

## Aplicação do FMEA como suporte na manutenção preventiva da máquina pneutorque norbar

### Application of FMEA as support in the preventive maintenance of the pneumatic machine norbar

---

Ana Paula Coimbra Mendes\* – [coimbra\\_anapaula@hotmail.com](mailto:coimbra_anapaula@hotmail.com)  
Ingridiane de Campos Albuquerque\* – [ingridianeca@hotmail.com](mailto:ingridianeca@hotmail.com)  
Alyson da Luz Pereira Rodrigues\*\* – [alisonluz93@outlook.com](mailto:alisonluz93@outlook.com)  
Andres Jacinto Lopez Lens\*\*\* – [andreslopezlens@gmail.com](mailto:andreslopezlens@gmail.com)  
Eduardo Mendonça Pinheiro\* – [eduardomp1979@gmail.com](mailto:eduardomp1979@gmail.com)

\* Universidade Estadual do Maranhão – (UEMA) São Luis, MA

\*\* Faculdade Pitágoras – São Luis, MA

\*\*\* Instituto Tecnológico de Aeronáutica – (ITA) São José dos Campos, SP

---

#### Article History:

Submitted: 2016 - 11 - 24

Revised: 2017 - 01 - 06

Accepted: 2017 - 01 - 14

---

**Resumo:** Este trabalho visou apresentar a utilização da ferramenta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) como suporte da manutenção preventiva da máquina pneutorque Norbar, assim como no planejamento estratégico da manutenção a ela aplicada. Foi realizado um estudo bibliográfico de assuntos relacionados ao tema para contextualizar o assunto, seguido de um estudo de caso. A pesquisa demonstrou como ocorre o desenvolvimento de um processo de análise de falhas de equipamentos, identificando os resultados obtidos através da ferramenta FMEA junto ao Controle Estatístico do Processo (CEP). Para isso, buscou-se analisar este método no processo de manutenção e suporte da máquina pneutorque Norbar, visando obter resultados satisfatórios na melhoria do processo de planejamento da manutenção.

**Palavras-chave:** FMEA; Planejamento da Manutenção; CEP; Pneutorque Norbar

**Abstract:** This paper aims to identify the use of the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) tool as a maintenance planning applied. A bibliographic study was carried out to contextualize the subject, followed by a case study. The research demonstrates how the development of an equipment failure analysis process, identifying the results obtained through the FMEA tool with the Statistical Process Control (CEP). For this, we analyzed this method in the process of maintenance and support of the Pneutorque Norbar machine, intending to obtain satisfactory results in the improvement of the maintenance planning process.

**Keywords:** FMEA; Maintenance Planning; CEP; Pneutorque Norbar

## 1. Introdução

O cenário competitivo tem sofrido grandes mudanças ocasionadas pela crescente globalização dos mercados, maior exigência de parâmetros de qualidade, menor prazo de entrega e níveis de customização. Para se adequar ao cenário, as organizações, cada vez mais, adotam a utilização de ferramentas e técnicas para ampliar a capacidade de tomada de decisão (Esposito *et al.* 2013).

As últimas décadas apresentaram grandes avanços nas técnicas de manutenção, em especial a manutenção corretiva. É possível ainda destacar as técnicas de Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), a Terotecnologia, *Total Productive Maintenance* (TPM), *Total Quality Maintenance* (TQM), *Risk-based Inspection* (RBI) e o *Eindhoven University of Technology Model* (EUT) (Ferreira, 2003).

As atividades de manutenção podem ser mais bem planejadas através da realização de estudos de confiabilidade dos equipamentos. O *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) tem como objetivo identificar e analisar as possíveis falhas do projeto ou processo e seus efeitos, como também buscar ações para reduzir ou eliminar os efeitos dessas possíveis falhas (Aiag, 2008).

Este trabalho demonstra como ocorre o desenvolvimento de um processo de análise de falhas de equipamentos, identificando quais resultados são obtidos através da ferramenta FMEA. Para isso, buscou-se analisar tal método no processo de manutenção e suporte da máquina pneutorque Norbar, a fim de conquistar resultados satisfatórios na melhoria do processo de planejamento da manutenção.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

O FMEA teve sua primeira referência em 1949 quando o exército norte-americano desenvolveu um procedimento militar MIL-P- 1629, intitulado de “*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*”. Este era usado como técnica de avaliação da fiabilidade para determinar o efeito das falhas num sistema ou equipamento. As falhas eram classificadas de acordo com o seu impacto no sucesso da missão e na segurança do pessoal e equipamento (Smith, 2014).

Teoh *et al.* (2004) definem o FMEA como uma técnica que identifica os potenciais modos de falha de um produto ou de um processo, os efeitos das falhas, e avalia a criticidade

desses efeitos sobre a funcionalidade do produto ou processos. Para Pallady (2002) este método é uma ferramenta a ser utilizada no desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços novos ou a serem reavaliados.

O FMEA normalmente é conduzido por ferramentas básicas tais como as sessões de *brainstorming* e diagramas de causa efeito que podem ser utilizadas para determinar a relação entre modos potenciais de falhas, seus efeitos e as causas relacionadas a esses modos de falhas para cada função analisada (Helman e Andery, 1995).

A aplicação do FMEA abrange inúmeras áreas como o desenvolvimento de produtos, processos de fabricação, de serviços e ações de manutenção. Uma das indústrias que se destaca no uso extensivo do FMEA é a indústria automóveis, cuja ferramenta é um requisito dos fornecedores desta indústria. A metodologia FMEA é também utilizada com maior destaque na indústria aeroespacial, nuclear e bioquímica (Haq e Lipol, 2011).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), a utilização de FMEA tem como objetivo identificar as características do processo que são críticas para os diversos tipos de falhas, sendo ainda um meio para identificar as falhas antes que aconteçam, através de um procedimento constituído por três perguntas chaves questionadas a cada falha:

- ✓ Qual seria a consequência da falha?
- ✓ Qual a probabilidade da falha ocorrer?
- ✓ Em qual probabilidade esta falha é detectada antes que afete o cliente?

Paris (2002) propõe que deve seguir quatro etapas para implementar um FMEA: planejamento, análise de falha em potencial, avaliação dos riscos e melhoria. O planejamento compreende:

- a) descrição dos objetivos e abrangência da análise
- b) formação dos grupos de trabalho: em que se definem os integrantes do grupo, que deve ser preferencialmente pequeno (entre 4 a 6 pessoas);
- c) planejamento das reuniões.

A análise das falhas em potencial é realizada pelo grupo de trabalho que discute e preenche o formulário FMEA de acordo com os passos que seguem: 1) funções e características do produto/processo; 2) tipos de falhas potenciais para cada função; 3) efeitos do tipo de falha; 4) causas possíveis da falha; 5) controles atuais. E avaliação dos riscos, nesta

fase são definidos pelo grupo os índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente.

## 2.2. FMEA de processo

O FMEA pode ser classificada em diversos tipos, dependendo do objeto de estudo. As informações existentes na literatura relativamente aos vários tipos de FMEA não são unânimes. Stamatis (2003) destaca quatro tipos de FMEA: Sistema, Produto/Projeto, Processo e Serviço.

FMEA de Processo é um método analítico para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa. Marconcin (2004) relata que, à medida que as causas das falhas são eliminadas pela utilização de FMEA, a confiabilidade do processo aumenta consideravelmente.

A utilização de FMEA de Processo elimina os pontos fracos do processo, reduzindo o risco de falhas a valores aceitáveis. Garcia (2000) afirma que quando utilizado com eficiência, o FMEA de Processo, além de ser um método poderoso na análise do processo, permite a melhoria contínua e serve de registro histórico para futuros estudos.

No mercado industrial, a maioria das companhias divide o FMEA em FMEA de projeto (DFMEA) e FMEA de processo (PFMEA). Para Aguiar e Mello (2008) A utilização do PFMEA tem o intuito de identificar as características de processo que são críticas para os vários tipos de falhas, através de questionamentos referentes à consequência da falha, probabilidade de ocorrência e probabilidade de detecção antes de afetar o cliente.

## 2.3. Limitações do FMEA tradicional

Apesar do FMEA ter demonstrado ser uma das mais importantes ações preventivas durante a fase de projeto de um sistema, produto, processo ou serviço, o método tem sido alvo de críticas pela comunidade científica (Liu *et al.*, 2011), em especial pelas limitações que apresenta.

A análise feita da forma requerida torna o processo fastidioso e demorado, com consequentes custos de aplicação. Além disso, o método não está preparado para descobrir modos de falha complexos envolvendo várias falhas ou subsistemas. Para estes casos deve ser usado o método análise de árvore de falhas (Miller, 2006).

Para aplicação da FMEA é necessário conhecimento profundo do assunto a ser estudado, o que normalmente significa, uma sessão de *brainstorming* com várias pessoas

envolvidas desde o projeto até à entrega. Esta situação dificulta a implementação do método não sendo a abordagem favorita da indústria para a gestão de risco e segurança (Haq e Lipol, 2011).

Alguns autores discorrem sobre algumas limitações notadas na utilização da escala de priorização de riscos obtida pelo RPN. Diferentes classificações de Severidade, Probabilidade de Ocorrência podem produzir exatamente o mesmo valor de NPR, mas as consequências dos seus riscos ocultos podem ser totalmente diferentes. (Ex: duas situações em que se tem 2,3,2 e 4,1,3 para a S, O e D respectivamente, irão resultar no mesmo valor de NPR, no entanto as implicações dos seus riscos ocultos, podem ser bastante díspares devido aos diferentes graus de severidade do modo de falha (Liu *et al.*, 2011).

Segundo Gargama e Chaturvedi (2011), combinações diferentes de G, D e O podem produzir exatamente os mesmos resultados de RPN, porém, as consequências de risco podem ser totalmente diferentes. Caso hajam, por exemplo, conta dois eventos diferentes com os valores  $G1=4$ ,  $O1=3$ ,  $D1=5$  e  $G2=10$ ,  $O2=1$ ,  $D2=6$  respectivamente, ambos teriam um total de RPN de 60, porém conforme abordado, os riscos para tais eventos poderiam não ser necessariamente os mesmos.

#### 2.4. Controle estatístico do processo (CEP)

“O controle permanente dos processos é condição básica para a manutenção da qualidade de bens e de serviços. Não existe na literatura uma definição única e universal para qualidade” (Costa *et al.*, 2005).

De acordo com Reis (2001), as ferramentas de controle estatístico consistem em reconhecer os problemas dos processos e assim identificar as causas das anomalias, o de risco das mesmas e obviamente buscar possíveis soluções através das ferramentas do CEP, com o intuito de estabelecer um nível de confiabilidade adequada ao processo.

Para Galuch (2002), o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ), consiste em algo fundamental para que se defina a conduta do processo e assim analisar se tal processo é de fato bom e aceitável. O CEQ controla rastreando, identificando e também eliminando os possíveis desvios, com isso os produtos são produzidos com boa qualidade.

Montgomery (2004) aborda ainda que as fontes de variabilidade não-aleatórias, classificam-se como “causas atribuíveis”. Estas, geralmente se apresentam bem maiores que

as “causas aleatórias”, e ainda são identificadas em um nível inaceitável do processo, conforme apresenta a Figura 1.

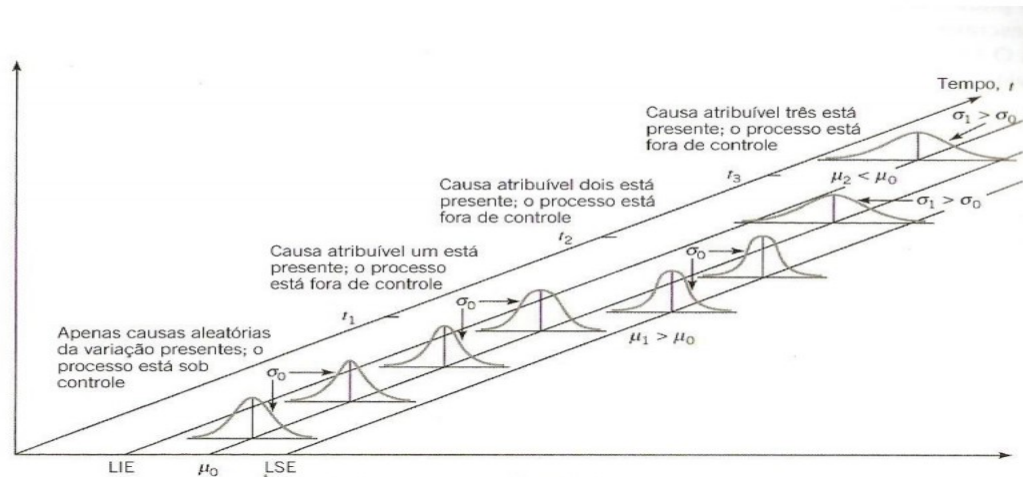


Figura 1- Causas atribuíveis e aleatórias de variabilidade  
Fonte: Montgomery (2004, p. 96)

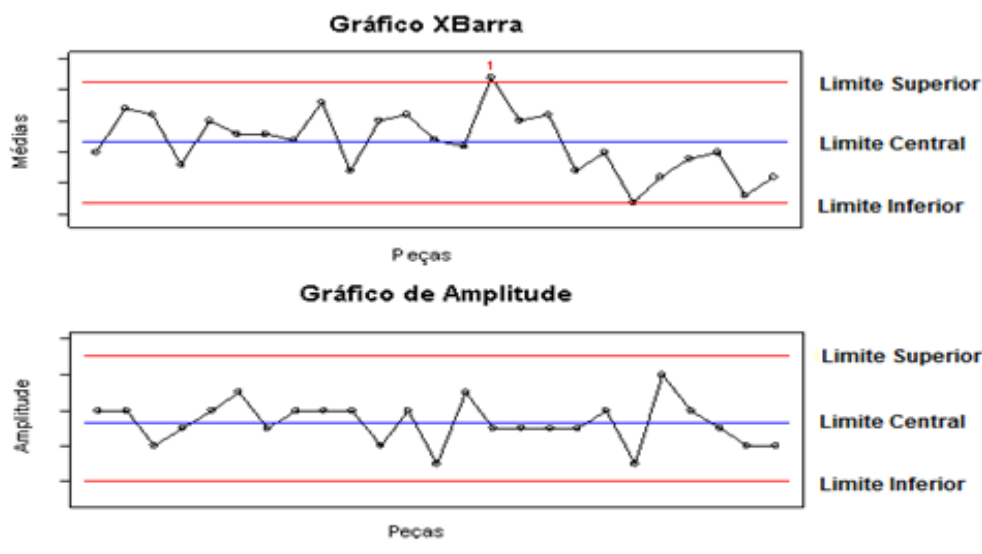
#### 2.4.1 Gráficos de Controle

Segundo Montgomery (2004), os gráficos de controle consistem em uma representação gráfica da qualidade, a qual foi avaliada a partir de uma simples amostra, relacionada com o tempo ou com o número de tal amostra. Nesse contexto, a forma mais usual dos gráficos de controle envolve registros cronológicos regulares de uma ou mais características calculadas em amostras obtidas de medições em fases apropriadas do processo. Estes valores são dispostos, pela sua ordem, em um gráfico que possui uma linha central e dois limites, denominados “limites de controle”.

Pode-se observar na Figura 2 que os dados estão dispostos entre os limites do intervalo, exceto uma observação. Observe também que há indícios de falta de aleatoriedade no gráfico  $\bar{X}$  (os últimos oito pontos estão abaixo da linha central), entretanto, o gráfico da Amplitude apresenta um comportamento supostamente aleatório.

Os gráficos de controle evita frustrações e o erros no direcionamento da solução de problemas já que consegue distinguir as causas das variações e indicam se o problema tem ocorrência local e merece atenção gerencial.

Gráfico 1 - Exemplo de gráfico de controle, (a) processo sob controle, (b) processo fora do controle

Figura 2 - Exemplo de gráfico de controle, (a) processo sob controle, (b) processo fora do controle  
Fonte: Anderson (2003)

### 2.5. Manutenção Preventiva

A utilização da manutenção preventiva proporciona as empresas um conhecimento prévio das ações a ser executada diante de uma falha, permitindo uma boa condição de gerenciamento das atividades e o planejamento de consumo de materiais e peças sobressalentes, necessários para a realização da reposição de peças nas máquinas (Pinto; Xavier, 2001).

Segundo Mirabedini e Iranmanesh (2013), a manutenção preventiva desempenha um papel significativo, com o objetivo de realizar a manutenção antes que falhas potenciais ocorram. A manutenção preventiva ocorre em intervalos regulares para restaurar o sistema para estado operacional ao qual foi projetado.

Complementando Moghaddam (2015) conceitua como uma ampla área de operações que engloba um conjunto de atividades, a fim de melhorar a confiabilidade global e a disponibilidade de sistemas. Isso pode acarretar em custos adicionais de manutenção. Uma estratégia de manutenção preventiva eficaz tem, portanto, um significativo impacto sobre o custo de manutenção do sistema.

### 3. Metodologia

Este trabalho se caracterizou como um estudo de caso descritivo, por realizar um diagnóstico da realidade organizacional, com a análise do uso do FMEA como suporte da manutenção preventiva da máquina pneutorque Norbar, em suas particularidades. Também

possuiu interesse prático no tema em questão, com seus resultados aplicados na solução de problemas ocorridos na organização estudada.

Para a coleta de dados deste trabalho foi realizada a análise de documentos internos à empresa. Foi realizada a análise de documentos pessoais e institucionais, material gráfico, quadros, tabelas, fotografias, entre outros. Após a obtenção dos dados necessários para a pesquisa, estes foram analisados e interpretados.

Este estudo se caracterizou como quantitativo, pois fez uso de medidas estatísticas para análise de dados. Por esse motivo o controle estatístico de processo – CEP tem significativa importância, uma vez que auxilia tanto no registro do histórico dos procedimentos adotados, quanto na estatística do controle de qualidade.

Foram analisadas o tempo de quebra de cinco máquinas pneutorque, em horas, selecionadas aleatoriamente. Os dados obtidos foram plotados no Minitab 17 (*software*), obtendo-se a carta controle para média mostrada, a carta de amplitude móvel de cada máquina pneutorque, e principalmente, o relatório de capacidade do processo.

Levando em consideração a análise dos gráficos de controle, foi identificada a instabilidade do processo, através dos cálculos dos índices de capacidade e performance de cada máquina.

Os índices de capacidade e performance demonstram como o processo poderá agir no futuro, ao passo que os índices de performances informaram como o processo agiu no passado ou está agindo no momento. Assim foi possível avaliar o desempenho operacional das respectivas máquinas. A Tabela 1 representa a classificação dos processos de acordo com a capacidade e performance.

Tabela 1- Classificação dos processos de acordo com Capacidade / Performance

Classificação do processo de acordo com a capacidade	
Classificação	Valor de Cpk
Capaz / Satisfatório	$\geq 1,33$
Razoavelmente capaz	$1 \leq Cpk \leq 1,33$
Incapaz / Insatisfatório	$< 1$



Classificação do processo de acordo com a performance	
Classificação	Valor de Ppk
Capaz / Satisfatório	$\geq 1,33$
Razoavelmente capaz	$1 \leq Ppk \leq 1,33$
Incapaz / Insatisfatório	$< 1$

Fonte: Helman e Andery (1995)

Além disso, o FMEA contribui no sentido de analisar o modo e o efeito das falhas, ou seja, a quebra de sistemas em componentes inferiores e, em seguida, a análise estruturada desses componentes ou subsistemas para se evidenciar os modos de falha potenciais antes que sejam incorporados ao processo. Constitui, assim, a análise dos modos de falha no nível inferior e quais as suas consequências no nível superior.

Para definir as prioridades de intervenção nas causas, os NPR's mais altos devem ser atacados, de forma a reduzir severidade, ocorrência ou detecção, seguindo uma ordem de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Prioridade de intervenção nas causas

RPN	RISCO
<b>0 até 120</b>	Menor. Nenhuma ação será tomada (ou tomada a longo prazo com a ótica de melhoria contínua.
<b>121 até 250</b>	Moderado: ação deve ser tomada- médio prazo
<b>251 até 520</b>	Alto: ação deve ser tomada, validação seletiva e avaliação detalhada devem ser realizadas- curto prazo.
<b>521 até 1000</b>	Crítico: ação deve ser tomada, mudanças abrangentes são necessárias.

## 4. Estudo de Caso

### 4.1 Máquina pneutorque Norbar

Conforme já mencionado, a metodologia utilizada para este trabalho foi o estudo de caso. Nesse contexto, o estudo baseou-se na experiência da máquina pneutorque Norbar em uma refinaria de alumina da região Nordeste.

A referida máquina serve para abrir, fechar e esmerilhar válvula, ela atua como válvula de bloqueio, quando o operador posiciona a máquina pneutorque no sextavado do eixo da válvula, dá-se início ao esmerilhamento.

De acordo com as necessidades de se realizar manobras na operação, como por exemplo, reduzir o fluxo de material, bloquear uma linha da tubulação para manutenção de equipamento, faz-se necessário o uso de torqueadoras, visto que estas são acionadas pelo operador que seguem um procedimento para tal finalidade.

O referido equipamento é formado por três partes principais: motor pneumático, conversor de velocidade e redutor de velocidade, conforme a Figura 3.



Figura 3- Partes da pneutorque Nobar

É necessário esmerilhar a válvula para garantir total vedação, já que o material transportado, soda cáustica e licor cáustico, e estes materiais criam uma crosta que são as “sujeiras” do processo que se acumulam entre a sede do corpo e a haste da válvula, e assim fechar a mesma.

#### *4.2 Manutenção da máquina pneutorque Norbar na oficina central*

A oficina central conta com o aprimoramento do seu sistema de gestão implantado, TPM, Controles Visuais, Planejamento e Programação. Os problemas e oportunidades detectados são solucionados na causa-raiz em cada nível da organização via A3 estruturados e, se necessário, com o suporte da cadeia de ajuda.

A manutenção das pneutorques é feita na oficina central por técnicos em mecânica treinados que seguem o procedimento de manutenção que tem como finalidade descrever o processo de desmontagem, peritagem e montagem de pneutorque Norbar, visando à confiabilidade na liberação do equipamento para a equipe de operação. Em anexo A está representado o organograma dos procedimentos na oficina em detalhes. A manutenção se dá em cinco etapas:

- a) Desmontagem: segundo o procedimento o mecânico deve seguir o padrão de desmontagem da torqueadora para que não haja danos nas máquinas.
- b) Limpeza: as peças são postas na máquina de lavar, com um fluido anti-graxante é retirada toda a sujeira e graxa.
- c) Peritagem: após todas as peças lavadas e secas o mecânico deve analisar as possíveis causas da falha ou quebra do equipamento, através de uma criteriosa observação, verificando os desgastes nas peças, vida útil do rolamento, situação das palhetas e se o flange da máquina está empenado.
- d) Montagem: com o job completo, o procedimento descreve o passo a passo da montagem que se dá conforme instruções detalhadas que tem com referencial o manual do fabricante.
- e) Inspeção e teste de liberação: verifica-se o torque dos parafusos do flange, do conversor de velocidade e do motor pneumático de palhetas, assim como a montagem do corpo silenciador.

#### *4.3. CEP como auxílio de monitoramento das máquinas na oficina central*

Em função do alto número de máquinas pneutorque Norbar existentes na oficina central, totalizadas em 109 máquinas, estas são monitoradas através de um sistema de *tag* no próprio flange. Tal monitoramento foi sugerido pelos próprios mecânicos que realizam a manutenção, já que estas torqueadoras são utilizadas em quatro áreas da refinaria e havia um grande transtorno de entrega da máquina para o cliente, uma vez que só a solicitação de serviço não era o bastante para identificar a área de cada máquina.

A oficina central dispõe de um armário para guarda das máquinas liberadas com quatro prateleiras onde cada compartimento é identificado pela sua respectiva área. Assim, com base em uma planilha específica o mecânico deve registrar a data de chegada da máquina, a solicitação de serviço, o serviço de manutenção realizado e a data de liberação.

Através do *tag* da máquina e do sistema de gerenciamento de ativo da própria empresa foi possível pesquisar a quantidade de solicitações de serviço e a data de entrada das máquinas em estudo na oficina central para realizarem manutenção corretiva.

As pneutorques foram selecionadas aleatoriamente e identificadas por meio de uma coleta de informação fornecidas pelo próprio sistema de gerenciamento de ativos que é um software interno de planejamento e controle da manutenção.

Através do sistema de gerenciamento de ativos foram colhidas as datas de solicitação de serviço emitidas pelas respectivas áreas de atuação. Conforme visto anteriormente, foram registrados os períodos de entradas na oficina compreendidos entre os meses de janeiro à maio de 2015, a partir desses dados foi possível identificar o intervalo de tempo e o número de quebra por mês.

Além disso, pôde-se identificar o tempo que cada uma dessas cinco máquinas levou para apresentarem uma falha ou quebra e o tempo disponível na operação até retornarem à oficina central para se realizar manutenção corretiva.

A tabela 3 apresenta os dados obtidos, tomando como amostra cinco máquinas pneutorques.

Tabela 3 - Tabela de dados de 5 máquinas pneutorques

<b>DATA DE SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO</b>				
<b>Jan/15</b>				
<b>MP-021</b>	<b>MP-019</b>	<b>MP-020</b>	<b>MP-010</b>	<b>MP-005</b>
13/01/2015	07/01/2015	27/01/2015	06/01/2015	10/01/2015
24/01/2015	27/01/2015		27/01/2015	
<b>Fev/15</b>				
24/02/2015	08/02/2015	13/02/2015	18/02/2015	15/02/2015
	19/02/2015	24/02/2015		28/02/2015
<b>mar/15</b>				
18/03/2015	04/03/2015	11/03/2015	03/03/2015	03/03/2015
	10/03/2015		21/03/2015	08/03/2015
	17/03/2015		29/03/2015	12/03/2015
	21/03/2015			20/03/2015
	30/03/2015			23/03/2015
				27/03/2015
<b>abr/15</b>				
30/04/2015	15/04/2015	15/04/2015	19/04/2015	14/04/2015
	21/04/2015	22/04/2015		24/04/2015

26/04/2015		30/04/2015		
30/04/2015				
<b>mai/15</b>				
14/05/2015	10/05/2015	13/05/2015	03/05/2015	19/05/2015
14/05/2015		29/05/2015		

Diante das informações supracitadas e com o auxílio do controle estatístico de processo (CEP), foi possível identificar e analisar estatisticamente a frequência de quebras e falhas desses equipamentos por meio das cartas de controle.

De acordo com os gráficos de controle foram observados os intervalos de funcionamento de cada máquina entre os meses de janeiro à maio de 2015, no qual foram registrados 45 paradas para manutenção da amostra. Levando em consideração a análise de cada gráfico, pôde-se identificar a instabilidade do processo, para isso, foram calculados os índices de capacidade e performance de cada máquina.

Tomando como referência os padrões de cada índice, de maneira geral, o Cp mede a capacidade potencial do processo, considerando a taxa de tolerância (largura entre os limites de especificação) à variação atual do processo, enquanto Cpk mede a capacidade real do processo, que compreende a taxa de tolerância, a variação atual, considerando a média do processo relativa ao ponto médio das especificações.

Os índices de capacidade demonstram como o processo poderá agir no futuro, ao passo que os índices de performances informam como o processo agiu no passado ou está agindo no momento. Assim foi possível avaliar o desempenho operacional das respectivas máquinas.

Logo, com tantas evidências identificadas, uma investigação de quebras do equipamento deve ser realizada, por meio do FMEA, no que tange a operação da máquina na refinaria, já que a oficina libera o equipamento antes de um prévio teste de torque, garantindo o perfeito funcionamento da máquina.

A máquina pneutorque 021 apresenta um limite de controle plausível, visto que não ultrapassou a configuração dos pontos (Figura 4), porém uma vez que ao se verificar o relatório de Capacidade do Processo (Figura 5) do limite superior de controle - LSC é de 30 dias (720 horas) e o limite inferior de controle - LIC é de 60 dias (1440 horas) estimada pela experiência da manutenção como o ideal, o desvio da conformidade se evidencia.

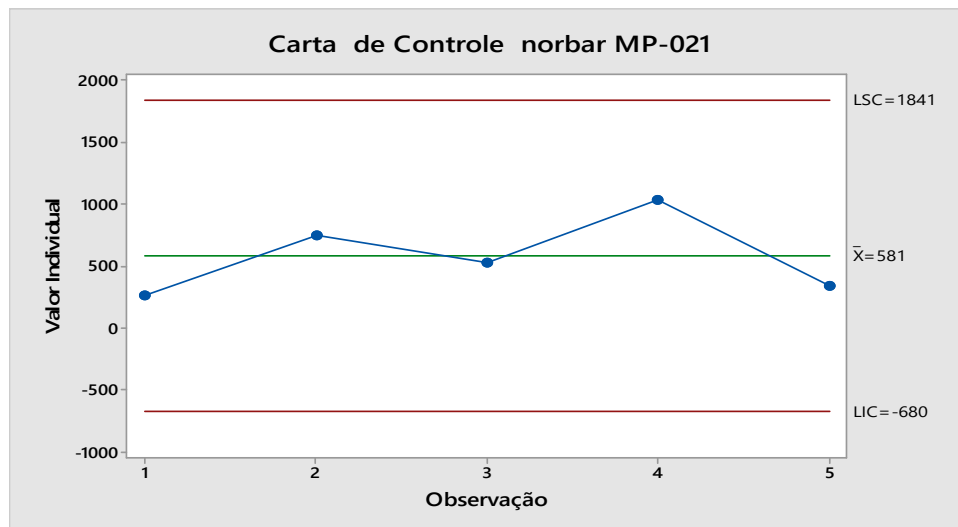


Figura 4 - Carta de controle da MP - 021

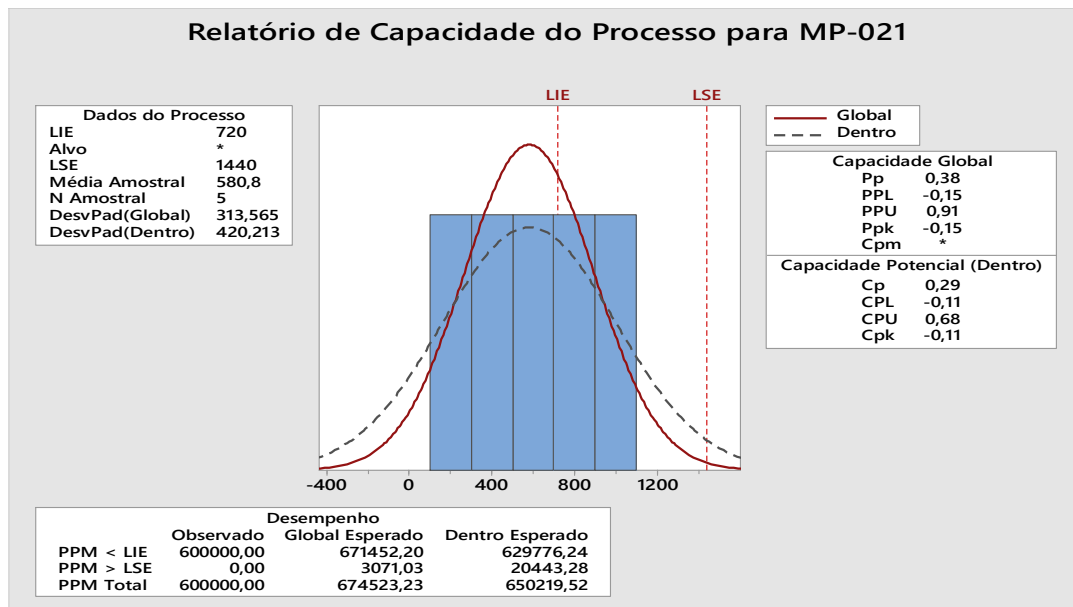


Figura 5- Relatório de Capacidade do Processo para MP-21

A máquina pneutorque MP-019 apresenta uma aleatoriedade considerável, apresenta também um limite de controle plausível, apesar de não ter ultrapassado o LSC e o LIC o número de entradas na oficina para manutenção é preocupante, além disso o relatório de capacidade do processo demonstrou um desvio considerado em relação o LSC e LIC.

A máquina pneutorque MP- 010 também apresenta um limite de controle plausível, visto que não ultrapassou a configuração dos pontos, nota-se ainda que os pontos referentes ao LSC e ao LIC tiveram uma variação muito próxima, exceto no ponto 5 do LIC, onde manteve maior interferência na carta de controle Norbar MP-010, e ainda é notável no relatório de capacidade do processo o quanto o processo se desvia LSC e LIC ideal.

Das 5 máquinas pneutorques analisadas, a de número 005 foi a única que apresentou um limite fora do processo de controle, visto que extrapolou a configuração dos pontos do limite superior de controle – LSC na carta de controle Norbar MP-005. Assim como as demais, no relatório de capacidade do processo, verificar-se um desacordo com os limites ideais para a máquina.

Diante da análise, notou-se que todas as pneutorques selecionadas aleatoriamente apresentaram algumas características que indicam que o processo necessita ser melhorado, pois o tempo de horas disponível em perfeito estado de manutenção para operação é insatisfatório para as máquinas MP-019 e MP-005 e razoavelmente capaz para a MP-021, MP-020, MP-010.

Além disso, tomando como base a amostra de cinco máquinas, o número de quebras, demonstrou que a instabilidade da disponibilidade da máquina pode causar uma sobrecarga para a manutenção, levando em consideração que a empresa possui um pouco mais de cem torquedoras.

#### *4.5 Investigação de quebra das máquinas com o uso do FMEA*

##### *4.5.1. Principais defeitos encontrados na manutenção das pneutorques*

Foi usada uma máquina como exemplo para demonstrar os principais problemas encontrados pelo mecânico durante a desmontagem que analisa as possíveis causas de parada do equipamento, a primeira atitude do mecânico é verificar se o engate e conector estão quebrados, com a máquina fixada na morsa é retirado o anel elástico e em seguida o carro silencioso.



Figura 6 - Conjunto Camisa

Após retirar a porca da carcaça do motor pneumático, removem-se da carcaça todos os componentes do motor que contém o engate, conector, porca tampão, anel de controle, conjunto camisa, rotor, palhetas e placa frontal. Geralmente existe desgaste nessas peças por falta de lubrificação, além disso, algumas máquinas chegam para a manutenção com o engate e o conector quebrados, concluindo-se que houve queda da pneutorque devido ao manuseio de forma errada. Observa-se na figura 5 o conjunto camisa com desgaste excessivo.

Seguiu-se a desmontagem com a retirada dos parafusos da carcaça do motor, em seguida a engrenagem é retirada juntamente com o conjunto completo do conversor de velocidade, os principais problemas encontrados foram: falta do parafuso do conversor de velocidade, desgaste no suporte do conjunto impulsor, assim como na garra de acionamento de baixa velocidade. Além disso, observa-se a frequência com que ocorre a folga nos parafusos da garra de acionamento de alta velocidade devido ao tempo de uso e pela falta de manutenção preventiva para reaperto dos mesmos.

No redutor com a retirada do anel elástico, libera-se a engrenagem secundária, nesta deve-se verificar os possíveis desgastes nos pinos e se há dentes quebrados. Ao desparafusar o flange, este deve ser retirado, assim como a bucha, a tampa e a engrenagem central fixada ao impulsor quadrado, ambos devem ser analisados para se detectar possíveis danos. Ao final toda as peças são lavadas com um fluido desengraxante.

Verificar-se que as quebras se justifica por algumas não conformidades do uso da máquina na operação, por isso foi realizado um estudo na operação das pneutorques com o auxílio do FMEA.

#### 4.5.2. FMEA

A ferramenta FMEA consistiu basicamente em sistematizar um grupo de atividades para detectar possíveis falhas e avaliar os efeitos das mesmas para o processo de falhas da pneutorque. A partir das análises realizadas pelo CEP, foi realizado um plano de ação com o objetivo de eliminar as causas comuns de variabilidade, tendo em vista que a maioria das máquinas pneutorque apresentam causas especiais de tempo de quebra.

A avaliação da severidade foi realizada a partir de uma escala que vai de 1 a 10, na qual enquanto maior a pontuação, maior é o risco, por sua vez, quanto menor a pontuação, o risco torna-se quase que nulo.



A ocorrência classifica a probabilidade da falha acontecer, considerando os controles de prevenção quando existentes. No caso da pneutorque Norbar utilizou-se o conhecimento prévio do operador da máquina, e assim como na avaliação da severidade a ocorrência também é realizada a partir de uma escala que vai de 1 a 10, conforme Tabela 4.

Tabela 4- Avaliação de ocorrência no Plano de Ação FMEA

**TABELA DE AVALIAÇÃO DE OCORRÊNCIA**

PROBABILIDADE DE FALHA	TAXA DE FALHAS POSSÍVEIS (POR MIL ITENS)	ÍNDICE
<b>MUITO ALTA: FALHAS PERSISTENTES</b>	$\geq 100$	10
	50	9
<b>ALTA: FALHAS FREQUENTES</b>	20	8
	10	7
<b>MODERADA: FALHAS OCASIONAIS</b>	5	6
	2	5
	1	4
<b>BAIXA: RELATIVAMENTE POUCAS FALHAS</b>	0,5	3
	0,1	2
<b>REMOTA: FALHA IMPROVÁVEL</b>	$\leq 0,010$	1

A detecção por sua vez classifica qual é a probabilidade de se detectar o modo de falha. A detecção é uma avaliação de quão bem os controles de produto ou de processo detectam a causa de uma falha ou do modo de falha, nesse caso a ordem da pontuação da escala é invertida, ou seja, quando a escala estiver no nível 10, quer dizer que não há como detectar ou o resultado não foi verificado, assim a probabilidade de detecção é praticamente impossível. Por outro lado, caso a escala de detecção esteja no nível 1, a probabilidade de detecção é certa.

Após definidos os valores de severidade, ocorrência e detecção calculou-se o NPR (Número de Prioridade de Risco). Para isto, multiplicou-se o número de cada um dos critérios: Severidade x Ocorrência x Detecção conforme tabela 5 abaixo.

Tabela 5- Tabela do FMEA da máquina pneutorqueNorbar

FMEA											
TABELA DE SEVERIDADE X OCORRÊNCIA X MODO DE DETECÇÃO											
Equipamento	Descrição do processo/requisito	Potencial Modo de falhas	Potencial Efeito da falha na máquina	Sev	Potencial causas/mechanismo de falhas	Ocor.	Controle atual		Det	RPN	Ações recomendadas
							Prevenção	Deteção			
pneutorque norbar	Fazer check do aperto dos parafusos da turbina e do flange da pneutorque	Falta de torque adequado ou erro operacional	Os parafusos de fixação do corpo da pneutorque folgados ou quebrados	6	Erro operacional da checagem	2		Chave allen 4 mm/ visual	3	36	Fazer reaperto pelo operador
	Checar se a pneutorque está em condições normais de uso	Máquina travada	Parafuso da garra de acionamento folgado	8	Folga devido a trepidação e tempo de uso	5		Visual	3	120	Enviar para manutenção corretiva
			Engrenagens do redutor e do conversor de velocidade danificada	8	Falta de lubrificação e desgaste por tempo de uso	3		Visual	3	72	Enviar para manutenção corretiva
			Anel de controle com excesso de resíduos.	8	Exposição à área abertas e contaminada	8		Visual	3	192	Enviar para manutenção corretiva
		Flange empenado	Queda da máquina	5	Manuseio inadequado da máquina	5		Visual	3	75	Enviar para manutenção corretiva
		Niple ou conector quebrado	Queda da máquina	8	Manuseio inadequado da máquina	8		Visual	2	128	Enviar para manutenção corretiva
		Quadrado impulsor quebrado	Torque de força na operação das válvula	8	Desgaste devido ao tempo de uso	2		Visual	1	16	Enviar para manutenção corretiva
	Checar condições das mangueiras	Vazamento na mangueira de ar	Aperto abraçadeira	7	Degaste pelo tempo de uso	2	Inspeccionar mangueiras, abraçadeiras e engates	Visual	3	42	Troca da mangueira
			Mangueira dobrada	7	Manuseio de forma inadequada	4	Inspeccionar mangueiras, abraçadeiras e engates	Visual	3	84	Troca da mangueira
	Checar condições do conjunto lubrífil	Nível de óleo (tellus 68) do filtro abaixo do indicado	Óleo não repostado	6	Falta inspeção periódica no nível de óleo	7	Verificar o nível de óleo	Visual	1	42	Repor o óleo
	Abriu, fechar e esmerilhar válvula	Máquina sem potência de torque para realizar a tarefa/baixo rendimento/ baixa rotação	Desgaste no conjunto de camisa, culatra, placa frontal e palhetas	7	Falta de lubrificação	10		Visual	4	280	Enviar para manutenção corretiva

Após definidos os valores de NPR buscou-se tomar algumas ações para eliminar ou minimizar os riscos. Os NPR's mais altos devem ser atacados, de forma a reduzir severidade, ocorrência ou detecção.

Com a análise do FMEA, foi percebido que três etapas do processo o RPM apresenta variações que nos leva a fazer algumas intervenções, para isto, foi feito um acompanhamento na tarefa e assim se pode verificar algumas situações atuais do processo, diante disso agir com as sugestões de melhorias para otimizar o uso da pneutorque na operação.

#### 4.5.3 Plano de ação

Nas áreas da oficina as pneutorques Norbar não estão sendo lubrificadas, devido à distância superdimensionada da mangueira da estação de regulagem e lubrificação do ar, ocasionando a quebra e desgaste prematuro das peças da turbina da máquina.

Foi projetada uma caixa com filtro/regulador e lubrificador móvel que fica distante três metros da pneutorque (distância máxima para garantir a qualidade do ar e conseqüentemente o bom rendimento da máquina). O objetivo é implementar o dispositivo para que o equipamento tenha lubrificação adequada garantido melhor vida útil e disponibilidade operacional.

É notável que o grande número de máquinas com o engate e conector quebrado nos leva a concluir que são evidências do manuseio errado das pneutorques, já que estas são dispositivos que requerem de alguns cuidados específicos diante de suas características técnicas.

Logo, o ideal é a realização de um treinamento operacional para manuseio adequado da máquina, informando os cuidados de operação e funcionamento do equipamento, pois a perfeita condição de funcionamento depende do envolvimento de toda a equipe. Todos devem ter a consciência do quão importante é a boa conservação, operação e manutenção dentro das especificações técnicas do fabricante.

Outra medida deve ser a fabricação de armários para guardar as máquinas após operação, para que estas não fiquem expostas à área abertas, assim evitando possíveis “banhos” cáusticos, pois já existe indícios de algumas máquinas travadas com este material.

Após as modificações no processo executados na pneutorque Norbar, definiu-se o novo valor da severidade, da ocorrência ou da detecção, de acordo com o tipo de modificação realizada, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6-Plano de Ação da Máquina pneutorque Norbar

FMEA															
TABELA DE SEVERIDADE X OCORRÊNCIA X MODO DE DETECTAÇÃO															
Equipamento	Descrição do processo/requisito	Potencial Modo de falhas	Potencial Efeito da falha na máquina	Sev	Ocor.	Det	NPN	Ações recomendadas	Responsável	Resultados das ações					
										Ações tomadas		DET	Ocor.	Sev	NPN
Pneutorque norbar	Checar se a pneutorque está em condições normais de uso	Máquina travada	Anel de controle com excesso de resíduos.	8	8	3	192	Enviar para manutenção corretiva	Engenharia	Fabricar armários para guardar máquina após operação para evitar contaminação por resíduos		8	4	3	96
		Niple e conector quebrado	Queda da máquina	8	8	2	128	Enviar para manutenção corretiva	Engenharia e técnico de manutenção e operação	Treinamento operacional para manuseio adequado da máquina; adquirir um carrinho de transporte		8	3	2	48
	Abrir, fechar e esmerilhar válvula	Máquina sem potência de torque para realizar a tarefa/baixo rendimento/baixa rotação	Desgaste no conjunto de camisa, culatra, placa frontal e palhetas .	7	10	4	280	Enviar para manutenção corretiva	Engenharia, operação e manutenção	Garantir distância máxima do conjunto lubrifi para máquina de 3m; troca do lubrificante tellus 68 para o tellus C10 por este ser menos viscoso pois garante melhor deslocamento da palheta dentro do rotor; usar um conjunto lubrifi portátil		7	6	4	168

Analisando que as ações a serem tomadas irão impactar ao ponto de reduzir o RPN, sendo tolerável na etapa de checagem das condições normais de uso das pneutorques, porém o baixo rendimento da máquina caucionada por desgaste no conjunto de camisa, culatra, placa frontal e palhetas durante o processo de abrir, fechar e esmerilhar válvula ainda deve ser realizada intervenções.

Como já citado, estes equipamentos não possuem manutenção preventiva, diante disso, e das ocorrências de quebras das máquinas demonstradas pelo CEP e da experiência da manutenção se nota que o tempo de quebra no intervalo admitido de parada da máquina está entre 30 à 60 dias, portanto, visto que as máquinas de melhor desempenho entram na oficina para manutenção uma vez por mês, e com as melhorias que devem ser implantadas no operação, esses equipamentos devem a cada 25 dias ser enviadas à oficina pra se fazer manutenção preventiva, onde será feito uma inspeção na equipamento que envolve a desmontagem, limpeza e lubrificação ou se necessário substituição das peças, isso requer de um planejamento que envolve a engenharia e planejamento da operação e oficina.

O planejamento da operação deverá garantir o rastreamento e envio das maquinas para a oficina realizar a manutenção preventiva, e o planejamento da oficina deverá, da mesma forma garantir o *job*, quando solicitado pelos mecânicos, a tempo ideal para facilitar a saída da pneutorque no máximo em 4 dias.

## 5. Conclusão

O FMEA aplicado ao processo de manutenção preventiva da máquina pneutorque Norbar constitui um método simples para avaliar as falhas no processo de produção, permitindo assim o estabelecimento direto de medidas preventivas para minimizar ou evitar a ocorrência de danos e perdas. É fundamental que na avaliação de riscos do processo de manutenção haja retroalimentação do FMEA a partir de experiências acumuladas uma rotina de aprimoramento contínuo, que é a base para um sistema de gestão bem-sucedido em todos os processos de uma empresa.

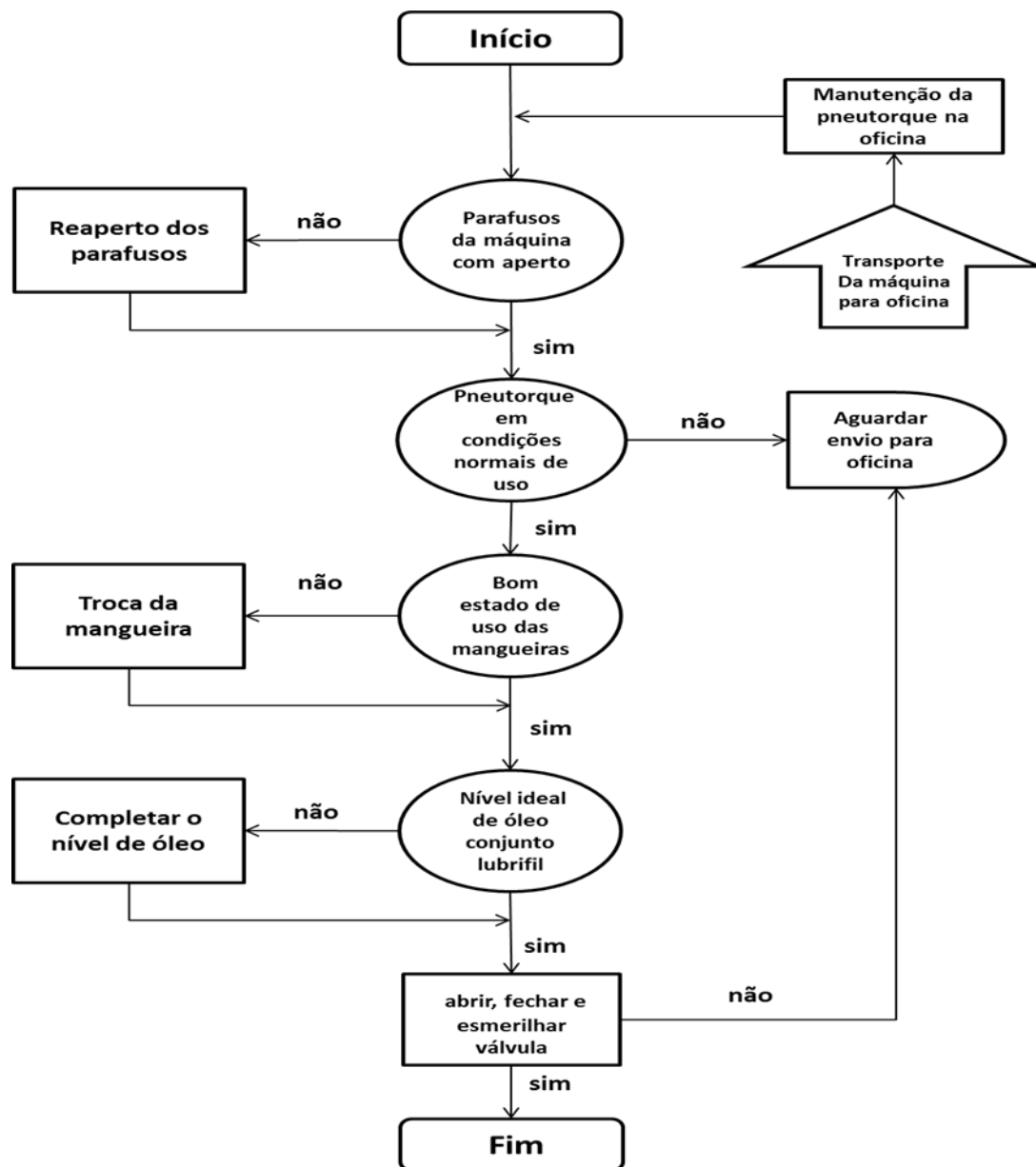
Como proposta de continuidade do estudo propõe-se que a organização utilize em paralelo ao FMEA a ferramenta *Failt Tree Analysis* (FTA) para análises mais apurada sobre a causa raiz de cada modo de falha e obter priorizações de forma mais precisa. E aplicação do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e dos Conjuntos Fuzzy. O AHP é aplicado para a priorização das irregularidades quanto à gravidade de sua ocorrência. Os Conjuntos Fuzzy são aplicados para avaliação do desempenho da utilização de FMEA.

## REFERÊNCIAS

- AIAG - Automotive Industry Action Group (2008). *Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial (FMEA)*. Manual de Referência, 4ª Ed.
- Costa, A. F. B., Epprecht, E. K., & Carpinetti, L. C. R (2005). *Controle Estatístico de Qualidade: Métodos Estatísticos*. São Paulo: Atlas.
- Esposito, E., Evangelista, P., Lauro, V., & Raffa, M (2013). *Virtual enterprise in SME networks*. Piccola Impresa/Small business.
- Ferreira, L. A. (2003). Estratégias de Manutenção e Análise de Riscos Industriais. *1º Encontro Luso-Brasileiro de Manutenção*, 1-12.
- Galuch, L. (2002). Modelo para implementação das ferramentas básicas do controle estatístico do processo – CEP em pequenas empresas manufatureiras. Florianópolis. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)* – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- Garcia, M. D. (2000) Uso integrado das técnicas de HACCP, CEP e FMEA. 2000. 128p. *Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia)* – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS,
- Gargama, H., & Chaturvedi, S.K. (2011). Criticality Assessment Models for Failure Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Reliability*, 60(1): 102-110.
- Haq, J., & Lipol, L. S. (2011). Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations. *IJBAS/IJENS*, 74-82.
- Helmam, H., & Andery P. R. P. (1995). *Análise de falhas (aplicação dos métodos de fmea – fta)*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, p. 2-4, 1995.
- Helman, H., & Andery, P.R.P. (1995). *Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni – Escola de Engenharia da UFMG. 174 p.
- Liu, H.-C., Liu, L., Bian, Q.-H., Lin, Q.-L., Dong, N., & Xu, P.-C. (2011). Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems with Applications*, 38: 4403-4415.

- Marconcin, J. C. (2004). *Melhorias no desenvolvimento de produtos de uma empresa de manufatura de produtos eletrônicos*. 2004, 135p. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS.
- Mirabedini, S. N., & Iranmanesh, H. (2013). A scheduling model for serial jobs on parallel machines with different preventive maintenance (PM). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12), 1579–1589. <http://doi.org/10.1007/s00170-013-5348-4>.
- Moghaddam, K. S. (2015). Preventive maintenance and replacement optimization on CNC machine using multiobjective evolutionary algorithms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(9-12), 2131–2146. <http://doi.org/10.1007/s00170-014-6391-5>.
- Montgomery, D. C. (2004). *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Palady, Paul. (2002). *FMEA: Análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. São Paulo. IMAM.
- Paris, W. S. (2002). *Ferramentas da Qualidade: Material de Apoio dos Seminários*. Curitiba.
- Pinto, A. K., Xavier, & J. de A. N. (2001). *Manutenção: Função Estratégica*. Rio de Janeiro. Qualitymark.
- Reis, M. M. (2001). Um modelo para o ensino do controle estatístico da qualidade. *Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)* – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2002). *Administração da produção*. 2. Ed. São Paulo: Atlas.
- Smith, M. T. (2014). *History of the FMEA*. Retrieved from Elsmar: <http://elsmar.com/FMEA/sld011.htm>
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. Milwaukee: American Society for Quality, Quality Press.
- Teoh, P. C. Case, K. (2004). Failure modes and effects analysis through knowledge modelling. *Journal of Materials Processing Technology*, 253-260.

## ANEXO A- Organograma de procedimentos da oficina de manutenção



This journal is licenced under a [Creative Commons License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/). [Creative Commons - Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).