

UTILIZAÇÃO DE CONCEITOS DE CONFIABILIDADE COM A APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE: MELHORIA DA FERRAMENTA DO ROBÔ DE ENTRADA.

Felipe Ferreira Oliveira¹

Sérgio Oliveira Pitombo²

RESUMO

Neste presente artigo foram utilizados os conceitos da engenharia da confiabilidade em conjunto com as ferramentas das qualidades para melhoria de desempenho de um equipamento instalado em uma indústria de produção de cobre no polo petroquímico de Camaçari-Bahia. O objetivo deste artigo é a aplicação da confiabilidade e as ferramentas da qualidade apresentando os conceitos da confiabilidade, Tempo Médio entre Falhas (MTBF), Tempo Médio para Reparo (MTTR) e Disponibilidade, usando as ferramentas da qualidade, Gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Método dos 5 por quês e Plano de Ação. Os resultados após implantação das ações foram o aumento do tempo médio entre falha, a diminuição do tempo médio de reparo, o aumento a disponibilidade do equipamento.

Palavras-chave: Engenharia de Confiabilidade. Ferramentas da Qualidade. MTBF. MTTR, Robô.

¹ Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal da Bahia - Engenheiro de Manutenção na Paranapanema S/A. E-mail: felipe.caraiba@gmail.com.br

² Professor Dr. Senai Cimatec – Coordenador de Pós-Graduação Senai Cimatec. E-mail: sergio.pitombo@gmail.com

ABSTRACT

In this article, the concepts of reliability engineering were used together with the tools of the qualities to improve the performance of an equipment installed in a copper production industry in the petrochemical complex of Camaçari-Bahia. The objective of this article is to apply the reliability and quality tools presenting the concepts of reliability, Mean Time between Failures (MTBF), Mean Time to Repair (MTTR) and Availability, using the tools of quality, Pareto Graph, Ishikawa, 5-step method and Action Plan. The results after implementation of the actions were the increase in mean time between failure, decrease in mean time to repair, increase equipment availability.

Keywords: Reliability Engineering. Quality tools. MTBF. MTTR, Robot.

1 INTRODUÇÃO

A confiabilidade nas empresas está sendo cada vez mais utilizada para identificação de falhas, redução do custo operacional, otimização de recursos.

Segundo [KARDEC, 2013] o termo confiabilidade teve início na década 50 para análise de falhas em equipamentos militares e expandidos para outros tipos de indústrias durante os anos seguintes.

Segundo [AGUIAR, 2002] a sobrevivência das empresas depende de sua capacidade de atender às necessidades dos clientes, sendo capazes de promover mudanças rápidas. As aplicações das ferramentas da qualidade baseadas nos dados obtidos pela confiabilidade dos equipamentos tornam o processo de melhoria eficaz e conciso, direcionando as ações de manutenção para os problemas que causam as maiores perdas para a produção industrial.

Atualmente não existe espaço no ambiente industrial para realizar processo de tentativa e erro em solução de falhas. Com o aumento da automação industrial, todos os parâmetros para análise de tratativas de falhas estão disponíveis para os engenheiros de manutenção/confiabilidade realizar coleta de dados, identificação de problemas e a aplicações de soluções. Entretanto sem uma metodologia de condução das tratativas, o direcionamento para solução, ações de melhoria ou mitigação das falhas pode não atacar a causa raiz do problema.

Este estudo é justificado pelo aspecto de relevância em relação ao tema abordado para manutenção de equipamentos. Segundo [SLACK, 2002] a manutenção industrial constitui um fator importante na gerência da produção, visto que é a forma pela qual as empresas tentam evitar as falhas e paradas de produção. Segundo [DA SILVA, 2009] que verificou os Dados da Associação Brasileira de Manutenção mostraram que, em 2005, o custo total da manutenção representou em média 4,5% do faturamento bruto nas empresas brasileiras, já em 2013 os custos conforme Dados da Associação Brasileira de Manutenção [ABRAMAN, 2013] o custo total da manutenção representou em média 4,9% do faturamento bruto nas empresas brasileiras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Confiabilidade

Segundo [Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR-5462, 1994] a Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. O termo confiabilidade $R(t)$ é usado como medida de desempenho de confiabilidade.

Desse modo, a confiabilidade de um equipamento pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Onde:

$R(t)$ = confiabilidade a qualquer tempo t .

λ = taxa de falhas (número total de falhas por período de operação)

t = tempo previsto de operação.

Função Requerida

É o limite de admissibilidade abaixo do qual a função não é mais satisfatória. É o mesmo que cumprir a missão, realizar o serviço esperado.

Taxa de falha

A taxa de falha é definida como o número de falhas por unidade de tempo

$$\lambda = \frac{\textit{numero de falhas}}{\textit{numero de horas de operação}}$$

Taxa de Reparo

A taxa de reparo é definida como o número de reparos efetuados por unidade de tempo.

$$\mu = \frac{\textit{numero de reparos efetuados}}{\textit{numero de horas de operação}}$$

Para todos os equipamentos em operação existe uma curva característica que representa a vida do produto. Esta curva é conhecida pela Curva da Banheira, conforme figura 1, devido ao seu formato. Podendo ser diferente para cada tipo de equipamento.

Figura 1- Gráfico da Banheira



Fonte: [KARDEC,2013]

A curva mostra três períodos do equipamento:

- Mortalidade infantil (Função Decrescente) – Existe grande incidência de falhas causadas por componentes com defeito de fabricação ou deficiências de projetos.
- Vida Útil (Função Constante) – A taxa de falhas é sensivelmente menor e relativamente constante ao longo do tempo. A ocorrência de falhas decorre de fatores menos controláveis, como fadiga ou corrosão acelerada.
- Envelhecimento (Função Crescente) – Existe aumento na taxa de falhas decorrente do desgaste natural, que será tanto maior quanto mais tempo passar.

Disponibilidade

Segundo [NBR-5462, 1994], disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de

sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte da manutenção. A expressão matemática que representa a disponibilidade é dado abaixo:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Onde:

MTBF = Tempo médio entre falhas (em inglês Mean Time Between Failures)

MTTR = Tempo médio para reparo (em inglês Mean Time to Repair).

Neste artigo usaremos o conceito de Disponibilidade Inerente para tratar de performance do equipamento. Sabendo que existem a disponibilidade técnica e operacional.

MTBF – Tempo Médio entre Falhas:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

MTTR – Tempo Médio para Reparo

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

Manutenibilidade

É a característica de um equipamento ou instalação permitir um menor ou maior grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção.

Segundo [MONCHY, 1989] Manutenibilidade é a probabilidade de restabelecer um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limite de tempo desejados, quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos. É expressa pela seguinte função:

$$M(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Onde:

M(t) = A função manutenibilidade, que representa a probabilidade de que o reparo comece no tempo = 0 e esteja concluído, satisfatoriamente no tempo t (probabilidade da duração do reparo).

λ = taxa de falhas (número total de falhas por período de operação)

t = tempo previsto de operação.

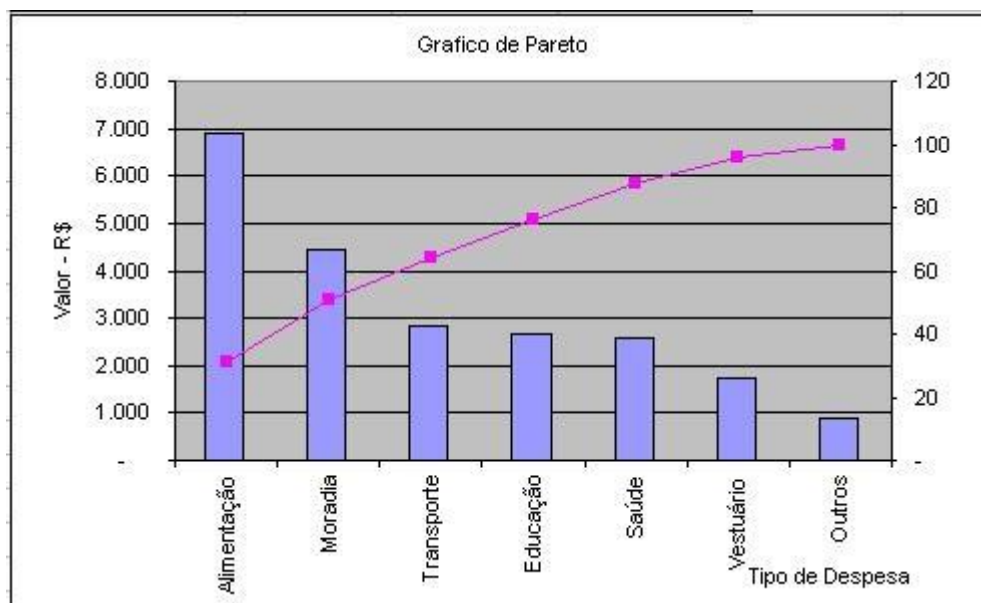
2.2. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Gráfico de Pareto

Segundo [WERKEMA, 2006] o gráfico de Pareto é um gráfico de barras no qual as barras são ordenadas a partir da mais alta até a mais baixa e é traçada uma curva que mostra as porcentagens acumuladas de cada barra, conforme figura 2.

O princípio de Pareto foi desenvolvido pelo italiano Vilfredo Pareto (1843-1923). O qual mostrou que 80% da riqueza em Milão estava nas mãos de 20% da população e 20% da riqueza estava nas mãos dos outros 80% da população.

Figura 2 - Exemplo de gráfico de Pareto



Fonte: [VASCONCELOS 2009]

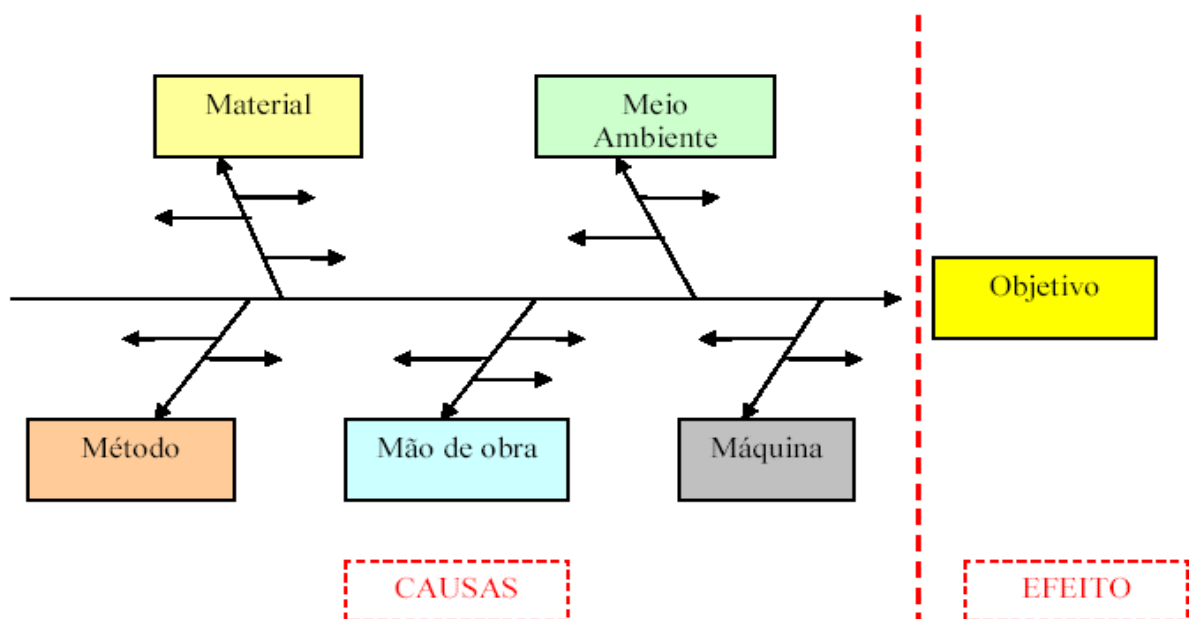
Diagrama de Ishikawa

Segundo [WERKEMA, 2006], o diagrama de causa e efeito, conhecido como diagrama de Ishikawa, pois foi desenvolvido pelo engenheiro químico Karou Ishikawa, é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre um

resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas possam afetar o resultado considerado, ilustrado na figura 3.

O diagrama permite a organização das informações possibilitando a identificação das possíveis causas do problema. Ele atua como um guia para a identificação da causa fundamental deste problema e é utilizado para sumarizar e apresentar as possíveis causas do problema considerado, com isso, pode-se então determinar medidas corretivas para serem adotadas.

Figura 3 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: [ISO 9001]

5 Porquês

Os “5 Porquês” é uma ferramenta para encontrar a causa raiz de um defeito ou problema. É uma técnica de análise que parte da premissa que após perguntar 5 vezes o porquê um problema está acontecendo, sempre relacionado a causa anterior, será determinada a causa raiz do problema ao invés da fonte de problemas [BICHENO, 2006]

A ferramenta permite encontrar a causa primária do problema, de modo que se pode determinar o que aconteceu, por que aconteceu e descobrir o que fazer para reduzir a probabilidade de que isso aconteça novamente [LIKER, 2004].

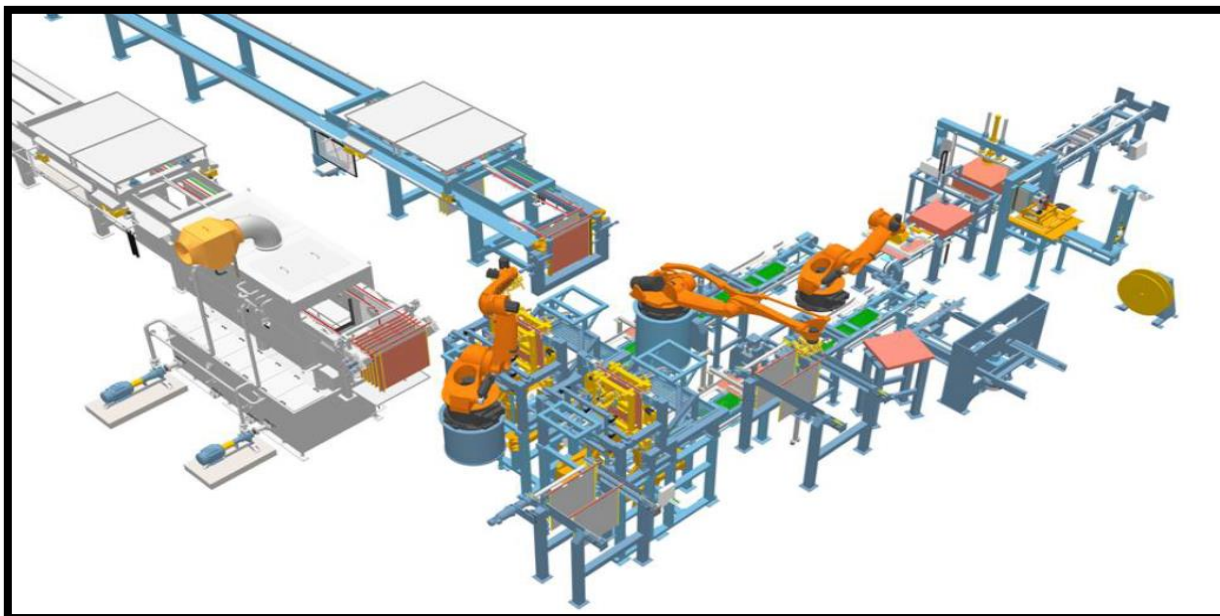
3 METODOLOGIA APLICADA.

Utilizou-se a metodologia aplicada em uma máquina de estripar catodo, figura 4, instalada no ano de 2013 em uma empresa de produção de cobre em Camaçari.

Durante o processo de eletro-refino, o cobre é dissolvido do anodo, e percorre através do eletrólito até a superfície do catodo de chapa aço inox (permanente), onde será eletro depositado na forma metálica.

A tecnologia de catodo permanente consiste em utilizar placas de aço inoxidável 316 L como catodo ao invés de chapas de partida de cobre. O anodo é enviado para a eletrólise e dispostos em pares com os catodos de aço inox nas células eletrolíticas.

Figura 4 - Máquina de Estripar Catodo

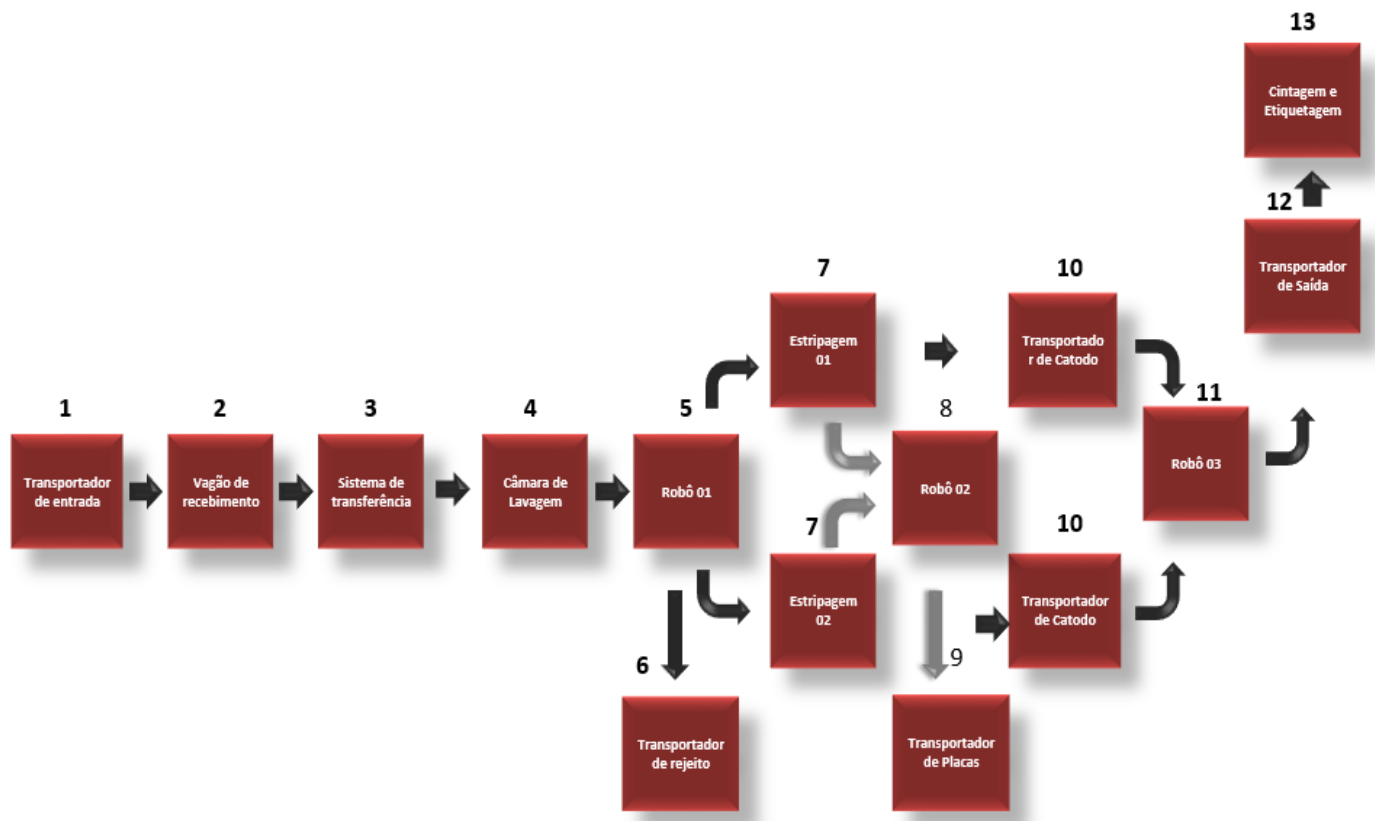


Fonte: [Criado pelo autor]

A tecnologia de chapas permanentes, utiliza-se a máquina de estripar catodo, compostas dos seguintes processos, descrito abaixo e mostrado na figura 5:

1. Transportador de entrada;
2. Vagão de recebimento;
3. Sistema de Transferência;
4. Lavagem de catodo;
5. Robô 01;
6. Transportador de rejeito;
7. Estripagem;
8. Robô 02;
9. Transportador de placas de inox;
10. Transportador de catodos;
11. Robô 03;
12. Transportador de saída;
13. Sistema de cintagem e etiquetagem.

Figura 5 - Diagrama de blocos máquina de estripar catodo



Fonte: [Criado pelo autor]

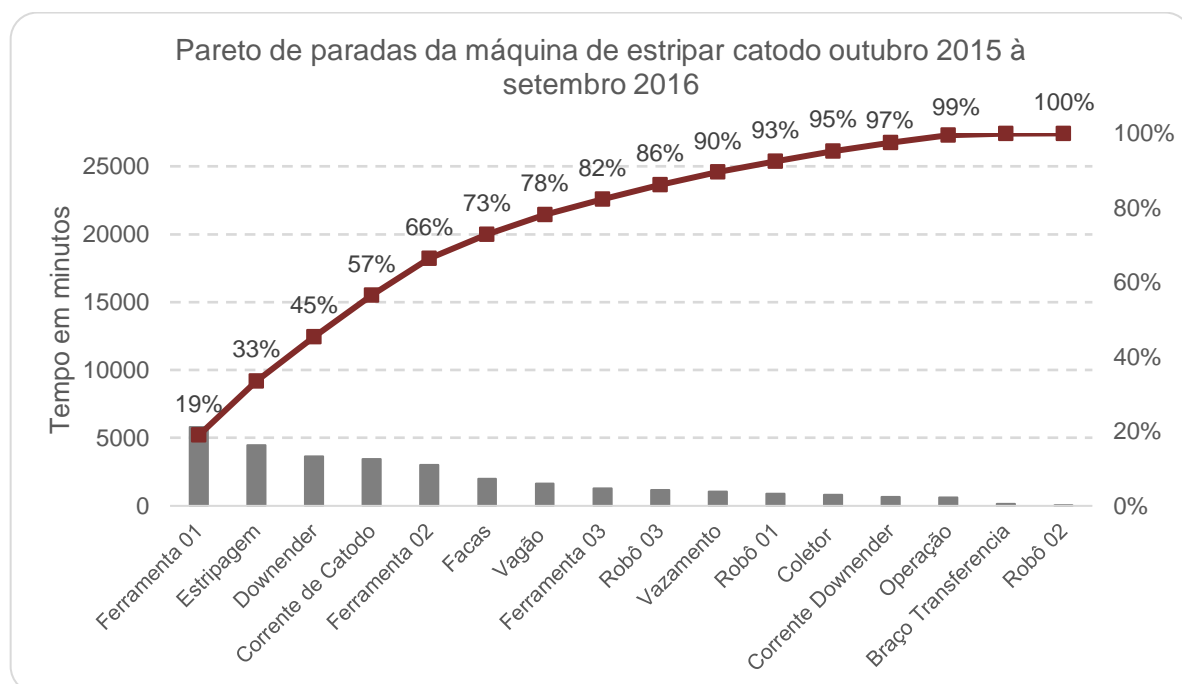
3.1 Problema

Desde a implementação da máquina de estripar catodo o custo de manutenção é elevado, devido a frequentes ocorrências de paradas referente à manutenção corretivas e solicitações de intervenções em emergências, causando também perdas operacionais.

Um dos componentes que causam maiores perdas da máquina é a ferramenta do robô 01, responsável pela retirada da placa de inox com catodo e colocação na unidade de estripagem. Os seguintes eventos ocorrem com frequência na ferramenta do robô 01: ajuste da ferramenta do robô, queda de catodo, folga nos componentes da ferramenta, empeno da ferramenta. Fato este verificado através da análise de dados do boletim de parada da máquina de estripar catodo, extraído do

programa historiador da empresa, em 2015/2016, explicitado na figura 6 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 6 - Pareto de parada entre outubro 2015 a setembro 2016

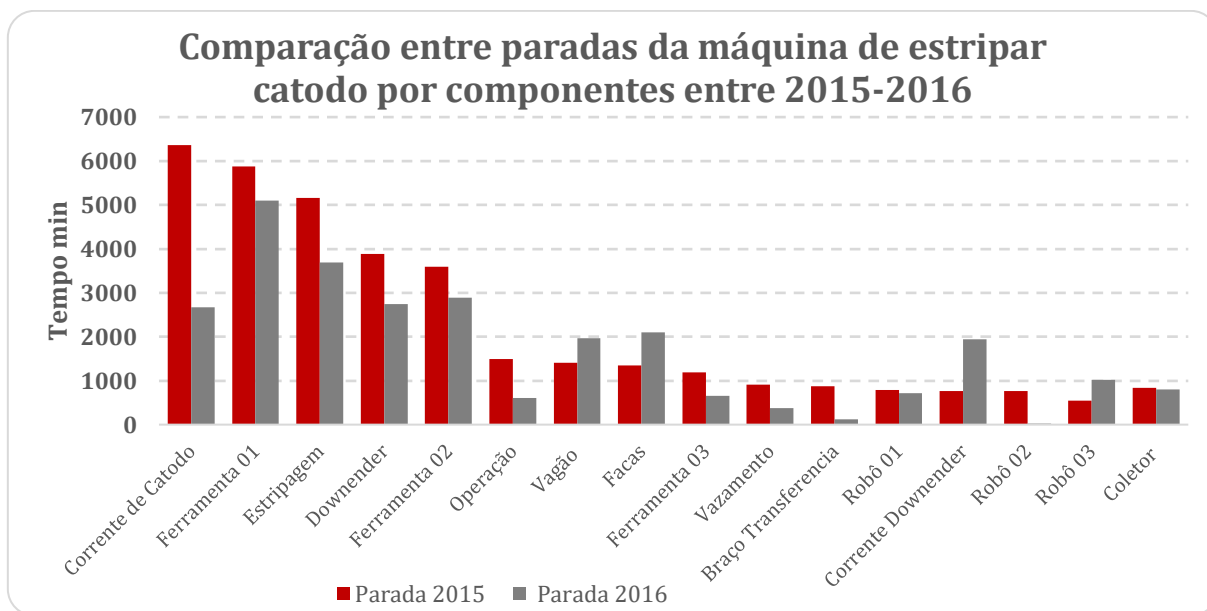


Fonte: [Criado pelo autor]

3.1.1. Identificação do problema

Para identificação do problema, realizou se levantamento das maiores falhas da máquina de estripar catodo utilizando dados do boletim de parada dos equipamentos inserido no historiador de dados da empresa, pelos operadores da máquina. A figura 7 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a comparação das paradas por componente gerados no ano de 2015 e 2016.

Figura 7 - Comparação de parada por componente



Fonte: [Criado pelo autor]

Pela análise da figura 7, verifica-se que as maiores ocorrências de falhas para máquina estão na corrente de catodo, ferramenta 01, estripagem, downender (elevador de catodo) e ferramenta 02.

Conforme apresenta no gráfico de Pareto na figura 6 com indicações de falhas referente a cada componente, fica evidenciado que a Ferramenta 01 foi a maior causa de paradas do equipamento no ano de 2016.

Desde a implementação da máquina em 2013, a ferramenta do robô 01 não apresentava performance satisfatória, tanto que em 2015, o fabricante do equipamento, realizou modificação da ferramenta, alterando o projeto conceitual e modificando todos os componentes, conforme Figura 8 e Figura 9.

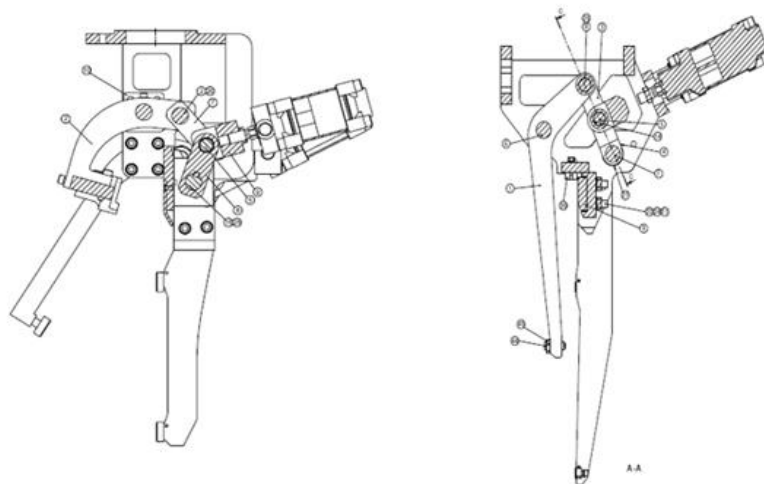


Figura 8 - Ferramenta do robô 01 original, esq. - Ferramenta do robô 01 atualizada, dir.

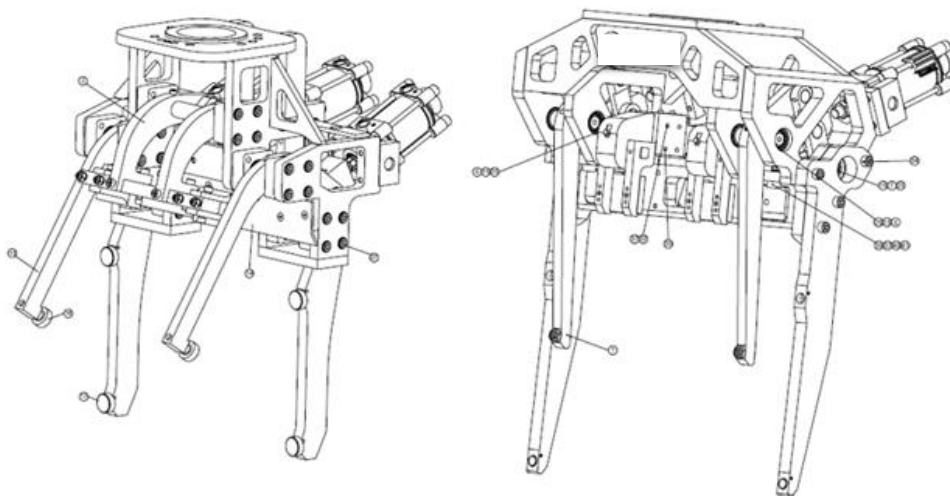


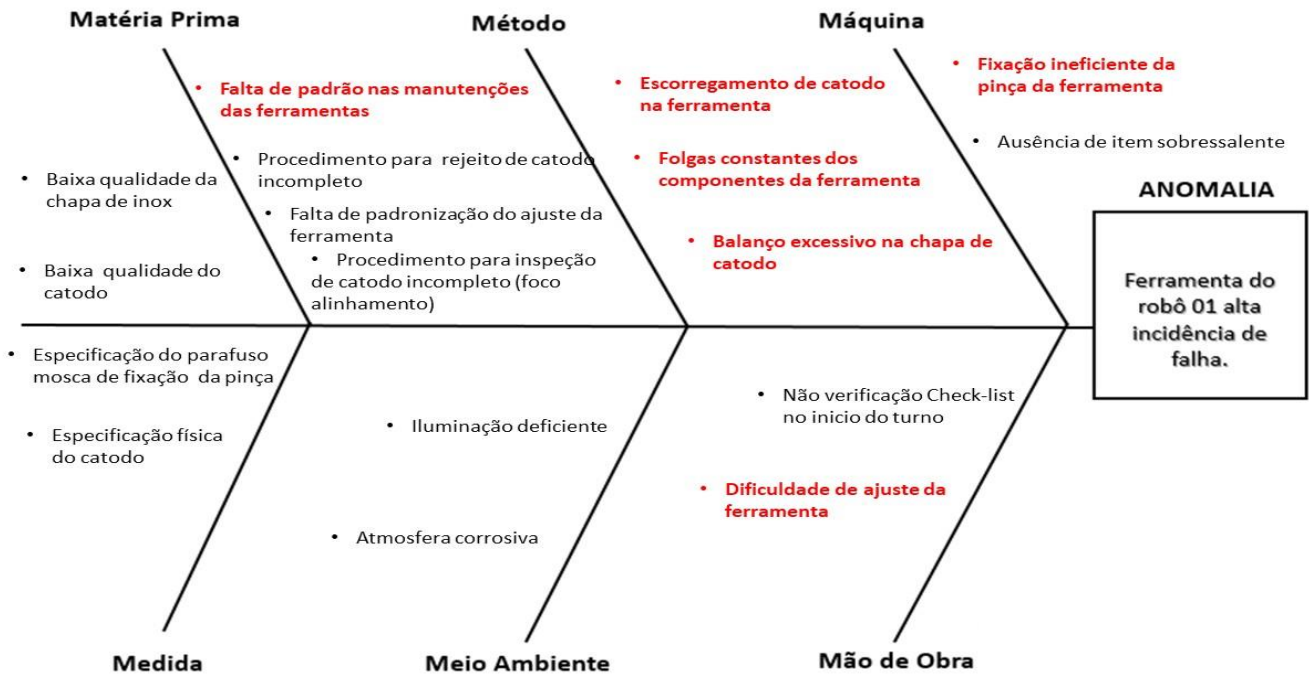
Figura 9 - Ferramenta do robô 01 original, esq. - Ferramenta do robô 01 atualizada, dir.

Com as alterações realizadas pelo fabricante, houve melhora significativa na operação do equipamento, porém não foram suficientes para bloquear as ocorrências de paradas da máquina.

3.1.2. Análise do problema

Para análise do problema e busca das causas fundamentais das falhas na ferramenta do robô 01, utilizou o diagrama do Ishikawa, figura 10, e o método dos 5 por quês, figura 11.

Figura 10 - Ishikawa das falhas da Ferramenta robô 01



Fonte: [Criado pelo autor]

Figura 11 - Método dos 5 Por quês

Item	POSSÍVEIS CAUSAS Diagrama Causa e Efeito	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
1	Folgas constantes dos componentes da ferramenta	Ferramenta não absorve grande variação de espessura	As tolerâncias definidas no projeto não atende condições anormais do processo.	Limitação de projeto da ferramenta do robô 01 em absorver variação de espessura do catodo.	
2	Balço excessivo na chapa de catodo	Lugar de "pega" na região de maior concentração de nódulos	Não foi previsto no projeto grande nodulação de catodo	Falha durante especificação/projeto da ferramenta	
3	Fixação ineficiente da pinça da ferramenta	Constantes folga das buchas da ferramenta	Desgaste elevado das buchas das pinças	Pinça com esforço axial não contemplado no projeto	
4	Escorregamento de catodo na ferramenta	Ferramenta com ponto de fixação deficiente	Desgaste da pastilha	Falta de especificação da pastilha	Não há especificação detalhado dos componentes no projeto
				Pinça de travamento não fecha totalmente	
5	Dificuldade de ajuste da ferramenta	Não existe procedimento para ajuste.	Não foi realizado procedimento na entrega do projeto.		
6	Falta de padrão nas manutenções das ferramentas	PMA não fornece desenho detalhado para manutenção	Não existe desenho de detalhe da ferramenta	Projeto entregue sem detalhamento de peças.	

Fonte: [Criado pelo autor]

3.2 Plano de Ação

Para ações de contenção das constantes quebras, foram realizados RAF's (Relatórios de Análises de Falhas) e implementações de folhas de verificação das ferramentas e procedimentos para inspeção e rejeito de nódulos catodo de baixa qualidade pela operação.

Para as causas básicas encontradas no diagrama do Ishikawa, foi gerado e implementado o seguinte plano de ação conforme figura 12.

Figura 12 - Plano de ação

Item	Causa básicas	Como	Quem	Quando	Onde	Quanto	% Completo
1	Limitação de projeto da ferramenta do robô 01 em absorver variação de espessura do catodo.	Aquisição de dispositivo para possibilitar variações de espessura de catodo	DEM	27/06/2016	PMA	R\$ 60.000,00	100%
2	Falha durante especificação/projeto da ferramenta	Melhorar pontos de fixação da ferramenta para diminuir a incidência de ajuste do robô durante operação da máquina	DEM	20/08/2016	PMA	R\$ 8.000,00	100%
3	Pinça com esforço axial não contemplado no projeto	Aumentar Robustez da pinça de estabilização.	DEM	15/08/2016	PMA	R\$ 3.000,00	100%
4	Pinça de travamento não fecha totalmente	Melhorar pinça que segura a barra da placa de inox	DEM	15/08/2016	PMA	R\$ 2.000,00	100%
5	Não foi realizado procedimento na entrega do projeto.	Criar Procedimento para ajuste da ferramenta.	DEM	20/07/2016	PMA	R\$ -	100%
6	Não há especificação detalhado dos componentes no projeto	Redesenhar e especificar componentes da ferramenta do robô 01	DEM	20/09/2016	PMA	R\$ 20.000,00	100%
7	Projeto entregue sem detalhamento de peças.	Redesenhar e especificar componentes da ferramenta do robô 01	DEM	20/09/2016	PMA	R\$ -	100%

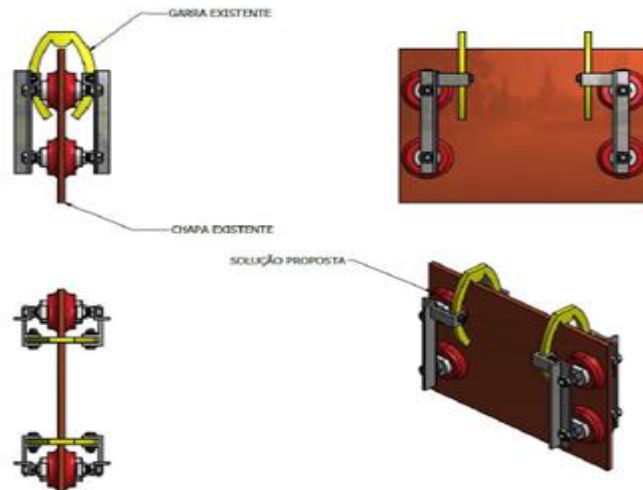
Fonte: [Criado pelo autor]

3.2.1 Evidências do plano de ação

O plano de ação foi executado e realizado a análise para cada ação indicada no plano, detalhadas abaixo:

- Aquisição de dispositivo para possibilitar variações de espessura no catodo: Para esta ação foi realizada consulta com empresa especializada em manipulação de matérias com Robôs, referência em manipuladores robóticos. Esta empresa, apresentou proposta de solução utilizando ferramentas de ventosas, como indicado na figura 13.

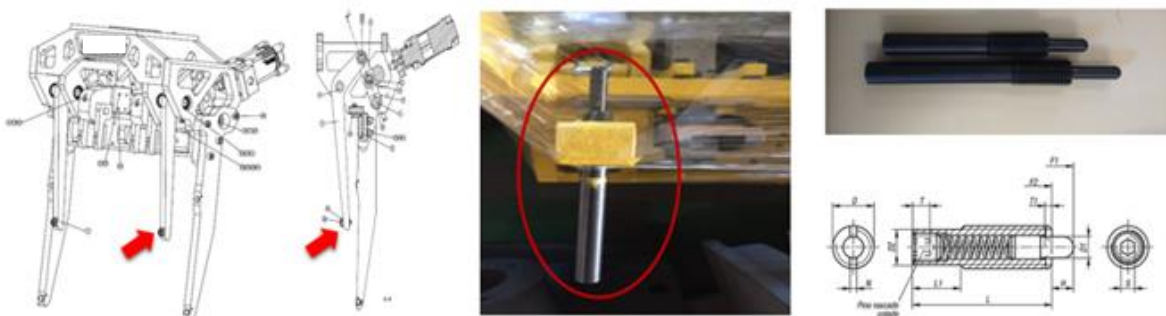
Figura 13 - Proposta para modificação da Ferramenta



Fonte: [Criado pelo autor]

- Foi implementado um pino com mola ajustável para evitar que o catodo balance durante o transporte do catodo, conforme figura 14.

Figura 14 - Pino com mola ajustável



Fonte: [Criado pelo autor]

Avaliação da ação 01.

- Ao realizar estudo mais aprofundado sobre o mecanismo do funcionamento da ferramenta 01, foi observado que a função da pinça de estabilização, tem a função de estabilizar o catodo durante a movimentação, evitando que

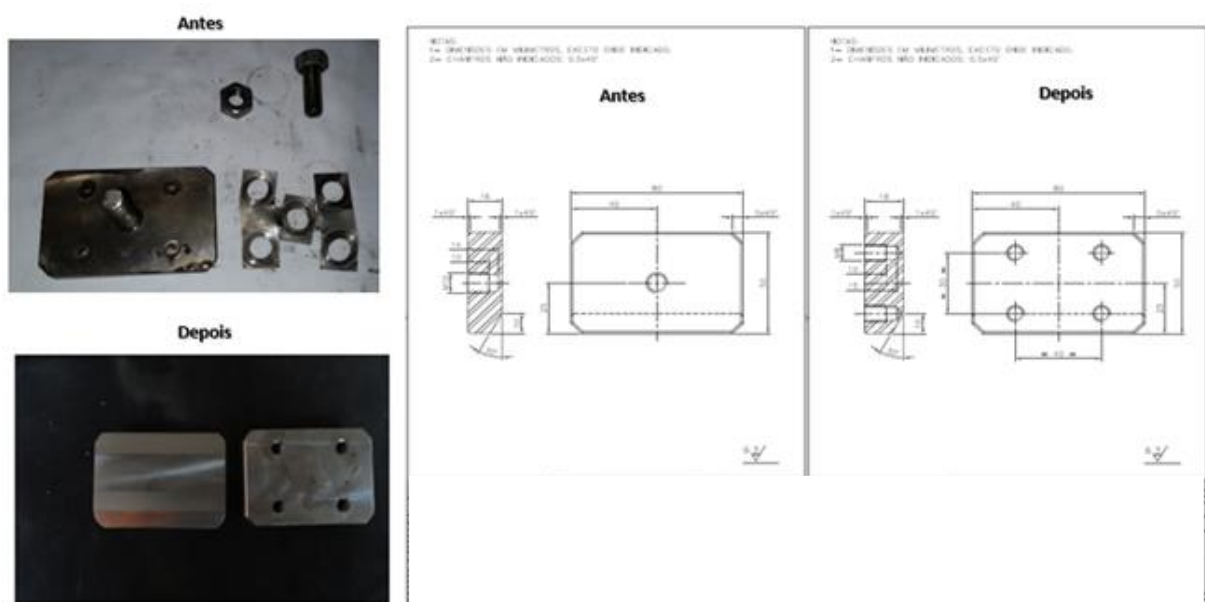
ocorra vibração da placa de catodo, devido a isto a ação de implementação do mecanismo proposto pela empresa especializada em manipuladores foi rejeitada. Outro fator que inviabilizou a proposta fornecida, é que este utiliza sistema de ventosa, que necessita de uma superfície lisa para perfeito funcionamento. Os catodos produzidos pela empresa de cobre possuem variação de espessura e ocorrência de nodulações;

- A instalação do pino com mola ajustável, também não se mostrou satisfatório, sendo substituído por anteparo fixo.

2 - Melhorar pontos de fixação da ferramenta para diminuir a incidência de ajuste do robô durante operação da máquina:

Foi realizada a mudança da concepção da placa de encosto com o intuito de minimizar os ajustes das placas de encosto que eram realizadas durante operação da máquina e assim evitar pequenas paradas do equipamento, mostrada na figura 15.

Figura 15 - Placa de encosto da ferramenta Antes/ Depois



Fonte: [Criado pelo autor]

Avaliação da Ação 2

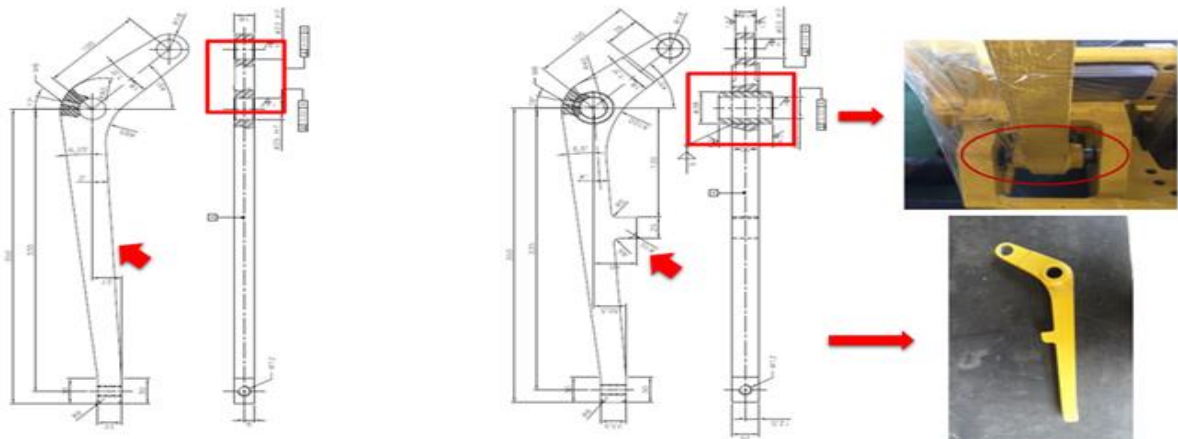
- Ao realizar instalação da placa de encosto, observou-se ocorrência de desgaste rápido e acentuado da placa. Originalmente o material proposto foi aço inox AISI 304, com o desgaste da peça realizamos modificação por material com dureza maior, sendo especificado aço inox AISI 316L. Com esta alteração não foi verificado desgaste anormal.

3 - Aumentar Robustez da pinça de estabilização:

Devido as constantes quebras e empenos nas pinças de estabilização da ferramenta realizou-se modificação da pinça de estabilização, mostrada na figura 16 e figura 17, para aumentar da robustez da pinça foram realizadas as seguintes modificações:

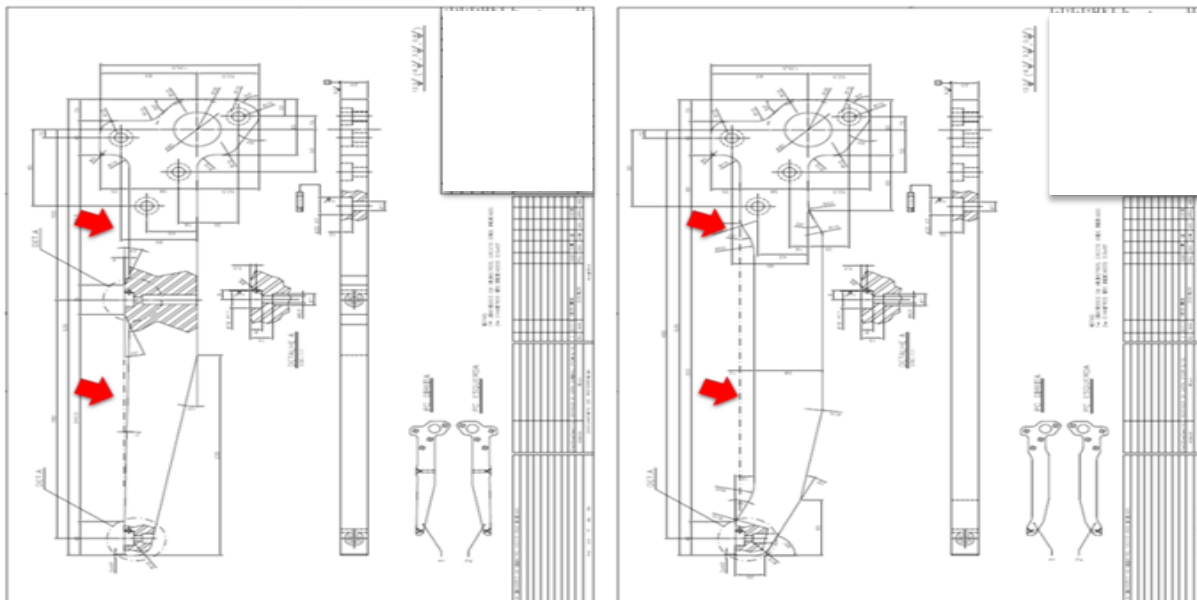
- *Aumento da espessura da pinça de 18 mm para 25 mm;*
- *Inclusão de “mancal” para evitar desgaste constantes nas buchas;*
- *Inclusão de sobressalto para fixação da barra em caso de quedas indesejadas;*
- *Aumento da dimensão da barra fixa;*
- *Entalho no trecho reto para absorver nodulações.*

Figura 16 - Aumento de robustez da pinça de estabilização: Antiga .esq. Modificada. Dir



Fonte: [Criado pelo autor]

Figura 17 - Aumento da robustez da pinça fixa



Fonte: [Criado pelo autor]

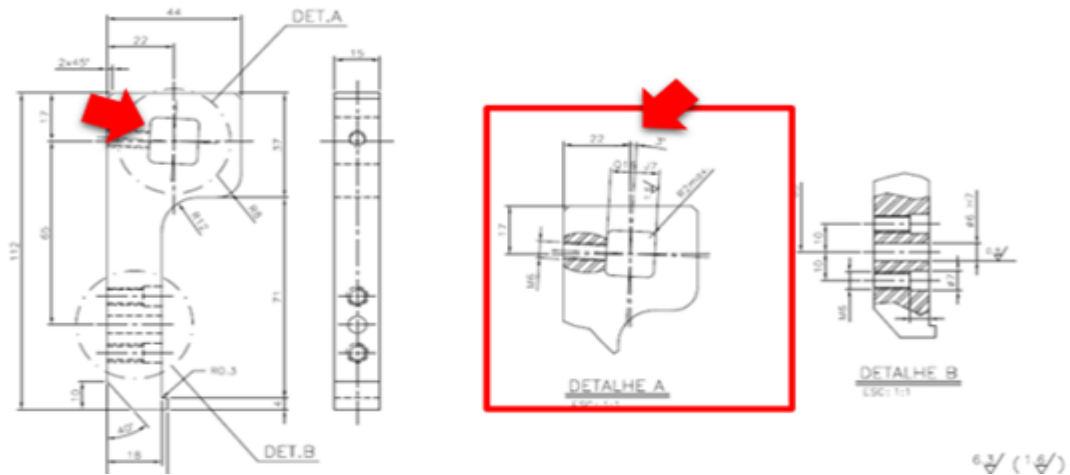
Avaliação da Ação 3

- Após a instalação da ferramenta no robô 01, verificou-se diferença entre a pinça fixa esquerda em relação a pinça fixa direita. Foi informado ao prestador de serviço, este constatou que houve falha na fabricação do material. Foi fabricado nova barra fixa, instalado e não se percebeu anormalidades.

4 - Melhorar a pinça que segura a barra da placa de inox:

Para garantir que a placa de inox não soltasse durante o trajeto do robô realizou-se a modificação na angulação de fechamento da pinça que segura a barra da placa de inox de 0° para -3°, conforme figura 18.

Figura 18 - Modificação da angulação da pinça.

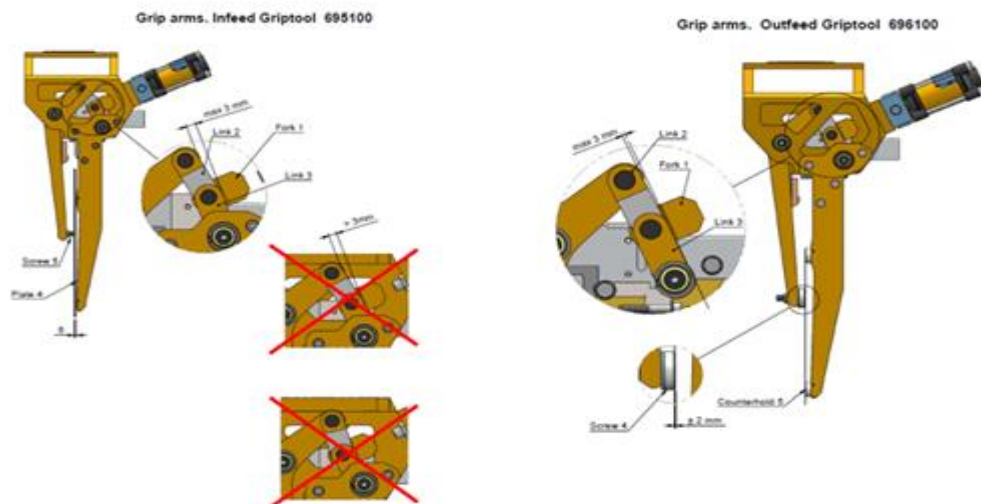


Fonte: [Criado pelo autor]

5 - Criar Procedimento para ajuste da ferramenta:

Criado procedimento para ajuste da ferramenta, mostrando os pontos de ajustes para auxiliar e padronizar as manutenções realizadas na ferramenta, conforme figura 19.

Figura 19 - Procedimento - Ajuste da ferramenta

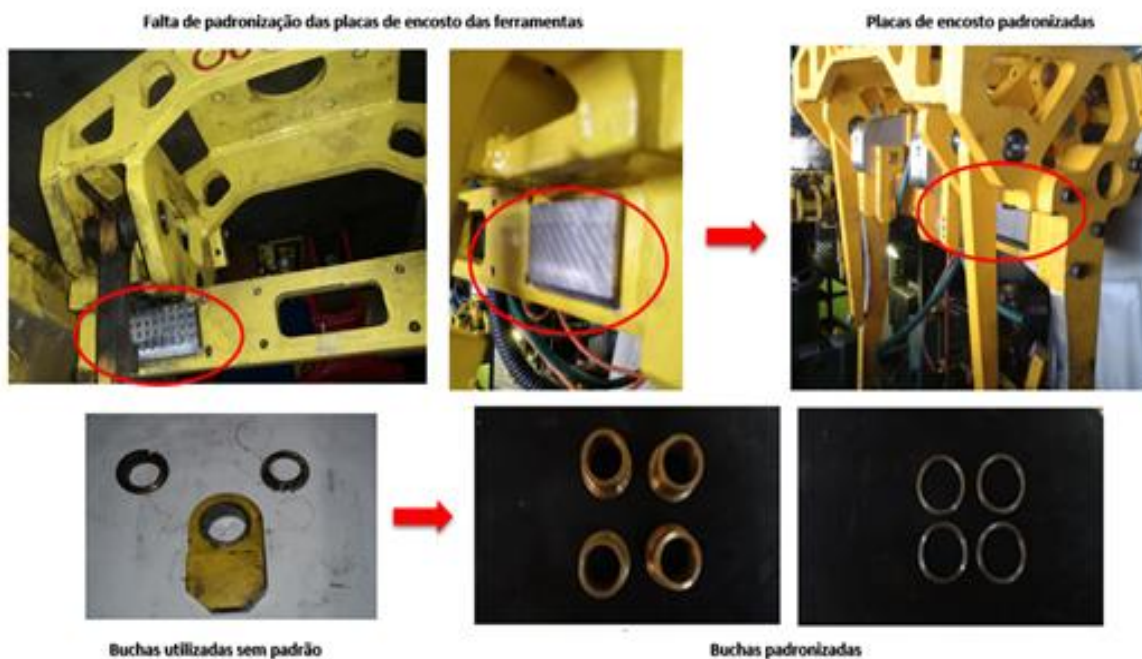


Fonte: [Criado pelo autor]

6- Redesenhar e especificar componentes da ferramenta do robô 01:

Redesenhado todos os componentes da ferramenta do robô com dimensões e materiais, afim de gerar detalhamentos dos componentes, para auxiliar as manutenções internas e externas da ferramenta, bem como a aquisição de sobressalentes, conforme mostrado na figura 20.

Figura 20 - Ações de padronizações

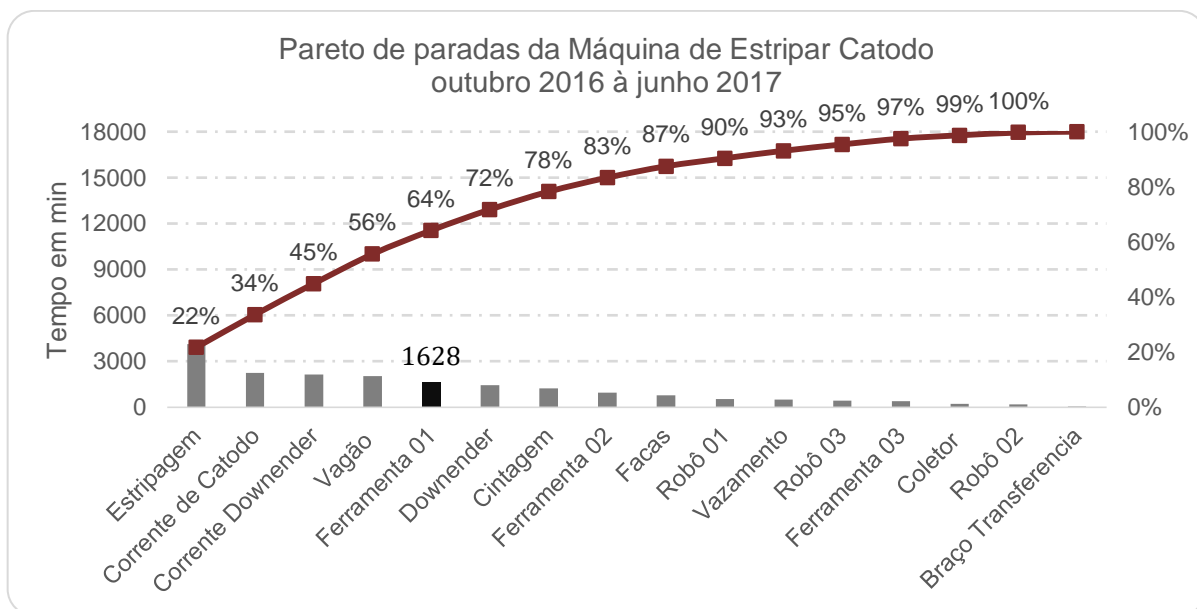


Fonte: [Criado pelo autor]

3.3 Verificação dos resultados:

Após as implementações das ações, finalizadas em outubro de 2016, pode se constatar que no período entre outubro de 2016 até junho de 2017 a ferramenta 01 foi responsável por 1628 minutos das paradas corretivas da máquina de estripar catodo conforme figura 21, saindo do primeiro lugar em 2015/2016, figura 6, para o quinto da máquina de estripar catodo 2016/2017.

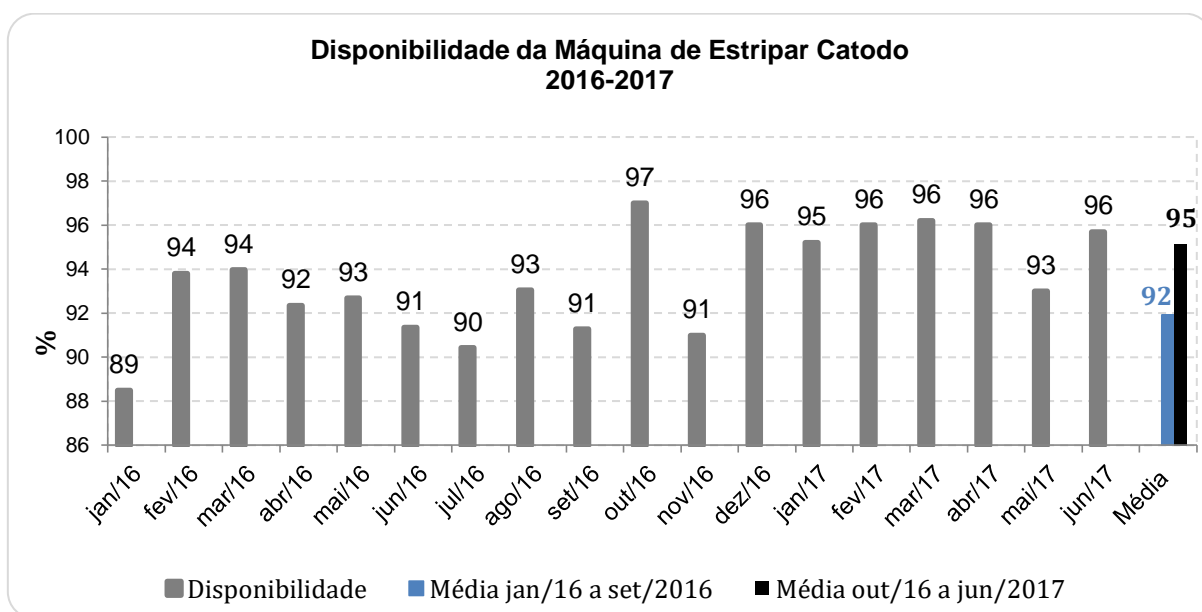
Figura 21 - Pareto de paradas da máquina de estripar catodo outubro 2016 à junho 2017



Fonte: [Criado pelo autor]

Verificou-se também que a disponibilidade da máquina de estripar catodo, neste período, após a implantação das ações, aumentou de 92% para 95%, conforme verificado na figura 22.

Figura 22 - Disponibilidade Máquina de Estripar Catodo

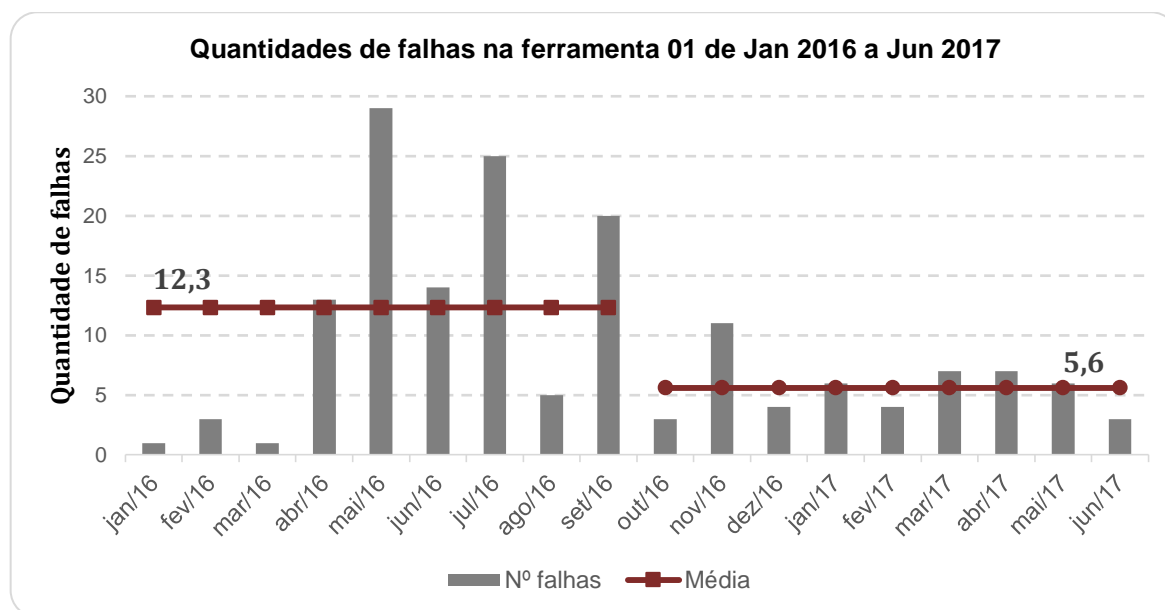


Fonte: [Criado pelo autor]

Esta evolução é verificada em função da redução da quantidade de incidência do número de falhas, aumento MTBF e redução do MTTR.

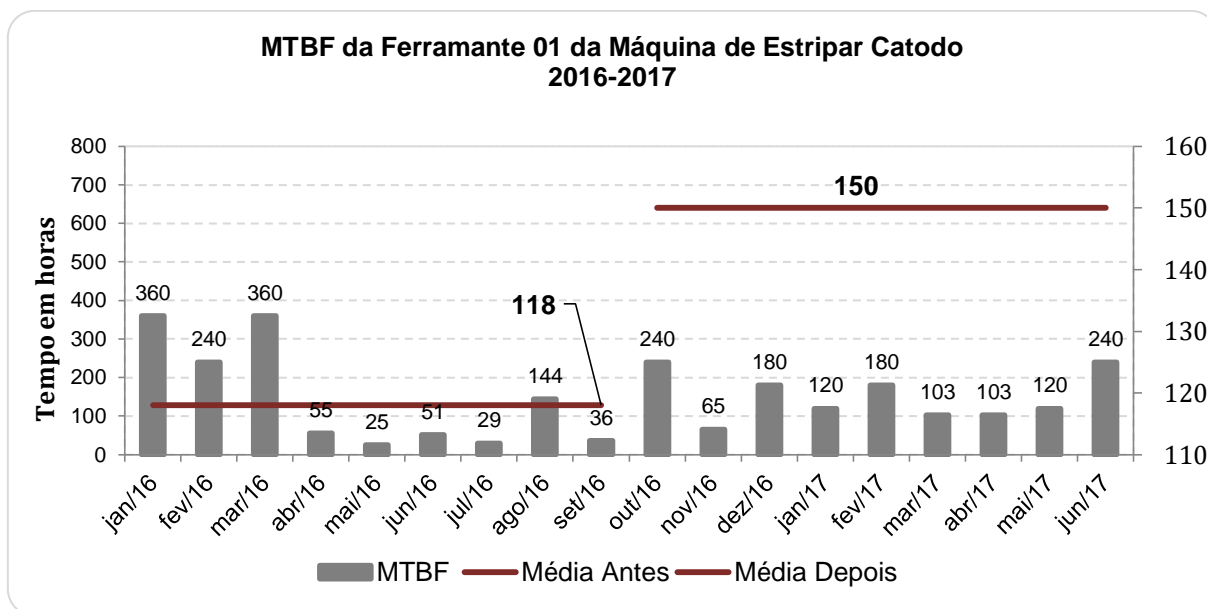
A figura 23 e figura 24 mostram a quantidade de falhas e MTBF no período de janeiro de 2016 a junho de 2017. No primeiro trimestre do ano de 2016 verifica-se uma quantidade de falhas baixa e MTBF elevado, isso se deu devido à baixa produção em função da demanda de mercado. Após abril/2016 a setembro 2016 verifica-se elevada quantidade de quebras e menor MTBF. Para este período a média da quantidade de falhas estava em torno de 12,33 e MTBF 118 horas. A partir de outubro de 2016, quando as ações de melhorias foram implementadas, a média da quantidade de falhas ficou em torno de 5,6 e MTBF em 150 horas. Importante ressaltar que no mês de novembro de 2016 houve colisão entre os robôs 01 e 02 o que causou empeno da ferramenta, gerando pequenas paradas corretivas para ajustes, enquanto era realizada manutenção externa na ferramenta reserva. Após a substituição verificou-se que a quantidade de falhas ficou em torno de 5 falhas por mês e MTBF em 161 horas.

Figura 23 - Quantidades de falhas na Ferramenta 01 de Jan 2016 a Jun. 2017



Fonte: [Criado pelo autor]

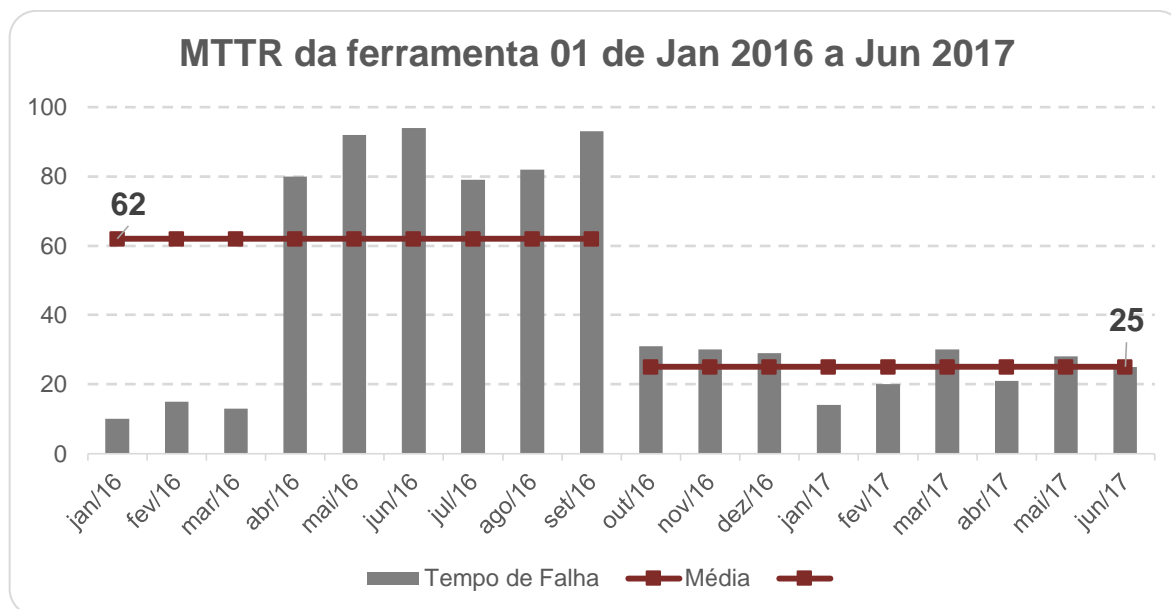
Figura 24 - MTBF da Ferramenta 01 de 01 de Jan 2016 a Jun. 2017



Fonte: [Criado pelo autor]

A figura 25 mostra o tempo médio para reparo MTTR no período de janeiro de 2016 a junho de 2017. No primeiro trimestre do ano de 2016 verifica-se que o tempo para restabelecer a falha foi baixo, isso se deu devido à baixa produção em função da demanda de mercado. Após abril/2016 a setembro 2016 verifica-se elevação do tempo para restabelecimento da falha. Para este período a média do tempo de restabelecer a falha ficou em torno de 87 minutos. A partir de outubro de 2016, quando as ações de melhorias foram implementadas, a média para restabelecer a falha ficou em torno de 25 min. Importante ressaltar que no mês de novembro de 2016 houve colisão entre os robôs 01 e 02 o que causou empeno da ferramenta, gerando pequenas paradas corretivas para ajustes, enquanto era realizada manutenção externa na ferramenta reserva. Entretanto, o tempo para restabelecer a falha ficou no mesmo patamar dos meses seguintes em função realização do plano de ações para ajuste rápido da ferramenta.

Figura 25 - Tempo de falha na Ferramenta 01 de Jan 2016 a Jun. 2017



Fonte: [Criado pelo autor]

4. CONCLUSÃO

Ficou evidenciado neste presente artigo que o uso das ferramentas da qualidade e conjunto com os conceitos de confiabilidade aplicados na máquina de estripar catodo melhoraram o desempenho do equipamento.

Com utilização do diagrama de Pareto foi possível identificar que a ferramenta 01 era a maior causa de parada do equipamento. Já o diagrama de Ishikawa, auxiliou a identificar as possíveis causas de falha na ferramenta 01. O método dos 5 Por Que identificou as causas raízes e a metodologia de elaboração do plano de ação mitigou as falhas. Após as concluídas as ações do plano de ação, verificou-se redução de 72% (4178 minutos) no tempo de parada em virtude de falhas na ferramenta 01 e redução 54% (6,7) na quantidade de falhas, aumento de 27% (32 horas) do MTBF e redução de aproximadamente 60% (37 minutos) do MTTR, com os resultados alcançados conseguiu-se aumentar a disponibilidade do equipamento em 3% passando 92% para 95%. Os dados obtidos após as ações, mostram melhora dos indicadores de performance da máquina de estripar catodo, entretanto



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA
DA CONFIABILIDADE**

para o nível de produção da empresa é necessário realizar melhorias/ modificações na máquina de estripar catodo para reduzir o índice de falha.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN. **Associação Brasileira de Manutenção**. Disponível em: <www.abraman.com.br>. Acessado em 12 de setembro de 2018.

AGUIAR, Silvio. **Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma** 1º ed. Nova Lima: INDG TecS Editora, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASIELRIA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 3, 1994.

BICHENO, J. **The New Toolbox Enxuta** (p152). Picsie Books, 2006.

DA SILVA, ALINE VERONESE. **Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade para desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis**. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, Salvador, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARZATION. ISO. **ISO 9001:2008**. Quality management systems. Requirements. International Organization for Standardizantion. 2008. 27p.

KARDEC, Alan; Nascif, Julio. **Manutenção Preditiva: fator de sucesso na Gestão Empresarial** 1º ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.

LIKER, J. **The Toyota Field Book**, 2004.

MONCHY, François. **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial**, São Paulo: Editora Dubran, 1989.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

VASCONCELOS, D. C. **A utilização das Ferramentas da Qualidade Como Suporte a Melhoria do Processo de Produção** – Estudo de Caso na Industrial Têxtil, 2009.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkema Editora Ltda, 2006.