



Exacta

ISSN: 1678-5428

geraldo.neto@uni9.pro.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

da Conceição Ferreira, Janderson; Rodrigues, Mariane Cristina; Scavariello Franciscato,
Lucas; Correr, Ivan

Proposta de um método para priorização de risco em FMEA considerando custo de

ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção

Exacta, vol. 15, núm. 3, july-september, 2017, pp. 487-499

Universidade Nove de Julho

São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81052980009>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Proposta de um método para priorização de risco em FMEA considerando custo de ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção

Proposal of a method for risk prioritization in FMEA, considering the cost of occurrence of the failure mode at the detection stage

Janderson da Conceição Ferreira¹

Mariane Cristina Rodrigues²

Lucas Scavariello Franciscato³

Ivan Correr⁴

Resumo

No modelo tradicional de FMEA, usa-se o produto ou a ordenação não aritmética dos três critérios “severidade”, “ocorrência” e “deteção” para determinação do NPR; entretanto, uma das limitações da ferramenta está relacionada aos fatores econômicos que não são considerados em sua elaboração. Nesse contexto, o atual estudo apresenta uma proposta de um método para avaliação de riscos em FMEA de processo considerando os custos de ocorrência no momento de detecção da falha, em uma empresa de autopeças. Como resultado, obteve-se a viabilidade da aplicação dos custos de ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção como um novo método para priorização na análise de risco, o que possibilitou à empresa identificar e direcionar as ações nas etapas que continham o maior impacto financeiro.

Palavras-chave: Análise de risco. Custos. FMEA, Processo. Priorização de risco.

Abstract

In traditional FMEA, the product or non-arithmetic order of the three criteria “severity”, “occurrence”, and “detection” is used to determine the NPR. However, one of the limitations of the tool is related to economic factors that are not considered in its creation. In this context, this study presents a proposal for a method to evaluate risks in process FMEA considering the costs of occurrence at the failure detection stage in an auto-parts company. The results obtained show the feasibility of applying the failure mode occurrence costs in the detection stage as a new method for prioritization in the risk analysis, which allowed the company to identify and direct actions at the stages that carried the highest financial impact.

Key words: Risk analysis. Costs. FMEA. Process. Risk prioritization.

1 Graduado em Engenharia de Produção na Faculdades Integradas Einstein de Limeira – Fiel. Limeira, SP [Brasil] jandersonferreira@gmail.com

2 Graduada em Engenharia de Produção na Faculdades Integradas Einstein de Limeira – Fiel. Limeira, SP [Brasil] mariane_crodrigues@yahoo.com.br

3 Engenheiro Mecânico pela Escola de Engenharia de Piracicaba da Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba – EEP-FUMEP e Docente no departamento de Engenharia de Produção na Faculdades Integradas Einstein de Limeira – Fiel. Limeira, SP [Brasil] professorlucasfranciscato@gmail.com

4 Engenheiro de Controle e Automação e Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba – Unimep e Docente no departamento de Engenharia de produção e de Administração na Faculdades Integradas Einstein de Limeira – Fiel. Limeira, SP [Brasil] icorner@yahoo.com.br

1 Introdução

O cenário em que as organizações se encontram está cada vez mais competitivo e globalizado. As variáveis da economia, a busca por atender as necessidades do mercado e sobreviver perante a concorrência exigem que uma empresa tenha uma gestão mais eficaz e que seus líderes tenham a capacidade de tomar decisões assertivas e proporcionar o aumento de sua competitividade, buscando continuamente a melhoria de seus processos (Slack, Chambers, & Jonhston, 2002).

Nesse contexto, o gerenciamento dos riscos é uma ferramenta importante usada para identificar impactos positivos ou negativos no projeto ou nos objetivos da organização, ou seja, a combinação da probabilidade de uma ameaça ou oportunidade (Project Management Institute [PMI], 2013).

Não existe um procedimento específico para o gerenciamento de risco (Castilho, 2007) e nem há relação deste com alguma ferramenta do Sistema de Gestão da Qualidade (Cagnin, Oliveira, & Assumpção, 2015). Uma das ferramentas utilizadas para o gerenciamento de risco é a Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA), a qual é aplicável para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (Helman & Andery, 1995) via análise qualitativa, em que se atribuem pontuações para três critérios – severidade, ocorrência e detecção – e se obtém uma escala de prioridade ao produto ou processo em estudo.

Muitos autores apresentam as possíveis adaptações na utilização da FMEA, bem como suas limitações. Ao revisar a literatura disponível, é possível encontrar inúmeros estudos sobre o FMEA, mas ainda é necessária uma maior aplicação em diferentes áreas para explorar a utilização dessa ferramenta (Rezare, Salimi, & Yousefi, 2016).

Braglia (2000), por exemplo, defende que fatores econômicos devem ser considerados na elaboração da FMEA, e Spencer e Rhee (2003) destacam que os times não costumam considerar as falhas em termos de custos.

Na cadeia de fornecimento da indústria automotiva, utiliza-se a ferramenta FMEA conforme as diretrizes do manual AIAG. Este descreve algumas alternativas para a escala de prioridade, sendo a mais usada a combinação não aritmética dos critérios de severidade, ocorrência e detecção (SOD). Mesmo que o custo seja um elemento relevante para a competitividade entre as empresas, o método de priorização SOD não utiliza fatores econômicos referente aos possíveis modos de falha.

Degen, Borchardt, Pereira e Selito (2010) propõem um método de análise de riscos que considera o custo potencial da ocorrência da falha na aplicação de um FMEA de processo; entretanto, nesse não se leva em conta o fato de que algumas falhas podem ser detectadas em etapas posteriores ao processo.

A proposta do atual trabalho é desenvolver um método que visa a minimizar impactos negativos à organização por meio da análise de riscos em FMEA que considera os custos de ocorrência no momento de detecção da falha, de modo a complementar o método proposto por Degen *et al.* (2010). A necessidade de aplicação deste novo método proposto é mais evidente em processos de montagem, em que uma falha ocorrida nas primeiras etapas do processo pode ser detectada somente nas últimas operações (testes funcionais), assim aumentando o valor agregado do produto que venha a ser rejeitado.

2 Referencial teórico

2.1 Gerenciamento de riscos

As organizações entendem o risco como um efeito da incerteza, ou um conjunto de eventos so-

bre seus projetos ou objetivos, o qual é medido pela combinação da probabilidade de uma ameaça ou oportunidade percebida e a magnitude do seu impacto sobre os objetivos (PMI, 2013).

O gerenciamento de riscos inclui o processo de conduzir o plano da gestão do risco, a identificação, a análise, o plano de resposta e o controle do risco, e tem como objetivo aumentar a probabilidade de impactos positivos e diminuir a de impactos negativos (PMI, 2013). Todas as atividades de uma organização envolvem risco, e alguns princípios devem ser atendidos para uma gestão de risco eficaz. Além disso, a gestão de riscos pode ser aplicada, a qualquer momento, em várias áreas e níveis, cada qual com suas necessidades particulares, bem como funções, atividades e projetos específicos (ISO 31000, 2009).

A metodologia apresentada pelo PMI talvez seja a mais usada para a gestão de riscos (Santos & Cabral, 2008); porém, não há uma determinação de uma ferramenta ou documento específico para tal processo (Castilho, 2007). Domingues (2008) comenta que a FMEA é aplicável na tratativa de riscos, visto que tanto na sua aplicação quanto nos conceitos do Project Management Body of Knowledge (PMBOK), existe um conjunto de técnicas em comum como o Brainstorming, Pareto, Kaizen, mapeamento de processos e análise da causa raiz, o que facilita sua aplicação na técnica de análise de riscos.

2.2 FMEA

A ferramenta FMEA (Failure Modes and Effects Analysis – Análise dos Modos e Efeitos de Falhas) é um método de análise de projetos – produtos, processos industriais ou administrativos – para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema, ou seja, é uma análise para detectar e eliminar problemas poten-

cias de forma sistemática e completa (Helman & Andery, 1995).

No FMEA, a avaliação do risco é uma das etapas mais importantes, na qual é feita a análise de três pontos: (I) severidade, ponto no qual se avalia o nível de impacto de uma falha; (II) ocorrência, em que se analisa com que frequência a causa da falha pode ocorrer e (III) detecção, no qual se avalia o quanto bem os controles de produto ou processo detectam a falha ou o modo da falha. Para cada uma das etapas mencionadas é atribuído um valor, denominado Número de Prioridade de Risco (NPR), este é o produto das classificações de severidade, ocorrência e detecção, que pode variar (Quadro 1). A fim de que essa avaliação e atribuição de NPR sejam possíveis, é necessário que as organizações conheçam e entendam os requisitos de seus clientes (Automotive Industry Action Group [AIAG], 2008).

Existem alternativas para aplicabilidade do critério de priorização, como, por exemplo, a combinação não aritmética das classificações severidade, ocorrência e detecção (SOD). Dessa forma, quando classificado em ordem numérica descendente, priorizará os cenários, primeiramente por severidade, seguido de ocorrência e detecção (AIAG, 2008).

Outra variável do critério de priorização é focar inicialmente na severidade e na ocorrência, ou seja, o produto destes ($S \times O$) pode indicar onde será o foco para reduzir a ocorrência e aplicar as devidas ações corretivas (AIAG, 2008).

A aplicação do FMEA é feita por uma equipe de trabalho multifuncional, com o *know-how* necessário para analisar todo o ciclo de vida do produto de modo a quantificar e priorizar os modos de falha bem como uma lista de ações corretivas para eliminar o risco (Franceschini & Galetto, 2001).

De acordo com Tahara (2012), geralmente são aceitos quatro tipos de FMEAs, nos quais as

NPR	Exemplo	Definição
SxOxD	Severidade x Ocorrência x Detecção $S(7) \times O(3) \times D(5) = 105$ (NPR)	Produto das classificações SOD (Severidade, Ocorrência e Detecção). Um alto valor de NPR determina qual modo de falha deve-se priorizar para analisar e eliminar/reduzir.
SOD	Severidade / Ocorrência / Detecção $S(7) O(3) D(5) = 735$ (NPR)	Combinação não aritmética de SOD (Severidade, Ocorrência, Detecção). Prioriza o cenário em ordem descendente.
SxO	Severidade x Ocorrência $S(7) \times O(3) = 21$ (NPR)	Produto das classificações SO (Severidade, Ocorrência). Um alto valor de NPR determina qual Ocorrência deve ser priorizada.

Quadro 1: Comparação entre as atribuições de critérios de NPR
Fonte: Adaptado de AIAG (2008).

etapas de realização da análise são as mesmas, diferenciando-se quanto ao objetivo (Quadro 2):

Mesmo com a variação de sua aplicabilidade, o FMEA é bastante utilizado nas empresas automobilísticas (Quadro 3) que, segundo Bastos

(2006), desde 1976 constitui-se numa ferramenta imprescindível para as empresas fornecedoras deste segmento que, em sua maioria, dividem entre FMEA de processo (PFMEA) e produto (DFMEA). No PFMEA são consideradas as falhas

Tipos de FMEA	Características
FMEA de design	São consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrentes do projeto. É comumente denominada também de FMEA de projeto ou produto.
FMEA de processos	São consideradas as falhas no planejamento e na execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas no processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.
FMEA de sistemas	São considerados os sistemas e subsistemas nas fases conceituais e de projeto. O objetivo desta análise é focalizar nos modos de falhas entre funções do sistema. São inclusas as interações entre os sistemas e elementos dos sistemas.
FMEA de serviços	São analisados os serviços antes de eles atingirem o consumidor. É usado para identificar tarefas críticas ou significantes para auxiliar a elaboração de planos de controle. Ajudam a eliminar gargalos nos processos e tarefas.

Quadro 2: Tipos de FMEA
Fonte: Adaptado de Mello e Oliveira (2004).

Pesquisas	Autores
FMEA de design	Souza (2006); Maluf (2008); Santana e Massarini (2005)
FMEA de processos	Aguiar e Mello (2008); Almeida (2008); Miguel e Segismundo (2008); Ramos, Chaves e Brandalise (2012)
FMEA de sistemas	Aguiar e Salomon (2006); Fernandes e Rebelato (2006)
FMEA de serviços	Cavalcanti e Farias (2015)

Quadro 3: Aplicações dos tipos de FMEA na indústria automobilística

Fonte: Os autores.

no planejamento e execução do processo, enquanto, no DFMEA são previstas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações estabelecidas no projeto.

Quanto às vantagens do FMEA, Braglia (2000) destaca: (I) a ferramenta proporciona visibilidade, e assim pode facilmente ser compreendida e utilizada; (II) é um procedimento sistemático que é organizado e pode ser facilmente gerenciada até mesmo em um programa de computador, graças à base de dados gerada; (III) identifica as fraquezas no processo de concepção de produtos e processos, possibilitando ajustes; (IV) foco e atenção em poucos componentes ou processos ao invés de muitos, priorizando as ações.

Mesmo sendo uma ferramenta de confiabilidade para análise de modos de falha, o autor explica que existem algumas dificuldades na implementação do FMEA, que nem sempre são consideradas, como, por exemplo, a dificuldade em se utilizar a ferramenta na concepção do projeto e a falta de preparação e treinamento das equipes multifuncionais envolvidas para atribuição de pontuações adequadas, de modo que considerem o desempenho do produto ou processo.

2.2.1 FMEA de processos

Para Moura (2000), o FMEA de processo é utilizado pelo responsável de manufatura com a finalidade de assegurar que os modos de falha potenciais e suas causas/mecanismos foram ava-

liados. Ao desenvolvê-lo, assume-se que o produto, conforme projetado, atenderá ao objetivo do projeto, além disso, é um momento em que a equipe pode identificar as oportunidades que poderiam minimizar ou eliminar a ocorrência de um modo de falha do processo (AIAG, 2008). Suas etapas são:

- Identificação dos modos de falhas potenciais do processo relacionadas ao produto.
- Avaliação dos efeitos potenciais da falha no cliente.
- Identificação das causas potenciais de falhas do processo de manufatura ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas para redução da ocorrência ou melhoria da eficácia da detecção das falhas.
- Classificação dos modos de falha potenciais, estabelecendo assim um sistema de priorização para a tomada das ações corretivas.
- Documentação dos resultados do processo de manufatura ou montagem.

O PFMEA é um documento vivo e o correto é iniciá-lo antes ou durante o estágio de viabilidade do projeto ou antes do ferramental para a produção; deve considerar todas as etapas de fabricação e dos componentes – desde os individuais até os conjuntos montados – e incluir todo e qualquer processo que possa impactar nas operações de fabricação (AIAG, 2008). Inicia-se pelo

fluxograma, para que todas as operações sejam compreendidas e seus requisitos sejam definidos; tais requisitos são as saídas de cada operação e se relacionam aos requisitos do produto. Outras fontes de dados ou ferramentas, como DFMEA, desenhos do projeto, históricos de não conformidades internas ou externas, de qualidade e confiabilidade, além da lista de processo e a matriz de inter-relacionamento também são úteis para fornecer à equipe multifuncional, além de qualquer informação disponível de projetos similares, lições aprendidas ou boas práticas (AIAG, 2008).

2.3 Limitações do FMEA tradicional

Na abordagem tradicional do FMEA, o índice NPR é determinado pelo produto dos índices severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) (Franceschini & Galetto, 2001). De acordo com o AIAG (2008), priorização de ações se dá após a atribuição de pontuações dentro de cada escopo, em que o resultado gerado é expresso por um valor de 1 a 1000. O manual não recomenda a limitação de NPR, pois, dessa forma, assume-se que este seja uma medida de risco relativa e que a melhoria contínua não seja requerida, assim influenciando no comportamento dos membros da equipe e demandando maior tempo para justificar um valor menor de classificação a fim de reduzir o NPR e, consequentemente, isso impede o tratamento do problema real. Outra recomendação do manual é sobre avaliações de risco alternativas, como, por exemplo, a combinação não aritmética do SOD, pois, quando classificados em ordem descendente, priorizará os cenários. Dessa forma, o índice severidade é considerado em primeiro lugar; e, em segundo e terceiro, a ocorrência e a detecção, respectivamente.

Na visão de Braglia (2000), há uma fraqueza relevante na utilização do FMEA, uma vez que com essa ferramenta se consideram alguns atributos de falha, porém fatores econômicos não são

levados em conta; além disso, falta discussão sobre qualquer evolução de custos nas falhas identificadas, ou seja, o autor afirma que, a partir de uma análise baseada em índices mais completos, obtêm-se melhores desenvolvimentos.

Dong (2007) também destaca o fato de que o custo devido às falhas não pode ser definido pelos números ordinários obtidos no cálculo de RPN e, em seu estudo, relaciona de forma não linear o custo decorrente de falhas e o *ranking* ordinário de RPN. Seguindo esse mesmo raciocínio em relação a custos e FMEA, Kmenta e Ishii (2000) desenvolveram um cenário no FMEA usando estimativas de custo, fazendo com que a tomada de decisão seja influenciada por esse mesmo fator.

Os estudos de Tarum (2001) identificam e priorizam a parte do processo que apresenta maior potencial de impacto financeiro na operação, e Gilchrist (1993) baseou-se num modelo simples usando estimativas de custos como base para o *ranking* dos modos de falha como proposta de uma alternativa ao procedimento de elaboração de FMEA.

Em termos de custos, segundo Martins (2003), estes podem ser definidos como tudo o que envolve gasto relativo a bens ou serviços. Com enfoque na qualidade, Slack, Chambers e Johnston (2002) apresentam que é necessário examinar todos os custos e benefícios relacionados, que são classificados em: custos de prevenção (prevenção de problemas, falhas e erros), de avaliação (controle de qualidade, checagem de possíveis problemas ou erros durante e após a criação do produto ou serviço), de falha interna (erros detectados nas operações internas) e falha externa (detectados fora da operação, pelo consumidor).

Com base em tais conceituações, no método de análise de riscos do FMEA, proposto por Degen *et al.* (2010), considera-se o custo potencial da ocorrência da falha, aplicando no FMEA de processo. Tal proposta muda a forma tradicional

de avaliar as prioridades, de modo que a ordem se inicia pela severidade (S), seguida do índice de ocorrência (O) vezes os custos e, por fim, a detecção (D). Dessa forma, o método tradicional e o proposto não são comparáveis, passando a ser relevante a indicação das prioridades.

3 Metodologia do desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa em questão foi sobre a aplicação da ferramenta FMEA, baseando-se na inserção dos custos de ocorrência no momento da detecção da falha. Este modo de avaliação tem como objetivo ser considerado pela equipe multifuncional, uma vez que impacta diretamente na gestão financeira da empresa.

Para atingir os objetivos expostos, nesta investigação, seguiu-se a sequência proposta por Miguel (2007): (I) definição da estrutura conceitual teórica; (II) planejamento dos casos; (III) condução do teste piloto; (IV) coleta de dados; (V) análise dos dados; (VI) geração do relatório.

Realizou-se um estudo de caso único com uma pesquisa qualitativa de análise exploratória transversal com intervenção experimental.

A nova proposta para priorização na análise de risco no FMEA foi aplicada em um processo de montagem de módulos ABS em uma empresa multinacional, fabricante de peças de segurança e conveniência do setor automotivo, do interior do estado de São Paulo.

No planejamento desta investigação, foram levantados os seguintes pontos para estudo: (I) obtenção do FMEA de processo a ser estudado; (II) análise da etapa de detecção da falha no FMEA; (III) levantamento dos custos gerados à empresa na ocorrência de peças não conforme; (IV) desenvolvimento de um método para inserir os custos gerados para a empresa no FMEA de processo; (V) compa-

ração da priorização da análise de risco utilizada atualmente pela empresa com o método proposto por Degen *et al.* (2010) e o novo método proposto de inserção dos custos de ocorrência no momento da detecção da falha; e (VI) análise dos resultados.

Assim como o estudo de caso realizado por Degen *et al.* (2010), a severidade continua sendo considerada o principal fator na priorização da análise de risco; portanto, o SOD (combinação não aritmética das classificações de severidade, ocorrência e detecção) também é utilizado neste trabalho.

3.1 Estudo de caso

O estudo de caso iniciou-se com a obtenção e verificação do atual FMEA de processo referente à montagem do módulo ABS utilizado pela empresa. Foram descartados os itens com severidade 9 e 10, pois, segundo a tabela de severidade do manual de FMEA quarta edição (AIAG, 2008), estes modos de falhas geram efeitos que afetam a operação segura do veículo e o processo de montagem em análise já possui dispositivos que evitam a ocorrência destes modos de falha. Assim, foram definidos os itens classificados com severidade 8, conforme apresentados no Quadro 4.

Posteriormente, diferente da proposta de Degen *et al.* (2010), em que se utilizam os custos da ocorrência em seu local de origem, foi analisada a etapa de detecção da ocorrência de cada modo de falha descrito no FMEA de processo. Essa alteração fez-se necessária, pois, no processo de montagem do produto ABS, existem falhas que não são detectadas na etapa, na qual estas mesmas foram geradas, e sim em etapas posteriores.

A Figura 5 apresenta a etapa do processo e o momento da detecção de cada modo de falha descrito no FMEA de processo. Conforme destacado no Quadro 5, observa-se que as etapas 30.5 (OP30.5) e 40 (OP40) têm sua falha detectada na etapa do processo 110 (OP110).

Etapa do Processo	Modo de Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção
OP 20	Não inserção da esfera	8	2	2
OP 30.1	Não inserção do anel guia	8	2	2
OP 30.2	Não inserção do anel de vedação	8	2	2
OP 30.3	Não inserção do filtro	8	3	2
OP 30.4	Não inserção da placa de vedação	8	2	2
OP 30.5	Dano ao anel de retenção ou não inserção deste	8	2	4
OP 40	Não inserção do pistão com anel	8	3	2
OP 40	Anel do pistão danificado	8	2	4
OP 50	Não montagem da mola	8	2	3
OP 60	Má cravação da tampa	8	2	3

Quadro 4: FMEA de processo referente à montagem do módulo ABS com severidade 8

Fonte: Os autores.

Etapa do Processo	Modo de Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Etapa de detecção
OP 20	Não inserção da esfera	8	2	2	OP 20
OP 30.1	Não inserção do anel guia	8	2	2	OP 30.1
OP 30.2	Não inserção do anel de vedação	8	2	2	OP 30.2
OP 30.3	Não inserção do filtro	8	3	2	OP 30.3
OP 30.4	Não inserção da placa de vedação	8	2	2	OP 30.4
OP 30.5	<u>Dano ao anel de retenção ou não inserção deste</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>OP 110</u>
OP 40	Não inserção do pistão com anel	8	3	2	OP 40
<u>OP 40</u>	<u>Anel do pistão danificado</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>OP 110</u>
OP 50	Não montagem da mola	8	2	3	OP 50
OP 60	Má cravação da tampa	8	2	3	OP 60

Quadro 5: Etapas de detecção da falha no FMEA de processo da montagem do módulo ABS

Fonte: Os autores.

O custo da falha é menor quando a origem e detecção ocorrem na mesma etapa, ou seja, os custos de falha aumentam à medida que a origem e a detecção se tornam mais distantes (Rhee & Spencer, 2003).

Dessa forma, os custos foram determinados conforme proposto por Degen *et al.* (2010), ou seja, quanto mais próximo do final do processo, maior será o risco econômico incorporado aos modos de falha. Portanto, um produto reprovado na última operação pode gerar um prejuízo de 100% do valor produto.

O Quadro 6 apresenta o custo acumulado em cada etapa do processo de montagem do módulo ABS.

Etapa do Processo	Custo Acumulado (%)
OP 10	0,091 = 9,1%
OP 20	0,092 = 9,2%
OP 30	0,109 = 10,9%
OP 40	0,116 = 11,6%
OP 50	0,118 = 11,8%
OP 60	0,12 = 12,0%
OP 70	0,27 = 27,0%
OP 80	0,677 = 67,7%
OP 90	0,929 = 92,9%
OP 100	0,97 = 97,0%
OP 110	0,971 = 97,1%
OP 120	0,993 = 99,3%
OP 130	1 = 100%

Quadro 6: Custo acumulado do processo de montagem do módulo ABS

Fonte: Os autores.

Para determinar o custo na detecção (CD), foi utilizada a porcentagem decimal mostrada na Figura 6. A fim de exemplificar, a etapa do processo OP 80 representa 67,7 % do custo total da peça, ou seja, utilizou-se a porcentagem decimal 0,677 no cálculo.

No cálculo do novo índice de ocorrência ($O \times CD$), foi multiplicado o valor da ocorrência (O) pelo custo de detecção (CD). A seguir, o Quadro 7 apresenta os novos índices de ocorrência para cada etapa do processo.

3.2 Análise dos resultados

O Quadro 8 apresenta os resultados obtidos na priorização da análise de risco utilizada pelos três métodos: (I) SOD, priorização utilizada atualmente pela empresa estudada; (II) método proposto por Degen *et al.* (2010), no qual estabelecem a priorização: S (OxC) D; (III) e o método proposto de inserção dos custos de ocorrência no momento da detecção da falha (S ($O \times CD$) D).

Observa-se, no Quadro 8, que a análise de risco, conforme a priorização SOD, são, respectivamente, as etapas do processo 30.3, 40 e 30.5; e, de acordo com a priorização de Degen *et al.* (2010), S ($O \times C$) D, são as etapas 40, 30.3 e 60, nessa ordem. Com o novo método proposto as etapas a serem priorizadas são 30.5 (dano ao anel de retenção ou não inserção deste) e 40 (anel do pistão danificado). Para que a comparação entre os métodos de priorização para análise de risco fique mais clara, foi inserido o valor do custo da ocorrência da falha na etapa de detecção em cada um dos métodos estudados no Quadro 9.

O Quadro 9 apresenta que o impacto financeiro na ocorrência de uma falha na etapa OP 30.5 é maior que nas etapas OP 30.3 e OP 40.

No Quadro 10, é possível quantificar de modo mais assertivo a diferença percentual do custo total da peça em caso de uma falha.

Etapa do Processo	Modo de Falha	S	O	Etapa de detecção	Custo na detecção (CD)	Índice O x CD	D
OP 20	Não inserção da esfera	8	2	OP 20	0,092	0,184	2
OP 30.1	Não inserção do anel guia	8	2	OP 30.1	0,094	0,187	2
OP 30.2	Não inserção do anel de vedação	8	2	OP 30.2	0,096	0,191	2
OP 30.3	Não inserção do filtro	8	3	OP 30.3	0,099	0,297	2
OP 30.4	Não inserção da placa de vedação	8	2	OP 30.4	0,104	0,207	2
<u>OP 30.5</u>	<u>Dano ao anel de retenção ou não inserção deste</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>OP 110</u>	<u>0,971</u>	<u>1,941</u>	<u>4</u>
OP 40	Não inserção do pistão com anel	8	3	OP 40	0,116	0,348	2
<u>OP 40</u>	<u>Anel do pistão danificado</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>OP 110</u>	<u>0,971</u>	<u>1,941</u>	<u>4</u>
OP 50	Não montagem da mola	8	2	OP 50	0,118	0,235	3
OP 60	Má cravação da tampa	8	2	OP 60	0,120	0,240	3

Quadro 7: Novos índices de ocorrência para cada etapa do processo

Fonte: Os autores.

Etapa do Processo	Modo de Falha	S	O	D	Priorização	Priorização
					S O D	S (O x C) D Degen <i>et al</i>
OP 20	Não inserção da esfera	8	2	2	7º	10º
OP 30.1	Não inserção do anel guia	8	2	2	8º	9º
OP 30.2	Não inserção do anel de vedação	8	2	2	9º	8º
OP 30.3	Não inserção do filtro	8	3	2	1º	2º
OP 30.4	Não inserção da placa de vedação	8	2	2	10º	7º
<u>OP 30.5</u>	<u>Dano ao anel de retenção ou não inserção deste</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>3º</u>	<u>6º</u>
OP 40	Não inserção do pistão com anel	8	3	2	2º	1º
<u>OP 40</u>	<u>Anel do pistão danificado</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>4º</u>	<u>5º</u>
OP 50	Não montagem da mola	8	2	3	5º	4º
OP 60	Má cravação da tampa	8	2	3	6º	3º

Quadro 8: Comparação da priorização da análise de risco no FMEA de processo

Fonte: Os autores.

Comparando-se as alternativas de priorização de risco, pode-se afirmar que uma falha ocorrida na etapa OP 30.5 (nova proposta) tem um

custo nove vezes maior que uma ocorrida na OP 30.3 (proposta SOD), e oito vezes maior que na OP 40 (proposta de Degen *et al.* (2010)).

Etapa do Processo	Modo de Falha	Priorização S O D	Priorização	Priorização	Ocorrência vezes
			S (O x C) D Degen <i>et al</i>	S (O x CD) D Nova Proposta	custo da ocorrência na detecção (O x CD)
OP 30.3	Não inserção do filtro	1º	2º	4º	0,297
OP 30.5	Dano ao anel de retenção ou não inserção deste	3º	6º	1º	1,941
OP 40	Não inserção do pistão com anel	2º	1º	3º	0,348

Quadro 9: Comparação entre os métodos de priorização de risco – SOD, Degen *et al.* (2010) e nova proposta – com o valor de custo da ocorrência na detecção

Fonte: Os autores.

	Etapa do processo na ocorrência da falha	Etapa do processo de detecção da falha	Porcentagem do custo total da peça em caso de falha
Item a ser priorizado na alternativa SOD	OP 30.3	OP 30.3	9,9%
Item a ser priorizado na alternativa Degen <i>et al.</i>	OP 40	OP 40	11,6%
Item a ser priorizado na nova proposta	OP 30.5	OP 110	97,1%

Quadro 10: Comparativo das alternativas de priorizações de risco e da porcentagem do custo total da peça

Fonte: Os autores.

4 Considerações finais

Segundo as pesquisas realizadas, a aplicação de custos no FMEA vem sendo estudada desde 1993, com Gilchrist (1993), e grande parte dos artigos relacionados ao assunto é internacional. A exploração do tema iniciou-se no Brasil com Degen *et al.* (2010).

A aplicação dos custos de ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção no FMEA possibilita a alteração significativa das priorizações de modo a apresentar qual etapa do processo tem maior impacto financeiro na empresa quando ocorre o modo de falha previsto no FMEA.

Com a aplicação do método apresentado de priorização na análise de risco, as empresas podem focar suas ações corretivas na operação e,

dessa maneira, gerar maior valor de refugo interno, o que possibilita minimizar impactos negativos à organização.

Este novo método desenvolvido complementa o proposto por Degen *et al.* (2010), uma vez que a detecção da falha pode ocorrer em etapas posteriores, assim, agregando mais valor ao produto que pode vir a ser rejeitado. Este tipo de situação ocorre com mais frequência em linhas de montagem em que o problema pode ser detectado nos testes funcionais.

Em razão de a atual pesquisa ter sido realizada em uma única empresa (evento único), sugere-se a aplicação do método apresentado em outras organizações e outros processos produtivos para verificar seu grau de generalização (Souza, 2005; Eisenhardt, 1989).

Referências

- ABNT NBR ISO 31000 (2009). Gestão de riscos – princípios e diretrizes (1a ed.). Rio de Janeiro: ABNT.
- Aguiar, D. C., & Salomon, V. (2006, outubro). Levantamento de erros na aplicação de FMEA de processo em empresas dos níveis mais inferiores da cadeia de fornecimento da indústria automotiva. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza, CE, Brasil, 26.
- Aguiar, D. C., & Mello, C. H. P. (2008, outubro) FMEA de processo: uma proposta de aplicação baseada nos conceitos da ISO 9001:2000. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 28.
- Almeida, D. (2008). *Descrição da implementação da ferramenta FMEA no processo de montagem do eixo traseiro de um veículo em uma indústria automobilística*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, Brasil.
- Automotive Industry Action Group. (2008). *Análise de Modo de Falha Potencial (FMEA)* [Manual de referência] (4a ed.). Tradução Instituto de Qualidade Automotiva (IQA). São Paulo: IQA.
- Bastos, A. L. A. (2006, outubro). FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) como ferramenta de prevenção da qualidade em produtos e processos – uma avaliação da aplicação em um processo produtivo de usinagem de engrenagem. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Fortaleza, CE, Brasil, 26.
- Braglia, M. (2000). MAFMA: multi-attribute failure mode analysis [versão eletrônica]. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 10(9), 1017-1033.
- Cagnin, F., Oliveira, M. C., & Assumpção, M. R. P. (2015, outubro). A gestão de riscos inserida no sistema de gestão da qualidade. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Fortaleza, CE, Brasil, 35.
- Castilho, K. A. (2007). *O gerenciamento dos riscos através da metodologia FMEA – análise de modo e efeitos de falha*. Dissertação de mestrado, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, SP, Brasil.
- Cavalcanti, R. C., & Farias J. R. de, Filho (2015, agosto). Ferramentas da qualidade auxiliando na otimização dos processos do setor de manutenção: um estudo de caso na indústria automobilística. *Anais do Congresso Nacional De Excelência Em Gestão*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 11.
- Degen, E., Borchardt, M., Pereira, G., & Sellitto, M. (2010, outubro). Proposta de um método para avaliação de riscos em FMEA considerando o custo de ocorrência do modo de falha. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. São Carlos, SP, Brasil, 30.
- Domingues, R. M. (2008). *Uso do FMEA como ferramenta para análise de riscos em projetos*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Dong, C. (2007) Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation [versão eletrônica], *International Journal of Quality and Reliability Management*, 4(9), 958-971.
- Eisenhardt, K. M. (1989) Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532-550.
- Fernandes, J. M. R., & Rebelato, M. G. (2006) Proposta de um método para integração entre QDF e FMEA [versão eletrônica]. *Gestão e Produção*, 13(2), 245-259.
- Franceschini, F., & Galetto, M. (2001). A new approach for risk priorities of failure modes in FMEA [versão eletrônica]. *International Journal of Production Research*, 39(13), 2991-3002.
- Gilchrist, W. (1993). Modelling failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 10(5), 16-23.
- Helman, H., & Andery, P. (1995). *Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni.
- Kmenta, S., & Ishii, K. (2000, setembro). Scenario-based FMEA: a life cycle cost perspective. *Proceedings of Design Engineering Technical Conferences*. Baltimore, Maryland, USA.
- Maluf, W. M. M., Filho (2008). *Modelo para gestão do desenvolvimento e produção de pneus fornecidos para a indústria automobilística*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Martins, E. (2003). *Contabilidade de custos*. (5a ed.) São Paulo: Atlas.
- Mello, J. G. C., & Oliveira, A. R. (2004, novembro). Ferramentas da Administração no Monitoramento da Função Qualidade na Daimler Chrysler. *Anais do Simpósio de Engenharia de Produção*. Bauru, SP, Brasil, 11.
- Miguel, P. A. C., & Segismundo, A. (2008). O papel do FMEA no processo de tomada de decisão em desenvolvimento de novos produtos: estudo em uma empresa automotiva. *Produto & Produção*, 9(2), 106-119.
- Miguel, P. A. C. (2007). Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Produção*, 17(1), 216-229.
- Moura, C. (2000). *Análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA)* [manual de referência] (4a ed.). Instituto de Qualidade Automotiva (IQA). São Paulo: IQA
- Project Management Institute. (2013). *PMBOK guide – Project Management Body of Knowledge* (5a ed.). Pennsylvania: Guia PMBOK.

Ramos, H. A., Chaves, C. A., & Brandalise, N. (2012, novembro) Aplicação do Método FMEA no Processo de Climatização de uma Indústria Automobilística. *Anais do Simpósio de Excelência em Gestão em Tecnologia*. Resende, RJ, Brasil, 9.

Rezare, M. J., Salimi, A., & Yoousefi, S. (2016). Identifying and managing failures in stone processing industry using cost-based FMEA. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(9), 3329-3342.

Rhee, S. J., & Ishii, K. (2003). Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. *Advanced Engineering Informatics*, 17(3), 179-188.

Santana, A., & Massarini, M. (2005). *Engenharia do valor associada ao DFMEA no desenvolvimento do produto*. São Paulo: Society of Automotive Engineers.

Santos, F. R. S., & Cabral, S. (2008). FMEA and PMBOK applied to Project Risk Management. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 5(2), 347-364.

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2002). *Administração da produção* (2a ed.). São Paulo: Atlas.

Souza, I. A. (2006). *Prevenção de falhas em projetos nascentes – uma aplicação do FMEA*. Monografia para graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Souza, R. (2005, fevereiro) Case research in operations management. In. *Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management*. Bruxelas, Bélgica.

Spencer, C. M., & Rhee, S. J. (2003) Cost based failure modes and effects analysis (FMEA) for systems of accelerator magnets. *Proceedings of the Particle Accelerator Conference*, 2177-2179.

Tahara, S. (2012). FMEA – Failures Mode and Effect Analysis. Disponível em: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/FMEA-Failure-Mode-and-Effect-Analysis>

Tarum, C. D. (2001). FMERA-failure modes, effects, and (financial) risk analysis [versão eletrônica]. *SAE Technical Paper*, 2001-01-0375.

Recebido em 2 nov. 2016 / aprovado em 20 mar. 2017

Para referenciar este texto

Ferreira, J. C., Rodrigues, M. C., Franciscato, L. S., & Correr, I. Proposta de um método para priorização de risco em FMEA considerando custo de ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 487-499, 2017.