

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

JOSÉ MÁRCIO RAMOS FERNANDES

**PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM INTEGRADA DE MÉTODOS DA
QUALIDADE BASEADA NO FMEA**

CURITIBA

2005

JOSÉ MÁRCIO RAMOS FERNANDES

**PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM INTEGRADA DE MÉTODOS DA QUALIDADE
BASEADA NO FMEA**

**Dissertação apresentada como
requisito parcial para a obtenção de
grau de Mestre em Engenharia de
Produção e Sistemas, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de
produção e Sistemas, Pontifícia
Universidade Católica do Paraná.**

**Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Giroto Rebelato**

**CURITIBA
2005**

JOSÉ MÁRCIO RAMOS FERNANDES

**PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM INTEGRADA DE MÉTODOS DA QUALIDADE
BASEADA NO FMEA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Giroto Rebelato
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Prof. Dr. Sérgio Eduardo Gouvêa da Costa
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Prof. Dr. Luiz César Ribeiro Carpinetti
Universidade Federal de São Carlos

Curitiba, ____ de _____ de 2005

Dedico este trabalho:

Aos meus pais, José Araides e Maria Helena pelo eterno incentivo e apoio.
A minha noiva Juliane pelo suporte e atenção.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- A empresa *Robert Bosch Ltd*, que apoio e viabilizou a realização deste trabalho;
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Giroto Rebelato, por me direcionar e suportar em todos os momentos necessários;
- Aos colegas de trabalho da área de Métodos e Ferramentas da Qualidade que contribuíram com ricas idéias e realizações que apoiaram o conteúdo deste trabalho;
- A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

“Não é o mais forte da espécie que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o mais adaptável a mudanças”

Charles Darwin

RESUMO

Aos longos dos anos as organizações evoluíram tornando-se sistemas complexos. Nestes sistemas a execução eficaz de cada uma das atividades ou processos não garante a eficácia do sistema, torna-se assim necessário garantir e atuar nas inter-relações e interfaces dos processos.

Os mais recentes Sistemas de Gestão da Qualidade têm como diretrizes a visão sistêmica e integração dos processos, porém a problemática tratada nesta dissertação é que os métodos da qualidade que suportam estes novos sistemas ainda são os mesmos, e assim sendo, não garantem nem facilitam a visão sistêmica e integração. Adicionalmente destaca-se a problemática da falta de foco preventivo nos atuais Sistemas de Gestão da Qualidade causada pela falta ou uso deficiente de métodos focados na prevenção, como por exemplo, o FMEA.

Neste trabalho de pesquisa são descritos os principais métodos que suportam os atuais Sistemas de Gestão da Qualidade, e é analisada criticamente sua atual aplicação, apontando falhas e dificuldades em relação a sua integração com outros métodos e em relação ao foco preventivo.

Com base na análise dos métodos da Gestão da Qualidade desenvolveu-se nesta dissertação de mestrado uma proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA. Esta abordagem integrada propicia um entendimento mais claro das inter-relações entre os métodos e garante que estas aconteçam naturalmente. Como consequência positiva da integração observou-se o surgimento de novas características e funcionalidades não existentes ou não possíveis em cada um dos métodos de forma isolada. Verificou-se que a utilização do método FMEA para a integração dos demais propiciou uma característica essencialmente preventiva a proposição.

Por fim conclui-se que esta abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA é uma alternativa viável para organização que buscam a excelência na Gestão da Qualidade e objetivem zero defeito.

Palavras-chave: Sistema de Gestão da Qualidade; FMEA; QFD; Ferramentas e Métodos da Qualidade.

Áreas de conhecimento: Engenharia de Produção; Engenharia da Qualidade.

ABSTRACT

During the last years organizations have developed becoming complex systems. On these complex systems the efficiency on the execution of each activity or process doesn't result necessarily on the system efficiency. Based on this conclusion, is important a system that work on the interfaces and interactions of the process.

The most recent Quality Management Systems have, as directives, the systems thinking and process integration approach, but the problematic that is consider on this research is the lack of evolution on the methods of the new Quality Systems causing difficulties to assure the system integration and interactions. Additionally is included the lack of preventive focus on the actual Quality Management systems caused by the misuse of preventive quality methods, as the FMEA.

On this research the main methods that support the actual Quality Management System are described and its application is analyzed, considering failures and difficulties related to the integration with other methods and related to the preventive focus.

Based on the analyses of the actual Quality Management System methods it is proposed an integrate approach of the quality methods based on the FMEA. This new integrated approach allows a clear understanding of the inter-relations and assures that they will occur naturally. As a positive consequence of the integration new characteristics and functionalities were observed, those were not possible on each of the methods alone. The use of the FMEA method for the integration has provided an essential preventive characteristic for this proposition.

Finally was possible to conclude that this integrated approach based on the FMEA for the quality methods is a reasonable way for organization that seek for excellence on Quality Management and has a goal for zero defects.

Keywords: Quality Management System; FMEA; QFD; Quality tools and methods.

Knowledge areas: Production Engineering and Quality Engineering.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
SUMÁRIO	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Formulação do problema da pesquisa	4
1.2 Declaração dos objetivos da pesquisa	5
1.3 Metodologia de pesquisa	6
1.4 Relevância da pesquisa	9
1.5 Motivação pelo tema da pesquisa	11
1.6 Estruturação do trabalho	12
2 MÉTODOS DA GESTÃO DA QUALIDADE	14
2.1 Desdobramento da função Qualidade (QFD)	16
2.2 Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA).....	21
2.2.1 Alternativas na aplicação do método FMEA.....	29
2.3 Plano de Controle (PQP).....	33
2.4 Inspeções e auditorias de produto	35
2.5 Controle Estatístico do processo (CEP)	38
2.6 Métodos de Solução de Problemas.....	41
3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS INTER-RELAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS DA GESTÃO DA QUALIDADE	45
3.1 Inter-relação QFD e FMEA.....	46
3.2 Inter-relação FMEA e PQP	48
3.3 Inter-relação FMEA , Inspeções, Auditoria de Produto e CEP	50
3.4 Inter-relação FMEA e Metodologia de Solução de Problemas	52
3.5 Inter-relações entre os processos	54
4 PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM INTEGRADA DOS PROCESSOS DA GESTÃO DA QUALIDADE BASEADA NO FMEA	56
4.1 Processo QFD na abordagem proposta.....	66
4.2 Método FMEA na abordagem proposta	68

4.3	Método de Plano de controle na abordagem proposta.....	69
4.4	Métodos de Inspeções, Auditorias e CEP na abordagem proposta	69
4.5	Metodologia de solução de problemas na abordagem proposta.....	70
4.6	Comparativo entre a abordagem atual e proposta	71
5	EXEMPLO FICTÍCIO DE APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA	75
5.1	Planejamento da Qualidade	76
5.2	Controle da Qualidade	91
5.3	Resumo das estratégias adotadas e resultados esperados.....	95
6	CONCLUSÕES.....	98
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	100
7.1	Aplicação prática da abordagem integrativa proposta.....	100
7.2	Desenvolvimento de software para suporte a aplicação da abordagem proposta.....	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolução da Gestão da Qualidade.....	3
Figura 2.1: Representação de processo	14
Figura 2.2: Etapas do Planejamento da Qualidade	17
Figura 2.3: Representação simplificado do método QFD.....	18
Figura 2.4: Exemplo de aplicação do QFD.....	19
Figura 2.5: Representação do processo QFD	20
Figura 2.6: Exemplo de formulário FMEA	24
Figura 2.7: Aplicação do FMEA nas fases do planejamento da qualidade	27
Figura 2.8: Representação do processo FMEA	28
Figura 2.9: Matriz para avaliação da severidade.....	32
Figura 2.10: Fluxograma do Controle da Qualidade	34
Figura 2.11: Representação do processo do Plano de Controle.....	35
Figura 2.12: Representação do processo de Inspeções	37
Figura 2.13: Histograma.....	38
Figura 2.14: <i>Run-chart</i>	39
Figura 2.15: Gráfico de controle	39
Figura 2.16: Representação do processo CEP	40
Figura 2.17: Representação do processo Metodologia de Solução de Problemas ...	44
Figura 3.1: Inter-relação QFD / FMEA.....	47
Figura 3.2: Inter-relação FMEA / PQP.....	49
Figura 3.3: Inter-relação Inspeções e CEP / FMEA	51
Figura 3.4: Inter-relação FMEA / Metodologia de Solução de Problemas.....	53
Figura 3.5: Inter-relações no atual Sistema de Gestão da Qualidade	55
Figura 4.1: Entradas e saídas do planejamento e controle da Qualidade	57
Figura 4.2: Relações de Causa e Efeito para tratar a expectativa do cliente	58
Figura 4.3: Avaliação de riscos através da definição de modos de falha.....	59
Figura 4.4: Retro-alimentação do Planejamento e Controle da Qualidade	60
Figura 4.5: Representação da abordagem proposta.....	61
Figura 4.6: Integração dos processos na abordagem proposta	62
Figura 4.7: Desdobramento dos requisitos nas etapas de planejamento da qualidade	65
Figura 4.8: Inter-relação FMEA e QFD.....	67

Figura 4.10: Representação das modificações na abordagem tradicional	72
Figura 4.11: Representação das técnicas da qualidade na abordagem proposta.....	74
Figura 5.1: Lâmpada incandescente	75
Figura 5.2: Estrutura de componentes	75
Figura 5.3: Matriz de correlação Expectativa do cliente x Requisitos do Sistema.....	77
Figura 5.4: Abordagem proposta para avaliação de riscos	80
Figura 5.5: Matriz de correlação Requisitos do Sistema x Requisitos do Projeto	82
Figura 5.6: Matriz de correlação Requisitos do Projeto x Requisitos do processo....	83
Figura 5.7: Matriz de correlação Requisitos do Projeto x Requisitos do processo....	83
Figura 5.8: FMEA de Processo na abordagem tradicional	85
Figura 5.9: Avaliação de riscos no processo conforme abordagem proposta.....	86
Figura 5.10: Relação dos requisitos do projeto com etapas do processo	88
Figura 5.11: Ligação dos dados de inspeções, auditorias e CEP na abordagem proposta	91
Figura 5.12: Metodologia de solução de problemas na abordagem proposta.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Tabela de severidade	76
Tabela 5.2: Tabela de Correlações	76
Tabela 5.3: Tabela de Ocorrência.....	78
Tabela 5.4: Tabela de Detecção	79
Tabela 5.5: Abordagem tradicional para o FMEA	79
Tabela 5.6: Plano de controle	89
Tabela 5.7: Árvore de falhas	90
Tabela 5.8: Árvore de falhas invertida.....	90
Tabela 5.9: Aplicação tradicional da metodologia de solução de problemas 8D.....	93
Tabela 5.10: Estratégias adotadas e resultados esperados.....	96
Tabela 5.11: Estratégias adotadas e resultados esperados - continuação	97

1 INTRODUÇÃO

Qualidade, um conceito para o qual se encontram diversas definições. Por exemplo, segundo Crosby (1990) qualidade significa conformidade com os requisitos, já para Deming, citado pela ABCQ (1996), qualidade é controle estatístico do processo (redução de variabilidade) e finalmente para Juran (2000) qualidade é a adaptabilidade ao uso.

Uma forma de tratar o conceito de qualidade de maneira mais ampla seria definindo-a como a capacidade de atender às expectativas das partes interessadas. Quando se trata de um produto ou serviço as expectativas normalmente são em relação à conformidade com requisitos e a adaptabilidade ao uso, onde as principais partes interessadas são normalmente os clientes. Assim, neste contexto qualidade está diretamente relacionada à atender aos requisitos dos clientes. Quando se trata de um processo, por exemplo, um processo produtivo, as expectativas são normalmente em relação ao atendimento às metas e objetivos específicos do processo, por exemplo, baixos níveis de rejeitos, retrabalhos e reaproveitamentos, neste caso as principais partes interessadas são os responsáveis pelo processo. Neste outro contexto qualidade está diretamente relacionada à atender às metas e objetivos especificados pelos responsáveis pelo processo. O conceito de qualidade como capacidade de atender às expectativas das partes interessadas pode ainda ser estendido à diversas outras situações.

Qualidade é um conceito atemporal, sempre esteve presente na civilização, porém, as abordagens em relação à qualidade mudaram muito ao longo do tempo. Algumas das mais significativas mudanças em relação à qualidade iniciaram à partir da revolução industrial.

Conforme descrito por Juran (2000), a revolução industrial trouxe a mudança do sistema de produção artesanal, na qual cada artesão experiente executava todas as tarefas e entregava o produto pronto, para a produção industrial, na qual as tarefas foram divididas e cada operário executava com alta produtividade uma tarefa específica. Na revolução industrial o foco era produção em massa a baixo custo, com isto os operários já não tinham mais contato com o cliente final e produziam com base em padrões definidos, assim a qualidade ficava sob a responsabilidade de um supervisor. Produtos com montagens de peças necessitavam que estas fossem intercambiáveis, aumentando assim a necessidade de qualidade nos mesmos. Além

disto, os responsáveis pela produção ainda não dominavam o conceito de variabilidade do processo e não tinham habilidade de lidar com dados do mesmo, surgindo assim a necessidade de inspetores para avaliar a qualidade nas linhas produtivas através de inspeções 100%.

O próximo passo em relação à qualidade foi em 1940 quando surgiu o controle estatístico da qualidade, com o qual foi possível substituir muitas das inspeções 100% por planos de amostragem. Em 1951 Feigenbaum propõe o conceito de Controle da Qualidade Total (Total Quality Control - TQC), estendendo assim o conceito da qualidade além da área produtiva. Segundo Fasser e Brettner (2002) no TQC a qualidade não é mais função do departamento da qualidade, mas sim de várias áreas envolvidas em todas as atividades que envolvem a qualidade.

Desde 1961 Crosby já defendia o conceito de zero defeito, porém somente em 1979, após a publicação do livro "Quality is Free" é que o mesmo foi realmente entendido como um objetivo possível e não somente uma forma de motivar os empregados em relação à qualidade, redirecionando assim o foco das atividades da qualidade.

Os primeiros conceitos do controle estatístico do processo, conforme citado por Juran (2000), foram desenvolvidos por Shewhart em 1924, porém, o controle estatístico do processo somente foi popularizado no final da década de 70. Neste mesmo período os japoneses, influenciados por estatísticos americanos como Deming e Juran, desenvolveram diversas iniciativas em relação à qualidade.

Como uma evolução do TQC, no início da década de 80, surgiu o conceito de Gestão da Qualidade Total (TQM - Total Quality Management). Segundo Fasser e Brettner (2002) TQM é uma forma sistemática de atingir e manter a qualidade total. O TQM requer uma mudança de cultura em relação à qualidade em todos os níveis enfatizando o papel das pessoas no sistema. Desde seu início o conceito passou por diversas melhorias e hoje ainda é considerado uma das melhores iniciativas da qualidade.

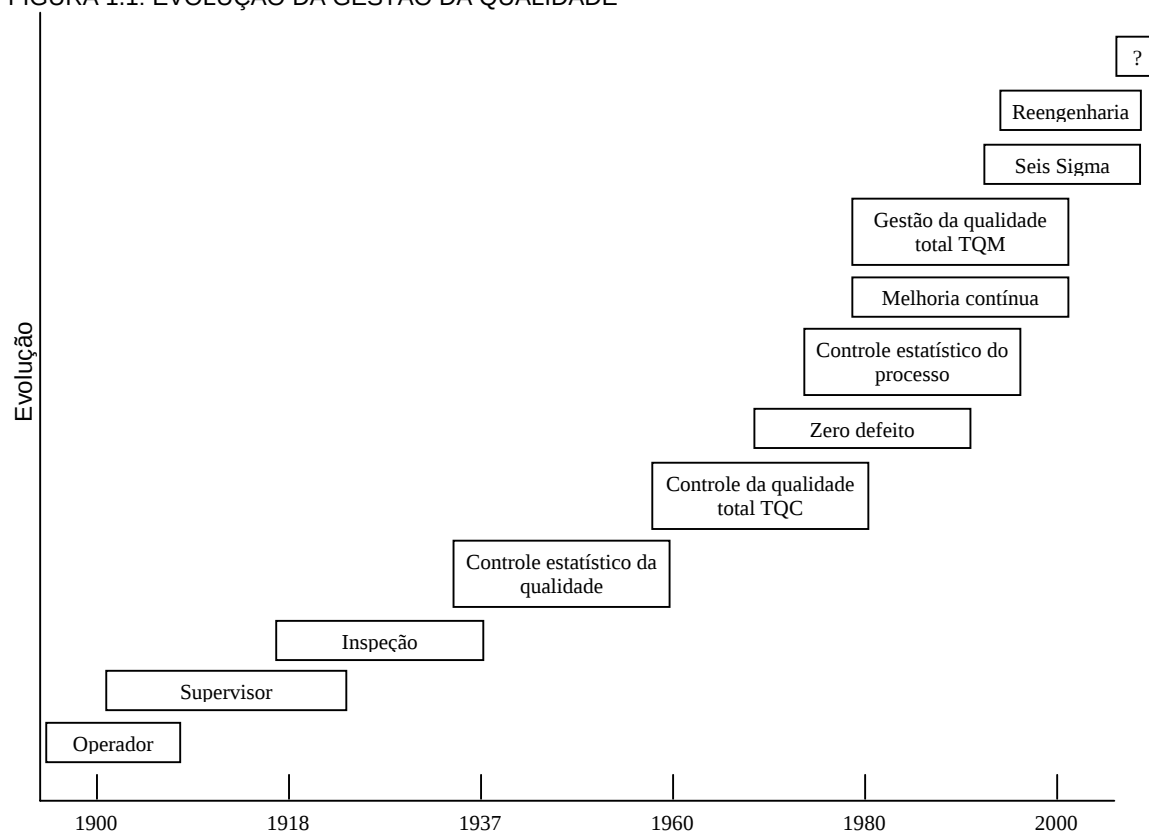
Em 1988 a Motorola teve grandes ganhos com a introdução da iniciativa do Seis Sigma, porém com a adoção pela General Eletric em 1995 o Seis Sigma se popularizou e começou a ser adotado em diversas empresas. Seis Sigma pode ser entendido como a busca contínua da redução da variabilidade nos processo objetivando atingir um nível de falha muito próximo a zero defeito. Perez (1999) relata diversas maneiras de utilização do Seis Sigma:

- a) Como meio de buscar redução de custos e melhoria contínua;
- b) Como uma caixa de ferramentas e técnicas;
- c) De forma mais ampla como uma iniciativa de qualidade que abrange diversos outros conceitos.

Com base nos autores citados, nota-se que de tempos em tempos surgem novas iniciativas em relação à qualidade, algumas realmente trazendo conceitos novos e outras somente reciclando, adaptando ou reorganizando conceitos já existentes. Na Figura 1.1 pode-se observar a evolução da Gestão da Qualidade graficamente representada por Fasser e Brettner (2002).

Para os pesquisadores na área da qualidade uma questão pertinente é qual deveria ser a próxima iniciativa em relação à qualidade que atenda as demandas do mercado e das organizações.

FIGURA 1.1: EVOLUÇÃO DA GESTÃO DA QUALIDADE



FONTE: ADAPTADO DE FASSER E BRETTNER (2002, P. 285)

Esta dissertação traz como tema a integração dos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade.

1.1 Formulação do problema da pesquisa

A gestão da qualidade vem passando por diversas mudanças ao longo das últimas décadas, várias iniciativas foram propostas. Conforme citado por Kubiak (2003), cada uma delas traz abordagens diferenciadas em relação à qualidade.

Os mais recentes Sistemas de Gestão da Qualidade trazem como ponto fundamental à abordagem por processos e visão sistêmica, como, por exemplo, a ISO 9000:2000 que cita que a organização deve ser gerenciada como um conjunto de processos inter-relacionados. Outros exemplos são os modelos de excelência, como o brasileiro Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ), o americano Malcom Baldrige e o europeu EFQM, que são a evolução da TQM e apresentam como princípios à visão sistêmica e abordagem por processos.

Mesmo objetivando a visão sistêmica a grande maioria dos Sistemas de Gestão da Qualidade ainda é formada por um conjunto de requisitos específicos, como, por exemplo, a ISO 9000:2000. Visando atender a cada um destes requisitos foi necessária a criação de métodos ou ferramentas da qualidade, como, por exemplo, a Análise de Modos e Efeitos de Falhas, FMEA.

Vistos no Sistema de Gestão da Qualidade, cada um destes métodos apresenta entradas e saídas específicas e estão inter-relacionados. Conforme citado por Benson (1991) muitas organizações aplicam diversos métodos e ferramentas da qualidade, porém a chave é como olhar cada uma delas em foco e ao mesmo tempo visualizar o todo e entender como elas podem trabalhar em harmonia.

Em suma, a problemática em relação à integração dos processos do Sistema da Qualidade tratada nesta dissertação é que, apesar da abordagem sistêmica e integração serem objetivadas pelos mais recentes Sistemas de Gestão da Qualidade, ainda não se têm métodos que garantam ou facilitem a visão sistêmica e integração.

Adicionalmente destaca-se a problemática da falta de foco preventivo nos atuais Sistemas de Gestão da Qualidade. Muitos Sistemas de Gestão da Qualidade utilizam-se de métodos preventivos como FMEA e CEP, contudo em sua maioria focam ainda na atuação corretiva em relação à qualidade, onde o principal fator para a tomada de ação ainda é a falta de qualidade e não a prevenção desta. Em sistemas de gestão com foco corretivo atua-se no problema do momento e não nos riscos potenciais de eventuais problemas. Desta forma, o sistema perde eficiência devido à má utilização dos recursos.

A necessidade do foco preventivo, da integração e visão sistêmica nos métodos da Gestão da Qualidade se torna mais evidente em contextos em que é necessário atingir níveis de alto desempenho da qualidade de produtos e serviços, onde o zero defeito não é somente uma filosofia e sim uma meta atingível.

Nestes contextos são necessárias também grandes mudanças nos métodos que dão suporte ao Sistema de Gestão, buscando a integração e o foco preventivo. Apesar das muitas mudanças nos Sistemas de Gestão da Qualidade, poucas foram as mudanças em relação aos métodos, ou seja, à utilização dos procedimentos e ferramentas da qualidade. Os métodos da qualidade atualmente utilizados foram na sua grande maioria popularizados na década de 70 com o início do Controle da Qualidade, e são até hoje utilizados independentemente do Sistema de Gestão da Qualidade sob o qual são aplicados.

A falta de harmonia e integração notada na aplicação dos atuais métodos nos Sistemas de Gestão da Qualidade e a falta de foco preventivo nos mesmos é a problemática que será tratada nesta dissertação.

1.2 Declaração dos objetivos da pesquisa

Frente à problemática apresentada da falta de métodos que possibilitem a integração no Sistema de Gestão da Qualidade para que o mesmo atue de forma sistêmica, preventiva e eficaz, esta dissertação tem como principal objetivo a proposição de uma abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA.

Como passos importantes na proposição desta nova abordagem têm-se os seguintes objetivos complementares:

- a) Descrever, utilizando a abordagem de processos, os métodos da gestão da qualidade destacados nesta pesquisa;
- b) Identificar e detalhar os principais problemas na integração atual dos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade destacados nesta pesquisa;
- c) Propor as modificações necessárias que possibilitem a integração dos métodos;
- d) Identificar e descrever funcionalidades possíveis com a abordagem proposta;
- e) Descrever os resultados esperados na aplicação da abordagem proposta;
- f) Identificar possíveis trabalhos futuros.

Nesta pesquisa foram abordados os métodos da qualidade mais utilizados e conhecidos, especialmente na indústria aeronáutica e automobilística, os quais são citados abaixo:

- a) Desdobramento da Função Qualidade (QFD)
- b) Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA)
- c) Plano de Controle (PQP)
- d) Controle Estatístico de Processo (CEP)
- e) Inspeções e Auditoria de Produto
- f) Métodos de solução de problemas

1.3 Metodologia de pesquisa

Conforme citado por Silva e Menezes (2001) as pesquisas podem ser classificadas de diversas maneiras:

1. Pela natureza, em básica ou aplicada. Sendo o trabalho em questão uma pesquisa aplicada, pois os conhecimentos gerados são de possível aplicação em um problema prático.

2. De acordo com a forma de abordagem, em quantitativa ou qualitativa. A abordagem qualitativa é a mais adequada para o trabalho em questão, pois as avaliações e discussões são subjetivas e baseadas na interpretação de fenômenos.

3. Pelos seus objetivos, em exploratória, descritiva ou explicativa. O objetivo da dissertação é exploratório, pois visa analisar os atuais métodos da gestão da qualidade, conhecer suas particularidades, seus conceitos e inter-relações e assim propor hipóteses para que estes sejam otimizados.

4. Em relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser bibliográfica, documental, experimental, levantamento, estudo de caso, *expost-facto*, pesquisa-ação e pesquisa participante. Devido ao seu caráter exploratório a dissertação será baseada somente em pesquisa bibliográfica.

Baseado nas proposições das etapas de pesquisa de Gil (2002) e de Silva e Menezes (2001) foram definidas as etapas necessárias para esta pesquisa, sendo elas:

- a) Escolha do tema
- b) Levantamento bibliográfico preliminar
- c) Estudo preliminar do tema

- d) Formulação do problema
- e) Definição da metodologia de pesquisa
- f) Definição dos tópicos da pesquisa
- g) Levantamento bibliográfico
- h) Fichamento e leitura analítica
- i) Leitura interpretativa
- j) Conclusões parciais
- k) Redação da dissertação
- l) Conclusões finais

A seguir estas etapas serão detalhadas.

a) Escolha do tema

Segundo Gil (2002) o tema escolhido deve ser do interesse do estudante e o mesmo deve ter bons conhecimentos prévios na área de estudo, assim foi escolhido o tema da pesquisa em questão.

b) Levantamento bibliográfico preliminar

Conforme Silva e Menezes (2001) é importante nesta fase determinar o estado da arte do tema em questão, ou seja, estudar os principais autores e avaliar quais aspectos já foram abordados. Nesta etapa foram estudados os principais autores da área e analisados principalmente os textos mais recentes sobre o tema, como por exemplo, artigos, revistas e publicações.

A literatura atualmente disponível sobre o tema é ampla, porém cada método do Sistema de Gestão da Qualidade é tratado normalmente de forma isolada. Poucos autores tratam de temas similares a proposta desta dissertação.

c) Estudo preliminar do tema

Com base no levantamento bibliográfico foram levantados os possíveis problemas relacionados ao tema, visando assim criar uma base sólida de alternativas para a formulação do problema.

d) Formulação do problema

Na etapa de estudo preliminar do tema foram analisadas diversas problemáticas dentro da área de Gestão da Qualidade, e para a formulação do problema escolheu-se a mais significativa e a que trouxesse as melhores aplicações práticas futuras. Assim foi escolhida a problemática relacionada à falta de integração entre os diversos

métodos do Sistemas de Gestão da Qualidade e a falta de foco preventivo do mesmo, a qual prejudica o desempenho da qualidade do produto ou serviço.

e) Definição da metodologia de pesquisa

Nesta etapa procurou-se encontrar a metodologia de pesquisa mais adequada ao tema da pesquisa.

f) Definição dos tópicos da pesquisa

A pesquisa foi dividida em vários tópicos visando facilitar a organização e a pesquisa bibliográfica posterior.

Cada tópico aborda um assunto específico relacionado à dissertação.

g) Levantamento bibliográfico

Para cada tópico escolhido para pesquisa foram selecionados os principais autores relacionados ao assunto em questão. Para aumentar a qualidade da pesquisa e minimizar o risco de repetir ou ampliar os erros já cometidos por outros autores, além da pesquisa em questão ser baseada nos autores mais conceituados de cada tópico, também foram sempre consultados diferentes autores para cada tópico. Adicionalmente foram consultadas as publicações recentes relacionadas ao tópico, como por exemplo, artigos, publicações diversas, periódicos e livros.

h) Fichamento e leitura analítica

Nesta etapa todos os textos selecionados no levantamento bibliográfico foram fichados. Para o fichamento foi utilizado um banco de dados onde foram registradas as seguintes informações:

- Título completo
- Título breve
- Tópico da pesquisa relacionado
- Referência bibliográfica
- Palavras chaves
- Resenha
- Análise crítica

O banco de dados em questão permite a fácil busca e organização dos textos avaliados, facilitando assim a elaboração da dissertação.

Foi feita nesta etapa uma leitura analítica dos textos visando identificar as idéias chaves e sintetizá-las.

i) Leitura interpretativa

Nesta etapa foram selecionados os textos significativos para o problema e estes foram avaliados e comparados entre si, verificando-se as diferentes abordagens dos autores e quais proposições ou hipóteses podem ser elaboradas a partir dos mesmos.

j) Conclusões parciais

Com base nas leituras interpretativas dos textos procurou-se obter conclusões parciais para cada um dos tópicos propostos e comentários sobre como eles se inter-relacionam.

k) Redação da dissertação

A redação da dissertação foi baseada nas conclusões parciais, procurando agora integrá-las e construir hipóteses e proposições finais. Nesta etapa foram descritos os principais resultados esperados com a abordagem proposta.

l) Conclusões finais

As conclusões finais visam consolidar as proposições em relação à problemática proposta inicialmente. As conclusões devem sintetizar as novas idéias e proposições sobre o tema.

1.4 Relevância da pesquisa

Conforme citado por Okes (2003) e Fasser e Brettner (2002) as organizações têm se tornado cada vez mais complexas. Riley (2000) se refere a seis “C’s” para caracterizar o ambiente corporativo: mudança (*change*), complexidade (*complexity*), exigências do cliente (*customer demands*), pressão competitiva (*competitive pressure*), impactos de custo (*cost impacts*) e restrições (*constrains*). Todos têm grande impacto no atendimento às metas e objetivos da organização.

Segundo Riley (2000) as organizações desenvolvem novos produtos ou serviços para atingir as metas e objetivos, porém raramente fazem grandes mudanças nos processos que suportam os bens e serviços. Para Ripley o sucesso em atingir as metas e objetivos depende em sua maior parte em processos grandes, complexos e multifuncionais. Conseqüentemente a proposta de mudança nos métodos e processos que compõem os Sistemas de Gestão da Qualidade torna a pesquisa em questão relevante.

Para Uhlmann (2002) para que os processos ocorram é necessário que todos os elementos do sistema, os subsistemas, ajam de maneira sinérgica, ou seja, voltados para o mesmo objetivo e de maneira ordenada. Assim torna-se necessário entender os

processos, entender as inter-relações e interfaces entre eles e além disto entender o todo (sistema) e não somente focar nas partes (sub-sistemas, processos e sub-processos).

Okes (2003) cita que as organizações evoluíram tornando-se sistemas sociais complexos adaptativos, da mesma forma a Gestão da Qualidade também evoluiu, novas metodologias e ferramentas foram criadas, novos conceitos e filosofias foram incorporados aumentando conseqüentemente a complexidade do Sistema de Gestão da Qualidade. Como característica típica de um sistema complexo, conforme descrito por Uhlmann (2002), na Gestão da Qualidade a soma das partes não é igual ao todo, ou seja, a execução eficaz de cada um dos processos ou métodos não garante a eficácia do sistema.

A norma ISO 9000:2000 (2000) descreve que para uma organização funcionar de maneira eficaz ela tem que identificar e gerenciar diversas atividades interligadas. Ainda segundo DiOrio (2003) os diversos elementos de um Sistema de Gestão da Qualidade são, muitas vezes, implementados conforme a necessidade ou exigência, e não como parte de um sistema integrado.

A relevância desta dissertação está no fato da mesma propor uma abordagem para a Gestão da Qualidade que facilite o entendimento das inter-relações e interfaces presentes e que garanta que elas ocorram na prática, buscando assim uma das características de sistema dinâmico integral que é a geração, através das interações, de novas qualidades que não estão presentes nos processo individuais, conforme descrito por Uhlmann (2002).

Uma abordagem que garanta as inter-relações torna-se conseqüentemente mais sensível aos sinais em relação à qualidade dos produtos ou serviços. Com um desempenho diferenciado dos métodos da qualidade espera-se ser possível obter ganhos em relação à qualidade com esforços significativamente menores do que os necessários em uma abordagem tradicional.

Objetivando ainda uma melhoria do desempenho em relação à busca de zero defeito, a abordagem proposta tem ainda como diferencial o foco preventivo, pelo fato da mesma estar baseada no método FMEA, o qual atua preventivamente em relação à qualidade. Segundo Craig (2004) um Sistema de Gestão da Qualidade com foco preventivo é vital para se eliminar a inspeção, reduzir os custos com a qualidade e atender às exigências do cliente.

As organizações poderiam utilizar o método FMEA para melhorar a confiabilidade dos produtos e processos, obtendo assim diversos ganhos conseqüentes, porém conforme pesquisa realizada por Dale e Shaw (1990) em fornecedores da empresa Ford Britânica, o principal motivo para a execução do FMEA é somente a exigência do cliente. Segundo Teng e Ho (1996) o mesmo ocorre na indústria americana. Pode-se notar este fato também na indústria nacional, onde o uso do método FMEA é limitado e, na grande maioria dos casos, restrito a cumprir exigências dos clientes. Para Teng e Ho a principal razão do mau uso do FMEA é que não se percebe a conexão desta ferramenta com outros processos de controle do processo produtivo. Teng e Ho citam ainda que para muitas empresas o FMEA termina quando o documento está pronto, assim a utilização deste não vai além da própria elaboração do documento para cliente.

Para um uso efetivo do FMEA, visando agregar valor na utilização da ferramenta, é importante que as correlações deste método com outros elementos do Sistema da Qualidade sejam entendidas e aconteçam.

Com uma nova abordagem proposta para a integração dos métodos da Gestão da Qualidade com base no FMEA, facilitando e tornando claras as correlações do FMEA com outros processos da gestão da qualidade, espera-se que o referido processo possa cumprir os seus objetivos originais, agregando valor à qualidade do produto ou serviço, e não somente cumprindo um requisito do cliente. Espera-se ainda que um FMEA integrado aos outros processos da gestão da qualidade torne mais fácil e lógico o seu uso, ampliando assim a utilização destes métodos nas mais diferenciadas áreas.

A problemática escolhida é um problema real em muitas organizações e um potencial problema futuro para as organizações que buscam a qualidade e melhoria contínua.

1.5 Motivação pelo tema da pesquisa

Um trabalho de pesquisa envolve muita dedicação e persistência, assim a motivação do pesquisador é ponto fundamental ao sucesso. Durante a atuação na área da qualidade o autor familiarizou-se com os métodos do Sistema da Qualidade citados nesta pesquisa, e, atuando como Engenheiro da Qualidade em diversos produtos e

realidades fabris, pode observar detalhes e dificuldades específicas da aplicação dos métodos.

A atuação prática na área associada ao estudo teórico possibilitou uma visão mais abrangente sobre o tema qualidade, não somente focando em métodos, procedimentos e ferramentas específicas, mas sim observando a Gestão da Qualidade integralmente.

Graças à observação do ambiente da Gestão da Qualidade foi possível ao autor identificar que os principais problemas que limitam um melhor desempenho do Sistema de Gestão da Qualidade são a falta de integração entre seus diversos métodos e falta de foco preventivo do sistema. Pode-se perceber que o foco excessivo em procedimentos e requisitos específicos do Sistema da Qualidade comprometeu a integração entre os mesmos. O autor percebeu que os atuais métodos dos Sistemas de Gestão da Qualidade não facilitam a integração, pelo contrário, tratam cada método como se fosse único e independente, comprometendo totalmente as inter-relações no sistema.

A falta de integração e foco preventivo na Gestão da qualidade é tratada por alguns autores, como por exemplo, Vandenbrande (1998), porém de forma bastante pontual e simplificada.

Vivenciando as dificuldades do dia a dia da qualidade, percebendo as falhas do atual Sistema de Gestão da Qualidade e frente à carência de trabalhos acadêmicos sobre o tema o autor motivou-se a propor um novo sistema, o qual objetive suprir estas deficiências, tornando a Gestão da Qualidade mais eficaz. O autor acredita que um novo sistema que facilite a integração e foco preventivo na Gestão da Qualidade possa dar uma nova dinâmica ao sistema; trazendo-o a novos níveis de desempenho.

A motivação está ainda na possível aplicação prática dos conceitos propostos para a integração dos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade com base no FMEA, e dos conseqüentes ganhos esperados com este.

1.6 Estruturação do trabalho

A estruturação deste trabalho objetiva trazer uma seqüência lógica que possibilite:

- a) O entendimento do tema em questão e metodologia utilizada na pesquisa
- b) Apresentação da problemática atual

- c) Proposição de uma nova abordagem
- d) Apresentação dos resultados esperados
- e) Conclusão dos principais pontos da pesquisa.

O capítulo 1 visa introduzir o tema da pesquisa e o contexto onde ele está inserido, mostrar qual a problemática a ser tratada, delimitando assim o campo da pesquisa e identificando quais os objetivos que se pretende atingir com a pesquisa. Adicionalmente procura descrever a metodologia utilizada na pesquisa, sua relevância e motivação pessoal do autor.

O capítulo 2 caracteriza processos e apresenta os métodos da gestão da qualidade selecionados nesta dissertação sob a forma de processos. Foi ainda caracterizado o estado atual em relação aos métodos do sistema da qualidade, fazendo um referencial teórico, identificando potenciais de melhoria nos métodos da gestão da qualidade e apresentando ainda as mais recentes propostas relacionadas aos métodos citados.

O capítulo 3 inicia o desenvolvimento da proposta desta dissertação através da identificação das inter-relações entre os métodos selecionados. Este capítulo identifica ainda as atuais falhas de integração presentes nos métodos.

O capítulo 4 apresenta em detalhes a abordagem proposta para a utilização do FMEA com base para a integração dos métodos da qualidade.

O capítulo 5 apresenta os resultados esperados com a nova abordagem proposta, identificando assim as vantagens e desvantagens que podem ser encontradas através da aplicação da abordagem em um exemplo fictício.

O capítulo 6 procura concluir todos os temas abertos na dissertação, visando atender ao objetivo principal e objetivos específicos descritos no capítulo 1.

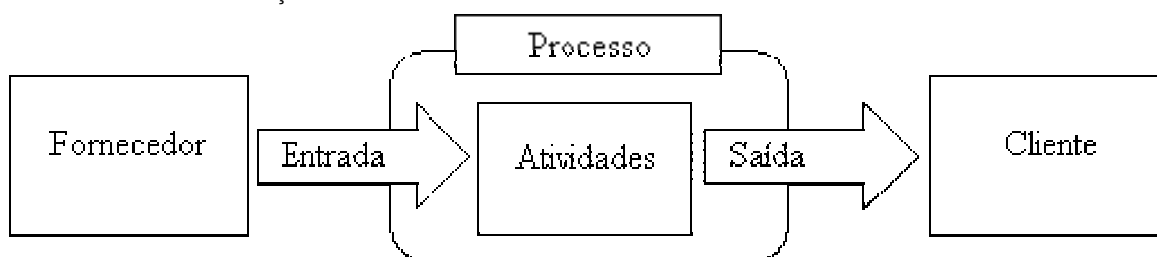
O capítulo 7 visa propor sugestões para aplicações da abordagem integrada baseada no FMEA e para trabalhos futuros que possam dar seqüência a esta pesquisa.

2 MÉTODOS DA GESTÃO DA QUALIDADE

Para Uhlmann (2002) os sistemas sociais, ou seja, aqueles criados pelos homens, têm a característica de serem formados por processos. Neste contexto se incluem os Sistemas de Gestão da Qualidade.

Conforme descrito na ISO 9000:2000 (2000), e representado na Figura 2.1, processo é uma atividade que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas. Processos são caracterizados por terem metas e objetivos específicos, fornecedores, clientes, entradas, saídas e atividades e serem repetitivos.

FIGURA 2.1: REPRESENTAÇÃO DE PROCESSO



FONTE: AUTOR

As metas e objetivos são o que se pretende atingir com o processo específico.

Fornecedores são pessoas, organizações ou outros processos dentro ou fora do sistema em questão que fornecem as entradas ao processo, as quais são recursos físicos (por exemplo, materiais e pessoas) ou não físicos (por exemplo, serviços, informações e energia).

Clientes são pessoas, organizações ou outros processos dentro ou fora do sistema em questão para os quais são direcionadas as saídas do processo em forma de produtos, serviços ou informações.

Atividades são as ações efetuadas para que um processo transforme as entradas em saídas e atinja seus objetivos. As atividades podem ainda serem definidas como sub-processos.

Segundo o Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa processos e métodos por ser entendidos como sinônimos, porém nas organizações processos são caracterizados em relação a seus objetivos, ou seja, "o que", já os métodos são também relacionados a objetivos, mas adicionalmente em relação à forma de atingir

tais objetivos, ou seja, “como”. Assim, na Gestão da Qualidade uma Análise de Riscos Potenciais pode ser entendida como um processo, e a forma como efetuar esta análise pode ser através do método FMEA.

Adicionalmente por tratarem-se de atividades que usam recursos e que são gerenciadas de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas os métodos da qualidade podem assim ser caracterizados como processos do Sistema de Gestão da Qualidade.

Assim, visando buscar as interfaces entre os métodos da Gestão da Qualidade optou-se por identificar os mesmos como processos ou identificar os processos aos quais os métodos estão diretamente associados e posteriormente caracteriza-los.

Segundo Juran (2000), os processos da Gestão da Qualidade podem ser divididos dentro de três etapas principais, a chamada Trilogia da Qualidade:

- a) Planejamento da Qualidade;
- b) Controle da Qualidade;
- c) Melhoria da Qualidade.

A seguir, dentro de cada uma destas etapas principais, serão descritos os processos da gestão da qualidade selecionados como relevantes para esta dissertação, detalhando seus principais fornecedores, entradas, saídas, clientes e atividades. Pretende-se ainda descrever as mais recentes propostas em relação a cada um destes processos e analisá-los em relação a sua aplicabilidade nas organizações complexas.

2.1 Desdobramento da função Qualidade (QFD)

Em 1969 o Japão baseava sua estratégia da qualidade no Controle Total da Qualidade (*Total Quality Control*, TQC), porém notava-se que o processo de desenvolvimento de produtos tinha deficiências. Assim em 1978, os Professores Shigeru Mizuno e Yoji Akao desenvolveram o método chamado *Quality Function Deployment* (QFD), em português, Desdobramento da Função Qualidade (CHEN, 1995; AKAO, 1990).

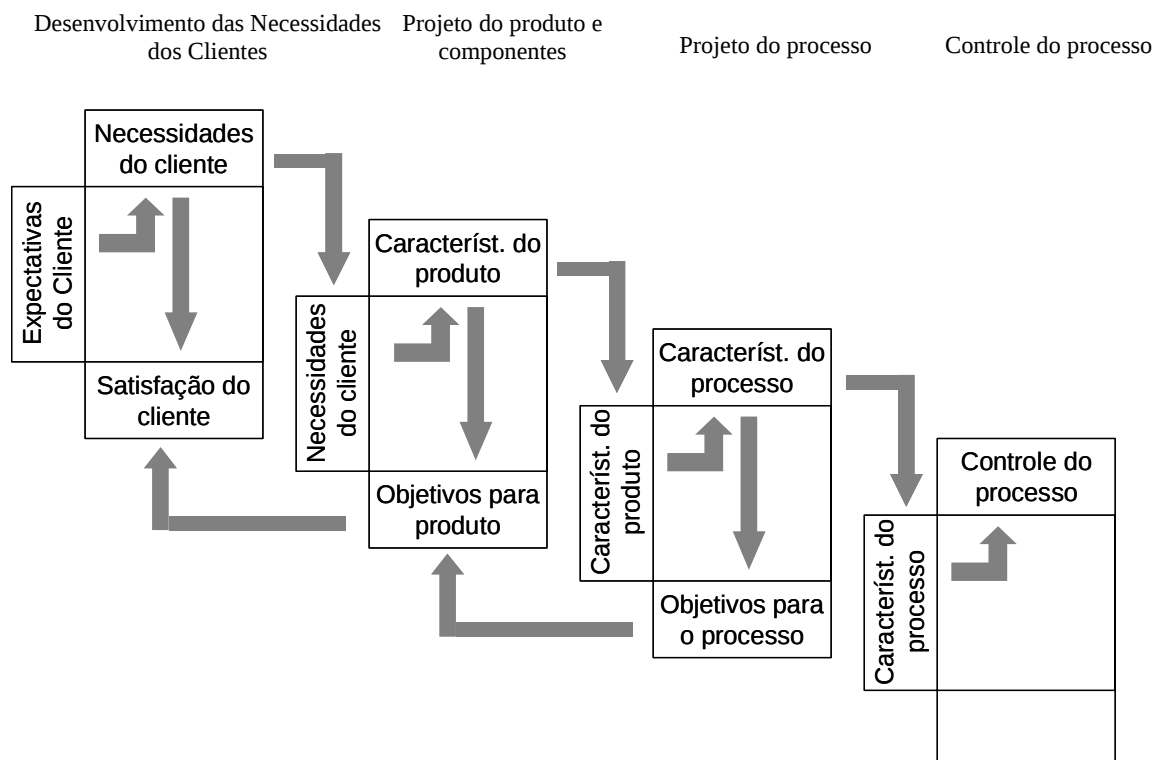
QFD é o método mais apropriado e utilizado para a realização do Planejamento da Qualidade. Planejamento da Qualidade consiste basicamente em transformar expectativas e necessidades do cliente em requisitos do produto e processo. O Planejamento da Qualidade pode ser representado pelas seguintes etapas:

- a) Identificar as expectativas e necessidades dos clientes;
- b) Estabelecer o conceito do produto;
- c) Definir as características e projetar o produto;
- d) Definir as características e projetar o processo;
- e) Definir necessidades de controle do processo;

Estas etapas podem ser vistas na Figura 2.2, onde as expectativas dos clientes geram necessidades, as quais geram características do produto. As características do produto geram por sua vez características do processo e finalmente as características do processo geram necessidades de controle do mesmo.

O atendimento as características do produto ou processo são monitoradas através de objetivos. Com o atendimento aos objetivos do processo espera-se conseqüentemente o atendimento aos objetivos do produto e com isto a satisfação do cliente.

FIGURA 2.2: ETAPAS DO PLANEJAMENTO DA QUALIDADE



FONTE: AUTOR

O QFD foi um método criado para operacionalizar o processo de Planejamento da Qualidade. O QFD consiste basicamente em uma série de relações causa e efeito representadas através de matrizes. Em sua origem o QFD era executado através de simples diagramas de causa e efeito. Porém o mesmo foi aperfeiçoado visando um melhor entendimento das relações causa e efeito e a priorização dos efeitos.

O QFD pode ser aplicado tanto para produtos quanto para serviços, por seu caráter genérico. Segundo Ginn (1998), o primeiro uso do QFD foi na empresa Toyota em 1977, porém o método ficou restrito a algumas aplicações no Japão até o interesse da Ford em 1983, quando o método começou a se popularizar.

Conforme Figura 2.2, o método QFD pode ser dividido em quatro fases de relações causa efeito:

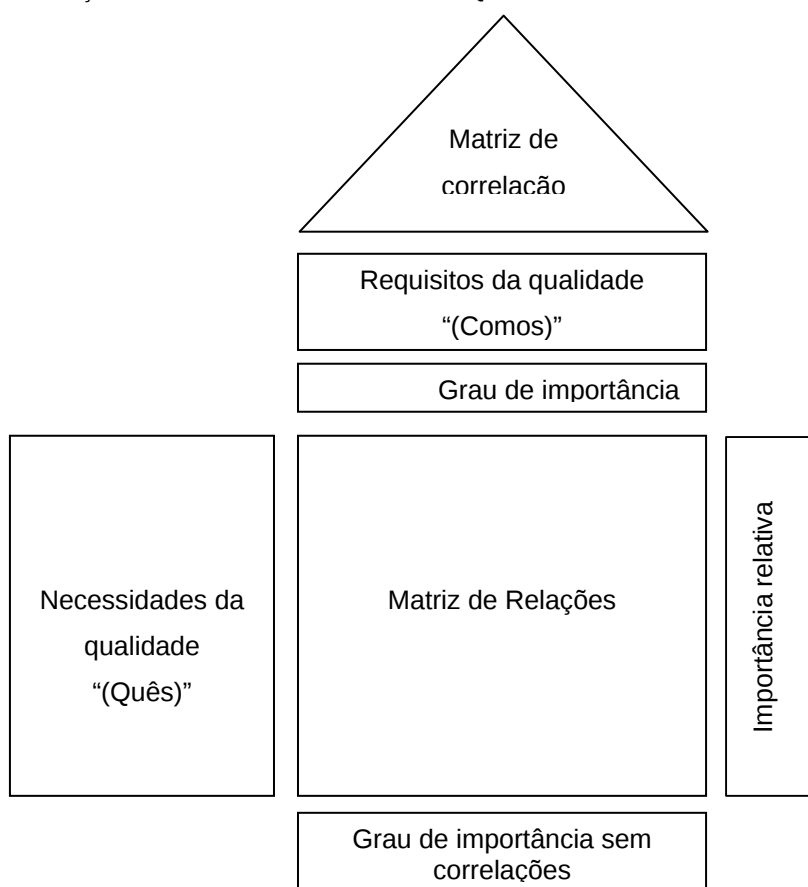
- Desenvolvimento das Necessidades dos Clientes;
- Projeto do produto e componentes;
- Projeto do Processo;
- Controle do processo.

Para cada uma das fases se tem uma matriz de causa e efeito.

Conforme representado na Figura 2.2, para a fase de Desenvolvimento das Necessidades dos Clientes as necessidades de qualidade são expectativas dos clientes e os requisitos de qualidade são as próprias necessidades dos clientes. Na fase seguinte de Projeto do Produto e Componentes as necessidades dos clientes se tornam as necessidades de qualidade e as características do produto os requisitos de qualidade. Já na fase de Projeto do Processo as características do produto são as necessidades de qualidade e as características do processo os requisitos de qualidade. Finalmente na fase de Controle do Processo as características do processo são as necessidades de qualidade e os controles do processo são os requisitos de qualidade.

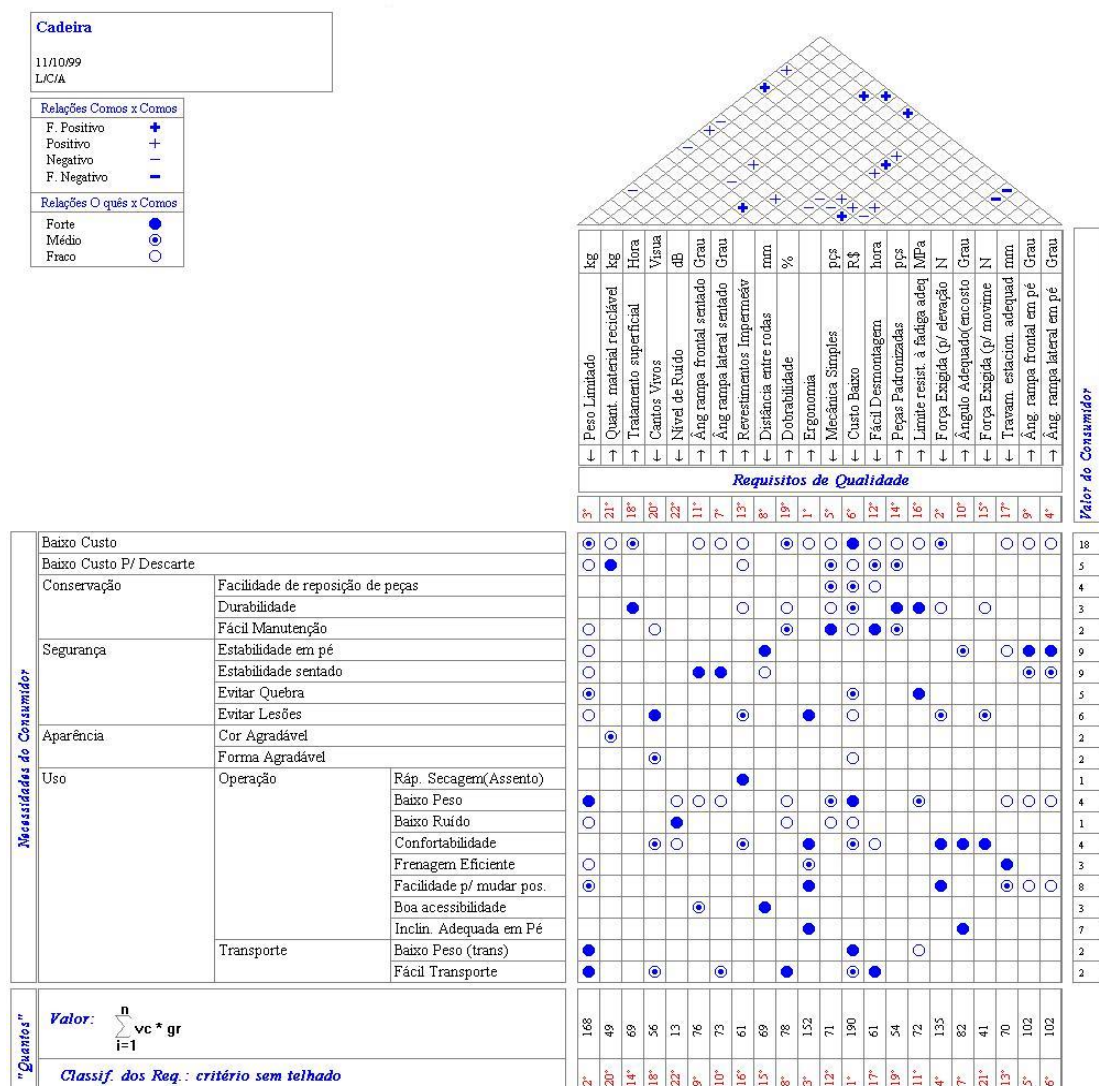
Assim em cada matriz correlacionam-se as necessidades de qualidade (o que se espera) com os requisitos de qualidade (como se pretende fazer) identificando a intensidade do relacionamento entre estes, na Figura 2.3 são identificados os componentes da matriz QFD e na Figura 2.4 mostra-se um exemplo de utilização.

FIGURA 2.3: REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADO DO MÉTODO QFD



FONTE: AUTOR

FIGURA 2.4: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO QFD



FONTE: AUTOR

O método QFD é também chamado “Casa da Qualidade”, pois o formato resultante das matrizes se assemelha a uma casa. No QFD, tanto as necessidades de qualidade quanto os requisitos da qualidade podem ser resultado de uma árvore de necessidades ou requisitos.

Conforme ilustrado no exemplo da Figura 2.4 para cada necessidade de qualidade definem-se pesos conforme a importância desta necessidade, os primeiros pesos são definidos em relação às expectativas dos clientes. De acordo com a intensidade da correlação entre as necessidades e requisitos define-se o tipo de relacionamento. Assim, cada requisito pode relacionar-se com diversas necessidades.

Baseado nos pesos das necessidades com que cada requisito está relacionado e no tipo de relacionamento são geradas pontuações de importância para cada requisito. Desta forma o método QFD pode priorizar e definir o grau de importância dos requisitos em função das necessidades. Para as demais fases do QFD os pesos dos requisitos são os mesmo gerados na fase anterior onde estes requisitos eram critérios.

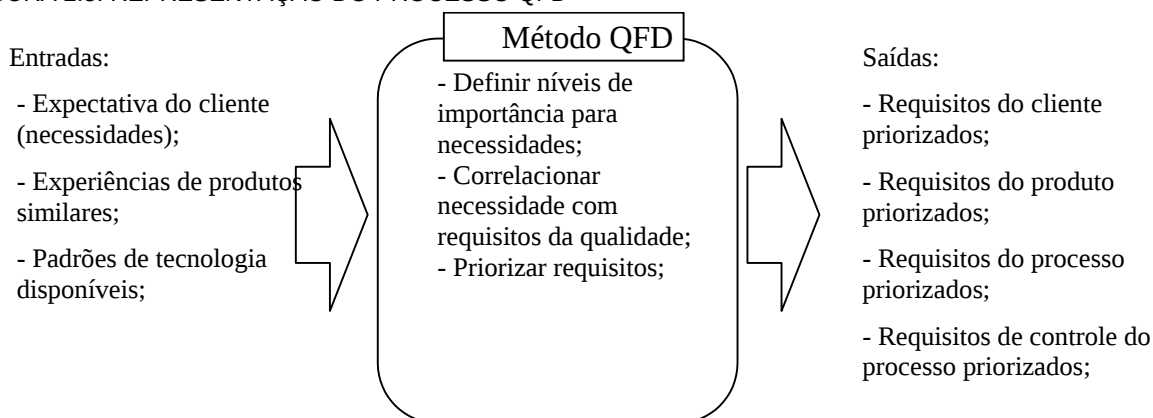
Pode-se ainda identificar relacionamentos entre requisitos, os quais são mostrados no telhado da “casa” (Figura 2.2 e 2.3). Estes relacionamentos identificam inter-relações entre os requisitos e auxiliam na priorização e identificação de soluções de compromisso entre requisitos, onde a otimização de um requisito prejudica o outro.

Os benefícios do uso do método QFD são diversos, entre eles:

- a) Redução do tempo de desenvolvimento;
- b) Redução do número de mudanças de projeto;
- c) Redução das reclamações de clientes;
- d) Redução de custos e perdas;
- e) Melhoria da comunicação interdepartamental;
- f) Melhoria em relação ao atendimento das expectativas do cliente;

Por tratar-se de uma atividade que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas o método QFD pode assim ser caracterizado como um processo do Sistema de Gestão da Qualidade. As entradas, saídas e atividades deste processo são representadas na Figura 2.5.

FIGURA 2.5: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO QFD



FONTE: AUTOR

2.2 Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

Conforme descrito por Puente (2001), aproximadamente em 1963 durante a missão Apollo a NASA desenvolveu um método para identificar de forma sistemática falhas potenciais em sistemas, processos ou serviços antes que as mesmas ocorram. Desta forma surge o conceito da Análise de Modos e Efeitos de Falha (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA). O método FMEA busca, além de identificar falhas potenciais de forma sistemática, identificar seus efeitos e definir ações que visem reduzir ou eliminar o risco associado a estas falhas, reduzindo assim o risco do produto ou processo. Segundo Gilchrist (1993) mesmo tendo surgido em 1963 o FMEA somente passou a ser utilizado de forma mais abrangente após sua utilização em 1977 pelos fabricantes de carros da Ford.

Conforme citado por Stamatis (2003), o FMEA deve ser aplicado nos estágios iniciais de projeto de sistemas, produtos, componentes, serviços ou processos e deve ser continuamente re-avaliado durante toda a vida do sistema, produto, componente, serviço ou processo.

O método FMEA traz uma seqüência lógica e sistemática de avaliar as formas possíveis pelas quais um sistema ou processo está mais sujeito à falhas. O FMEA avalia a severidade das falhas, a forma como as mesmas podem ocorrer e, caso ocorram, como eventualmente poderiam ser detectadas antes de levarem a reclamações no cliente. Assim, com base nestes três quesitos: severidade, ocorrência e detecção, o método FMEA leva a uma priorização de quais os modos de falha levam a um maior risco ao cliente.

Os principais passos para a execução de um FMEA são os seguintes:

1. Identificar modos de falha conhecidos e potenciais;
2. Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua respectiva severidade;
3. Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa;
4. Identificar o meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção;
5. Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas de eliminação ou redução do risco de falha.

A seguir pretende-se detalhar cada um destes passos.

1. Identificar modos de falha conhecidos e potenciais

Nesta etapa são listadas todas as funções (incluindo características ou requisitos) do sistema, produto, componente, serviço ou processo em questão e para cada uma delas são identificados, na maioria das vezes através de técnicas de *Brainstorming*, todos os possíveis modos de falhas, ou seja, como cada função pode falhar quando for solicitada.

2. Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua respectiva severidade

Identificados os modos de falha para função deve-se determinar através do conhecimento teórico ou prático o efeito ou os efeitos que cada falha causará ao cliente. Posteriormente, cada modo de falha deve ser classificado quanto à severidade dos efeitos por ele causados ao cliente, como por exemplo perda total de função ou riscos de vida. Para tal classificação o método mais utilizado é através de tabelas que orientam a classificação da severidade conforme faixas pré-determinadas, onde 1 representa nenhum impacto ao cliente e 10 uma falha crítica.

3. Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa;

Utilizando-se técnicas de *Brainstorming*, histórico de sistemas, produtos, processos ou serviços semelhantes e o conhecimento técnico são definidas as causas reais e potenciais pelas quais cada modo de falha possa vir a ocorrer. Pode-se ainda utilizar técnicas de *Brainstorming* estruturado, como a técnica da Espinha de Peixe ou Ishikawa reduzindo o risco de uma eventual causa ser esquecida.

Definidas as causas são identificados os atuais meios de prevenção, características do sistema, produto, processo ou serviço, que reduzem a probabilidade de ocorrência desta falha. Com base nestas informações e históricos de ocorrência da falha em situações semelhantes ou reais, cada causa é classificada quanto a sua probabilidade de ocorrência. O método mais utilizado é através de tabelas com faixas pré-determinadas que orientam a classificação, onde 1 representa ocorrência remota e 10 uma alta ocorrência.

4. Identificar o meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção

A detecção de um determinado modo de falha é a capacidade, após a ocorrência da falha, desta ser identificada antes que o efeito final ao cliente tenha ocorrido. Assim os meios de detecção são as formas de verificação e identificação de eventuais falhas presentes no projeto do sistema, produto, processo ou serviço.

Após a identificação dos meios de detecção estes são classificados conforme a sua capacidade em identificar a falha antes que o efeito final ao cliente tenha ocorrido. O método mais utilizado é através de tabelas com faixas pré-determinadas que orienta a classificação, onde 1 representa uma detecção certa e 10 uma probabilidade remota de detecção.

5. Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas de eliminação ou redução do risco de falha.

O potencial de risco em cada modo de falha está associado ao seu impacto ao cliente, ou seja, severidade, a sua probabilidade de ocorrência e probabilidade da sua detecção. Um risco considerado baixo pode ter ocorrência relativamente alta, baixa probabilidade de ser detectado, porém um impacto não significativo ao cliente. Ou, em outra situação, um risco baixo pode estar associado a um impacto significativo ao cliente, porém, com ocorrência muito improvável ou alta capacidade de ser detectado antes que o efeito seja percebido pelo cliente. Um risco é considerado alto quando tiver um impacto significativo no cliente, um ocorrência provável e baixa capacidade de ser detectado antes de seu efeito ser percebido pelo cliente.

O método mais utilizado para se medir o risco associado a cada modo de falha é a multiplicação da pontuação dada para as classificações da severidade, ocorrência e detecção. Com isto, tem-se uma escala que vai de 1 a 1000 pontos, sendo 1 um baixíssimo risco ao cliente e 1000 um risco crítico. Esta pontuação é chamada de número potencial de risco (*Risk Potential Number*, RPN).

Após a priorização dos riscos devem ser definidas medidas para a redução ou eliminação dos maiores riscos, segundo orientação do manual FMEA da QS9000 (Chrysler Corporation e Ford Motor Company, 1995) deve ser definidas ações para pontuações acima de 125 pontos ou onde a severidade seja igual a 10, porém muitas montadoras da indústria automotivas têm exigido ações para todos os casos de riscos acima de 50 pontos.

Na Figura 2.6 observa-se um típico formulário para execução de um FMEA.

FIGURA 2.6: EXEMPLO DE FORMULÁRIO FMEA

COMPONENT OR PROCESS	FUNCTION	FAILURE MODES	FAILURE EFFECTS	FAILURE CAUSES	FAILURE PREVENTION	FAILURE DETECTION	S	O	D	RPN	ACTIONS R/J:
Usinagem	Diâmetro	maior	Trava bomba	maquina instável	treinamento operador	exame 1/10 peças	9	5	8	360	
							9	1	8	(72)	Reforma máquina R: Supervisor D: 23/4/2003

FONTE: AUTOR

Segundo Stamatis (2003) e Palady (1997) as principais vantagens da utilização do método FMEA são as seguintes:

- a) Melhoria da qualidade, confiabilidade e segurança de produtos ou serviços;
- b) Auxílio na escolha de alternativas de projetos que tenham melhor qualidade, confiabilidade e segurança;
- c) Melhoria na imagem e competitividade da empresa frente aos seus clientes;
- d) Auxílio na melhoria da satisfação do cliente;
- e) Redução do tempo e custo de desenvolvimento de sistemas, produtos, processo e serviços;
- f) Auxílio em determinar redundâncias no sistema, produto, processo ou serviço;
- g) Auxílio para identificar procedimentos de diagnostico de falhas;
- h) Estabelecimento de prioridade para as ações no projeto;
- i) Auxílio para identificar características críticas e significantes;
- j) Auxílio na análise de novos processos de manufatura ou montagens;
- k) Auxílio em estabelecer um fórum de prevenção à falhas;
- l) Auxílio à identificação e prevenção de falhas;
- m) Auxílio para definir e priorizar ações corretivas;
- n) Provê a base para programas de testes e validação durante o desenvolvimento de sistemas, produtos, processos ou serviços;
- o) Provê documentação histórica para referências futuras, auxiliando análises de futuras falhas;
- p) Provê um fórum para recomendação de ações de redução de riscos;

Segundo Stamatis (2003), a principal razão para a execução de um FMEA é a necessidade pela melhoria. Para se ter todos os benefícios de um FMEA é necessário que o método esteja integrado na cultura da organização.

Após a execução inicial um FMEA deve tornar-se não somente um documento do Sistema da Qualidade, mas sim uma ferramenta que deve ser utilizada no dia a dia. A revisão contínua do FMEA é um ponto chave do processo, pois existem constantes alterações nas condições de um sistema, produto, processo e serviço que alteram o FMEA.

Quando ocorrem alterações que possam modificar a gravidade ou impacto da falha ao cliente a severidade deste modo de falha no FMEA deve ser revisada. Sempre que ocorram alterações que modifiquem a probabilidade da ocorrência de uma determinada causa de um modo de falha, que existam informações que indiquem que a ocorrência é diferente da prevista no FMEA ou existam modificações nos meios de prevenção desta causa a ocorrência da causa deve ser revisada, da mesma forma novas causas devem ser incluídas quando necessário. Sempre que ocorram modificações nos meios de detecção de uma determinada falha a probabilidade de detecção desta deve ser revisada.

Segundo Stamatis (2003), existem diversos tipos de FMEAs, dentre eles destacam-se:

- a) FMEA de Sistema
- b) FMEA de Produto
- c) FMEA de Processo
- d) FMEA de Serviço.

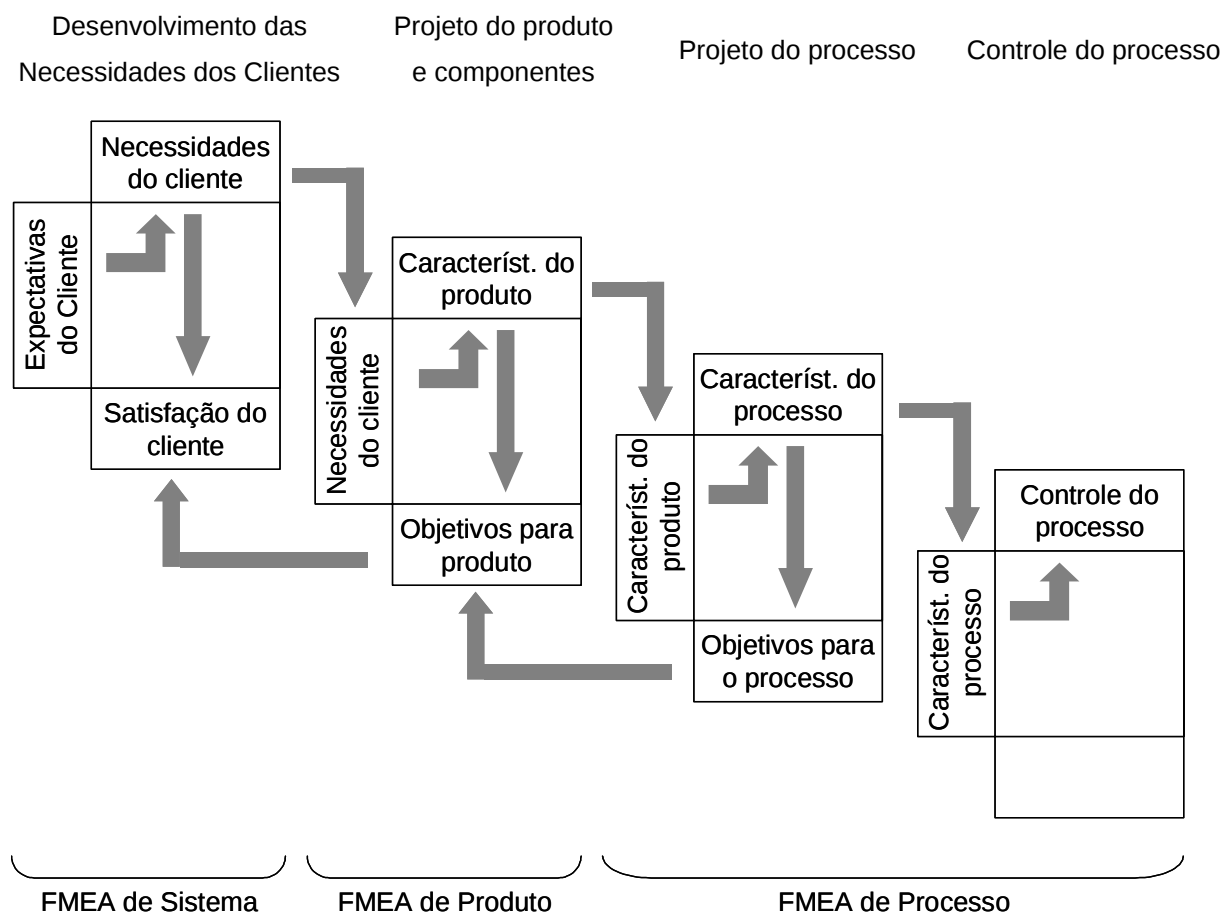
a) O FMEA de Sistema é também chamado FMEA de Conceito e é utilizado para avaliar falhas em sistemas e subsistemas primeiramente nos estágios iniciais de definição de conceituação e projeto, mas também deve ser revisado durante toda a vida útil do sistema. O FMEA de Sistema foca nas falhas potenciais do sistema em relação à execução das suas funcionalidades e em atender às necessidades dos clientes, ou seja, está diretamente ligada à percepção do cliente em relação ao sistema. O FMEA de Sistema auxilia na seleção do sistema que melhor atende as necessidades do cliente e a determinar redundâncias no sistema, define uma base para procedimentos de diagnóstico de falhas e acima de tudo identifica falhas potenciais reduzindo o risco do sistema.

b) O FMEA de Produto é utilizado para avaliar possíveis falhas em produtos antes da sua liberação para a manufatura, mas deve ser revisado durante toda a vida útil do produto. Ele foca nas falhas potenciais do projeto em relação ao cumprimento dos objetivos definidos para cada uma de suas características e está diretamente ligada à capacidade do projeto em atender os objetivos definidos para o mesmo. O FMEA de Projeto define necessidade de alterações no projeto, estabelece prioridades para as ações de melhoria no projeto, auxilia na definição de testes e validação do produto, na identificação de características críticas e significativas do produto e na avaliação dos requisitos e alternativas do projeto.

c) O FMEA de Processo é utilizado para avaliar falhas em processos antes da sua liberação para produção em série, mas deve ser revisado durante toda a vida útil do produto. Ele foca nas falhas potenciais do processo em relação ao cumprimento dos objetivos definidos para cada uma de suas características e está diretamente ligada à capacidade do processo em cumprir os objetivos definidos para o mesmo. O FMEA de processo define necessidade de alterações no processo, estabelece prioridades para as ações de melhoria, auxilia na execução do plano de controle do processo e na análise dos processos de manufatura e montagem.

Na Figura 2.7 são identificadas as fases do Planejamento da Qualidade e onde os FMEAs de Sistema, Produto e Processo são aplicados.

FIGURA 2.7: APLICAÇÃO DO FMEA NAS FASES DO PLANEJAMENTO DA QUALIDADE

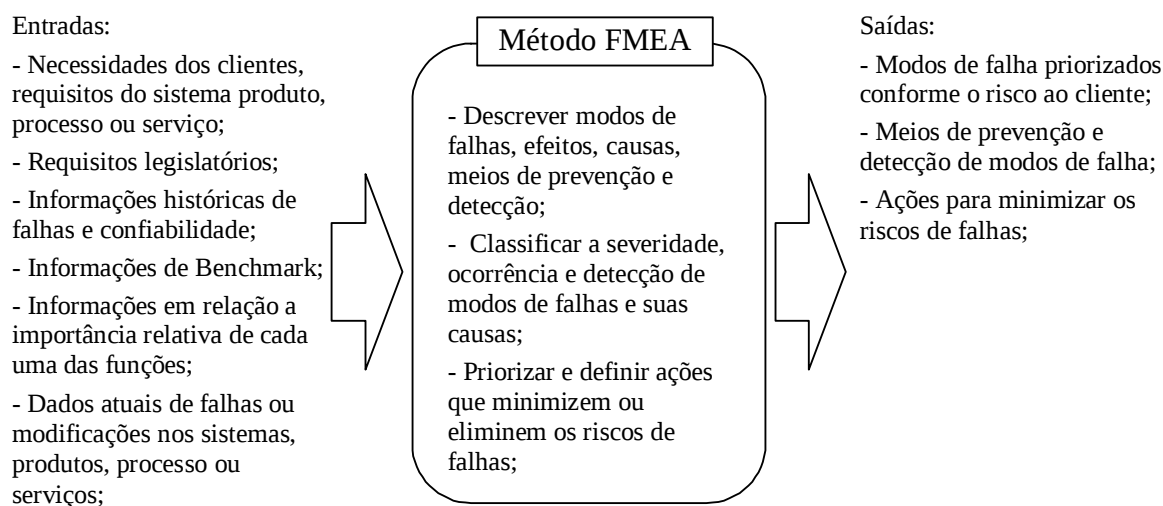


FONTE: AUTOR

d) O FMEA de Serviço pode ser utilizada de diversas maneiras, uma delas é a execução de FMEAs específicas para avaliar as etapas do desenvolvimento de um sistema, de forma semelhante a um produto. Estas etapas são: o Sistema de Serviço (FMEA de Sistema), o Produto do Serviço (FMEA de Produto) e o Processo de execução do Serviço (FMEA de Processo). Outra forma de execução de um FMEA de Serviço é a execução de um FMEA que englobe todas as características desde o sistema de serviço até o processo em si. Neste caso o FMEA de Serviço é utilizado para avaliar falhas nos serviços antes do seu início, mas, deve ser revisada enquanto os serviços estiverem ativos. O FMEA de Serviço foca nas falhas potenciais do serviço em relação à necessidade do cliente e ao cumprimento dos objetivos definidos para cada uma de suas características e processos. O FMEA de Serviço define necessidade de alterações no serviço e estabelece prioridades para as ações de melhoria no serviço.

Por tratar-se de uma atividade que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas o método FMEA pode assim ser caracterizado como um processo do Sistema de Gestão da Qualidade. As entradas, saídas e atividades deste processo são representadas na Figura 2.8.

FIGURA 2.8: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO FMEA



FONTE: AUTOR

Apesar de ter iniciado sua aplicação na área aeroespacial, o método FMEA tem hoje sua principal utilização na indústria automotiva.

Os motivos da extensa utilização do FMEA na indústria automotiva foram pesquisados por Dale e Shaw (1990) em fornecedores da empresa Ford Britânica e por Teng e Ho (1996) na indústria americana. A pesquisa concluiu que o principal motivo que leva a execução do FMEA na indústria automotiva é pelo método tratar-se de um requisito obrigatório das principais normas do Sistema da Qualidade e não devido aos ganhos possíveis. Desta forma o FMEA se torna apenas um dos documentos exigidos pelo cliente para a liberação de um produto e não uma ferramenta de redução de riscos potenciais e de melhoria contínua.

Além da aplicação nos setores aeroespacial e automotivo há registros da aplicação do FMEA nos mais variados setores. Uma aplicação que tem crescido significativamente é a utilização do FMEA para evitar erros médicos.

Segundo Reiling e Knutzen (2003), um relatório do instituto de medicina cita que entre 44.000 e 98.000 pessoas morrem por ano nos hospitais vítimas de erros médicos previsíveis, isto significa uma morte a cada 343 a 764 admissões. Em comparação a

média na aviação é de 1 morte em 8 milhões de vôos. O relatório reporta também que mais pessoas morrem todo ano por erros médicos do que por acidentes de carros, câncer de mama ou AIDS. Estes números sem dúvida mostram a necessidade da utilização de técnicas diferenciadas para prever erros médicos.

Um exemplo da utilização do FMEA na área médica é o Hospital St. Joseph's Community nos EUA, que utilizou o método para remodelar suas instalações visando à prevenção de erros médicos. Atualmente, segundo Reiling e Knutzen (2003), a norma LD.5.2. exige que no mínimo um FMEA seja executado para certificação pela Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations (JCAHO).

Desde sua primeira utilização o método FMEA já passou por inúmeras modificação e melhorias. Nesta dissertação, além de detalhar a aplicação tradicional de FMEA, a qual foi descrita anteriormente, pretende-se a seguir descrever as principais e mais recentes propostas e alternativas na aplicação do método FMEA.

2.2.1 Alternativas na aplicação do método FMEA

Conforme descrito por Cotnareanu (2003), um FMEA modificado pode ser utilizado para priorizar atividades de manutenção preventiva. São necessárias pequenas adaptações no formulário de FMEA para que o mesmo seja utilizado no FMEA de Manutenção. A severidade do FMEA deve ser baseada no tempo de parada causado por uma quebra. A ocorrência é medida em função da frequência que aquela quebra ocorreu ou o potencial da mesma ocorrer. A detecção é avaliada em função de como se pode prever a ocorrência de uma quebra. O FMEA pode ser utilizado, assim, como uma ferramenta simples para priorizar a manutenção, porém é importante que o mesmo seja sempre atualizado e utilizado como ferramenta viva.

Vandenbrande (1998) descreve em seu artigo a aplicação de um FMEA de Meio Ambiente. Na introdução de um novo processo, o FMEA de processo clássico pode ser facilmente adaptado para incluir falhas no processo que gerem riscos ambientais. Isto pode ser feito utilizando-se uma nova tabela para pontuar a severidade, baseada em riscos ambientais. A detecção e ocorrência podem ser pontuadas exatamente da mesma forma que no FMEA de processo tradicional. Desta forma pode-se priorizar riscos ao meio ambiente e definir medidas para reduzi-los ou eliminá-los. Desta forma é possível, com pequenas adaptações, utilizar uma ferramenta já aplicada para prever riscos no processo de forma mais abrangente, incluindo riscos ao meio ambiente e,

conseqüentemente, atendendo à exigências de normas do Sistema de Gestão Ambiental como a ISO14000.

O artigo de Vandenbrande (1998) mostra que o FMEA pode ter aplicações variadas com apenas algumas alterações simples, mostrando que o método tem uma grande abrangência e capacidade de adaptação. Utilizando-se da mesma lógica proposta por Vandenbrande o FMEA pode ainda ser utilizado para avaliar riscos em relação à segurança no trabalho, avaliando potenciais de falhas que ocasionem acidentes de trabalho. Desta forma atende-se requisitos das normas de segurança do trabalho.

Lore (1998) propõe em seu artigo uma utilização mais abrangente do método, o FMEA de Ciclo de Vida. Lore descreve que na empresa Harry Major Machine foi desenvolvido um método para utilizar o FMEA de Projeto e Processo juntos executando um FMEA de Ciclo de Vida a qual atende a ambos os casos. Para executar-se um FMEA de Ciclo de Vida deve-se:

- a) Definir um time que represente todos os estágios da vida do produto;
- b) Identificar os sistemas, subsistemas e componentes do produto;
- c) Identificar um código para a fase do ciclo de vida onde a falha potencial pode ocorrer (D=Design, M=Manufacturing, etc...).

As demais colunas podem ser preenchidas conforme um método tradicional de FMEA. O código para identificar a fase do ciclo de vida onde pode ocorrer a falha é levado também para os planos de controle, podendo assim ser utilizado pelos projetistas, engenheiros, mecânicos de máquinas, montadores e manutentores. A solução descrita por Lore é uma solução bastante simples para unificar FMEA de Projeto e Processo os quais, normalmente seriam documentos independentes.

O método descrito por Lore (1998) para classificação dos modos de falhas conforme o ciclo de vida pode ainda ser estendido, classificando os modos de falha em riscos referentes ao Sistema, Projeto, Processo, Meio Ambiente e Segurança do Trabalho, unificando assim todos em um único FMEA.

As maiores críticas em relação ao FMEA são sobre a forma de cálculo do número potencial de risco (RPN) e a forma de priorização das medidas necessárias para a redução de risco. Os principais problemas em relação ao cálculo do RPN são os seguintes:

- a) Segundo Franceschini e Galetto (2001) para o cálculo é adotada a premissa que todos os fatores, Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), são

igualmente importantes, o que na maioria das vezes não é correto, pois a severidade acaba sendo o fator mais importante;

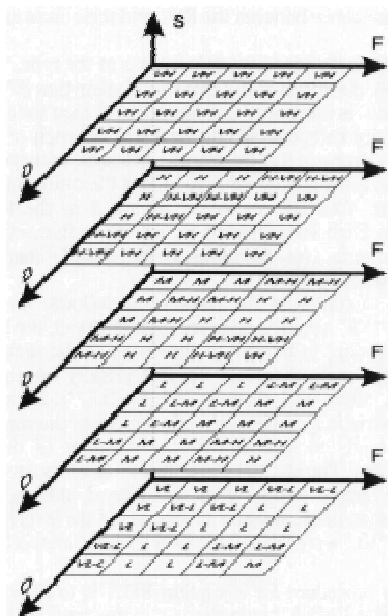
- b) Gilchrist (1993) cita que é assumido que os fatores têm as mesmas métricas e escalas, o que não é verdadeiro, pois a tabela de ocorrências tem uma escala não-linear e já a tabela de detecção tem escala linear. Isto leva a um erro na multiplicação de ambos, por exemplo, um modo de falha com ocorrência 3 e detecção 4 gera um RPN 12 o que, conforme a probabilidade de ocorrência e detecção, leva a probabilidade da falha no cliente é de 30 PPM (peças por milhão). Já um modo de falha com ocorrência 4 e detecção 3 gera também um RPN 12, porém a probabilidade da falha no cliente é 100 PPM;
- c) Gilchrist (1993) enfatiza que a tabela de severidade é definida somente baseada na consequência ao cliente, tendo somente a propriedade de estar em ordem crescente de gravidade, onde 3 é mais grave que 2 e 8 é mais grave que 7 porém, não se pode afirmar que as diferenças 3-2 e 8-7 são comparáveis. Desta forma não se pode efetuar operações naturais como tirar a média de riscos em um determinado grupo de produtos;
- d) Para Franceschini e Galetto (2001) o fato de multiplicar-se os fatores gera uma resolução de RPN de 1 a 1000 que na verdade não é real, pois somente alguns valores nesta faixa são combinações possíveis;
- e) O RPN não leva em conta a quantidade produzida ou o custo da falha;
- f) O RPN não mede corretamente a eficácia da medida executada para redução do risco.

Para minimizar os problemas acima citados diversas propostas foram apresentadas, dentre elas:

1. Puente (2001) apresenta um método que utiliza regras qualitativas para a definição de faixas ou categorias de risco para cada modo de falha. O método define uma classe de risco potencial dependendo da importância de cada um dos três fatores (S, O e D). A escala inteira dos fatores é transformada em uma escala qualitativa, da mesma forma a escala inteira do RPN é transformada para uma escala qualitativa (VL-*very low* – muito baixa, L-*Low* - baixa, M-*Medium* - média, H-*High* - alta e VH-*Very High* – muito alta) de classe potencial de risco (RPC – *Risk potential class*). Desta forma para

cada combinação de fatores é associada uma classe potencial de risco, tendo-se assim matrizes tridimensionais como resultado para a avaliação do RPC, vide Figura 2.9.

FIGURA 2.9: MATRIZ PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE



FONTE: PUENTE (2001)

A proposta de Puente elimina o erro da multiplicação de escalas não-lineares e possibilita a definição de uma importância maior à severidade.

Puente (2001) propõe ainda uma forma de utilizar a lógica Fuzzy para a obtenção do RPN, de forma que se possa obter um valor mais próximo da realidade. Uma abordagem semelhante também é proposta por Sankar (1987).

2. Segundo Gilchrist (1993) a melhor forma de medir chance é através da probabilidade, e a melhor forma de medir risco é através do impacto financeiro. Assim Gilchrist propõem que a probabilidade de um cliente receber uma peça defeituosa é simplesmente a chance da falha ocorrer e de a mesma não ser detectada, sendo, pela lei da probabilidade, a multiplicação da probabilidade de ocorrência com a probabilidade da falha não ser detectada, e pode ser expressa em percentual ou peças por milhão. Já o custo unitário da falha é mais difícil, mas não impossível de ser estimado. Desta forma é possível calcular o custo anual esperado com a falha através

da multiplicação da probabilidade desta atingir o cliente pela produção anual e pelo custo unitário da falha.

A proposta de Gilchrist (1993) elimina o erro da multiplicação de escalas não-lineares, pois multiplica os valores absolutos de probabilidades e transforma a importância da severidade para custo, gerando, ao invés do RPN, um custo esperado pela falha, com o qual é possível somar ou obter custos médios. A proposta de Gilchrist resolve de forma simples praticamente todos os problemas relacionados ao RPN, porém ela muda o foco da análise do FMEA para uma análise estritamente baseado em custo, deixando de lado outros fatores que estão associados à gravidade da falha e que não têm impacto em custo, mas têm impacto significativo na satisfação do cliente.

A caracterização do método FMEA, as diferentes aplicações e propostas de alternativas na utilização proporcionam um referencial para o desenvolvimento da proposta de integração dos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade.

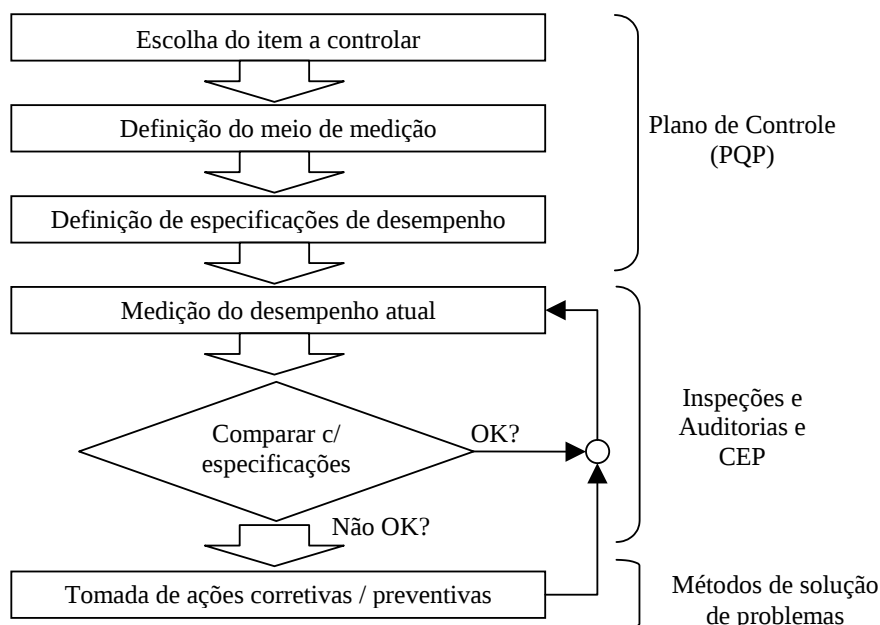
2.3 Plano de Controle (PQP)

O Controle da Qualidade tem etapas específicas que podem ser consideradas universais, estas etapas estão descritas por Juran (2000) e foram reproduzidas na Figura 2.10.

O plano de controle (*Process Quality Plan*, PQP) é o método utilizado para definir, em um único documento, as informações necessárias ao controle da qualidade. O plano de controle é uma saída do processo de Planejamento da Qualidade e visa controlar características do produto e do processo.

Anteriormente à execução do PQP é executado o Fluxograma do Processo, onde constam todas as etapas do processo. O Fluxograma do Processo pode ser um documento separado ao PQP ou mesmo integrado a ele.

FIGURA 2.10: FLUXOGRAMA DO CONTROLE DA QUALIDADE



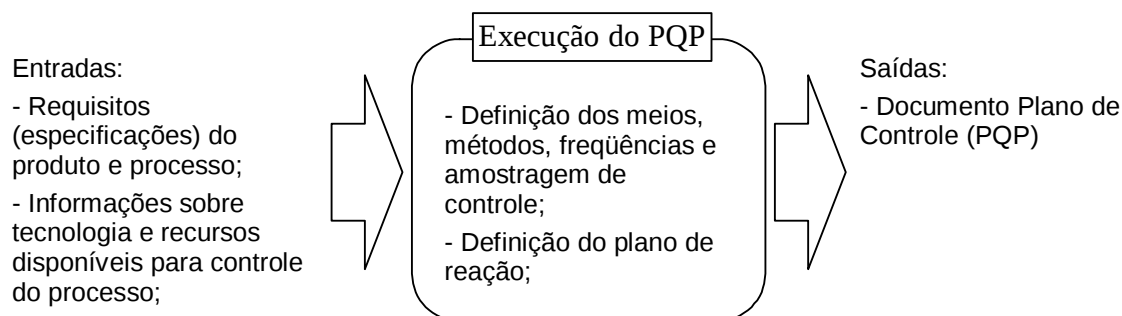
FONTE: JURAN (2000)

No plano de controle constam em geral as seguintes informações:

- Etapa do Processo;
- Característica do produto ou do processo a ser controlada (requisito do processo);
- Meio de controle (instrumento ou equipamento de medição);
- Método de Controle (seqüência operacional seguida para efetuar o controle);
- Frequência de controle;
- Tamanho da amostra;
- Limites de especificação (objetivos);
- Identificação de característica crítica ou significativa;
- Plano de Reação em caso de desvios (decisões ou ações a serem tomadas em casos de desvios);

A execução do PQP pode ser entendida como uma atividade que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas, assim pode ser caracterizada como um processo do Sistema de Gestão da Qualidade. As entradas, saídas e atividades deste processo são representadas na Figura 2.11.

FIGURA 2.11: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DO PLANO DE CONTROLE



FONTE: AUTOR

2.4 Inspeções e auditorias de produto

Desde a revolução industrial, com a mudança do sistema artesanal de produção para a produção industrial, as inspeções têm sido sem dúvida até hoje a forma mais utilizada para garantia da qualidade ao cliente. Com o surgimento, em 1941, do controle estatístico da qualidade foi possível substituir muitas das inspeções 100% por planos de amostragem, tornando assim o processo mais econômico, porém mais arriscado, pois a probabilidade de detecção do defeito é menor e ainda segundo Crosby (1990) a amostragem não é um processo eficaz para falhas aleatórias, pois se baseia na existência de uma população homogênea.

Sem dúvida, é muito caro produzir produtos, inspecioná-los e remover os que são defeituosos posteriormente. É mais barato produzi-lo corretamente na primeira vez. Porém, conforme citado por Craig (2004), a atuação preventiva é muito mais complexa do que simplesmente inspecionar os produtos.

Para Craig, em muitas empresas, o Departamento da Qualidade tem o papel de fiscalizador, onde a produção fabrica quantas unidades for possível independentemente da qualidade, sendo que o conceito de “bom” é a definição para o que o Departamento da Qualidade irá aceitar. Por outro lado, o Departamento da Qualidade fica com a responsabilidade de manter todos os defeitos ou potenciais de defeitos longe do cliente. Desta forma, as áreas de produção e a qualidade competem um contra o outro, onde a responsabilidade efetiva pela qualidade fica com o Departamento da Qualidade. Segundo Craig desta forma torna-se impossível migrar para um Sistema de Gestão da Qualidade baseado em prevenção.

Craig (2004) ainda descreve o fenômeno da degradação dos padrões nas inspeções. Este fenômeno ocorre, pois as inspeções não são 100% precisas. Por exemplo, uma inspeção 100% é 80% precisa, com isto 1 em cada 5 defeitos será enviado ao cliente, isto se agrava em inspeções por amostragem. Assim, como o defeito não é detectado, a produção continua a produzir produtos com falhas, pois se o Departamento da Qualidade não reprovou o produto deve ser bom. O ciclo continua até que acha um gatilho que quebre o ciclo, este pode ser uma reclamação de cliente ou do Departamento da Qualidade.

A inspeção ao final do processo gera altos custos, pois quanto mais tarde um defeito é detectado, maior será o valor agregado em cada operação a este produto. Com isto, o primeiro passo para migrar de um sistema baseado em inspeção para um sistema preventivo é passar a responsabilidade pela inspeção e pela qualidade para cada um dos operadores, fazendo com que a inspeção seja descentralizada e tenhamos cada operador inspecionando sua própria produção. Isto pode ser um avanço do ponto de vista de custos e da qualidade no cliente final, porém continua-se com um sistema baseado em inspeção e com o mesmo número de defeitos que no sistema anterior, porém agora mais deles são detectados. Posteriormente a este passo deve-se aplicar uma técnica preventiva para reduzir-se o número de defeitos.

Em geral, verifica-se ainda que a inspeção tem diversas desvantagens: tem alto custo, é pouco precisa e para o caso de amostragens não é eficaz para falhas aleatórias. Todavia quando tratamos de altos índices de defeitos ainda é o método mais simples, rápido e fácil para se ter um resultado imediato de melhoria da qualidade no cliente a um alto custo.

Para tornar a inspeção mais eficaz e com foco preventivo foi criado por Shewhart o controle estatístico do processo CEP, o qual pode aumentar a precisão da inspeção, mas a mesma ainda continua tendo os problemas já citados.

Quando a organização tem exigências próximas a zero defeito, torna-se impossível confiar na precisão da inspeção para garantir a qualidade. É necessário o foco na prevenção do defeito, o que é uma tarefa muito mais complexa e necessita de um Sistema de Gestão da Qualidade mais robusto e eficaz.

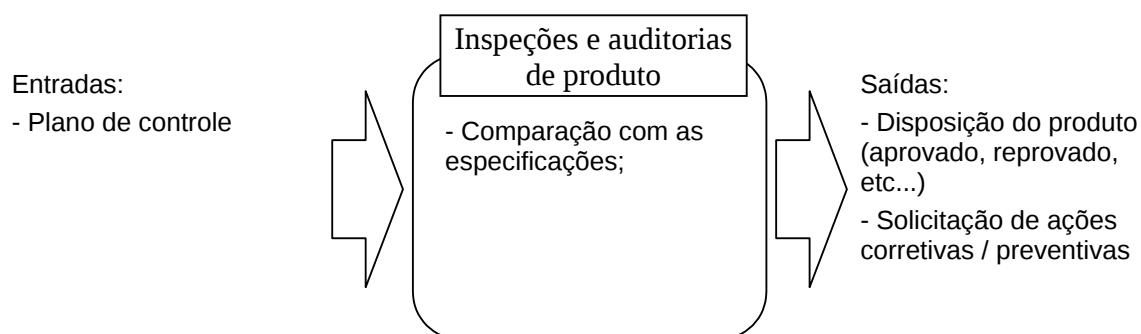
As auditorias de produto diferem-se das inspeções pelo fato das inspeções condicionarem a liberação do lote para o fornecimento ao resultado destas e pelo fato das auditorias não fazerem parte da cadeia produtiva. No caso das auditorias, o resultado é somente utilizado como um indicador para tomada de ação corretivas no

processo. As auditorias têm a vantagem de tornar a qualidade cada vez mais responsabilidade da área produtiva, pois as amostragens são normalmente reduzidas e os lotes não são mais bloqueados pelo Departamento da Qualidade. Contudo, além das mesmas desvantagens da inspeção, as auditorias de produto têm um caráter puramente corretivo em relação à qualidade, pois não tem a propriedade de acompanhar tendências ou padrões de comportamento dos processos para prever futuras falhas. Devido à baixa amostragem e ao fato de não bloquear os lotes auditados os defeitos detectados na auditoria normalmente já atingiram o cliente.

Devido à série de deficiências das auditorias de produto os mais novos Sistemas de Gestão da Qualidade estão migrando para auditorias de processo, as quais focam em identificar não conformidades em relação às especificações do processo, procedimentos de trabalho, organização e limpeza, treinamento, logística e em relação a diversas outras exigências relacionadas ao processo. Focando nas falhas do processo é possível evitar que a mesma leve a uma futura falha no produto, sendo assim a auditoria de processo é uma atividade com alto foco preventivo.

Mesmo se tratando de procedimentos simples as inspeções e auditorias de produto podem ser entendidas como atividades que usam recursos e que são gerenciadas de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas, assim podem ser caracterizadas como um processo do Sistema de Gestão da Qualidade. As entradas, saídas e atividades deste processo são representadas na Figura 2.12.

FIGURA 2.12: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE INSPEÇÕES



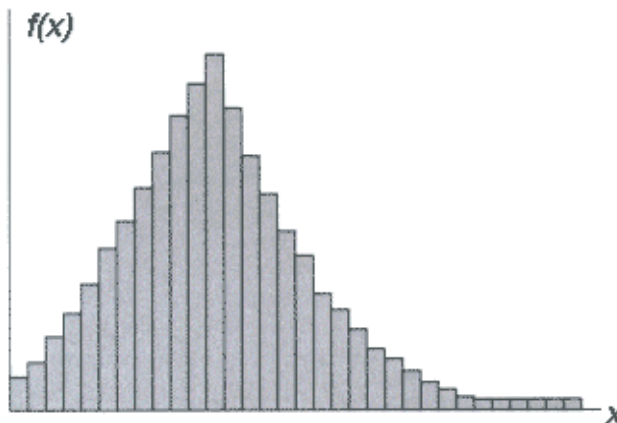
FONTE: AUTOR

2.5 Controle Estatístico do processo (CEP)

A primeira aplicação de controle estatístico do processo foi desenvolvida pelo Dr. Walter A. Shewhart em 1924 (Wadsworth, 2000). Após 1941, com a publicação de diversas normas, o método passou a ser adotado em diversas indústrias.

Conforme citado por Wadsworth (2000), em seus estudos, Shewart percebeu que existem variações em todas as coisas da natureza bem como em processos de manufatura. O estudo da variação é o principal fator na melhoria da qualidade. Shewart concluiu que a variação é inevitável e que observar valores isolados traz pouca ou nenhuma base para a tomada de decisão. Desta forma se procura observar padrões de comportamento das observações, isto pode ser feito de diversas maneiras, através de histogramas que representam a distribuição das observações (Figura 2.13) e outra é do registro gráfico das observações na seqüência em que as mesmas aparecem (*Run-chart*) (Figura 2.14). Nas observações seqüenciais é possível observar tendências e ciclos nos dados. Para os Gráficos de controle Shewhart utilizou assim gráficos de observações seqüenciais.

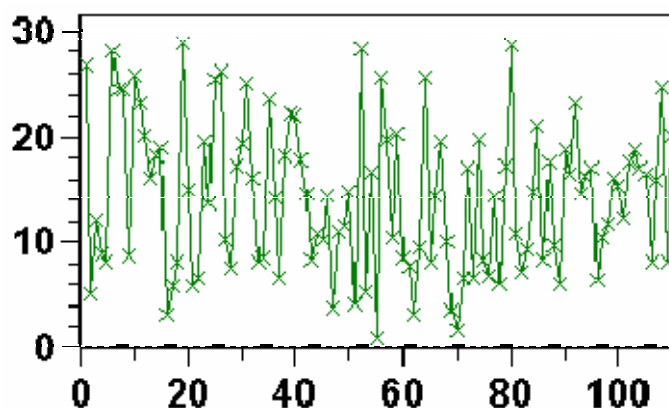
FIGURA 2.13: HISTOGRAMA



FONTE: AUTOR

Shewhart observou ainda que as causa de variações poderiam ser divididas em dois tipos, causa comuns e causas especiais (WADSWORTH, 2000). Causas comuns são padrões esperados de variação do processo, que seguem uma distribuição estatística específica. Causas especiais são mudanças no processo que fazem com que este não siga mais a distribuição anterior, estas causas estão associadas a fatores específicos ocorridos no processo.

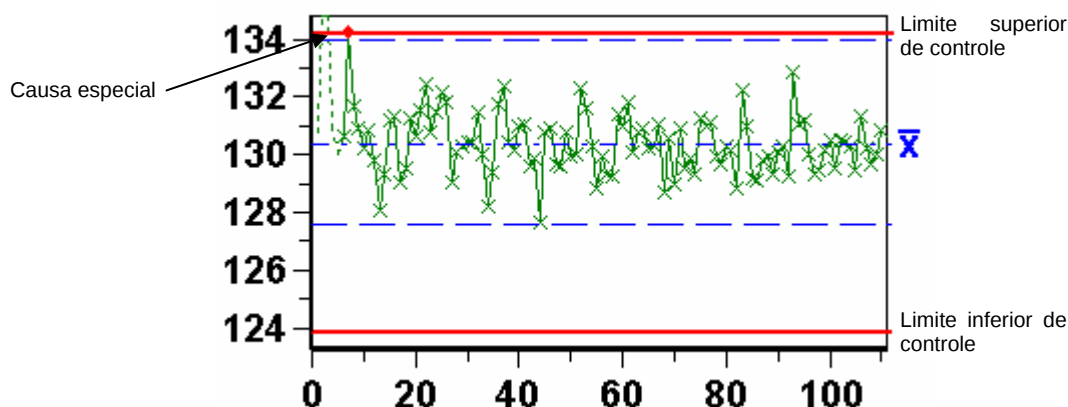
FIGURA 2.14: RUN-CHART



FONTE: AUTOR

Visando separar causas comuns de causas especiais Shewhart definiu limites de controle baseados na distribuição específica das causas comuns de um determinado processo, assim uma observação fora dos limites de controle significaria uma causa especial, devendo ser estudada (Figura 2.15). Quando nenhuma causa especial é detectada pode-se dizer que o processo está sob controle estatístico.

FIGURA 2.15: GRÁFICO DE CONTROLE



FONTE: AUTOR

Desta forma, o Gráfico de Controle é uma representação gráfica da variação do processo, revelando a quantidade e natureza da variação ao longo do tempo, indicando se o processo está sob controle estatístico e mostrando mudanças no processo que levem a causas especiais.

Wadsworth (2000) descreve que os gráficos de controle originais de Shewhart apresentavam uma representação gráfica da média e desvio padrão do processo. Ao

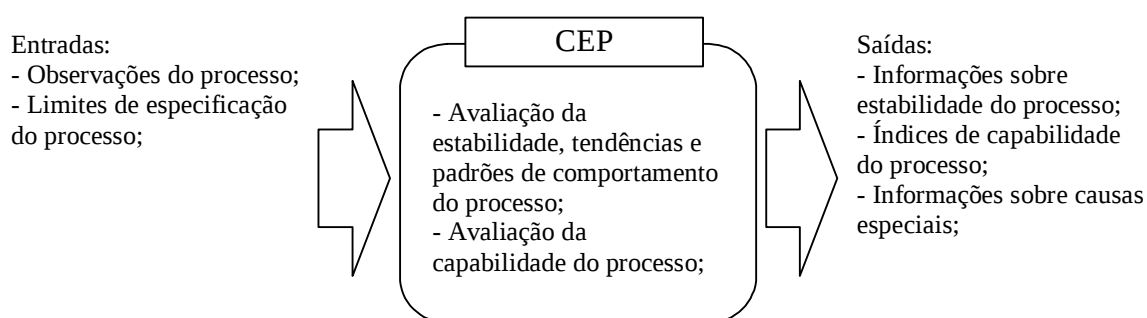
longo dos anos muitos outros gráficos de controle foram desenvolvidos, gráficos de percentual de defeitos, percentual defeituoso, gráficos acumulativos e exponenciais.

Adicionalmente aos gráficos de controle é avaliada a capacidade do processo. Capacidade do processo é o nível de competência do mesmo para atingir os limites de especificação do processo (objetivos). A análise de capacidade pode ser considerada parte do controle estatístico do processo. A capacidade pode ser utilizada para comparar processos, avaliar modificações nos mesmos e verificar a evolução de processos.

O controle estatístico do processo é amplamente utilizado em diversas empresas, porém deve-se ter cuidado para que a aplicação do método não se torne uma estratégia de qualidade por si só, pois o controle estatístico do processo é um meio de se atingir a qualidade e não um fim. Muitas empresas não tiveram este cuidado e com isto treinavam-se pessoas e implementava-se o CEP mesmo antes de se definir metas para os processos.

Por tratar-se de uma atividade que usa recursos e que é gerenciada de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas o controle estatístico do processo (CEP) pode assim ser caracterizado como um processo do Sistema de Gestão da Qualidade. As entradas, saídas e atividades deste processo são representadas na Figura 2.16.

FIGURA 2.16: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO CEP



FONTE: AUTOR

O controle estatístico do processo é considerado um método preventivo em relação à qualidade, pois este avalia tendências, padrões de comportamentos e instabilidades do processo antes que ocorram falhas, permitindo assim a parada do processo antes da ocorrência de uma falha. Porém, isto se aplica somente quando se avalia falhas com causas sistêmicas, ou seja, falhas que ocorrem devido à degradação

de um determinado processo ou de alterações de seus parâmetros. Estas falhas podem ser previstas através de observações de tendências no processo, pontos fora dos limites de controle e mudanças na capacidade do mesmo. Estas mudanças são assim identificadas como causas especiais em relação ao processo inicial.

Quando se esta tratando de falhas aleatórias, ou seja, falhas que acontecem esporadicamente ocasionadas por causas especiais pontuais no processo, o CEP se torna um método de detecção, pois o CEP em si não avalia a probabilidade de uma falha aleatória ocorrer. Somente pode avaliar, através da análise de capacidade, a probabilidade de uma falha sistêmica ocorrer como fruto de causas comuns ou especiais ao processo. Neste contexto, a eficácia do método CEP é a mesma de uma inspeção comum, pois não pode prever a ocorrência da falha, dependendo somente do tamanho da amostragem e confiabilidade do meio de medição para que a falha seja detectada. Segundo Crosby (1990) a amostragem não é um processo eficaz para falhas aleatórias, pois se baseia na existência de uma população homogênea.

Conclui-se assim, que o CEP é um excelente método para a prevenção de falhas sistêmicas no processo, sejam elas ocasionadas por causas comuns ou especiais do processo. Todavia, o CEP não pode prever a ocorrência de uma falha aleatória, pois não há nenhum padrão de comportamento ou tendência que antecipe a ocorrência da mesma.

Em Sistemas de Gestão da Qualidade que procuram atuar com objetivos próximos a zero defeito deve ser utilizado um método, como o FMEA, que possibilite a prevenção de falhas tanto sistêmicas quanto aleatórias.

2.6 Métodos de Solução de Problemas

O último passo dentro do Processo de Controle da Qualidade é a tomada de ações para desvios em relação aos objetivos (Juran, 2000). Para isto, têm sido utilizados diversos métodos de Solução de Problemas os quais visam levar, de forma sistemática, a solução definitiva de determinado problema. Os métodos são muitos, cada um deles têm particularidades, mas essencialmente seguem os mesmos passos principais.

A importância do uso de uma sistemática para a solução de problemas é citada por Fasser e Brettner (2002), segundo os autores a intensidade das ações tomadas é diretamente proporcional à intensidade do problema, assim quando surge um novo

problema tomamos ações imediatas para minimizá-lo, todavia quando o efeito do mesmo está controlado temos a tendência a partir para um novo problema, desta forma o primeiro problema volta a ocorrer após algum tempo. Utilizando e seguindo todos os passos de uma sistemática de solução de problemas podemos evitar a re-ocorrência de problemas.

Nesta dissertação será detalhado o método de Solução de Problemas chamado de 8 Disciplinas (8D) (FORD, 1996).

O método 8D é um método de solução de problemas bastante completo e eficaz, pois engloba todos os passos necessários para garantir a solução definitiva de um problema da qualidade. Mesmo dentro do próprio método 8D existem diversas variações na sua aplicação, algumas indústrias o aplicam de forma mais completa, outras de forma simplificada, aqui serão apresentados todos os passos do método que são relevantes para a solução de problemas.

Passos do método 8D:

- D0: Constatação
- D1: Definição do Time
- D2: Descrição do Problema
- D3: Ação de Contenção Imediata
- D4: Análise da Causa Raiz
- D5: Ações Corretivas Possíveis
- D6: Comprovação da eficácia das ações
- D7: Ações Preventivas
- D8: Análise de Encerramento

D0: Constatação

Neste momento o problema deve ser identificado, definido na linguagem do cliente e se possível na linguagem do fornecedor e sua prioridade e gravidade devem ser definidas. Deve-se ainda definir o responsável do processo fornecedor que garanta o bom andamento do processo e de apoio na obtenção dos recursos necessários. O responsável do processo fornecedor define um Líder para o time de solução do problema, o qual deve ter características para trabalhar em grupo e liderar.

D1: Definição do Time

Neste momento o Líder do time aponta o time que será necessário à solução do problema, se necessário solicita apoio ao responsável do processo fornecedor facilitador.

D2: Descrição do Problema

A descrição do problema é uma etapa chave no processo, pois como é de conhecimento geral um problema bem definido é um problema quase resolvido. Assim nesta etapa procura-se definir claramente o problema (sintomas, abrangência e conseqüências), obter todos os dados possíveis, caracterizar e definir os limites do problema, extensão do mesmo. Para facilitar o processo algumas técnicas podem ser utilizadas nesta etapa como, por exemplo, método 5W2H, método É / Não É, pareto e estratificação.

D3: Ação de Contenção Imediata

O time inicia ações de contenções imediatas para proteger os clientes em um curto prazo a fim de evitar reclamações adicionais e para ganhar o tempo necessário para as análises de causa raiz e testes de ações corretivas. As ações de contenção imediatas devem ser mantidas até a comprovação da eficácia das ações corretivas definitivas.

D4: Análise da Causa Raiz

A análise da causa raiz é sem dúvida a etapa principal de um método de solução de problemas, pois uma boa identificação de causas leva a soluções definitivas, evitando a re-ocorrência da falha. Para análise da causa o time levanta as possíveis causas, identifica as mais prováveis e as confirma através de simulações e testes visando a reprodução da falha. Para isto utilizam-se diversas técnicas de análise de causa raiz, entre elas podemos citar o Brainstorming, Diagrama de Causa e Efeito, 5 Porquês e troca de componentes. Depois de identificada e comprovada a causa raiz deve-se efetuar uma análise de risco, verificando-se, com base na causa identificada, a abrangência e risco relacionado à falha.

D5: Ações Corretivas Possíveis

O objetivo principal desta etapa é a eliminação da causa do problema através da definição de ações que evitem a ocorrência da causa. Como apoio nesta etapa pode-se utilizar métodos de solução criativa.

D6: Comprovação da eficácia das ações

Após a implementação com sucesso das ações corretivas a eficácia das mesmas na eliminação da causa deve ser comprovada. Deve-se assim avaliar a

estabilidade do resultado obtido em longo prazo. Métodos estatísticos, como a análise de capacidade, podem ser utilizados neste momento. Depois de comprovada a eficácia das ações corretivas as ações de contenção podem ser assim retiradas.

D7: Ações Preventivas

Nesta etapa são definidas ações visando evitar a reincidência da falha neste ou em outros processos semelhantes. A documentação pertinente deve ser revisada, incluindo o FMEA, e a solução deve ser garantida em longo prazo. Adicionalmente a solução deve ser estendida a processos semelhantes.

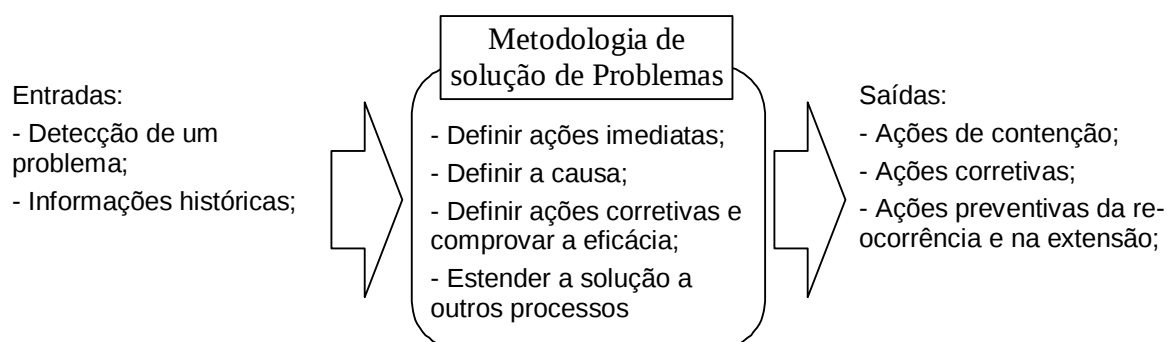
D8: Análise de Encerramento

Neste momento deve-se congratular o time e compartilhar as lições aprendidas em relação ao método.

Os métodos de solução de problemas podem ser utilizados em diversas situações, não somente no caso de falhas, mas pode-se utilizar o método para falhas potenciais e tendências que levem a problemas. Porém, atualmente os métodos de solução de problemas têm sido utilizados basicamente com foco corretivo.

Para fins de estudo os métodos de solução de problemas podem ser considerados atividades que usam recursos e que são gerenciadas de forma a possibilitar a transformação de entradas em saídas, podendo assim serem caracterizados como um processos do Sistema de Gestão da Qualidade. As entradas, saídas e atividades deste processo são representadas na Figura 2.17.

FIGURA 2.17: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO METODOLOGIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS



FONTE: AUTOR

3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS INTER-RELAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS DA GESTÃO DA QUALIDADE

A integração dos métodos da qualidade apresentados como processos nos capítulos anteriores será aqui descrita como a abordagem atual da gestão da qualidade, a fim de definir um estado atual que possa ser comparado ao proposto nesta dissertação.

Os métodos descritos têm diversas interfaces e deveriam se inter-relacionar de diversas maneiras. Algumas destas interfaces são claras a todos, valorizadas e realizadas na prática, porém nos atuais Sistemas de Gestão da Qualidade a maioria das interfaces não é vista ou, mesmo que sejam conhecidas, não são realizadas na prática. Neste capítulo serão identificadas e descritas pelo autor estas inter-relações entre os métodos, aqui caracterizados como processos.

A não realização das inter-relações entre os métodos é causada por diversos motivos, entre eles destacam-se os seguintes:

a) Normas da qualidade tratam cada método de maneira isolada.

As normas da qualidade são um conjunto de requisitos, cada requisito tem sua particularidade e métodos da qualidade. A grande maioria das normas da qualidade trata os requisitos de uma forma individual, sem valorizar as integrações. Com a reformulação da ISO 9000 para a sua versão 2000 houve um grande progresso com a introdução do conceito de abordagem por processo, o qual valoriza a inter-relação entre processos. No entanto, as organizações ainda não tratam as atividades da Gestão da Qualidade como processos inter-relacionados.

b) Falta de conhecimento sobre as inter-relações e falta de conexão entre os métodos da qualidade.

A Gestão da Qualidade é formada por um conjunto de procedimentos, técnicas e métodos, cada um com suas particularidades e com seu nível de complexidade. Nas organizações as pessoas são treinadas nos procedimentos, técnicas e métodos. No entanto, devido à complexidade destes, é necessário um conhecimento mais profundo e visão sistêmica em relação à Gestão da Qualidade para compreender as inter-relações entre eles.

A seguir serão identificadas as principais inter-relações atuais entre os métodos da Gestão da Qualidade.

3.1 Inter-relação QFD e FMEA

Segundo Ginn (1998), na prática, o método QFD tem sido utilizado como suporte para os primeiros estágios do desenvolvimento de produto e o método FMEA é utilizado no final do desenvolvimento para prevenir falhas. Ginn afirma que o problema em relação ao QFD e FMEA é que todo o seu potencial não é utilizado quando cada uma delas é utilizada isoladamente, uma no início do desenvolvimento do produto e a outra no final do desenvolvimento do processo, o que, normalmente ocorre nas indústrias automotivas.

A prática tradicional de FMEA se concentra em produtos, componentes e características na maioria das vezes não vistas pelo cliente e não foca assim claramente as necessidades do cliente. Para Ginn (1998), provavelmente o melhor uso do FMEA poderia ser se este fosse aplicado na fase de conceito e início do desenvolvimento, pois assim poder-se-ia garantir, junto com o QFD, o desdobramento da voz do cliente até os níveis de produto e processo.

As similaridades entre o QFD e o FMEA são que ambos visam verificar a percepção do cliente em relação às funções do produto, ambos usam relações causa-efeito, ambos tem cálculos matemáticos para priorizar as funções críticas ao cliente, para que ações possam ser priorizadas e ambos requerem um time multifuncional para serem executados.

As diferenças básicas são que o QFD foca na satisfação e desempenho em relação ao cliente, podendo levar a novos níveis em relação à satisfação do mesmo com novas tecnologias e propostas. Já o FMEA foca em manter as qualidades básicas do produto, visando atingir o nível esperado de qualidade.

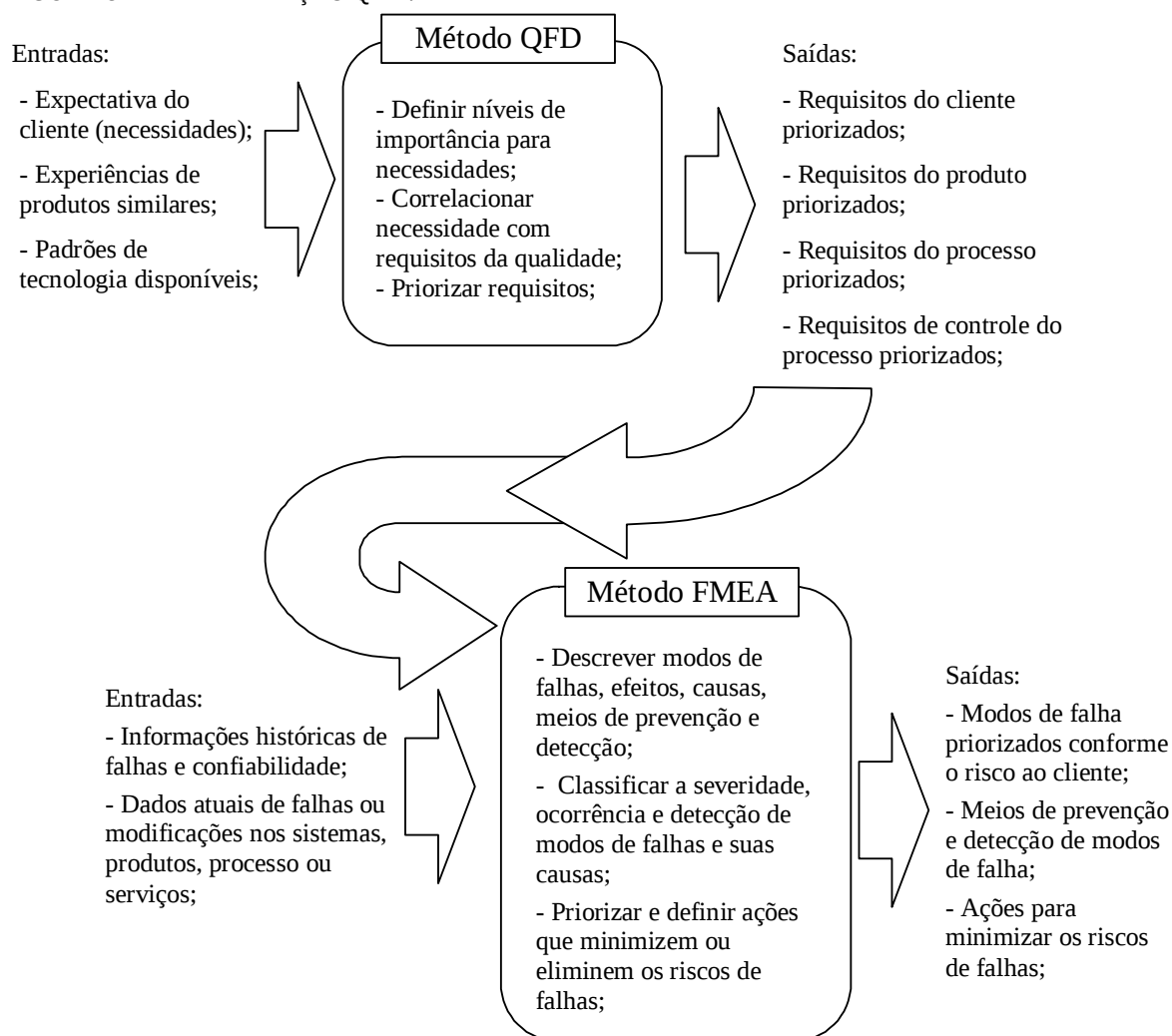
As saídas básicas do processo de QFD são os requisitos priorizados, tanto requisitos do cliente, do produto, do processo e de controle, ou seja, para cada ciclo ou matriz de QFD se tem uma priorização de requisitos como resultado. Já o FMEA tem como entrada os requisitos do cliente, do produto e do processo e informações sobre a importância relativa de cada uma das funções. Assim, segundo Stamatis (2003), a melhor maneira para se obter estas entradas do FMEA é utilizando as saídas do método QFD.

Atualmente, conforme citado por Ginn (1998), o uso do QFD e FMEA é restrito a algumas fases do desenvolvimento, além disto são vistos como métodos totalmente separados sem grande interface. O QFD é executado visando transformar as

expectativas do cliente em características do produto, mas não é utilizado para agir preventivamente em relação à falhas nos requisitos prioritários. Já o FMEA é utilizado separadamente para reduzir riscos de falhas nos requisitos do cliente, mas normalmente não é levada em conta a prioridade do requisito levantada no QFD.

Na Figura 3.1 está representada graficamente a Inter-relação entre o QFD e o FMEA.

FIGURA 3.1: INTER-RELAÇÃO QFD / FMEA



FONTE: AUTOR

3.2 Inter-relação FMEA e PQP

O plano de controle (PQP – *Process Quality Plan*) é o documento onde constam as informações necessárias ao controle da qualidade. As principais informações normalmente encontradas no PQP são:

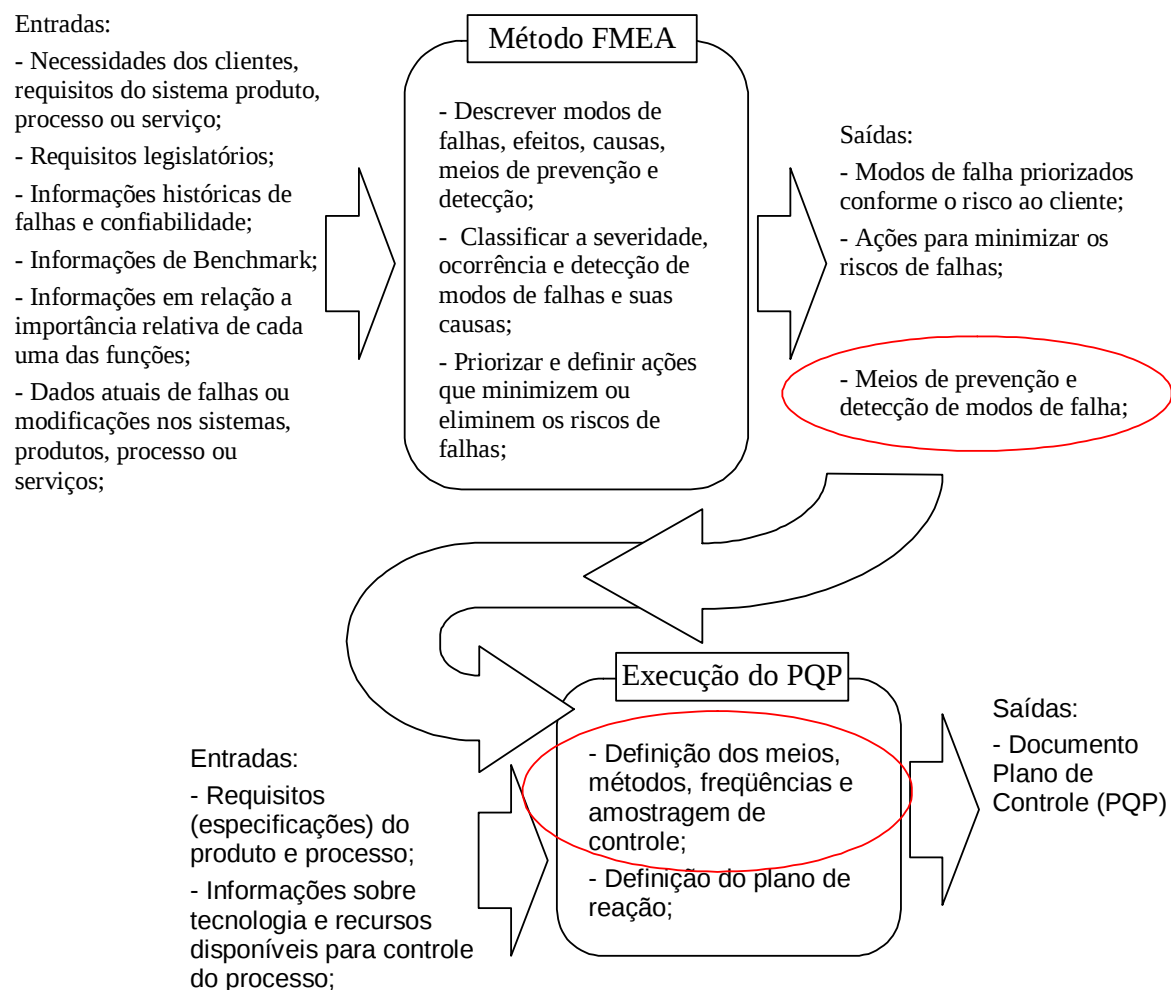
- a) Meio de controle;
- b) Método de Controle;
- c) Frequência de controle;
- d) Tamanho da amostra;
- e) Limites de especificação;
- f) Plano de reação em caso de desvios.

Todas estas informações são necessárias à execução do FMEA de Processo.

O meio, método, frequência e tamanho da amostra no controle do processo são a forma de se garantir a detecção de falhas no processo produtivo. Sendo assim, todos afetam a avaliação do nível de detecção do FMEA de Processo. Com isto, nota-se que todas as informações constantes no PQP, exceto o plano de reação devem também constar no FMEA. Desta forma, os processos de PQP e FMEA estão inter-relacionados. Caso o PQP seja executado antes do FMEA, as informações deste serão utilizadas no FMEA. Caso o FMEA seja executado antes do PQP todas as informações do PQP já constarão no FMEA, sendo assim é somente necessário produzir o documento do PQP com estas informações e definir o plano de reação no caso de desvios.

Na Figura 3.2 está representada a inter-relação entre estes processos.

FIGURA 3.2: INTER-RELAÇÃO FMEA / PQP



FONTE: AUTOR

No desenvolvimento do processo, normalmente em função de avaliações do FMEA, muitas das informações do PQP podem ser alteradas para se reduzir riscos no processo. Grande parte das organizações não percebe tão claramente esta interação ou não tem ferramentas ou métodos para garanti-la. Com isto, o FMEA e o PQP são executados como métodos ou procedimentos independentes. A não ocorrência desta inter-relação gera problemas com a fidelidade entre as informações presentes nos dois documentos e não garante a revisão do FMEA em função de alterações no PQP e vice-versa.

3.3 Inter-relação FMEA , Inspeções, Auditoria de Produto e CEP

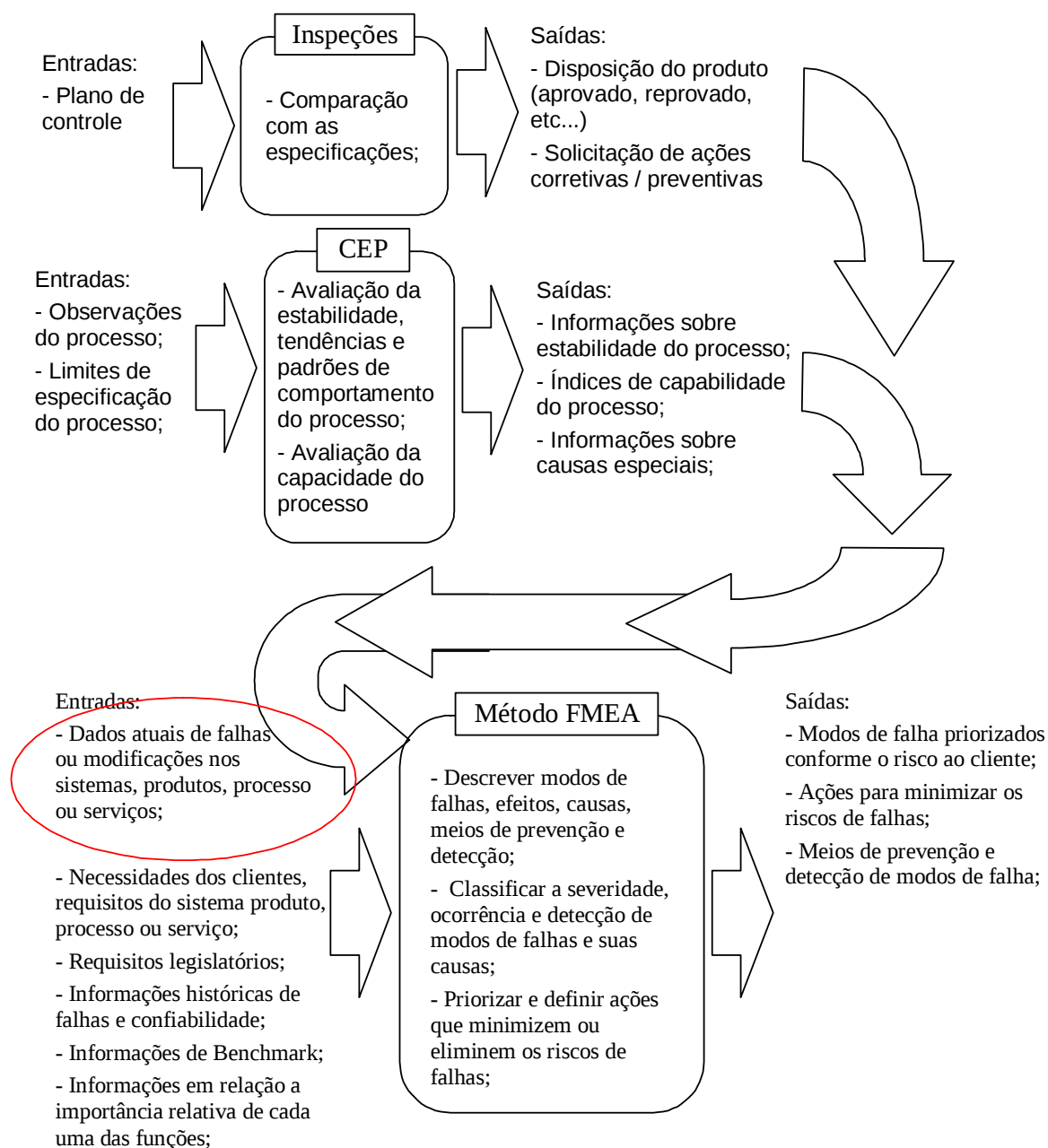
Conforme esclarecido anteriormente as inspeções e auditorias são processos com objetivos diferentes, porém com as mesmas entradas e saídas, assim as auditorias de produto serão aqui representadas juntamente com as inspeções.

Tanto as inspeções quanto o CEP têm a função de avaliar a capacidade do produto em atender aos requisitos e objetivos definidos. Assim, nas inspeções e no CEP são geradas informações do atendimento aos requisitos e objetivos. Entre estas informações destacam-se as seguintes:

- a) Não conformidades detectadas;
- b) Índices de aprovação;
- c) Tendências e valores estatísticos gerados nas inspeções utilizando-se ou não do método CEP;
- d) Índices de capacidade dos processos com CEP;
- e) Informações sobre estabilidade e causas especiais no processo.

Todas as informações citadas são entradas importantes para a revisão do FMEA de Processo, pois com base nestas informações serão gerados novos modos de falha ou causas. As informações provenientes das inspeções e CEP são ainda fundamentais para a avaliação da probabilidade de ocorrência de uma determinada causa. Desta forma, os processos de FMEA de Processo, Inspeções e CEP estão correlacionados. Estas inter-relações estão representadas na Figura 3.3.

FIGURA 3.3: INTER-RELAÇÃO INSPEÇÕES E CEP / FMEA



FONTE: AUTOR

Atualmente, em grande parte das organizações, na execução e revisão do FMEA de Processo são levantados dados históricos gerados nas inspeções e CEP. Todavia, em muitas organizações, estes dados não são levantados de forma sistemática e a avaliação da ocorrência das causas é efetuada com base na experiência dos participantes do FMEA. Uma avaliação inadequada da ocorrência de uma causa gera um erro no processo de FMEA. Quando a ocorrência é superestimada

gera-se uma priorização e eventual tomada de ação para uma causa onde muitas vezes não seriam necessárias ações, utilizando assim de forma ineficaz os recursos da organização. Quando a ocorrência é subestimada a causa de falha não será priorizada e ações não serão tomadas, assim o risco continuará e poderá, eventualmente, atingir o cliente final.

A falta da utilização dos dados de inspeções e CEP na execução do processo FMEA pode ser facilmente resolvida. Todavia, o principal problema presente na grande maioria das organizações é a não utilização destes dados como retro-alimentação do processo de FMEA, ou seja, a revisão sistemática das ocorrências de causa no FMEA em função dos resultados de inspeções e CEP.

A falta desta integração entre o FMEA, Inspeções e CEP compromete a atualização do FMEA e a sua utilização como “ferramenta viva” agregando valor não somente na sua execução, mas durante toda a vida do produto.

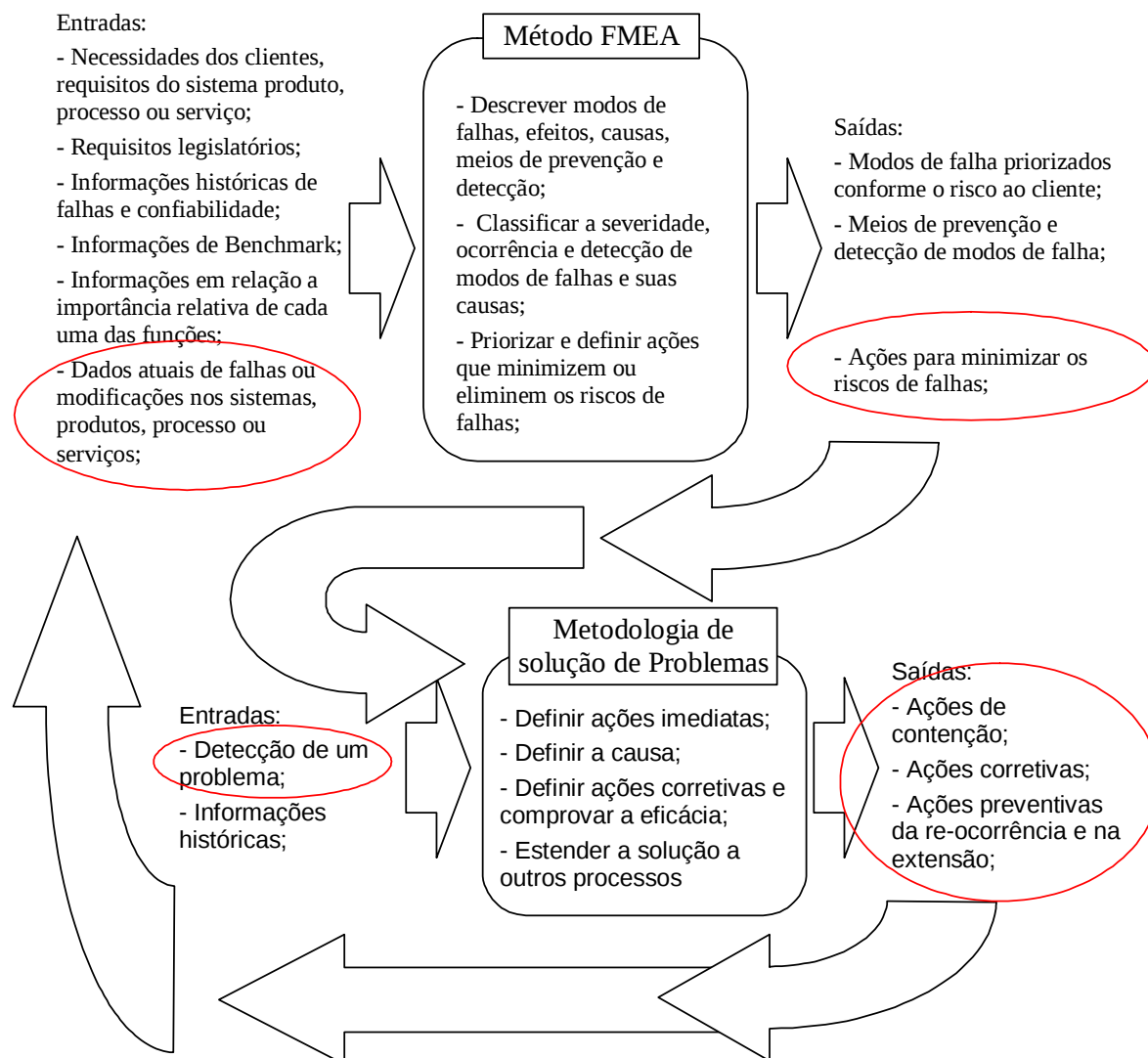
3.4 Inter-relação FMEA e Metodologia de Solução de Problemas

No processo de execução do FMEA são definidas medidas para redução dos maiores riscos no processo produtivo. Estas medidas são ações para reduzir a severidade, ocorrência ou melhorar a detecção de um determinado modo de falha. Para a definição destas ações o FMEA não determina nenhum método específico. Assim, normalmente, as organizações acabam não utilizando nenhum método para esta atividade. A falta de um método para a solução das falhas identificadas no FMEA pode causar diversos problemas, entre eles:

- a) Reocorrência da falha devido a ações ineficazes ou não identificação da real causa;
- b) A Solução não é estendida a processos semelhantes e não é garantida a longo prazo.

Para evitar estes problemas é possível utilizar um método de solução de problemas, como o 8D, para tratar os pontos de alto risco do FMEA. Esta é a inter-relação entre estes dois métodos da qualidade que está representada na Figura 3.4.

FIGURA 3.4: INTER-RELAÇÃO FMEA / METODOLOGIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS



FONTE: AUTOR

Desta forma, é possível utilizar o método de solução de problemas não somente de forma corretiva para problemas que estão ocorrendo, mas de forma preventiva, atuando em riscos no processo de forma a tomar ações definitivas que garantam a não ocorrência destes riscos.

Após a utilização de uma metodologia de solução de problemas as ações resultantes devem constar no FMEA e o mesmo deve ser atualizado conforme a nova situação do processo. Esta inter-relação fecha um ciclo entre a metodologia de solução de problemas e o FMEA (a inter-relação está representada na Figura 3.4).

A não ocorrência das inter-relações descritas gera uma ineficácia do FMEA em solucionar de maneira definitiva os riscos do processo, pois não há metodologia para

tal no método FMEA, e não garante a atualização do FMEA em função de dados atuais de falhas e modificações nos sistemas, produtos e processos.

3.5 Inter-relações entre os processos

Adicionalmente às inter-relações apresentadas do FMEA com outras ferramentas e métodos do Sistema de Gestão da Qualidade, existem ainda inter-relações entre os próprios métodos e ferramentas, estas inter-relações são apresentadas através da descrição dos processos de Planejamento e Controle da Qualidade e a representação na Figura 3.5.

O planejamento da qualidade se inicia com a utilização do método QFD para transformar as expectativas do cliente em requisitos do cliente, do produto e do processo. Nesta etapa o método FMEA é utilizado para avaliar riscos dos requisitos falharem em atender a seus objetivos e conseqüentemente não atenderem a necessidade para a qual foram criados. Assim, a priorização resultante do QFD é utilizada para orientar a severidade das falhas nos FMEAs de Sistema, Projeto e Processo.

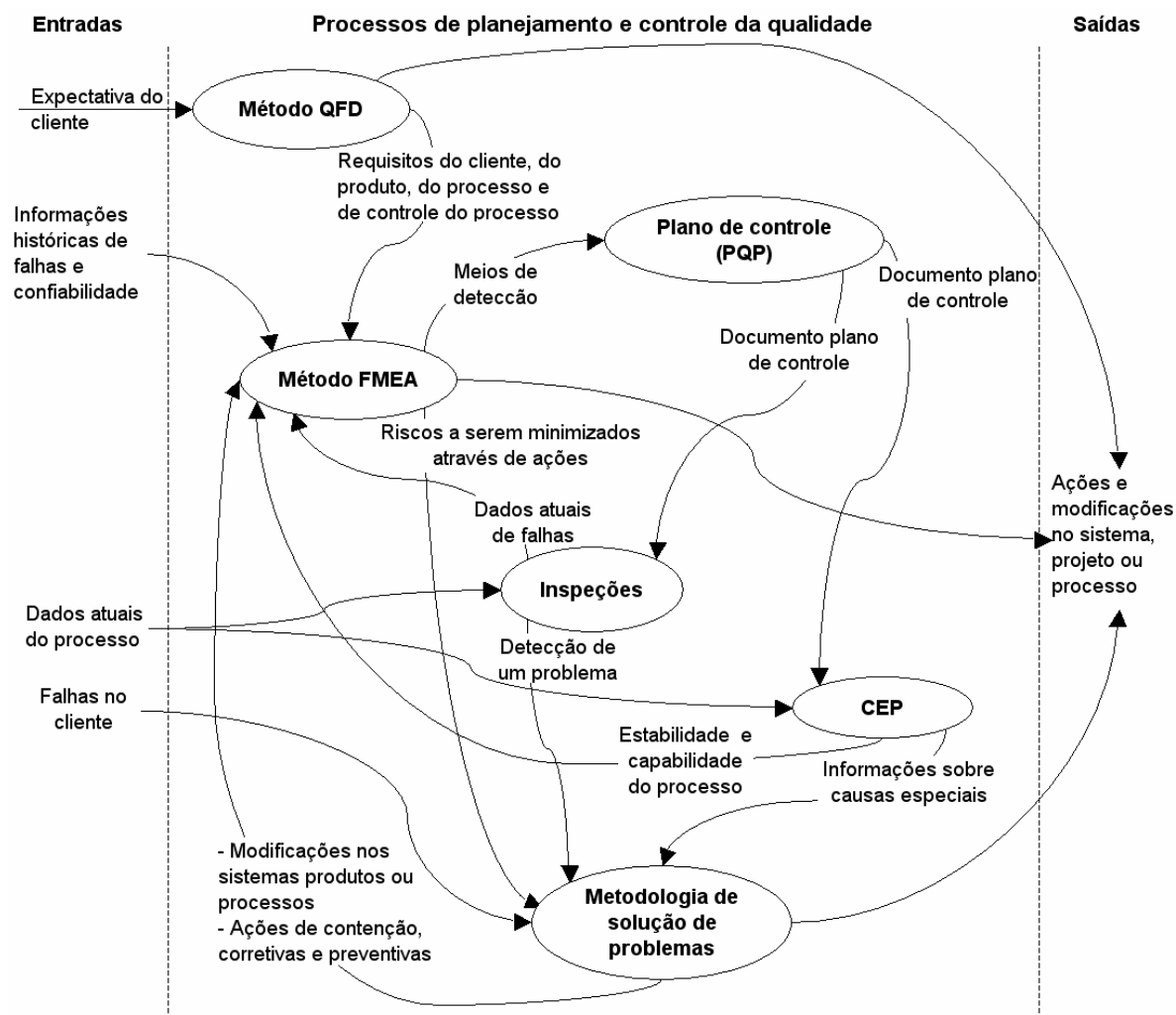
Durante a fase de planejamento da qualidade é gerado o plano de controle, no qual constam muitas das informações do FMEA referentes à detecção da falha.

Na fase de controle da qualidade o plano de controle é utilizado para a execução das inspeções e define quais processos terão controle estatístico via CEP.

As inspeções e auditorias de produto são executadas utilizando ou não o CEP, as falhas detectadas são entradas para uma revisão do FMEA de Processo e os índices e tendências são informações relevantes para a revisão das ocorrências de falha no FMEA de Processo. Quando ocorrem falhas nas inspeções podem ser utilizadas metodologias para a solução de problemas. Da mesma forma, as metodologias de solução de problemas podem ser utilizadas para falhas potenciais do FMEA. As ações resultantes de uma metodologia de solução de problemas devem ser registradas no FMEA e este revisado de acordo com a atual situação do processo.

As inter-relações aqui descritas estão representadas na Figura 3.5.

FIGURA 3.5: INTER-RELAÇÕES NO ATUAL SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE



FONTE: AUTOR

Muitas das inter-relações aqui descritas são percebidas e executadas nos atuais Sistemas de Gestão da Qualidade. Outras são percebidas, mas não executadas. E finalmente ainda existem diversas inter-relações que não são percebidas pelas organizações.

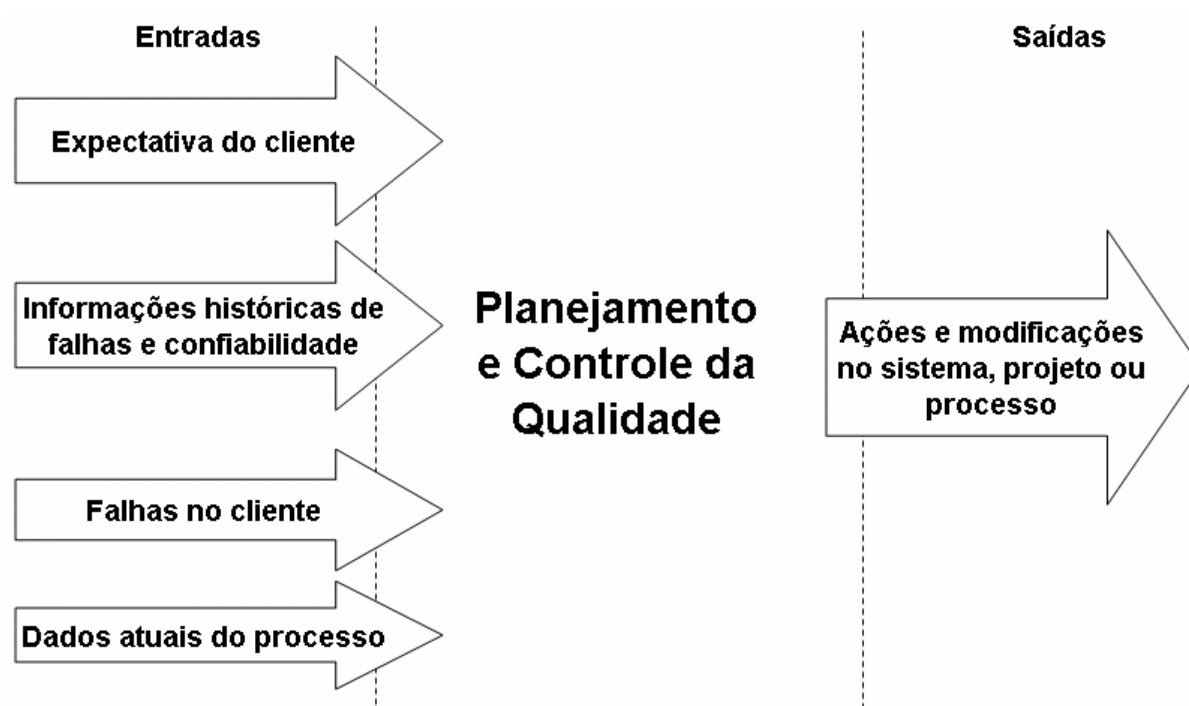
4 PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM INTEGRADA DOS PROCESSOS DA GESTÃO DA QUALIDADE BASEADA NO FMEA

A abordagem proposta aqui descrita tem o objetivo da integração dos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade do Produto, de forma que os requisitos do sistema sejam atendidos de forma integrada e não individual, e ainda, promovendo a característica preventiva do sistema através do uso do FMEA.

Reid (2002) cita que a organização deve usar os desenhos, FMEA, plano de controle e instruções como elementos de um mesmo processo, não como exercícios separados não relacionados. Com este objetivo pretende-se nesta dissertação integrar a maior parte de procedimentos, métodos e ferramentas da qualidade sob um único processo.

Para descrever a abordagem integrada com base no FMEA é necessário partir-se da principal função do Planejamento e Controle Qualidade, que é a de garantir a qualidade do produto, desde o projeto até a produção e entrega ao cliente. Em suma, esta função é executada através da transformação da expectativa do cliente e de informações históricas de falhas e confiabilidade de produtos semelhantes em ações e modificações no sistema, projeto do produto ou processo. O planejamento e controle da qualidade é ainda retro-alimentado com base nos dados de satisfação (expectativa), falhas no cliente e dados dos processos internos. Estas entradas e saídas estão representadas na Figura 4.1.

FIGURA 4.1: ENTRADAS E SAÍDAS DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE



FONTE: AUTOR

Para caracterizar a abordagem proposta é necessário primeiramente desvincular-se de processos e somente focar em como cada uma das entradas principais deve ser tratada de modo que o resultado seja a saída esperada.

A melhor forma de tratar a expectativa do cliente é transformá-la em requisitos do sistema, do projeto do produto e do processo, garantindo que esta seja atendida. Para isto a ferramenta adequada é a matriz de correlação, a qual representa relações de causa e efeito, sendo que esta é à base do método QFD. Estas relações de causa e efeito estão representadas na Figura 4.2.

FIGURA 4.2: RELAÇÕES DE CAUSA E EFEITO PARA TRATAR A EXPECTATIVA DO CLIENTE

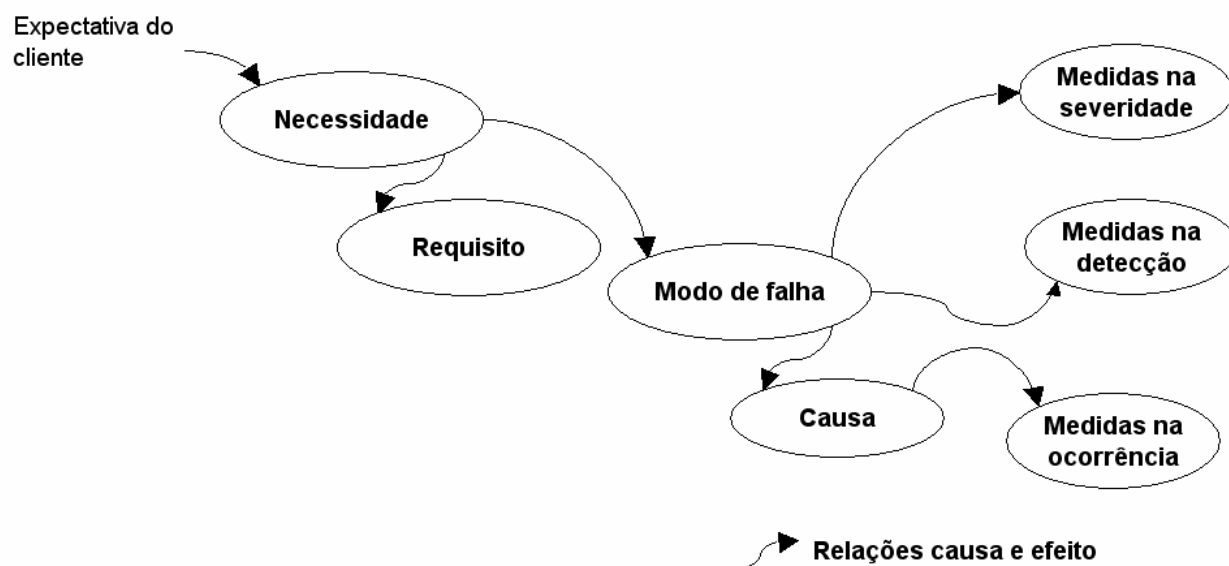


FONTE: AUTOR

Ainda visando garantir que as expectativas sejam atendidas, é de vital importância avaliar os riscos do não atendimento às expectativas e requisitos com base em informações históricas e dados de confiabilidade de produtos semelhantes. A melhor forma de executar esta tarefa é através do levantamento dos possíveis modos de falha em relação ao atendimento das necessidades e as causas destes, classificando-os quanto a sua importância e atuando nos quais possam afetar o cliente através da definição de ações (medidas) (Figura 4.3). Esta é a base do método FMEA.

Medidas na severidade são ações no projeto do produto que causem uma redução no impacto de uma possível falha no cliente. Medidas na ocorrência são ações que reduzem a ocorrência ou a probabilidade de ocorrência de uma determinada falha. Medidas de detecção são ações que aumentem a probabilidade da detecção de uma determinada falha antes que a mesma chegue ao cliente.

FIGURA 4.3: AVALIAÇÃO DE RISCOS ATRAVÉS DA DEFINIÇÃO DE MODOS DE FALHA

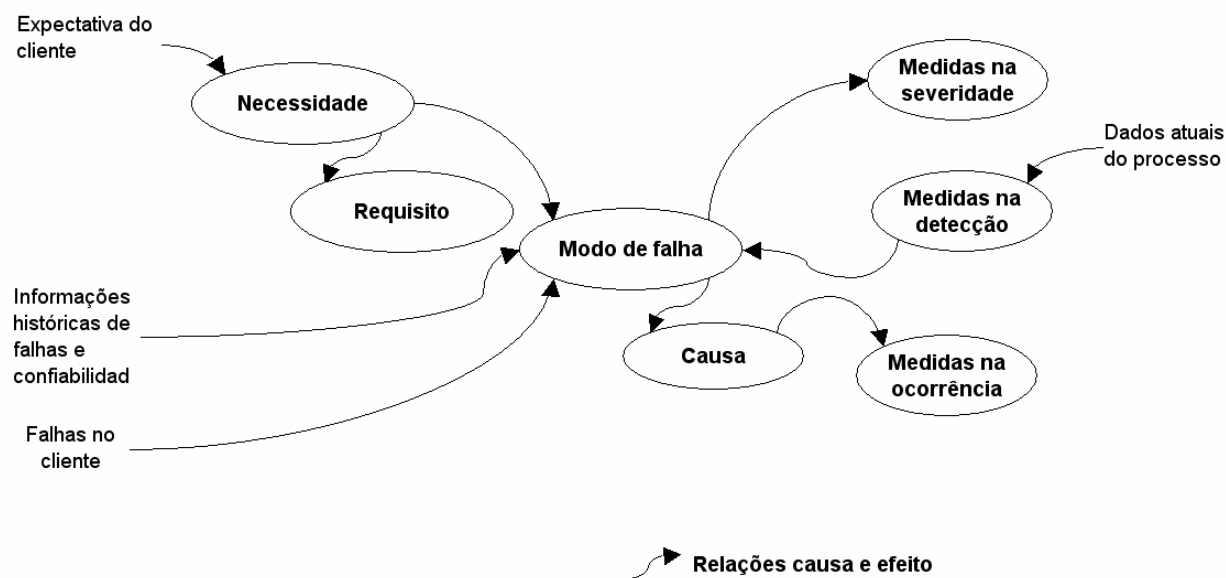


FONTE: AUTOR

Para manter o Planejamento e Controle da Qualidade ativo e atual durante toda a vida do produto, é necessária a sua retro-alimentação com informações de falhas no cliente e dados dos processos internos (índices de capacidade, falhas, percentuais de refugos e retrabalhos, etc...). A melhor maneira de receber e coletar estas informações é através de medidas de detecção. As medidas de detecção são: informações ou pesquisas junto ao cliente, inspeções, avaliações, auditorias e controle estatístico dos processos internos.

As informações de falhas no cliente e dados dos processos internos devem ser confrontadas com os modos de falha dos riscos já previstos e suas causas, revendo os mesmos ou incluindo novos modos de falhas e riscos. Em consequência da revisão dos riscos é avaliada a necessidade ou não da definição de novas medidas, desta forma o sistema de Gestão é retro-alimentado e garante-se sua constante atualização (Figura 4.4).

FIGURA 4.4: RETRO-ALIMENTAÇÃO DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE

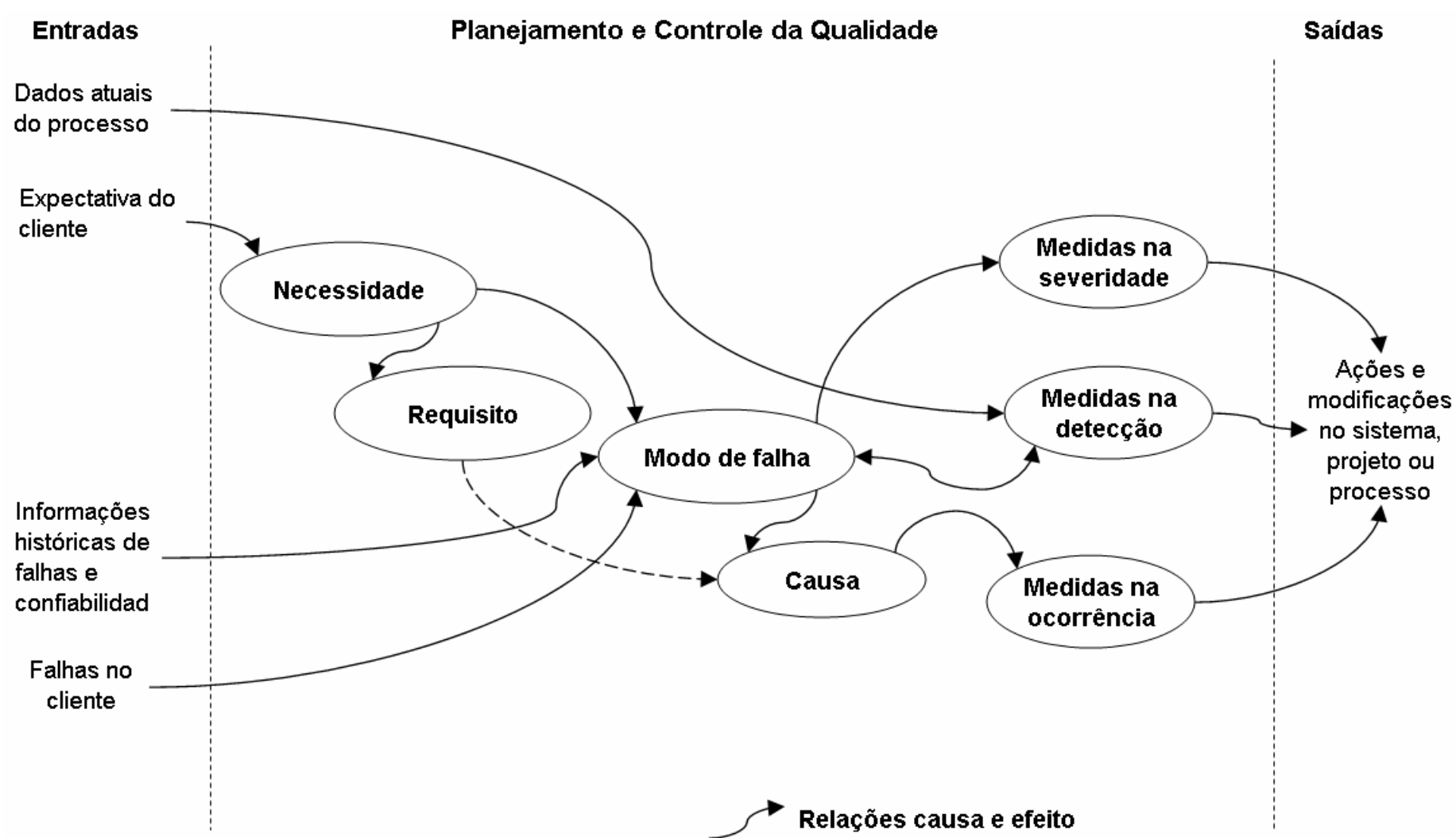


FONTE: AUTOR

Com base nas etapas descritas pode-se representar toda a abordagem proposta pela Figura 4.5.

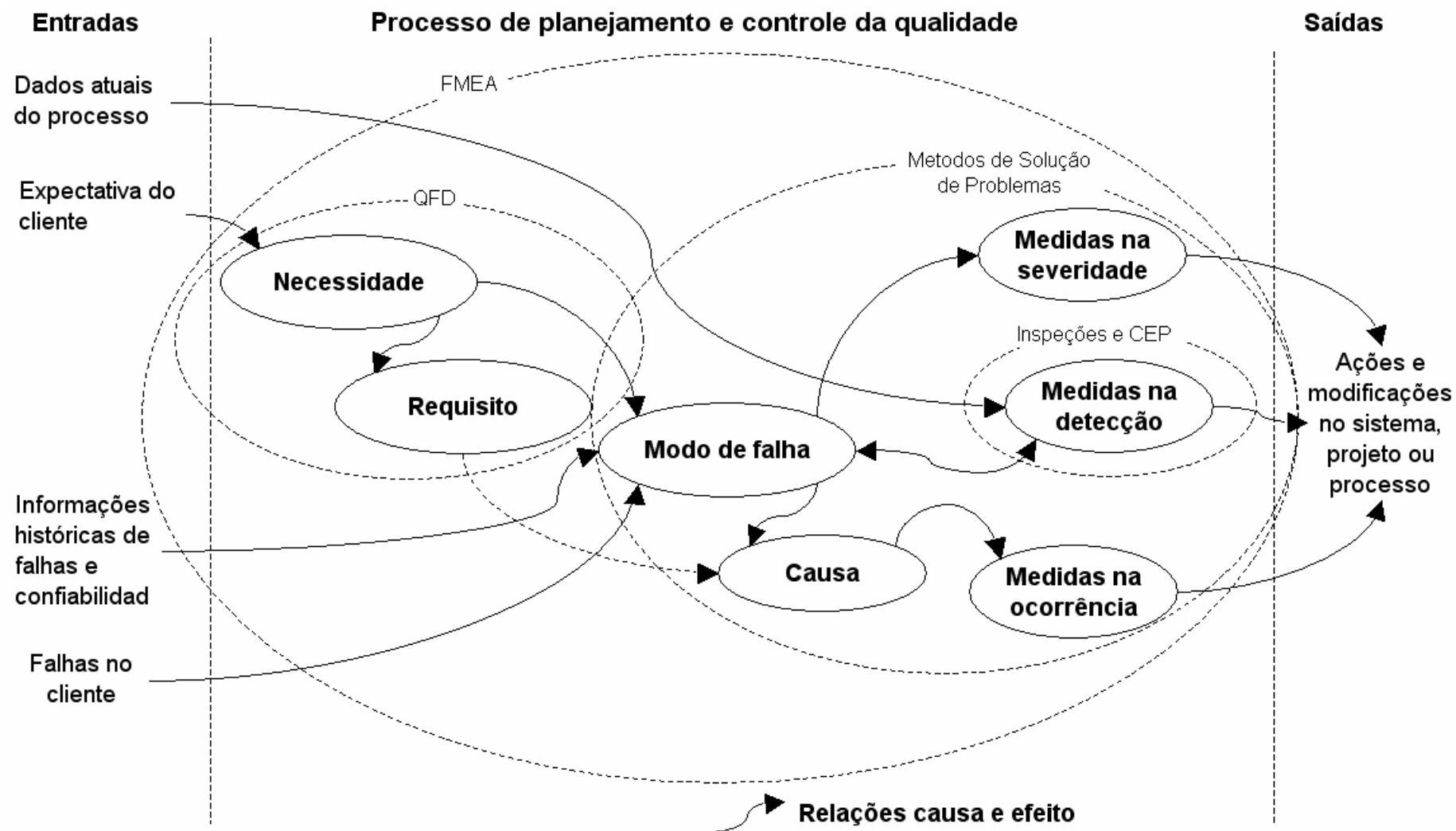
Ao contrário das atuais abordagens para a qualidade do Produto, as quais são formadas de diversos processos que deveriam estar inter-relacionados, a abordagem proposta é composta por um único processo que abrange todas as atividades vitais a qualidade de forma totalmente integrada através de relações causa x efeito entre seus elementos. Desta forma a abordagem proposta integra os principais métodos ou processos da Gestão da Qualidade do Produto, esta integração é representada na Figura 4.6.

FIGURA 4.5: REPRESENTAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA



FONTE: AUTOR

FIGURA 4.6: INTEGRAÇÃO DOS PROCESSOS NA ABORDAGEM PROPOSTA



FONTE: AUTOR

Os elementos representados na abordagem proposta, com suas respectivas relações causa x efeito, garantem que a expectativa do cliente seja transformada em requisitos. A proposta garante também que os riscos do não atendimento de requisitos (modos de falha) tenham suas causas identificadas e que medidas sejam tomadas gerando ações no sistema, projeto do produto e processo. Com isto garante o atendimento de forma preventiva mantendo este processo ativo e atual durante toda a vida do produto.

A representação mostrada na Figura 4.5 é válida para as etapas de Desenvolvimento das Necessidades dos Clientes, Projeto do produto e componentes, Projeto do Processo e Controle do processo, porém os elementos do sistema desdobrados conforme estas etapas estão representados na Figura 4.7.

Conforme representado na Figura 4.7, na etapa de Desenvolvimento das Necessidades dos Clientes as necessidades são as expectativas do cliente e os requisitos são os requisitos do sistema. Nesta etapa devem ser levantados modos de falha relacionados ao não atendimento das expectativas dos clientes pelo sistema, suas causas e medidas necessárias para garantir que as expectativas sejam atendidas.

Na etapa de Projeto do Produto e Componentes as necessidades são os requisitos do sistema e os requisitos são os requisitos do projeto. Nesta etapa devem ser levantados modos de falha no projeto do produto relacionados ao não atendimento dos requisitos do sistema, suas causas e medidas necessárias para garantir que os requisitos do mesmo sejam atendidos.

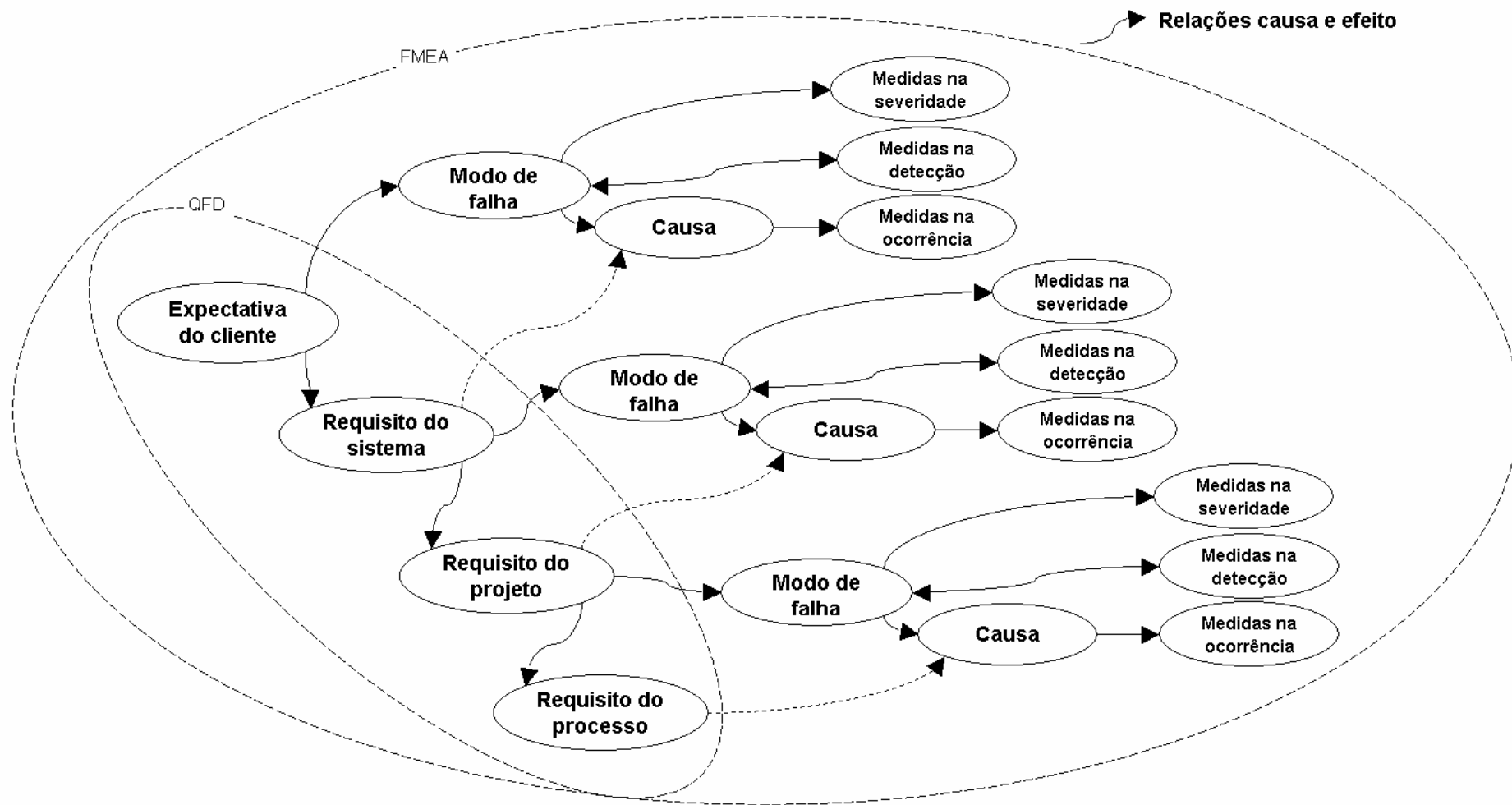
Na etapa de Projeto do Processo as necessidades são os requisitos do projeto e os requisitos são os requisitos do processo. Nesta etapa devem ser levantados modos de falha no processo relacionados ao não atendimento dos requisitos do projeto, suas causas e medidas necessárias para garantir que os requisitos do projeto sejam atendidos.

Na etapa de Controle do Processo as necessidades são os requisitos do processo e os requisitos são os controles no processo. Nesta etapa devem ser levantados modos de falha nos controles do processo relacionados ao não atendimento dos requisitos do processo, suas causas e medidas necessárias para garantir que os requisitos do processo sejam atendidos.

Nota-se que as causas do não atendimento de uma necessidade na maioria das vezes está relacionada ao não atendimento de um requisito, porém podem

ocorre causas que não se relacionam a um requisito, esta inter-relação está representada de forma pontilhada na Figura 4.7.

FIGURA 4.7: DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS NAS ETAPAS DE PLANEJAMENTO DA QUALIDADE



FONTE: AUTOR

4.1 Processo QFD na abordagem proposta

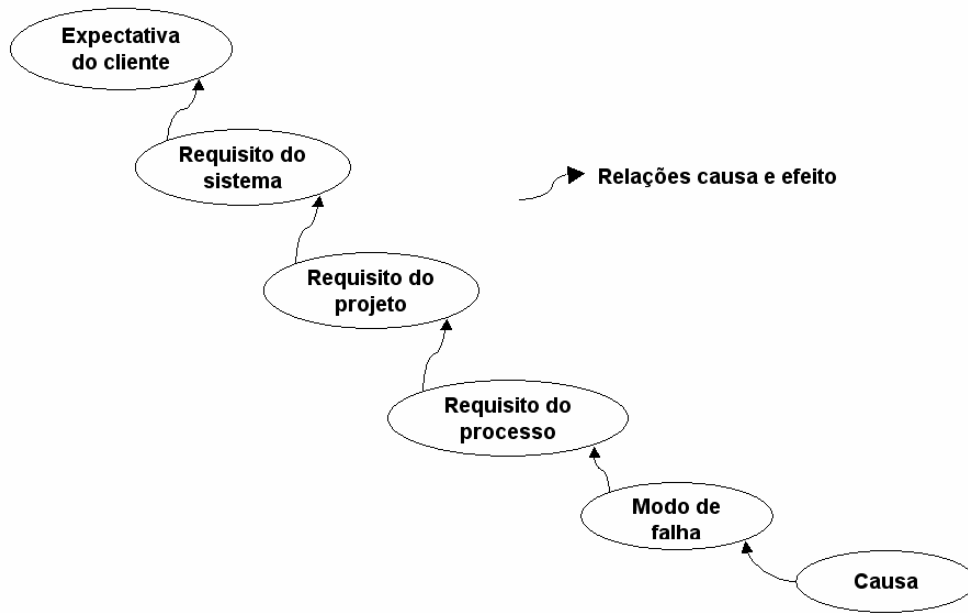
Na abordagem proposta o processo QFD não sofre grandes alterações, porém as principais mudanças são propriedades que surgem da inter-relação do QFD com outros processos do sistema.

Com o QFD é possível transformar necessidades em requisitos e priorizá-los. Estas correlações são executadas em várias etapas, desde a correlação das expectativas do cliente com requisitos do sistema até a correlação de requisitos do processo com os controles do processo. Assim sendo, com o QFD é possível saber todas as conseqüentes necessidades impactadas com o não atendimento de um requisito, por exemplo, quando um requisito do processo não é atendido é possível avaliar quais os requisitos do projeto, do sistema e quais as expectativas do cliente serão impactados. No entanto o QFD não avalia qual o risco de um requisito não ser atendido, isto é feito pelo FMEA.

No FMEA é possível obter o risco de ocorrência e a probabilidade de detecção de um determinado modo de falha que causará o não atendimento a um determinado requisito do sistema. No método tradicional de FMEA o impacto de cada modo de falha, ou seja, a severidade, é avaliada através da experiência do time que está executando a FMEA e pontuada através de uma tabela de severidades.

Com a integração entre o QFD e o FMEA cada modo de falha está associado a um requisito que por sua vez está ligado a necessidades conforme o método QFD. Assim com o FMEA é possível obter a probabilidade de ocorrência e detecção de um determinado modo de falha e com o QFD é possível saber com precisão quais requisitos, necessidades e finalmente expectativas do cliente serão afetadas pelo modo de falha (Figura 4.8).

FIGURA 4.8: INTER-RELAÇÃO FMEA E QFD



FONTE: AUTOR

No método tradicional quando se executa um FMEA de Sistema são avaliados os riscos do não atendimento às expectativas do cliente somente em relação às falhas no conceito do sistema. No FMEA de Projeto são avaliados os riscos do não atendimento a requisitos do sistema somente em relação às falhas no projeto. E finalmente no FMEA de Processo são avaliados os riscos do não atendimento a requisitos do projeto somente em relação às falhas no processo.

No FMEA tradicional os requisitos e necessidades não estão correlacionados, assim não é possível mensurar qual o total risco associado ao não atendimento de uma expectativa do cliente. Ou seja, o risco de falhas no processo de produção, no projeto e no conceito do sistema que tenham impacto em uma determinada expectativa do cliente.

Na proposta o QFD torna-se útil não somente na etapa de Planejamento da Qualidade, mas também na etapa de Controle da Qualidade, identificando todas as relações causa-efeito entre requisitos e necessidades.

Através da integração do QFD e FMEA é possível obter a árvore de falha do produto, ou seja, identificar todas as falhas possíveis relacionadas a cada necessidade ou requisitos.

Adicionalmente, visando unificar os dois métodos, pode-se utilizar as tabelas de severidade do FMEA para dar os pesos a cada uma das necessidades do QFD.

Em organizações que não utilizam o método QFD ou visando simplificar a abordagem proposta, pode-se da mesma forma utilizar o conceito proposto sem sua integração com o QFD. Desta forma devem ser levantadas em cada fase as necessidades e requisitos e definidos os modos de falha pertinentes a cada um deles. Contudo, como as necessidades e requisitos de cada fase não estão correlacionados, não será possível avaliar o impacto dos riscos dos requisitos nas necessidades que estes atendem.

4.2 Método FMEA na abordagem proposta

O método de FMEA na abordagem proposta deixa de ser um método isolado e passa a ser a base para a integração de todos os outros.

O FMEA integrado ao QFD passa assim a ter seus modos de falha ligados diretamente às necessidades e requisitos do QFD. Desta forma, a priorização destes em relação às expectativas do cliente fornecidas pelo QFD são utilizadas como base para a pontuação da severidade no FMEA, tornando a pontuação um reflexo fiel às expectativas do cliente e não somente uma avaliação baseada na experiência do time e em uma tabela de referência.

Com a severidade diretamente ligada ao QFD, qualquer ação (medida) que seja definida e tenha impacto na severidade exige automaticamente uma revisão do QFD, pois a única forma de se obter uma severidade diferente será através de mudanças nas relações causa x efeito entre necessidades e requisitos.

Na proposta, quaisquer ações sobre o mesmo devem estar diretamente ligadas a um ou mais modos de falha, não havendo ações isoladas. Desta forma as ações são justificadas com base no risco associado ao modo de falha, evitando-se ações desnecessárias. Isto garante ainda que o risco potencial reflita o último status em relação às modificações e ações no projeto e processo.

Da mesma forma, todas as ocorrências de falhas internas ou externas devem estar associadas a um ou mais modos de falha, permitindo assim que seja avaliada a atualização do risco potencial em relação a modificações na taxa de ocorrência de falhas real.

Como cada modo de falha está ligado a uma necessidade específica em relação ao sistema, projeto e processo, não há separação entre FMEA de Sistema, Projeto e Processo. Somente é necessário identificar qual o tipo de necessidade

para com a qual o modo de falha está relacionado, sem a necessidade de classificar os modos de falha, conforme proposto por Lore (1998). As necessidades podem ser diversas, não somente relacionadas ao produto, mas necessidades em relação ao Meio Ambiente e Segurança no Trabalho.

O conceito proposto torna assim o FMEA não somente uma ferramenta viva, mas faz com que todo o Planejamento e Controle da Qualidade seja baseado em riscos reais e potenciais. Ou seja, não se deve mais atuar no problema “do momento” e sim no problema como maior risco potencial de afetar o cliente.

4.3 Método de Plano de controle na abordagem proposta

Na abordagem proposta, não há mais a necessidade da execução do Plano de Controle. Como as medidas de detecção estão diretamente relacionadas a modos de falhas, os quais se relacionam com requisitos do projeto, é possível relacionar todas as medidas de detecção relacionadas a cada requisito do projeto ou mesmo etapa do processo.

Nas medidas de detecção devem constar todas as informações necessárias ao controle do processo, como frequências de exame, tamanhos de amostra, métodos e plano de reação. Com base em todas estas informações é classificado qual o nível de eficácia da detecção associado à medida na detecção. Esta classificação influenciará no risco potencial do modo de falha. Assim, o Plano de Controle deixa de ser um processo e passa a ser somente uma forma de visualização dos elementos presentes.

4.4 Métodos de Inspeções, Auditorias e CEP na abordagem proposta

No conceito mais comum de Gestão da Qualidade do Produto as Inspeções, Auditorias e o CEP são a principal fonte de coleta de informações em relação ao desempenho do produto e processo. Com base nestas informações, deveriam ser tomadas ações para modificações nos processos e produtos visando atender os requisitos solicitados. Contudo, como estes métodos não promovem uma priorização para quais as falhas são mais relevantes em relação à expectativa do cliente, as ações são tomadas nos casos considerados mais críticos pelos responsáveis pelo processo. O fato das inspeções, auditorias e CEP não terem nenhuma relação com

potenciais de riscos em relação ao cliente faz com que estes métodos tornem-se menos eficazes e focados em problemas pontuais.

Na abordagem proposta os métodos de inspeções, auditorias e CEP são caracterizados como medidas de detecção e estão todos ligados à detecção de um ou mais modos de falha. Desta forma cada inspeção, auditoria ou CEP é classificada conforme o nível de eficácia da detecção e conseqüentemente a classificação influenciará o risco associado a um ou mais modos de falha.

Assim quando uma falha for detectada em uma inspeção, auditoria ou CEP esta é imediatamente relacionada a um modo de falha, sendo possível visualizar qual o risco associado àquela falha. Da mesma forma é possível verificar quais as causas potenciais ligadas ao modo de falha, facilitando a análise da causa da falha. Caso a causa já tenha sido prevista é possível avaliar se a classificação de ocorrência associada a esta ainda continua atual frente à nova taxa de falhas encontrada. Caso a causa não tenha sido prevista então esta deve ser incluída no respectivo modo de falha e a classificação da sua ocorrência deve ser avaliada, para que assim possa ser calculado o novo risco potencial do modo de falha.

Adicionalmente, com as inspeções, auditoria e CEP ligadas diretamente ao FMEA é possível definir limites de falhas ou capacidade (C_{pk}) que sejam esperados de acordo com a ocorrência esperada da falha. Caso os resultados de taxas de falhas encontrados no processo avaliado sejam diferentes dos previstos, a ocorrência das causas relacionadas a aquele modo de falha devem ser revistas.

A integração das inspeções, auditoria e CEP ao FMEA traz vantagens a ambos os métodos e, como apresentado, possibilita novas características a gestão da qualidade que não estão presentes em nenhum dos métodos isolados.

4.5 Metodologia de solução de problemas na abordagem proposta

Na abordagem atual os métodos de solução de problemas são utilizados quando se tem uma falha no cliente ou interna para se garantir a solução definitiva desta. Porém, da mesma forma que nas falhas detectadas nas inspeções, auditorias e CEP, não há uma forma de priorização, e a decisão de quais as falhas são prioritárias na aplicação de uma metodologia de solução de problemas cabe aos responsáveis pelo processo. O fato das metodologias de solução de problemas não terem nenhuma relação com potenciais de riscos em relação ao cliente faz com que

os recursos sejam muitas vezes utilizados de maneira ineficaz, solucionando-se problemas que não teriam impacto nas expectativas do cliente e deixando de priorizar outros que tem alto impacto.

Na proposição aqui apresentada os métodos de solução de problemas deixam de ser independentes e passam a ser um conjunto de técnicas que devem ser utilizadas de forma lógica visando solução de um problema específico. Cada falha é assim associada a um modo de falha ou causa verificando-se qual o risco potencial associado e, com base neste, decide-se ou não pela aplicação de uma metodologia de solução de problemas.

Com esta integração todos os passos do método de solução de problemas são assim registrados no próprio FMEA associados a uma ou mais causas. Assim as ações geradas para a solução do problema são classificadas como medidas na severidade, medidas na ocorrência ou medidas de detecção, e ficarão diretamente associadas a um modo de falha ou a uma causa.

Da mesma forma que nas inspeções, auditorias e CEP é possível verificar quais as causas potenciais ligadas ao modo de falha, facilitando a análise da causa da falha. Caso a causa já não tenha sido prevista deve ser incluída e em ambos os casos se deve verificar a atualização da classificação da ocorrência associada a esta.

A integração destes dois métodos faz com que os recursos para metodologias de solução de problemas sejam utilizados de maneira mais eficaz, focada em riscos potenciais, e garante a solução definitiva dos riscos críticos do FMEA. Além disto, faz com que o FMEA seja constantemente atualizado em função das falhas tratadas via metodologia de solução de problemas.

4.6 Comparativo entre a abordagem atual e proposta

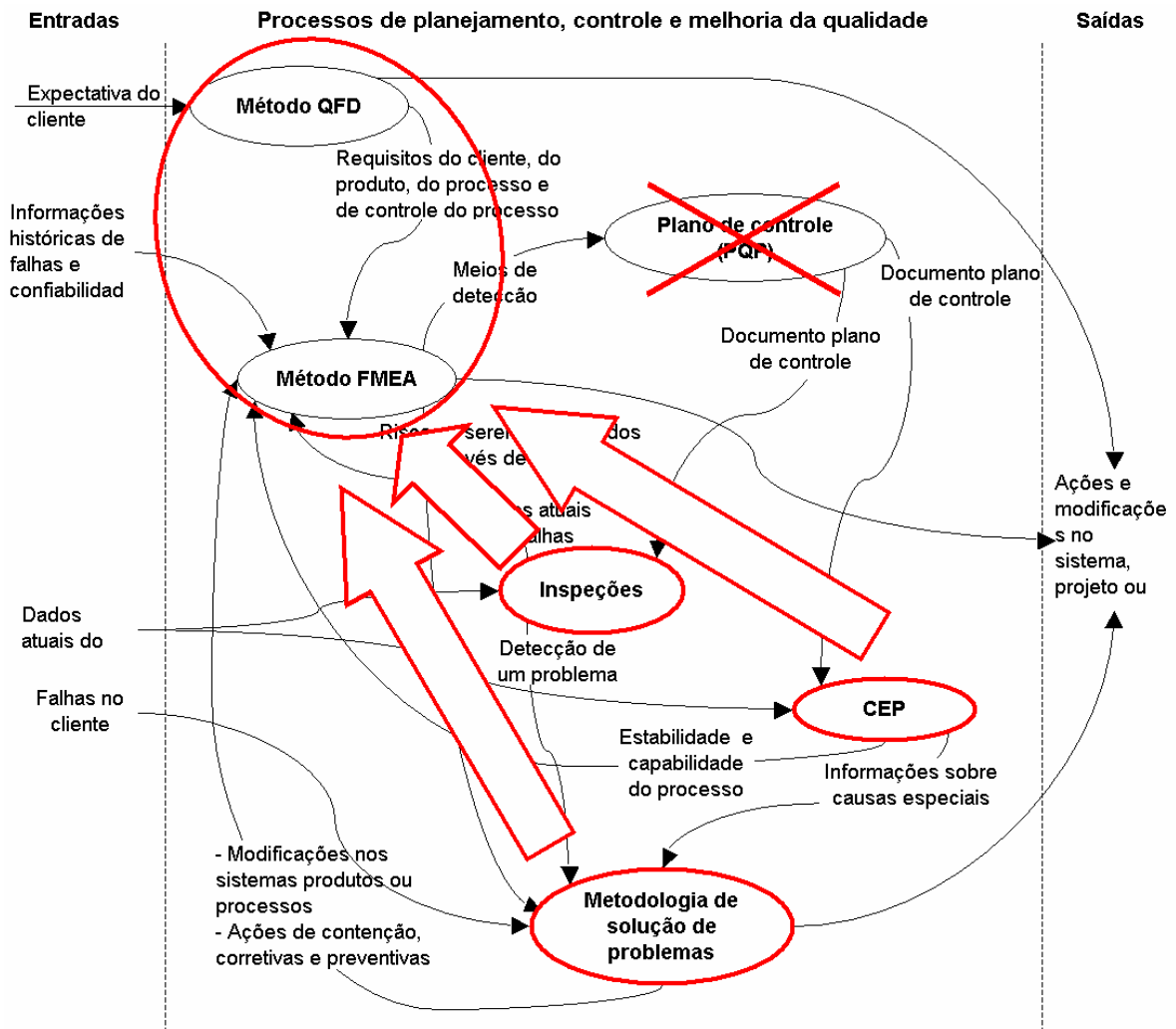
As principais modificações em relação à abordagem tradicional de aplicação dos métodos da qualidade anteriormente representados são:

- a) A unificação do método QFD com o FMEA;
- b) A eliminação da execução do plano de controle;
- c) A integração das inspeções, auditorias e CEP como medidas de detecção diretamente relacionadas a um modo de falha;

- d) A integração das metodologias de solução de problemas ao FMEA como um conjunto de técnicas para garantir a solução definitiva dos riscos reais e potenciais.

Estas modificações estão representadas na Figura 4.10.

FIGURA 4.10: REPRESENTAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES NA ABORDAGEM TRADICIONAL



FONTE: AUTOR

Como citado, a abordagem proposta não é baseada em vários métodos ou métodos independentes e sim em um único processo que utiliza diversas técnicas conforme necessário. Assim a melhor forma de representar esta abordagem não é através de métodos que normalmente são considerados isolados, mas sim, através dos elementos do processo, suas relações causa x efeito e quais as técnicas mais

apropriadas a cada etapa do processo. Os elementos e as técnicas estão representados na Figura 4.11.

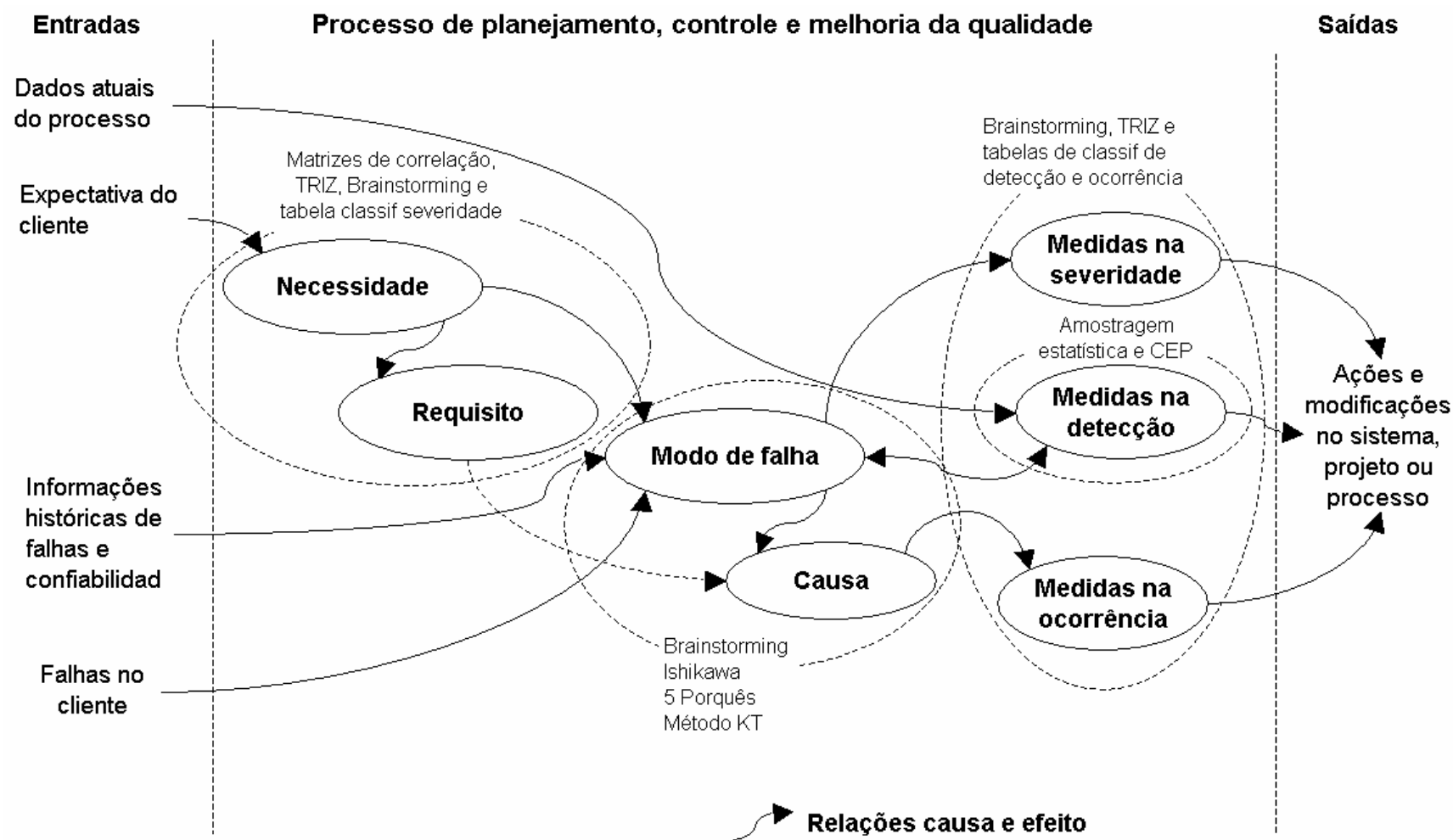
Para transformar a expectativa do cliente em requisitos do sistema, projeto do produto e processo, utiliza-se as matrizes de correlação. Para classificar o peso ou severidade em relação à expectativa do cliente pode ser utilizada uma tabela de severidade. Adicionalmente, podem ser utilizadas técnicas de “Brainstorming” ou outras técnicas para se identificar soluções possíveis que atendam às necessidades do cliente.

Para identificar possíveis modos de falha e suas causas utiliza-se de técnicas como “Brainstorming”, “Ishikawa” e 5 Porquês. Onde o grupo é incentivado a encontrar todos os possíveis modos de falha de uma de um determinado requisito.

Para definir ações na forma de medidas na severidade, na detecção e na ocorrência podem ser utilizadas técnicas de “Brainstorming”. E para classificar as medidas de detecção em relação à sua eficácia em detectar uma falha, pode ser utilizada uma tabela de detecção e da mesma forma, para classificar a ocorrência esperada de uma falha em função de uma medida na ocorrência pode ser utilizada uma tabela de ocorrências.

Para aumentar a eficácia nas medidas de detecção em relação à avaliar a estabilidade, capacidade e a presença de causa especiais no processo pode ser utilizado o controle estatístico do processo CEP.

FIGURA 4.11: REPRESENTAÇÃO DAS TÉCNICAS DA QUALIDADE NA ABORDAGEM PROPOSTA

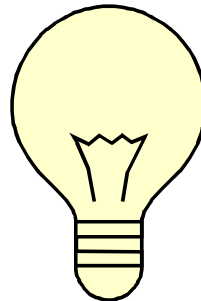


FONTE: AUTOR

5 EXEMPLO FICTÍCIO DE APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA

Os resultados esperados com a aplicação da abordagem integrativa com base no FMEA proposta serão apresentados nas etapas de Planejamento e Controle da Qualidade de um produto e de um processo fictício objetivando ilustrar de forma didática o funcionamento e características da abordagem integrativa aqui proposta. O produto a ser utilizado como exemplo é uma lâmpada incandescente. O produto e o processo foram simplificados de forma a tornar o exemplo mais didático. O produto está representado na Figura 5.1.

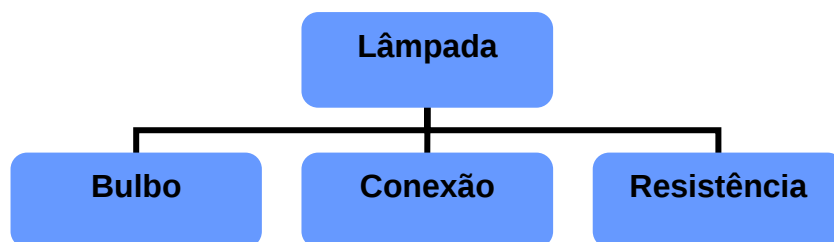
FIGURA 5.1: LÂMPADA INCANDESCENTE



FONTE: AUTOR

A estrutura de componentes da lâmpada está representada na Figura 5.2.

FIGURA 5.2: ESTRUTURA DE COMPONENTES



FONTE: AUTOR

5.1 Planejamento da Qualidade

O primeiro passo para o desenvolvimento do produto é o levantamento das expectativas do cliente e classifica-las conforme sua importância para o cliente. Para isto foi utilizada uma tabela de severidade para definir o peso de cada uma das expectativas. A tabela utilizada é uma simplificação da apresentada pelo manual FMEA da QS 9000 (CHRYLER; FORD, 1995) e é apresentada na Tabela 5.1. No método QFD tradicional utiliza-se uma tabela diferenciada, porém visando a integração com o FMEA é necessária a utilização da tabela de severidade.

TABELA 5.1: TABELA DE SEVERIDADE

Importância da necessidade	Critério	Severidade
Muito alta	Necessidade em relação a segurança do usuário	10
Alta	Necessidade relacionada as funções primárias do produto ou serviço	8
Moderada	Necessidade relacionada a funções secundárias porém, relevantes ao cliente	6
Baixa	Necessidade relacionada a funções secundárias porém, pouco relevantes ao cliente	4
Muita baixa	Necessidade relacionada a funções secundárias porém, irrelevantes ao cliente	1

FONTE: AUTOR

A seguir deve-se levantar quais os requisitos são necessários ao sistema para atender cada uma das expectativas do cliente em relação à lâmpada incandescente. Com os requisitos definidos correlaciona-se os mesmos com as necessidades dando pesos conforme a intensidade da correlação entre cada requisito e expectativa.

Para a definição das correlações foi utilizada a tabela da Tabela 5.2.

TABELA 5.2: TABELA DE CORRELAÇÕES

Correlação	Critério	Índice
Muito forte	A necessidade é diretamente impactada pelo requisito e o não atendimento deste impacta em total não atendimento da necessidade	5
Forte	A necessidade é diretamente impactada pelo requisito e o não atendimento deste impacta em parcial não atendimento da necessidade	3
Média	A necessidade é impactada pelo requisito, porém não atendimento deste tem impacto pouco relevante no atendimento da necessidade	2
Fraca	A necessidade é fracamente impactada pelo requisito e o não atendimento deste não tem impacto relevante no atendimento da necessidade	1
Nenhuma	A necessidade não é impactada pelo requisito, o não atendimento deste não tem impacto no atendimento da necessidade	0

FONTE: AUTOR

A matriz resultante da tradução das expectativas do cliente em requisitos do sistema e correlação dos mesmos está apresentada na Figura 5.3.

FIGURA 5.3: MATRIZ DE CORRELAÇÃO EXPECTATIVA DO CLIENTE X REQUISITOS DO SISTEMA

Lâmpada tipo incandescente Etapa Expectativa do cliente x características do sistema		Requisitos					
		Pesos	Filamento adequado com material especial	Gás com nova mistura	Bulbo resistente	Luminosidade adequada	Projeto que evite riscos
Necessidades	Iluminar ambiente	8	5	5	0	5	0
	Baixo custo	8	3	2	3	3	3
	Baixo consumo de energia	6	5	2	0	3	0
	Iluminação agradável	7	2	3	0	5	0
	Sempre a mesma iluminação	5	3	3	0	0	0
	Durar bastante	6	5	0	0	0	0
	Não estourar	10	0	0	3	0	3
	Não dar choque	10	0	0	2	0	5
	Importância		153	104	74	117	104
	Importância %		28%	19%	13%	21%	19%
	Importância relativa		10	7	5	8	7

FONTE: AUTOR

A importância de cada um dos requisitos é calculada através da soma do produto dos pesos das necessidades relacionados e este requisito com o peso dado a intensidade desta correlação.

Exemplo: A importância do bulbo resistente é igual a:

(peso da expectativa Baixo custo (8) x peso da correlação entre eles (3) + peso da expectativa de Não estourar (10) x peso da correlação entre eles (3) + peso da expectativa de Não dar choque (10) x peso da correlação entre eles (2)) = $8 \times 3 + 10 \times 3 + 10 \times 2 = 74$.

A importância % é calculada pela divisão da importância de um requisito pela soma de todos eles.

A importância relativa é calculada através de uma regra de três, onde o maior valor de importância é associado ao maior peso e os demais são calculados em função desta relação.

Exemplo: Para a importância 104 a importância relativa é $(104 \cdot 10) / 153$, ou seja, 7.

A importância relativa faz com que os pesos dos requisitos fiquem com a mesma escala dos pesos das necessidades. Deve-se somente observar que a tabela de severidades não é mais válida para a importância relativa dos requisitos, somente é válida para pontuar o peso das expectativas.

O próximo passo é reduzir os riscos do sistema falhar em atender as expectativas do cliente, para isto avalia-se os possíveis modos de falha de cada uma das expectativas utiliza-se o FMEA. É importante frisar que a grande maioria das organizações não executa o FMEA no nível de conceito do sistema, somente no nível de projeto e processo, pois estes FMEAs são exigências das principais normas da qualidade. Para a classificação da ocorrência e detecção foram utilizadas as tabelas do manual FMEA da norma QS 9000 (CHRYLER; FORD, 1995) com pequenos ajustes que permitam que estas sejam válidas para todas as etapas do desenvolvimento do produto. As tabelas são apresentadas nas Tabelas 5.3 e 5.4.

TABELA 5.3: TABELA DE OCORRÊNCIA

Probabilidade de ocorrência	Critério	Ocorrência
Muito alta: Ocorrência quase inevitável	>1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Ocorrências frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Ocorrências ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2.000	4
Baixa: Poucas ocorrências	1 em 15.000	3
	1 em 150.000	2
Remota: Falha é improvável	< 1 em 1.500.000	1

FONTE: AUTOR

TABELA 5.4: TABELA DE DETECÇÃO

Probabilidade de detecção	Critério	Deteção
Quase impossível	Não conhecido controle disponível para detectar o modo de falha	10
Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha	9
Remota	Probabilidade remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha	6
Moderada	Probabilidade moderada de que o controle atual irá detectar o modo de falha	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	4
Alta	Probabilidade alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	2
Quase certamente	Controle atual quase certamente irá detectar o modo de falha	1

FONTE: AUTOR

Na Tabela 5.5 é apresentada a abordagem tradicional para o FMEA.

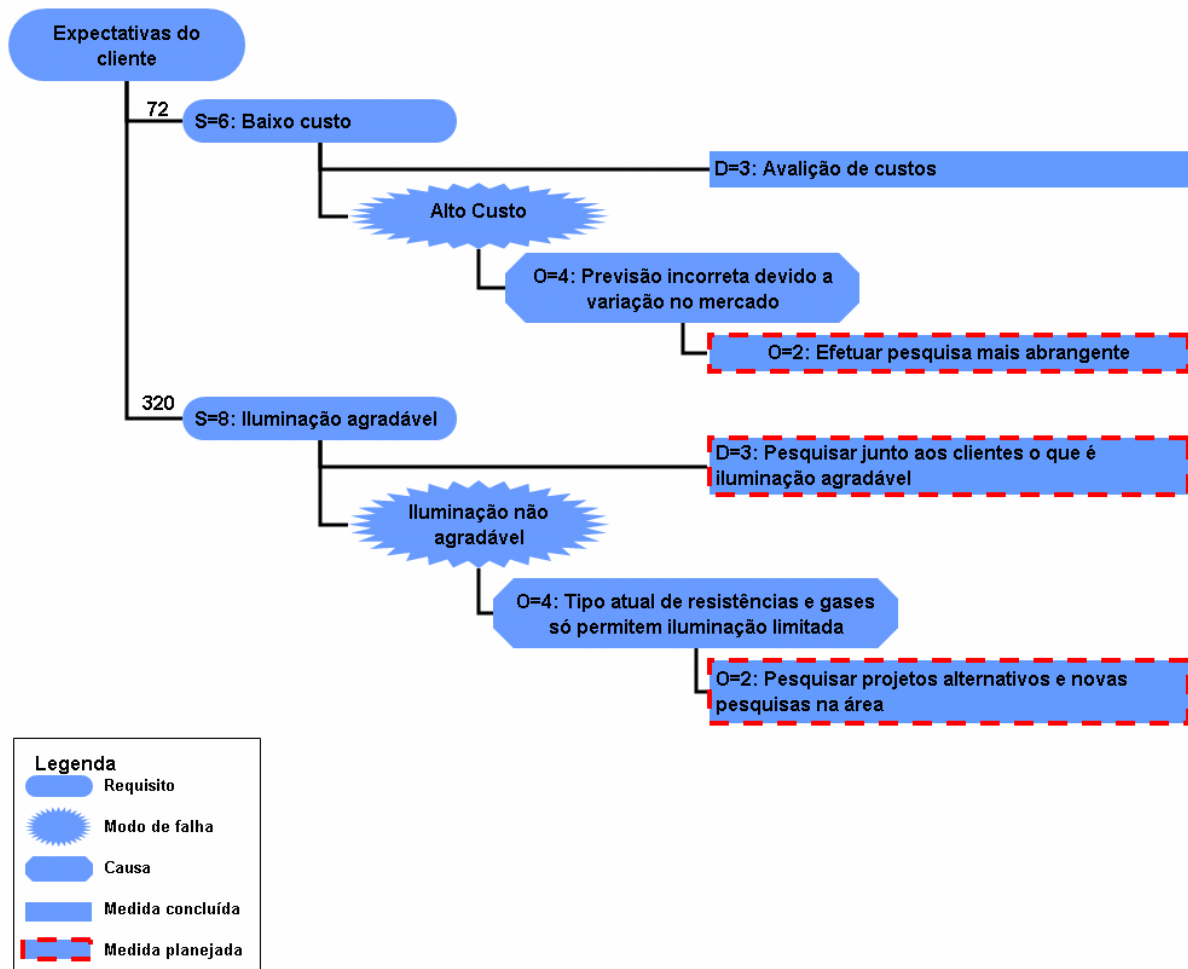
TABELA 5.5: ABORDAGEM TRADICIONAL PARA O FMEA

Função	Modo de Falha	Efeito	Severid	Causa	Ocorr	Controle atuais	Detec	NPR	Ações recomendadas	Resultados das ações				
										Ações tomadas	Severid	Ocorr	Detec	NPR
Baixo custo	Alto custo	Prejudica vendas devida a queda na satisfação do cliente	6	Previsão incorreta devido a variação no mercado	4	Avaliação de custos	3	72	Efetuar pesquisa mais abrangente					
Iluminação agradável	Iluminação não agradável	Prejudica vendas devida a queda na satisfação do cliente	8	Tipo atual de resistências e gases só permitem iluminação limitada	4	Nenhum	10	320	Pesquisar projetos alternativos e novas pesquisas na área					
									Pesquisar junto aos clientes o que é iluminação agradável					

FONTE: AUTOR

Utilizando-se do conceito da abordagem proposta foram avaliados os risco do não atendimento as expectativas do cliente. A avaliação pode ser vista na Figura 5.4.

FIGURA 5.4: ABORDAGEM PROPOSTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS



FONTE: AUTOR

O conceito tradicional apresenta algumas particularidades que dificultam a sua utilização, uma delas é o fato das medidas estarem todas relacionadas à causas específicas, tanto as medidas na ocorrência quanto as medidas na severidade e as medidas de detecção. Desta forma, elas devem ser repetidas para cada uma das causas relacionadas a aquele modo de falha, gerando trabalho adicional e dificultando a atualização do FMEA. No conceito proposto as medidas de detecção e na severidade estão ligadas diretamente ao modo de falha, evitando o problema citado.

O conceito atual de FMEA gera uma grande confusão em relação às informações dos controles atuais, ações recomendadas e ações tomadas, pois quando se tem um FMEA como ferramenta viva, as ações tomadas tornam-se controles atuais. Além disto, não se identifica se os controles atuais atuam em relação à severidade, detecção ou ocorrência da falha. No conceito proposto os

controles atuais são registrados na forma de ações implementadas identificadas como medidas na severidade, ocorrência ou detecção.

Na abordagem proposta para cada medida já está associado à futura classificação da severidade, ocorrência ou detecção prevista para após a implementação da ação, o que não é possível visualizar no conceito atual, pois não há uma previsão da classificação futura. Caso não haja medidas de detecção entende-se que não há detecção e a classificação é considerada 10. A ocorrência da causa é classificada conforme a probabilidade de ocorrência da mesma e redefinida sempre que há uma medida na ocorrência implementada.

Em relação ao efeito da falha entende-se que na abordagem proposta não seja necessário incluí-lo, pois se pode verificar os efeitos através das correlações entre os requisitos e necessidades das matrizes de correlação e, através da árvore de falha que será apresentada mais a frente neste exemplo. Todavia o efeito poderia ser registrado junto ao modo de falha.

Dando seqüência ao desdobramento dos requisitos se utiliza uma matriz de correlação para transformar os requisitos do sistema em requisitos do projeto, vide Figura 5.5, porém os pesos não são mais atribuídos aos requisitos conforme a tabela de severidade e sim são utilizados os valores de importância relativa resultantes da primeira matriz.

FIGURA 5.5: MATRIZ DE CORRELAÇÃO REQUISITOS DO SISTEMA X REQUISITOS DO PROJETO

Lâmpada tipo incandescente		Requisitos							
Etapa Características do sistema x Características do projeto		Pesos	Composição da liga do filamento	Diâmetro do filamento	Comprimento do filamento	% Neon no gás	Tenacidade do bulbo	Diâmetro na base do bulbo	Resistência a fadiga na junção conexão/bulbo
Necessidades	Filamento adequado com material especial	10	3	5	3	0	0	0	0
	Gás com nova mistura	7	0	0	0	3	0	0	0
	Bulbo resistente	5	0	0	0	0	5	0	0
	Luminosidade adequada	8	2	3	3	3	0	1	0
	Projeto que evite riscos	7	0	0	0	0	3	0	5
Importância		46	74	54	45	46	8	35	
Importância %		15%	24%	18%	15%	15%	3%	11%	
Importância relativa		6	10	7	6	6	1	5	

FONTE: AUTOR

Nesta etapa, visando reduzir os riscos do projeto falhar em atender aos requisitos do sistema avalia-se os possíveis modos de falha de cada um dos requisitos do sistema, para isto utiliza-se o FMEA.

Na abordagem tradicional é executado um FMEA de Projeto com este propósito; já na proposta é executada a mesma avaliação de riscos, porém agora em relação a falhas no atendimento dos requisitos do sistema e não mais em relação às expectativas do cliente. Como a avaliação é exatamente a mesma, as diferenças e os resultados esperados com o conceito atual e proposto são os mesmos já citados. Todavia cabe destacar que a severidade utilizada para a avaliação de riscos é a importância relativa de cada requisito conforme a matriz de correlações anterior. As diferenças em relação à classificação da severidade serão detalhadas na etapa seguinte, assim esta etapa não será aqui representada.

Para transformar os requisitos do projeto em requisitos do processo utiliza-se novamente a matriz de correlação. Foram utilizados como exemplos os processo de sopragem do bulbo e de trefilação da resistência. As matrizes resultantes são apresentadas nas Figuras 5.6 e 5.7.

FIGURA 5.6: MATRIZ DE CORRELAÇÃO REQUISITOS DO PROJETO X REQUISITOS DO PROCESSO

Lâmpada tipo incandescente		Requisitos							
Etapa Características do projeto x características do processo		Pesos	Temperatura	Pressão	Tempo	Volume de vidro	Composição do vidro		
Processo: Sopragem do bulbo									
Necessidades	Composição da liga do filamento	6	0	0	0	0	0		
	Diâmetro do filamento	10	0	0	0	0	0		
	Comprimento do filamento	7	0	0	0	0	0		
	% Neon no gás	6	0	0	0	0	0		
	Tenacidade do bulbo	6	5	3	2	3	3		
	Diâmetro na base do bulbo	1	3	5	5	3	1		
	Resistência a fadiga na junção conexão/bulbo	5	0	0	0	0	0		
Importância		33	23	17	21	19	0	0	
Importância %		29%	20%	15%	19%	17%	0%	0%	
Importância relativa		10	7	5	6	6	0	0	

FONTE: AUTOR

FIGURA 5.7: MATRIZ DE CORRELAÇÃO REQUISITOS DO PROJETO X REQUISITOS DO PROCESSO

Lâmpada tipo incandescente		Requisitos							
Etapa Características do projeto x características do processo		Pesos	Pressão de trefilação	Temperatura de trefilação	Diâmetro da matriz	Ângulo de trefilação			
Processo: Trefilação da resistência									
Necessidades	Composição da liga do filamento	6	0	0	0	0			
	Diâmetro do filamento	10	3	2	5	0			
	Comprimento do filamento	7	1	3	0	3			
	% Neon no gás	6	0	0	0	0			
	Tenacidade do bulbo	6	0	0	0	0			
	Diâmetro na base do bulbo	1	0	0	0	0			
	Resistência a fadiga na junção conexão/bulbo	5	0	0	0	0			
Importância		37	41	50	21	0	0	0	
Importância %		33%	36%	44%	19%	0%	0%	0%	
Importância relativa		11	12	15	6	0	0	0	

FONTE: AUTOR

Nesta etapa, para garantir que os requisitos sejam atendidos, deve-se novamente avaliar qual o risco do requisito do processo falhar em atender os requisitos do projeto. Na abordagem atual é executado um FMEA de Processo com este propósito, na abordagem proposta é executada a mesma avaliação de riscos porém agora em relação a falhas no atendimento dos requisitos do projeto. A avaliação é exatamente a mesma, contudo, ela será descrita para comparar o processo de Controle da Qualidade entre a abordagem atual e o proposta. O FMEA de processo no atual conceito está representada na Figura 5.8.

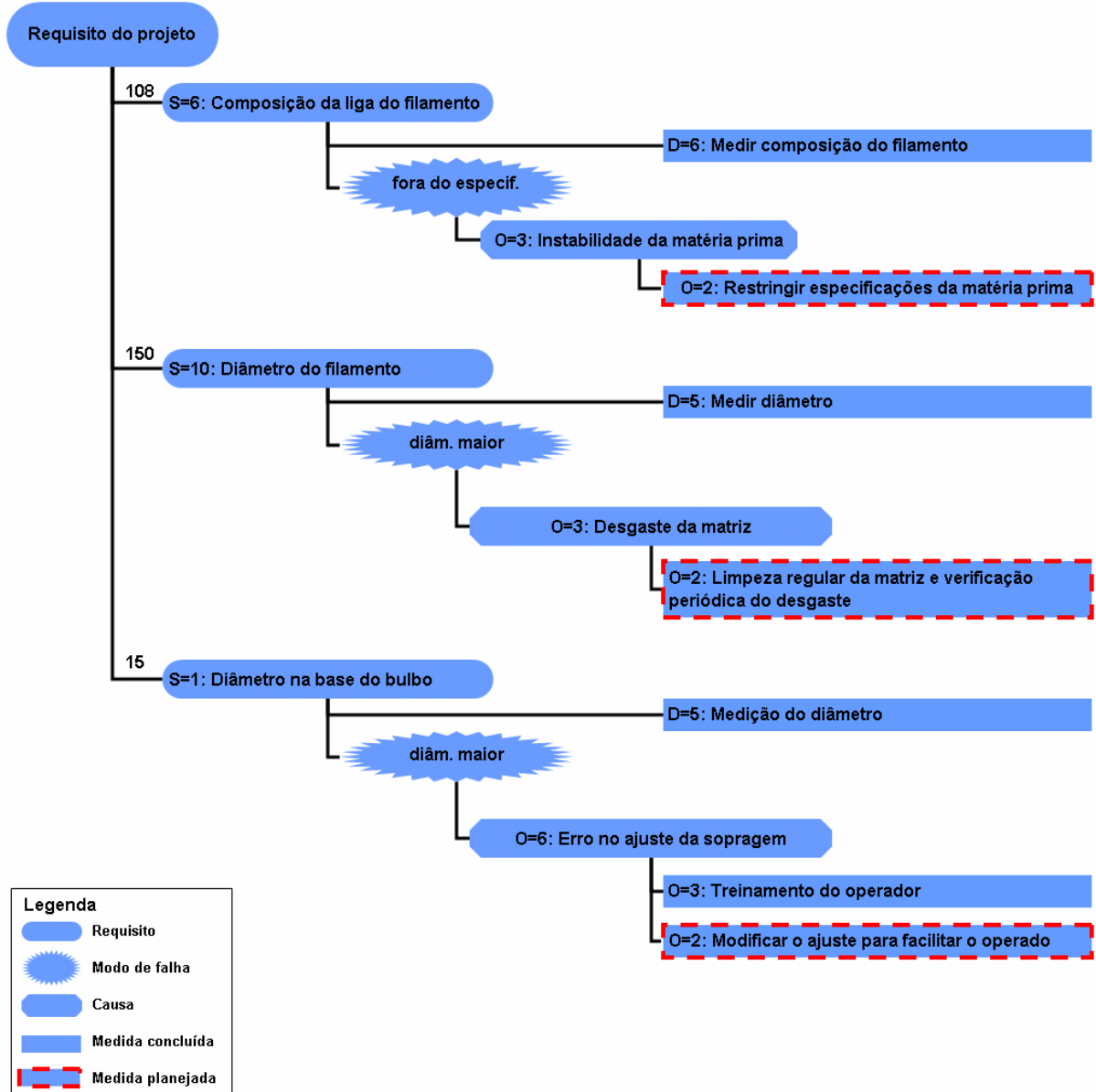
FIGURA 5.8: FMEA DE PROCESSO NA ABORDAGEM TRADICIONAL

Etapa do processo	Função / Característica	Modo de Falha	Efeito	Severid	Causa	Ocorr	Controle atuais	Detec	NPR	Ações recomendadas	Resultados das ações				
											Ações tomadas	Severid	Ocorr	Detec	NPR
Trefilação da resistência	Composição da liga do filamento	Composição fora do espec	Tem impacto na luminosidade, durabilidade e no consumo de energia	8	Instabilidade da matéria prima	3	Medição da composição do filamento	6	144	Restringir especificações da matéria prima					
	Diâmetro do filamento	Diâmetro do filamento maior	Tem impacto na luminosidade, durabilidade e no consumo de energia	8	Desgaste da matriz	3	Medir diâmetro diariamente	5	120	Limpeza regular da matriz e verificação periódica do desgaste					
Sopragem do bulbo	Diâmetro na base do bulbo	Diâmetro maior	Prejudica a iluminação, mas não é perceptível ao cliente	1	Erro no ajuste da sopragem	6	Medição 100% do diâmetro	5	30		Treinamento do operador	1	3	5	15
										Modificar o ajuste para facilitar o operador					

FONTE: AUTOR

A avaliação conforme a abordagem proposta está representada na Figura 5.9.

FIGURA 5.9: AVALIAÇÃO DE RISCOS NO PROCESSO CONFORME ABORDAGEM PROPOSTA



FONTE: AUTOR

Entre as abordagens atuais e proposta nota-se uma diferença em relação às severidades, isto ocorre devido ao fato de na atual ser utilizada diretamente a tabela de severidade para classificar o efeito. Assim como o efeito das causas composição da liga do filamento e diâmetro do filamento é o mesmo, conseqüentemente a classificação da severidade é a mesma. Já na abordagem proposta, como citado, a tabela de severidade é utilizada somente para classificar o efeito ao não

atendimento das expectativas do cliente na fase de conceito e, posteriormente as importâncias relativas resultantes para os requisitos nas matrizes de correlação são levadas para a próxima fase e utilizadas como severidade para a avaliação dos modos de falha. Com esta abordagem a severidade passa a ser consequência das correlações dos requisitos com as necessidades e se torna um reflexo mais fiel das expectativas dos clientes.

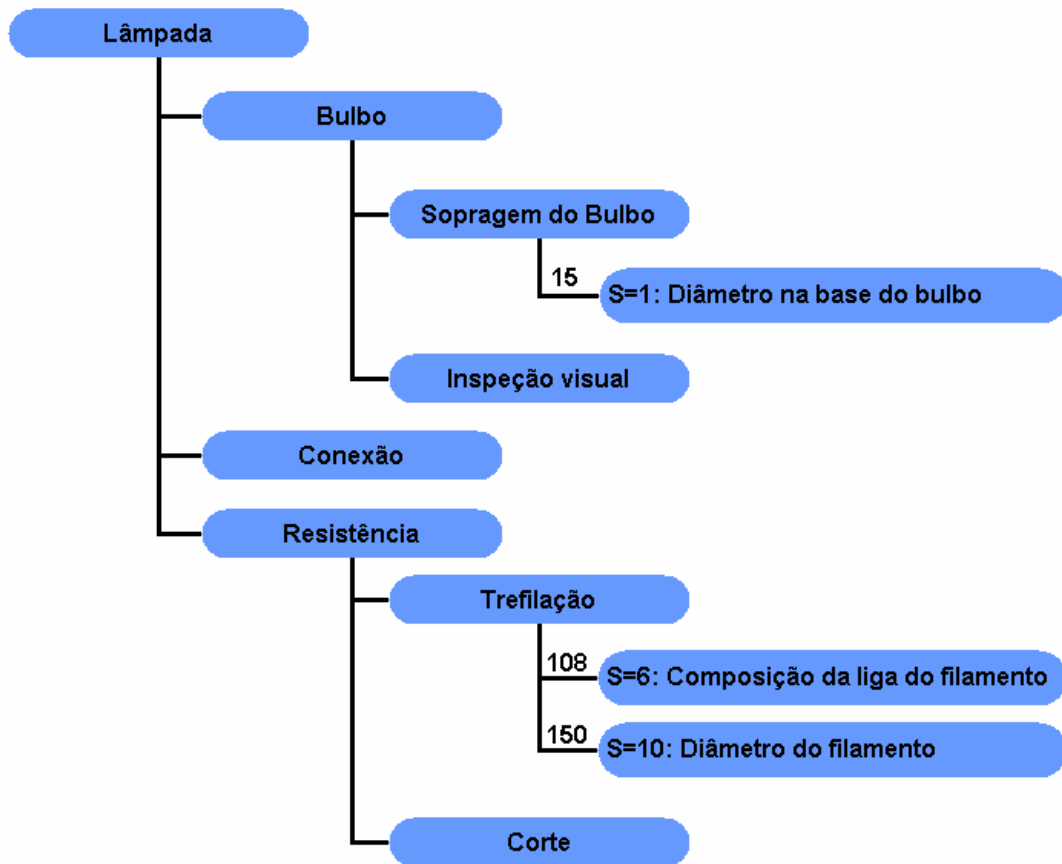
No exemplo, mesmo o efeito citado sendo o idêntico, a intensidade com que este impacta nas expectativas do cliente é diferente para cada um dos casos. Conforme se observa na matriz de correlação dos requisitos do projeto com os requisitos do sistema ambos os modos de falha têm impacto nos mesmos requisitos do sistema. Todavia com correlações diferentes, como exemplo o diâmetro tem uma correlação com o requisito de filamento adequado e de material especial muito forte, mas já a composição tem uma correlação somente forte. Esta diferença torna a avaliação da severidade mais precisa e sensível à intensidade dos efeitos, o que não ocorre quando se utiliza a abordagem atual.

No exemplo apresentado esta mudança de abordagem tem um impacto muito significativo, pois na abordagem atual a composição fora do especificado é considerada o modo de falha mais significativo, com severidade 8 e (número potencial de risco (*Risk Potential Number*, RPN) 144, e o modo de falha de diâmetro do filamento maior fica em segundo com severidade 8 e RPN 120. Quando se utiliza a severidade proposta na nova abordagem a situação inverte-se, ou seja, a composição fica com severidade 6 e RPN 108 e o diâmetro com severidade 10 e RPN 150.

Assim, neste exemplo, com a abordagem tradicional, os recursos seriam priorizados para a melhoria na composição do filamento, mas sabe-se que o impacto da falha na composição é menor que o impacto do diâmetro. Neste exemplo ocorreu assim uma melhor priorização e utilização dos recursos na abordagem proposta.

No FMEA de Processo tradicional a etapa do processo que está sendo analisada é identificada no formulário, na abordagem proposta esta identificação é feita através da correlação das etapas do processo aos subconjuntos e aos requisitos do projeto. Com isto podemos assim identificar para cada processo quais os requisitos do projeto relacionados. Esta ligação está representada na Figura 5.10.

FIGURA 5.10: RELAÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO COM ETAPAS DO PROCESSO



FONTE: AUTOR

Com esta ligação se tem o fluxograma do processo, ou seja, cada uma das etapas de fabricação por conjunto ou subconjunto. Assim, com a abordagem integrativa proposta não é necessária a execução de um fluxograma do processo como um documento separado no Sistema da Qualidade, o fluxograma do processo passa a ser somente uma forma de visualização.

O próximo passo para finalizar o Planejamento da Qualidade e iniciar o Controle da Qualidade é a execução do Plano de Controle definindo os controles necessários ao processo. Como comentado anteriormente, a grande maioria das informações do plano de controle já está presente no FMEA. Assim, na abordagem proposta, estas informações estão todas registradas através de medidas de detecção.

Na proposição apresentada no momento da criação de uma medida de detecção, nesta já são registradas todas as informações necessárias ao controle do processo, eliminando com isto a necessidade de um documento separado para o

plano de controle, pois este se torna somente uma visualização das informações já cadastradas.

Como as informações presentes no plano de controle são as mesmas na abordagem atual e na proposta, somente será representado o plano de controle na proposta, o qual pode ser visto na Tabela 5.6.

TABELA 5.6: PLANO DE CONTROLE

Conjunto	Subconjunto	Processo	Requisito do projeto	Medidas na detecção	Meio de detecção	Método	Frequência	Tam. amostra	Plano de reação
Lâmpada	Resistência	Trefilação da resistência	Composição da liga do filamento	Medir composição do filamento	Espectrômetro	conf instrução 0058	2 x semana	3	comunicar engenheiro responsável
			Diâmetro do filamento	Medir diâmetro	Paquímetro laser	CEP e conf instrução 0065	diário	3	segregar e selecionar o lote
			Comprimento do filamento	Medição do comprimento	Paquímetro	CEP e conf instrução 0034	30 peças	1	segregar e selecionar o lote
	Bulbo	Sopragem do bulbo	% Néon no gás	Medição do %	Instrum p/ medir % gases	conf instrução 0011	3 x dia	1 litro	segregar o lote e comunicar manutenção
			Tenacidade do bulbo	Medição de tenacidade	Instrum para medir tenacidade	conf instrução 0023	100pçs	1	comunicar engenheiro responsável
			Diâmetro na base do bulbo	Medição do diâmetro	Paquímetro	conf instrução 0039	100%	1	ajustar máquina
	Conexão		Resistência a fadiga na junção conexão/bulbo	Teste de resistência a fadiga	Máq fadiga XW	conf instrução 0033	1 x semana	3	comunicar engenheiro responsável

FONTE: AUTOR

Outro método bastante utilizado na qualidade é a árvore de falhas. A árvore de falhas é formada através das relações causa x efeito das falhas, ou seja, desde a falha em um requisito específico do processo ou projeto até o seu impacto no cliente final. Na abordagem tradicional, como não se tem o FMEA integrado ao QFD, a árvore de falhas é um estudo separado onde para todos os modos de falha levantados se deve avaliar os impactos e descrevê-los na forma de árvore.

Na abordagem proposta a árvore de falhas é uma consequência natural das associações dos modos de falha aos requisitos e da correlação dos requisitos entre si. Com isto, é gerada também uma correlação entre os modos de falha formando a árvore de falhas.

Adicionalmente, devido aos pesos das correlações entre os requisitos é possível também mensurar qual a intensidade da relação causa x efeito entre os modos de falha. Esta propriedade não é conseguida no caso da utilização isolada da árvore de falha ou do QFD. Somente integrando estes dois processos surge esta

propriedade. A árvore de falha na abordagem proposta do exemplo em questão está representada na Tabela 5.7.

TABELA 5.7: ÁRVORE DE FALHAS

Falha na expectativa do cliente	Corr	Falha em requisito do sistema	Corr	Falha em requisito do projeto
Alto consumo	3	Iluminação inadequada	1	Diâmetro maior
				Diâmetro menor
Alto custo	3	Bulbo não resistente	5	Baixa tenacidade
		Iluminação inadequada	1	Diâmetro maior
				Diâmetro menor
		Projeto sujeito a riscos	3	Baixa tenacidade
Iluminação não agradável	5	Iluminação inadequada	1	Diâmetro maior
				Diâmetro menor
Lâmpada dá choque	2	Bulbo não resistente	5	Baixa tenacidade
	5	Projeto sujeito a riscos	3	Baixa tenacidade
Lâmpada estoura	3	Bulbo não resistente	5	Baixa tenacidade
		Projeto sujeito a riscos	3	Baixa tenacidade

FONTE: AUTOR

Além da árvore de falhas tradicional é possível, na abordagem proposta, obter uma árvore de falhas invertida, mostrando quais as conseqüências de cada falha. Esta é mostrada na Tabela 5.8.

TABELA 5.8: ÁRVORE DE FALHAS INVERTIDA

Falha em requisito do projeto	Corr	Falha em requisito do sistema	Corr	Falha na expectativa do cliente
Baixa tenacidade	3	Projeto sujeito a riscos	3	Alto custo
				Lâmpada estoura
			5	Lâmpada dá choque
	5	Bulbo não resistente	2	Lâmpada dá choque
			3	Alto custo
Diâmetro maior	1	Iluminação inadequada	3	Lâmpada estoura
				Alto consumo
			5	Alto custo
Diâmetro menor	1	Iluminação inadequada	3	Iluminação não agradável
				Alto consumo
			5	Alto custo

FONTE: AUTOR

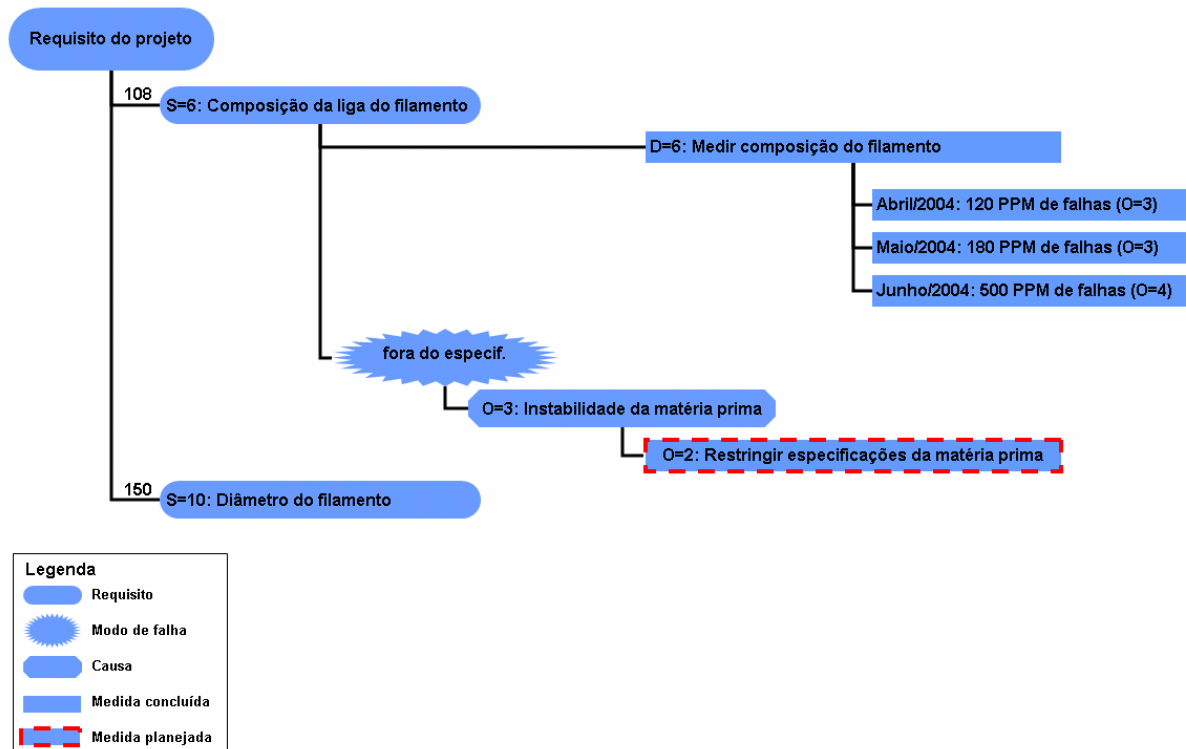
Após a finalização do Planejamento da Qualidade para o exemplo em questão será apresentado o Controle da Qualidade dando enfoque na execução de Inspeções, auditorias e CEP e em métodos de solução de problemas.

5.2 Controle da Qualidade

Na abordagem tradicional de Gestão da Qualidade as inspeções, auditoria e CEP são atividades praticamente isoladas. Sua correlação com o FMEA acontece somente no momento da execução deste, neste momento as inspeções, auditorias e CEP são descritas. Não há necessidade da descrição em detalhes deste processo neste exemplo.

Na abordagem proposta os dados obtidos de inspeções, auditorias CEP são ligados diretamente às medidas de detecção. Esta ligação é representada na Figura 5.11.

FIGURA 5.11: LIGAÇÃO DOS DADOS DE INSPEÇÕES, AUDITORIAS E CEP NA ABORDAGEM PROPOSTA



FONTE: AUTOR

Com a associação dos resultados de inspeções, auditorias e CEP diretamente às medidas de detecção e estas estando associadas a um modo de

falha é possível avaliar se os resultados obtidos nas inspeções correspondem à ocorrência prevista para as causas relacionadas ao modo de falha. No exemplo da Figura 5.11 pode-se observar que no mês de junho houve um aumento do índice de falhas que não corresponde ao esperado em relação à causa instabilidade de matéria prima, desta forma o processo deve ser novamente avaliado quanto à presença de novas causas ou quanto ao aumento do risco relacionado à causa em questão. Desta forma a atualização e retro-alimentação do processo de avaliação de riscos é facilitada.

Quando é detectada uma falha e é necessário garantir uma solução definitiva se utiliza os métodos de solução de problemas. Na abordagem tradicional na Gestão da Qualidade este procedimento é um processo independente com interfaces com outros processos do sistema. A Tabela 5.9 apresenta um exemplo simplificado da atual aplicação do um método de solução de problemas 8D ao exemplo utilizado.

TABELA 5.9: APLICAÇÃO TRADICIONAL DA METODOLOGIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS 8D

Metodologia de Solução de Problemas 8D

D0: Constatação

Detectada em uma auditoria de produto em 08.08.2004 falha em relação a luminosidade adequada. 3 Peças em um lote de 10.000 foram consideradas reprovadas.

D1: Definição do Time

Engenheiro de processo, engenheiro de produto, operador e supervisor do processo de trefilação da resistência

D2: Descrição do Problema

Em avaliação nas amostras constatou-se que o diâmetro do filamento da resistência encontrava-se fora do especificado.

D3: Ação de Contenção Imediata

- Testar todas as lâmpadas em estoque quanto a luminosidade e o principal cliente foi informado.
- Medir 100% o diâmetro

D4: Análise da Causa Raiz

Foram levantadas as possíveis causas:

- Temperatura acima do especificado
- Pressão menor que o especificado
- Desgaste na matriz

As causas foram simuladas e cada uma avaliada em relação a probabilidade de ocorrência.

Constatou-se que a causa desgaste na matriz é a mais provável

D5: Ações Corretivas Possíveis

Limpeza regular da matriz e verificação periódica do desgaste

D6: Comprovação da eficácia das ações

Avaliação da capacidade do processo

D7: Ações Preventivas

Revisado FMEA e documentação do posto de trabalho

D8: Análise de Encerramento

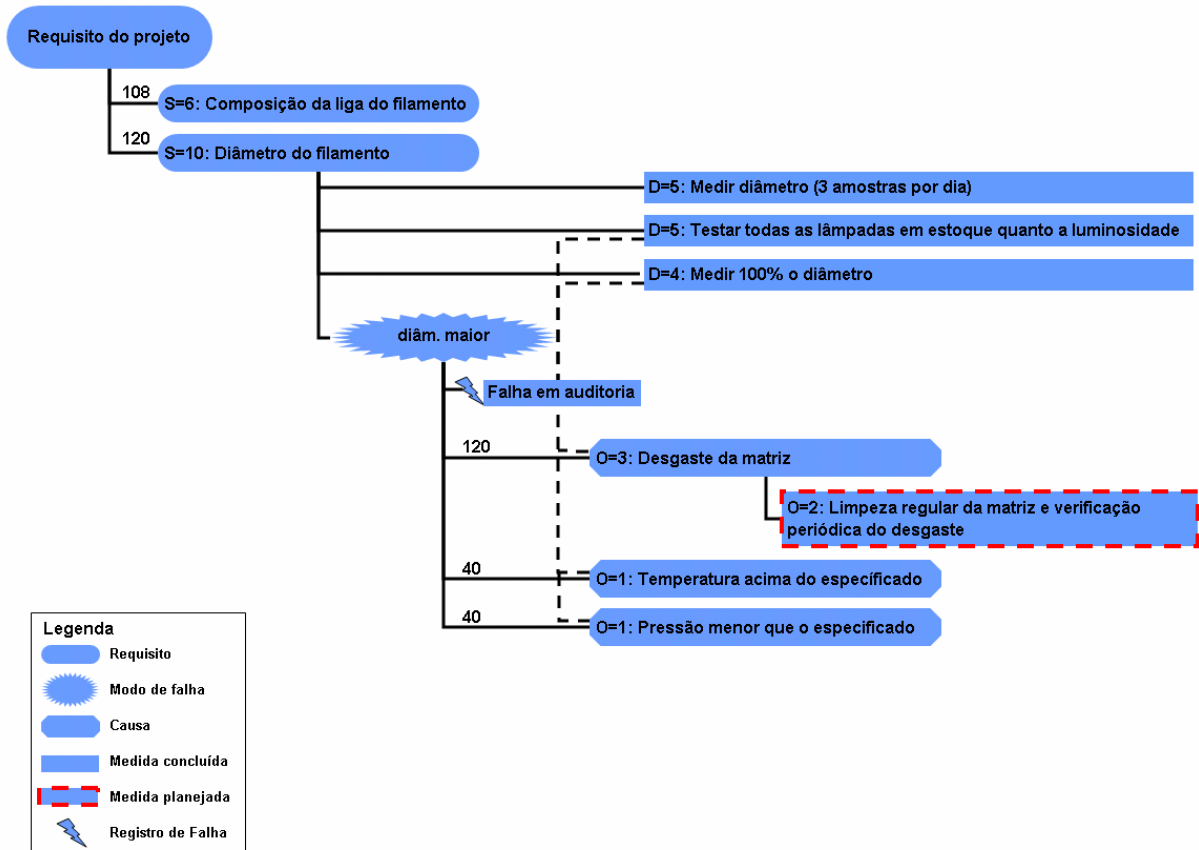
Após avaliação da capacidade constatou-se que o processo estava estável e capaz.

FONTE: AUTOR

A metodologia para a solução de problemas na abordagem proposta é a mesma, porém a diferença principal é que esta está totalmente integrada aos demais métodos, ou seja, as ações planejadas e executadas na metodologia de solução de

problemas são definidas como medidas na severidade, na ocorrência e na detecção e as causas identificadas são registradas como causas potenciais ou comprovadas. A metodologia de solução de problemas na abordagem proposta está representada na Figura 5.12.

FIGURA 5.12: METODOLOGIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA ABORDAGEM PROPOSTA



FONTE: AUTOR

Na abordagem proposta todas as medidas e causas são ligadas diretamente aos requisitos e modos de falha, porém permanecem ligadas indiretamente ao registro de falha para que seja possível visualizar a metodologia de solução de problema. As informações do passo D0, D1 e D2 são registradas no próprio registro de falhas. As informações referentes às causas são registradas junto as suas respectivas causas e as referentes a medidas, como comprovação da eficácia e resultados, são registradas junto à respectiva medida. Desta forma a metodologia de solução de problemas fica totalmente integrada as demais informações do Sistema da Qualidade e automaticamente alimenta todo o sistema em relação à correção e prevenção de falhas.

Diferentemente da abordagem tradicional, na abordagem proposta, para cada medida é definida a sua classificação quanto à ocorrência e detecção, sendo assim possível mensurar o resultado esperado com aquela medida e também alimentar todo o sistema de avaliação de riscos. No exemplo apresentado foram introduzidas duas medidas de detecção, sendo que uma delas aumentou a probabilidade de detecção, reduzindo a classificação da detecção para 4, o que fez que o risco do modo de falha fosse reduzido para 120 enquanto a medida estiver ativa. Desta forma, é possível também avaliar o quanto o risco é reduzido com as medidas de contenção e, quanto será o futuro risco após a introdução das medidas corretivas as quais, atacam a ocorrência da causa.

A classificação da medida conforme a sua ocorrência ou detecção auxilia na verificação da eficácia da mesma. Medidas na ocorrência devem agir na probabilidade de ocorrências de falhas, assim caso a classificação proposta para a medida não corresponda às ocorrências reais no processo após introdução da medida, isto significa que a eficácia da medida não correspondeu à esperada. O mesmo ocorre em relação à eficácia das medidas de detecção, ou seja, caso não estejam sendo detectadas as falhas esperadas conforme a classificação da medida de detecção, significa que a efetividade da medida não correspondeu ao esperado.

Desta forma espera-se que a metodologia de solução de problema seja um método integrado aos demais métodos. Com o exemplo sobre a metodologia de solução de problema finalizamos a etapa do Controle da Qualidade.

5.3 Resumo das estratégias adotadas e resultados esperados

Com base no exemplo apresentado, segue, nas Tabela 5.10 e 5.11, um resumo das principais estratégias e resultados esperados com a abordagem integrativa proposta.

TABELA 5.10: ESTRATÉGIAS ADOTADAS E RESULTADOS ESPERADOS

Método	Abordagem tradicional	Abordagem integrativa proposta	Resultados esperados
QFD e FMEA	Utilização de tabelas diferentes para a avaliação da importância de necessidades	Utilização de tabela de severidade única, adaptada do QFD e FMEA	Simplificação e possibilidade de unificação dos métodos
QFD	Utilização de pesos para cada etapa	Utilização de importância relativa para requisitos, fazendo com que os pesos dos mesmos fiquem com a mesma escala dos pesos das necessidades.	A importância dos requisitos do processo, projeto e sistema é consequência das correlações e dos pesos das expectativas.
FMEA	Medidas de detecção associadas às causas	Medidas de detecção associadas ao requisito e não à causa	Evitar repeti-las para cada causa identificada, o que facilita a execução e atualização do sistema.
FMEA	Sem diferenciação clara entre medidas previstas e introduzidas.	Identificação das medidas previstas e introduzidas, bem como a sua classificação como médias na severidade, na ocorrência ou na detecção.	Facilita a compreensão do processo. Deixa mais clara as relações de causa-efeito das ações, facilitando a avaliação da efetividade das ações.
FMEA	Medidas previstas não são identificadas em relação aos seus impactos na ocorrência, detecção ou severidade.	Medidas previstas são identificadas em relação aos seus impactos na ocorrência, detecção ou severidade.	Permite avaliar a eficácia das medidas em relação ao planejado.
FMEA	Efeito da falha é descrito pelos especialistas do produto.	Efeito da falha claramente identificado através das correlações requisitos x necessidades das matrizes.	A árvore de falhas é uma consequência natural das associações dos modos de falha aos requisitos e da correlação dos requisitos entre si.
FMEA e QFD	Severidade é definida pela descrição do efeito da falha e uso de tabelas de severidade.	Severidade utilizada para as avaliações de risco é a importância relativa gerada das matrizes de correlação, fazendo com que a severidade seja consequência das correlações dos requisitos com as necessidades.	A severidade se torna um reflexo mais fiel das expectativas dos clientes e fica mais sensível a intensidade dos efeitos.

FONTE: AUTOR

TABELA 5.11: ESTRATÉGIAS ADOTADAS E RESULTADOS ESPERADOS - CONTINUAÇÃO

Método	Abordagem tradicional	Abordagem integrativa proposta	Resultados esperados
Fluxograma do processo	Execução do fluxograma do processo como um documento específico no Sistema da Qualidade	Forma de visualização dos elementos do Sistema.	Não execução do processo de fluxograma do processo.
Plano de Controle	Plano de Controle como documento específico do Sistema da Qualidade	Forma de visualização dos elementos do Sistema.	Não execução do processo de Plano de Controle.
Árvore de Falhas	Estudo específico executado em conjunto ou separado ao FMEA	Consequência da ligação dos modos de falhas aos requisitos e destes as necessidades.	Possibilidade de mensurar a intensidade da relação causa x efeito entre os modos de falha na árvore de falha
Inspeções, Auditorias e CEP	Processos específicos e não diretamente relacionados ao FMEA	Ligação direta dos resultados de inspeções, auditorias e CEP nas medidas de detecção.	Facilita a comparação dos resultados obtidos nas inspeções com a ocorrência prevista para as causas relacionadas ao modo de falha, retro-alimentando o processo de avaliação de riscos (FMEA).
Metodologia de Solução de Problema	Metodologia de Solução de Problema como método independente no Sistema de Gestão da Qualidade	Metodologia de solução de problemas totalmente integrada as demais informações do Sistema da Qualidade	Retro-alimentação natural do sistema em relação à correção e prevenção de falhas.
Metodologia de Solução de Problema	Não efetuada avaliação da redução do risco devido a medidas de contenção.	Classificação das medidas de contenção conforme a ocorrência prevista de falhas após a introdução das mesmas.	Facilitar a avaliação da redução do risco ao cliente até a implementação das ações definitivas.
Metodologia de Solução de Problema	Não efetuada classificação da medida conforme a severidade, ocorrência ou detecção do modo de falha esperada após a introdução da medida.	Classificação da medida conforme a severidade, ocorrência ou detecção do modo de falha esperada após a introdução da medida.	Auxilia na verificação da eficácia da mesma.

FONTE: AUTOR

6 CONCLUSÕES

Visando atender aos objetivos propostos nesta dissertação de mestrado, a seguir serão apresentadas as conclusões referentes a cada um deles:

- a) Descrever, utilizando a abordagem de processos, os métodos da gestão da qualidade destacados nesta pesquisa;

Os processos relevantes para esta dissertação foram descritos e concluiu-se que cada processo é normalmente tratado de forma individual, sem valorizar suas inter-relações com outros processos. Observou-se ainda que existem diversas propostas e aplicações alternativas para alguns destes métodos.

Mais especificamente em relação ao FMEA foram analisadas as causas do mau uso do método e suas limitação. Observou-se que o FMEA tem limitação e alguns erros em relação a cálculo do risco potencial, porém conclui-se que a não utilização efetiva do FMEA nas organizações não esta relacionada a estas limitações, e sim a falta de integração deste método com outros do Sistema de Gestão da Qualidade, tornando o FMEA um documento estático.

- b) Identificar e detalhar os principais problemas na integração atual dos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade destacados nesta pesquisa;

Através da avaliação dos métodos utilizando-se uma abordagem de processos, de suas aplicações e através do estudo das inter-relações possíveis foi possível concluir que as principais causas da falta de inter-relação entre os processos são: o fato de cada um deles visar o atendimento de objetivos e requisitos específicos do sistema e a falta de conhecimento das inter-relações.

- c) Propor modificações nos métodos, as quais possam facilitem a integração entre os métodos do Sistema da Qualidade;

Foi proposta uma nova abordagem para os métodos da qualidade, de forma a unificá-los em um único processo que seja capaz de atender a todas as necessidades do sistema. Concluiu-se que é possível, através de alterações nos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade, uma integração total entre eles tendo como base o FMEA.

- d) Identificar e descrever funcionalidades possíveis na abordagem proposta;

Com a integração dos métodos do Sistema da Qualidade surgiram características que não estão presentes em nenhum destes métodos sozinhos. Com isto conclui-se que a integração além de melhorar o desempenho dos métodos e do sistema gera novas funcionalidades ao sistema, tornando-o mais eficaz.

Visto que é baseado na análise de riscos, a abordagem proposta é focada na prevenção de falhas, proporcionando uma mudança de cultura na organização e facilitando o caminho desta na busca de zero defeito.

e) Descrever os resultados esperados na aplicação da abordagem proposta.

Através de um exemplo prático foram apresentadas as principais estratégias e seus respectivos resultados esperados na aplicação da abordagem proposta. Conclui-se que, mesmo utilizando-se de um exemplo fictício, as novas funcionalidades descritas em teoria ocorreram na prática, e possivelmente trarão os resultados esperados ao Sistema de Gestão da Qualidade.

Com o fechamento de todos os objetivos específicos é possível concluir que a abordagem proposta resolve em grande parte, se não integralmente, a problemática apresentada de falta de integração e falta de foco preventivo nos métodos dos Sistemas de Gestão da Qualidade.

Com o exemplo fictício apresentado é possível ainda concluir que a proposta da abordagem integrativa com base no FMEA é viável e aplicável a realidade da grande maioria das organizações que busquem altos níveis de desempenho e satisfação do cliente.

A proposta apresentada, apesar de estar orientada a indústria automotiva, não se limita a este setor. Os conceitos e proposições aqui apresentados se aplicam a qualquer Sistema de Gestão da Qualidade, sendo este complexo ou não, sendo este de produto ou serviço.

Esta dissertação é orientativa na estruturação dos Sistemas de Gestão da Qualidade, pois dá diretrizes em relação às propriedades necessárias aos Sistemas e em relação aos processos presentes nestes Sistemas. Cabe à cada organização avaliar qual alternativa se adapta a cultura, realidade, missão e visão da mesma.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 Aplicação prática da abordagem integrativa proposta

Como já citado, a abordagem integrada com base no FMEA mostrou-se viável e aplicável. Assim, sugere-se que possíveis trabalhos futuros relacionados a este foquem na aplicação prática dos conceitos aqui descritos.

Para viabilizar a implantação desta abordagem recomenda-se a aplica da mesma uma organização de pequeno ou médio porte e que já tenha a certificação por normas da qualidade, como a ISO 9000:2000.

É recomendada uma empresa de pequeno ou médio porte para evitar toda a complexidade e inércia em relação à mudança que normalmente afetam as grandes organizações.

Recomenda-se que a empresa seja certificada por normas da qualidade para evitar-se trabalhar excessivamente na base do sistema da qualidade. Espera-se que o Sistema de Gestão da Qualidade já esteja estabelecido, podendo-se assim trabalhar em alterações no sistema e em seus processos para adequá-los ao conceito proposto e assim buscar níveis de performance próximos a excelência,

7.2 Desenvolvimento de software para suporte a aplicação da abordagem proposta

Atualmente cada um dos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade é suportado por softwares específicos, os quais visam facilitar a operacionalização destes. Como os atuais métodos não são normalmente integrados, os softwares também refletem esta situação, ou seja, não se comunicam entre si.

Com base nas propostas citadas em relação à integração dos métodos da Gestão da Qualidade é possível o desenvolvimento de um software ou diversos softwares que auxiliem a Gestão da Qualidade de forma integrada, evitando assim informações e trabalho duplicados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCQ (Associação Brasileira de Controle da Qualidade). **Curso ABCQ de preparação para os exames de certificação “Quality Engineer” da American Society for Quality**. São Paulo. ABCQ, 1996.

AKAO, Y. **Quality Function Deployment – QFD – Integrating Customer Requirements into Product Design**. Productivity Press USA, 1990.

ALUKAL, George. **Create a Lean, Mean Machine**. Quality Progress, p. 29-35, abril 2003.

AUTOMOBILINDUSTRIE, Verband der (VDA 6.1). **Gerenciamento do Sistema da Qualidade na Indústria Automobilística – Auditoria do Sistema da Qualidade**. São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 1998.

BALDRIGE NATIONAL QUALITY PROGRAMS. **2003 Criteria for Performance Excellence**. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2003.

BENSON, Tracy E. **The Gestalt of Total Quality Management**. Industry Week, p. 30-32, Julho 1991.

BOSSERT, James. **Lean and Seis-Sigma – Synergy Made in Heaven**. Quality Progress, p. 31-32, Julho 2003.

BYRNE, George; NORRIS, Bob. **Drive Baldrige Level Performance**. Seis Sigma Forum Magazine, vol. 2, n.3, p. 13-21, maio 2003.

CHENG, Lin Chih [et all]. **QFD: Planejamento da Qualidade**. Fundação Christiano Ottoni, 1995.

CHRYSLER CORPORATION; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION. **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial, FMEA**,

Manual de Referência. São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 1995.

CHRYSLER CORPORATION; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION. **Requisitos do Sistema da Qualidade QS-9000.** São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 1998.

COTNAREANU, Teodor. **Old Tools-New Uses: Equipment FMEA.** Quality Progress, p. 38, maio de 2003.

CRAIG, Darin J. **Stop depending on inspection.** Quality Progress, p. 39-44, Julho 2004.

CROSBY, Philip B. **Qualidade – Falando sério.** Editora McGraw-Hill, 1990.

DALE B.; SHAW P. **Failure mode and effects analysis in UK motor industry: a state-of-art study.** Quality and Reliability Engineering International, p. 431-437, Vol. 6, 1990.

DIORIO, Louis J. **The Proven Way.** Quality Progress, p. 46-50, Setembro 2003.

EUROPEAN FOUNDATION FOR QUALITY MANAGEMENT. **O Modelo de Excelência da EFQM.** Bruxelas: EFQM, 2003.

FASSER, Yefim; BRETTNER, Donald. **Management for Quality in High-Technology Enterprises.** 1 ed. New York: Wiley-Interscience, 2002.

FORD, Design Institute. **Global 8-D Participant's Guide.** Michigan: Ford Motor Company, Section 4.0, 1996.

FRANCESCHINI, Fiorenzo, GALETTO, Maurizio. **A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA.** International Journal of Production Research, vol. 29, n. 13, p. 2991-3002, 2001.

FUNDAÇÃO PRÊMIO NACIONAL DA QUALIDADE. **Critérios de Excelência, O estado da arte de gestão para a excelência do desempenho e o aumento da competitividade.** São Paulo: FNPQ, 2003.

GEORGE, Michel L. **Lean Seis Sigma – Combining Seis Sigma Quality with Lean Speed.** McGraw-Hill, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4º Edição. São Paulo: Atlas, 2002.

GILCHRIST, Warren. **Modeling failure modes and effects analysis.** International Journal of Quality & Reliability Management, .n 982816, 1993.

GINN, D.M.; JONES, D.V.; RAHNEJAT, H.; ZAIRI, M. **The QFD/FMEA Interface.** European Journal of Innovation Management, vol. 1, n. 1, p. 7-20, 1998.

JURAN, Joseph M. **Juran`s Quality Handbook**, Fifth Edition. McGraw-Hill, 2000.

KUBIAK, Tom. **An integrated approach system.** Quality Progress, p. 41-45, Julho, 2003.

LORE, Jonathan. **An innovative methodology: The life cycle FMEA.** Quality Progress, p. 144, Abril, 1998.

LUPO, Christian. **ISO TS 16949 The Clear choice for automotive suppliers.** Quality Progress, p. 44-49, Outubro 2002.

MARQUARDT, Donald W.. **Juran`s Quality Handbook Fifth edition– The ISO 9000 Family of international standards.** Mc-Graw Hill, 2000.

Norma ISO 9001: 2000. Requisitos do Sistema da Qualidade ISO 9001. São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 2000

Norma ISO/TS 16949. Quality Systems – Automotive Suppliers – Particular Requirements for the Application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. International Organization for Standardization, Switzerland, 2002.

OKES, Duke. **Complexity Theory Simplifies Choices.** Quality Progress, p. 35, Julho 2003.

PALADY, Paulo. **FMEA: Análise de Modos de Falhas e Efeitos: Prevendo e Prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 1997.

PANDE, Peter S.; NEUMAM, Robert P.; CAVANAGH Roland R. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho.** Qualitymark, 2001.

PEREZ, Mario W. **Seis Sigma – Compreendendo o conceito, as implicações e os desafios.** Qualitymark, 1999.

PUENTE, Javier; PINO, Raúl; PRIORE, Paolo, FOUENTE, David De La. **A decision support system for applying failure mode and effects analysis.** International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 19 n. 2, p. 378-397, 2002.

REID, R. Dan. **Automotive Quality Managment System evolves.** Quality Progress, p. 98-101, Janeiro 2002.

REILEY, Thomas T. **FMEA in Preventing Medical Accidents.** ASQ 56th Annual Quality Congress, Vol. 56, p. 657-664, maio 2002.

REILING, John G.; KNUTZEN, Barbara L. **FMEA – The cure for medical errors.** Quality Progress, p.67-71, August 2003.

RILEY, James F. **Juran`s Quality Handbook – Process Management,** Fifth Edition. McGraw-Hill, 2000.

- SANKAR, Ravi; PRABHU, S. **Application of Fuzzy Logic to Matrix FMECA**. AIP Conference Proceedings, 2001.
- SILVA, Edna; MENEZES, Estera; **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**, Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.
- STAMATIS, D.H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**. 2. Ed. ASQ Quality Press, Milwaukee, 2003.
- TENG, Sheng-Hsien (Gary); HO, Shin-Yann (Michael). **Failure mode and effects analysis: An integrated approach for product design and process control**. The International Journal of Quality & Reliability Management, n. 13.5, 1996.
- UHLMANN, Gunter Wilhelm. **Teoria Geral dos Sistemas – Do atomismo ao Sistemismo**. CISC, 2002.
- VANDENBRANDE, Willy W. **How to use FMEA to reduce the size of your quality toolbox**. Quality Progress, p. 97-100, Novembro 1998.
- WADSWORTH, Harrison M. **Juran's Quality Handbook Fifth edition– Statistical Process Control**. Mc-Graw Hill, 2000.