

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
EDERSON DOS REIS

N. CLASS.	M 671.35
GUTTER	R 375 w
ANO/EDIÇÃO	2013

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PFMEA PARA MELHORIA NO PROCESSO DE
USINAGEM EM INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Varginha
2013

FEPESMIG

EDERSON DOS REIS

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PFMEA PARA MELHORIA NO PROCESSO DE
USINAGEM EM INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito a obtenção do grau de Bacharel, sob orientação do Prof. Me. Alexandre Lopes.

**Varginha
2013**

EDERSON DOS REIS

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PFMEA PARA MELHORIA NO PROCESSO DE
USINAGEM EM INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas,
como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel
pela Banca Examinadora composta por:

Aprovado em / /

Prof. Me. Alexandre Lopes

Obs.:

Dedico este trabalho primeiramente a meus familiares, aos meus professores, aos sinceros amigos de classe, aos companheiros de trabalho e a todos que contribuíram para o seu bom desenvolvimento.

RESUMO

Este trabalho mostra o desenvolvimento de melhoria contínua aplicado na indústria automotiva Pro.te.co Minas S/A (Proema Automotiva) no processo de usinagem, utilizando a metodologia Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA). O estudo foi realizado em uma célula de usinagem da referida empresa para verificar onde estava ocorrendo o maior índice de refugo por falha de processo. Após análise foram constatados vários problemas. A ferramenta FMEA não só mostrou onde estava ocorrendo o maior índice de refugo como também apontou qual refugo poderia causar maior problema ao cliente, utilizando o método de severidades, que pode ser: secundário, importante ou de segurança. O método de severidades é adotado pelo cliente semifinal, que pode ser uma montadora automobilística ou um fornecedor, utilizando uma tabela que indica como deve ser feita sua pontuação. O Número de Prioridade de Risco (NPR) é o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) ($NPR = (S) \times (O) \times (D)$), que indica onde devem ser priorizadas as ações para evitar problemas. Através desse método foi possível melhorar o processo, reduzindo refugo, custo de investimento no processo e melhorando o aproveitamento do tempo disponível para produção.

Palavra Chave: FMEA. Usinagem.

ABSTRACT

This paper shows the continuous improvement development applied in the automotive company Pro.te.co Minas S/A (Proema Automotive) in the machining process by using the methodology Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). The study was conducted in a machining cell of the company to check where was occurring the highest rate of scrap caused by process failure. Completed the analysis, were found several problems. The FMEA tool not only showed where was occurring the highest rate of scrap as well as pointed out what failure would cause the biggest problem to the customer using the method of severities, which can be: secondary, important or safety related. The severities method is adopted by the semifinal customer, which can be an automaker or an automotive supplier, using a table that indicates how should be assigned its score. The Risk Priority Number (RPN) is the product of the indexes of Severity (S), Occurrence (O) and Detection (D) ($RPN = (S) \times (O) \times (D)$), which indicates where should be taken actions to avoid problems. Through this method was possible to improve the process, reduce scrap, reduce process investment costs and improve the use of available production time.

Keywords: FMEA. Machining process.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Bronze	26
Tabela 2 - Tabela de resultado dos testes	32

LISTA DE FIGURAS

Figura1 - Modo de Falha Potencial e Análise de Efeitos	12
Figura2 - Critério de avaliação de severidade sugerido	13
Figura3 - Critério de avaliação de ocorrência sugerido	14
Figura4 - Critério de avaliação de detecção sugerido	15
Figura5 - Diagrama do fluxo de redução de NPR`S	16
Figura 6 - Ilustração da árvore de um torno multifuso.....	22
Figura 7 - Torno multifuso	22
Figura 8 - Diagrama de Ishikawa	25
Figura 9 - Jogo das pinças de bronze	27
Figura 10 - Pinças de bronze junto com a pinça de arraste	27
Figura 11 - Poliuretano.....	28
Figura 12 - Desenho da pinça.....	29
Figura 13 - Desenho da pinça 3D.....	29
Figura 14 - Pinças de poliuretano acopladas na pinças de arraste.....	30
Figura 15 - Colocação das pinças de poliuretano na pinça de araste	31
Figura 16 - Pinças de poliuretano.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 FMEA	11
2.1 DFMEA	11
2.2 PFMEA	12
2.3 Formulário do PFMEA	12
2.3.1 Severidade	12
2.3.2 Ocorrência	13
2.3.3 Detecção	14
2.3.4 NPR	15
3 USINAGEM	17
4 DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS DE USINAGEM	18
4.1 Torneamento	18
4.2 Aplainamento	18
4.3 Fresagem	18
4.4 Furação	18
4.5 Alargamento	19
4.6 Mandrilamento	19
4.7 Brochamento	19
4.8 Roscamento	19
4.9 rebaixamento	19
4.10 Tamboreamento	19
4.11 Retificação	20
5 USINAGEM COM TORNO MULTIFUSO	21
5.1 Multifuso	21
6 DESENVOLVIMENTO DA MELHORIA APLICANDO O PFMEA	23
6.1 Análise do processo utilizando o PFMEA	23
6.1.1 Análise do NPR	23
6.1.2 Escolha do processo	23
6.1.3 Verificação na tabela do PEMEA	23
6.1.4 Análise da causa raiz do refugo	24
6.1.5 Finalização da causa raiz	24
7 ANÁLISE DAS PINÇAS DE BRONZE	26
7.1 Teste com outros bronzes	26
7.1.1 Conclusão do primeiro teste	26
8 SEGUNDO TESTE	28
8.1 Planejamento do novo projeto de pinças	28
8.1.1 Executar novo projeto de pinças	28
8.1.2 Problema no desenvolvimento	30
8.1.3 Verificar a construção das pinças	30
8.1.4 Agir	30

9 RESULTADO FINAL DO TESTE	32
10 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A intensa competição que se estabeleceu entre empresas, cadeias de produção, países e blocos econômicos e que se consolidou no final do século XX evidenciou que a gestão dos recursos internos e o relacionamento com clientes e fornecedores. Estes fatores tornaram-se críticos para o sucesso das cadeias produtivas e das organizações nelas inseridas. A saturação dos mercados, principalmente nos países desenvolvidos, permitiu ao consumidor modificar seu padrão de exigências, buscando maior qualidade e menores preços.

Esta busca pela excelência é muito importante para a sobrevivência no mercado competitivo. Hoje melhor do que ontem, amanhã melhor do que hoje. Isso é melhoria. Com esse intuito, foram desenvolvidas várias ferramentas de trabalho, uma delas é o PFMEA, muito utilizada pelas indústrias para prevenir erros nos projetos e processos e também promover a melhoria contínua.

Este trabalho mostra que, aplicando a ferramenta PFMEA e outras ferramentas de gestão como PDCA, *Brainstorming* (Tempestade de idéias) e *Benchmarking* (comparar as melhores empresas daquele mesmo segmento), foi possível atingir grandes resultados que contribuíram para melhorias na empresa, como: redução de refugo, redução do tempo de máquina parada e descoberta de novos conceitos de metodologias de trabalho com a substituição de materiais. Um dos principais resultados alcançados com este trabalho foi ter reduzido o custo das pinças de arraste, que eram de bronze e foram substituídas pelas de poliuretano. As antigas pinças geravam um custo muito alto para a empresa que, com a redução dos gastos, pôde investir em outras áreas.

2 FMEA

Segundo alguns autores, as normas QS-9000, TS 16.949 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2002), norma da qualidade, modo de falha e análise de efeitos, FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) foi uma das primeiras técnicas sistemáticas para a análise de falhas. Foi desenvolvida por engenheiros na década de 1950 para estudar os problemas que possam surgir a partir de falhas nos sistemas militares. FMEA é muitas vezes o primeiro passo de um estudo de confiabilidade do sistema. Trata-se de rever todos os componentes, montagens e subsistemas, com o objetivo de identificar possíveis falhas, suas causas e efeitos. Para cada componente, os modos de falha e seus efeitos resultantes sobre o resto do sistema são registrados em uma planilha FMEA específica. Existem inúmeras variações de planilhas. FMEA é principalmente uma análise qualitativa.

Um FMEA é um raciocínio lógico, um único ponto de análise de falhas e é uma tarefa central na engenharia de confiabilidade, engenharia de segurança e engenharia de qualidade. É especialmente preocupada com o "Processo" (Fabricação e Montagem) - tipo de FMEA. Uma atividade FMEA de sucesso ajuda a identificar potenciais modos de falha, com base na experiência com os produtos e processos semelhantes ou baseado na física comum da lógica de falha. Ele é amplamente usado no desenvolvimento dos processos de fabricação das indústrias em diversas fases do ciclo de vida do produto. Refere-se ao estudo das consequências dessas falhas em diferentes níveis do sistema.

Análises funcionais são necessárias como entrada para determinar modos de falha corretos. Um FMEA é utilizado para atenuação do risco baseado em qualquer falha (modo) de redução da severidade ou em reduzir a probabilidade de falha ou de ambos. FMEA é, em princípio, uma análise completa, no entanto, a probabilidade de falha só pode ser estimada ou reduzida através da compreensão do mecanismo de falha. Idealmente esta probabilidade deve ser reduzida "impossível ocorrer", eliminando as causas (raiz). Por isso, é importante incluir no FMEA uma profundidade adequada de informações sobre as causas do fracasso (análise dedutiva).

Modo de Falha do Processo e Análise de Efeito: Uma lista de todas as maneiras que um produto ou processo pode FALHAR nas especificações e/ou requisitos do cliente interno ou externo. (PROEMA AUTOMOTIVE, 2013, p.7.3.3-2).

2.1 DFMEA

8 SEGUNDO TESTE

Para aplicar o segundo teste foi utilizada a ferramenta de gestão PDCA (Planejar-Executar-Verificar-Agir). Trata-se de um método iterativo de gestão de quatro passos, utilizado para o controle e melhoria contínua de processos e produtos (SGQ PROEMA AUTOMOTIVE, 2011).

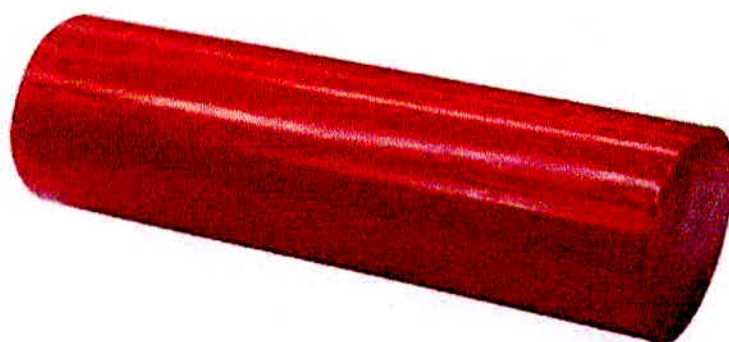
8.1 Planejamento do novo projeto de pinças

Com a realização de novos estudos no mercado, verificou-se que a empresa Premena, em São Paulo, uma das maiores fabricantes de pinças de Arraste do Brasil, estava trabalhando com um novo produto de pinças de poliuretano. Com essa nova descoberta foi colocado em prática o *Benchmarking* (comparar as melhores empresas daquele mesmo segmento).

8.1.1 Executar novo projeto de pinças

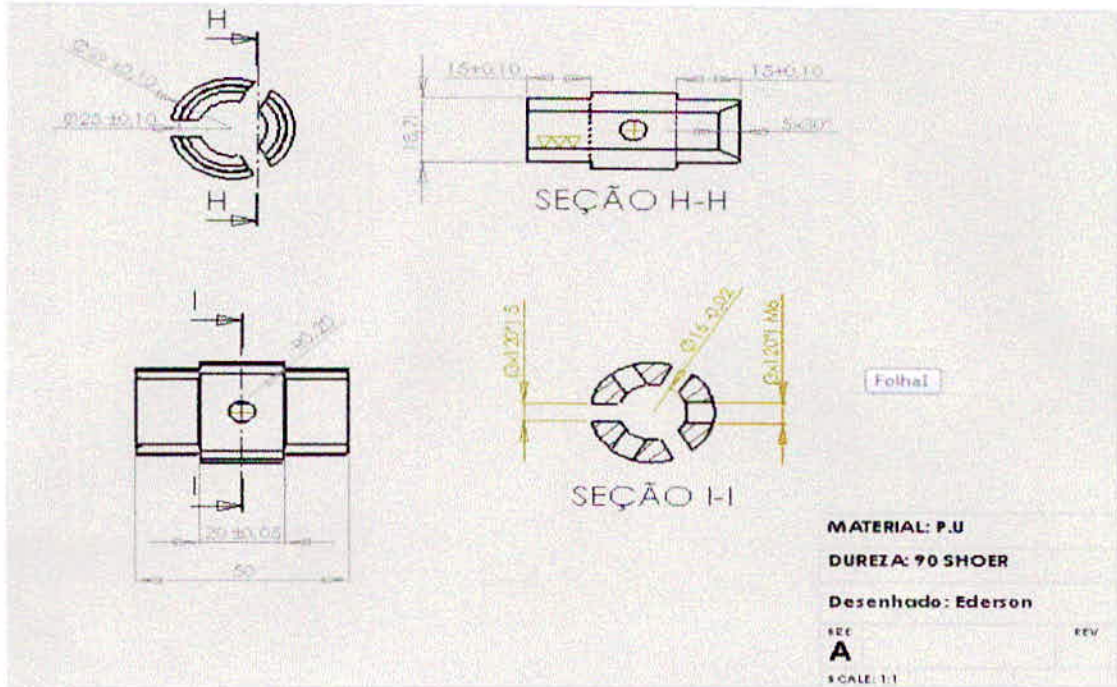
Para executar esse novo projeto foi constatado que o poliuretano utilizado na fabricação das pinças tinha dureza de 90 shore. Como o poliuretano é conhecido como material de engenharia foi colocado em prática o desenvolvimento das pinças.

Figura 11 - Poliuretano



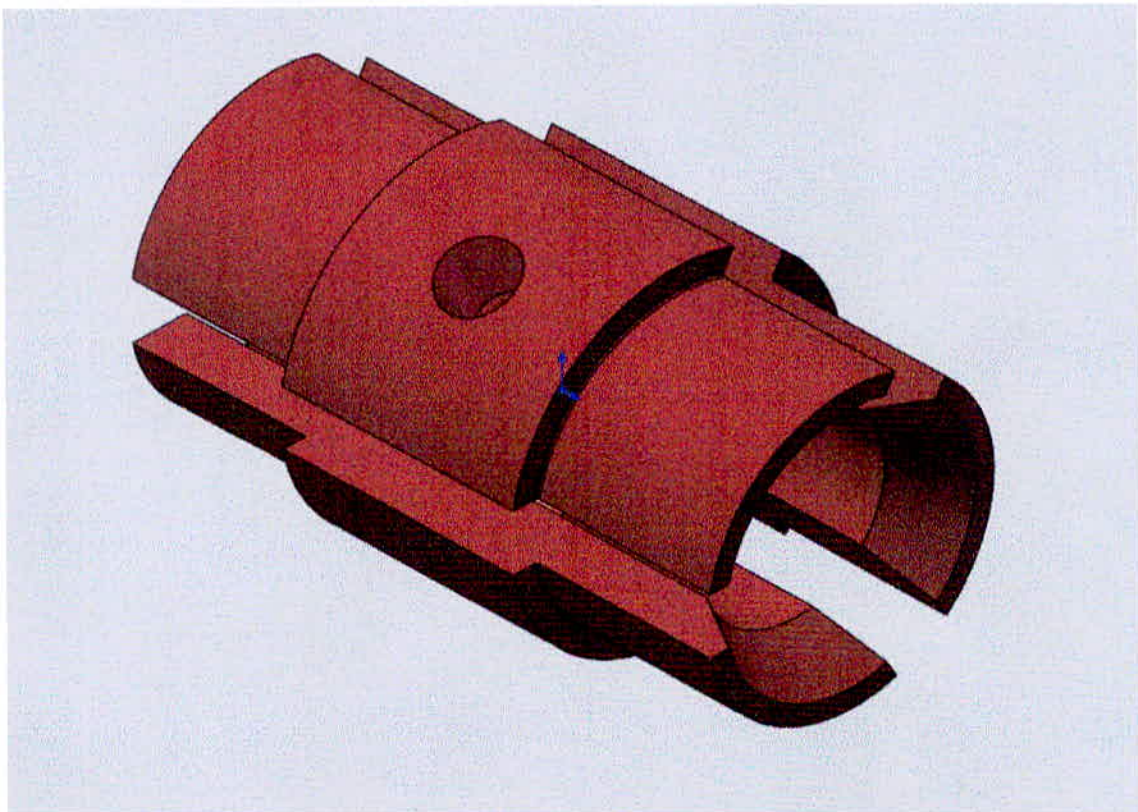
Fonte: O Autor

Figura 12- Desenho da pinça



Fonte: O autor

Figura 13 - Desenho da pinça 3D



Fonte: O autor

8.1.2 Problemas no desenvolvimento

No momento do desenvolvimento do projeto foi constatado que as pinças utilizadas pela Premena eram coladas na pinças de arraste. Como no nosso processo não tinha como ser coladas, as nossas pinças foram desenvolvidas com rosca no corpo. Para garantir que a rosca era suficiente para travar na pinça foi decidido passar somente o segundo macho, para quando colocasse o parafuso ele travasse no plástico.

8.1.3 Verificar a construção das pinças

Para fazer a verificação das pinças foram feitos testes de qualidade, para ter certeza de que o projeto havia sido executado conforme o desenho. No teste foram utilizados o paquímetro, para verificar as cotas, e o parafuso com rosca M6, para verificar se estava travando corretamente.

8.1.4 Agir

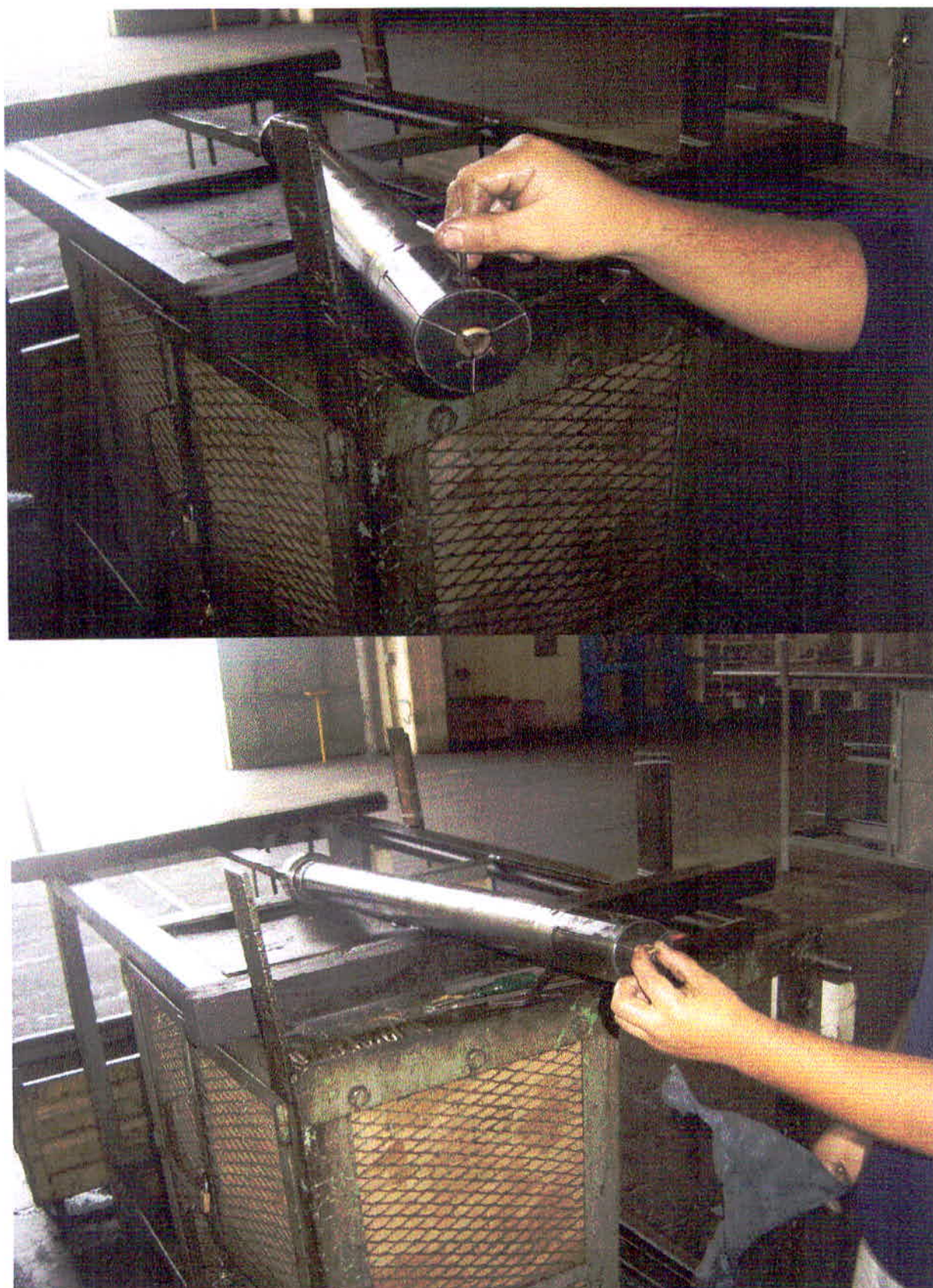
Depois do término da construção das pinças, verificação das cotas e teste das roscas, as pinças foram colocadas no torno para começar a produzir e fazer a verificação da quantidade de peças que elas fazem.

Figura 14 - Pinças de poliuretano acopladas na pinça de arraste



Fonte: O autor

Figura 15– Colocação das pinças de poliuretano na pinça de araste



Fonte: O autor

9 RESULTADO FINAL DO TESTE

Depois do primeiro mês (janeiro) de teste das pinças, que ocorreu muito bem, foi dada continuidade no teste até 29 de maio para garantir que a provação do novo processo estaria OK. Os dados colocados na tabela abaixo foram fornecidos pelos setores de Manufatura, Compras e Logística.

Tabela 2 - Tabela de resultado dos testes

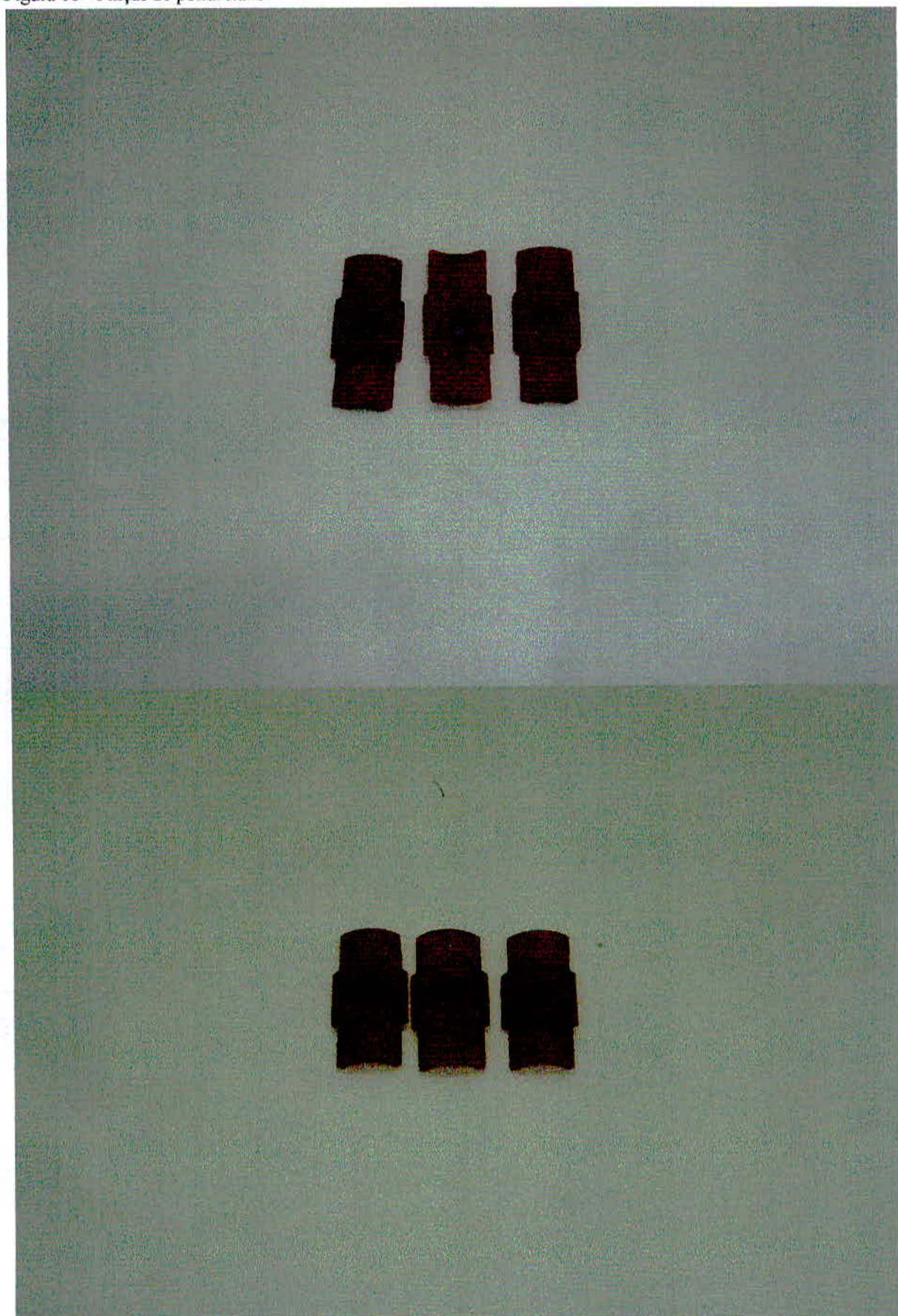
Teste com as pinças Poliuretano			Data: 02/01/2012 até 30/05/2012		
Mês	Peças produzidas	Quantidade de pinças utilizadas	Refugo mês	Custo de cada pinça	Custo total das pinças util.
Janeiro	27000	16	102	R\$ 300,00	R\$ 4.800,00
Fevereiro	26000	16	93	R\$ 300,00	R\$ 4.800,00
Março	28400	18	86	R\$ 300,00	R\$ 5.400,00
Abril	22000	14	72	R\$ 300,00	R\$ 4.200,00
Maio	18000	13	68	R\$ 300,00	R\$ 3.900,00
Custo total 5 Mês			421		R\$ 23.100,00

Dados das pinças de bronze			Data: 02/01/2013 até 29/05/2013		
Mês	Peças produzidas	Quantidade de pinças utilizadas	Refugo do mês	Custo de cada pinça	Custo total das pinças util.
Janeiro	27000	10	86	R\$ 75,00	R\$ 750,00
Fevereiro	26000	9	80	R\$ 75,00	R\$ 675,00
Março	28400	11	73	R\$ 75,00	R\$ 825,00
Abril	22000	8	60	R\$ 75,00	R\$ 600,00
Maio	18000	8	55	R\$ 75,00	R\$ 600,00
Custo total 5 Mês			354		R\$ 3.450,00

	Pinças de bronze	Pinças de poliuretano	Ganho	Percentual
Refugo Total	421	354	67	18,9%
Custo Financeiro	R\$ 23.100,00	R\$ 3.450,00	R\$ 19.650,00	569,57%

Fonte: PROEMA AUTOMOTIVE, 2013.

Figura 16 - Pinças de poliuretano



Fonte: O autor

10 CONCLUSÃO

Quanto mais produtiva se torna uma empresa, com o custo mais baixo e com uma excelência em qualidade dos produtos, mais competitiva ela se torna no mercado mundial. Por isso, a cada dia o mercado desenvolve novos métodos de trabalho para garantir que o custo da produção das peças diminua e ao mesmo tempo aumente os lucros e diminua refugos.

E as metodologias de trabalho desenvolvidas durante todos esses anos vêm mostrando que a aplicação correta pode gerar uma grande melhoria nos processos produtivos, nos conceitos de trabalho em equipe e promover grandes informações que poderão nos ajudar no futuro para desenvolver novos métodos de trabalho, processos e desenvolvimento de novos produtos.

Esse trabalho obteve um resultado satisfatório aplicando a metodologia PFMEA e outras ferramentas da qualidade que ajudaram no seu desenvolvimento, garantindo uma maior confiabilidade na produção de seus produtos e agregando novos conhecimentos para todos na empresa, garantindo que o produto fornecido por ela possa gerar uma grande competitividade no mercado atual.

REFERÊNCIAS

- GUERRA, M. J. **FMEA: análise de modos e efeitos de falha**, 2000. Disponível em: <<http://www.comexito.com.br/cursos/fmea-analise-modos-falha-efeitos-failure-modes-effects-analysis.asp>>. Acesso em: 15 mar 2013.
- PROEMA AUTOMOTIVA. **Manual da Qualidade**. Betim, MG, 2013.
- VICENTE, M.M. **FMEA**. 4. ed. Betim: Proema 2011.
- NBR 6175 (TB-83 da ABNT) Disponível em: (<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.axpx>) Acesso em : 15 mar 2013.
- FMEA: Análise de Modo e Efeitos de Falha potencial. 3. ed. São Paulo: ANFAVEA, 2006.
- HOYLE,D. APQP: QS-9000. TS 16.949 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2002 Betim: Proema Manual de referência).
- ZANCUL, Eduardo; ROZENFELD, Henrique. **QS9000**. Disponível em: <<HTTP://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos.../QS9000v2.html>> Acesso em: 15 mar. 2013
- BASTOS, A. L. A. **FMEA como Ferramenta de Planejamento da Qualidade – Uma Avaliação da Aplicação em um Processo Produtivo de Usinagem de Engrenagem**. Universidade Regional de Blumenau. 2006. Disponível em: http://home.furb.br/abastos/artigos_do_autor/13.pdf> Acesso em: 10 de mar. de 2013.
- CASTILHO, K. A. **O GERENCIAMENTO DOS RISCOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA FMEA – ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA**. 2007. Disponível em: <http://www.leansixsigma.com.br/ACERVO/ACERVO_913159.DOC>. Acesso em: 10 de mar. de 2013.
- MARQUES, W. L. **Implantação da Qualidade Total**. 2007. Disponível em: <<http://wlmcne.blogspot.com/2007/12/implantao-da-qualidade-total-nas.html>>. Acesso em: 05 de maio de 2013.
- SEMINÁRIO em Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte. Piracicaba, SP: Universidade Metodista de Piracicaba, 1996. (Apostila).
- ROCHA ,Machado. Álisson. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- SENAI SP. **DRD: Usinagem - tecnologia do corte**. São Paulo, 1998.
- WICKMAN. **Construtora e Fornecedora de tornos**. 2013. Disponível em: <http://www.wickman-brazil.com/produtos/wickman/>. Acesso em: 10 de Maio de 2013.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL (FMEA DE PROCESSO)

Item: _____ Responsável pelo Projeto: Processo - Max Preparado por: Ederson

Ano Modelo(s) veículo(s): _____ Data chave: 18/03/2013 Data FMEA (Inic.): 29/09/2004 (Rev): 21/01/2013

Equipe: Levi, Adilson - Manufatura / Gustavo - Qualidade / Ederson, Wilson, Max - Processo / Marcelo - Manutenção / Clever - Logística - PRO.TE.CO Minas S/A Varginha

Etapas do Processo Função	Requisitos	Modos de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da falha	S e l e c t i v i d. e f.	C a u s a s e m e c a n i s m o s P o t e n c i a l i s d a f a l h a	O c o r r. r.	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	D e t e c. e c.	N. P. R.	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultados da Ação				
													Ações Tomadas	S e l e c t i v i d. e f.	D e t e c. e c.	N. P. R.	
Op. 10 - Tornear, chanfrar nas extremidades, cortar no comprimento e armazenar. Torno Multifuso AF's: 100073 / 100090 (Cont.)	Usinar característica s conforme especificado.	Dim. 179,8 ± 0,3 menor/maior	Diminui comprimento útil de trabalho na bucha da caraça, mas não prejudica funcionamento / Deslocamento da peça no processo do estriado gerando ressalto, com possibilidade de seleção de trabalho de parte do lote fora da linha.	5	Falha de preparação.	6	Controle das 8 primeiras peças após preparação.	Atributo na estação.	6	100	Nenhuma						
					Desgaste da ferramenta.	6	Check-list (Registro) p/ acompanhamento da vida útil da ferramenta.	Atributo na estação.	6	100	Nenhuma						
					Falha no sistema de avançamento da barra. (Conjunto da pinça / Desgaste das castanhas / Rolos)	6	Programa de limpeza técnica e verificação do conjunto da pinça.	Atributo na estação.	6	100	Nenhuma						

O critério abaixo serve como diretriz para definição do índice de severidade e também para classificação das características especiais. Utilizar o critério de severidade sugerido, sendo que a descrição para os efeitos na FMEA de processo deve ser da forma mais clara possível, evitando descrições genéricas com índices de severidade diferentes (FMEA, 2006).

Figura 2 - Critério de avaliação de severidade sugerido

EFEITO	+	ASPECTO ENVOLVIDO	+	SEVERIDADE	=	INDICE	=	CLASIF.
Falha em atender a requisitos de segurança e/ou regulatórios	⇒	Segurança / Legislação (Item / Veículo / Operador)	⇒	Sem aviso prévio		10	⇒	⊕
				Com aviso prévio		*9		
Perda ou degradação da função primária	⇒	Funcionabilidade (Item / Veículo / usuário)	⇒	Inoperável - Perda de função		8	⇒	+
				Desempenho reduzido		7	⇒	
Interrupção maior	⇒	Parada da linha ou redução da velocidade	⇒	100% lote refugado		8	⇒	+
				Parte do lote refugado		7	⇒	
Perda ou degradação da função secundária	⇒	Conforto / Conveniência (Item / Veículo / usuário)	⇒	Inoperável - Perda de função		6	⇒	-
				Desempenho reduzido		5	⇒	
Interrupção moderada	⇒	Incômodo no processo, cliente (seleção/retrabalho antes do processamento)	⇒	100% lote retrab. fora da estação		6	⇒	-
				Parte lote Retrab. fora da estação		5	⇒	
Incômodo	⇒	Aparência ou ruído audível (Item / Veículo / usuário)	⇒	Operável: percepção cliente >75%		4	⇒	-
				Operável: percepção cliente >55%		3		
				Operável: percepção cliente <25%		2		
Interrupção Moderada / menor	⇒	Incômodo no processo, cliente (seleção/retrabalho antes do processamento)	⇒	100% lote retrab. na estação		4	⇒	-
				Parte do lote Retrab. na estação		3	⇒	
				Ligeira inconveniência		2	⇒	
Nenhum efeito	⇒	Nenhum aspecto perceptível	⇒	Nenhum efeito perceptível		1	⇒	-

Fonte: SGQ Proema Automotive, 2011.

2.3.2 Ocorrência

O critério da tabela serve como diretriz para definição do índice de detecção. Para definição do melhor índice deve-se analisar o método de controle de forma global, conforme critério estabelecido (FMEA, 2006).

Figura 3 - Critério de avaliação de ocorrência sugerido

Probabilidade de Falha	CRITÉRIOS: Ocorrência de causa – PFMEA (incidentes por itens/veículos)	Ppk	Classificação
Muito alta	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	$< 0,55$	10
Alta	50 por mil 1 em 20	$\geq 0,55$	9
	20 por mil 1 em 50	$\geq 0,78$	8
	10 por mil 1 em 100	$\geq 0,86$	7
Moderada	2 por mil 1 em 500	$\geq 1,00$	6
	0,5 por mil 1 em 2.000	$\geq 1,20$	5
	0,1 por mil 1 em 10.000	$\geq 1,30$	4
Baixa	0,01 por mil 1 em 100.000	$\geq 1,67$	3
	$\leq 0,001$ por mil 1 em 1.000.000	≥ 2	2
Muito baixa	Falha é eliminada através de controle preventivo.	---	1

Fonte: SGQ Proema Automotive, 2011.

2.3.3 Detecção

O critério da tabela 2 serve como diretriz para definição do índice de detecção. Para definição do melhor índice deve-se analisar o método de controle de forma global, conforme critério estabelecido (FMEA, 2006).

Figura4 - Critério de avaliação de detecção sugerido

Oportunidade para Detecção	Critérios:		Rank	Probabilidade de Detecção
	Probabilidade de Detecção pelos Controles do Processo			
Oportunidade de não detecção	Não existe controle de processo corrente. Não pode detectar ou não foi analisado.		10	Quase Improvável
Provavelmente não irão detectar em nenhuma estação	Modo de falha e/ou erros (causas) não são facilmente detectadas (ex: auditorias aleatórias).		9	Muito Remota
Detecção de problemas depois do processamento	Detecção do modo de falha após o processamento por um operador através de meios visuais/tatos/auditivos.		8	Remota
Detecção de problemas na fonte	Detecção do modo de falha na estação por um operador através de meios visuais/tatos/auditivos ou através do uso de um dispositivo de atributo (passa não passa, torque manual, torquímetro de estalo, etc), após processamento.		7	Muito Baixa
Detecção de problemas depois do processamento	Detecção do modo de falha após processamento pelo operador através do uso de dispositivos por variável ou na estação pelo operador através do uso de um dispositivo de atributos (passa não passa, torque manual, torquímetro de estalo, etc).		6	Baixa
Detecção de problema na fonte	Detecção do modo de falha ou erro (causa) na estação pelo operador através do uso de dispositivo por variável ou por controles automáticos na estação que irão detectar peças discrepantes e notificar o operador (luzes, alarme, etc). Dispositivos utilizados no set-up e primeiras peças verificadas (para causas de set-up apenas).		5	Moderada
Detecção de problemas após processamento	Detecção do modo de falha após o processamento, por um controle automático que irá detectar peças discrepantes e bloquear peças para prevenir o processamento futuro.		4	Moderadamente Alta
Detecção de problema na fonte	Detecção do modo de falha na estação por controles automáticos que irão detectar peças discrepantes e bloquear peças na estação para prevenir o processamento futuro.		3	Alta
Detecção de erros e ou prevenção de problemas	Detecção de erros (causas) na estação através de controles automáticos que irão detectar o erro e prevenir peças discrepantes que foram feitas.		2	Muito Alta
Detecção no aplicada, Prevenção de erros	Prevenção de erros (causas) é um resultado de um projeto do dispositivo, projeto de máquina ou projeto da peça. Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item é a prova de erros através do projeto do processo produto.		1	Quase Certa

Fonte: SGQ Proema Automotive, 2011.

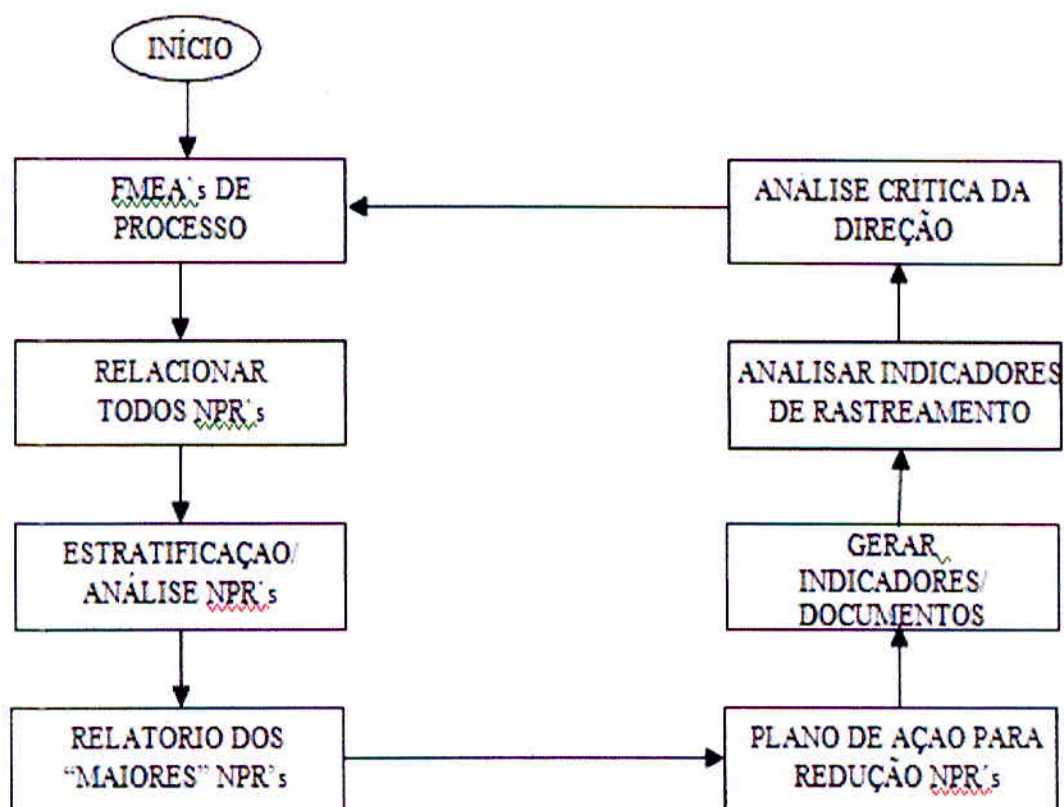
2.3.4 NPR

Número de Prioridade de Risco (NPR) é o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D).

$$\text{NPR} = (\text{S}) \times (\text{O}) \times (\text{D})$$

Número da Prioridade de Risco consiste num indicador de risco baseado nas classificações de Detecção, Ocorrência e Severidade do PFMEA. Ações implementadas nos modos de falhas com maiores NPR, visando à redução da ocorrência para garantir que os mesmos tenham controles aprimorados e funcionem corretamente (FMEA, 2006).

Figura 5 - Diagrama do fluxo de redução de NPR'S



Fonte: SGQ Proema Automotive, 2011.

3 USINAGEM

Segundo a norma NBR 6175 (TB – 83 da ABNT) aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco. Operação que confere à peça: forma, dimensões ou acabamento superficial, ou ainda uma combinação destes, através da remoção de material sob a forma de cavaco, porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma irregular. Por meio dela, as indústrias brasileiras e estrangeiras adotam a mesma denominação e classificação para definir os processos de usinagem. O uso da mesma linguagem técnica apresenta inúmeras vantagens, entre elas:

- a) facilitar o processo de comunicação e intercâmbio;
- b) garantir a confiabilidade do produto, ou seja, que foi submetido ao processo adequado de usinagem;
- c) possibilitar o entendimento correto de manuais técnicos e outros documentos relacionados às operações de usinagem.

4 DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS DE USINAGEM CONHECIDOS

Existem vários processos de usinagem, entre eles serramento, aplainamento, torneamento, fresamento (ou fresagem), furação, brochamento, eletroerosão, entre outros.

A usinagem começou em tempos remotos com processos totalmente manuais e hoje em dia evoluiu muito com o uso de máquinas de alta precisão, como é o caso das chamadas CNC (com comando numérico computadorizado), com uma precisão que chega a ser tão pequena quanto a 1 micron.

Hoje em dia, a usinagem está presente em diversas indústrias, como a automotiva, a naval, a aeroespacial, a eletrônica, a de eletrodomésticos (SENAI – SP, 1998).

4.1 Torneamento

É um processo usado na fabricação de peças com superfícies de revolução, realizado com o auxílio de uma ferramenta monocortante (SENAI – SP, 1998).

4.2 Aplainamento

É um processo usado na fabricação de peças cuja superfície pode ser gerada por um movimento alternativo retilíneo realizado por uma ferramenta mono corte (SENAI – SP, 1998).

4.3 Fresagem

É um processo versátil de fabricação, no qual a ferramenta, geralmente multicortante, gira no centro do seu eixo e se desloca em qual movimento e ângulo em relação da necessidade de construção de peça (SENAI – SP, 1998).

4.4 Furação

Processo de usinagem destinado na obtenção de furo cilíndrico em uma peça, com uma ferramenta de várias arestas de corte ou com insertos intercambiáveis, com movimento em torno de seu próprio eixo (SENAI – SP, 1998).

4.5 Alargamento

Processo de usinagem que consiste em alargar um furo ou rasgo existente com a finalidade de melhorar o acabamento ou manter medidas de baixa tolerância utilizando uma ferramenta multicorte (SENAI – SP, 1998).

4.6 Mandrilamento

Processo de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou várias ferramentas de barra. A peça ou a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se desloca no sentido da usinagem (SENAI – SP, 1998).

4.7 Brochamento

Processo de usinagem que consiste à obtenção de superfícies quaisquer com auxílio de ferramentas com várias arestas de corte. A ferramenta ou a peça se desloca em sentido retilíneo da usinagem (SENAI – SP, 1998).

4.8 Roscamento

Processo de usinagem que consiste na obtenção de filete por meio de um ou de vários sulcos helicoidais de passo uniforme em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução (SENAI – SP, 1998).

4.9 Rebaixamento

Quando um produto exige furos com diâmetros diferentes e concêntricos, isto é, dois furos alinhados apresentando o mesmo centro, utilizamos o processo de rebaixamento. O rebaixamento consiste em girar a peça ou a ferramenta e, em seguida, realizar o movimento de avanço em sentido paralelo ao eixo de rotação da máquina (SENAI – SP, 1998).

4.10 Tamboramento

Para a realização deste processo, as peças são colocadas no interior de um tambor

rotativo para serem rebarbadas ou polidas. Misturadas ou não a outros materiais especiais, como pedras e abrasivos, as peças são rebarbadas ou recebem o acabamento devido ao impacto sofrido entre si (SENAI – SP, 1998).

4.11 Retificação

É o processo de abrasão utilizado na execução de peças que devem apresentar dimensões e formas rigorosas, rugosidade superficial muito pequena ou, ainda, peças com dureza elevada (acima de 40RC). Na retificação são empregadas ferramentas abrasivas rotativas denominadas rebolos. Os rebolos são responsáveis pela realização do movimento de corte. Dependendo do perfil do rebole, as superfícies a serem usinadas (internas ou externas) podem ser cilíndricas, cônicas, planas, entre outras (SENAI – SP, 1998).

5 USINAGEM COM TORNOS MULTIFUSOS

Os tornos automáticos multifuso são aplicados na fabricação de grandes produções em série. Os primeiros foram desenvolvidos no início do século passado, sendo que hoje estão disponíveis nas versões de 5, 6 e 8 fusos principais montados em um tambor que se indexa a cada ciclo de trabalho. Nas posições de cada fuso de trabalho são executadas as operações de usinagem de forma simultânea, determinando os curtos tempos de ciclo de produção. Carros transversais dispostos ao lado de cada fuso realizam os trabalhos de formar ou copiar o diâmetro externo da peça e carros longitudinais na frente de cada fuso executam as operações de furar, rosquear, alargar e outras (WICKMAN, 2013).

5.1 Multifusos

São tornos preparados para executar várias usinagens ao mesmo tempo, reduzindo tempo de produção em série e mantendo o padrão das peças garantindo a qualidade do produto.

O mecanismo de ligação no quadrante permite que os cursos de todos os carros transversais, carros independentes e revólver sejam alterados em alguns minutos. Simples ajustes no deslizamento geram alterações no curso da ferramenta de trabalho e dispensa inteiramente as curvas que são caras para projetar, fabricar, armazenar e mudar. Os usuários de máquinas controladas diretamente por curvas frequentemente recorrem, por causa do tempo envolvido na mudança de curva, ao 'fazer fazendo' com curvas concebidas para um componente quando um componente semelhante é requerido para ser produzido.

O objetivo principal de um multifuso automático é, obviamente, o de reduzir custos de produção ao mínimo absoluto, cortando mão de obra e liberando espaço para o uso mais rentável. Idealmente, o multifuso automático é transformado em uma forma de centro de usinagem, com tantas operações quanto for possível incluir dentro do ciclo automático de uma máquina. Este método de produção criou a necessidade de numerosos padrões, semi-padrão, e acessórios especiais.

Um dos fatos básicos sobre a produção de um multifuso é que o tempo total de ciclo para um componente é a mais longa única operação no ciclo mais o tempo ocioso da máquina. A inclusão de um acessório, ou acessórios, elimina uma segunda operação de usinagem e reduz custos. Por conseguinte, é óbvio que é economicamente vantajoso incluir acessórios no

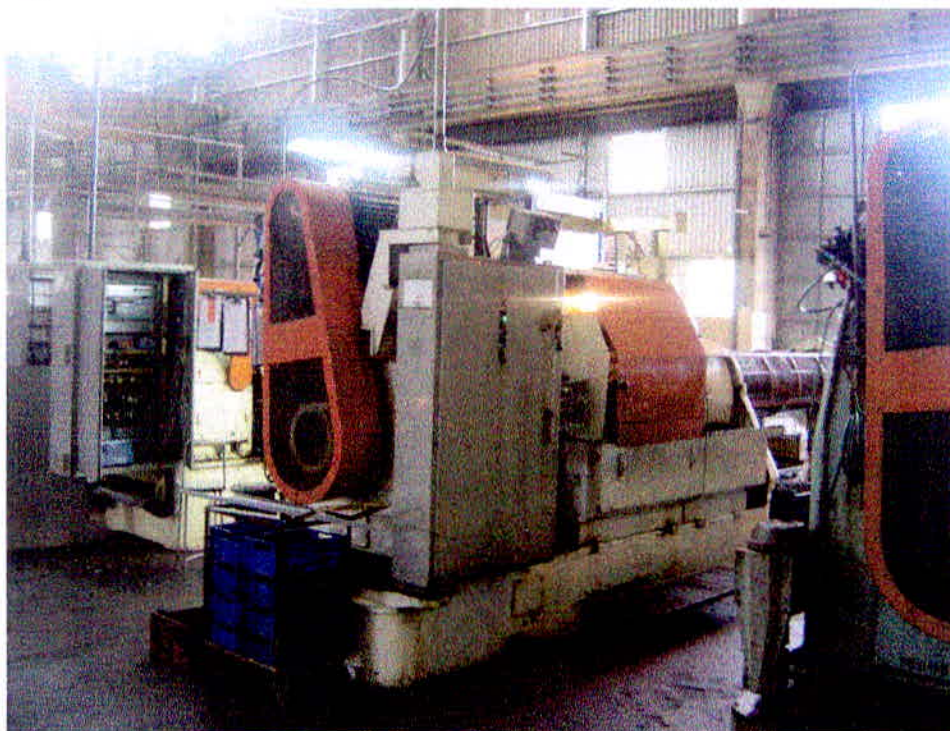
ciclo automático e produzir peças componentes, tão completamente quanto possível, numa só máquina (WICKMAN, 2013).

Figura 6 - Ilustração da árvore de um torno multifuso



Fonte: Wickman, 2013

Figura 7 - Torno multifuso



Fonte: O autor

6 DESENVOLVIMENTO DA MELHORIA APLICANDO O PFMEA

Para o desenvolvimento de melhoria no processo da indústria Pro.te.co Minas S/A foram levados em consideração vários fatores, como: a demanda da produção, fator financeiro, refugo, tempo de parada de máquina e a severidade da peça.

6.1 Análise do processo utilizando o PFMEA

Para analisar o processo utilizando a tabela do PFMEA foi necessário conhecer a quantidade de refugo produzida durante um mês. Esses dados foram fornecidos pelo setor de qualidade e posteriormente adicionados na coluna de ocorrência do PFMEA.

6.1.1 Análise do NPR

Para analisar a tabela é preciso verificar qual é o maior NPR, verificando ocorrência, severidade e detecção ($NPR = (S) \times (O) \times (D)$) e a classificação do produto. Com esses dados em mãos ficou definido o processo que estava com maior índice de refugo e comprometendo a qualidade na montagem final (cliente).

6.1.2 Escolha do processo

Conforme a tabela do PFMEA foi constatado que um dos maiores problemas estava no processo Eixo de Embreagem, na dimensão $179,8 \pm 0,3$ (comprimento), variando para menor/maior com o NPR = 180, o que causava maior índice de refugo. O problema verificado ainda ocasionava parada de máquina, perda de matéria prima, parada na linha e refugo encontrado pelo cliente final, principal falha que uma empresa pode ter.

6.1.3 Verificação na tabela do PFMEA

Para fazer o análise da tabela e verificar o problema devemos analisar o critério de avaliação de severidade sugerido, conforme anexo A.

6.1.4 Análise da causa raiz do refugo

Para análise da causa raiz do refugo foi feito um *Brainstorming* (Tempestade de ideias) com a Produção, incluindo os operadores de máquinas, Manutenção e Engenharia.

Quadro 1- Brainstorming

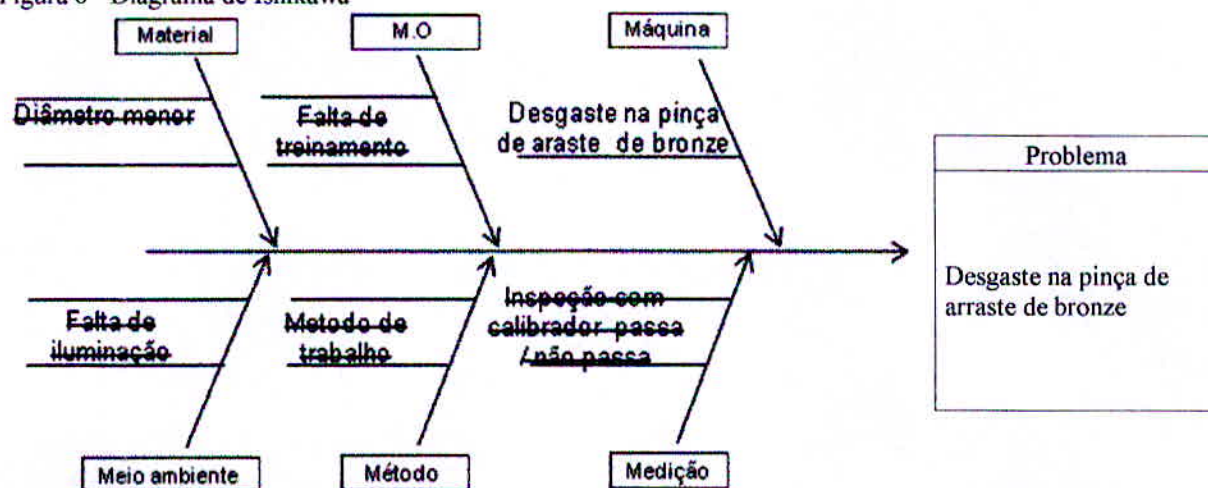
Dados Coletados
Matéria prima com Diâmetro menor
Desgaste do calibrador passa / não passa
Falta de treinamento para operador
Mão de obra insatisfeita
Falha no avanço da peça
Ferramenta com desgaste excessivo
Erro na preparação de máquina
Desgaste das pinças de blocagem
Desgaste das pinças de araste de bronze
Folga nos carros de desbaste
Folga nas engrenagens
Cavaco na parada de avanço
Falta de pressão nas pinças
Desgaste nos rolos da cames
Falta de iluminação
Ruído desorientando o operador
Método de trabalho

Fonte: O autor

6.1.5 Finalização da causa Raiz

Com os dados do Brainstorming em mãos foram analisadas as principais causas, ou seja, as causas que realmente podem influenciar na dimensão $179,8 \pm 0,3$ (comprimento). Os dados foram adicionados na metodologia diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama Espinha-de-peixe.

Figura 8 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: O autor

7 ANÁLISE DAS PINÇAS DE BRONZE

Depois da identificação do problema foi feita uma análise das pinças e identificado que o problema das variações na dimensão $179,8 \pm 0,3$ (comprimento) começa quando as pinças já produziram em média 12.500 peças cada, sendo que a produção durante o mês é em média de 26.400 peças (dados fornecidos pela produção). Com o desgaste da pinça de bronze a dimensão começa a variar e causa refugo.

7.1 Testes com outros bronzes

Para tentar melhorar a produção foram aplicados novos testes com bronzes diferentes para tentar aumentar a vida útil das pinças, conforme a tabela abaixo.

Tabela 1 - Bronze

Testes com bronze					
Os dados da tabela são fornecidos pela Produção / Compras					
Tipos de bronze	Norma	Produção	Custo de cada pinça	Quantidade pinças por torno	Gasto total
BRONZE AO ESTANHO (Sn) E ZINCO (Zn)	SAE-62; ASTM B-143-1A	10000	R\$ 300,00	8	R\$ 2.400,00
BRONZE COM ALTO TEOR DE CHUMBO (Pb)	SAE TM-23; ASTM-B-144-3F	12500	R\$ 300,00	8	R\$ 2.400,00
BRONZE VERMELHO AO CHUMBO	ASTM-B-145-4B	12000	R\$ 300,00	8	R\$ 2.400,00
BRONZE ALUMÍNIO	SAE-68B; ASTM-B-148-9B	9800	R\$ 300,00	8	R\$ 2.400,00

Fonte: PROEMA AUTOMOTIVE, 2013

7.1.1 Conclusão do primeiro teste

Foi verificado que mesmo mudando o tipo de bronze o desgaste continuava quase a mesma quantidade, e com esse trabalho foi verificado que o custo das pinças era muito elevado. Como cada torno tem 8 mandris, para fabricar 26.400 peças, o gasto com as pinças ficava em média R\$ 4.800,00 por mês.

Figura 9 - Foto do jogo das pinças de bronze



Fonte: O autor

Figura 10 - Foto das pinças de bronze junto com a pinça de arraste



Fonte: O autor