



Production

ISSN: 0103-6513

production@editoracubo.com.br

Associação Brasileira de Engenharia de  
Produção  
Brasil

Campos de Aguiar, Dimas; Salomon, Valério A. P.  
Avaliação da prevenção de falhas em processos utilizando métodos de tomada de  
decisão  
Production, vol. 17, núm. 3, septiembre-diciembre, 2007, pp. 502-519  
Associação Brasileira de Engenharia de Produção  
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=396742031008>

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

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Avaliação da prevenção de falhas em processos utilizando métodos de tomada de decisão

DIMAS CAMPOS DE AGUIAR

VALÉRIO A. P. SALOMON

UNESP - Guaratinguetá

## Resumo

Este trabalho apresenta uma investigação sobre o emprego de FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) de Processo com a exposição de irregularidades na sua utilização. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e os Conjuntos Fuzzy são aplicados no estudo das práticas atuais de utilização de FMEA. O AHP é aplicado para a priorização das irregularidades quanto à gravidade de sua ocorrência. Os Conjuntos Fuzzy são aplicados para avaliação do desempenho da utilização de FMEA em algumas empresas do ramo automotivo. Como resultado, tem-se a aceitação de oito e a não aceitação de três dos onze formulários de FMEA averiguados.

## Palavras-chave

FMEA de Processo, AHP, Conjuntos Fuzzy.

## *Evaluation of process failure prevention using decision-making methods*

## Abstract

*This work presents an investigation about the use of Process FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) with the exhibition of identified irregularities for its correct use. The AHP (Analytic Hierarchy Process) and the Fuzzy Sets are applied in the study of current practices for the FMEA use. AHP is applied to prioritize the irregularities as for the gravity of its occurrence. The Fuzzy Sets are applied for performance evaluation of the FMEA use in some automotive companies. As result, there are the acceptance of eight and the not acceptance of three forms FMEA discovered.*

## Key words

*Process FMEA, AHP, Fuzzy Sets.*

## INTRODUÇÃO

### Considerações iniciais

Nos últimos anos, várias novas plantas industriais para a produção de veículos automotores foram construídas e entraram em operação no Brasil. Esse fato, aliado às mudanças estruturais dos fabricantes em todo o mundo, gerou novas relações entre as montadoras e seus fornecedores de autopeças. A cadeia automotiva brasileira apresenta-se cada vez mais em linha com sua equivalente cadeia global e este tipo de relação, que as montadoras estabelecem com os seus fornecedores, de certa forma transfere a eles os ônus das estratégias de mercado, caracterizando uma reestruturação organizacional marcada pela introdução de modernos métodos de gestão e controle da qualidade, que resultou num aumento na produtividade. O aumento da produtividade somado ao aquecimento do mercado proporcionou um impacto sobre o setor caracterizado pelo surgimento da terceirização.

Pereira e Geiger (2005) destacam que as montadoras adotaram um processo de delegação produtiva junto a seus fornecedores. Esta prática não ficou restrita às montadoras, uma vez que os fornecedores de primeiro nível também deslocaram parte de suas atividades produtivas para empresas atuantes nos níveis mais inferiores da cadeia de fornecimento. Assim, muitas pequenas e médias empresas atuantes em outras cadeias produtivas se inseriram na cadeia automotiva, porém com dificuldade em se enquadrar no perfil do segmento. Gonzalez (2006) afirma que este setor possui uma relação cliente-fornecedor bastante particular devido às severas exigências quanto à qualidade do produto e garantia da qualidade que os fornecedores devem apresentar a fim de que contratos possam ser firmados e mantidos ao longo do tempo. Tal relação teve maior significância após o desenvolvimento de um padrão normativo para os sistemas de gestão da qualidade dos fornecedores da indústria automobilística mundial. Lançada em 1999, a ISO/TS 16949, de certa forma, trata-se de uma adaptação da ISO 9001 com o objetivo de atender aos requisitos normativos das principais montadoras americanas, alemãs, francesas, italianas e orientais.

Entre os requisitos da ISO/TS 16949 tem-se a Análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA, *Failure Mode and Effect Analysis*) para o desenvolvimento de projetos de produtos e processos de manufatura. Dessa forma, este trabalho apresenta uma investigação, por meio de estudos em empresas do setor automotivo, abordando o emprego de FMEA de Processo, pela identificação das irregularidades obtidas como consequência das dificuldades de sua utilização.

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e os Conjuntos Fuzzy são aplicados no estudo sobre as práticas atuais de utilização de FMEA em algumas empresas do ramo automotivo. Após a coleta de dados, o AHP é aplicado para a priorização das irregularidades quanto à gravidade de sua ocorrência e os Conjuntos Fuzzy, para avaliação do desempenho da aplicação do FMEA.

### Relevância da pesquisa

A pesquisa está associada às exigências do setor automotivo quanto ao sistema de gestão da qualidade. A utilização de FMEA de Processo proporciona uma visão geral, apontando os modos de falha, suas causas e efeitos. Assim, é possível estabelecer ações preventivas no processo ao invés de ações corretivas, que normalmente geram retrabalho, custos extras de mão-de-obra e materiais, além de transtornos indesejáveis aos clientes.

**O** aumento da produtividade somado ao aquecimento do mercado proporcionou um impacto sobre o setor caracterizado pelo surgimento da terceirização.

Segundo Craig (2004), um sistema de gestão da qualidade com o foco preventivo é vital para se reduzir os custos com a qualidade e ainda atender às exigências do cliente. Porém, destaca-se a falta de foco preventivo nos atuais sistemas de gestão da qualidade, nos quais o principal fator para a tomada de ação ainda é a falta de qualidade e não a prevenção desta, atuando-se no problema do momento e não nos riscos potenciais de eventuais problemas.

Palady (1997) afirma que a utilização de FMEA implica em custos para a organização, por exemplo, na necessidade de reuniões, que exigem tempo dedicado pelos membros da equipe. A eficácia na utilização de FMEA transforma estes custos em investimento: haverá um retorno percebido tanto pelo cliente como pela organização. Palady (1997) ainda relata que as organizações podem incluir o custos associados à utilização de FMEA em três categorias: Custo de Prevenção; Custo de Avaliação e Custo de Falha. O objetivo com a utilização de FMEA é a redução no Custo da Falha, a fim de gerar dividendos maiores que os Custos de Prevenção e Avaliação. O custo do desenvolvimento e manutenção da utilização de FMEA se enquadra na categoria de Custo de Prevenção. Uma empresa que investe nesta categoria pode ou não receber um retorno substancial do investimento. Este retorno irá depender da eficácia com que as ferramentas e métodos de prevenção foram implementados. Uma empresa que investe pouco em prevenção concentra seus esforços

em tratar das falhas, após seu impacto no processo ou até no cliente final. Este tipo de estratégia denigre a imagem da empresa colocando-a cada vez mais fora do mercado. Quando uma empresa investe em prevenção de modo eficaz em termos de implementação, os retornos são certos na redução de custos com as falhas. Além destas duas situações, existe uma terceira que é o foco deste estudo: a empresa realiza investimento em prevenção, porém sem implementação dos conceitos abordados, resultando em maiores despesas e ocorrência de falhas.

## METODOLOGIA

Do ponto de vista da natureza, este trabalho apresenta uma “pesquisa aplicada” (GIL, 2002), pois os conhecimentos gerados são de possível aplicação em um problema prático. Em termos de abordagem, esta pesquisa se classifica como qualitativa, já que as avaliações e discussões são baseadas na interpretação de fenômenos.

**A** empresa realiza investimento em prevenção, porém sem implementação dos conceitos abordados, resultando em maiores despesas e ocorrência de falhas.

No que diz respeito aos objetivos, a pesquisa se classifica como exploratória e tem como objetivo realizar uma avaliação da utilização de FMEA de Processo em empresas do ramo automotivo. Para conduzir esta avaliação, foi desenvolvido um embasamento teórico a fim de se estabelecer uma conceituação sobre utilização de FMEA, avaliando diferentes abordagens e buscando um seqüenciamento adequado. Posteriormente, foram verificadas as dificuldades que ocorrem durante a execução de FMEA de Processo e identificadas as irregularidades em seu emprego pela análise de formulários. Estas irregularidades foram hierarquizadas de acordo com a gravidade de sua ocorrência, utilizando-se para isso o método AHP. Após isto foi possível atribuir notas para os formulários de FMEA avaliados por meio da aplicação de Conjuntos Fuzzy.

Devido ao seu caráter exploratório, a pesquisa pode ser classificada como um levantamento, ou *Survey Analysis* (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Desta forma, o emprego deste método de pesquisa se justifica uma vez que todos os formulários de FMEA dizem respeito a um único cliente. Não se utilizou questionário, já que os dados foram levantados a partir da análise crítica de formulários

de FMEA de Processo submetidos a uma empresa fornecedora de primeiro nível na cadeia automotiva no interior do Estado de São Paulo.

## FMEA DE PROCESSO

### Benefícios da utilização de FMEA de Processo

FMEA de Processo é um método analítico para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa. É utilizado pela equipe responsável pela manufatura com a finalidade de assegurar que seja realizada uma avaliação dos modos de falha do processo, assim como suas causas e mecanismos de controle. O objetivo clássico da utilização de FMEA é detectar falhas antes que as mesmas possam ocorrer em processos de fabricação. Marconcini (2004) relata que, à medida que as causas das falhas são eliminadas pela utilização de FMEA, a Confiabilidade do Processo aumenta consideravelmente.

Stamatis (1995) aponta os benefícios decorrentes da correta utilização de FMEA como sendo: melhorar a qualidade, confiabilidade e segurança dos produtos ou serviços; melhorar a imagem e a competitividade da organização; contribuir para aumentar a satisfação do cliente; reduzir o tempo e o custo de desenvolvimento de produtos; estabelecer uma prioridade para a tomada de ações de melhoria; identificar características críticas ou significativas; contribuir na análise de um novo processo

de montagem ou de manufatura; contribuir na definição de ações corretivas; listar as falhas potenciais e identificar a magnitude relativa de seus efeitos; desenvolver critérios rápidos para manufatura, processos, montagem e serviços; prover documentação histórica para futuras referências, auxiliando nas mudanças de projetos, processos e serviços.

A utilização de FMEA de Processo elimina os pontos fracos do processo, reduzindo o risco de falhas a valores aceitáveis. Garcia (2000) afirma que quando utilizado com eficiência, o FMEA de Processo, além de ser um método poderoso na análise do processo, permite a melhoria contínua e serve de registro histórico para futuros estudos. Cassanelli *et al.* (2006) relatam que o FMEA é um procedimento sistemático para identificar os modos de falha potenciais, suas causas e efeitos, sendo sua análise executada preferivelmente com antecedência, dentro do ciclo de desenvolvimento, de forma que a remoção ou a mitigação da falha seja válida e efetiva de modo preventivo. Esta análise pode ser iniciada assim que o processo esteja definido.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), a utilização de FMEA tem como objetivo identificar as características do processo que são críticas para os diversos tipos de falhas, sendo ainda um meio para identificar as falhas antes que

aconteçam, através de um procedimento constituído por três perguntas chaves questionadas a cada falha:

Qual seria a consequência da falha?

Qual a probabilidade da falha ocorrer?

Em qual probabilidade esta falha é detectada antes que afete o cliente?

Assim, pela relação da severidade do modo de falha, a frequência na qual a falha pode ocorrer e a probabilidade de detecção da falha, o FMEA de processo tem como meta ou objetivo definir, demonstrar e maximizar soluções de engenharia em resposta à qualidade, confiabilidade, manutenção, custos e produtividade.

### Utilização de FMEA de Processo

A utilização de FMEA de Processo é registrada em um formulário padrão que reúne os possíveis modos potenciais de falha associados com as causas, efeitos, ações corretivas, entre outros, conforme apresentado na Figura 1.

Existem vários roteiros de atividades que trazem uma sequência de atividades para o preenchimento deste formulário.

Tay e Lim (2006) e Sharma, Kumar e Kumar (2005) propõem um procedimento de preenchimento do FMEA conforme apresentado na Figura 2.

Segundo Garcia (2000), utiliza-se FMEA de Processo para cada operação no plano macro, para tanto é necessário que se extraia desse último a sequência, a máquina e as falhas potenciais associadas a cada operação baseadas no modo, efeito e causa de sua ocorrência. Para facilitar a definição dos controles neste nível de detalhamento, o FMEA precisa ser executado por etapas. O presente trabalho propõe o preenchimento do formulário de FMEA em quatro etapas de execução, apresentadas nos próximos tópicos e ilustradas na Figura 3.

### Etapa 1

A Etapa 1 na utilização de FMEA de Processo começa com o preenchimento das colunas “Item/Função”, “Modo de Falha Potencial”, “Efeito(S) Potencia(S) da Falha”, “SEVE.” e “CLASS.”. Inicialmente, são listadas todas as fases do processo produtivo em questão, com base na definição do seu diagrama de fluxo. Na coluna “Item/Função”

Figura 1: Formulário de FMEA

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS FMEA DE PROCESSO																		
Data Chave: Projeto: Peca: Participantes:						No. FMEA: Pag. / Rev. ____ / ____ Preparado por: Data da FMEA:												
Item / Função	Modo de Falha Potencial	Efeito (S) Potencia (S) de Falha	S E V E .	C L A S S .	Causa Potencial (SM) Mecanismos	O C O R .	Controle Preventivo Atual	Controle Detecção Atual	D E T E C .	N P R .	Ações Recomendadas	Responsabilidade pelas ações recomendadas e os prazos envolvidos	Ações Resultantes					
													Ação Tomada	S E V E .	O C O R .	N P R .		

Fonte: Adaptado de Instituto da Qualidade Automotiva (2001).

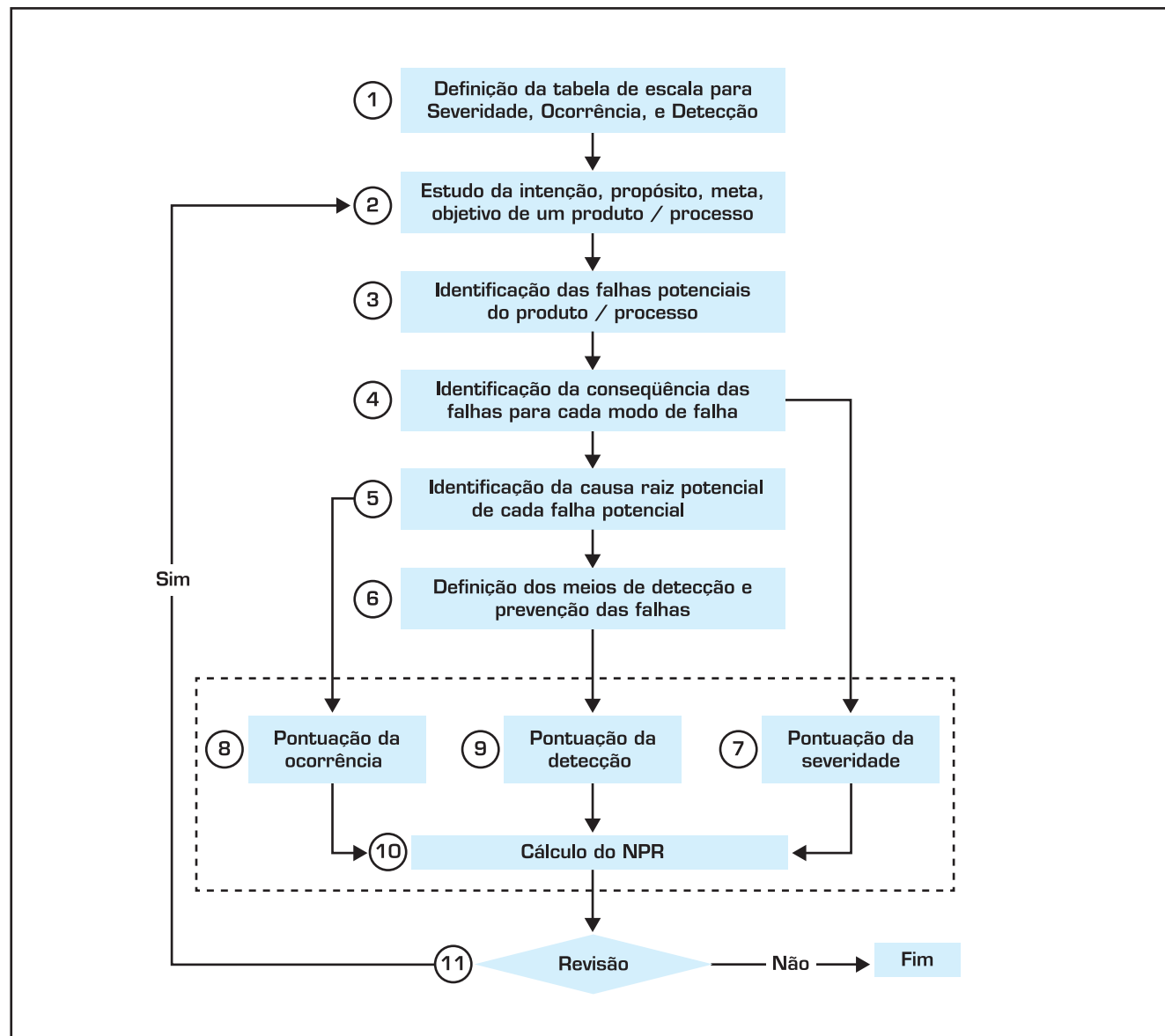
tem-se o processo ou operação em análise. Considera-se a função da operação e o valor que a mesma agrega no processo como um todo.

Para cada operação são identificados todos os possíveis modos de falha, ou seja, como cada função do processo pode falhar quando solicitada em atender aos seus requisitos ou aos objetivos do projeto. Identificados os modos de falha, deve-se determinar através do conhecimento teórico ou prático o efeito que cada falha causará ao cliente. Na coluna “Efeito(S) Potencia(S) da Falha”, são registradas estas conseqüências na percepção do cliente, seja este usuário final ou mesmo a

próxima operação. Dependendo do caso, pode haver mais de um efeito para um determinado modo de falha.

Posteriormente, cada modo de falha precisa ser classificado quanto à severidade dos seus efeitos. A severidade define esta classificação associada à gravidade do efeito feita por uma pontuação que varia de um a dez: nota um para o menos grave e nota dez para o mais grave (TOZZI, 2004). A severidade não está ligada ao modo de falha e sim ao efeito potencial da falha. Existem alguns fatores de referência que podem ser aplicados como diretriz para a pontuação da severidade, e como seu complemento tem-se a coluna de classifi-

Figura 2: Procedimento para preenchimento do formulário.



Fonte: Tay e Lim (2006); Sharma, Kumar e Kumar (2005).

cação. Segundo Marconcin (2004), a coluna de classificação é o campo usado para destacar os modos de falha altamente prioritários e também classificar quaisquer características especiais de produto ou processo por um símbolo específico de acordo com a definição de cada empresa.

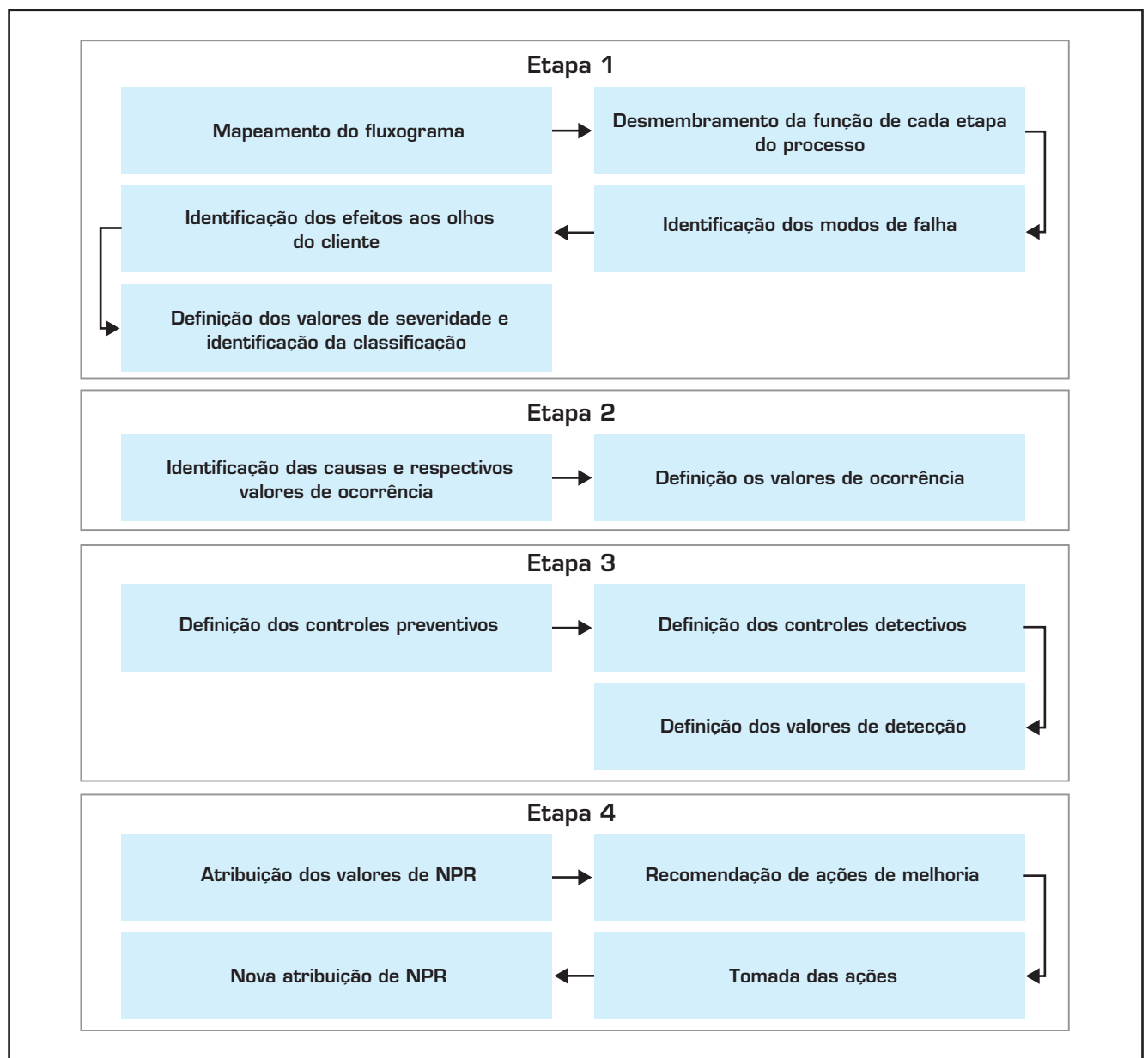
## Etapa 2

Esta etapa consiste no preenchimento das colunas “Causa Potencial (6M) Mecanismos” e “OCOR.”. As informações

de histórico de sistemas, produtos, processos ou serviços semelhantes e o conhecimento técnico são tratados com a utilização de ferramentas como *brainstorming*, Diagrama de Causa-Efeito e Gráfico de Pareto para a definição das causas reais e potenciais pelas quais cada modo de falha possa vir a ocorrer, reduzindo o risco de uma eventual causa ser esquecida.

A coluna de causa define a forma pela qual a falha poderia ocorrer descrita em termos de alguma coisa que possa

Figura 3: Preenchimento do formulário de FMEA em quatro etapas.



Fonte: Elaboração própria.



ser corrigida ou controlada. A idéia é identificar a origem de cada modo de falha. Marconcini (2004) define a causa potencial da falha como a indicação de uma deficiência, que tem por consequência o modo de falha.

Com base no histórico de ocorrência em situações semelhantes ou reais, cada causa é classificada pela pontuação de ocorrência. Tozzi (2004) afirma que a ocorrência define probabilidade de uma causa ocorrer e é convencionalmente estimada em uma escala de um a dez, sendo nota um para a menor ocorrência e nota dez para a maior ocorrência. Existem fatores de referência que podem ser aplicados como diretriz para sua pontuação, que deve considerar os dados estatísticos disponíveis.

## A utilização de FMEA de Processo elimina os pontos fracos do processo, reduzindo o risco de falhas a valores aceitáveis.

### Etapa 3

Após a identificação das causas, os meios de prevenção e detecção devem ser identificados. Trata-se de características do sistema, produto ou processo, que reduzem a probabilidade de ocorrência desta falha. Esta terceira etapa aborda o preenchimento das colunas de controle, “Controle Preventivo Atual” e “Controle Detecção Atual”, e dos valores da coluna de detecção, “DETEC”.

Os controles atuais de processo formam a descrição dos controles que podem detectar ou prevenir a ocorrência do modo de falha ou a causa da falha. O controle preventivo atua na causa do modo de falha, reduzindo a ocorrência, e o controle de detecção tem a função de detectar o modo de falha antes que este possa atingir a operação subsequente do processo. Marconcini (2004) afirma que abordagem preferencial é utilizar os controles de prevenção. No formulário apresentado na Figura 1, tem-se duas colunas para o controle do processo, o que auxilia a equipe a distinguir claramente entre os dois tipos de controle, permitindo uma rápida visualização de que ambos os tipos estão sendo utilizados.

A coluna de detecção define uma classificação associada ao controle de detecção feita por uma pontuação que varia de um a dez, sendo inversamente proporcional ao poder de detecção (TOZZI, 2004). Esta pontuação também é baseada em fatores de referência e, para a obtenção de um índice menor, o planejamento da detecção precisa ser melhorado.

### Etapa 4

Esta etapa aborda o preenchimento da coluna do número de prioridade de risco (“NPR”) bem como a coluna relativa

às “Ações Recomendadas”, onde o potencial de risco em cada modo de falha está associado à severidade, probabilidade de ocorrência e ao poder de detecção.

Andrade e Turrioni (2000) definem o risco como a avaliação de um perigo associado à probabilidade de ocorrência de um evento indesejável e à gravidade de suas consequências. O NPR é obtido pelo produto entre os índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Marconcini (2004) destaca que o NPR deve ser utilizado para priorizar as deficiências do processo, de forma a serem tomadas ações corretivas e preventivas.

Tais ações são registradas na coluna Ações Recomendadas. Cada ação deve ter um responsável por sua execução com um prazo estipulado e o registro efetuado na coluna “Responsabilidade pelas ações recomendadas e os prazos envolvidos”. Após a tomada da ação, uma breve descrição da ação realizada e data de efetivação é registrada na coluna “Ação Tomada”. São registradas as novas pontuações após a implementação das ações. Os índices devem ser analisados criticamente, gerando um novo NPR através de uma estimativa para novos valores de ocorrência e detecção.

### Considerações sobre o preenchimento do FMEA

Palady (1997) relata que há duas abordagens distintas para quantificar e classificar cada uma das três pontuações (Severidade, Ocorrência e Detecção). Uma abordagem é avaliar a ocorrência de cada causa que contribui para o modo de falha. A outra é avaliar a ocorrência do modo de falha.

Fernandes e Rebelato (2006) destacam que os critérios para a avaliação destes três fatores são definidos de modos distintos. Para a avaliação da severidade, parece haver concordância de que esta deva ser realizada a partir do efeito da falha. Porém, para avaliação da ocorrência e detecção, não se observa um consenso. O Quadro 1 apresenta as abordagens das diferentes fontes pesquisadas.

Devido à maior abrangência da proposta apresentada por Palady (1997), esta será adotada neste estudo como referência para a avaliação dos formulários de FMEA. Além de a ocorrência ser determinada tanto a partir do modo de falha quanto a partir da causa, a pontuação da detecção está relacionada com a capacidade dos controles em detectar o modo de falha (controle de detecção), e ainda detectar ou prevenir a causa (controle de prevenção).

### LEVANTAMENTO DE FORMULÁRIOS DE FMEA DE PROCESSO

Teng *et al.* (2006) destacam que o centro do esforço da implantação de FMEA no ramo automotivo está nas plantas



dos fornecedores. Para assegurar o sucesso da utilização de FMEA, é preciso entender os problemas que acontecem nas atuais práticas de FMEA destes fornecedores. Desta forma, para a identificação das irregularidades ocorrentes na utilização do FMEA de Processo foram analisados formulários de FMEA de Processo de onze empresas pertencentes à cadeia automotiva e com o sistema de gestão certificado. O Quadro 2 apresenta a distribuição destas empresas quanto ao ramo de atuação e à certificação possuída.

As Empresas 1 a 11 fazem parte do quadro de fornecedores de uma organização sistemista da cadeia automotiva. A escolha de seus formulários de FMEA de Processo para o presente estudo teve como base os baixos índices de qualidade no ano de 2006. Neste cenário, tem-se a ocorrência de vinte e um tipos de irregularidades diferentes distribuídas

nas quatro etapas de execução do FMEA anteriormente apresentadas. Como se trata de uma pesquisa qualitativa, é considerada apenas uma ocorrência por cada documento verificado. A Figura 4 apresenta o panorama destas irregularidades dentro de uma estrutura hierárquica.

### APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Com a estrutura hierárquica já definida, é possível construir as matrizes de comparação paritária. Segundo Shimizu (2006), o decisor define o grau de importância do relacionamento de cada fator com o fator a ser comparado, estabelecendo as prioridades. Nesta pesquisa, os fatores a serem comparados são as irregularidades identificadas dentro de cada etapa de utilização de FMEA, e o grau de importância,

**Quadro 1: Diferentes pontos de vista para avaliação da severidade, ocorrência e detecção.**

FONTE	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO
ECSS-Q-30-02 A (2001)	Efeito	Modo de Falha	Modo de Falha
Helman e Andrey (1995)	Efeito	Causa	Modo de Falha / Efeito
Layzell e Ledbetter (1998)	Efeito	Modo de Falha	Causa
MIL-STD-1629 A (1980)	Efeito	Modo de Falha	Modo de Falha
Palady (1997)	Efeito	Modo de Falha / Causa	Modo de Falha / Causa
IQA (1998)	Efeito	Causa	Modo de Falha / Causa

Fonte: Adaptado de Fernandes e Rebelato (2006).

**Quadro 2: Dados das empresas estudadas.**

EMPRESA	GAMA DE PRODUTOS FORNECIDOS	CERTIFICAÇÃO
1	Porcas e Parafusos	ISO/TS 16949
2	Parafusos	ISO 9001
3	Parafusos	ISO/TS 16949
4	Porcas	ISO/TS 16949
5	Usinagem (buchas e espaçadores)	ISO 9001
6	Estamparia leve (arruelas)	ISO/TS 16949
7	Caldeiraria em chapa fina	ISO 9001
8	Caldeiraria em chapa grossa	ISO 9001
9	Usinagem de precisão	ISO/TS 16949
10	Trefilação de tubos sem costura	ISO 9001
11	Trefilação de tubos com costura	ISO/TS 16949

Fonte: Dados da pesquisa.

trata do tanto que a ocorrência de cada irregularidade reflete na queda do desempenho da aplicação do FMEA dentro de cada uma das quatro etapas, sendo para isso, aplicado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

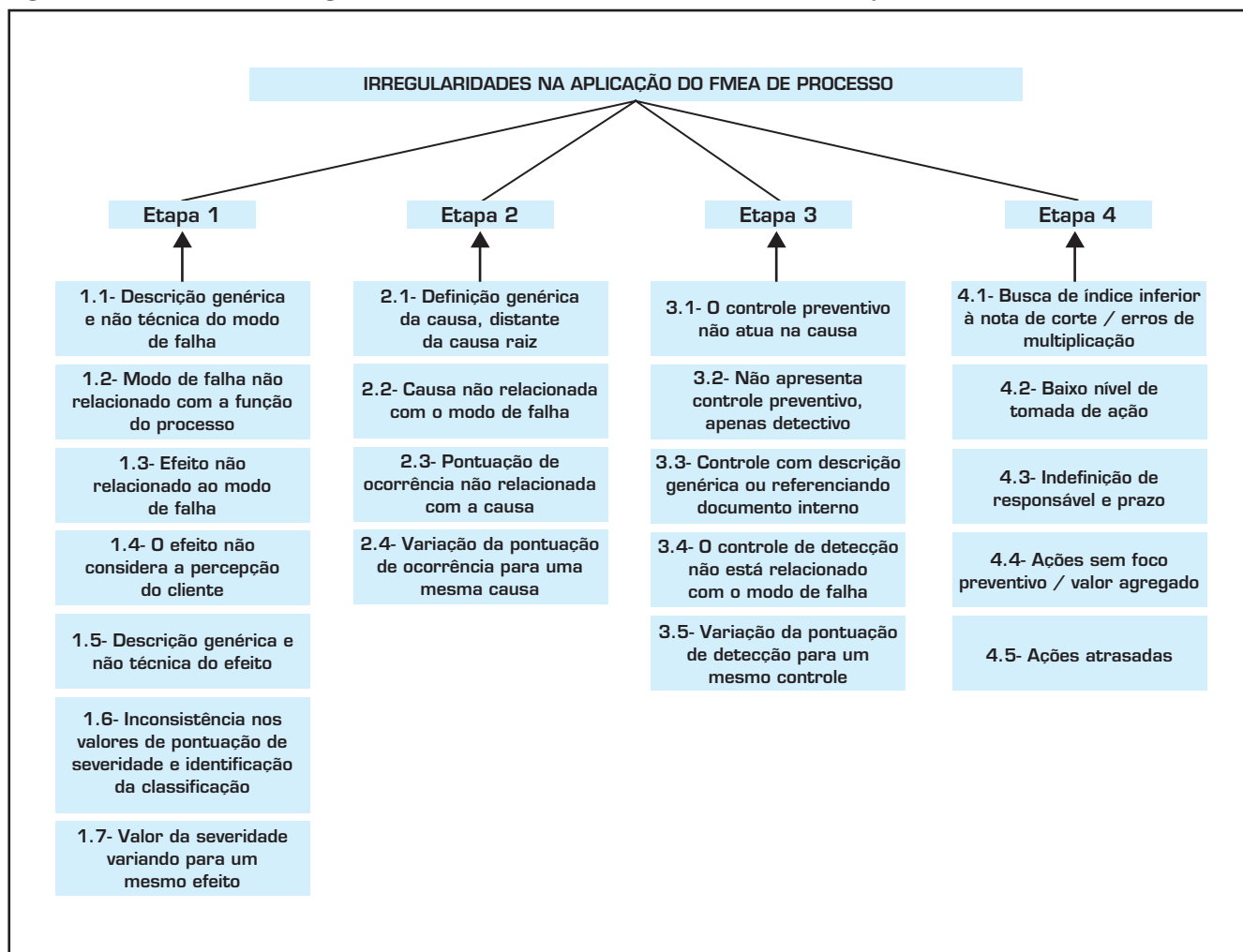
O AHP representa uma das aproximações mais promissoras que a decisão de múltiplos critérios faz de problemas decisórios (BRAGLIA; CARMIGNAMI; CALARGE, 2006). Kinoshita, Skitani e Shi (2001) destacam que, no método AHP, o decisor identifica um problema de avaliação em uma estrutura hierárquica formada por uma meta de avaliação, com critérios e alternativas que correspondem a um nó hierárquico. Para Wang, Chu e Wu (2007), o AHP é o mais popular método de decisão com múltiplos critérios, e permite a medição da coerência dos julgamentos das decisões. Segundo Cavalcante e João (2007), a aplicação do AHP, ou de outros métodos como o MACBETH (*Measuring*

*Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), pode ocasionar uma situação problemática conhecida por “*rank reversal*”. Contudo, esta situação não é freqüente e não coloca em dúvida a aplicação de tais métodos.

Saaty (2001) recomenda o uso de no máximo nove fatores, pois além deste número a matriz torna-se inconsistente. Nas Etapas 1 a 4, apresentadas na “FMEA de Processo”, tem-se sete, quatro, cinco e cinco irregularidades, respectivamente, conforme Figura 4. Assim, são formadas quatro matrizes de comparações, todas baseadas na Escala Fundamental de Saaty (1980).

As comparações foram realizadas por especialista na utilização de FMEA de Processo, com capacidade de observar detalhes e dificuldades específicas. A Tabela 1 apresenta a matriz de comparação paritária do AHP referente às irregularidades identificadas na Etapa 1. Por exemplo, a irregu-

Figura 4: Panorama das irregularidades levantadas na utilização do FMEA de processo



Fonte: Adaptado de Aguiar e Salomon (2006).

laridade “modo de falha não relacionado com a função do processo”, codificada por 1.2, é de igual importância quando comparada à irregularidade “efeito não ligado ao modo de falha”, codificada por 1.3, já que os dois elementos contribuem igualmente para a queda do desempenho da utilização de FMEA, segundo a opinião do especialista. A prioridade relativa foi obtida com a normalização da média geométrica das linhas da matriz de comparações conforme proposto por Saaty (2001). Observa-se que a soma das prioridades foi fixada em 10, em vez de 1 como usualmente aplicado, para facilitar a aplicação dos Conjuntos Fuzzy.

Matrizes de comparações semelhantes à apresentada na Tabela 1 foram realizadas também para as Etapas 2 a 4. A Tabela 2 apresenta estes valores referentes às irregularidades identificadas nas Etapas 2 a 4.

Segundo Salomon (2004), é preciso avaliar a coerência do resultado nas alternativas com respeito a cada um dos critérios que as compõe, para tanto, é usado um indicador da consistência das comparações, *CR* (*Consistency Ratio*). Saaty (2001) recomenda que, para valores de *CR* acima de 0,20, as comparações sejam revistas. Porém, para as comparações realizadas, o maior valor encontrado foi 0,03. Isto indica que as comparações mantêm coerência entre si (Salomon, 2004). Estas comparações consistem em priori-

zações dentro das etapas, porém uma priorização entre as etapas será considerada posteriormente na aplicação dos Conjuntos Fuzzy.

## PONTUAÇÃO DOS FORMULÁRIOS DE FMEA

Com as irregularidades identificadas na amostragem dos formulários de FMEA analisados e a prioridade relativa obtida na aplicação do AHP, é possível medir o desempenho de cada FMEA, em cada etapa. Esta medição foi realizada mediante a ocorrência ou não de determinada irregularidade, sendo formalizada através da atribuição de notas para cada etapa dos FMEAs em estudo. Os Quadros 3 a 6 apresentam a relação das irregularidades com os formulários de FMEA onde foram identificadas e o peso de cada irregularidade para as Etapas 1 a 4.

A pontuação foi realizada pela ocorrência da irregularidade associada ao seu valor de prioridade relativa, através da subtração a partir de um valor inicial de 100%. Por exemplo, a Empresa 1, na Etapa 1, apresentou as irregularidades codificadas por 1.1, 1.2, 1.3 e 1.6, com os respectivos valores de prioridade relativa de 0,365; 0,187; 0,187 e 0,083. Desta forma, tem-se a nota do FMEA da Empresa 1, relativo à Etapa 1 como sendo  $5,061 = 10 - 0,365 - 1,872 - 1,872 - 0,830$ .

**Tabela 1: Comparações e prioridade das irregularidades identificadas para a Etapa 1.**

CÓDIGO	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	PRIORIDADE RELATIVA
1.1	1	1/5	1/5	1/7	1	1/3	1/3	0,365
1.2	5	1	1	1/3	5	3	3	1,872
1.3	5	1	1	1/3	5	3	3	1,872
1.4	7	3	3	1	7	5	5	3,865
1.5	1	1/5	1/5	1/7	1	1/3	1/3	0,365
1.6	3	1/3	1/3	1/5	3	1	1	0,830
1.7	3	1/3	1/3	1/5	3	1	1	0,830

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 2: Prioridades relativas referentes às Etapas 2 a 4.**

CÓD.	ETAPA 2				ETAPA 3					ETAPA 4				
	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
P.R.	0,789	5,193	2,009	2,009	2,454	4,971	0,469	1,053	1,053	1,952	4,624	0,737	1,952	0,737

Fonte: Dados da pesquisa.

O Quadro 7 apresenta os resultados obtidos pela avaliação dos onze formulários de FMEA.

### APLICAÇÃO DOS CONJUNTOS FUZZY

Com o resultado da avaliação por etapas, foram definidas quatro variáveis de entrada para a obtenção de uma única nota final para cada formulário de FMEA avaliado. Contudo,

não se utiliza da média aritmética dos valores, mas sim de uma forma de gerenciamento de incertezas pela aplicação dos Conjuntos Fuzzy. Campos Filho (2004) destaca que a diferença fundamental entre a Teoria Clássica e a Teoria Fuzzy está na faixa de seus valores-verdade. Na Teoria Clássica, um elemento pertence ou não ao conjunto; na teoria dos Conjuntos Fuzzy um elemento do universo de discurso pode ser definido matematicamente por um valor que represente

**Quadro 3: Ocorrências de irregularidades na Etapa 1.**

CÓDIGO	PRIORIDADE RELATIVA	FORMULÁRIOS DE FMEA ANALISADOS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.1	0,365	X	X		X				X			
1.2	1,872	X	X	X		X		X		X	X	X
1.3	1,872	X	X						X			
1.4	3,865		X		X							
1.5	0,365		X	X	X		X	X		X	X	X
1.6	0,830	X		X		X			X			X
1.7	0,830		X				X	X				

Fonte: Dados da pesquisa.

**Quadro 4: Ocorrências de irregularidades na Etapa 2.**

CÓDIGO	PRIORIDADE RELATIVA	FORMULÁRIOS DE FMEA ANALISADOS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2.1	0,789		X	X	X	X			X		X	
2.2	5,193					X	X			X		X
2.3	2,009					X			X			
2.4	2,009			X				X		X		

Fonte: Dados da pesquisa.

**Quadro 5: Ocorrências de irregularidades na Etapa 3.**

CÓDIGO	PRIORIDADE RELATIVA	FORMULÁRIOS DE FMEA ANALISADOS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3.1	2,454	X		X	X	X	X		X		X	X
3.2	4,971	X	X							X		
3.3	0,469	X				X						
3.4	1,053						X				X	X
3.5	1,053			X					X			

Fonte: Dados da pesquisa.

o seu grau de pertinência ao conjunto. Por exemplo, uma pessoa com altura igual a 1,80 m e outra com 1,75 m fazem parte do conjunto “pessoas altas”, porém a de 1,80 m tem um grau de pertinência maior neste conjunto.

O processo de estabelecimento de Conjuntos Fuzzy é denominado fuzzificação (WEBBER, 1997). Um aspecto interessante obtido com a fuzzificação é a função de pertinência. O gráfico da função de pertinência classifica o Conjunto Fuzzy quanto à forma. Segundo Kaufman e Gupta (1991), os Conjuntos Fuzzy Triangulares são os Conjuntos Fuzzy mais encontrados em problemas de Engenharia e Administração. Isto se deve à sua fácil fuzzificação e também ao fato de que

são mais fáceis de se trabalhar. Um Conjunto Fuzzy Triangular é representado por vetor  $(a, b, c)$ , sendo  $b$  o elemento de maior grau de pertinência em geral (100%). Da fuzzificação obtém-se que valores do universo de discurso menores que  $a$  ou maiores que  $c$  não possuem nenhuma possibilidade de pertencerem ao Conjunto Fuzzy. Para o exemplo da altura alta, no Brasil, poderia ser obtido o Conjunto Fuzzy (1,75; 1,80; 1,90.).

Para cada nota nas etapas de utilização de FMEA apresentadas em “FMEA de Processo”, propõem-se três Conjuntos Fuzzy: Baixa, Média e Alta. A Etapa 1 é tida como a de maior importância, uma vez que as outras três etapas dependem

**Quadro 6: Ocorrências de irregularidades na Etapa 4.**

CÓDIGO	PRIORIDADE RELATIVA	FORMULÁRIOS DE FMEA ANALISADOS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4.1	1,952					X			X			
4.2	4,624							X		X		
4.3	0,737		X							X		
4.4	1,952	X										
4.5	1,952							X				

Fonte: Dados da pesquisa.

**Quadro 7: Avaliação por etapas dos formulários de FMEA.**

FMEA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Etapa 1	5,061	0,830	6,933	5,405	7,298	8,805	6,933	6,933	7,763	7,763	6,933
Etapa 2	10,000	9,211	7,202	9,211	2,009	4,807	7,991	7,202	2,798	9,211	4,807
Etapa 3	2,106	5,029	6,493	7,546	7,077	6,493	10,000	6,493	5,029	6,493	6,493
Etapa 4	8,048	9,263	10,00	10,00	8,048	10,00	4,640	8,048	4,640	10,000	10,000

Fonte: Dados da pesquisa.

**Quadro 8: Fuzzificação das notas Baixa, Média e Alta.**

ETAPA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
1	(0 , 0 , 7)	(5 , 7 , 9)	(7 , 10 , 10)
2	(0 , 0 , 6)	(4 , 6 , 8)	(6 , 10 , 10)
3	(0 , 0 , 6)	(4 , 6 , 8)	(6 , 10 , 10)
4	(0 , 0 , 5)	(3 , 5 , 7)	(5 , 10 , 10)

Fonte: Dados da pesquisa.

diretamente de sua execução, de forma que a ocorrência de uma irregularidade em sua aplicação pode comprometer todas as outras etapas. As Etapas 2 e 3 não possuem relação direta entre si, já que uma está relacionada com a causa da falha e a outra com o seu controle, sendo consideradas de importância moderada. Já as irregularidades aqui identificadas podem ser decorrentes das irregularidades das etapas anteriores, de modo que a Etapa 4 foi considerada como de menor importância.

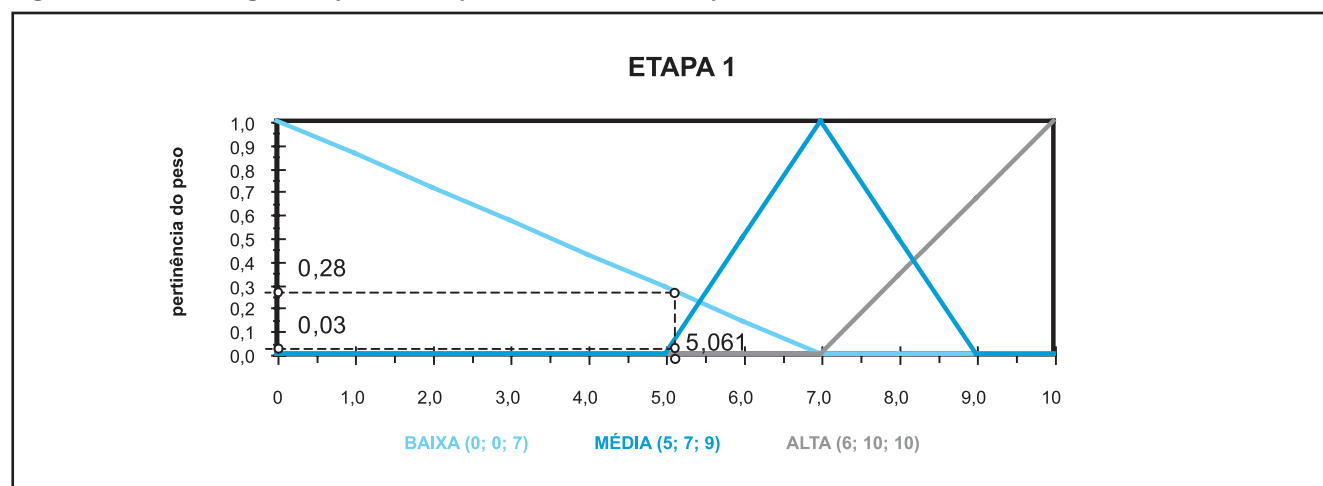
Assim, os valores da função de pertinência triangular para cada etapa foram definidos conforme apresentado no Quadro

8. Observa-se que, por exemplo, para a Etapa 1 uma nota acima de sete não pode ser considerada nota Baixa.

Com estas definições, é possível determinar regras para a aplicação dos Conjuntos Fuzzy. A combinação das quatro etapas com três níveis de avaliação das notas (Baixa, Média e Alta) gera oitenta e uma regras. Propõe-se que não seja aceitável o formulário de FMEA que apresente mais de uma etapa com nota de avaliação Baixa.

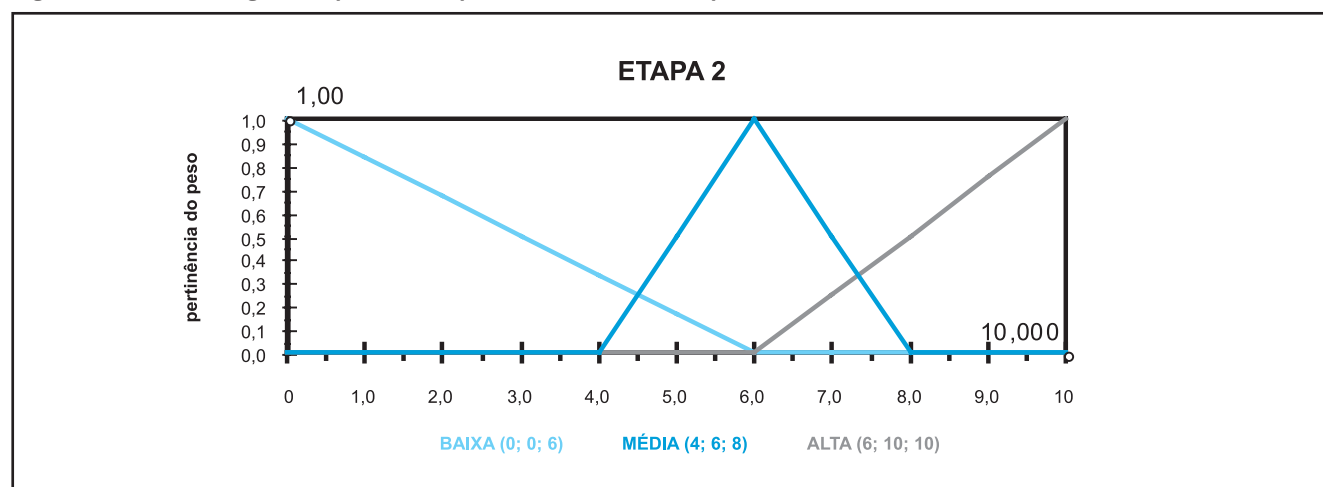
Para cada formulário das onze empresas analisadas obtiveram as notas apresentadas no Quadro 7. As Figuras 5 a 8 apresentam, graficamente, os Conjuntos Fuzzy das Notas

**Figura 5: Avaliação gráfica para a Etapa 1 do FMEA da Empresa 1.**



Fonte: Elaboração própria.

**Figura 6: Avaliação gráfica para a Etapa 2 do FMEA da Empresa 1.**



Fonte: Elaboração própria.

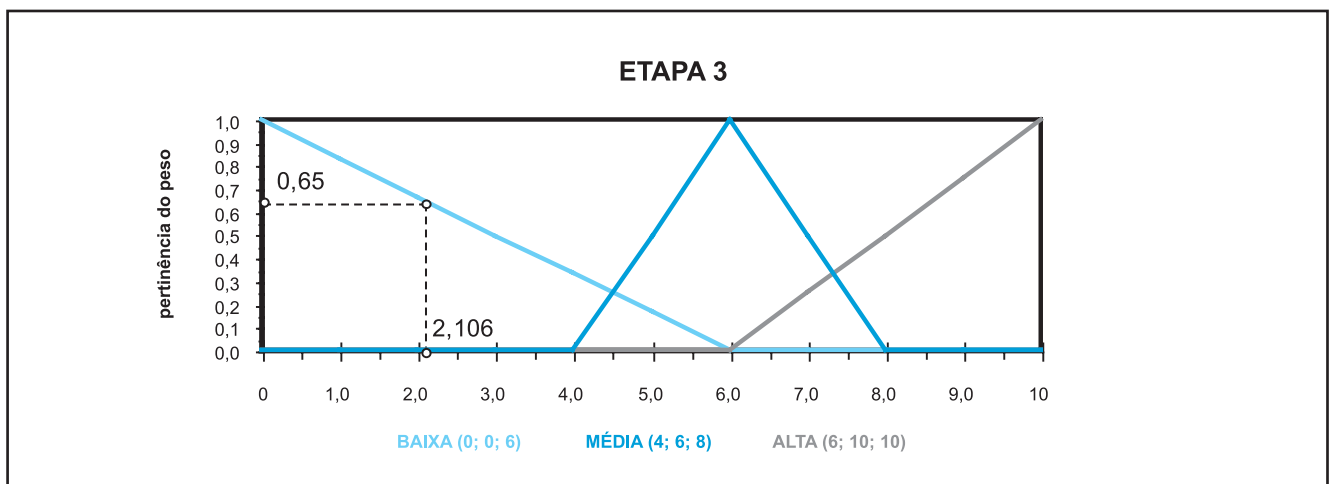
Baixa, Média e Alta. Observem-se as notas obtidas pelo formulário de FMEA da Empresa 1. Para a Etapa 1 a nota obtida foi 5,061, que resulta numa situação intermediária pertencente a dois conjuntos (baixa e média). O gráfico da Figura 5 aponta a pertinência da nota para o conjunto nota Baixa como sendo 0,28 e para o conjunto nota Média com o valor de 0,03, conforme a intersecção da nota 5,061 em cada curva correspondente.

Como no caso do FMEA da Empresa 1, tem-se duas situações (Baixa e Média) para a Etapa 1, e uma situação em cada uma das outras três etapas, a união dos conjuntos

é formada por duas regras do conjunto de oitenta e uma. Para cada combinação é obtido um valor de corte “ $\alpha$ ” pela minimização dos valores das regras, estando este associado a uma resposta de FMEA aceitável ou não aceitável, conforme cada regra. A Tabela 3 apresenta estes valores para o caso do FMEA da Empresa 1.

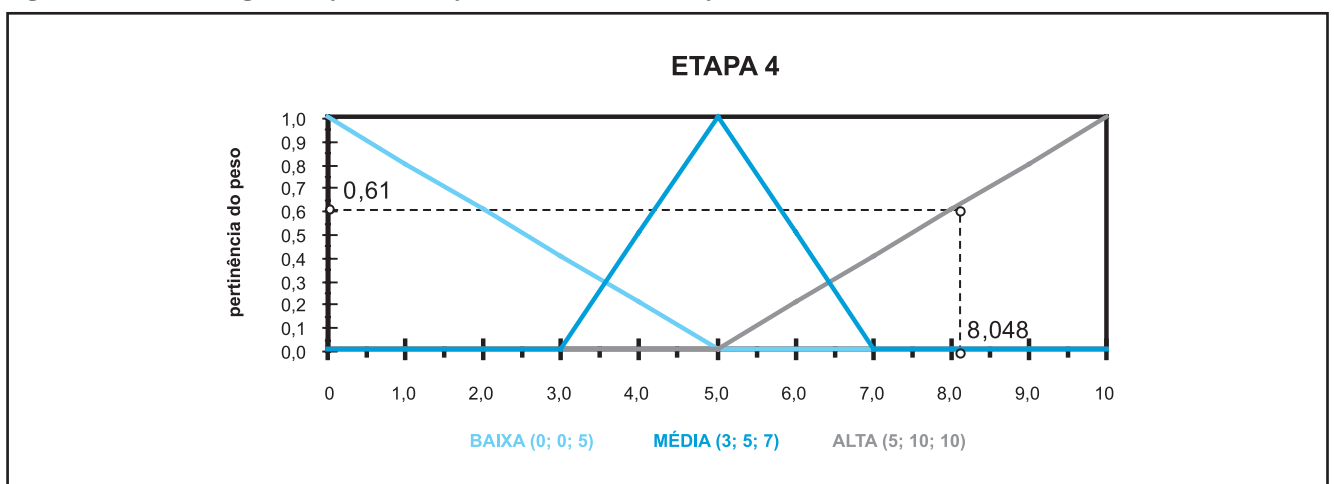
Esta mesma abordagem gráfica foi aplicada para os formulários de FMEA das demais empresas. Em cada caso foram obtidas as pertinências dos pesos referentes à nota de cada uma das quatro etapas. Os dados de cada formulário se encaixam em perfis distintos dentro das regras de combina-

Figura 7: Avaliação gráfica para a Etapa 3 do FMEA da Empresa 1.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 8: Avaliação gráfica para a Etapa 4 do FMEA da Empresa 1.



Fonte: Elaboração própria.



ções e, conseqüentemente, com apontamento de valores de decisão específicos. Nos outros casos, o número de regras nem sempre foi o mesmo. Além da Empresa 1, as Empresas 2, 7, 9, e 11 apresentam as duas situações de decisão como variáveis de saída da fuzzificação (Aceitar e Não Aceitar), sendo possível identificar a resposta final com a aplicação da desfuzzificação. Já as Empresas 3, 4, 5, 6, 8 e 10 apresentam apenas a variável de saída Aceitar. Para a desfuzzificação são considerados os maiores valores obtidos para cada variável resposta ( $\alpha$  - não aceitar /  $\alpha$  - aceitar), conforme definido na Tabela 4.

A análise dos resultados foi realizada pela interpretação do modelo lingüístico Fuzzy com o método de desfuzzificação do baricentro (SHIMIZU, 2006) conforme Figura 9. Observa-se um Conjunto Fuzzy para cada regra: Não aceitar (0, 0, 6) e Aceitar (6, 10, 10). Para o FMEA da Empresa 1, a

pertinência do peso para a condição aceitável de 0,03 resulta no trapézio à direita do gráfico. Já a pertinência do peso para a condição não aceitável de 0,28 resulta no trapézio à esquerda do mesmo gráfico.

A desfuzzificação foi definida de forma que uma pontuação inferior a 60% indica que o FMEA não deve ser aceito. Com base nestes valores escalares foi possível identificar os termos lingüísticos selecionados. A nota final de 2,37 para a avaliação do FMEA da Empresa 1 indica que este formulário não pode ser aceito conforme os padrões propostos neste estudo. A mesma abordagem foi dada para os formulários de FMEA das demais empresas, A Tabela 5 apresenta o resultado final da aplicação dos Conjuntos Fuzzy para todos os onze formulários de FMEA e seus respectivos laudos.

Com a parametrização apresentada, três dos onze formulários de FMEA, mais especificamente os das Empresas 1, 2

**Tabela 3: Regras e valores de decisão ( $\alpha$ ) para o FMEA da Empresa 1.**

REGRAS	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	$\alpha$
<b>Não Aceitar</b>	Baixa 0,28	Alta 1,00	Baixa 0,65	Alta 0,61	0,28
<b>Aceitar</b>	Média 0,03	Alta 1,00	Baixa 0,65	Alta 0,61	0,03

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 4: Maiores valores das variáveis resposta para cada FMEA.**

FMEA	$\alpha$ - NÃO ACEITAR	$\alpha$ - ACEITAR
Empresa 1	0,28	0,03
Empresa 2	0,16	0,52
Empresa 3	-	0,40
Empresa 4	-	0,23
Empresa 5	-	0,46
Empresa 6	-	0,41
Empresa 7	0,01	0,50
Empresa 8	-	0,40
Empresa 9	0,16	0,52
Empresa 10	-	0,62
Empresa 11	0,07	0,41

Fonte: Dados da pesquisa.

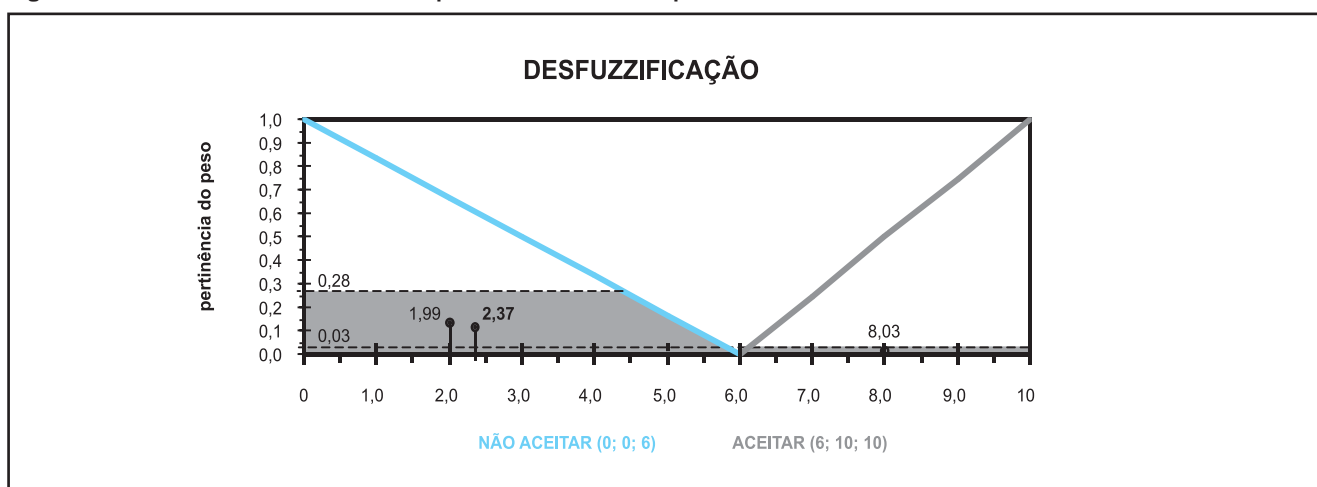
e 9, ficaram com a nota final menor que 6,0, enquadrando-se na condição de não aceitável. Nota-se que para estes três casos não foi só o baixo desempenho em uma das etapas que implicou na não aceitação.

## CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi apresentar uma avaliação da utilização de FMEA de Processo em empresas do ramo

automotivo. Para tanto foram aplicados métodos de tomada de decisão. Para o atendimento deste objetivo, foi inicialmente realizado um embasamento teórico detalhado sobre o FMEA de Processo. Apresenta-se uma abordagem passo-a-passo de sua aplicação pelo sequenciamento em quatro etapas. Também foi realizada a análise de onze formulários de FMEA de Processo de empresas de ampla gama de produtos e pertencentes ao ramo automotivo, na qual foram levantados alguns fatos específicos na aplicação do FMEA.

Figura 9: Gráfico da desfuzzificação para o FMEA da Empresa 1.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5: Pontuação final de cada FMEA e respectivos laudos.

FMEA	NOTA FINAL	LAUDO
Empresa 1	0,237	Não Aceito
Empresa 2	0,560	Não Aceito
Empresa 3	0,737	Aceito
Empresa 4	0,722	Aceito
Empresa 5	0,741	Aceito
Empresa 6	0,737	Aceito
Empresa 7	0,727	Aceito
Empresa 8	0,737	Aceito
Empresa 9	0,560	Não Aceito
Empresa 10	0,753	Aceito
Empresa 11	0,627	Aceito

Fonte: Dados da pesquisa.

Do embasamento teórico, estes fatos foram definidos como irregularidades. Com a aplicação do método AHP foi possível hierarquizar as irregularidades identificadas. Para cada categoria, foram elaboradas as matrizes de julgamentos, nas quais a gravidade da ocorrência das irregularidades foi considerada como o grau de importância das comparações. Para as quatro matrizes, a razão de coerência indicou os julgamentos coerentes entre si.

## Propõe-se que não seja aceitável o formulário de FMEA que apresente mais de uma etapa com nota de avaliação Baixa.

Na sequência, foram apresentadas as notas referentes à avaliação de cada etapa. Cada formulário de FMEA obteve uma distribuição bem particular das irregularidades. De acordo com a prioridade relativa determinada pela aplica-

ção do AHP, observaram-se notas que retratam o desempenho da aplicação do FMEA em cada uma das quatro etapas. A relação de dependência entre as etapas foi determinante para a aplicação dos Conjuntos Fuzzy. Para cada etapa foram definidas três funções de pertinência, representadas pelos termos lingüísticos Baixa, Média e Alta. Os valores variaram de acordo com a importância de cada etapa. Com as notas resultantes de cada etapa e gráficos da função de pertinência Fuzzy correspondentes, pode-se obter a pertinência da avaliação dos formulários para os Conjuntos Fuzzy Aceitar e Não aceitar. Com a aplicação da desfuzzificação pelo método do baricentro pode-se estabelecer laudos para cada formulário de FMEA.

Uma proposta para estudo futuro é a aplicação dos conceitos apresentados para um estudo que envolva fatores de custos da qualidade, buscando a medição do desempenho da aplicação do FMEA de processo em termos de eficácia e eficiência.

Artigo recebido em 14/06/2007

Aprovado para publicação em 08/11/2007

### Referências

- AGUIAR, D. C.; SALOMON, V. A. P. Levantamento de erros na aplicação de FMEA de processo em empresas dos níveis mais inferiores da cadeia de fornecimento da indústria automotiva. XXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – Fortaleza, CE, 2006.
- ANDRADE, M. R. S.; TURRIONI, J. B. Uma metodologia de análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do FMEA. XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – São Paulo, SP, Out., 2000.
- CAMPOS FILHO, P. Método de apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica Fuzzy. 2004. 211 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- CASSANELLI, G.; MURA, G.; FANTNI, F.; VANZI, M.; PLANO, B. Failure Analysis-assisted FMEA. *Microelectronics Reliability*, v. 46, p. 1795-1799, 2006.
- CAVALCANTE, M.; JOÃO, B. Concepção de estratégia como visão ambiental. In: *Gestão estratégica de negócios*. São Paulo: 2. ed., Thomson Learning, 2007.
- CRAIG, D.J. Stop depending on inspection. *Quality Process*, p. 39-44, jul. 2004.
- FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA. *Gestão e Produção*, v. 13, n. 2, p. 245-259, mai.-ago. 2006.
- GARCIA, M. D. *Uso integrado das técnicas de HACCP, CEP e FMEA*. 2000. 128p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2000.
- GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- GONZALEZ, R. V. D. *Análise exploratória da prática da melhoria contínua em empresas fornecedoras do setor automobilístico e de bens de capital certificadas pela norma ISO 9001:2000*. 2006. 213 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.
- HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. *Análise de falhas: aplicação dos métodos FMEA e FTA*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.
- INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. *Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial: FMEA*. 3. ed. *Manuais QS-9000*. São Paulo, 2001.
- KAUFMAN, A.; GUPTA, M. M. *Fuzzy Mathematical Models In Engineering and Management Science*. Amsterdã, Holanda: Elsevier Science Publishers B. V., 1991.
- LAYZELL, J.; LEDBETTER, S. FMEA applied to cladding systems: reducing the risk of failure. *Building Research & Information*, London, v. 26, n. 6, p. 351-357, 1998.
- MARCONCIN, J. C. *Melhorias no desenvolvimento de produtos de uma empresa de manufatura de produtos eletrônicos*. 2004. 135p. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2004.
- PALADY, P. *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos*. Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: IMAN, 1997.
- PEREIRA, G. M.; GEIGER, A. Complexidade do produto e volume de produção como determinantes da estratégia de desenvolvimento de fornecedores automotivos. *Gestão e Produção*, v.12, n. 2, p. 191-2001, mai.-ago. 2005.
- SAATY, T. L. *Analytic Hierarchy Process*, vol. 2 *Decision Making for Leaders*. Vol. II of the AHP Series Thomas L. Saaty, 315 p., RWS Publ. (new ed.), 2001.

## ■ Referências

---

- SALOMON, V. A. P. *Desempenho da Modelagem do Auxílio à Decisão por Múltiplos Critérios na Análise do Planejamento e Controle da Produção*. 2004, Tese (Doutor em Engenharia), Poli/USP, São Paulo, SP, 2004.
- SHARMA, R. K.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using Fuzzy linguistic modelling. *Intenational Journal of Quality e Reability Management*, Bradford, v. 22, n. 9, p. 986-1004, 2005.
- SHIMIZU, T.; *Decisão nas Organizações*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- STAMATIS, D.H. *Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from Theory to Execution*. ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, USA, First Edition, 1995.
- TAY, K. M., LIM, C. P. Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *Intenational Journal of Quality e Reability Management*, Bradford, v. 23, n. 8, p. 1047-1066, 2006.
- TENG, S. G., HO, S. M., SHUMAR, D., LIU, P. C. Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment. *Intenational Journal of Quality e Reability Management*, Bradford, v. 23, n. 2, p. 179-196, 2006.
- TOZZI, A. R. *Desenvolvimento de um programa de verificação de processo de lançamento de cabos com o auxílio da FMEA*. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2004.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case reseach in operations management. *Intenational Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.
- WEBBER, R. Data analysis applications of Neural and Fuzzy Systems in industry. V EUROPEAN CONGRESS ON INTELLIGENT TECHNIQUES AND SOFT COMPUTING, Aachen, Alemanha, Set. 1997.

## ■ Agradecimentos

---

Os autores agradecem aos Professores Dr. Fernando A. S. Marins (UNESP) e Dr. Carlos H. P. Mello (UNIFEI) pelas valiosas sugestões na pesquisa de mestrado que originou este artigo.

## ■ Sobre os autores

---

### **Dimas Campos de Aguiar, MSc.**

Universidade Estadual Paulista  
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá  
Departamento de Produção  
End.: Av. Ariberto P. Cunha, 333 – Guaratinguetá, SP – CEP 12.516-410  
Tel.: (12) 3123-2856 (Ramal 25)  
E-mail: dimas\_c@hotmail.com

### **Valério A. P. Salomon, Dr.**

Universidade Estadual Paulista  
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá  
Departamento de Produção  
End.: Av. Ariberto P. Cunha, 333 – Guaratinguetá, SP – CEP 12.516-410  
Tel.: (12) 3123-2856 (Ramal 25)  
E-mail: salomon@feg.unesp.br