

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RICARDO GOLIN LOUREIRO

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS A PROVA DE FALHA “*POKA-
YOKE*” COMO AÇÕES RESULTANTES DE FMEA DE PROCESSO EM
UNIDADES PRODUTIVAS DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO**

MARÍLIA
2013

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RICARDO GOLIN LOUREIRO

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS A PROVA DE FALHA “*POKA-YOKE*”
COMO AÇÕES RESULTANTES DE FMEA DE PROCESSO EM UNIDADES
PRODUTIVAS DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação Eurípides Soares da Rocha, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Dr. José Antonio Poletto Filho

MARÍLIA
2013

Loureiro, Ricardo Golin

Aplicação de ferramentas a prova de falha “poka-yoke” como ações resultantes de FMEA de processo em unidades produtivas do setor automobilístico / Ricardo Golin Loureiro; orientador: José Antonio Poletto Filho. Marília, SP: [s.n.], 2013.

71 folhas

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, Marília, 2013.

1. Poka-yoke 2. PFMEA 3. Ferramentas a prova de falha

CDD: 629.895



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM

Curso de Engenharia de Produção.

Ricardo Golin Loureiro - 39376-2

TÍTULO "Aplicação de ferramentas a prova de falha "Poka - Yoke" como ações resultantes de FMEA de processo em unidades produtivas do setor automobilístico. "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 10,0

ORIENTADOR: 
Jose Antonio Peletto Filho

1º EXAMINADOR: 
Solange Aparecida Devechi Ordones

2º EXAMINADOR: 
Jose Michel Monassa

Marília, 06 de dezembro de 2013.

Dedico esta monografia aos meus pais **Nair** e **Walter**, que não conseguiram ver em vida esta conquista, porém estão contemplando este título perto do Senhor Jesus Cristo. À minha amada esposa **Danielle** e meus **filhos** por participarem diariamente da realização deste objetivo, que foram fundamentais para me encorajar e ajudar superar os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente ao meu Deus Todo Poderoso, pela saúde e sabedoria e por ter tido misericórdia da minha vida, pois sem Ele eu nada seria.

Agradeço de forma mais que especial à minha amada, companheira, fiel e auxiliadora esposa Danielle, pelo amor, compreensão e incentivo, pois estes cinco anos foram dolorosos e extenuantes.

Aos meus filhos Caio Henrique e Caroline pelos momentos de alegria e esperança no desejo de superação diária.

Ao professor Polleto pela orientação e apoio na elaboração do trabalho, assim como as excelentes aulas de termo.

Aos professores Flávio, Cesar Franco, Jussara, Leandro, Clarissa e Roberto Oikawa pela dedicação e paciência nas explicações e pelas excelentes aulas.

Ao amigo e professor Rodrigo Ravazzi que participou das dificuldades ao longo destes anos e colaborou muito para conclusão deste trabalho, suas dicas foram valiosas, saiba que sua dedicação como professor é exemplar.

Ao amigo e irmão na fé Marcelo Shiraishi, parceiro de caminhada são 7 anos de muitos que ainda virão, de dois cursos que concluímos juntos, das grandes pescarias e aventuras. Sei que fui encorajado e em muitas vezes você me apoiou e auxiliou nos trabalhos durante fases difíceis. Muito obrigado é pouco “Japoneis” – “*arigato kansha shimashita!*” meu irmão.

Aos amigos Lucas Yamauchi, Daniel Lima e Gabriel Moreno pelos materiais compartilhados.

Agradeço a todos familiares que de alguma forma em especial contribuíram para que eu alcançasse esta conquista.

*"Também a minha língua sempre
falará dos teus atos de justiça pois os que
queriam prejudicar-me foram humilhados
e ficaram frustrados."*

LOUREIRO, Ricardo Golin. **Aplicação de ferramentas a prova de falha “poka-yoke” como ações resultantes de FMEA de processo em unidades produtivas do setor automobilístico**. 2013. 71 fls. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

RESUMO

Devido ao crescente índice de chamadas para os proprietários de veículos com propósito de substituir peças com defeitos de fabricação, conhecidos com “*recalls*”, gerando custos e insatisfação, este trabalho visa demonstrar a importância da aplicação de ferramentas da qualidade como, “*Poka-Yoke*” e Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA), na redução dos custos. O FMEA, é uma importante ferramenta utilizada para planejamento avançado da qualidade, indicando as possibilidades de falhas que possam vir a ocorrer nas linhas fabris durante a produção seriada, deste modo cataloga-se todos os modos de falhas passíveis de ocorrência e então os avalia um a um, atribuindo pontuações para priorizar a tratativa das respectivas ações para a mitigação ou solução, já o “*Poka-Yoke*” é uma ferramenta que torna possível a detecção, alerta e prevenção de erros no processo produtivo. Assim, será apresentado como a combinação destas ferramentas pode contribuir na resolução de erro na operação de identificação em processo de expedição na exportação de produtos para empresas automobilísticas e reduzir significativamente os riscos do processo. A utilização combinada destas duas ferramentas e a capacitação e comprometimento do fator humano mostram-se como a forma mais eficaz para alcançar a redução dos casos de “*recalls*”, pois existirá a certeza que o planejamento do projeto foi bem sucedido, aplicado e seguido, e que existem meios para evitar falhas durante a execução da operação pela linha produtiva.

Palavras-chave: Poka-yoke. PFMEA. Ferramentas a prova de falha.

LOUREIRO, Ricardo Golin. **An application of error proofing tools named "poka-yoke" assisted by PFMEA in production units of automotive share**. 2013. 71 fls. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

ABSTRACT

Growing rates of calls to the owners vehicles for the purpose of replacing parts with manufacturing defects known with "recalls" generating costs and dissatisfaction and this paper will show the importance of quality tools application "Poka-Yoke" even as Analysis and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), both tools when applied together can reduce these costs. The FMEA is an important tool used for advanced quality planning, indicating the possibility for failures that may occur in the manufacturing lines for mass production, thereby likely all failure modes of occurrence are listed, and then it will be evaluated, assigning scores to prioritize the dealings in their actions for mitigation or solution, now the "Poka-Yoke" is a tool that makes it possible to detect, alert and prevent errors in the production process. Thus will be presented how these combination tools can help solving error regarding identification operation in the shipping process exporting products to automobile industry and significantly reduce the risks of the process. The combination of these two tools and the training and involvement of the human factor use are shown as the most effective way to obtain the reduction of "recalls" cases, since there will be sure that the planning project was successful, implemented and followed, and that there are ways to prevent failures during operation by production line.

Keywords: Poka-yoke. PFMEA. Error proofing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Defeitos por operações de montagem automatizadas.....	15
Figura 2: Gráfico representativo do total de campanhas setorizado	18
Figura 3: Gráficos das campanhas de recall por marca	18
Figura 4: Gráfico do total de recalls por setor referente ao ano 2012.....	19
Figura 5: Dispersão natural ou curva de Gauss	22
Figura 6: Composição dos custos da qualidade	23
Figura 7: Relação entre os custos e quantidade de peças	25
Figura 8: Os 7 tipos de <i>Muda</i> (desperdícios).....	26
Figura 9: Os pilares do Sistema Toyota de Produção	30
Figura 10: Modelo tradicional – Tipo funcional	30
Figura 11: Fluxo unitário contínuo, no modelo JIT	31
Figura 12: Método de Solução de Problemas organizado em um ciclo	33
Figura 13: Exemplo de dispositivo para inspeção por julgamento (passa-não-passa).....	35
Figura 14: Exemplo de dispositivo para inspeções informativas (Verificador de fadigas).....	36
Figura 15: Exemplo de dispositivo para inspeções na fonte (<i>memory stick slot</i>).....	36
Figura 16: Classificação de um dispositivo <i>Poka-yoke</i> , quanto às funções	37
Figura 17: Classificação de um dispositivo <i>Poka-yoke</i> , quanto aos métodos	37
Figura 18: <i>Poka-yoke</i> , método de comparação	38
Figura 19: <i>Poka-yoke</i> , método de contato	38
Figura 20: <i>Poka-yoke</i> , métodos de contagem.....	39
Figura 21: <i>Poka-yoke</i> , método de posicionamento.....	39
Figura 22: Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção.....	50
Figura 23: Grupos de máquinas da empresa.....	51
Figura 24: Modelo das etiquetas <i>Odette label</i> , UNI e OT respectivamente.....	52
Figura 25: Mapeamento do fluxo de produção, início do projeto.....	54
Figura 26: Mapeamento do fluxo de produção, revisado.....	58
Figura 27: Validação do <i>poka-yoke</i> em ambiente de teste.....	60
Figura 28: Validação do <i>poka-yoke</i> , real.....	60
Figura 29: Comparativo das ações do PFMEA por classe de risco.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Elementos dos Custos da Qualidade.....	24
Tabela 2:Conexão entre objetivos, princípios elementos fundamentais e ferramenta <i>Lean</i> ...	28
Tabela 3:Comparações <i>Lean Thinking</i>	29
Tabela 4: Tipos de FMEA por fase de desenvolvimento de produto.....	41
Tabela 5: Formulário de FMEA de processo 4ª edição AIAG.....	43
Tabela 6: Fluxo de preenchimento do PFMEA.....	45
Tabela 7:Tabela de Severidade para FMEA de processo	46
Tabela 8:Tabela de ocorrência para FMEA de processo.....	47
Tabela 9:Tabela de detecção para FMEA de processo.....	47
Tabela 10: PFMEA realizado no início do projeto.....	55
Tabela 11: PFMEA realizado conforme manual de referência AIAG.....	56
Tabela 12: PFMEA retroalimentado.....	62
Tabela 13: Análise das pontuações do PFMEA antes da aplicação da metodologia.....	63
Tabela 14: Comparativo das pontuações do PFMEA conforme metodologia.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIAG: *Automotive Industry Action Group*

APQP: *Advanced Product Quality Planning* - Planejamento Avançado da Qualidade do Produto

CQZD: Controle da Qualidade Zero Defeito

DFMEA: *Design Failure Mode Effect and Analysis* - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos no Projeto

FMEA: *Failure Mode Effect and Analysis* - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos

IATF: *Internacional Automotive Task Force*

IQA: Instituto de Qualidade Automotiva

ISO: *International Organization for Standardization* - Organização Internacional para Padronização.

JAMA: *Japan Automobile Manufacturers Association*

JIT: *Just-in-time*

MASP: Metodologia de Análise e Solução de Problemas

ME: Manufatura Enxuta

MIT: *Massachusetts Institute of Technology*

NPR: Número Prioritário de Risco

OP: *Operational procedure* - Procedimento operacional

PA: Produto Acabado

PDCA: *Plan, Do, Check, Act* - planejar, fazer, monitorar, agir

PFMEA: *Process Failure Mode Effect and Analysis* - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos no Processo

PROCON: Fundação de Proteção e Defesa do Consumidor

QSB: *Quality System Basic*

SAP: *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*.

SIEX: Sistema Integrado de Exportação.

SOP: *Start Of Production* - Início da produção

STP: Sistema Toyota de Produção

TPS: *Toyota Production System*

VDA: *Verband der Automobilindustrie*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1. Considerações iniciais.....	15
1.2. Tema de pesquisa.....	16
1.3. Objetivo geral da pesquisa.....	17
1.4. Objetivo específico	17
1.5. Justificativa	17
1.6. Características da empresa.....	19
1.7. Estrutura do trabalho.....	20
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. Qualidade	21
2.2. Custos da qualidade	21
2.3. “Thinking Lean” Manufatura enxuta	25
2.3.1. Os 5 princípios da Manufatura Enxuta	27
2.3.2. A estrutura do Sistema Toyota de Produção	29
2.3.2.1 <i>Just-in-time</i>	30
2.3.2.2 <i>Jidoka</i>	31
2.4. O método de inspeção e o Controle da Qualidade.....	32
2.5. Método de solução de problemas (MASP)	33
2.6. Dispositivos <i>poka-yoke</i>	34
2.6.1. História e fundamentos do <i>poka-yoke</i>	34
2.6.2. Classificação dos dispositivos <i>poka-yoke</i>	36
2.6.2.1. Método de comparação.....	37
2.6.2.2. Método de contato	38
2.6.2.3. Método de contagem.....	39
2.6.2.4. Método de posicionamento	39
2.7. APQP - <i>Advanced Product quality Planning</i>	40
2.8. FMEA - <i>Failure Mode Effect and Analysis</i>	40
2.8.1. DFMEA – <i>Design Failure Mode Effect and Analysis</i>	42
2.8.2. PFMEA– <i>Process Failure Mode Effect and Analysis</i>	42
2.8.2.1. Formulário FMEA	42
2.8.2.2. Funcionamento e desenvolvimento do PFMEA	44
2.8.2.3. Tabelas de classificações para severidade, ocorrência e detecção.....	46
2.8.2.4. Pontuações de severidade, ocorrência e detecção.....	48
2.8.2.5. Classificação para tomada de ação	48
2.8.2.6. Plano de ação	48

2.9. Relação do Poka-yoke e FMEA com as normas de gestão da qualidade	49
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	50
3.1. Metodologia da pesquisa	50
3.2. Sistemas produtivos da empresa	51
3.3. Passos para aplicação do Poka-yoke.....	52
3.3.1. Identificação da situação problema	52
3.3.2. Análise do problema.....	53
3.3.3. Gerar as soluções possíveis	55
3.3.4. Selecionar e planejar a solução.....	59
3.3.5. Implantar a solução.....	59
3.3.6. Avaliar e validar a solução	59
3.3.7. Padronizar resultados.....	61
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1 Validação e comparativo do NPR.....	63
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	65
5.1 Limitações da pesquisa	66
5.2 Ações futuras e recomendações	66
REFERÊNCIAS	67

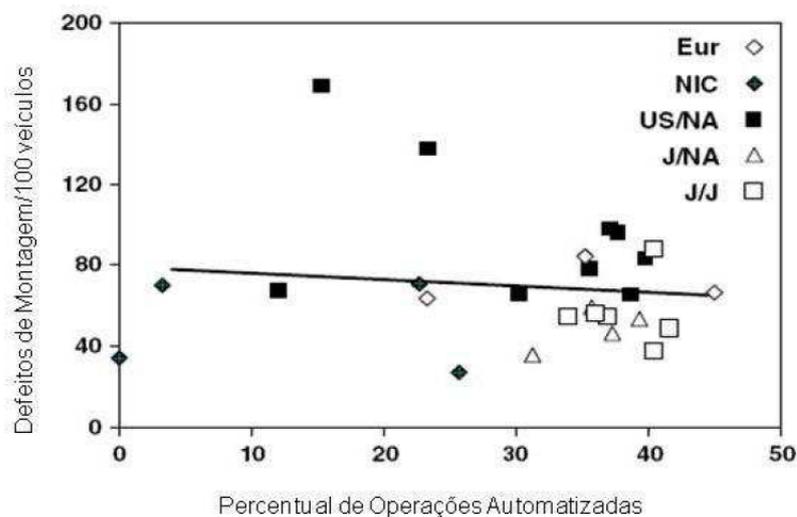
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Conforme EPE (2013) descritos na nota técnica DEA 06/13 realizadas pelo ministério de minas e energia, existe uma acirrada competição das empresas pela busca da sobrevivência do negócio e fornecimento de peças para o setor automotivo, montadoras de veículos e seus fornecedores que visam à maximização dos lucros, como meio de prosperarem num seguimento extremamente dinâmico e agressivo. Onde, é visto uma preocupação destas empresas com a política de investimento para os próximos 10 anos ligados ao fornecimento de produtos confiáveis e robustos, com nível de excelência de qualidade e melhoria contínua em seus processos e produtos, assim podendo gerar perpetuidade do negocio.

HINCKLEY (2006) apud Yamauchi (2012) descreve que é comum o relacionar a qualidade com alto grau de automação, mas um estudo realizado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), referindo se aos dados do *International Motor Vehicle Program* (Programa Internacional de Veículos Automotores) correlacionando este percentual do grau de automação do processo pelo número de falhas apresentadas por grupo de cem veículos montados nas indústrias automotivas, aponta que esta afirmação é equivocada. Na Figura 1, NIC representa fábricas em países recentemente industrializados; Eur representa fábricas européias; US/NA representa fábricas americanas na América do Norte; J/NA representa fábricas japonesas na América do Norte; e J/J representa fábricas japonesas no Japão.

Figura 1: Defeitos por operações de montagem automatizadas.



Fonte: HINCKLEY (2006)

O mesmo autor acima cita ainda que a correlação entre o grau de operações automatizadas e melhoria na qualidade tem uma tendência tímida de melhora, mas não é significativa, a ponto de expressar correlação entre os fatores.

Conforme análise dos requisitos da norma ISO TS 16949, é requerido o monitoramento, análise crítica e melhoria contínua na qualidade dos produtos em todas as fases do desenvolvimento e ciclo de vida. Sistemicamente a redução das falhas e custos indesejados são melhores obtidos quando a prevenção ocorre no momento em que ainda temos a ideia sendo concebida, ou seja, no início do ciclo de vida de um projeto, onde é possível elaborar ações que não permitam que erros sejam aplicados ao processo produtivo. As empresas têm o livre arbítrio para escolha da melhor metodologia a ser seguida para desenvolvimento dos seus produtos, (TECHNICAL SPECIFICATION ISO/TS 16979:2009, 2009)

Parafraseando Rozenfeld *et al* (2006), existem diferentes abordagens quanto a aplicação de metodologias robustas para planejamento avançado, prevenção das possíveis falhas na fonte e sistemáticas de gestão robustas como, por exemplo, PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), traduzindo respectivamente planejar, fazer, monitorar, agir. As normas de sistemas de gestão e as de requisitos específicos de clientes automotivos também seguem esta estrutura metodológica do PDCA, como exemplo a ISO 16949 desenvolvida pela *Internacional Automotive Task Force* (IATF) e *Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.* (JAMA), a *Verband der Automobilindustrie* (VDA) Associação da Indústria Automobilística alemã, *Quality System Basic* (QSB) Sistema de qualidade básico e no caso o APQP (*Advanced Product Quality Planning*), Planejamento avançado da qualidade do produto.

1.2. Tema de pesquisa

Aplicação de dispositivos que possibilitem evitar produção intencional ou não intencional de peças não conformes ou desvios de qualidade, conhecidos como *poka-yoke* ou dispositivos a prova de falhas, como ações derivadas da análise na ferramenta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), que traduzida significa Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, cujo objetivo é mapear os possíveis erros de cada função do produto, e será detalhado ao decorrer deste trabalho, contida em metodologias robustas de desenvolvimento de produto, *Advanced Product Quality Planning*, na sigla APQP que na tradução é Planejamento Avançado da Qualidade do Produto, uma ferramenta para aporte ao desenvolvimento de produto de forma robusta e integrada as fases do desenvolvimento, se mostrado grande aliado

na redução dos custos tangíveis e intangíveis que corroem os lucros e imagem das indústrias do setor automobilístico, permitindo perenidade da empresa ao longo do tempo.

1.3. Objetivo geral da pesquisa

Este trabalho visa estudar os conceitos, ferramentas e forma de aplicações de dispositivos “Poka-yoke” através do uso da ferramenta FMEA de processo em uma empresa que forneça peças para a indústria automobilística, compilando e proporcionando maior entendimento e esclarecimento do assunto.

1.4. Objetivo específico

Explicar os conceitos e tipos de Poka-yoke;

Explicar o conceito de FMEA enfatizando o FMEA para processo;

Aplicar um dispositivo a prova de falha no processo, derivado da análise realizada através do método FMEA de processo, no local adequado para redução do Número de prioridade de risco e conseqüentemente o custo da não qualidade e reclamações do cliente.

Certificar que os processos acima atendam a ISO 16949, VDA 6.3 2ª Edição e QSB, principalmente gerando valor percebido à organização empresarial.

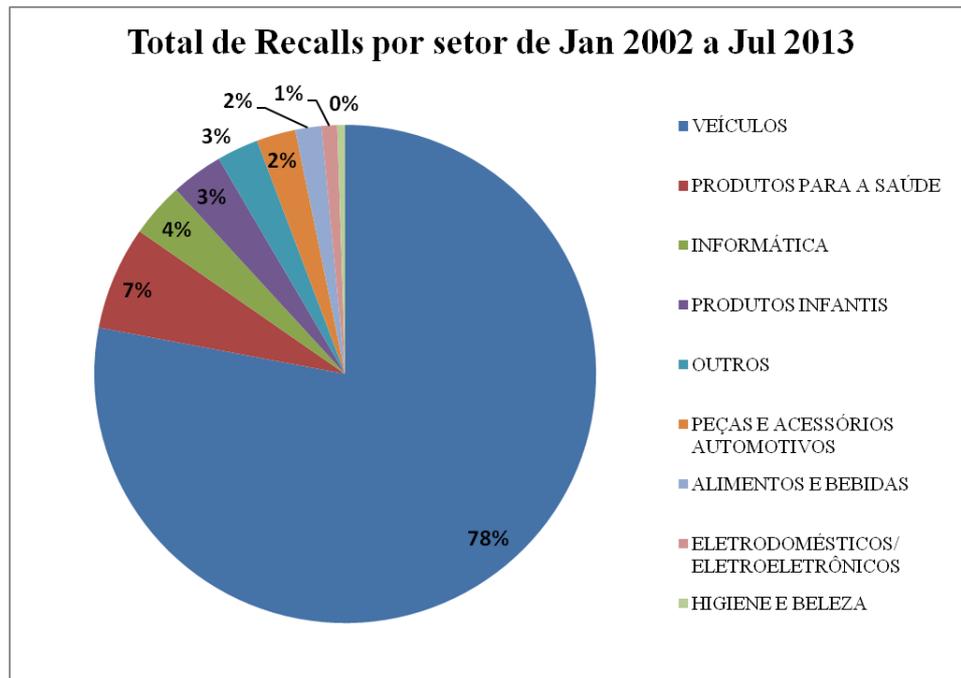
1.5. Justificativa

Com a constante competitividade no mundo globalizado as empresas do setor buscam vantagens sobre seus concorrentes, e o barateamento dos custos de produção para aumento da margem de lucro tem sido bastante explorado, mas as empresas podem cortar elementos cruciais para a garantia do atendimento na totalidade dos requisitos do cliente, e assim permitir a fragilização da função primária do produto, fazendo com que haja um aumento do número de peças falhadas entregues às montadoras.

Tal fato tem contribuído para o alto índice de recall, que é a solicitação de retorno do veículo para substituição de peças com problema de fabricação, onde geralmente são as que afetam a segurança do usuário sendo assim as mais críticas ou severas.

Com base nos relatórios do PROCON entre janeiro de 2002 até julho de 2013 foram registrados 595 casos de recall de produtos no Brasil, destes 464 foram originados pela indústria de veículos, no geral 78% são do setor veicular, conforme Figura 2.

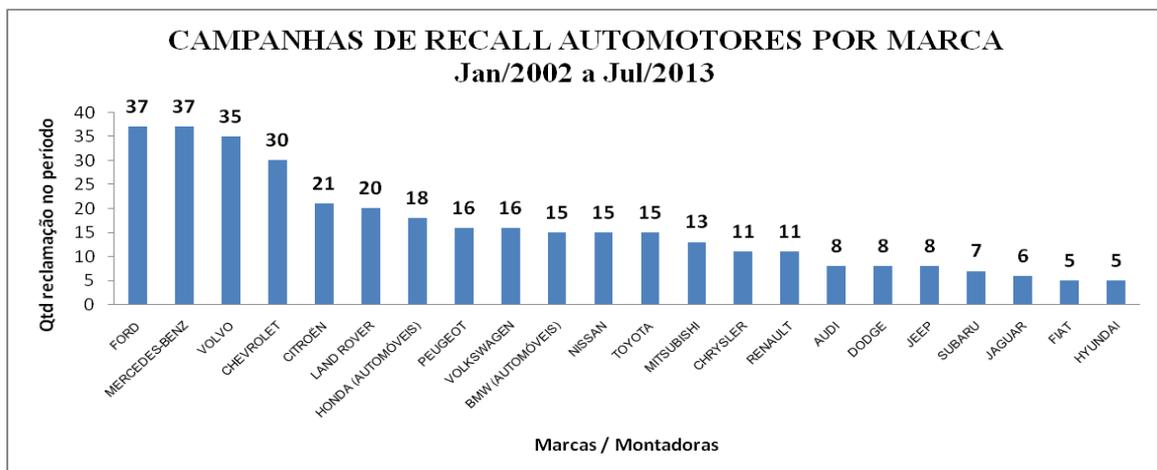
Figura 2: Gráfico representativo do total de campanhas setorizado.



Fonte: FUNDAÇÃO PROCON (2013), Adaptado pelo autor.

E na Figura 3, pode ser visto a estratificação dos dados de forma a apresentar a lista de campanhas por empresa do setor automobilístico.

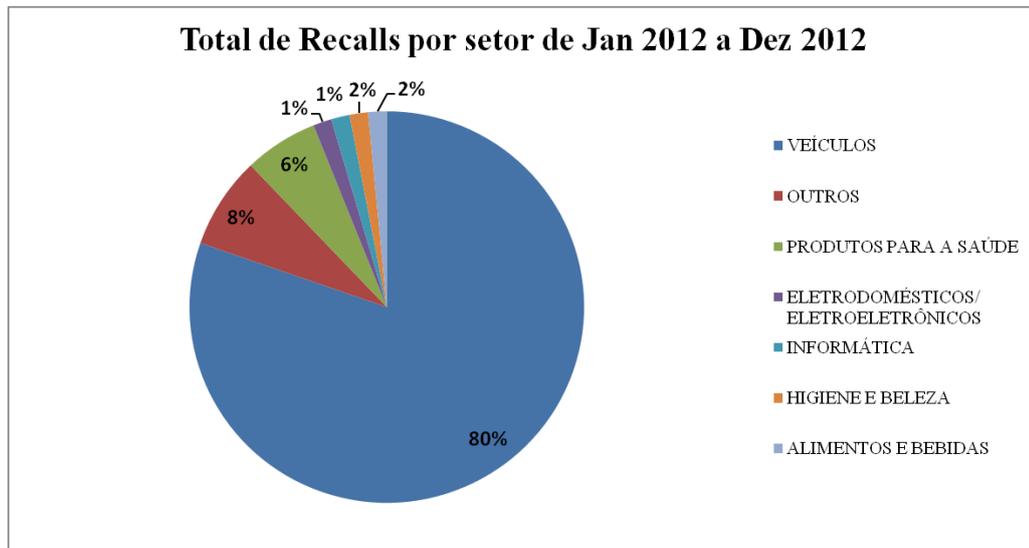
Figura 3: Gráficos das campanhas de recall por marca.



Fonte: FUNDAÇÃO PROCON (2013), Adaptado pelo autor.

Na análise das chamadas de recall para todo o período de 2012, houve 66 ocorrências, onde os veículos automotores foram responsáveis por 53 recalls oficializados, correspondentes a 80 % dos casos, conforme figura 4.

Figura 4: Gráfico do total de recalls por setor referente ao ano 2012.



Fonte: FUNDAÇÃO PROCON (2013), Adaptado pelo autor.

1.6. Características da empresa

Com os adventos da modernidade e a necessidade de operações cada vez mais rápidas e melhor, o fundador da empresa em 1952, projetou e criou um produto que agilizaria a aplicação de defensivos nas lavouras. Contudo, o produto por ser de chapas metálicas não suportava as intempéries por muito tempo e assim, como solução, houve a migração para reservatórios em plástico em 1966, eram produzidos em um setor da empresa matriz e com o passar dos anos se tornou uma empresa independente, mas continuando produzir peças plásticas para a matriz.

Anos mais tarde, trabalhando arduamente como forma de prosperar, houve a diversificação dos segmentos e alcance de novos mercados, como peças automotivas, produtos médico-hospitalares, embalagem e movimentação. E assim, não parou de crescer.

Sempre como pioneira em novas soluções, aplicando novas tecnologias na transformação de plástico, vantagens técnicas e redução de custos conforme as necessidades dos clientes.

Atualmente esta empresa é a maior transformadora de plástico da América do Sul, com capacidade de transformação de peças nos processos de sopro, injeção, injeção espumada, extrusão, termoformagem, rotomoldagem, cerâmica e borracha.

1.7. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos.

No capítulo 1, são expostas as considerações iniciais do trabalho, justificativa do estudo, os objetivos e um breve histórico da empresa que se realizou o estudo de caso.

No segundo capítulo, é abordada a revisão de bibliografias e conceitos necessários para o entendimento e aplicação da ferramenta PFMEA, manual de referência. Quanto aos dispositivos *poka-yoke* as suas funções, método de atuação e exemplos. Correlação do *poka-yoke* e FMEA com as normas de gestão da qualidade também são apresentados.

No capítulo 3, é descrito a metodologia para a realização do trabalho, apresentando os sistemas produtivos da empresa, o desenvolvimento do estudo de caso, com a aplicação da ferramenta FMEA e os passos para elaboração do *poka-yoke* para solucionar o problema levantado, assim como sua validação e efetivação.

No capítulo 4, traz os resultados e ganhos obtidos, as discussões com o comparativo do NPR e considerações do trabalho.

No capítulo 5, descreve a conclusão, limitações e recomendações para melhoria dos processos.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dedicado a apresentar as informações necessárias para boa condução do trabalho, garantindo a máxima contribuição no nivelamento do conhecimento para alcançar os objetivos macro e específicos.

2.1. Qualidade

Conforme Slack *et al* (2002), atualmente os mercados consumidor vem passando por uma valorização do nível de consciência na aquisição de bens e serviços de alta qualidade. Este diferencial tem se tornado uma estratégia para os fornecedores destes bens e serviços e com isso se tornado uma vantagem competitiva para estes, onde a boa qualidade gera consumidores satisfeitos e multiplicadores importantes para influenciar as outras pessoas.

Segundo Juran (1980), define a qualidade como adequação às necessidades e ao uso do bem, já Deming (2003) conceitua a qualidade como definida conforme a exigência do cliente em relação as suas necessidades, e como estão em constante mudança, às especificações de qualidade sempre mudarão à medida que o tempo passa, para acompanhar a exigência do cliente.

Campos (1992), descreve que “um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”.

Parafraseando Montgomery *et al* (2003), a determinação da qualidade é uma correlação entre qualidade do projeto nos diferentes graus e níveis de desempenho, a confiabilidade do produto e serviço, funções de redução da variabilidade no processo e padrão de fornecimento das peças.

Já para Crosby (1999), a qualidade se resume aos atendimentos aos requisitos normativos com base em um modelo padrão.

2.2. Custos da qualidade

Os aspectos econômicos da qualidade foram abordados por Joseph Juran em 1951, em seu livro *Quality Control Handbook*, deste então o tema vem sendo socializado e disseminado, embora mais austero a partir da década de 70 com a intensificação da questão qualidade em implantação nas empresas multinacionais instaladas no Brasil.

Conforme Garvin (1992), cita os custos da qualidade, como é conhecido, se tratando de uma ferramenta para gestão dos recursos da empresa voltados ao planejamento estratégico

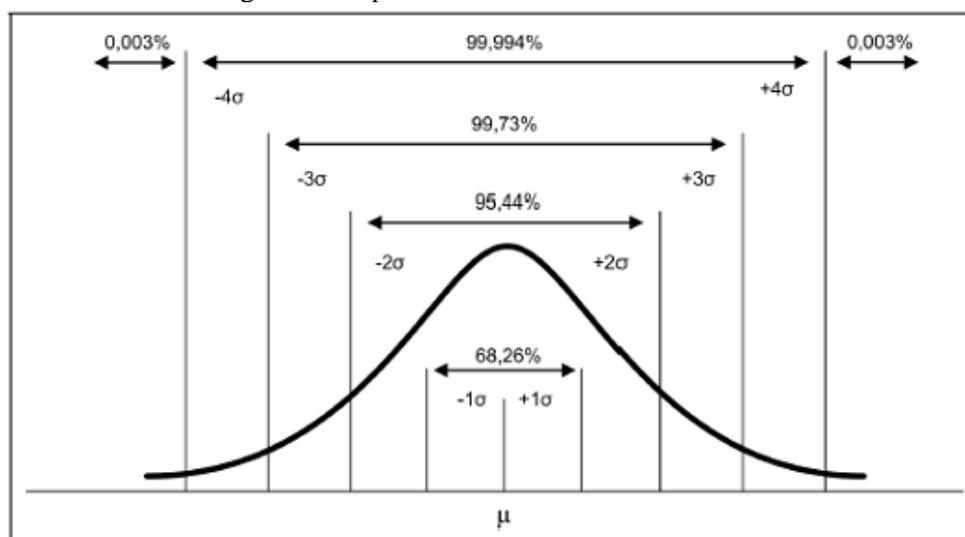
do setor responsável pela tratativa das anomalias existentes nos processos, aplicando estes recursos financeiros de forma dinâmica na prevenção, correção ou monitoramento das falhas.

Campos (1992), afirma que a qualidade não custa mais e sim é uma garantia certa de retorno, entretanto, é considerado como custo, efetivamente, as falhas geradas pela falta no atendimento aos padrões estabelecidos previamente, mas não evitados, assim denominados de Custo da Não Qualidade (CNQ).

Conforme Teboul (1999), descreve que os processos são operações de transformação que geram um produto acabado e que o resultado da operação pode variar naturalmente, pois obedece a uma lei natural de distribuição ou dispersão, estando o mesmo sob controle.

Na Figura 5 a ilustração da curva de Gauss e a divisão em sigmas, o percentual resultante da área do gráfico é tomado como base na variação dos desvios para mais e para menos. Como exemplo, se um processo é denominado 4 sigmas, ou seja, uma variação de 2 sigmas para menos e 2 sigmas para mais, teremos uma probabilidade de 95,44% das peças estarem no intervalo dos limites estabelecidos.

Figura 5: Dispersão natural ou curva de Gauss.



Fonte: Teboul (1999).

Conforme Ruthes (2006) et al apud Jesus et al (2010), todas estas variações naturais provem de causas comuns, pouco significantes que se unem umas as outras aleatoriamente. O processo é dito capaz somente quando a tolerância se enquadrar na variação normal, ou seja, toda a variação deve estar contida na tolerância definida, fora dessa faixa é considerado produto não conforme, tanto para máxima quanto para mínima. O resultado do não atendimento incorre em custos, perda ou retrabalho de produto.

Teboul (1999), completa que a tolerância é algo criado pelos engenheiros, mas o cliente pode não ter a mesma óptica, pois sua percepção é a de comprar o produto sempre na

nominal, ou seja, conforme anunciado. E no caso do não atendimento incorre custos para contornar esta situação.

Toledo (2002), classifica estes desembolsos, os custos da Qualidade em, 4 blocos ou composição de categorias que são: Custos de prevenção, Custos de avaliação, Custos de falhas internas e Custos de falhas externas. Os dois primeiros são os custos indispensáveis ao bom andamento e sucesso da organização, já os dois subsequentes podem e devem ser evitados, pois são dedutíveis diretamente do lucro líquido apurado, com o intuito de alavancar os resultados, conforme Figura 6.

Figura 6: Composição dos custos da qualidade.



Fonte: Toledo (2002), Adaptado pelo autor.

Parafraseando Toledo (2002) apud Yamauchi (2012), os custos de prevenção são os custos ligados às atividades de planejamento e implementação das operações tais como gestão da qualidade, auditorias do sistema e incluem todos os gastos direcionados a evitar que falhas ocorram. Custos de avaliação são associados à medição, auditoria de produto e todo custo das atividades para assegurar que os padrões sejam atendidos. Já os custos das falhas internas são correlacionados com produtos e insumos que não satisfazem aos critérios estabelecidos, identificados antes de serem expedidos, podendo ser por perdas ou retrabalhos na produção. Os custos das falhas externas ocorrem quando há saídas de produtos defeituosos identificados após a expedição ao cliente, conforme Tabela 1.

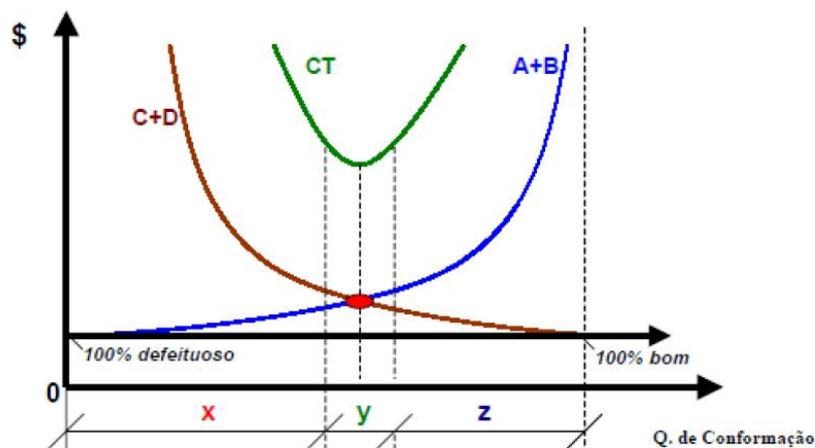
Tabela 1: Elementos dos Custos da Qualidade.

<p>Custos de Prevenção:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificação das necessidades dos clientes; 2. Desenvolvimento do projeto do produto; 3. Suprimentos; 4. Planejamento da qualidade do processo produtivo; 5. Administração da qualidade; 6. Educação para a qualidade.
<p>Custos de Avaliação:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inspeção e ensaios em produtos/serviços adquiridos; 2. Avaliação de operações (fabricação ou serviço); 3. Avaliação externa;
<p>Custos de Falhas Internas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Falhas de projeto de produto/serviço; 2. Falhas de suprimentos; 3. Falhas de operação (produto/serviço);
<p>Custos de Falhas Externas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Administração de reclamações; 2. Responsabilidade civil pelo item; 3. Produtos ou serviços devolvidos; 4. Solicitação em garantia; 5. Alteração das especificações de projeto; 6. Penalidades pós-entrega; 7. Concessões ao cliente/usuário; 8. Perdas de vendas;

Fonte: TOLEDO (2002), (Adaptado).

Segundo Juran e Gryna apud Toledo (2002), os custos da qualidade podem ser compreendidos observando se a Figura 7, onde as curvas “A+B” representa o esquema do investimento na preventiva e avaliação, já “C+D” são os custos de falhas internas e falhas externas. CT representa o custo total, que pode ser ajustado ao ponto ótimo da curva. Quanto mais investimentos em custos inevitáveis, menos os gastos em custos evitáveis. É então, dessa forma, que se deduz a verdade do ponto ótimo entre investimentos em custos inevitáveis e gastos em custos evitáveis, vislumbrando obter menores custos totais da qualidade.

Figura 7: Relação entre os custos e quantidade de peças.



Fonte: TOLEDO (2002)

2.3. “Thinking Lean” Manufatura enxuta

Segundo Martins (2009), o início da manufatura enxuta ME está ligado à visão de negócio dos senhores Sakichi Toyoda e Kiichiro Toyoda, onde vislumbraram a importância da indústria automobilística no mundo futuro. Esta visão se deu após visita à Ford nos EUA, assim nascia à manufatura enxuta. A filosofia só passou a ganhar prestígio e notoriedade após o lançamento da obra “A Máquina que Mudou o Mundo”, em 1990, um trabalho liderado por Womack que foi resultado de esforços e estudos realizados pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), reportado no “*International Motor Vehicle Program*”, sobre a indústria automobilística mundial, resumidamente, um programa que durante 5 anos mapeou vários processos realizando comparações com a mentalidade enxuta, um novo paradigma, assim concluindo que, este modelo, era o mais adequado ao mercado moderno, se tornando cada vez mais empregado e bem sucedido.

Segundo Fujimoto (1999), relata que após a Segunda Guerra Mundial, quando os consumidores passaram a exigir novos padrões para consumo, antes eram poucos modelos de produtos, que eram poucas variantes e grandes quantidades produzidas, para requisitarem produtos diferentes e variados, em quantidades reduzidas.

Este conceito segundo Picchi (2003) é amplamente utilizado por empresas de filosofia japonesa, mas em ritmo de crescente expansão para outras culturas, a exemplo a ocidental, que focam na melhoria dos seus processos como forma de gerar valor agregado ao produto. A manufatura enxuta está ligada a gestão de sistemas produtivos no campo da administração industrial que compreendem ferramentas, filosofias e técnicas para promover sistematização prática das estratégias de melhoria dos processos.

Segundo Womack *et al* (1996), a mentalidade do *lean* está baseada na realização progressiva das tarefas ao longo de toda a cadeia produtiva, conhecida como cadeia de valor, de modo que um produto seja processado desde o projeto até a chegada nas mãos do cliente, sem ou com o mínimo de perdas.

Segundo Womack, Jones e Roos (1992), o pensamento ou mentalidade do *lean* é utilizar-se de metade dos esforços, espaço de fabricação, investimentos em ferramentas, horas de planejamento e desenvolvimento requerendo metade dos estoques para produção de produtos resultando em menos defeitos e produzindo mais e uma maior variedade de produtos em conformidade com as especificações.

Womack *et al* (1990), define a manufatura enxuta em maiores detalhes como um sistema produtivo integrado focado no fluxo produtivo, trabalhando com lotes pequenos e reduzida quantidade de peças em estoque; focando em ações de prevenção em vez de correção de problemas, busca trabalhar com um processo puxado através de previsões de demandas dos clientes, sendo flexível e possuindo recursos polivalentes, que buscam melhoria contínua e agregação de valor ao produto final, para isso atuam na parceria cliente fornecedor.

Ohno (1997) classifica estas perdas no sistema como “*Muda*”, uma palavra de origem japonesa que significa atividade que consuma recurso sem agregar valor para o cliente, como: Superprodução; Transporte excessivo; Processos inadequados; Esperas; Inventário desnecessário; Movimentação desnecessária; Produtos defeituosos; Conforme Figura 8.

Figura 8: Os 7 tipos de *Muda* (desperdícios).



Fonte: Yamauchi (2012)

2.3.1. Os 5 princípios da Manufatura Enxuta

Parafraseando Womack e Jones (1998), as definições dos princípios da manufatura enxuta têm por objetivo tornar as empresas mais capazes e flexíveis em relação ao atendimento das necessidades dos clientes e são apresentados abaixo:

Valor – Definição vinda do cliente, onde a empresa precifica seus serviços como forma de manter seu negócio.

Fluxo de valor – Mapeamento dos processos da cadeia produtiva, destacando efetivamente as operações que realmente agrega valor, as que não agregam, mas são indispensáveis e as que não geram valor.

Fluxo contínuo – Visa dar escoamento ou fluidez ao processo, identificando a melhor forma de produção relacionando as atividades que restam para produção do produto acabado.

Produção puxada – A idéia principal é que o ultimo elo da cadeia seja o acionador da cadeia, assim reduzindo as necessidades de quantidades em estoque.

Perfeição – Objetivando a melhoria contínua e constante das pessoas que tem interface com o fluxo de valor.

Segundo Picchi (2003), o fato de se ter várias visões e focos sobre a filosofia, contribuem para a disseminação do conhecimento, massificação desses conceitos e a fixação do conteúdo nas pessoas que realizarão ou usarão as ferramentas *Lean*. Há uma conexão entre esses objetivos, princípios e elementos fundamentais com as ferramentas aplicadas pela filosofia oriental de produção *Lean*, conforme Tabela 2:

Tabela 2: Conexão entre objetivos, princípios elementos fundamentais e ferramentas *Lean*.

Objetivos	Princípios	Elementos fundamentais	Exemplos de ferramentas	
Melhorar continuamente a competitividade da empresa, através de: - eliminação dos desperdícios; - consistente-mente atender aos requisitos dos clientes em variedade, qualidade, quantidade, tempo, preço	VALOR	Pacote produto/serviço de valor ampliado	- Variedade de produtos planejada	
		Redução de <i>lead times</i>	- Engenharia simultânea	
	FLUXO DE VALOR	FLUXO	Alta agregação de valor na empresa estendida	- Mapeamento do fluxo de valor - Parcerias com fornecedores
			Produção em fluxo	- Células de trabalho - Pequenos lotes - TPM (Manutenção para Produtividade Total) - Qualidade na fonte - Poka-yoke (dispositivos à prova de erro)
			Trabalho padronizado	- Gráfico de Balanceamento de operador - Gerenciamento visual
	PUXAR		Produção e entrega <i>just-in-time</i>	- Takt Time (ritmo da demanda) - Kanban - Nivelamento da Produção
			Recursos flexíveis	- <i>Set-up</i> rápido - Equipamentos flexíveis - Multifuncionalidade de operadores
	PERFEIÇÃO		Aprendizado rápido e sistematizado	- Equipes autogerenciáveis - Cinco por quês - Programa de sugestões - 5S
			Foco comum	- Compromissos da Direção da empresa com os funcionários - Treinamento de todos na empresa e fornecedores nos princípios e ferramentas <i>lean</i> - Simplicidade na comunicação

Fonte: PICCHI (2003).

Comparando Womack e Jones (1998), Kostela (1992) e Picchi (2003), verifica-se uma correlação parônima entre os cinco princípios de Womack e Jones, com os elementos fundamentais de Picchi e os 11 elementos de Kostela, de modo a complementarem as ideias detalhando o foco da visão sobre os princípios do *Lean Thinking* na aplicação prática da filosofia da produção, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Comparações *Lean Thinking*.

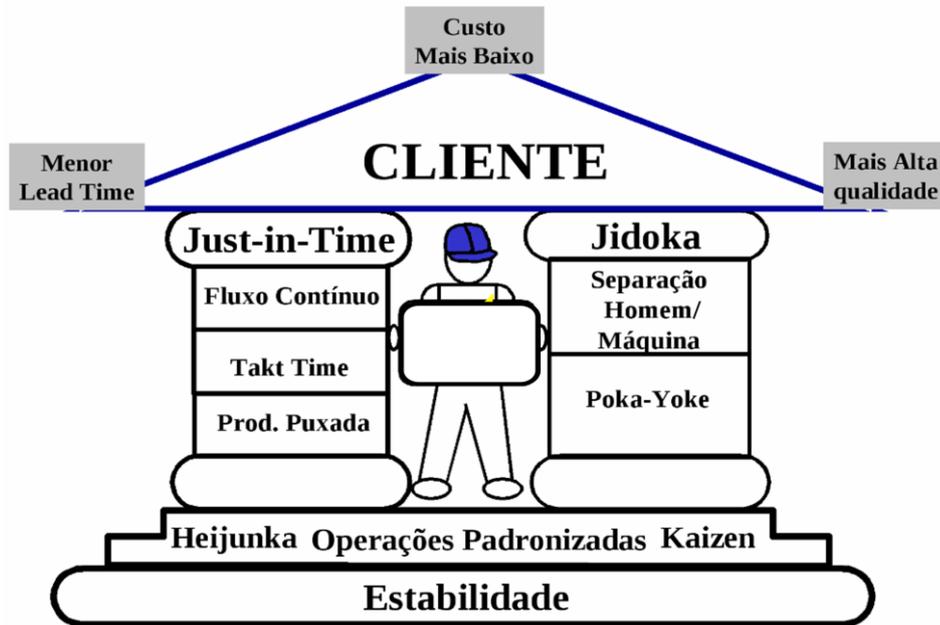
Cinco Princípios do <i>Lean Thinking</i> (WOMACK; JONES, 1998)	Elementos fundamentais	Onze Princípios para desenho de processos (KOSKELA, 1992)	
		Nível 1	Nível 2
VALOR	Pacote produto/serviço de valor ampliado	- aumentar o valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes	
	Redução de <i>lead times</i>	- reduzir o tempo de ciclo	
FLUXO DE VALOR	Alta agregação de valor na empresa estendida	- Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor	- simplificar através da redução de passos, partes e ligações - Focar o controle no processo global - Manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões
FLUXO	Produção em fluxo		- Reduzir a variabilidade
	Trabalho padronizado		- Aumentar a transparência do processo
PUXAR	Produção e entrega <i>just-in-time</i>		
	Recursos flexíveis	- aumentar a flexibilidade de saída	
PERFEIÇÃO	Aprendizado rápido e sistematizado	- Introduzir melhoria contínua no processo	- Fazer <i>benchmarking</i>
	Foco comum		

Fonte: PICCHI (2003).

2.3.2. A estrutura do Sistema Toyota de Produção

Segundo Ohno (1988) apud Yamauchi (2012), a figura da casa da qualidade é uma representação da estrutura do *Toyota Production System* (TPS), Sistema Toyota de produção (STP) com seus dois pilares *Just-in-time* e *Jidoka*. Parafraseando a idéia apresentada pela Figura 9, essa casa só consegue sustentação se for alicerçada em uma base sólida e consistente, assim como as colunas de sustentação, que é representado pelos pilares, oferecendo a perpetuação e aplicação do conceito ao longo do tempo sem que volte a estaca zero.

Figura 9: Os pilares do Sistema Toyota de Produção.

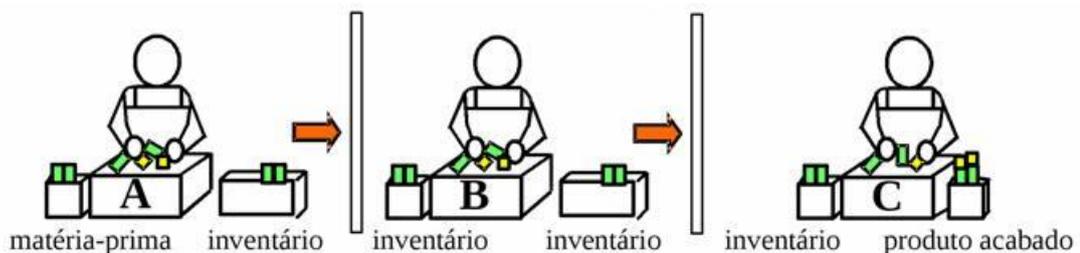


Fonte GHINATO (1996), (Adaptado).

2.3.2.1 Just-in-time

Segundo Ghinato (1996), o *Just-In-Time* (JIT) é uma ferramenta de abordagem estratégica e sistêmica, cuja expressão do idioma inglês significa “no momento exato”, assim cada processo deverá ser suprido com o item certo, na quantidade certa, no local certo e no tempo certo da utilização. A idéia de produção enxuta é percebida comparando se um processo tradicional, conforme Figura 10, onde entre cada processo ou operação existem sempre estoques de matéria-prima e produto semi-acabado ou acabado, dependendo do estágio onde se observa, aumentando consideravelmente os tempos para obtenção de uma peça acabada e recursos empregados.

Figura 10: Modelo tradicional – Tipo funcional.

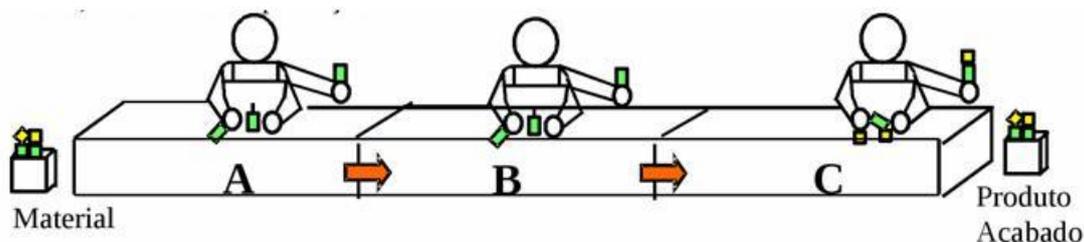


Fonte: Martins (2009), adaptado.

O mesmo autor acima, ainda explica que no JIT as operações ocorrem geralmente em um fluxo contínuo, puxado, sendo a peça conduzida de operação em operação, para cada operador que agregar valor ao item em produção recebendo a matéria-prima no momento

exato que a mesma atinge o estágio determinado, ou seja, o posto de trabalho, nota-se que existe apenas um ponto de partida com matéria-prima e uma saída para produto acabado, isso permite flexibilidade, controle, qualidade, produtividade e economia, acrescentado ao resultado final, assim é visto na Figura 11.

Figura 11: Fluxo unitário contínuo, no modelo JIT.



Fonte: Martins (2009), adaptado.

Slack (2009) nos faz lembrar que JIT “é definido como a movimentação rápida e coordenada de componentes ao longo do sistema de produção e rede de suprimento para atender a demanda do consumidor” completando a ideia do autor, é como uma filosofia e ao mesmo tempo um método para o planejamento avançado e controle das operações.

Sintetizando o raciocínio de Martins (2009), o JIT associa três elementos operacionais básicos que chegam a ser confundidos com o STP, são estes: Sistema puxado, o tempo da operação “*takt time*”, e o fluxo contínuo.

2.3.2.2 *Jidoka*

Segundo Baudin (2007) apud Martins (2009), menciona que a palavra *Jidoka* vem da língua japonesa e que é usada para referir-se à automação de tarefas na garantia de que a operação possa ser realizada com o mesmo nível de qualidade ao longo dos períodos de trabalho. É usada a palavra “automação” para uma tradução mais realística do significado original, que é a automação com toque humano, separando as atividades humanas das do ciclo da máquina, permitindo assim que a pessoa possa atuar em mais de uma máquina, operando-as sequencialmente.

Ainda Martins (2009) complementa que, o principal objetivo é reduzir ou eliminar a influência da pessoa no processo de realização da tarefa, usando uma programação para que a máquina realize as operações sem a necessidade de intervenção humana durante o ciclo, sejam automáticas ou detecção autônoma com dispositivos de segurança adequados à proteção do operador.

Ghinato (1996), afirma que embora exista automação não fica restrito apenas às máquinas “o conceito de automação tem muito mais identidade com a ideia de autonomia

do que com automação”, pois no STP ela é aplicada a linhas operadas manualmente e sempre preza pela interrupção do processo pela quebra do padrão de qualidade.

Liker (2005), cita que a “automação” remete a lembra das melhorias de Sakishi Toyoda para o tear automático, revolucionando a indústria têxtil, mas seu enfoque é a parada para resolução do problema que por ventura viesse a ocorrer, de forma que o mesmo não tornasse a ocorrer “ no caso das máquinas, acrescentamos dispositivos que detectam anomalias e automaticamente desligam o equipamento. No caso de seres humanos, damos lhes o poder de apertar botões ou puxar cordas”. Esta idéia está alinhada com Ghinato de forma a salientar a importância de não focar apenas as máquinas, mas sim de capacitar as pessoas a terem autonomia consciente e responsável no processo para resolução de problemas.

2.4. O método de inspeção e o Controle da Qualidade

Conforme Iman (1998) apud Calarge e Davanso (2003), o erro humano tem sido nos últimos 30 anos uma das grandes preocupações para os sistemas produtivos, onde a interferência e participação dos erros desta natureza estão entre 50% a 75% das falhas ocorridas, e as necessidades de controle e inspeção têm ficado a cada ano mais rigorosos, no intuito de garantir a confiabilidade do produto final.

Hirata (1993) apud Vidor (2010) relata que a inspeção é a atividade de comparação do elemento de saída de um processo com os padrões estabelecido pelo projeto do elemento, ou as definições pré-estabelecidas e documentadas. Onde quaisquer desvios da especificação são classificados como uma não conformidade ou produto não conforme. Firmando-se assim a necessidade de verificação, controle e análise do atendimento aos requisitos hora estabelecidos.

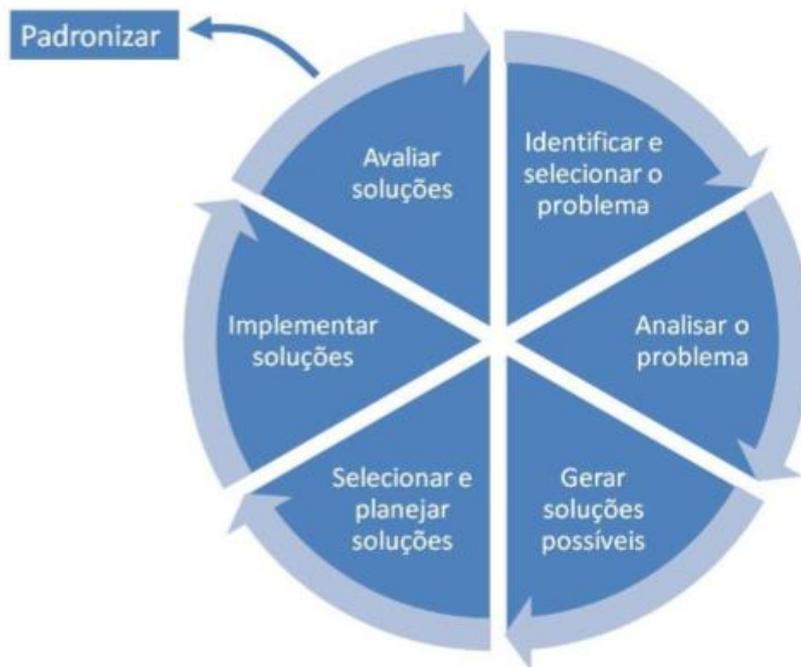
Conforme a norma ISO 16949, a definição de qualidade é o “grau de satisfação dos requisitos (necessidades ou expectativas) dado por um conjunto de características intrínsecas”, assim a qualidade baseia-se nos princípios da gestão, foco no cliente, a liderança e envolvimento das pessoas, abordagem por processos, abordagem da gestão como sistema, melhoria contínua, abordagem à tomada de decisões baseadas em fatos e a relação mutua e benéfica entre fornecedores, (TECHNICAL SPECIFICATION ISO/TS 16979:2009, 2009).

Sendo a inspeção um passo de verificação, e na hipótese de não atendimento, os dados são registrados e posteriormente uma estatística é gerada no intuito de analisar e tratar essas divergências.

2.5. Método de solução de problemas (MASP)

Conforme Hinckley (2006) apud Martins (2009), a metodologia MASP é composta de seis passos básicos para solução de qualquer problema, conforme ilustrado pela Figura 12.

Figura 12: Método de Solução de Problemas organizado em um ciclo



Fonte: Hinckley (2006) adaptado por Martins (2009).

Segundo Martins (2009), é comum que no início das análises tenham mais problemas do que o time consegue abordar e resolver, por isso é indicado três fatores principais para auxiliar na priorização e tratativa dos problemas, são estes:

Qual a frequência com que o fenômeno ou problema ocorre?

Que ou qual impacto o mesmo trará para o fluxo produtivo?

Que ou qual impacto para a empresa e para o consumidor dos produtos?

Quando o problema é selecionado, ele deve ser analisado para se identificar as causas-raiz e para se determinar se ele é resultado de desnecessária complexidade da tarefa, erros, ou variação no processo, cada um requerendo diferentes métodos de controle. Se o problema é a complexidade desnecessária, o produto ou processo é simplificado, se o problema é devido à variação, são aplicados os métodos tradicionais de controle da variação, e se o problema é um erro, deve-se desenvolver sistemas a prova de erros. Quando a causa de um problema tem sido atribuída a um erro, uma análise adicional facilita o desenvolvimento de soluções. (MARTINS, 2009, p. 71)

2.6. Dispositivos *poka-yoke*

Segundo Shimbun (1988), o *poka-yoke* está ligado ao STP nas experiências da *Toyota Motor Company* no intuito de obtenção de defeito zero na produção, inicialmente levou o nome de “*Baka-yoke*”, ou seja, a prova de bobeira em português. Posteriormente foi reconhecido como um termo pejorativo e ofensivo aos operários, onde foi mudado o termo “*Baka*” para “*Poka*”, ficando então a tradução para livre de falhas. Essas ligadas ao erro humano, pois eram vistas como as principais falhas.

Do ponto de Shingo (1996), *poka-yoke* são dispositivos que objetivam o aumento da eficiência da produção pela eliminação contínua de desperdícios. Estes possibilitam travar defeitos por meio da inspeção de todas as peças, gerando uma informação para tomada de decisão no caso de não atendimento dos padrões e especificações, de forma a permitir que essa informação ative a parada ou seleção da peça com desvio de qualidade sem depender da intervenção humana no processo onde está instalado.

Shingo (1986) apud Martins (2009), relata que os *poka-yoke* são sistemas a prova de erros que permitem a detecção de anomalias e fornecem retorno imediato de uma informação quando descoberto algum problema, e são classificados através de sua função regulatória

Segundo Calarge e Davanso (2003), na manufatura os *poka-yoke* auxiliam na prevenção de defeitos em um sistema produtivo, seja máquina, linha ou equipamentos em operação, também podem gerar um sinal que alimentará outro dispositivo conjugado a este que fará as intervenções em anomalias durante o controle das características pré-estabelecidas em um processo corrente, tendo como objetivo evitar, prevenir, impedir ou detectar os defeitos do produto. Adiante o mesmo autor cita que os erros podem ocorrer por âmbito técnico, por inadvertência ou premeditados.

Correlacionando os autores acima, todos são unânimes quanto ao conceito não permissão de erros, mudando apenas o nível de detalhamento da ferramenta e as funcionalidades da mesma.

Segundo Vidor (2010), que em seu estudo sobre a interpretação do conceito de *poka-yoke* relacionou que 63% das referências retratam que o mesmo é um dispositivo, outros 21% como procedimento, método ou técnicas e 16% concluiu que são sistemas de prevenção.

2.6.1. História e fundamentos do *poka-yoke*

Segundo Ohno (1988), o “*poka-yoke*” foi uma das invenções do fundador da Toyota, o Sr Sakichi Toyoda quando o mesmo, de uma idéia totalmente manual, utilizou-se de

tecnologia para automatizar um tear de sua fábrica, e assim criou o tear mecânico automático, seguindo o princípio *Jidoka*, cujo funcionamento era interrompido mediante a ocorrência de um problema, e mais tarde se tornou uma ferramenta chave no STP, produção enxuta, como uma das ferramentas imprescindíveis para a sustentação de todo este sistema.

No STP de acordo com Shingo (1986) apud Ghinato (1996), o Controle da Qualidade Zero Defeito (CQZD) não é considerado um programa e sim uma metodologia para identificar e tratar de forma eficaz os problemas detectados, eliminando a sua reincidência. Assim foram destacados quatro pontos para sustentação do CQZD, parafraseados na descrição abaixo.

1) Inspeção na fonte: é um método preventivo capaz de eliminar completamente a ocorrência, pois a função controle é aplicada na origem ao invés de ser no resultado.

2) Inspeção 100%: são inspecionados 100% dos produtos ao invés de inspeção amostral.

3) Reduzir tempo de reação: diminuição do tempo entre a descoberta e a aplicação de ações para sanar a anomalia.

4) Reconhecimento das fraquezas: e que as pessoas não são infalíveis, aplicando ferramentas de controle junto com a execução “*poka-yoke*”.

Conforme Martins (2009) apud Yamauchi (2012), e Calarge e Davanso (2003), os métodos de inspeção são divididos em três tipos:

A) Inspeções por Julgamento, que são aquelas que descobrem e revelam os defeitos.

Os produtos defeituosos passam por uma triagem e são separados dos conformes após o processamento, por meio da comparação em relação a um padrão conhecido, sem a efetiva diminuição do índice de defeitos no processo produtivo. Como exemplo ilustrado na Figura 13:

Figura 13: Exemplo de dispositivo para inspeção por julgamento (passa-não-passa)



Fonte: Digimess (2013).

B) Inspeções informativas, que ajudam na redução do defeito, pois, enviam uma informação ao processo produtor alertando sobre a falha e solicitando a correção adequada em

relação ao ocorrido, porém cabendo ao operador à responsabilidade de intervenção e correção, como mostrado na Figura 14.

Figura 14: Exemplo de dispositivo para inspeções informativas (Verificador de fadigas)



Fonte: Volkswagen (2013).

C) Inspeções na fonte, essas são as inspeções que eliminam os defeitos antes da fabricação de um item. Os *Poka-yoke* ou ferramentas a prova de falha, evitam a um sistema autônomo o sinal de ocorrência do defeito, uma mensagem instantânea, que por sua vez interpreta esse sinal, gera uma ação que impede que a anomalia seja gerada, conforme Figura 15.

Figura 15: Exemplo de dispositivo para inspeções na fonte (*memory stick slot*)



Fonte: Sony (2013)

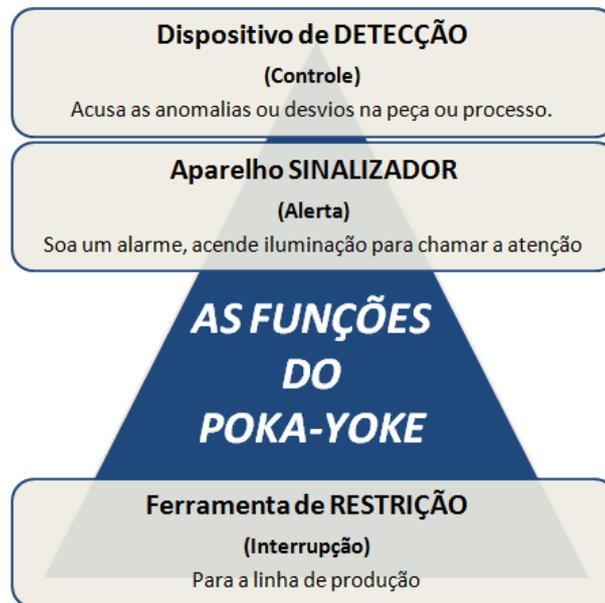
2.6.2. Classificação dos dispositivos *poka-yoke*

Conforme Moura e Banzato (1996) apud Calarge e Davanso (2003), relata que no processo de manufatura, os dispositivos *poka-yoke*, tem a função de interromper a operação, controlar ou alerta, caso haja algo fora do padrão.

Vidor (2010) classifica as funções ligando-as a essência ou propósito de atuação dos *poka-yoke* que determina o nível da restrição ou autonomia quanto à decisão do operador ou da máquina na interpretação do erro quanto a sua continuidade de produção, apenas alerta, detecta ou restringe.

Ambas as idéias dos autores são homônimas e enquadram-se na Figura 16.

Figura 16: Classificação de um dispositivo *Poka-yoke*, quanto às funções.



Fonte: Calarge e Davanso (2003), adaptado pelo autor.

Calarge e Davanso (2003) continuam abordando os mecanismos de detecção dos dispositivos e classifica-os em quatro métodos, conforme Figura 17.

Figura 17: Classificação de um dispositivo *Poka-yoke*, quanto aos métodos.

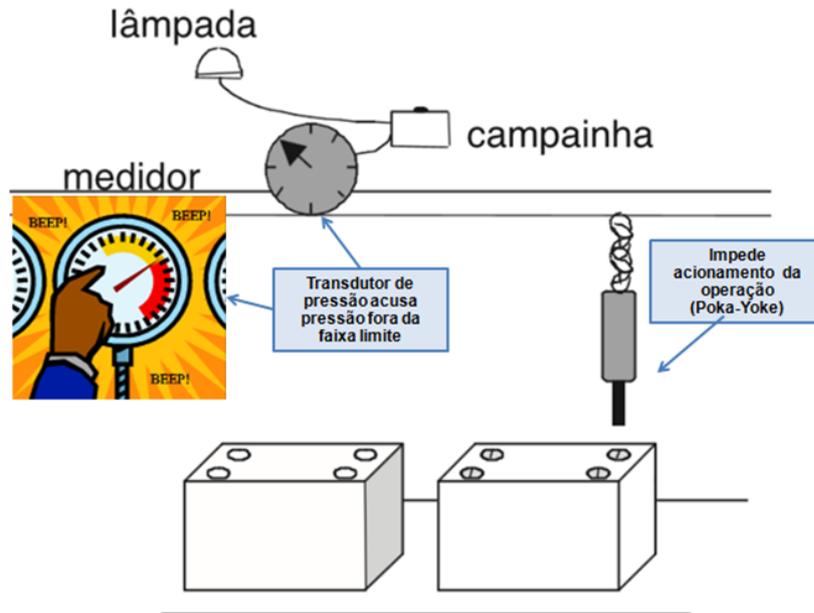


Fonte: Calarge e Davanso (2003), adaptado pelo autor.

2.6.2.1. Método de comparação

Neste método são utilizados dispositivos que permitam comparações de grandeza físicas, como dimensões lineares ou angulares, pressões, temperaturas, torque, velocidade e dureza, e então confrontando os resultados da leitura a um padrão conhecido de aceitação, um intervalo definido mínimo e máximo aceitável. O resultado será comparado ao padrão, e no caso de não atendimento há um alerta ou sinal de para ação para bloqueio da continuidade da operação ou segregação do produto, Figura 18.

Figura 18: *Poka-yoke*, método de comparação.

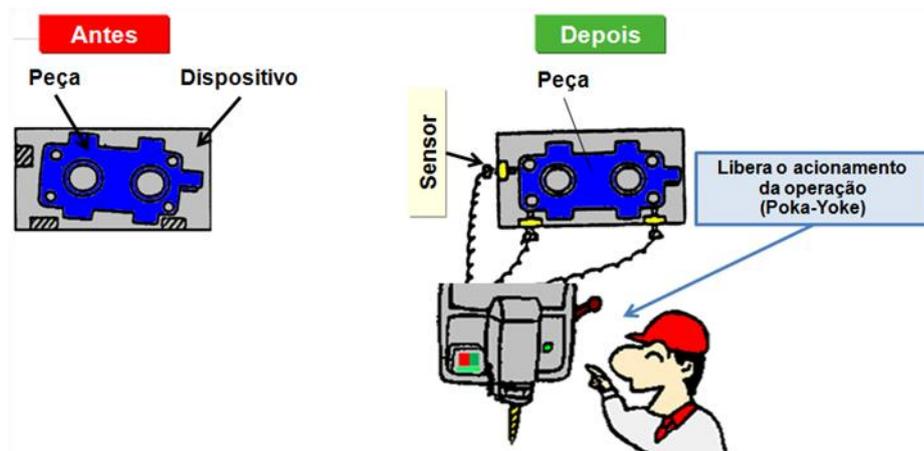


Fonte: Calarge e Davanso (2003), adaptado pelo autor.

2.6.2.2. Método de contato

Este método conta com dispositivos de detecção ou sinalizadores chamados de chave de contato ou sensores de presença, que geram um sinal, no caso de acionamento. Assim associados emitem uma informação à máquina que libera a operação para o processamento, Figura 19.

Figura 19: *Poka-yoke*, método de contato.

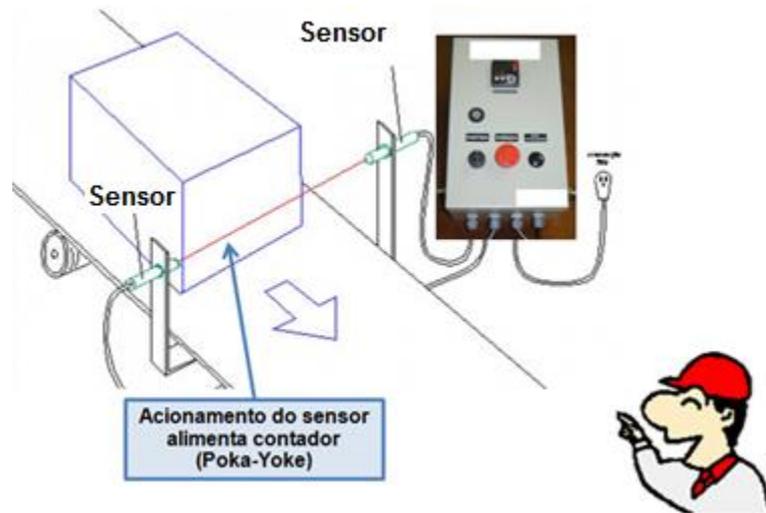


Fonte: Calarge e Davanso (2003), adaptado pelo autor.

2.6.2.3. Método de contagem

Este método utiliza-se de um dispositivo que detecta anomalias através da contagem numérica do número de movimentos que deve ser repetido durante uma operação, ou contagem física das quantidades de elementos necessários para a operação, Figura 20.

Figura 20: *Poka-yoke*, método de contagem.

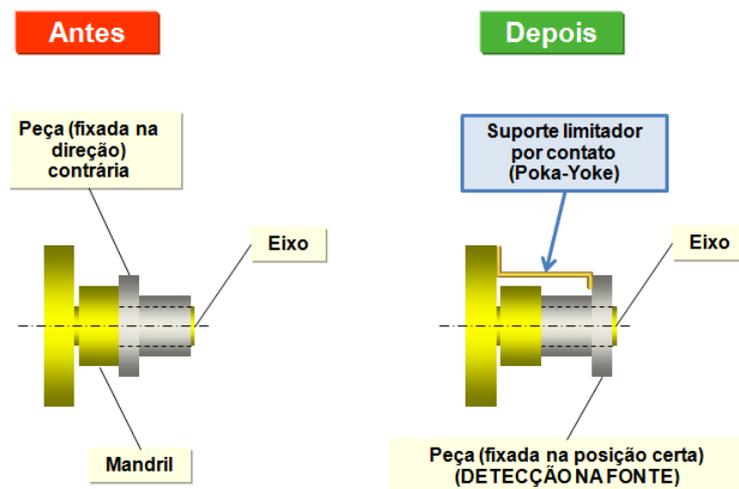


Fonte: Calarge e Davanso (2003), adaptado pelo autor.

2.6.2.4. Método de posicionamento

Este método permite que a operação seja conduzida pelo operador somente quando há o posicionamento correto do elemento, peça ou componente no conjunto onde o mesmo fará parte, impedindo fisicamente a montagem inadequada do componente, ou seja, permite apenas uma forma de montagem, a posição correta, Figura 21.

Figura 21: *Poka-yoke*, método de posicionamento.



Fonte: Calarge e Davanso (2003), adaptado pelo autor.

2.7. APQP - *Advanced Product quality Planning*

Conforme AIAG (2013), o processo APQP, em inglês “*Advanced Product quality Planning*” foi desenvolvido na final dos anos 80 por uma comissão das principais indústrias automobilísticas americanas, com o objetivo de analisar o estado de desenvolvimento e produção automotiva nos Estados Unidos, Europa e Japão. Baseada no planejamento da qualidade e satisfação do cliente, através da avaliação da melhoria contínua, garantindo fornecimento, prazo, qualidade e custo. É relatado que o mesmo serve como um guia no processo de desenvolvimento e também uma forma padrão para compartilhar resultados entre fornecedores e empresas do ramo automotivo. Tem como foco planejar antecipadamente a qualidade e determinar se os clientes estão satisfeitos avaliando os resultados e suportando melhorias contínuas, organizando a realização de todas as etapas do desenvolvimento, a partir da data do fechamento do contrato de fornecimento até o prazo para entrega da primeira produção. Além de compartilhar resultados entre fornecedores, as empresas devem fazer uma parceria, pois quanto mais cedo for o envolvimento dos fornecedores no projeto, maiores benefícios as empresas terão, devido ao conhecimento e experiência que possuem, podendo conduzir a melhorias no design do produto.

2.8. FMEA - *Failure Mode Effect and Analysis*

Segundo o manual de referência INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA (2008), FMEA é uma metodologia analítica viva utilizada para assegurar que os problemas potenciais tenham sido considerados e abordados, ao longo de todo processo de desenvolvimento de produtos e processos via APQP. O FMEA é um método qualitativo que contribui para a melhoria da confiabilidade, manutenção, disponibilidade, segurança de um produto, processo e meio de produção. E permite a tomada de ação antes do problema efetivamente acontecer, aumentando a chance de sucesso na liberação do produto para a produção seriada, além de reduzir tempo do que as ferramentas da qualidade que focam no problema já existente.

Conforme apostila de treinamento de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição, FMEA “*Failure Mode Effect and Analysis*”, análise dos modos de falha e seus efeitos, “é um grupo de atividades sistemáticas com a intenção de; reconhecer e avaliar falhas potenciais de um produto/processo e os efeitos desta falha” prevendo-as de forma a correlacioná-las a uma severidade. Também dar base para “identificar

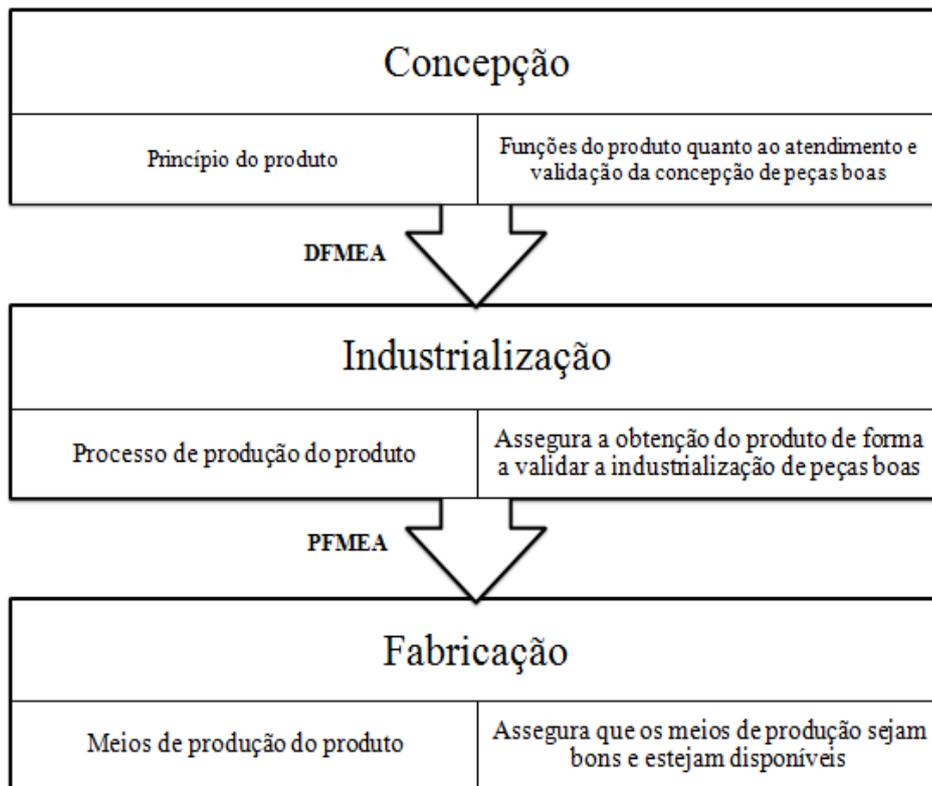
ações que possam eliminar ou reduzir a chance de falhas potenciais ocorrerem”, atuando assim na ocorrência dos fatos no processo e “documentar todo o processo”, uma análise crítica do processo ou produto ao qual será a saída desta ferramenta.

Conforme Toledo (2006), o FMEA pode ser realizado e aplicado nos seguintes casos:

- a) Na redução da probabilidade de falhas potenciais ou ocorrências em produtos ou processos já implementados;
- b) Na redução da probabilidade de falhas ou ocorrências potenciais em projetos de novos produtos ou de novos processos;
- c) Na melhoria de produtos ou processos já implementados levando em consideração as falhas já ocorridas;
- d) Na redução da probabilidade de ocorrerem erros e melhorar os procedimentos administrativos.

Segundo a AIAG (2008), o manual do FMEA pode ser utilizado tanto na fase de desenvolvimento do projeto, DFMEA “*Design Failure Mode Effect and Analysis*”, na fase de projeto conceitual e durante a fase onde há produtos em processo, PFMEA “*Process Failure Mode Effect and Analysis*”, Tabela 4.

Tabela 4: Tipos de FMEA por fase de desenvolvimento de produto.



Fonte: Calarge e Davanso (2003), adaptado pelo autor.

2.8.1. DFMEA – *Design Failure Mode Effect and Analysis*

Segundo AIAG (2008), o DFMEA visa descobrir falhas potenciais associadas com o projeto do produto baseada na especificação de desempenho, analisando onde possa ocorrer mau funcionamento do produto, encurtamento da vida útil, risco de segurança ao utilizar o produto.

Segundo Toledo (2006), O DFMEA considera as falhas que poderão ocorrer com o produto mesmo que as especificações do projeto sejam atendidas, assim como seu objetivo é antecipar se às falhas e elaborar ações para que o produto não apresente os efeitos decorrentes do projeto mal elaborado.

2.8.2. PFMEA– *Process Failure Mode Effect and Analysis*

Segundo AIAG (2008), o PFMEA visa descobrir falhas potenciais associadas com o produto, onde possa ocorrer impacto na qualidade do produto durante a fabricação, redução da confiabilidade, causar insatisfação do cliente ou oferecer riscos à segurança dos consumidores ou ambiental.

Conforme Toledo (2006), o PFMEA considera falhas no planejamento e execução do processo, com o objetivo de evitar a ocorrência ou possíveis falhas durante a fase de fabricação tomando como referencia não conformidades quanto ao não atendimento das especificações do projeto do produto. O mesmo ainda relaciona um terceiro tipo de análise de modo de falha, no âmbito administrativo, que é o FMEA de procedimentos. Este é menos comum, mas em alguns processos indispensáveis e seguem a mesma metodologia do PFMEA.

2.8.2.1. Formulário FMEA

Conforme manual de referencia de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição, a base para aplicação da metodologia é o formulário FMEA, sistematizando assim o modo de condução do trabalho a ser desenvolvido, conforme mostrado na Tabela 5. O formulário é extensível para todos os tipos de FMEA.

Tabela 5. Formulário de FMEA de processo 4ª edição AIAG

FMEA DE PROCESSO																			
Número da Peça (Cliente)	Rev./Data do Desenho	Nome da Peça		Número da FMEA		Página													
Preparado Por	Responsável pelo Processo			Cliente															
Organização	Modelo(s) / Ano / Veículo(s) / Aplicação			Número/Rev. Peça (Organização)															
Equipe				Aprovado Por	Data														
Observações				Data Início	Data Rev.	Data Início	Data Rev.	Data Início	Data Rev.										
Etapa do Processo e Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Classificação	Causa Potencial da Falha	Controles Atuais do Processo Prevenção	Corrência	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	N P R	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Ações Tomadas & Data de Efetivação	Severidade	Corrência	Detecção	N P R	Resultado das Ações

Fonte: AIAG (2008)

2.8.2.2. Funcionamento e desenvolvimento do PFMEA

Conforme Toledo (2006), descreve que “o principio da metodologia independe do tipo de FMEA” pois a essência do trabalho está nas pessoas que comporão o time e que “a análise consiste basicamente na formação de um grupo de pessoas que identificarão para o produto em questão suas funções e requisitos, os tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas destas falhas”, no caso, é esperado o envolvimento um representante de cada áreas da organização, chamadas equipes multitarefas ou multidisciplinares.

Conforme manual de referencia de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição, após estabelecimento do time, inicia-se o preenchimento do formulário com as informações do cabeçalho para a identificação do produto, análise das informações e estudo do processo, possibilitando identificar e levantar as informações do processo a ser trabalhado, seguindo os passos abaixo será possível realizar um PFMEA completo:

- 1) Identificação da etapa do processo a ser avaliada e as funções. A idéia é saber quem será analisado.
- 2) Declaração do requisito da função mencionada.
- 3) Estudo e levantamento dos possíveis modos de falhas com base na função ou requisito.
- 4) Estudo e levantamento dos efeitos para o modo de falha mencionado, assim como a pontuação de severidade do modo de falha para o processo e cliente.
- 5) Estudo e levantamento da causa potencial da falha, ou seja quais são as causas do modo de falha, assim como a pontuação da ocorrência delas no processo.
- 6) Constatação e evidências de quais controles atuais o processo dispõe para prevenção do modo de falha.
- 7) Constatação e evidências de quais controles atuais o processo dispõe para detecção do modo de falha, assim como a pontuação para o controle aplicado. Multiplicação dos índices severidade, ocorrência e detecção, colocando o resultado no campo NPR ao lado do campo de detecção do formulário.
- 8) Definição da ação requerida, que elimine a razão da ocorrência do modo de falha.
- 9) Eleição de um responsável e prazo para aplicação da ação.
- 10) Após prazo, verificação e validação para constatar a aplicação da ação no processo, registrando a evidência no formulário.

11) Uma nova avaliação é requerida para repontuar a ocorrência e detecção após a implantação da ação recomendada. As pontuações são obtidas realizando-se uma nova multiplicação dos índices conforme passo 7, porém, leva-se em consideração os novos índices do campo resultado das ações, assim, o novo valor encontrado é registrando no último campo à direita do formulário, Tabela 6.

Tabela 6: Fluxo de preenchimento do PFMEA

Número da Peça (Cliente)	Rev./Data do Desenho	Nome da Peça	Número da FMEA	Página			
					Severidade	Ocorrência	N P R
Número da Peça (Cliente)	Rev./Data do Desenho	Nome da Peça	Número da FMEA	Página	Resultado das Ações	11) Nova avaliação das pontuações após ação tomada	
					Ações Tomadas & Data de Efetivação	10) Evidência da ação tomada	
					Responsável e Prazo	9) Direcionamento para ação	
					Ações Recomendadas	8) Quais medidas podem ser tomadas para atenuar os riscos?	
					Controles Atuais do Processo Detecção	7) Quais medidas para descobrir a falha no produto? • Qual a detecção ou controle?	
					Controles Atuais do Processo Prevenção	6) Quais medidas de prevenção são adotadas no processo?	
					Causa Potencial da Falha	5) Quais poderiam ser as causas do modo de falha? • Qual a frequência da ocorrência dessas causas?	
					Efeito Potencial da Falha	4) Que efeitos tem este tipo de falha? • Qual a severidade deste efeito	
					Modo de falha Potencial	3) Como a função ou característica pode não ser cumprida?	
					Requisitos	2) Quais funções ou características devem ser atendidos?	
					Etapas do Processo e Função	1) Quem está sendo analisado?	

Fonte: AIAG (2008)

2.8.2.3. Tabelas de classificações para severidade, ocorrência e detecção

Conforme manual de referencia de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição, as severidades, ocorrência e detecção devem ser pontuadas com base em suas respectivas tabelas apresentadas nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7: Tabela de Severidade para FMEA de processo

Severidade	Critério		Índice
	Efeitos para os clients	Efeito para manufatura/montagem	
Perigoso sem avisos	Ranking de severidade muito alto quando um efeito de modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo	Pode colocar o operador em risco sem avisos	10
Perigoso com aviso	Ranking de severidade muito alto quando um efeito de modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera com avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo	Pode colocar o operador em risco com avisos	9
Muito Alto	Sistema inoperável (perda da função primária)	100% do produto possivelmente deverá ser jogado fora, ou produto devera ser reparado no departamento devido com um tempo maior que 1 hora	8
Alto	Sistema operável porém em um nível de performance reduzido	O produto deverá ser desmontado e classificado e uma porção dele jogada fora ou produto devera ser reparado no departamento devido, com um tempo entre meia hora e 1 hora	7
Moderado	Sistema operável porém com itens de conforto/conveniência inoperáveis. Cliente insatisfeito	Uma porção do produto deverá ser jogada fora sem necessidade de desmontá-lo e classificá-lo ou produto devera ser reparado no departamento devido, com um tempo menor que meia hora	6
Baixo	Sistema operável porém com itens de conforto/conveniência operáveis em um nível reduzido de performance. Cliente um pouco insatisfeito	100% do produto deverá ser retrabalhado ou o produto deverá ser reparado fora da linha de produção mas não precisa ir para o departamento de reparos	5
Muito baixo	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%)	Um produto deverá ser desmontado e classificado e uma porção dele deverá ser retrabalhado	4
Mínimo	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado pela metade dos clients	Uma porção do produto deverá ser retrabalhada dentro da linha, mas fora da estação	3
Quase nulo	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado por poucos clientes (menos que 25%)	Uma porção do produto deverá ser retrabalhada dentro da linha, mas dentro da estação	2
Nulo	Nenhum efeito	Nenhum efeito ou pequenos inconvenientes para o operador	1

Fonte: AIAG 2008

Tabela 8: Tabela de ocorrência para FMEA de processo

Probabilidade	Probabilidade de falha	Índice
Muito Alto: A falha é quase inevitável	≥ 1 em 10	10
Alto: muitas falhas	1 em 20	9
	1 em 50	8
	1 em 100	7
Moderado: falhas ocasionais	1 em 500	6
	1 em 2.000	5
	1 em 10.000	4
Baixo: poucas falhas	1 em 100.000	3
	1 em 1.000.000	2
Remota: A falha é improvável de ocorrer	Falhas eliminadas através de controles preventivos (Poka-Yokes)	1

Fonte: AIAG 2008.

Tabela 9: Tabela de detecção para FMEA de processo

Detecção	Critério	A	B	C	Alcance sugerido para métodos de detecção	Índices
Nula	Absoluta certeza de não detecção			X	Não pode detectar ou não é checado	10
Muito Remota	O controle provavelmente não ira detectar			X	O controle é executado com checagens indiretas ou aleatórias	9
Remota	O controle tem uma chance pequena de detecção			X	O controle é executado apenas com inspeção visual	8
Muito Baixa	O controle tem uma chance pequena de detecção			X	O controle é executado apenas com dupla inspeção visual	7
Baixa	O controle pode ou não detectar		X	X	O controle é executado com representações gráficas, como controle estatístico do processo, por exemplo.	6
Moderada	O controle pode ou não detectar		X		O controle é baseado em uma variável a ser medida após as peças terem saído da estação ou medição do tipo passa não passa em 100% das peças após elas terem saído da estação.	5
Moderada/alta	O controle tem uma boa chance de detector	X	X		Detecção de erros em operações subsequentes ou medição feita na montagem (para causas relativas à montagem)	4
Alta	O controle tem uma chance boa de detector	X	X		Detecção de erros dentro da estação ou detecção de erros em operações subsequentes por camadas múltiplas de aceitação; Suprimentos, seleção, instalação e verificação. Não se pode aceitar partes discrepantes	3
Muito alta	É quase certeza que o controle irá detector	X	X		Detecção do erro dentro da estação (medição automática com parada automática). Não pode passar partes discrepantes	2
Muito alta	O controle irá detector	X			Partes discrepantes não podem ser feitas porque o item foi imunizado a erros devido ao projeto ou processo do produto	1
Legenda: A) Fortalecido contra erros B) Medições C) Inspeções manuais						

Fonte: AIAG 2008.

2.8.2.4. Pontuações de severidade, ocorrência e detecção

Segundo Toledo (2006), as pontuações para os índices são encontradas com base nas tabelas 7, 8 e 9. Sendo que para severidade, é obtido conforme enquadramento dos critérios ao efeito potencial da falha. O resultado da classificação é o índice de severidade para o efeito do modo de falha mencionado.

Para a ocorrência, leva-se em consideração a frequência com que o efeito do modo de falha acontece, e com base na tabela de critérios para ocorrência, correlaciona-se o índice do campo.

Com base no equipamento utilizado para detecção do modo de falha, observa-se o atendimento dos mesmos aos alcances sugeridos para este método de detecção e assim obtém-se o índice para a detecção.

Na sequência faz-se uma multiplicação dos índices severidade, ocorrência e detecção, onde obtendo-se um resultado, este valor é registrado no campo NPR.

2.8.2.5. Classificação para tomada de ação

Conforme manual de referência de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição, as ações requeridas são mandatórias quando, a severidade for sinalizada com 9 ou 10, as ações recomendadas são mandatórias para este índice e deverão ser aplicadas, a fim de redução ou atenuação da severidade do risco.

O manual de referência de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição sugere não adotar uma nota de corte, a fim de não negligenciar a severidade do efeito potencial da falha. Assim as empresas devem tratar as maiores pontuações dos modos de falha.

2.8.2.6. Plano de ação

Conforme descrito na ISO 16949 (2009), em seus itens 8.5.2 e 8.5.3, onde é tratado a questão de ação corretiva e ação preventiva “a organização deve definir ações para eliminar as causas de não-conformidade potenciais de forma a evitar sua ocorrência ou repetição”. Estas ações devem ser apropriadas aos efeitos do problema potencial.

2.9. Relação do Poka-yoke e FMEA com as normas de gestão da qualidade

A ISO 16949 é um documento que contém recomendações de práticas da indústria automotiva, exemplos, ilustrações e explicações, de forma a fornecer ajuda na aplicação desta especificação técnica no alcance da conformidade aos requisitos por ela pregada (IATF, 2013).

Conforme descrito na ISO 16949 (2009), em seu item 8.5.2.2. “a organização deve usar métodos à prova de erro no seu processo de ação corretiva”, esta preocupação objetiva eliminar a causa de uma não conformidade; Pode ser empregada em duas fases do ciclo de vida do produto, que é durante o planejamento ou projeto do produto/processo ou durante a fase de produção como melhoria contínua ou ação corretiva, de tal modo a não permitir uma nova ocorrência.

Segundo a VDA 6.3 (2010), o requisito P 6.2.3 nos exemplos de aplicação é tratado sobre soluções poka-yoke e métodos para garantia de atendimento dos requisitos do cliente. No requisito P 6.2.4. também é citada a metodologia *poka-yoke*, mas o enfoque é sobre as características especiais na produção, tratada no exemplo de aplicação como evidência o PFMEA.

Segundo o manual QSB, em sua estratégia 8 aborda com enfoque especial a questão do processo de redução de riscos, assim como a análise dos modos de falhas e seus efeitos e dispositivos a prova de erros, de modo a assegurar efetiva redução dos riscos do processo e garantia de funcionamento dos dispositivos a prova de erros, (Interaction Plexus e General Motors, 2007).

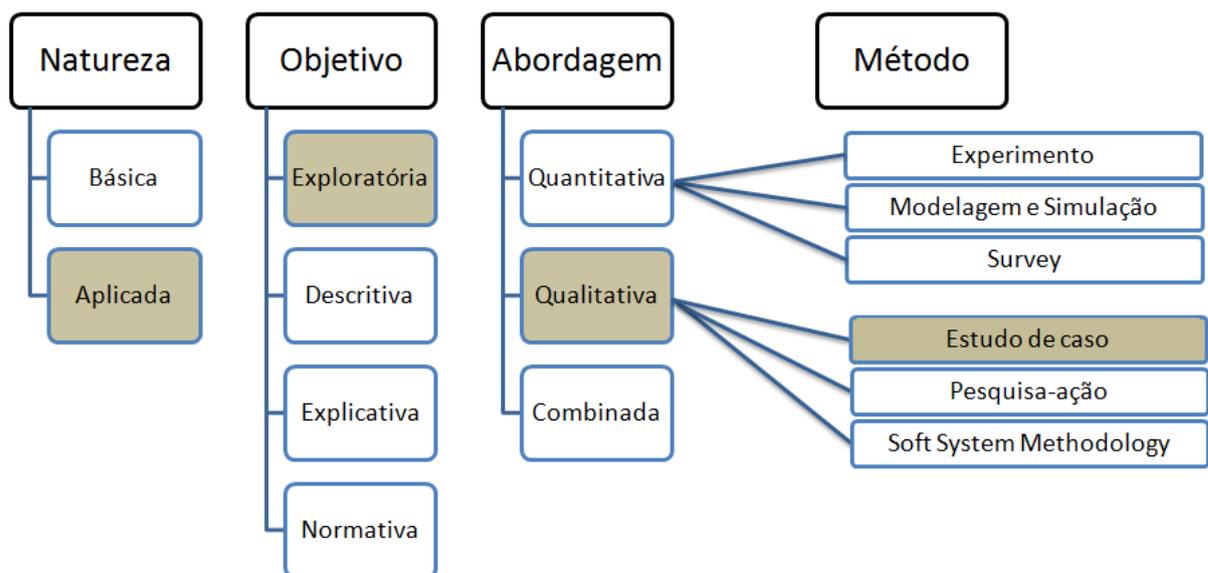
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo apresentar a classificação deste trabalho segundo a metodologia científica de pesquisa em Engenharia de Produção, os sistemas produtivos da empresa, assim como relatar e demonstrar os passos para a aplicação de um *Poka-yoke* como ação resultante da metodologia FMEA, focando o potencial de falhas no processo produtivo da expedição, estocagem e separação de produtos para carga. Apresentando o problema de falha na identificação das embalagens para exportação de peças em uma empresa transformadora de plástico para o setor automobilístico.

3.1. Metodologia da pesquisa

Quanto à sua natureza enquadra-se à pesquisa aplicada com objetivo exploratório e de abordagem qualitativo, sendo um método de estudo de caso, por Gil (2006), descrito como “procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”, que também foi abordado por Miguel (2010), correlacionando que a pesquisa proporcionará maior familiaridade com o problema e tornará mais explícito para construção ou aprimoramento de idéias, identificando os fatores que contribuirão para a ocorrência do fenômeno, ilustrada pela Figura 22.

Figura 22: Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção



Fonte: Miguel (2010), Adaptado pelo autor.

A proposta é o levantamento dos dados do PFMEA quanto às pontuações do NPR, a revisão do PFMEA conforme metodologia, aplicação do *poka-yoke* como uma ação resultante

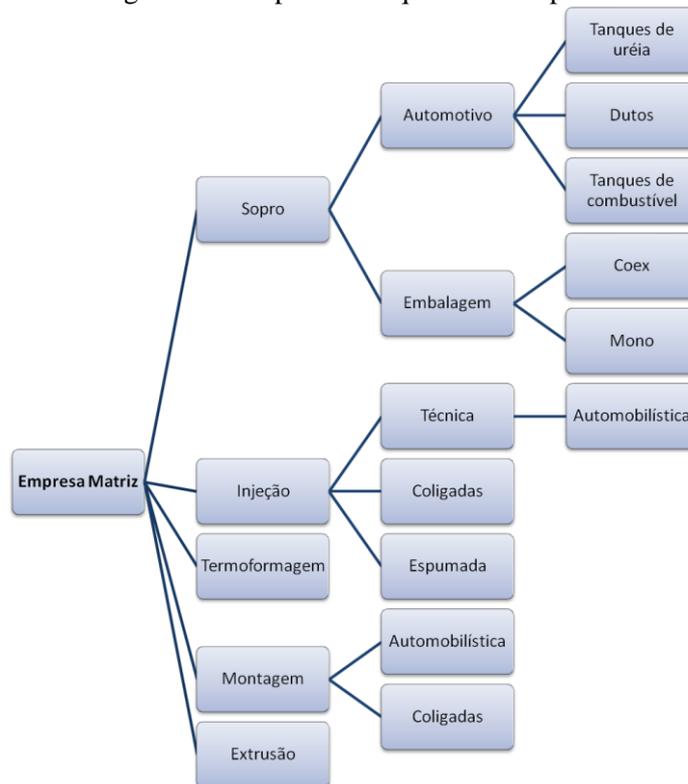
do PFMEA revisado e retroalimentação e acompanhamento da validação dos casos na linha, com a revisão das pontuações após a implantação da ação.

3.2. Sistemas produtivos da empresa

A empresa possui várias plantas de produção, denominados também de *sites*. Na planta matriz, encontram-se os processos de sopro, injeção, injeção espumada, extrusão e termoformagem, e também recebendo produtos acabados (PA) das plantas de rotomoldagem, cerâmica e borracha. Armazenando em um pequeno pulmão de peças no seu estoque de PA para sequenciamento das entregas aos clientes.

As linhas de produção são divididas em grupos de máquinas de acordo com o tipo de transformação que cada uma oferece, conforme Figura 23.

Figura 23: Grupos de máquinas da empresa



Fonte: Adaptado pelo autor.

O foco deste estudo será avaliar o setor de sopro automotivo ou automobilístico que produz dutos para direcionamento de ar dos painéis de caminhões.

Mantendo a linha em atuação desde 2005, quando recebeu de seu cliente cerca de 130 moldes para continuação do processo de fornecimento, devido à transferência de ferramental do outro fornecedor que perdeu o pacote de trabalho. Culminando em um trabalho árduo e extenso para adequação dos projetos, processos e ferramental às máquinas da empresa em estudo.

3.3. Passos para aplicação do Poka-yoke

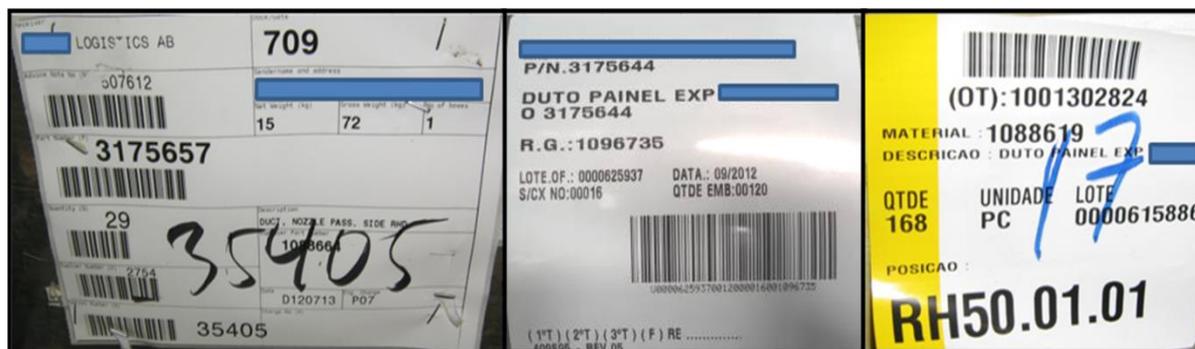
Para que seja possível a aplicação da ferramenta proposta, é necessário o seguimento dos passos descritos a seguir para melhor robustez do sistema ou solução final.

3.3.1. Identificação da situação problema

Na fase inicial de projeto e desenvolvimento do produto, o cliente sinalizou a necessidade de identificação das caixas conforme seus requisitos específicos, o que implicaria para a empresa fornecedora no setor de expedição, a colocação de uma etiqueta a mais nas caixas dos produtos, denominada “*Odette label*”, utilizada globalmente no intuito de padronização do sistema de leitura para recebimento das peças.

Internamente, eram utilizadas a etiqueta UNI, com a finalidade de identificar o produto no processo produtivo e a OT, que fornece apenas o endereçamento para guardar o produto no estoque de PA, conforme Figura 24.

Figura 24: Modelo das etiquetas *Odette label*, UNI e OT respectivamente.



Fonte: Próprio autor.

Anos mais tarde, ocorreram falhas no processo de etiquetagem que só foram descobertas pelo cliente automotivo durante a montagem do veículo. Foram encontradas peças no interior da caixa divergente da informação contida na etiqueta de identificação *Odette label*, as etiquetas UNI e OT, estavam condizentes com o produto embalado.

Tal fato gerou impactos para a linha de montagem, como parada por falta de componente, saída de veículo incompleto, retrabalhos, e quando existe pequena diferença na geometria na peça, corre-se o risco de que ela seja montada no veículo, e este erro somente ser percebido pelo consumidor final do produto, após sua compra. No caso, se este produto fosse um item de segurança, agrava ainda mais os impactos para a empresa fornecedora, pois geraria um *recall* para substituição do produto em campo.

3.3.2. Análise do problema

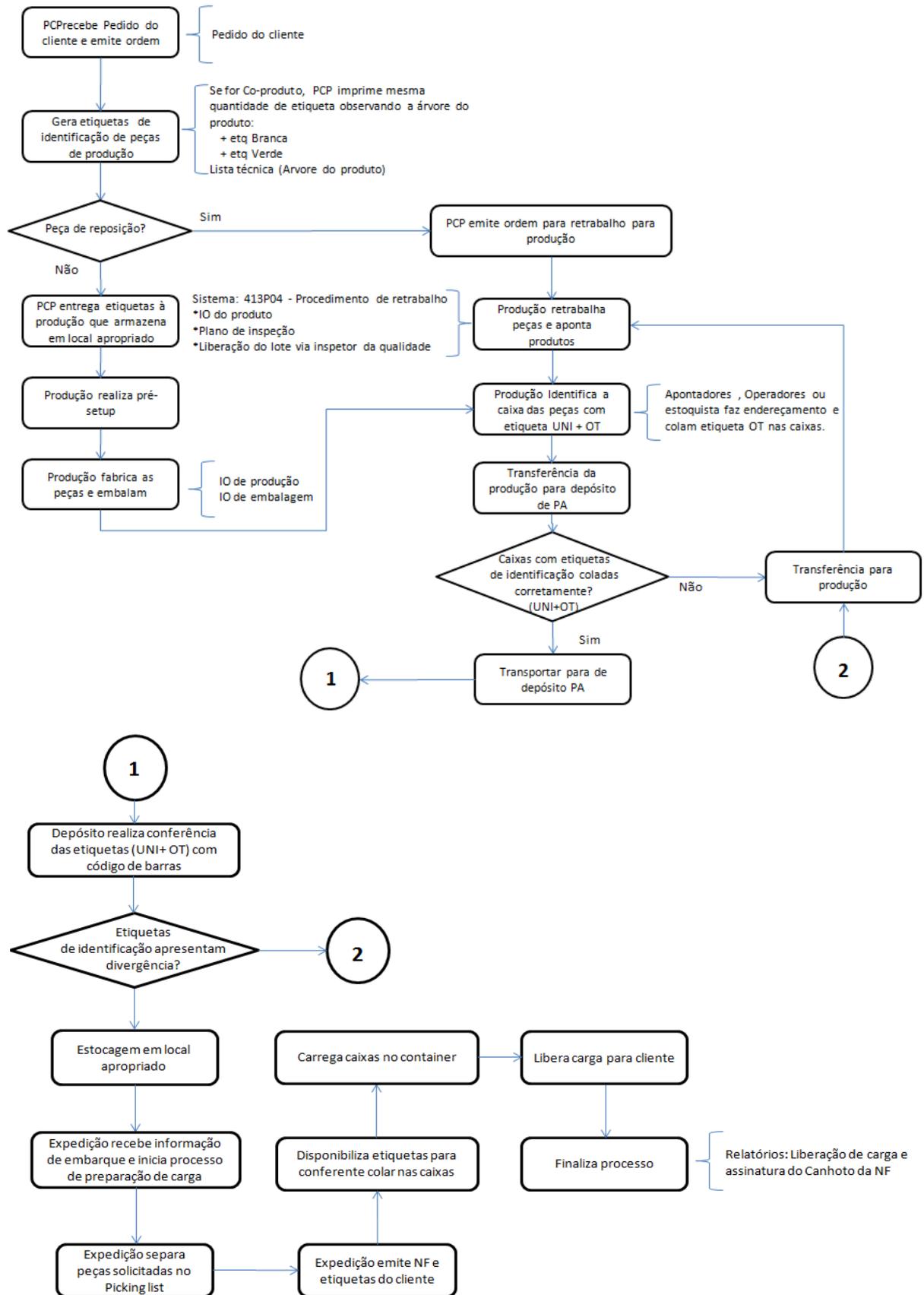
Um dos principais passos para solucionar problemas é fazer uma delimitação e entendimento minucioso após sua seleção.

Esta análise dará maior certeza para se identificar a sua causa-raiz, ou seja, a causa principal pelo qual o problema ocorre. Isto ocorre através do trabalho em equipe realizado por um grupo multifuncional.

As potenciais causas devem ser estudadas detalhadamente através de abordagens da metodologia de análise e solução de problemas (MASP), análise e mapeamento do fluxo de informações.

Analisando o fluxo das peças, percebe-se que, são produzidas nos seus respectivos centros ou processo de produção mediante a um pedido do cliente, através de uma ordem de produção (OP). Depois de produzidas, seguem para o estoque de produto acabado (PA). Durante o processo de expedição, elas passam por um processo de separação e etiquetagem manual, assim que terminado este último passo, as peças são carregadas no container para seguir rumo ao cliente, finalizando o processo, conforme Figura 25.

Figura 25: Mapeamento do fluxo de produção, início do projeto.



Fonte: Próprio autor.

Observou-se que durante uma das fases do APQP, na realização do PFMEA, o grupo abordou superficialmente o processo de estocagem, deixando os processos de separação, identificação e expedição sem as análises críticas dos modos de falhas possíveis. Os problemas levantados não foram submetidos a uma metodologia para solução de problemas, que identificasse sua causa raiz e gerasse ações para correção.

O formulário preenchido do PFMEA, referindo-se a análise realizada no início do projeto para o processo mencionado, pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10: PFMEA realizado no início do projeto.

Etapa do Processo e Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial de Falha	Severidade Classificação	Causa Potencial da Falha	Controles Atuais do Processo Prevenção	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	N P R	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultado das Ações		
													Ações Tomadas & Data de Efetivação	Severidade	Ocorrência
Estocar produto acabado adequadamente		Não armazenar produtos em local adequado	Sujar o produto	4	Falta de área para estocagem	Proc Armazenagem, preserv, manuseio e embalagem 415P02	1	Area de estocagem com sistema informatizado	2	8	Nenhuma				
			Danificar a embalagem e/ou produto	4	Falta de identificação na embalagem	Proc identificação da resina e do produto 408P02	2	Area de estocagem com sistema informatizado	2	16	Nenhuma				

Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

3.3.3. Gerar as soluções possíveis

Após serem analisados os fluxos de informações da produção, uma nova revisão de PFMEA foi realizada para reavaliar e registrar os possíveis modos de falhas não abordados no início do projeto nas operações de Estocagem, Separação (*packing list*) e Expedição, incluindo recálculo das pontuações.

Conforme ilustrado na Tabela 11, tem-se que para a etapa do processo estocar produto acabado adequadamente, o modo de falha é não armazenar produtos em local adequado. O efeito da causa é sujar o produto. Conforme Tabela 7, este modo de falha é classificado como uma severidade moderada, pois o efeito para o cliente é uma insatisfação e para o processo, pode ser que um produto danifique e na sequência uma parte seja descartada, assim recebe 6.

Posteriormente foi registrado que a causa é a falta de área para estocagem e a ocorrência observada é na proporção de uma em 2000, ver Tabela 8, recebendo o índice 5. Para prevenção usa-se um procedimento e para controle usa-se sistema informatizado, porém é um sistema informativo e depende da observação visual, e conforme Tabela 9, recebe o índice 8. Para gerar o NPR multiplicam-se os três números da pontuação (6, 5 e 8) que gerará o NPR 240, faz-se isso para todos os efeitos.

Tabela 11: PFMEA realizado conforme manual de referência AIAG.

FMEA DE PROCESSO															
Número da Peça (Cliente)		Rev./Data do Desenho		Nome da Peça		Número da FMEA		Página							
Preparado Por		Responsável pelo Processo		Causa Potencial da Falha		Cliente		Número/Rev. Peça (Organização)							
Organização		Modelo(s) Ano / Veículo(s) / Aplicação		Classificação		Número/Rev. Peça (Organização)		Aprovado Por		Data					
Equipe				Severidade		Data Início		Data Rev.		Data Chave					
Observações															
Etapas do Processo e Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Classificação	Causa Potencial da Falha	Controles Atuais do Processo Prevenção	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultado das Ações		
													Ações Tomadas & Data de Efetivação	Ocorrência	Detecção
Estocar produto acabado e adequament	Armazenar produtos em local coberto, e longe de intermperies ou pontos que ofereçam riscos à embalagem e ao produto.	Não armazenar produtos em local adequado	Sujar o produto	6	8	Falta de área para estocagem	Proc Armazenagem, preserv, manuseio e embalagem	5	Área de estocagem com sistema informatizado	240					
	Conferir e armazenar embalagens nos locais determinados pela OT	Armazenar produtos sem etiqueta de identificação	Danificar a embalagem e/ou produto	8	8	Falta de identificação na embalagem	Proc identificação da resina e do produto 408P02	6	Área de estocagem com sistema informatizado	288					
Separação de cargas (Picking)	Impressão de etiqueta conforme processo	Imprimir etiqueta de cód errado	Identificar errado	4	4	Falta de cumprimento dos procedimentos	Proc identificação da resina e do produto 408P02	3	Visual	105					
	Separar produtos conforme picking list	Separar produtos conforme picking list	Retrabalho	4	4	Baixa aderência da etiqueta	Visual	3	Visual	105					
			Retrabalho	5	5	Falta de padronização do local das etiquetas	Chivo técnico do processo (SAP)	3	Visual	105					
Identificação e conferência de Cargas	Colar Etiqueta Odete na caixa do produto conforme código	Colar etiqueta de código diferente	Parada de linha	8	8	Falta de atenção ou não cumprimento do procedimento 415P03	Procedimento 415P03	5	Visual	320					
	Conferir cargas confrontando etiquetas	Colar etiqueta em local não apropriado	Dificuldade de leitura pelo conferente	5	5	Não cumprimento da IO	Instrução operacional	5	Visual	200					
Expedição e faturamento dos produtos		Não conferir carga	Parada de linha	8	8	Falta de atenção ou não cumprimento do procedimento 415P03	Procedimento 415P03	6	Visual	384					
	Emittir NF após confierência OK	Emittir NF sem confierência das etiquetas	Parada de linha	8	8	Falta de atenção ou não cumprimento do procedimento 415P03	Procedimento 415P03	6	Visual	384					

Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

A partir da revisão dos modos de falhas conforme manual de referência gerou-se as soluções para inibir as causas principais para o problema.

Como resultado deste processo, verificou-se que as bases de dados das ferramentas do sistema informatizado SAP (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*), Sistema Legado e SIEX (Sistema Integrado de Exportação) não se comunicavam e não realizavam para bloqueio ou travamento de erros, mediante as divergências.

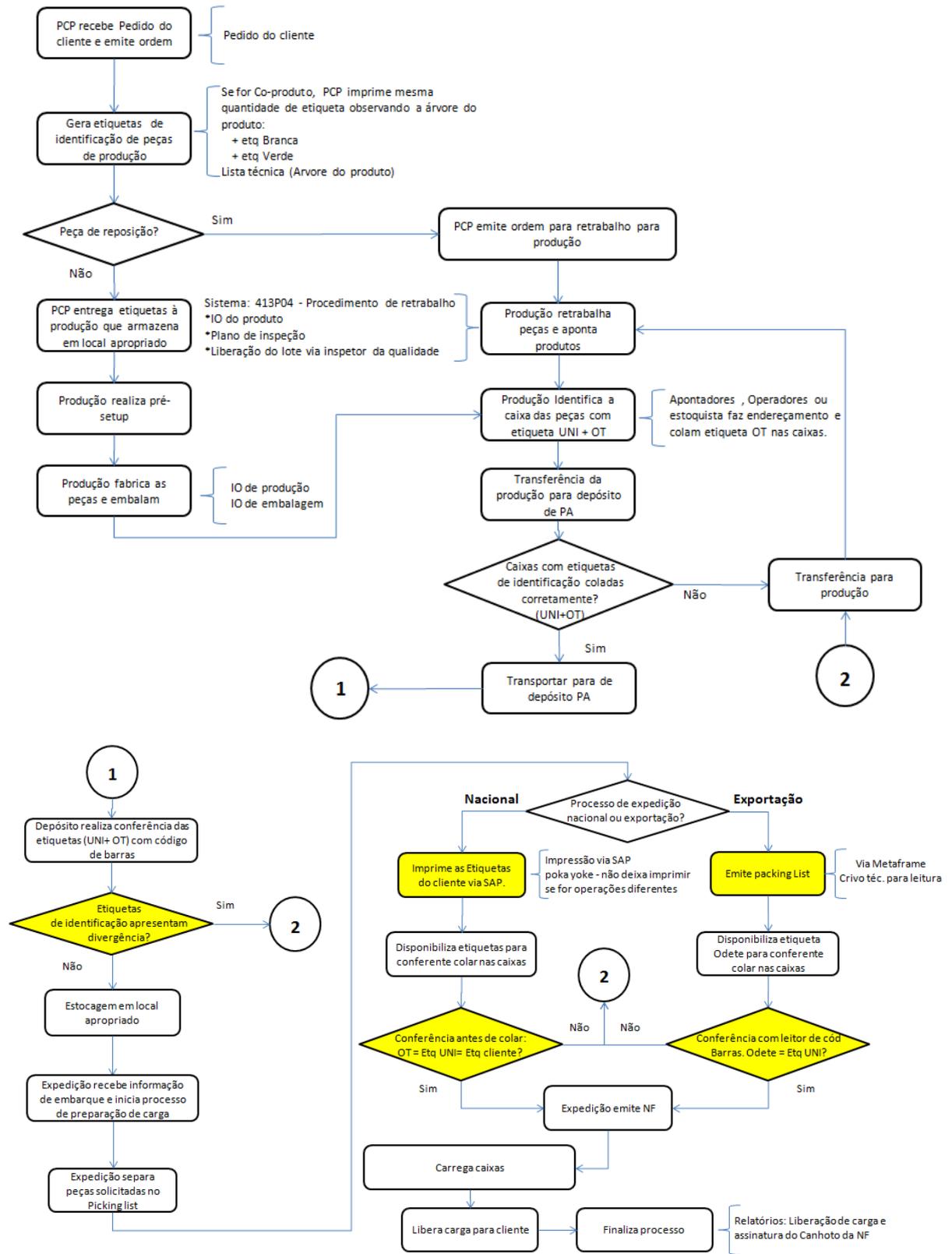
Para solucionar os pontos falhos no fluxo do processo, foi necessário revisar as informações e atividades realizadas no setor expedição, comparou-se a condição inicial, Figura 25 com condição ideal proposta na Figura 26.

Os principais pontos melhorados foram:

- a) Inclusão de rotinas de validação de informações das etiquetas nos pontos destacado e sinalizados em amarelo no fluxo;
- b) Separação dos processos em dois caminhos distintos, Nacional e Exportação;
- c) Definição das responsabilidades do funcionário em cada uma das etapas do processo para padronização e suporte na atuação do *poka-yoke* nos processos de separação, etiquetagem e expedição;
- d) Garantia de que o produto, no caso a carga, só tenha um caminho para seguir caso esteja em conformidade.

Este mapeamento também foi transformado em um procedimento para treinamento e orientação aos novos entrantes, ou seja, serviu como base para que a informação não se perca ao longo do tempo.

Figura 26: Mapeamento do fluxo de produção, revisado.



Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

3.3.4. Selecionar e planejar a solução

Conhecendo a causa raiz, e com as possíveis soluções em mãos, o time focou na possibilidade de atingir melhores resultados para o setor, como: robustez da ação, aplicação e limitações técnicas do processo.

Assim, optou-se por um *poka-yoke* com método de restrição, utilizando-se dos programas existentes e realizando uma programação lógica entre eles, ou seja, interligação dos bancos de dados para que permitam comparações técnicas entre os códigos de barras e crivo técnico, no caso de não existir igualdade de parâmetros, portanto, o próprio sistema emitirá um sinal para bloqueio da carga através do sistema de emissão de notas, que impede a impressão da Nota Fiscal, conseqüentemente a carga não pode ser expedida.

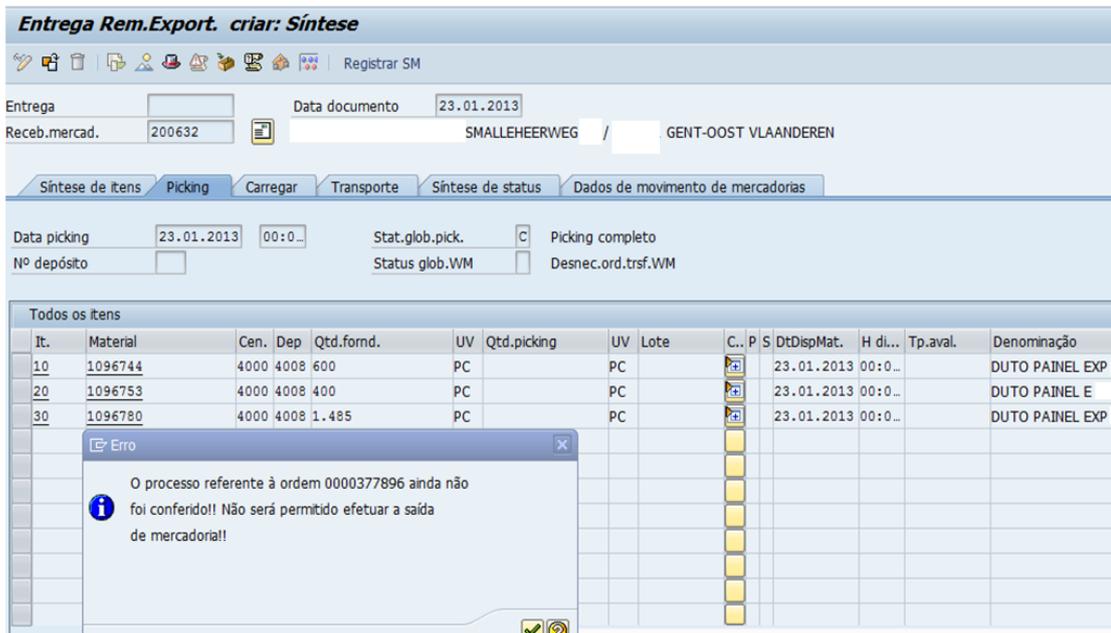
Uma breve descrição da solução a ser implantada é adicionada o campo ações recomendadas e um responsável e prazo são para efetivação no formulário PFMEA (*Process Failure Mode Effect and Analysis* - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos no Processo) no campo apropriado para registro e monitoramento

3.3.5. Implantar a solução

Depois de realizada a programação lógica dos sistemas SAP (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*), SIEX (Sistema Integrado de Exportação) e Legado, onde foram incluídas as linhas para comparação dos códigos e rotinas de bloqueio das operações de faturamento e expedição dos produtos, uma breve descrição da solução implantada é adicionada na folha de PFMEA no campo apropriado para comprovar a implantação e aplicação da solução no processo.

3.3.6. Avaliar e validar a solução

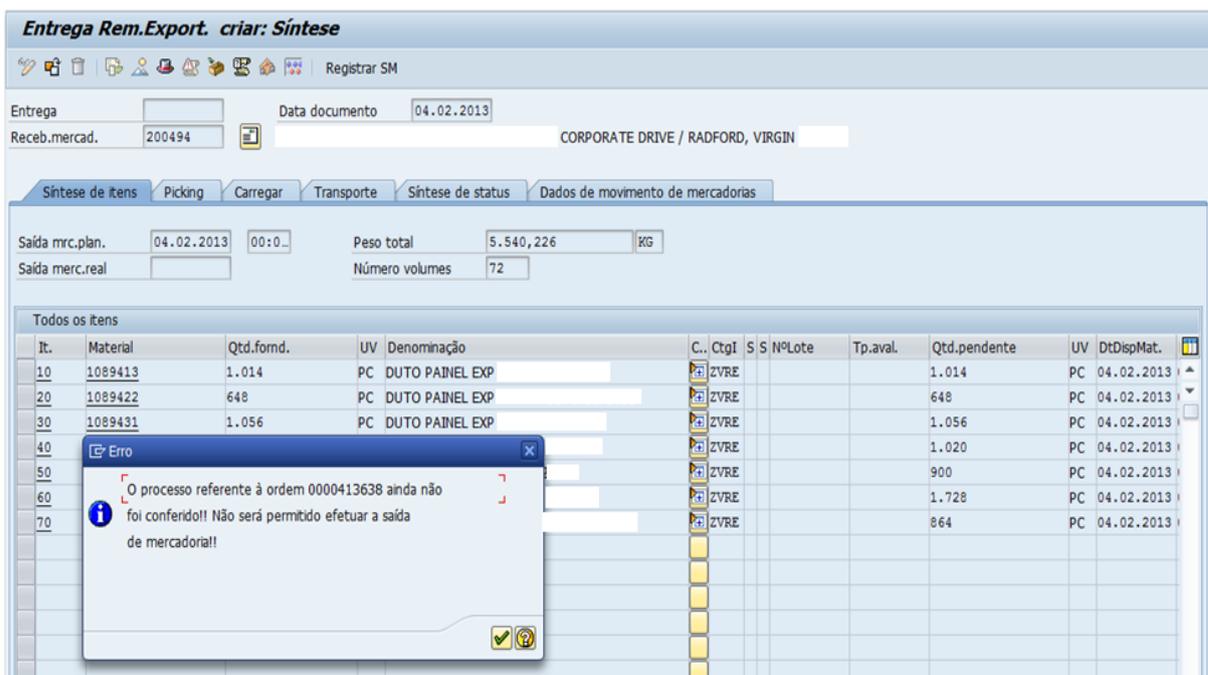
Após a programação do sistema concluída, foram realizados vários testes em ambientes controlados de estudo para comprovar o grau de aceitação e robustez da solução. Todas as simulações foram capazes de bloquear as anomalias, como: falta de leitura de uma das etiquetas, códigos trocados ou ausentes, dupla leitura e não permitir ajuste manual. Este ambiente é denominado de ambiente teste, como se trata de um sistema, será apresentada apenas uma ilustração da tela, Figura 27.

Figura 27: Validação do *poka-yoke* em ambiente de teste.

Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

Nota-se que há uma mensagem de erro e restrição da transação, impedindo que o processo de emissão de Nota Fiscal prossiga e a mercadoria saia da área de expedição.

Na realização da corrida inicial, ou seja, primeira carga com a implantação do *poka-yoke*, novas simulações foram realizadas no intuito de validar os resultados teóricos obtidos no ambiente de teste à prática, a mesma informação foi obtida conforme Figura 28.

Figura 28: Validação do *poka-yoke*, real.

Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

3.3.7. Padronizar resultados

Para que o processo não deteriore ou volte ao que era antes, é necessário prover meios para registro das soluções, resultados das avaliações e ações de melhorias implantadas. Este passo é a documentação de tudo o que foi realizado, incluindo a verificação da solução e recálculo de pontuações.

O recálculo do NPR (Número Prioritário de Risco) é realizado com base na análise das tabelas 7, 8 e 9 da mesma forma como foi descrito anteriormente no item 3.3.3.

Nesta fase, os índices são escritos no campo localizado abaixo do resultado das ações no formulário do PFMEA, indicado em amarelo.

Nota-se que a severidade sempre permanecerá inalterada, no caso 6, pois mesmo com todas as ações implantadas o modo de falha ainda existirá.

A ocorrência foi reduzida à zero, pois, as falhas foram eliminadas após a implantação do *poka-yoke*, assim seu índice é 1.

Já a detecção por ser imune a erros e o processo ser certo de detecção recebe o índice 1.

Um representante do time de PFMEA auditará as descrições adicionadas no campo ações tomadas, e no caso de efetivação coloca a data da realização da auditoria e finaliza o processo fazendo esta análise crítica com base no manual de referência de PFMEA, Tabela 12.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Validação e comparativo do NPR

Como foi observado anteriormente no processo de realização do PFMEA inicial do projeto, devido às falhas de aplicação conceitual do método, não abordagem de todos os modos de falhas possíveis no processo e pontuações inconsistentes com o manual de referência de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição, não será possível utilizá-lo como base para este estudo, apenas será apresentado para conhecimento. Assim a título de informação, foram registrados no total, 43 modos potenciais de falhas e classificados com NPR total de 1830 pontos, conforme Tabela 13.

Tabela 13: Análise das pontuações do PFMEA antes da aplicação da metodologia.

Faixa	PFMEA Inicial Número de falhas	Pontuação NPR
< 20	6	60
21-40	12	360
41-60	20	1000
61-80	3	210
81-100	1	90
101-120	1	110
121-140		
141-160		
161-180		
> 181		
Somatório	43	1830
NPR médio	42,56	

	Risco aceitável
	Risco moderado
	Risco iminente

Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

Após a revisão de todos os modos de falhas conforme manual de referência de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, Interaction Plexus (2008) 4ª edição, foi possível estipular uma base para comparações com os resultados obtidos após a aplicação e validação dos *poka-yoke* aliada à revisão das pontuações conforme manual.

Na revisão do PFMEA conforme o manual foi computado 65 modos potenciais de falhas com a soma de NPR no total de 5669 pontos e NPR médio de 87,22 pontos. Na reavaliação das pontuações após melhorias implantadas e validadas, o somatório das pontuações foi 2830 pontos e NPR médio de 43,54 pontos, Tabela 14.

Tabela 14: Comparativo das pontuações do PFMEA conforme metodologia.

Faixa da pontuação	Revisão PFMEA Conforme Manual	Fi Σ NPR	Reavaliação da pontuação Depois das melhorias implantadas	Fi Σ NPR
< 20	2	30	12	120
21-40	3	90	21	630
41-60	15	750	15	750
61-80	7	490	10	700
81-100	18	1620	7	630
101-120	3	330	0	0
121-140	5	650	0	0
141-160	3	450	0	0
161-180	3	510	0	0
> 181	6	749	0	0
Σ dos modos de falhas	65	5669	65	2830
NPR médio	87,22		43,54	

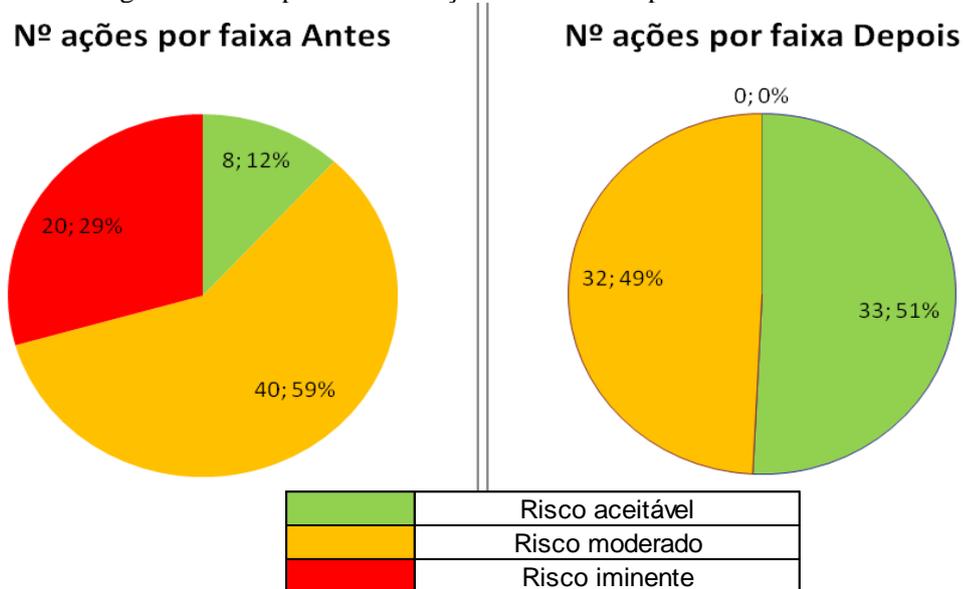
	Risco aceitável
	Risco moderado
	Risco iminente

Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

Extraindo as informações referentes ao número levantado de potenciais de falhas por classe da Tabela 14 e apresentando-as graficamente, visualizam-se melhor os ganhos obtidos com a aplicação conjugada das ferramentas *poka-yoke* e PFMEA, conforme Figura 29:

- Processo com risco aceitável: aumentou de 12% para 51%, ganho de 39%.
- Processo com risco moderado: reduziu de 59% para 49%, ganho de 10%.
- Processo com risco iminente: Redução de 29% para 0%, ganho de 29%.

Figura 29: Comparativo das ações do PFMEA por classe de risco.



Fonte: Arquivos internos, adaptado pelo autor.

Ao se analisar as quantidades de NPR totais, que antes era 5669 e depois das ações implantadas reduziu para 2830 pontos, temos uma redução de 2839 pontos, totalizando 50,08% na pontuação de risco do processo.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Com a globalização e a crescente disputa por mercado, as empresas buscam melhorias em seus processos para consolidar diferenciais sobre seus concorrentes, pois seus clientes elegem como parceiros as empresas que ofertam satisfação, produto de qualidade e preço competitivo.

No tocante, o presente trabalho possibilitou conhecer a metodologia *poka-yoke*, pela apresentação do propósito da ferramenta, histórico, funções e tipos de mecanismos para atuação, com a apresentação de exemplos de utilização do mesmo, assim como subsídios para aplicação da ferramenta PFMEA.

A teoria permitiu que fosse possível aplicar o conteúdo deste trabalho em um caso real ocorrido na indústria automobilística, dando base para mapear os modos de falhas e no momento oportuno buscou a aplicação de *poka-yoke* para sanar o problema. Também é notória a abordagem e o foco do tema desenvolvido pelas normas de gestão da qualidade ISO 16949, VDA 6.3 (*Verband der Automobilindustrie*) e QSB (*Quality Sistem Basic*) estando comprovado que a ferramenta e a metodologia atenderam plenamente seus requisitos.

Com base nos resultados reportados no capítulo anterior, comprovou-se que, a utilização de técnicas de mapeamento dos possíveis modos de falhas no início do projeto, aliada a metodologias de solução de problemas e métodos a prova de erros, foi possível eliminar as falhas no processo de tal forma que ela nunca se repita, e assim, reduzir os riscos de falhas após a realização da venda do produto para os usuários finais do bem manufaturado.

A metodologia *poka-yoke* e o PFMEA contribuíram para o aumento da confiabilidade do produto, além de melhorar a qualidade do produto fornecido, redução dos riscos totais do processo superior a 50%.

5.1 Limitações da pesquisa

Um ponto importante para ressaltar é que a ferramenta FMEA e a metodologia *poka-yoke* podem ser aplicadas separadamente, mas se consegue melhores resultados conjugando-as.

Foi utilizada a metodologia para análise e solução de problemas (MASP) como aporte para entendimento do processo e descoberta da causa raiz, sendo as ações transportadas para o formulário de PFMEA.

A aplicação da ferramenta se limitou apenas a linha de dutos.

5.2 Ações futuras e recomendações

A utilização da ferramenta FMEA envolve um grande número de pessoas, o excesso de demandas e conflitos nas agendas, torna o processo lento e de baixa eficiência. Caso houvesse uma área específica, com pessoas dedicadas teriam melhores resultados no mapeamento e conhecimento dos riscos relacionados a cada processo.

A falta de foco nas reuniões e reuniões improdutivas atrapalha o bom andamento das rodadas de mapeamento dos riscos e utilização da ferramenta.

Cada reunião deveria ter uma pauta para auxiliar o roteiro de trabalho.

Conforme AIAG (2008), como o FMEA é uma ferramenta viva, deve ser constantemente revisitado, caso surjam mais modos de falha com o passar do tempo, assim se repetem os passos descritos nos itens 4.2.1 ao 4.2.7 para esta nova revisão.

As reuniões de PFMEA devem ocorrer com maior frequência na organização, e o time, se possível ser dedicado.

REFERÊNCIAS

AIAG. **Automotive Industry Action Group - AIAG**. Disponível em: <http://www.aiag.org>; acesso em 19 ago. 2013.

AIAG. **Manual de referência FMEA 4ª edição**. AIAG - Automotive Industry Action Group - AIAG Reference guide - Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), 4th Edition STANDARD published by AIAG, 2008.

TECHNICAL SPECIFICATION ISO/TS 16979:2009. Quality management system – Particular requirements for the application os ISO 9001:2008 for the automotive production and relevant service part organizations, third edition, 2009.

BAUDIN, M. **Working with Machines** - The nuts and bolts of lean operations with Jidoka. New York: Productivty Press, 2007.

CALARGE, F .A., DAVANSO, J. C. **Conceito de dispositivos à prova de erros utilizados na meta do zero defeito em processos de manufatura**. Revista de Ciência & Tecnologia, vol. 11, nº 21 - pp. 7-18 - UNIMEP. Piracicaba, 2003.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da Qualidade Total** (no estilo Japonês). Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento: a arte de garantir a qualidade**. Tradução: Áurea Weissenberg. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio S.A., 1999.

DEMING, W. E. **Saia da crise**. São Paulo: Futura, 2003.

DIGIMESS. **Instrumentos de precisão**. Digimess. 2013. Disponível em: <<http://www.digimess.com.br>>. Acesso em: 30 out. 2013.

EPE. **Estudos econômicos - nota técnica DEA 06/13**. Ministério de Minas e Energia. 2013. Disponível em: < <http://www.brasilglobalnet.gov.br/ARQUIVOS/IndicadoresEconomicos/INDAlemanha.pdf>>, acesso em 13 set. 2013.

FUJIMOTO, T. **The evolution of a manufacturing system at Toyota**. New York: Oxford University Press, 1999.

FUNDAÇÃO PROCON. **Campanhas de recall por marca - geral**. PROCON. 2013. Disponível em: <http://sistemas.procon.sp.gov.br/recall/relatoriosPHP/quantidade_recall_marca_geral.php>, acesso: em 10 ago. 2013.

FUNDAÇÃO PROCON. **Recall**. PROCON. 2013. Disponível em <<http://www.procon.sp.gov.br/recall.asp>>, acesso em: 08 ago. 2013.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GHINATO, P. **O Sistema Toyota de Produção - Mais do que Simplesmente Just-In-Time**. Editora da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1996.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. 8. Reimp. São Paulo: Atlas, 2006.

IMAN. **Poka-yoke - métodos à prova de falhas**, São Paulo: instituto IMAN, 1998.

IATF. International Automotive Task Force. **About the ISO/TS 16949:2009**. 2013. Disponível em <<http://www.iatfglobaloversight.org/content.aspx?page=AbouttheISO/TS>> acesso em: 15 out. 2013.

Interaction Plexus e General Motors. Capacitação tecnológica “*in company*”. **Manual de treinamento de Quality system Basic**, Interaction Plexus. São Paulo, 2007.

Interaction Plexus. Capacitação tecnológica “*in company*”. **Manual de treinamento de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos**, Interaction Plexus 4ª edição. São Paulo, 2008.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA **Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle APQP**: Manual de Referência. 2ª Edição. São Paulo: [s.n.], 2008.

IQA, **Manual de Referência - Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)**. Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Editado pelo Instituto da Qualidade Automotiva (IQA). 2008.

JESUS, Bárbara S. de, BECKER, Alexandre A. e SEBEN, Viviane C.. **Aplicando os índices de capacidade de processo Cp e Cpk em Análises toxicológicas - banas metrologia** - Disponível em <http://banasmetrologia.com.br/wp-content/uploads/2012/02/Controle-Estatistico-do-Processo.pdf>.

JURAN, J.M. *et alii*. **Quality Control Handbook**, Mc Graw Hill, New York, 1980

KOSKELA, L. - **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Tech. Report No 72, CIFE, Stanford University, CA. (1992)

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo** / Jeffrey K. Liker; trad. Lene Belon Ribeiro. - Porto Alegre : Bookman, 2005.

MARTINS, H. A. **Estudo sobre os conceitos da automação e aplicação de PFMEA para auxílio na implementação de sistemas à prova de erro**. Trabalho de graduação - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MOURA, A.R.; BANZATO, J.M. **Poka-yoke: a eliminação dos defeitos com métodos à prova de falhas**. São Paulo: IMAN, 1996.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 1 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

OHNO, T. **Toyota Production System**. Productivity Press, 1988.

PICCHI, F.A. **Lean principles and construction main** - Conference of the international group for Lean construction. IGLC Brighton, United Kingdom, 2000.

PICCHI, F.A. **Oportunidades de aplicação Lean thinking na construção** - Associação Nacional de Tecnologia do ambiente Construído, Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, 2003.

Ruthes, S., Ceretta, P. S. e Sonza, I. B. **Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da variabilidade**. Revista Gestão Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2006

SHIMBUN, N.K. **Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects.** Portland, MA: Productivity Press, 1988.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção** / Shigeo Shingo ; Tradução Eduardo Schaan. - 2. Ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.

SHINGO, S. **Zero Quality Control; Source Inspection and the Poka-yoke System.** Productivity Press, Cambridge, Massachussets and Norwalk, Connecticut, 1986.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Roberth. **Administração da Produção.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Roberth. **Administração da produção.** Tradução Henrique Luiz Corrêa.-3ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SONY. **Memory MediaUtility.** Disponível em: <<http://www.sony.net/Products/memorycard>> Acesso em: 11 set. 2013.

TEBOUL, J. A era dos serviços: uma nova abordagem de gerenciamento. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

TOLEDO, J. C., FMEA - **Análise do tipo e efeito de falha.** São Carlos: GEPEQ - Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade, 2006. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

TOLEDO, J. C., **Conceitos sobre custos da qualidade (Apostila).** São Carlos: GPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade, 2002. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/CustosdaQualidadeApostila.pdf>> Acesso em: 05 set. 2013.

UNESP. Coordenadoria Geral de Bibliotecas. Grupo de Trabalho Normalização Documentária da UNESP. Normalização documentária para a produção científica da UNESP: **normas para apresentação de referências segundo a NBR 6023:2002 da ABNT.** São Paulo, 2003. Disponível em: < http://www.unesp.br/cgb/mostra_arq_multi.php?arquivo=4631 >. Acesso em: 08 nov. 2013.

VDA 6.3. (Verband Der Automobilindustrie). **Gerenciamento do Sistema da Qualidade na Indústria Automobilística: Auditoria do Processo (Parte 3).** São Paulo: Instituto da Qualidade Automotiva, 2010.

VIDOR, G. **Diretrizes para avaliação de sistemas de gestão de Poka-yoke**; Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção - PPGEP / UFRGS. Porto Alegre, 2010.

Volkswagen. **Drive Alert System:** Disponível em: <<http://www.volkswagen.co.uk/new/passat-vii/explore/gallery/14>>. Acesso em 22 set. 2013.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation**, Simon e Schuster, New York, 1996.

WOMACK, J.P., JONES, D.T. & ROSS, D.. **The Machine that Changed the World**, Rawson Associates, New York, NY, 1990.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas: Elimine o desperdício e crie riqueza**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D.A. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YAMAUCHI, L. **Aplicação de Poka-yokes como ações de PFMEA em linhas de montagem do setor automobilístico**. Trabalho de Graduação - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.