no fluxo de valor, pois normalmente esta ferramenta utiliza as premissas do sistema de qualidade aliadas a dados estatísticos gerados na produção no dia a dia, criando uma rotina de ataque as perdas, gerando uma cultura de caça aos desperdícios naturais ao processo, onde poucos enxergavam com propriedade.

Entende-se hoje que o Seis Sigma não é avaliado apenas quanto a resultados técnicos obtidos, mas também quanto ao gerenciamento do tempo, a interatividade entre os profissionais e um sistema de qualidade. A metodologia leva os trabalhos a avaliações precisas e estas ações quando em conjunto, geralmente proporcionam um grande número de

acertos, pois com estes dados organizados aliados a grande disciplina que o programa exige, baixam os custos e melhoram a utilização de recursos disponíveis para execução dos projetos. O Seis Sigma não é uma visão de futuro, mas de presente. O programa é um passo extremamente importante para qualquer organização que queira prosperar e ter sucesso.

SIX SIGMA METHODOLOGY FOR COST REDUCTION AND PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN THE PROCESS OF CHROME DEPOSITION TO INLET AND EXHAUST VALVES FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES.

ABSTRACT

This work describes the use of Six Sigma methodology for cost reduction and productivity improvement in the process of chrome deposition to inlet and exhaust valves for internal combustion engines. This methodology is needed to facilitate the interpretation of cause and effect relationships that affect this process, prioritizing the reduction of variability, increased technical capacity and therefore the profit. The objective of this study is to eliminate the variation of chromium deposition process, decreasing the thickness layer applied, using tools of Six Sigma, quality and a lot of statistics, to post losses at acceptable levels and the company more competitive. This purpose will be achieved through an action research in a multinational company in the south of Minas Gerais valve manufacturer for various engines, which will be statistically evaluated the processes that directly affect the chromium deposition. The work demonstrated that Six Sigma is a highly disciplined strategy that seeks customer satisfaction requires sufficient and reliable amount of data that must be well focused on the nuisance of the proposed work and serve as a reference to demonstrate that changes made were converted into improvements. The best use of this methodology helps to solve problems and make improvements in the process, proposing and suggesting layout changes, workflow changes, financial gains, but still better than the initial proposal, which showed a very aggressive goals, the losses were eliminated reducing manufacturing costs and with improved expansion.

Keywords: Six Sigma. Chromium deposition. Improvement.

REFERÊNCIAS

ANDRIETTA, João M.; MIGUEL, Paulo A. Cauchick. Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo *survey* exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 203-219, maio - ago. 2007.

CARVALHO, Marly Monteiro et al. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma**. São Paulo: Campus Elsevier, 2001.

EINSET, E.; MARZANO, J. **Six Sigma Demystified: tooling & production**, v. 13, n.2, p. 43-47, abr. 2002.

HEYWOOD, J.B. **Internal combustion engine fundamentals: series in mechanical engineering**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1988.

LINDERMAN, K. et al. **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**. Journal of Operations Management, v. 3, n. 21, p. 193-203, 2003.

OLIVEIRA, Flávio Bonafé et al. Aplicação da metodologia seis sigma na redução de defeitos na face de válvulas de admissão e escape. **Revista ciências exatas**, Taubaté, v. 16, n. 2, p. 24-30, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas>>. Acesso em: 16 fevereiro 2014.

PANDE, Peter S. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. São Paulo: Qualitymark, 2002.

PANDE, P.S.; NEUMAN, R.P.; CAVANAGH, R.R. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

PANOSSIAN, Zehbour. Tratamento de superfície: revestimentos múltiplos. **Tratamento de superfície**, São Paulo, v. 8, n. 84, p 38-47, 1997.

RAMANATHAN, Lalgudi Venkataraman. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus, [1988 ?].

ROTONDARO, Roberto G. et al. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12, de 06 á 08/Nov.2006. Bauru. **Análise da aplicabilidade do método DMAIC do modelo seis sigma**. XII SIMPEP, 2006. 9 p.

TAYLOR, Charles Fayette. **The internal combustion engine in theory and practice: combustion, fuels, materials, design**. Revised edition. Cambridge: MIT Press, 1985.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. (Vol. 1, Série Seis Sigma).

_____. **Perguntas e Respostas sobre o Lean Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Werkema, 2002. (Vol. 6, Série Seis Sigma).