

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO CÂMPUS CURITIBA**  
**ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

**GYL ELOY DOS SANTOS SOARES**

**DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS: COMPLEMENTO AO**  
**FMEA NA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE PRODUTOS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2014**

**GYL ELOY DOS SANTOS SOARES**

**DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS: COMPLEMENTO AO  
FMEA NA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE PRODUTOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão do Desenvolvimento de Produtos, da Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Curitiba, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho

**CURITIBA**

**2014**

## RESUMO

SOARES, Gyl Eloy dos Santos. **Determinação antecipada de falhas: complemento ao FMEA na análise da confiabilidade de produtos**. 2014. 20p. Monografia (Especialização em Gestão do Desenvolvimento de Produtos) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Atualmente as empresas vêm desenvolvendo novas metodologias e utilizando com mais frequência ferramentas de qualidade como estratégia competitiva durante o processo de desenvolvimento de produto, visando melhoria dos resultados e redução de falhas dos seus produtos. O objetivo desse trabalho foi verificar possíveis falhas apontadas na aplicação do FMEA em uma empresa multinacional e explorar a utilização da ferramenta AFD para antecipar essas possíveis falhas e a resolução das mesmas. Inicialmente foi realizada uma análise de dois casos de falhas identificadas após o lançamento dos produtos ainda que analisados previamente através da ferramenta FMEA durante o processo de desenvolvimento. Em um segundo momento foi verificado se a ferramenta AFD seria capaz de trazer alternativas diferenciadas de resolução ou prevenção dos problemas levantados durante o desenvolvimento dos dois produtos lançados pela empresa. Ambos os métodos são eficazes no quesito de mostrar os problemas ao time de projeto, no entanto para o FMEA, a possibilidade de uso incorreto da ferramenta e no período incorreto do ciclo de desenvolvimento do produto pode mascarar falhas potenciais. Desta forma o AFD, pela característica exploratória das falhas, pode ser um complemento de valor ao FMEA na análise de falhas graves e com tempo reduzido de aplicação possibilitando a melhoria de qualidade do produto durante o seu desenvolvimento.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento de Produto, FMEA, AFD, TRIZ

## ABSTRACT

SOARES, Gyl Eloy dos Santos. **Early determination of fault: in addition to the FMEA analysis of product reliability.** 2014. 20p. Monograph (Specialization in Product Development Management) - Director of Research and Graduate Campus of Curitiba, Federal Technological University of Paraná.

Currently companies are developing new methodologies and more often using quality tools such as competitive strategy during the product development process to improve results and reduce failures of their products. The aim of this study was to determine possible failures identified in the application of FMEA in a multinational company and explore the use of AFD tool to anticipate these possible failures and the resolution thereof. Was initially performed an analysis of two cases of failures identified after the release of the products although previously analyzed by FMEA tool during the development process. In a second step it was checked whether the AFD tool would be able to bring differentiated alternative resolution or prevention of the problems raised during the development of two products launched by the company. Both methods are effective in the item to show the problems the project team, however for the FMEA, the possibility of misuse of the tool and the wrong period of the product development cycle can mask potential failures. Thus, the AFD, the scanning characteristic of the fault, may be a value to the FMEA complement the analysis of major faults and reduced application time enabling the improvement of quality of the product during its development.

**Keywords:** Product Development, FMEA, AFD, TRIZ.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>05</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>08</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>13</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>18</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>19</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As demandas dos consumidores se expandem diariamente aumentando a necessidade por novos produtos. Essas demandas causam um processo de criação de políticas na indústria cada dia mais complexo para o desenvolvimento de um novo produto, capaz de satisfazer a expectativa de seus clientes em termos de qualidade percebida, confiabilidade e robustez (CARVALHO, 1991).

Percebe-se ainda que o aumento de funcionalidade dos produtos, a maior complexidade devido a avanços tecnológicos, e a diminuição de tempo de desenvolvimento dos produtos aumentam a dificuldade de desenvolver produtos com qualidade e confiabilidade (MIZUNO, 2010). Segundo Carvalho (1991) a qualidade é um fator crítico de sucesso do resultado que a organização busca no dia-a-dia.

Desta forma, o processo de desenvolvimento de produtos vem sofrendo mudanças principalmente pela preocupação das empresas na busca por novas soluções de qualidade e que venham a agradar o cliente bem como mantê-lo fiel à marca. As mudanças nas metodologias de trabalho em busca de maior eficácia dentro da indústria tornam-se cada dia mais necessárias devido à pressão sofrida por elas através da globalização. Esta realidade traz concorrência externa para os mercados emergentes e permite que empresas entrem no país com produtos inovadores e com preços agressivos (GORODNICHENKO *et al.*, 2010).

Por este motivo, as empresas vêm desenvolvendo novas metodologias e fazendo uso mais frequente de ferramentas de qualidade como estratégia competitiva durante o processo de desenvolvimento de produto (PDP), visando melhoria dos resultados e redução de falhas dos seus produtos. O PDP é a busca de uma solução para um problema do cliente, onde a equipe de desenvolvimento trabalha em busca de soluções para uma ampla variedade de problemas (DE CARVALHO e BACK, 2000).

Os fabricantes de produtos podem assumir que entendem o ambiente do mercado-alvo, no entanto alguns consumidores estão dispostos a fazer experiências com o produto de maneiras inusitadas, perigosas e em locais incomuns. Além disso, segundo Juran

(2000) a tecnologia coloca produtos perigosos nas mãos de amadores que nem sempre possuem habilidades específicas para manuseá-los sem causar acidentes.

O FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é uma ferramenta muito conhecida e largamente utilizada pelas empresas desenvolvedoras de produtos. No entanto esta possui algumas desvantagens como dependência de dados sobre o produto para sua análise, imprecisão nos valores de RPN (*Risk Priority Number*), além de ser considerado em alguns casos apenas como o cumprimento de uma atividade de qualidade ou requisito de auditoria (JOHNSON e KHAN, 2003).

Para Prakash e Sujit (2009) a prática do FMEA atual tem mostrado que a maior crítica é a incapacidade para influenciar a concepção, porque a escala de tempo de análise muitas vezes ultrapassa a fase de desenvolvimento do projeto. Em concordância com esta ideia Bertsche (2008) afirma que a execução do FMEA deve ser contínua, acompanhando o ciclo de desenvolvimento do produto, não sendo seu formulário tratado como um documento estático.

Na pesquisa de Laurenti e Rozenfeld (2009), alguns problemas são encontrados referentes à previsão de falhas na utilização do FMEA, sendo elas a análise de mudanças de engenharia, o momento de aplicação do FMEA no ciclo do PDP, a integração do FMEA com o PDP e com outros métodos e à reutilização de conhecimentos sobre falhas.

A aplicação de uma metodologia sistêmica colabora para a solução de problemas no desenvolvimento de novos produtos auxiliando ainda na redução do tempo de desenvolvimento do projeto. A TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas) é uma metodologia de solução de problemas, adotada por algumas empresas, principalmente na área de engenharia.

No setor industrial, a capacidade de transformar rapidamente uma ideia criativa em um produto inovador é uma vantagem competitiva tecnológica. A análise de contradições baseadas na TRIZ tende a ser, em geral, mais fácil, mais barata e mais rápida que a análise da causa raiz (STRATTON e MANN, 2003).

A AFD (*Antecipatory Failure Determination*) é uma ferramenta da TRIZ conhecida como uma metodologia de resolução de problemas utilizada durante a fase de desenvolvimento de produtos com o objetivo de prevenir, reduzir ou eliminar efeitos de

problemas previstos. Segundo Kaplan *et al.* (1999) a AFD é aplicada para a identificação de possíveis falhas que ainda não ocorreram, chamado de previsão falha.

Esta ferramenta é diferente das metodologias mais conhecidas e utilizadas pela maioria das empresas como método de prevenção de falhas porque inverte o processo de análise, pois em vez de explorar as falhas potenciais, o utilizador deve identificar as diferentes formas de produzi-las. Deste modo, introduzem-se sucessivas melhorias no projeto do produto em causa, tornando-o mais robusto.

A atual pesquisa trata de um estudo de caso realizado em uma empresa multinacional de fabricação de produtos da linha branca que não realiza de forma sistemática o uso da ferramenta AFD e tem como método de análise de falhas o FMEA. Uma vez que é muito difícil prever futuras falhas com os métodos tradicionais de análise de falhas e risco na fase de projeto, principalmente por deficiência de informações, este artigo tem o objetivo principal aplicar o AFD a um item de dois produtos diferentes onde o FMEA foi realizado pela empresa em questão, comparar os resultados obtidos nas duas ferramentas e verificar se a AFD poderia ser usada apenas como forma paralela ao FMEA, ou se a ferramenta possui um método eficaz o suficiente de trazer alternativas diferenciadas de resolução de problemas eliminando a necessidade de outras metodologias de análise de falhas.

Com este intuito inicialmente foi realizada uma análise de dois casos de falhas identificadas após o lançamento dos produtos ainda que analisados previamente pelo FMEA durante o processo de desenvolvimento.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente, novos desafios estão surgindo na área de desenvolvimento de produtos. A necessidade de redução em custos e prazos de desenvolvimento, maior exigência dos consumidores quanto à qualidade e segurança, a rápida evolução de novos materiais e métodos em sistemas complexos contribuem para que análises de confiabilidade tenham absoluta relevância no desenvolvimento de produtos (MAPA *et al.*, 2005).

A TRIZ se enquadra neste contexto, uma vez que conforme Barahona (2003) a primeira parte da contribuição de Altshuller, desenvolvedor da TRIZ, está no campo da previsão tecnológica. Se um especialista pode antecipar qual deve ser o próximo passo na evolução de um produto e, por vezes, até mesmo a sua evolução tecnológica, ele ou ela está em uma melhor posição para tomar decisões e resolver problemas futuros.

A TRIZ é um acrônimo russo sendo traduzido normalmente como Teoria da Solução Inventiva de Problemas, que foi desenvolvida entre 1940 e 1980 pelo cientista russo Genrich Altshuller, mas em 1990 se tornou uma ferramenta mais popular principalmente nos Estados Unidos, sendo utilizada por grandes e renomadas empresas. Essencialmente o que a TRIZ faz é identificar, exagerar e eliminar contradições técnicas e físicas em sistemas e processos técnicos, em vez de tentar encontrar um compromisso vago (LIVOTOV, 2008).

A definição de Savransky (2000) é que a TRIZ é uma metodologia sistemática, orientada ao ser humano, baseada em conhecimento, para a solução inventiva de problemas. A TRIZ é orientada ao ser humano porque suas heurísticas são para uso humano, não computacional, no entanto softwares e ferramentas computacionais de TRIZ existem e podem auxiliar o processo de solução de problemas.

Segundo de Carvalho (2007), o caráter heurístico da TRIZ fundamenta-se no uso de métodos estruturados para orientar a solução de problemas buscando evitar que o solucionador de problemas precise confiar somente na intuição.

A relevância da teoria do AFD para a análise de risco está enraizada no fato de que a revelação e identificação de cenários de falha é fundamentalmente um ato criativo,

mas ele deve ser realizado de forma sistemática, de forma exaustiva e com diligência (KAPLAN *et al.*, 1999).

A principal diferença entre o AFD e as técnicas convencionais, como FMEA, é a perspectiva em que as falhas potenciais são determinadas (IDEATION, 2012). No estudo de Prakash e Sujit (2009) uma análise comparativa entre o FMEA e AFD é realizada com o intuito de mostrar as principais diferenças e sinergia entre os dois métodos através da análise de um problema já conhecido de rachaduras nos discos de um moedor de alimentos onde pode-se verificar a natureza proativa da técnica AFD. Para Zeihnel *et al.* (2012) o AFD vai além das metodologias convencionais por ser um método estruturado para revelação de falhas capaz de alcançar um conjunto abrangente de falhas potenciais. Isso é abrangido em seu estudo através da avaliação de um problema na etiqueta de segurança do produto de um aerossol inseticida onde mostra-se necessário proporcionar todos os danos possíveis de ocorrer ao usuário do aerossol, mesmo com a ajuda da etiqueta de segurança.

Segundo De Carvalho (2007) recursos são elementos da própria situação problemática ou do seu entorno que podem ser mobilizados para solucionar ou contribuir para a solução de um problema, podendo estar prontamente disponíveis para uso ou necessitar de modificações para que possam ser aproveitados.

Para Kosse (2010) a técnica do AFD é considerada altamente efetiva tanto para análise de falhas, quanto para predição de falhas durante a fase inicial do projeto.

A previsão de falhas é um procedimento sistemático para identificar de antemão, e em seguida, a prevenção de todos os eventos perigosos ou nocivos que podem estar associados a um sistema. O AFD é particularmente adequado para uma classe de cenários de importância atual, ou seja, aqueles que envolvem o erro humano, sabotagem ou terrorismo (IDEATION, 2004).

Segundo Kaplan (1999) o AFD pode ser utilizado em várias áreas da atividade humana, como tecnologia, negócios, até mesmo no cotidiano, ou onde quer que haja necessidade de:

- Revelar causa raiz de um problema, ação sem sucesso, falha de manufatura, ou acidente;
- Predizer futuros problemas, acidentes ou erros;

- Desenvolver formas simples e efetivas de prevenção destes problemas.

A ferramenta AFD possui duas formas básicas de aplicação, sendo a primeira para encontrar a causa de uma falha que já ocorreu, ou seja, a análise da falha, similar a outras ferramentas largamente utilizadas pelas indústrias, como o FMEA. A segunda é a aplicação da AFD para identificar antecipadamente e, em seguida, prevenir, todos os eventos perigosos ou nocivos que podem estar associados com um sistema (esta é chamada de predição ou previsão de falhas).

Potenciais falhas do sistema são vistas de uma perspectiva que permite a plena exploração das fraquezas de um sistema que uma vez explicitadas, permitem à equipe ou indivíduo tomar medidas mais eficazes. A prevenção de falhas é transformação de um exercício defensivo em um exercício ofensivo criando um processo contínuo para a determinação e prevenção de falhas (UNGVARI, 1999).

O estudo de prevenção de falhas durante o desenvolvimento de produtos é convertido em qualidade ao consumidor, pois conforme Posso (2007) o mercado cada vez mais competitivo tem forçado as indústrias a buscar cada vez mais a melhoria de seus produtos e processos. Empresas que se mostram mais eficientes nesta tarefa têm se destacado pela obtenção do reconhecimento de seus clientes, concretizado pelo sucesso de seus produtos no mercado.

### 3 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido em uma indústria multinacional referência em desenvolvimento de eletrodomésticos consolidada no mercado com aproximadamente 100 anos de existência e presente em mais de 150 países.

Dentre os produtos fabricados pela marca, encontram-se uma grande quantidade de modelos de refrigeradores, freezers, lavadoras, fornos de micro-ondas, condicionadores de ar e fogões de bancada, além de uma gama de eletroportáteis que levam o nome da marca.

Todos os dados coletados e a planilha do FMEA foram extraídos do banco de dados de análise de riscos utilizado pela engenharia da qualidade da indústria em questão. A análise feita pelo FMEA será colocada em forma de tabela como utilizado durante a reunião. Foram escolhidos dois casos de falha encontrados em campo de dois produtos diferentes da linha oferecida pela empresa, considerando como um dos critérios a gravidade da falha, que nos casos apresentados não permitiriam mais o correto funcionamento do produto, obrigando o consumidor a recorrer à assistência técnica.

Nas informações analisadas do banco de dados da empresa, foram verificados que os itens discutidos na reunião de FMEA são o sistema, função, modo de falha, severidade, efeito da falha, ocorrência, potencial causa, detecção, RPN e as ações possíveis de serem tomadas.

Em um segundo momento foi verificado se a ferramenta AFD seria capaz de trazer alternativas diferenciadas de resolução ou prevenção dos problemas levantados durante o desenvolvimento dos dois produtos lançados pela empresa, de forma mais simples, baseado em alguns passos básicos para a formulação e aplicação da ferramenta.

Tendo em vista que a indústria não pratica o uso da ferramenta AFD, o levantamento de hipóteses e a análise dos dados desta ferramenta foi realizada apenas por um engenheiro de desenvolvimento de produtos.

Para aplicação e análise da ferramenta AFD, os seguintes passos foram seguidos:

Passo 1: Identificar o sistema – Formular o problema original.

Passo 2: Identificar o efeito indesejado.

Passo 3: Inverter o problema. Como causar o problema dado o sistema existente?

Passo 4: Identificar os recursos necessários para fazer o efeito acontecer, caso existam.

Passo 5: Analisar os efeitos nocivos revelados.

Passo 6: Possível solução para eliminar o problema.

Para avaliação entre os métodos, nesta pesquisa adotou-se como parâmetro de comparação a identificação da causa raiz da falha, a complexidade do uso da ferramenta e a efetividade da mesma na predição de falhas do produto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em ambos os casos de FMEA realizados na empresa fabricante de produtos da linha branca e apresentados na sequência, verifica-se que se misturam ações relacionadas ao FMEA de processo tirando o foco da melhoria do produto ainda durante seu desenvolvimento. Na tabela 1, verifica-se parte da avaliação de um FMEA realizado na empresa fabricante de condicionadores de ar. Foram extraídos apenas subsistemas que têm relação com o problema principal, e em seguida o estudo de previsão de falha para o mesmo problema, conforme descrito a seguir. A descrição do problema neste caso é de que o produto não refrigera o ambiente e ocorre acionamento da proteção da unidade externa.

Tabela 1 – Exemplo de FMEA

Sistema	Função	Potencial Causa / MF	S	Efeito de falha	O	Causa potencial	D	RPN	Ações
Compressor	Bombear fluido refrigerante	Travamento, curto circuito, ruído	9	Produto não resfria ambiente	3	Impureza no compressor / falha	3	81	Acompanhar dados de campo
Tubulação de entrada	Transporte do fluido Refrigerante	Vazamento	7	Não estabiliza pressão	4	Congelamento evap. e sucção	4	112	Controle de processo
Tubulação de saída	Transporte do fluido Refrigerante	Entupimento	8	Circuito de proteção de pressão atua	2	Impureza na tubulação	2	32	Orientação à assistência
		Vazamento	7	Não estabiliza pressão	4	Congelamento evap. e sucção	4	112	Controle de processo
Sensor de pressão	Evitar pressão muito alta	Led de falha aciona	4	Produto pára de funcionar	5	Produto não liga	2	40	-
Sensor de temperatura	Controle de temperatura do compressor	Desliga o compressor	4	Compressor cicla entre liga e desliga	4	Produto não resfria ambiente	5	80	Teste de condições severas de temperatura
Capilar	Manter diferencial de pressão	Obstruído Torcido	7	Circuito de proteção de pressão atua	6	Congelamento evaporador / Aciona proteção	5	210	-
Filtro	Reter impurezas	Entupido	5	Circuito de proteção de pressão atua	4	Congelamento evaporador / Aciona proteção	5	100	Orientação à assistência
Condensador	Dissipar calor absorvido pelo fluido	Falha de solda com a tubulação	7	Não estabiliza pressão	3	Congelamento Ruído	6	126	Orientação à assistência

Nota: MF – Mecanismo de Falha; S – Severidade; O – Ocorrência; D – Detecção; RPN – *Risk Priority Number*

Escala de valores de S, O e D de 0 a 10 de acordo com a severidade da falha sobre o produto, ocorrência da causa e probabilidade de controle e de detecção da falha, respectivamente.

RPN é o resultado da multiplicação dos valores atribuídos a severidade, ocorrência e detecção. Quanto maior o RPN maior é a criticidade da falha.

Fonte: Elaboração Própria

Para o mesmo problema proposto no FMEA da tabela 1, aplicou-se a ferramenta AFD através dos passos descritos na metodologia:

Passo 1: O sistema analisado é falha de uma unidade externa de um condicionador de ar que para de funcionar ativando o sistema de proteção e conseqüentemente não refrigerando o ambiente.

Passo 2: O propósito é identificar a razão da falha da unidade externa e consequente proteção do seu sistema que acarreta na não refrigeração do ambiente.

Passo 3: Para causar a falha da unidade externa, as hipóteses são provocar entupimento parcial e total nas tubulações de entrada e saída além do capilar e do filtro do sistema, sendo que cada item deve ser entupido individualmente para identificar as características específicas de cada ponto, e posteriormente colocar o produto em funcionamento sob condições controladas de temperatura. A ampliação do problema se dá no caso de falha do sensor de pressão além do entupimento.

Passo 4: Os recursos são demonstrados conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Utilização de Recursos

TIPO DE RECURSO	DESCRIÇÃO
<b>Substância</b>	
Matéria prima da tubulação	Resíduos de Cobre
Matéria prima do compressor	Resíduos de Ferro
Matéria prima do evaporador	Resíduos de Alumínio
<b>Energia</b>	
Trocador de calor	Energia térmica
Compressor	Energia mecânica
<b>Espaço</b>	
Câmara de testes	Controle de temperatura
<b>Tempo</b>	
Duração do teste até evidência do problema	Sistema utilizado durante o período em que o produto está refrigerando.

Fonte: Elaboração Própria

Passo 5: Algumas impurezas podem acabar se depositando na tubulação e acumulando-se no filtro do sistema ou no tubo capilar, podendo bloquear parcial ou totalmente a passagem de gás. Como a restrição ou bloqueio da passagem do fluido altera as pressões, o sensor de pressão atua para proteção do sistema. O congelamento dos tubos também ocorre devido ao excesso da perda de carga do fluido devido a restrição causada pelos dejetos, realizando a evaporação do fluido em temperaturas abaixo de zero.

A ocorrência deste problema somado a uma possível falha do sensor de pressão pode acarretar em danos mais sérios ao produto e comprometer a segurança do usuário.

Passo 6: A possível solução é criar filtro removível, possibilitando a limpeza das impurezas ou troca do mesmo.

Na tabela 2, tem-se o segundo exemplo da avaliação de um FMEA realizado na empresa fabricante de produtos de linha branca. O produto em questão é um umidificador de ar com projeto em parceria com fornecedores chineses e foram extraídos da análise apenas subsistemas que tem relação com o problema principal, e em seguida o estudo de previsão de falha para o mesmo problema, conforme descrito a seguir. A descrição do problema neste caso é a falha no travamento do reservatório de água de um umidificador de ar em sua base.

Tabela 2 – Exemplo de FMEA

Sistema	Função	Potencial Causa / MF	S	Efeito de falha	O	Causa potencial	D	RPN	Ações
Reservatório	Abastecimento de água	Quebra	7	Quebra do tanque	2	Montagem incorreta pelo consumidor	8	112	-
Travas	Fixar o reservatório na base	Quebra Mal encaixado	7	Quebra das travas	5	Montagem incorreta pelo consumidor esquecer-se de travar um lado, fadiga da trava	10	350	Teste de esforço / Reforço da trava plástica
Encaixe das travas	Parte da base onde ocorre o click das travas	Quebra	7	Quebra dos encaixes plásticos	3	Montagem incorreta pelo consumidor	10	210	-
Base	Abastecimento e vedação de água	Quebra	8	Não gera névoa suficiente	2	Vazamento de água Funcionamento intermitente do produto	8	128	Teste ambiental / ressecamento do material
Válvula	Controle da passagem de água	Fadiga da mola da válvula	5	Gotejamento de água	5	Não libera passagem de água	7	175	Ensaio de fadiga
Bico direcionador	Parte móvel para direcionar a saída da névoa	Travamento	2	Soltar durante manuseio ou transporte	3	Não permite o direcionamento da névoa	8	48	-
Saída	Saída da névoa	Obstrução	2	Consumidor abastecer água na saída da névoa	2	Não sai névoa Vazamento de água	10	40	Teste de vida
Alça	Carregar o produto	Soltar / Quebrar	4	Estético	2	Manuseio incorreto	10	80	Teste ambiental / ressecamento do material

Nota: MF – Mecanismo de Falha; S – Severidade; O – Ocorrência; D – Detecção; RPN – *Risk Priority Number*

Escala de valores de S, O e D de 0 a 10 de acordo com a severidade da falha sobre o produto, ocorrência da causa e probabilidade de controle e de detecção da falha, respectivamente.

RPN é o resultado da multiplicação dos valores atribuídos a severidade, ocorrência e detecção.

Quanto maior o RPN maior é a criticidade da falha.

Fonte: Elaboração Própria

Neste segundo exemplo avaliou-se um umidificador também através da análise do AFD conforme os passos abaixo:



Passo 1: O sistema analisado é o reservatório de água do umidificador que se quebra durante a movimentação do produto pelo usuário, não realizando mais o encaixe com sua base, ou até mesmo causando vazamento de água pela trinca ocorrida.

Passo 2: O propósito é identificar a razão das trincas, quebra do reservatório ou fenômenos indesejados que façam o sistema falhar.

Passo 3: É necessário reproduzir o problema da fissura ou quebra do reservatório de água. Para isso, as hipóteses levantadas para causar falhas no reservatório foram fixar apenas uma das duas travas que prendem o reservatório na sua base, alternando entre elas; não encaixar ambas as travas até o fim. Na sequência deve-se erguer o produto e transportá-lo pela alça pelo período de 1 minuto. A ampliação do problema neste caso pode ser verificada adicionando o maior volume de água permitido pelo produto e realizar novamente o transporte do mesmo.

Passo 4: Os recursos são demonstrados conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Utilização de Recursos

TIPO DE RECURSO	DESCRIÇÃO
<b>Substância</b>	
Matéria prima do reservatório	Polímero – PA
Matéria prima trava	Copolímero – ABS
Ar, Poeira	
<b>Energia</b>	
Ultrassom	Energia Sonora
Alimentação	Energia Elétrica
<b>Espaço</b>	
Ambiente	Baixa umidade do ar
Gaps do sistema	Alívios para encaixes
<b>Tempo</b>	
Ação preliminar	Micro fissuras, stress nas travas plásticas.

Fonte: Elaboração Própria

Passo 5: No topo do reservatório existe uma alça, utilizada para transportar o produto, no entanto a fixação do reservatório em sua base depende do encaixe realizado pelo usuário. O não travamento de uma das travas do sistema, aparentemente realiza a função, porém durante o carregamento do produto pela alça, o esforço realizado sobre uma das travas pode provocar a quebra do reservatório devido ao esforço criado pela

trava em uma pequena área, ou a quebra da trava devido ao peso da base sobre apenas uma das travas, ou até mesmo da base do produto devido à quebra da trava entre a base e reservatório e conseqüente queda da base provocando espalhamento de água e peças cortantes.

Passo 6: Uma trava com encaixe *click*, poderia reduzir o risco, pois diminuiria a ação do usuário para realizar o travamento entre as duas partes. Outra alternativa seria reforçar os encaixes das travas e o reservatório proporcionando resistência suficiente para carregar o produto com apenas umas das travas fixadas.

Em ambos os casos verificou-se a natureza proativa do AFD, em acordo com o descrito por Prakash (2009) em seu estudo, uma vez que uma ação bem definida é proposta para a análise da falha, enquanto o FMEA no caso da empresa em questão sugere ações que não comprometem o grupo a sua realização além de analisar os componentes separadamente. Já com a utilização do AFD a análise da falha é mais objetiva e agrega a possibilidade da identificação de um conjunto de falhas como foi também abordado por Zeihnel *et al.* (2012) ainda propondo ações diretas as falhas encontradas uma vez que a falha é visualizada.

## 5 CONCLUSÕES

Através deste artigo foi possível verificar que as duas metodologias são amplamente úteis. No entanto a aplicação correta das ferramentas tem impacto direto no que diz respeito ao aumento da confiabilidade do produto na fase de projeto e redução de tempo de desenvolvimento. Na empresa em questão, o uso do FMEA reconhece as falhas, no entanto a maioria das ações não representa alguma correção imediata das falhas e depende de testes que podem sobrepor o tempo de projeto, o que leva muitas vezes ter de aguardar o retorno do problema ocorrido em campo para tomada de ação mais eficaz. Neste caso o uso incorreto do FMEA o torna uma ferramenta de checagem de falhas e de ação corretiva, servindo de banco de dados para novos projetos. O AFD propõe uma ação imediata ao problema, sugerindo simulação forçada do problema e utilizando muito dos recursos já disponíveis ao time de projeto, trazendo agilidade no processo de verificação da falha e otimização do tempo. A criação de problemas através da metodologia apresentada pela ferramenta AFD possibilita a revelação de falhas ocultas e criação de um cenário de futuras falhas não percebidas apenas através da reunião.

Assim conclui-se que ambos os métodos são eficazes no quesito de mostrar os problemas ao time de projeto, no entanto para o FMEA, a possibilidade de uso incorreto da ferramenta e no período incorreto do ciclo de desenvolvimento do produto pode mascarar falhas potenciais. Desta forma o AFD, pela característica exploratória da verificação das falhas, pode ser um complemento de valor ao FMEA na análise de falhas graves e com tempo reduzido possibilitando a melhoria de qualidade do produto durante o seu desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

- BARAHONA, E. M. A ontology-based approach to support the implementation of concurrent engineering in the innovation process. Alemanha, 2003.
- BERTSCHE, B. Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- CARVALHO, A. J. G. F. Barreiras e Facilitadores para o Aprimoramento da Qualidade, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1991.
- DE CARVALHO, M. A; BACK, N. Rumo a um Modelo para a Solução Criativa de Problemas nas Etapas Iniciais do Desenvolvimento de Produtos. II Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto, São Carlos – SP, 2000.
- DE CARVALHO, M. A. Metodologia Ideatriz para a ideação de novos produtos. Florianópolis, 2007.
- GORODNICHENKO, Y; SVEJNAR, J; TERRELL, K. Globalization and innovation in emerging markets. American Economic Journal – Macroeconomics, v.2, n.2, p. 194–226, April 2010.
- IDEATION AFD: Anticipatory failure determination. Disponível em: <http://www.ideationtriz.com/afd.asp>. Acessado em 28 de abril de 2014.
- JOHNSON, K. G; KHAN, M. K. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. Journal of Materials Processing Technology, v. 139, n. 1-3, p. 348-356, 2003.
- JURAN, J. M. Juran`s Quality Handbook, Fifth Edition. McGraw-Hill, 2000.
- KAPLAN, S; ZLOTIN, B; ZUSMAN, A; VISNEPOLSCH, S. New Tools for Failure and Risk Analysis Anticipatory Failure Determination (AFD) and the Theory of Scenario Structuring (Southfield, MI: Ideation, 1999).
- KOSSE, V. Revealing design flaws at different stages of product development using anticipatory failure determination (AFD TM) technique. In: Proceedings of the 6<sup>th</sup> Australasian Congress on Applied Mechanics, 12 - 15 December 2010, Perth, W.A.
- LAURENTI, R; ROZENFELD, H. Proposta de análise integrada de falhas potenciais de produto. 2009. 10 p. Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto 2009, São José dos Campos, SP, Brasil.
- LIVOTOV, P. Innovative Product Development and Theory of Inventive Problem Solving. Triz and Innovation management, Innovator 2008.

MAPA, S. M. S; DA SILVA, C. E. S; MELLO, C.H P. Garantia da confiabilidade nas fases de planejamento e desenvolvimento de produtos apoiada por técnicas da qualidade. 2005. 10 p. XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil.

MIZUNO, C. S. Aperfeiçoamento de um produto através do estudo de sua confiabilidade como um fator de valor, Universidade de São Paulo - São Paulo, 2010.

POSSO, R. K. Análise dos fatores de influência na aplicação do “FMEA de processo” em produtos estampados e sugestão de melhoria, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Curitiba, 2007.

PRAKASH, R. A. and SUJIT, K. B. Synergy between FMEA and TRIZ – Inventive Problem Solving. Reliability Engineering Group, Indian Institute of Technology, 2009.

SAVRANKY, S. D. Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving. New York: CRC, 2000.

STRATTON, R; MANN, D. Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC. Journal of Materials Processing Technology, n. 139, p. 120-126, 2003.

UNGVARI, S. The Anticipatory Failure Determination Fact Sheet, The Triz journal – SPI, Inc, 1999.

ZEIHSEL, F; THURNES, C. M; VISNEPOLSKI, S. Smart Failure and Risk Analysis in Complex Systems, 3rd International Conference on Complex Systems Design & Management; Paris, 12-14. December 2012.