

UTILIZAÇÃO DO PFMEA COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA DELINEAMENTO DOS INVESTIMENTOS NA CONSTRUÇÃO OU ATUALIZAÇÃO DE LINHAS DE MONTAGEM: UMA BREVE CONTRIBUIÇÃO BASEADA NA LITERATURA

Leandro Correia de Lima, correia_eng@yahoo.com.br¹

Paula Lunardi de Mello, paulalunardi@hotmail.com²

¹Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica (UNICAMP/FEM), Rua Mendeleev, 200 – Cidade Universitária, Campinas/SP, CEP 13083-860

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Campus Centro, Av. Osvaldo Aranha, 99 - Porto Alegre/RS, CEP 90035-190

Resumo: Nas linhas de montagem das industriais de autopeças ou automotivas diversos modelos de produtos são processados na mesma linha de produção, onde a flexibilidade e o controle da qualidade entre as operações é requisito mandatório para garantia da produtividade. Uma das ferramentas mais utilizadas para mapeamento das vulnerabilidades que possam impactar na produtividade é a FMEA (Análises dos Modos e Efeitos de Falha) do inglês (Failure Modes and Effects Analysis). Esta técnica foi desenvolvida na indústria aeroespacial e defesa Norte Americana, a fim de identificar os eventos de falha que podem ocorrer dentro de um determinado sistema (por exemplo, um avião) e quais efeitos resultariam se as falhas ocorressem. A FMEA é uma ferramenta de planejamento da qualidade analítica dedicada à identificação dos potenciais modos de falhas e seus efeitos associados, podendo ser do produto (DFMEA), serviço ou processo (PFMEA). A implementação de sistemas de qualidade (tais como ISO 9001, QS9000, TS 16949, etc.) exige o estabelecimento de procedimentos preventivos; por conseguinte, a utilização de métodos de análise de risco, tais como a FMEA, é obrigatória. Seu uso efetivo pode levar a numerosas reduções de falhas tais como: defeitos internos (durante o processamento ou após o processamento), reclamações de clientes, falhas de campo, deficiência na produtividade, reclamações de garantia. A aplicação bem sucedida de uma FMEA poderá elevar a lucratividade da empresa bem como levar a maior satisfação ao cliente em produtos e serviços. Contudo, mesmo sendo uma das ferramentas sugeridas para obtenção dos certificados de qualidade, na prática, é tradicionalmente insuficiente e mal explorada no que tange o delineamento dos investimentos tanto para a concepção da linha de montagem como para a manutenção da mesma. Este trabalho tem como objetivo apresentar, baseado na literatura, um estudo teórico de projeto de um posto de trabalho de uma linha de montagem de motores diesel onde serão mapeados os potenciais modelos de falhas e seus efeitos por uma PFMEA e uma, sugestão, de metodologia para priorizar as necessidades de investimentos.

Palavras-chave: linha de montagem, melhoria contínua, produtividade, PFMEA, DFMEA

1. INTRODUÇÃO

A metodologia FMEA está baseada no estudo dos possíveis modos e causas de falha de produto ou de processo em um ambiente fabril, onde o risco que o produto ou processo oferece ao cliente deve ser estudado e mitigado. De acordo com Wang e Pillay (2002), a FMEA é desenvolvida para nortear e auxiliar na tomada de decisões para o gerenciamento de risco. Sankar e Prabhu (2000) afirmam que se trata de uma importante metodologia de análise de falhas antes que elas ocorram.

Esta metodologia preconiza que o primeiro passo é identificar a lista completa dos componentes ou das operações a serem analisadas, tentando localizar alguma discrepância dos conjuntos, subconjuntos, componentes e ou discrepâncias apresentadas nas operações e suboperações. Segundo Pinna, Boccacini e Salavy (2008), os possíveis modos e causas de falha que podem ocorrer em cada um dos componentes e ou processos identificados, têm que ser avaliados. Em qualquer ambiente onde existam transformação e agregação de valor a um produto ou processo irão existir modos e causas de falhas, devendo esta situação ser analisada junto de um time multifuncional. Para cada modo de falha, deve existir um estudo das possíveis causas e posteriormente, uma análise de risco, para aplicar as possíveis ações para prevenir a falha. Este deve ser um ciclo contínuo, a fim de se manter o processo de melhoria contínua. Para Agostinetto (2006 *apud* Caffin e Bessant, 1996), melhoria contínua é um processo, em toda empresa, focado na inovação incremental e contínua.

Atualmente a metodologia FMEA é aplicada em toda a cadeia do setor automobilístico, devido às exigências dos manuais de qualidade QS9000 e ISO TS 16949. Porém, o que se espera mostrar neste artigo, é uma avaliação de que em muitos casos esta metodologia preventiva não vem sendo utilizada em sua totalidade. Mesmo com a exigência de se utilizar a FMEA no setor automobilístico como uma das ferramentas preventivas, ainda não é praticada efetivamente, embora os princípios do FMEA sejam relevantes e úteis, atingindo excelentes níveis de qualidade e melhoria contínua (Devadasan, Muthu, Samson e Sankaran, 2002).

Qualidade e confiança nos produtos e processos industriais são indicadores críticos ao resultado do desempenho funcional do produto final, e conforme Theo (2004), o quanto antes os projetistas e processistas forem alertados sobre possíveis fracassos, menor será o danos à qualidade e a satisfação dos clientes. Garantir boa qualidade ao produto e estabelecer um eficiente e intensivo sistema de qualidade são ações que devem ser estabelecidas na fase de elaboração do produto.

Todos os participantes do time multifuncional envolvidos no projeto devem considerar a qualidade e a confiança nos produtos e processos enquanto executam suas tarefas no desenvolvimento do projeto. Por exemplo, os engenheiros de produto têm que embutir as características importantes, de modo que a qualidade e confiança do produto sejam garantidas desde a sua concepção, pois se neste momento não for dada a devida atenção, nenhuma operação industrial, por mais avançada que seja, irá garantir a qualidade e confiança desejada.

A metodologia FMEA é então utilizada em duas frentes: o DFMEA, denominada FMEA de produto, onde são analisados os modos e causas de falhas do produto (de onde sairão às tabelas de severidade de falhas funcionais) e a PFMEA, denominada FMEA de processo, onde são analisados os modos e causas de falhas do processo (seguindo um fluxo de atividades pré-determinadas).

Segundo Teng e Ho (1995), quando ocorre uma falha e esta é percebida pelo usuário, procede-se da seguinte maneira: primeiro, o time de produção confere a suficiência da concepção do produto. O desenvolvimento pode não ter levado em consideração as exigências do cliente. Segundo, o time de produção examina as possíveis falhas dentro das operações industriais. Neste caso, é avaliada se a confiança no sistema de controle da qualidade melhorou, pois o mesmo deve possuir um nível satisfatório. Para satisfazer estas exigências de confiança de produto e processo, torna-se necessário utilizar uma metodologia de análise para identificar estas possíveis inconveniências antes que elas ocorram. Esta necessidade traz a FMEA como uma ferramenta extremamente necessária no atual cenário de exigências.

Os benefícios decorrentes da FMEA são incontáveis desde que utilizada corretamente. De acordo com Rausand e Oien (1996), a análise dos modos e causas de falhas, podem trazer ganhos significativos desde que descritos corretamente e direcionados para a melhoria do processo.

O objetivo do presente artigo é apresentar, baseado na literatura, um estudo teórico de projeto de um posto de montagem para montagem do retentor traseiro aplicado em motores diesel, onde foram mapeados os potenciais modelos de falhas e seus efeitos por uma PFMEA e uma, sugestão, de metodologia para priorizar as necessidades de investimentos.

2. FMEA (ANÁLISES DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA)

A metodologia de Análises dos Modos e Efeitos de Falha Potencial (*Failure Modes and Effects Analysis* - FMEA) é uma ferramenta que foi criada para estabelecer qual o modo ou causa de falha. Este método tradicional, através do cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR), foi inicialmente utilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em 1963. Algum tempo depois, o método foi levado à indústria automobilística, onde foi usado para detectar, quantificar e ordenar possíveis defeitos potenciais no estágio de projeto e de produtos, antes de chegarem ao consumidor final (Puente *et al.* 2002).

Ao final da década de 1980, representantes da *General Motors Corporation*, *Ford Motor Company* e *Chrysler Corporation* desenvolveram a norma QS 9000, onde a FMEA foi adotada como uma das ferramentas de planejamento avançado da qualidade. Em 1993, a *Automotive Industry Action Group* (AIAG) e a *American Society for Quality Control* (ASQC) criaram um manual e patentearam os padrões relacionados à FMEA. A *Society of Automotive Engineers* (SAE) obteve os direitos sobre o procedimento SAE J-1739 que trata da FMEA (Moretti e Bigatto, 2006).

De acordo com Ford (2009) e Tay e Lim (2006), o método tradicional de priorização propõe que para a obtenção do RPN do modo ou causa de falha, multiplique-se a pontuação dada para as classificações de severidade, ocorrência e detecção. Conforme Boldrin, De Lorenzi e Fiorentin (2009), temos:

- **Severidade** é o valor associado ao efeito mais sério, causado por um modo de falha. A severidade é uma pontuação relativa dentro do escopo individual de um FMEA, visto que a severidade advém de uma tabela onde estes efeitos foram estudados anteriormente à análise.
- **Ocorrência** é a probabilidade que uma causa específica de falha ocorrerá. A pontuação da probabilidade de ocorrência é uma avaliação relativa ao invés de um valor absoluto. Esta forma de análise de ocorrência é relativa e pode não refletir a probabilidade atual.
- **Deteção** é a pontuação associada com o melhor controle de detecção relacionado na coluna controle de detecção. A detecção é uma pontuação relativa dentro do escopo individual de um FMEA. Para alcançarmos uma pontuação mais baixa, geralmente o controle de detecção planejado necessita ser melhorado. A figura 1 apresenta um formulário típico para uso no FMEA.

Conforme comentado anteriormente, a metodologia FMEA busca, em princípio, evitar por meio da análise das falhas potenciais e consequentes propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. Este é o objetivo básico que esta técnica apresenta, ou seja, detectar falhas antes que se produza uma peça

(processo ou operação) ou produto. Com sua utilização de forma correta, busca-se reduzir as chances do produto ou processo falhar, ou seja, aumentar sua confiabilidade.

De acordo com Teng, Ho, Shumar e Liu (2006), a principal meta de uma empresa é a de possuir grande parte dos clientes e ao mesmo tempo obtendo uma margem de lucro. Atualmente é intrínseco do processo de atender aos clientes, qualidade do produto, entrega em tempo adequado e custo competitivo para sobreviver ao recente mercado global. Para assegurar a alta qualidade do produto, a grande maioria das empresas estabelece um sistema de qualidade para garantir que todos os objetivos sejam alcançados, sendo que a FMEA é uma ferramenta robusta e apropriada para isto.

A gestão da qualidade e confiabilidade aplicada atualmente vem sendo uma postura rotineira para os consumidores, pois a falha de um produto, mesmo que prontamente reparada pelo serviço de assistência técnica e totalmente coberta por termos de garantia causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo. Atualmente são lançados produtos que detêm características críticas e significativas para a vida dos seus usuários, tais como aviões, carros e equipamentos hospitalares. Estes produtos podem significar um risco de vida ao seu usuário dependendo da falha que ocorrer.

Apesar de o seu desenvolvimento ter sido voltado com o foco no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diversas maneiras e tem sido empregada também nos segmentos de serviços, na indústria de alimentos e farmacêutica, bem como nos setores de engenharia de segurança.

A norma QS 9000 especifica a FMEA como um dos documentos necessários para um fornecedor submeter uma peça ou produto à aprovação da montadora. Este é um dos principais motivos pela divulgação desta técnica.

Implanta-se o FMEA em uma empresa visando-se os seus resultados e não simplesmente para atender a uma exigência da montadora. Este é um desafio, pois as empresas geralmente vêem o FMEA como uma ferramenta extremamente burocrática.

Conforme citado anteriormente, a primeira aplicação formal do FMEA foi uma inovação da indústria aeroespacial dos anos 60. A partir dos anos 80, passou a ser aplicada na indústria automobilística, estendendo-se posteriormente para todos os seus fornecedores na indústria de autopeças. Mas atualmente, podem-se citar quais são as possíveis utilizações e seus tipos, segundo Stamatis (2015):

- **FMEA de projeto:** Utilizado para analisar qual as possíveis falhas que os produtos podem apresentar antes de serem lançados para a manufatura. Um FMEA de projeto foca modo de falhas potenciais causadas por falhas de projeto;
- **FMEA de processo:** Utilizado para analisar processos de manufatura e montagem, operações, analisando seus respectivos modos de efeitos e falhas potenciais;
- **FMEA de serviço:** Utilizado para analisar qual as falhas que a prestação de serviços pode apresentar antes de atingirem o consumidor, analisando os modos de falhas causadas por deficiências do sistema ou processo;
- **FMEA de sistema:** utilizado para analisar sistemas e subsistemas no estágio de projeto. Um FMEA de sistema foca os modos de falhas potenciais entre as funções do sistema causadas por deficiências do sistema;

3. PROJETO DE LINHA DE MONTAGEM

O projeto de sistemas de produção sempre foi um problema importante na engenharia industrial (Dolgui, 2001). Tornando-se mais importante como ferramenta da concorrência mundial e devido ao rápido progresso das tecnologias de fabricação em busca da redução dos custos produtivos. Hoje em dia, os sistemas de produção são caracterizados por curtos tempos de ciclo de vida de produtos e sistemas de produção, alto nível de automação, necessidades de novos equipamentos e tecnologias de fabricação e alto investimento para a construção de linhas de produção modernas (Rekiek *et al.*, 2002).

A concepção de um sistema de produção baseia-se nos dados do produto e nas restrições tecnológicas relacionadas com as máquinas e equipamentos de fabricação existentes, tais como: seleção de peças de equipamento a partir de um conjunto de soluções dedicadas para cada operação de fabricação; Balanceamento e dimensionamento de estações de trabalho (atribuição de operações a estações de trabalho); Dimensionamento de áreas de armazenamento; Dimensionamento de sistemas de transporte; Layout; entre outros. Linha de montagem é um tipo equipamento amplamente utilizado em sistemas de produção. O objetivo principal dos projetistas de linhas de montagem é aumentar a eficiência da linha, maximizando a relação entre a taxa de transferência e os custos necessários. Assim, o projeto da linha de montagem é um problema de importância industrial considerável (Rekiek *et al.*, 2002).

As linhas de montagem são sistemas de produção orientados para o fluxo contínuo que são típicas na produção industrial de mercadorias padronizadas de alta quantidade e até ganham importância na produção de baixo volume de produtos personalizados. Entre os problemas de decisão que surgem na gestão de tais sistemas, problemas de balanceamento de linha de montagem são tarefas importantes no planejamento de produção (Scholl e Becker, 2006). Uma linha de montagem consiste em estações (de trabalho) dispostas ao longo de uma correia transportadora ou de um equipamento de manuseio de material mecânico (Rekiek *et al.*, 2002; Scholl e Becker, 2006).

As operações (trabalhos) na linha de montagem são consecutivas, onde conjunto principal é movido de estação para estação. Em cada estação, um número de operações são realizadas de acordo com o tempo de ciclo de cada estação, que no caso da linha de montagem tende a ser o mesmo ou menores ao tempo de ciclo (tempo máximo ou médio disponível para cada ciclo de trabalho). O problema da repartição otimizada (balanceamento) do trabalho de montagem entre as estações é conhecido como problema de balanceamento de linha de montagem. A fabricação de um produto em uma linha de montagem requer o comprometimento da quantidade total de trabalho em um conjunto de operações elementares denominadas tarefas. Realizar uma tarefa leva um tempo e requer certo equipamento ou máquinas e/ou habilidades dos trabalhadores. Devido às condições tecnológicas e organizacionais, as restrições de precedência entre as tarefas devem ser observadas (Scholl e Becker, 2006).

As atividades de montagem realizadas dentro do sistema de montagem não apenas determinam a qualidade final dos produtos, mas também afetam o tempo de colocação do produto no mercado. Enfatizando a forma como um sistema de montagem é projetado, portanto, controlar a sua eficiência e qualidade é de suma importância para sustentabilidade da rentabilidade das empresas (Rekiek *et al.*, 2002).

3.1. Qualidade do Produto e do Processo

A sustentabilidade da rentabilidade das empresas depende do crescimento dos negócios, que hoje é altamente influenciado pela satisfação dos clientes, a qual é governada pelo tripé qualidade, preço e serviços. A qualidade é a adequação do produto/serviço ao uso. Conceito subjetivo, porém perceptível sob o ponto de vista do consumidor, que traduz a capacidade de um processo, seja produtivo ou de prestação de serviços, de repetir seus resultados, minimizando a variabilidade inerente as suas etapas (Juran, 1992). A minimização da variabilidade dos processos depende da correta identificação das suas causas fundamentais e da tomada de ações corretivas ou de controle sobre aquelas que representam maior influência sobre o resultado esperado (Werkema, 2004).

Para a análise do PFMEA é de fundamental importância identificar quais clientes estarão, em virtude de uma falha, percebendo o efeito da falha, seja o cliente “processo produtivo” ou o cliente final. As falhas identificadas no processo produtivo, em alguns casos, é o controle de qualidade identificando a falha que estaria sendo enviada para o cliente final, contudo, de acordo com Rekiek *et al.*, (2002) estas falhas impactam no processo produtivo afetando o tempo de colocação do produto no mercado. Sendo assim, o PFMEA deve ser analisado não somente do ponto de vista do cliente final, mas também no ponto de vista dos clientes internos do processo produtivo, como por exemplo, em uma linha de montagem, o posto seguinte a uma operação realizada.

3.2. PFMEA da Montagem

Para realização do PFMEA algumas informações de entradas (*inputs*) são importantes, tais como: características críticas e significativas de projeto identificadas no DFMEA, informações de projeto relativas às estratégias de projeto para atingir as especificações do produto, *check list* de confiabilidade e enrobustecimento, recomendações ou metas de programa, recomendações e metas do processo produtivo, histórico de falhas, planos de controle, fluxograma de processo entre outras (Stamatis, 2015).

Nos subitens a seguir, está apresentado o estudo teórico baseado no trabalho de Lima e Mello (2015).

3.2.1. Fluxograma do processo de montagem do motor

De acordo com o trabalho de Lima e Mello (2015), onde os autores estudaram falhas de montagem do retentor traseiro nos motores diesel, o fluxograma de processo é representado na Fig. (1), onde se pode observar a sequência das operações principais para a montagem e controle da montagem do retentor traseiro, os postos de controle são: o teste de vazamento e o dinamômetro, onde 100% dos motores produzidos são controlados. Estes dois postos são clientes dos processos anteriores a eles, ou seja, qualquer falha que por ventura venha acontecer são percebidas por estes dois clientes, respectivamente.

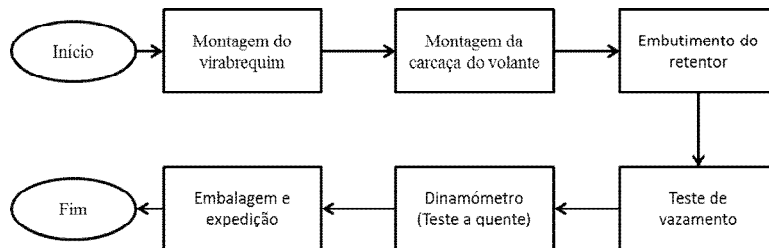


Figura 1 Fluxograma do processo de montagem do motor diesel. Adaptado de Lima e Mello (2015).

Os autores apresentaram um estudo de caso para solução de falhas de vazamentos de óleo pelo retentor traseiro, sendo estas falhas identificadas na planta do cliente final.

O teste de vazamento é estático e após o teste estático há um teste dinâmico no dinamômetro, onde o motor é submetido a condições severas de especificações para o controle da qualidade do produto, sendo este teste efetuado em 100% dos produtos produzidos na linha de montagem, (Lima e Mello, 2015). Sendo assim, na estratégia para a confecção do PFMEA, buscando eficiência produtiva, devem-se considerar estes dois postos como clientes no processo produtivo.

3.2.2. Fluxograma do processo de montagem do retentor

A Fig. (2) apresenta a ilustração do conjunto de peças envolvidas no processo de montagem, guia do dispositivo em cinza posicionado em cima do flange do virabrequim, retentor traseiro em verde posicionado no diâmetro externo do guia, virabrequim em azul, carcaça do volante em laranja. O retentor é embutido, com interferência, entre o flange do virabrequim e a carcaça de volante.

Na Fig. (3) apresenta-se o fluxograma para a montagem e embutimento do retentor traseiro, onde se constata 6 operações que devem ser executadas e estas são as operações que serão analisadas para confecção do PFMEA objetivando identificar os principais modos de falhas e seus efeitos para delinear as necessidades de investimento.

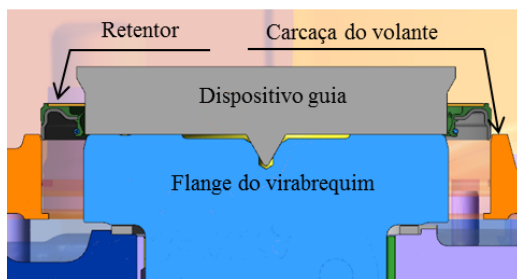


Figura 2 Montagem do retentor na guia do dispositivo e montagem da guina no flange do virabrequim. Adaptado de Lima e Mello (2015).

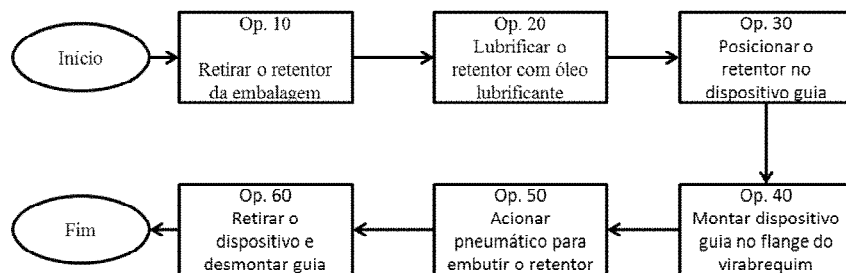


Figura 3 Fluxograma da montagem do retentor no motor. Adaptado de Lima e Mello (2015).

3.2.3. PFMEA da montagem do retentor

A Tab. (1) apresenta o exemplo teórico do PFMEA da montagem do retentor de óleo lubrificante no motor, as operações analisadas neste PFMEA estão de acordo com o fluxograma da Fig. (3), as pontuações de severidade, ocorrência e detecção, estão de acordo Stamatis (2015), o símbolo (S) na coluna classificação é para indicar que o efeito do modo de falha é significativo, o NPR (número prioritário de risco) é obtido pelo produto entre as notas de severidade, ocorrência e detecção. O resultado do produto destas pontuações o NPR é a referência para as necessidades de melhoria e investimentos.

Nas operações onde a severidade teve a pontuação 8, observa-se que o efeito da falha será detectado no processo produtivo, gerando desvio do produto para a área de reparo, de acordo com Lima e Mello (2015) as detecções de falhas nestes dois postos de controle resultam custos adicionais para produção, uma vez que diversas operações já foram executadas e desta forma serão desmontadas e remontadas após a identificação e correção da falha, além da parada de linha para desvio do produto.

Na Tab. (1), coluna detecção, onde foi informado como “Nenhum”, de acordo com Lima e Mello (2015), não há processo detectivo para estes efeitos antes dos postos de detecção do efeito, vazamento de ar ou vazamento de óleo, ou detecção da causa da falha. Apesar de de acordo com Stamatis (2015), estes postos são controle para o cliente final, onde os mesmos tem a função de detectar falhas durante o processo produtivo. Contudo, como citado no item 3.1, a

qualidade é sustentada, pelo tripé: qualidade, preço e serviço. E para garantia do preço, os custos da má qualidade de produção devem ser mitigados.

Tabela 1 PFMEA Montagem do retentor. Formulário adaptado de Stamatis (2015).

Item/ Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito da falha	Severidade	Classificação	Potencial causa da falha	Ocorrência	Controles preventivos	Controles detectivos	Deteção	NP R
Op.10/Retirar o retentor da embalagem	Não retirar o retentor da embalagem	Não montagem do retentor	1		Operador não seguiu as instruções de trabalho	1	Instruções de trabalho	Nenhum	10	10
Op.20/Lubrificar o retentor	Não lubrificar o retentor	Danificação da vedação do retentor, vazamento de óleo no teste de dinamômetro	8	S	Operador não seguiu as instruções de trabalho	3	Instruções de trabalho	Nenhum	10	240
Op.30/Posicionar o retentor no dispositivo guia	Não posicionar corretamente o retentor	Danificação da vedação do retentor, vazamento de ar o teste de vazamento	8	S	Operador não seguiu as instruções de trabalho	4	Instruções de trabalho	Nenhum	10	320
	Posicionar o retentor invertido	Vazamento de ar no teste de vazamento	8	S	Operador não seguiu as instruções de trabalho	3	Instruções de trabalho	Nenhum	10	240
Op.40/Montar conjunto dispositivo guia e retentor no flange do virabrequim	Não aplicar torque nos parafusos de fixação do dispositivo	Soltura do dispositivo, desalinhament o do retentor, danificação do retentor, vazamento de ar no teste de vazamento	8	S	Operador não seguiu as instruções de trabalho	2	Instruções de trabalho	<i>Poka-yoke</i>	1	16
Op.50/Acionar o dispositivo para embutimento do retentor	Não acionar o dispositivo/ não embutir o retentor	Vazamento de ar no teste de vazamento	8	S	Operador não seguiu as instruções de trabalho	3	Instruções de trabalho	Nenhum	10	240
Op.60/Retirar o dispositivo e guia	Não retirar dispositivo e guia	Parada de linha, impossibilidade e de montagem de outros componentes	4		Operador não seguiu as instruções de trabalho	2	Instruções de trabalho	Nenhum	10	80

O PFMEA da Tab. (1) pode ser interpretado como uma atualização da linha de produção para aumento da produtividade, reduzindo assim as falhas internas, como também, na construção de uma nova linha de montagem, onde normalmente busca-se uma referência, um processo produtivo existente, similar ao novo para delineamento dos investimentos.

Na Fig. (4) apresenta-se um gráfico utilizado para análise qualitativa da relação entre ocorrência e severidade, onde pode se observar o que é severo e o que o ocorre com frequência, ajudando assim a analisar a priorizar ações de contenção, ações corretivas e ações de melhoria.

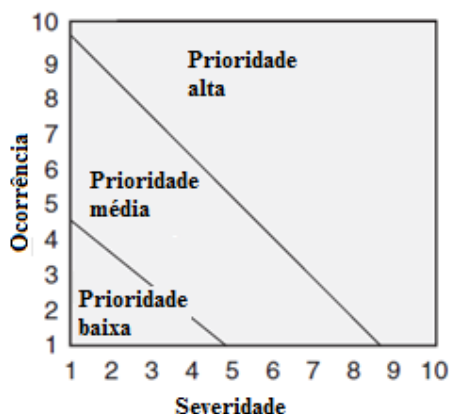


Figura 4 Gráfico de área de prioridade de ação. Adaptado de Stamatis (2015).

3.2.4. Relatório de prioridade de investimento (*output*) do PFMEA da montagem do retentor

A Tab. (2) apresenta-se os resultados (*outputs*) do PFMEA onde estão apresentados na ordem do NPR, onde obrigatoriamente, devem-se priorizar as ações de maior NPR. Os resultados também podem observados de acordo com a Fig. (4). Na coluna Ação, deve-se relacionar os investimentos para mitigar os potenciais modos ou os efeitos das falhas.

Tabela 2 Relatório (*output*) PFMEA

Item/ Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NP R	Ação (necessidade de investimento)
Op.30/Posicionar o retentor no dispositivo guia	Não posicionar corretamente o retentor	Danificação da vedação do retentor, vazamento de ar o teste de vazamento	8	4	10	320	
	Posicionar o retentor invertido	Vazamento de ar no teste de vazamento	8	3	10	240	
Op.20/Lubrificar o retentor	Não lubrificar o retentor	Danificação da vedação do retentor, vazamento de óleo no teste de dinamômetro	8	3	10	240	
Op.50/Acionar o dispositivo para embutimento do retentor	Não acionar o dispositivo/ não embutir o retentor	Vazamento de ar no teste de vazamento	8	3	10	240	
Op.40/Montar conjunto dispositivo guia e retentor no flange do virabrequim	Não aplicar torque nos parafusos de fixação do dispositivo	Soltura do dispositivo, desalinhamento do retentor, danificação do retentor, vazamento de ar no teste de vazamento	8	2	1	16	
Op.60/Retirar o dispositivo e guia	Não retirar dispositivo e guia	Parada de linha, impossibilidade de montagem de outros componentes	4	2	10	80	

4. CONCLUSÕES FINAIS

Com este trabalho buscou-se apresentar a aplicação do PFMEA para delineamento de investimento para construção ou atualização de uma linha de montagem, tomando como exemplo, um posto de montagem de uma linha de produção de motores diesel. Foram observados fatores que devem ser norteadores para a elaboração da estratégia do PFMEA, como por exemplo, a classificação dos clientes do processo produtivo, internos e externos.

Foi observado na análise do PFMEA teórico, que os pontos de controle 100% são clientes dos processos anteriores e ao mesmo tempo, controle para o cliente final. Contudo, estratégias para diminuir a ocorrência de falhas nestes postos resultam no aumento da produtividade e da confiabilidade dos controles para o cliente final.

Quando a estratégia da linha de montagem é apenas atender a qualidade do cliente final, normalmente o índice de falhas interno é alto e consequentemente a produtividade é baixa, com desvio de produto para retrabalho, paradas de linhas, controles intermediários, constantes ações corretivas, reinspeções, entre outras perdas.

O objetivo do trabalho foi, baseado na literatura, apresentar o impacto de priorizar apenas o cliente final, onde foi apresentado na Tab. (2) uma sugestão de priorização que é resultante, a análise da Tab. (1) e da análise qualitativa da Fig. 4, o qual busca não somente atender a qualidade para o cliente final, mas busca também atender a qualidade do processo produtivo, garantindo assim um controle dos custos de produção e, por consequência, aumentar a rentabilidade das empresas.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos para FAPESP pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Agostinetto, J. S., 2006, "Sistematização do processo de desenvolvimento de produtos, melhoria contínua e desempenho: o caso de uma empresa de autopeças". Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Boldrin, M., De Lorenzi, A. and Fiorentin, A., 2009, "Potential failure mode and effects analysis for the ITER NB injector", *Fusion Engineering and Design*, V. 84, n. 4, pp. 466-469.
- Devadasan, S.R., Mutuh, S., Samson, N.R. and Sankaran, R.A., 2003, "Design of total failure mode and effects analysis programme", *International Journal of Quality & Reliability Management*, V. 20, n. 5, pp. 551-568.
- Dolgui, A., 2001, "Automated Production Line Design (Preface for the Special Track)", *Management and Control of Production and Logistics: A Proceedings Volume*, Pergamon, Elsevier Science.
- FORD Motor Company, 2009, "Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA. Reference Manual 4ª edition".
- Juran, J.M.A., 1992, "Qualidade desde o Projeto. Novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços", São Paulo: Pioneira.
- Lima, L.C. and Mello, P.L., 2015, "Aplicação da metodologia seis sigma: estudo de caso no processo de montagem de motores diesel", *Anais - SIMPEP*, V. 23, pp. 635-22.
- Moretti, D.C., and Bigatto, B.V., 2006, "Aplicação do FMEA: estudo de caso em uma empresa do setor de transporte de cargas". Disponível em: <http://www.nortegubisian.com.br/artigos/fmea.pdf>.
- Pinna, T., Boccacini, L.V. and Salavy, J.F., 2008, "Failure mode and effect analysis for the European test blanket modules", *Fusion Engineering and Design*, V. 83, pp. 1733-1737.
- Puente, J., Pino, R., Priore, P. and La Fuente, D., 2002, "A decision support system for applying failure mode and effects analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, n. 2, V. 19.
- Rausand, M. and Oien, K., 1996, "The concept basics of Failure analysis", Elsevier.
- Reikie, B. et al., 2002, "Hybrid assembly line design and user's preferences", *International Journal of Production Research [S.I.]*, V. 40, n. 5, pp. 1095-1111.
- Sankar, N.R. and Prabhu, B.S., 2001, "Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, V. 18, n. 3, pp. 324-335.
- Scholl, A. and Becker, C., 2006, "State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing", *European Journal of Operational Research [S.I.]*, V. 168, n. 3, pp. 666-693.
- Stamatis, D.H., 2015, "The ASQ Pocket Guide to Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)", ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, USA.
- Tay, K.M. and Lim, C.P., 2006, "Fuzzy FMEA with guided rules reduction system for prioritization of failures", *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 23, n. 8, pp. 1047-1066.
- Teng, S.G., Ho, S.M., Shumar, D. and Liu, P.C., 2006, "Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment", *International Journal of Quality & Reliability Management*, V. 23, n. 2, pp. 179-196.
- Teng, S.H. and Ho, S.Y., 1996, "Failure mode and effects Analysis - An integrated approach for product design and process control", *International Journal of Quality & Reliability Management*, V. 13, n. 5, pp. 8-26.
- Theo, P.C., 2004, "Failure mode and effects analysis through knowledge modeling", *Journal of Materials Processing Technology*, V. 11, n. 3, pp. 253-260.
- Wang, J. and Pillay, A., 2002, "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", *Reliability Engineering & System Safety*, V. 14, n. 4, pp. 69-85.
- Werkema, M.C., 2004, "Criando a Cultura Seis Sigma". – Nova Lima, MG: Werkema Ed. 2004 256p. – (Seis Sigma; v.I).

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso e incluso neste trabalho.

APPLICATION OF PFMEA AS A STRATEGIC TOOL FOR DEVELOPING INVESTMENTS IN THE CONSTRUCTION OR UPDATING OF MOUNTING LINES: A LITERATURE BASED REVIEW

Leandro Correia de Lima, correia_eng@yahoo.com.br¹

Paula Lunardi de Mello, paulalunardi@hotmail.com²

¹Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica (UNICAMP/FEM), Rua Mendeleyev, 200 – Cidade Universitária, Campinas/SP, CEP 13083-860

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Campus Centro, Av. Osvaldo Aranha, 99 - Porto Alegre/RS, CEP 90035-190

Abstract: *In the assembly lines of industrial auto parts or automotive many products are processed on the same production line where flexibility and quality control between operations is mandatory requirement to guarantee productivity. And one of the most used tools for mapping of vulnerabilities that may impact on productivity is the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). This technique was developed in the aerospace and defense U.S. order to identify the failure events that can occur within a given system (e.g., an airplane) and effects which would result if the fault occurred. The FMEA is an analytical quality planning tool dedicated to the identification of the main modes of potential failure and its effects associated, this technique is used in the design stage of a system or product (DFMEA) as well as in the manufacturing process (PFMEA). The implementation of quality systems (such as ISO 9001, QS9000, TS 16949, etc.) requires the establishment of preventive procedures; therefore, the use of risk analysis methods such as FMEA is required. Its effective use can lead to numerous failures reductions such as internal defects (during processing or after processing), customer complaints, field failures, disability productivity, warranty claims. The successful implementation of an FMEA may increase the company's profitability and lead to greater customer satisfaction in products and services. However, despite being one of the suggested tools for obtaining quality certificates in practice it is traditionally inadequate and poorly explored regarding the design of all investments for the assembly line design for the maintenance of the same. This work aims to present, based on the literature, a theoretical study design of a diesel engine assembly line where potential models of faults and their effects by a PFMEA and methodology suggestion to prioritize investment needs will be delineated.*

Key Words: assembly line, continuous improvement, productivity, PFMEA, DFMEA