



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
MÁRCIO REGINALDO BUENO

**MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA EM
PRODUTOS ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE DADOS PROVENIENTES DE
COBERTURA DE GARANTIA**

Curitiba
2013

MÁRCIO REGINALDO BUENO

**MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA EM
PRODUTOS ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE DADOS PROVENIENTES DE
COBERTURA DE GARANTIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Milton Borsato

Curitiba

2013

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha noiva Flávia pelo incentivo, motivação, confiança e paciência demonstrados ao longo de todo o curso de Mestrado; por ela ter sido compreensiva e me apoiar nos muitos momentos em que não pudemos estar juntos por conta dos estudos.

Tenho muito que agradecer à minha família que sempre esteve ao meu lado, mesmo nos momentos mais difíceis. Aos meus pais, agradeço os ensinamentos de valores transmitidos ao longo de toda minha vida. À minha mãe, pelas rezas, carinho e toda energia positiva que ela sempre me transmite. Ao meu pai, que há alguns anos não está mais entre nós, mas que deixou muitas saudades e ensinamentos de vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Milton Borsato pela flexibilidade, paciência, dedicação, suporte, ensinamentos e motivação transmitidos nesses anos em que trabalhei sob sua orientação, que foram essenciais para a elaboração desse trabalho.

Obrigado aos colaboradores e gestores da empresa parceira pela autorização para coleta de dados e suporte na pesquisa do Processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia e banco de dados de garantia.

Finalmente, agradeço a todos os professores e funcionários da universidade com quem tive contato durante o curso, assim como os professores do PPGEM que ministraram as disciplinas que cursei e os professores da banca de defesa.

"Viva como se fosse morrer amanhã.
Aprenda como se fosse viver para sempre".

Mahatma Ghandi

RESUMO

As necessidades impostas pelo mercado fazem com que as empresas desenvolvam produtos cada vez mais complexos sob o ponto de vista tecnológico, incorporando novas funções a produtos já desenvolvidos e buscando continuamente a melhoria dos produtos e processos de fabricação para manutenção de sua competitividade. Ao mesmo passo que é vital para uma empresa inovar e aperfeiçoar seus produtos, deve-se considerar a grande utilização de recursos da engenharia e outros custos associados às Mudanças de Engenharia, especialmente às mal planejadas. O objetivo desse trabalho é a criação de um método para auxiliar a tomada de decisão para Mudanças de Engenharia através da identificação de oportunidades de melhorias de produtos percebidas pelos clientes, com utilização de dados provenientes da cobertura de garantia. Como parte da abordagem metodológica, um estudo de caso numa empresa parceira do setor de autopeças foi utilizado para identificar oportunidades de melhoria de produto. O método proposto utiliza dados provenientes de cobertura de garantia (dados de campo), que são analisados sob seis diferentes perspectivas de concentração de falhas. Em seguida, a aplicação do método em um caso hipotético foi realizada. Este trabalho contribui para o planejamento da capacidade da engenharia, a priorização de Mudanças de Engenharia com valor percebido pelo cliente, e a correta definição do produto conforme o mercado de aplicação. Com dados mais confiáveis, a tomada de decisão passa a ser mais eficaz para o gerenciamento de determinada Mudança de Engenharia, focando em melhoria de produtos que serão realmente percebidas pelo cliente. Assim, podem ser definidos os requisitos corretos de projeto para um determinado mercado, planejamento de alocação de recursos em diferentes projetos e priorização de temas críticos.

Palavras-chave: Gerenciamento de Mudanças de Engenharia; dados de garantia; fontes de ideias.

ABSTRACT

The needs imposed by the market demand that companies develop products more complex under the technological point of view, incorporating new functions to products already developed and continuously seeking to improve products and manufacturing processes to maintain its competitiveness. At the same step that is vital for a company to innovate and improve its products, it must be considered the wide use of engineering resources and costs associated with engineering changes, especially the poorly planned ones. The aim of this work is the creation of a method in order to support the decision-making for engineering changes by identifying opportunities for improvement on product that can be perceived by customers, using data from warranty records. As part of the methodological approach, a case study at a partner company in the automotive parts industry was used to identify opportunities for product improvement. The method uses data from warranty records (field data), which are analyzed in six different perspectives of failures concentration. Then, the application of the method in a hypothetical case was performed. This work contributes to the planning of engineering capacity, prioritizing of engineering changes with perceived value by the customer and the correct definition of the product according to the market application. With more reliable data, decision-making becomes more effective for managing certain engineering change, focusing on improving products that will actually be perceived by the customer. Thus, it can be set the right design requirements for a particular market, planning for resource allocation on different projects and prioritization of critical issues.

Key-words: engineering change management; warranty data; sources of ideas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Visão geral do modelo de referência para o PDP	23
Figura 2 - Processos de apoio para o Gerenciamento de Mudanças de Engenharia	34
Figura 3 - Rede de mudanças através de propagação de mudanças	43
Figura 4 - Dimensões da inovação	49
Figura 5 - Espaço da inovação.....	50
Figura 6 - Procedimento de utilização do DRBFM.....	56
Figura 7 - Organograma simplificado da empresa parceira	68
Figura 8 – Definição do código de falhas nas reclamações de garantia	73
Figura 9- Fluxograma geral para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos	76
Figura 10- Fluxograma detalhado para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos	83
Figura 11- Representação das subetapas da primeira perspectiva (P1) de avaliação, taxa de procedência de falhas.....	85
Figura 12- Representação das Atividades da segunda perspectiva (P2) de avaliação, identificação das principais falhas causadas pelo cliente no produto ou componente	88
Figura 13- Representação das Atividades da terceira perspectiva (P3) de avaliação, estudo de concentração de falhas em cliente	90
Figura 14- Representação das Atividades da quarta perspectiva (P4) de avaliação, estudo de concentração de falhas em plantas fabricantes	91
Figura 15- Representação das Atividades da quinta perspectiva (P5) de avaliação, estudo de concentração de falhas em números de peça	92
Figura 16- Representação das Atividades da sexta perspectiva (P6) de avaliação, estudo de concentração de falhas em local geográfico	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – P1, Atividade 1: Identificação das taxas de decisões de garantia	98
Gráfico 2 – P1, Atividade 2: Pareto de componentes mais falhados com procedência reconhecida.....	98
Gráfico 3 – P1, Atividade 3: Ocorrências de falhas procedentes em componentes por data de fabricação.....	99
Gráfico 4 – P1, Atividade 4: Histograma de quilometragem de peças reclamadas reconhecidas em garantia	100
Gráfico 5 – P2, Atividade 1: Pareto de componentes que mais apresentaram ocorrências de falhas causadas pelo cliente.....	102
Gráfico 6 - P2, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação	102
Gráfico 7 - P2, Atividade 3: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de falha.....	103
Gráfico 8 - P2, Atividade 4: Histograma de quilometragem de injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor	104
Gráfico 9 – P3, Atividade 1: Pareto dos três clientes e suas aplicações que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor	105
Gráfico 10 – P3, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação no Cliente FGS	105
Gráfico 11 – P4, Atividade 1: Pareto das três plantas fabricantes que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor	106
Gráfico 12 – P4, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação na Planta China.....	107
Gráfico 13 – P5, Atividade 1: Pareto com os dez número de peça que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor	108
Gráfico 14 – P5, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste por data de fabricação nos números de peça 170 e 078.....	108

Gráfico 15 – P6, Atividade 1: Pareto com os dois países onde mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor.....	109
Gráfico 16 – P6, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste por data de fabricação nos países China e Coréia do Sul	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Critérios de avaliação de ocorrência sugeridos	59
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO	18
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)	21
2.1.1	Modelo de referência para o PDP.....	22
2.2	GERENCIAMENTO DE REQUISITOS	23
2.2.1	Especificação do projeto	24
2.2.2	Diferenciação entre demandas e desejos	25
2.3	COBERTURA DE GARANTIA DO PRODUTO	26
2.3.1	Bases de Dados.....	26
2.3.2	Qualidade e Confiabilidade	28
2.3.3	Políticas de garantia	29
2.3.4	Temporalidade.....	30
2.3.5	Aplicação de Tecnologia da Informação	31
2.4	MUDANÇAS DE ENGENHARIA	32
2.4.1	Processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia.....	32
2.4.2	Comunicação.....	36
2.4.3	Multidisciplinaridade.....	38
2.4.4	Aplicação de Tecnologia da Informação	39
2.4.5	Prototipação, Validação e Testes	40
2.4.6	Tomada de Decisão.....	41
2.4.7	Propagação.....	43
2.5	GERAÇÃO DE IDEIAS PARA REPROJETOS.....	44
2.5.1	Gestão para Inovação.....	44
2.5.2	Fontes para Inovação	46
2.5.3	Tipos de inovação	48
2.5.3.1	Inovação incremental.....	50

2.6	OUTROS MÉTODOS DE APOIO ÀS MUDANÇAS DE ENGENHARIA	52
2.6.1	Revisão do Projeto Baseado no Modo de Falha - <i>Design Review Based on Failure Mode (DRBFM)</i>	52
2.6.1.1	Good Design (bom projeto).....	53
2.6.1.2	Good Discussion (boa discussão).....	54
2.6.1.3	Good Dissection (boa dissecação).....	55
2.6.1.4	Estruturação do DRBFM.....	55
2.6.2	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	57
2.6.3	<i>Histograma Pareto</i>	59
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	61
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	61
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	62
3.2.1	Etapa 1 – Conceitos de Mudanças de Engenharia e temas correlatos	62
3.2.2	Etapa 2 - Reprojeto e utilização de dados de garantia no processo de Mudança de Engenharia em uma empresa	63
3.2.3	Etapa 3 - Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos.	63
3.2.4	Etapa 4 – Elaborar método para identificação de oportunidades de Mudanças de Engenharia	64
3.2.5	Etapa 5 - Demonstrar a aplicação do método através de um exemplo.....	65
4	RESULTADOS	66
4.1	ESTUDO DE CASO.....	66
4.1.1	Empresa parceira	67
4.1.2	Geração de ideias para reprojeto na empresa parceira	68
4.1.3	Utilização de métodos suporte ao reprojeto dentro da empresa parceira	70
4.1.3.1	Utilização do DRBFM na empresa parceira.....	70
4.1.3.2	Utilização do FMEA na empresa parceira.....	71
4.1.4	Garantia e utilização do banco de dados.....	71
4.1.5	Conclusão do estudo de caso	74
4.2	MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA DE PRODUTO	75
4.2.1	Definição do método.....	75
4.2.2	Cenários de utilização do método	79

4.2.2.1	Cenário 1: identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance de plataforma base de produto para desenvolvimento de nova plataforma....	79
4.2.2.2	Cenário 2: identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance da plataforma para aplicação do produto em novo ambiente ou mercado	81
4.2.3	Descrição do procedimento para utilização do método	82
4.2.3.1	Bloco 1.....	84
4.2.3.2	Bloco 2.....	84
4.2.3.3	Bloco 3.....	84
4.2.3.4	Bloco 4.....	86
4.2.3.5	Bloco 5.....	87
4.2.3.6	Bloco 6.....	87
4.2.3.7	Bloco 7.....	87
4.2.3.8	Bloco 8.....	89
4.2.3.9	Bloco 9.....	90
4.2.3.10	Bloco 10.....	92
4.2.3.11	Bloco 11.....	93
4.2.3.12	Bloco 12.....	94
4.2.3.13	Bloco 13.....	94
4.2.3.14	Bloco 14.....	94
4.2.3.15	Bloco 15.....	95
4.2.3.16	Bloco 16.....	95
4.2.3.17	Bloco 17.....	95
4.2.3.18	Bloco 18.....	95
4.3	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	95
4.3.1	Bloco 1	96
4.3.2	Bloco 2	96
4.3.3	Bloco 3	97
4.3.4	Bloco 4	100
4.3.5	Bloco 5	101
4.3.6	Bloco 6	101
4.3.7	Bloco 7	101
4.3.8	Bloco 8	104

4.3.9 Bloco 9	106
4.3.10 Bloco 10	107
4.3.11 Bloco 11	109
4.3.12 Bloco 12	110
4.3.13 Bloco 13	111
4.3.14 Bloco 14	111
4.3.15 Bloco 15	111
4.3.16 Bloco 16	111
4.3.17 Bloco 17	112
4.3.18 Bloco 18	112
4.3.19 Bloco 19	112
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
REFERÊNCIAS	116

1 INTRODUÇÃO

As necessidades impostas pelo mercado fazem com que as empresas desenvolvam produtos cada vez mais complexos sob o ponto de vista tecnológico, incorporando novas funções a produtos já desenvolvidos e buscando continuamente a melhoria dos produtos e processos de fabricação (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005). Isso faz com que as Mudanças de Engenharia, do inglês *Engineering Change (EC)*, sejam algo inevitável para manutenção da competitividade das empresas.

Em alguns casos, a Mudança de Engenharia é necessária para alcançar uma especificação inicialmente definida para o produto, e que não havia sido atingida por conta de algum desvio. Esse é o caso, por exemplo, de um desvio na função de um produto ocasionado por uma folga mecânica fora do especificado entre o diâmetro de um pistão e o diâmetro de guia de um cilindro. Nesse caso, a tolerância definida em desenho permitiria que o valor máximo do diâmetro do pistão e valor mínimo do diâmetro de guia do cilindro, causassem um problema de movimentação desses dois componentes, já que a folga entre eles seria muito pequena. Então, nesse exemplo, uma Mudança de Engenharia seria necessária para reduzir as tolerâncias do pistão e guia do cilindro, e, assim, evitar o problema de folga mecânica entre esses dois componentes.

Outras alterações são realizadas para adequar o produto às novas necessidades e exigências do mercado, como exemplo, incorporação de funções de câmera e computador aos celulares. Produtos tradicionais como caixas de som e fones de ouvido também são adaptados às novas exigências dos consumidores, sendo a eles adicionadas as funções de conexão sem fio (*bluetooth* ou *wireless*).

Para explorar possibilidades de redução de custo, são realizadas alterações na especificação de uso de matérias como cobre, que são utilizados para fabricação de componentes elétricos, substituindo esse metal, com custo relativamente alto, por metais mais baratos. A redução na espessura das chapas, em que são feitas as latarias de automóveis, é um outro exemplo de possibilidade de redução de custo através das Mudanças de Engenharia.

As Mudanças de Engenharia também são utilizadas para aumentar a confiabilidade de um produto. A agulha de um bico injetor, por exemplo, pode ser submetida a um tratamento térmico especial para prevenção de desgaste por atrito. Com isso, consegue-se prevenir desvios de função relacionados a desgastes da agulha, como por exemplo, o retorno de fluxo hidráulico acima do especificado, e, ainda, aumentar a vida útil de um injetor.

Dessa forma, a Mudança de Engenharia é uma solução para um determinado problema, que resulta em alterações de documentações, características e processos de fabricação de um determinado produto.

É fundamental que as Mudanças de Engenharia sejam corretamente compreendidas dentro de uma organização, pois é um processo suporte do Processo de Desenvolvimento de Produto bastante consumidor do valioso tempo da engenharia, especialmente quando não é bem gerenciado. As atividades de Mudança de Engenharia consomem de um terço a metade da capacidade de engenharia (TERWIESCH; LOCH, 1999). O grande número de alterações de produto e o fato de que mesmo mudanças pequenas, muitas vezes resultam em custos significativos e atrasos no desenvolvimento e produção, faz com que a capacidade de administrar eficazmente esses aspectos torne-se um fator-chave de sucesso de todo processo de desenvolvimento de produto (WASMER *et al.*, 2011).

Porém, é incorreto interpretar a Mudança de Engenharia sempre como um distúrbio consumidor do tempo de diversos departamentos dentro de uma empresa. Historicamente a pesquisa envolvendo Mudanças de Engenharia foi realizada a partir de uma perspectiva de produção (manufatura), que ignora sua capacidade de servir como instrumento para a melhoria dos produtos. Esse ponto de vista não é adequado, pois transforma uma oportunidade de melhoria em um motivo de preocupação (WRIGHT, 1997).

O processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia contribui para tornar uma empresa mais dinâmica. Esse processo, quando corretamente compreendido e estruturado, pode ser melhorado, ao passo que o número de mudanças cresce, afim de se obter redução de custos e tempo, a cada mudança. Assim, as Mudanças de Engenharia não só devem ser vistas como fatores que causam custos e atrasos de tempo mas, também, como fatores que agregam valor ao produto e aos processos de desenvolvimento e fabricação como um todo. A arte da gestão de processos é encontrar o equilíbrio certo entre as mudanças, respeitando cronogramas e orçamentos (WASMER *et al.*, 2011). A habilidade em gerenciar eficientemente o processo de Mudanças de Engenharia pode representar uma melhoria da estruturação de seus processos de fabricação, aproveitamento de recursos, aumento do valor percebido do produto e melhoria da tomada de decisões dentro de uma empresa.

Esse trabalho procura contribuir no processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia, auxiliando na ideação de reprojeto, dentro de uma empresa do setor de autopeças, que visam aumentar a confiabilidade dos produtos dessa empresa em campo. O estudo procura auxiliar a avaliação de oportunidades de melhorias de produto que podem originar ideias de reprojeto através de dados provenientes da cobertura de garantia. A

utilização desses dados como fonte de ideias se fundamenta no conceito de valor agregado ao produto percebido pelo cliente, considerando vulnerabilidades de características do produto em campo. Embora sejam estudados aspectos relativos à propagação de Mudanças de Engenharia e custos associados a ela, o tema propagação de Mudanças de Engenharia não faz parte do método de avaliação de ideias de Mudanças de Engenharia proposto como resultado desse trabalho.

Se construídas e mantidas de forma adequada, as bases de dados de garantia podem ser utilizadas para uma variedade de fins, que incluem a previsão de falhas futuras, a comparação de reclamações para diferentes grupos de produtos, estimativa da confiabilidade de campo, e a identificação de oportunidades de melhoria de qualidade e confiabilidade. As bases de dados relativas a reclamações de garantia de produtos manufaturados registram as experiências relativas às reclamações e informações sobre os fatores concomitantes (LAWLESS, 1998).

Outra aplicação importante dos dados de garantia é a utilização desses dados para detecção de problemas de confiabilidade potencialmente graves de campo o mais rápido possível. Quando um grave problema surge, a existência do problema será eventualmente óbvia. Mas com o correto monitoramento e avaliação estatística dos dados registrados no sistema de garantia, problemas mais graves podem ser identificados de forma eficaz. O uso de métodos estatísticos sensíveis, permite uma reação rápida para atenuar efeitos de problemas potenciais de confiabilidade e podem poupar gastos de grandes quantidades de dinheiro em campanhas e cortesia de produto.

As pesquisas com foco em inovação apontam uma extensa lista de fontes de ideias para Mudanças de Engenharia, tais como clientes, competidores, universidades, fornecedores, outras divisões dentro de uma mesma empresa, consultores, entre outros. (SALTER; GANN, 2003). Porém, o custo para a geração de ideias em cada uma dessas fontes é bastante variado. Os custos para identificação de oportunidades de melhoria de produtos com base em dados provenientes de garantia é relativamente baixo se comparado com as demais fontes para geração de ideias para reprojeto, considerando que as empresas já possuem um controle relacionado a reclamações de garantia.

A maioria das empresas mantêm os bancos de dados de garantia para fins de relatórios financeiros e previsões de despesas de garantia, e, em alguns casos, há tentativas para extrair informação de engenharia (por exemplo, sobre a confiabilidade dos componentes) a partir de tais bases de dados (WU; MEEKER, 2002). Embora existam tentativas isoladas de utilização do banco de dados de garantia por parte da engenharia, de forma geral, o projetista

não conhece o banco de dados de garantia e não sabe como os dados podem ser utilizados em seus reprojotos. Consequentemente, são propostos projetos de Mudanças de Engenharia para aumentar a confiabilidade de componentes já robustos, ou, ainda, não são melhorados componentes pouco robustos e que precisam ter sua confiabilidade aumentada. Isso representa um desperdício de tempo e recursos dentro de uma empresa.

A maior motivação para os projetistas é a possibilidade de se resolver problemas (SALTER; GANN, 2003). A utilização de banco de dados de cobertura de garantia de produtos, propõe ao mesmo tempo o desafio em se resolver um problema, visto como motivação para os projetistas, focar em soluções mais rápidas, evitando desperdícios de tempo da engenharia, e ainda trabalhar com custos reduzidos, por se tratarem de projetos de caráter derivativo.

Desta forma, surge a motivação de se pesquisar como os dados de garantia poderiam ser aplicados para a identificação de oportunidades de melhoria de produtos que poderiam auxiliar na geração de ideias de reprojotos, assim como auxiliar na tomada de decisões do processo de Mudança de Engenharia na indústria automotiva, para que se defina a alteração de produto e/ou processo de fabricação necessários. A pergunta que se pretende responder é: “De que forma os dados provenientes da realização de serviços de pós-venda relacionados à garantia fornecida pelo fabricante poderiam ser utilizados para identificação de oportunidades de melhoria de produto, favorecendo a melhoria contínua e geração de ideias de reprojeto?”.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a elaboração de um método para utilização de dados provenientes de cobertura de garantia para identificação de oportunidade de melhoria de produto, que vem a contribuir para a geração de ideias de reprojotos. O método deve estabelecer uma sequência de trabalho e identificar concentrações de falhas sob diferentes perspectivas, de forma a auxiliar na tomada de decisão para execução de reprojotos através de Mudanças de Engenharia.

As apresentações de utilização dos métodos *Design Review Based on Failure Mode* (DRBFM) e FMEA descritos na seção 2.6 estão fora do escopo desse trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA

Alterar um produto representa um grande consumo do valioso tempo da engenharia. Esse consumo de tempo é ainda maior quando a Mudança de Engenharia não é bem gerenciada. As atividades de Mudança de Engenharia consomem de um terço a metade da capacidade de engenharia (TERWIESCH; LOCH, 1999), e representam 20-50% do custo de ferramental. O grande número de alterações de produto e o fato de que mesmo mudanças pequenas, muitas vezes resultam em custos significativos e atrasos no desenvolvimento e produção, faz com que a capacidade de administrar eficazmente esses aspectos torne-se um fator chave de sucesso de todo processo de desenvolvimento de produto (WASMER *et al.*, 2011).

Após a conclusão da revisão da literatura, concluiu-se que há poucas evidências que já se tenha sido desenvolvido método similar como foco na identificação de oportunidades de melhoria de produto, através da utilização de dados provenientes da cobertura de garantia.

Com a utilização do método proposto, a empresa se beneficia do melhor aproveitamento de dados de garantia já disponíveis dentro da organização, bem como das informações necessárias para iniciar ciclos de melhoria para o desenvolvimento de produtos e aperfeiçoamento para novas plataformas de produtos.

Este trabalho contribui para o planejamento da capacidade da engenharia, a priorização de Mudanças de Engenharia com valor percebido pelo cliente, e a correta definição do produto conforme o mercado de aplicação. Com dados mais confiáveis, a tomada de decisão passa a ser mais eficaz para o gerenciamento de determinada Mudança de Engenharia, focando em melhoria de produtos que serão realmente percebidas pelo cliente. Assim, podem ser definidos os requisitos corretos de projeto para um determinado mercado, planejamento de alocação de recursos em diferentes projetos e priorização de temas críticos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente projeto de dissertação foi organizado em quatro capítulos, que serão descritos a seguir.

No capítulo 2 são expostas as considerações apresentadas pela literatura sobre o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e modelos de referência para o PDP, Gerenciamento de Requisitos, processo de Mudança de Engenharia, bancos de dados de garantia e a geração de ideias no Pós-Desenvolvimento de produtos.

No terceiro capítulo é tratada a metodologia de pesquisa, expondo e justificando o método de pesquisa empregado neste estudo.

No capítulo 4 são apresentadas as considerações finais obtidas a partir da revisão bibliográfica e dos procedimentos metodológicos aplicados.

Seguem, após os capítulos mencionados acima, as referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica dos principais conceitos e abordagens relacionados ao trabalho.

Primeiramente, é apresentado o processo de desenvolvimento de produto, definindo um modelo de referência para integração do trabalho à esse tema. Então, o tema Gerenciamento de Requisitos é introduzido, sendo descrita sua importância dentro do PDP e necessidade de revisão para manutenção dos requisitos de cliente. Em seguida, o tema cobertura de garantia do produto é abordado para descrever o contexto do trabalho dentro do pós-desenvolvimento, a fim de acompanhar o desempenho do produto em série. Então, o tema Gerenciamento de Mudanças de Engenharia é contextualizado dentro do PDP e é abordada a Geração de Ideias para Reprojeto, com foco na inovação incremental que é o tema pertinente ao método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos proposto por esse trabalho.

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) consiste de um conjunto de atividades necessárias para se chegar às especificações de produto e processo, abrangendo todo o ciclo de vida do produto, desde a fase de planejamento estratégico de produtos e projetos, até a fase de desenvolvimento das especificações do produto e do processo de fabricação, utilização e descontinuação do produto. As necessidades do cliente e do mercado, restrições tecnológicas, requisitos competitivos, legais e ambientais, assim como as estratégias corporativas são consideradas nesse processo (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O objetivo básico deste trabalho, conforme descrito nos capítulos anteriores, é a identificação de oportunidades de melhoria de produtos através de dados de garantia. Para facilitar a aplicação deste método dentro de uma empresa, ele deve ser integrado a um processo de desenvolvimento aceito como modelo pelas empresas, em particular dentro da indústria automotiva.

2.1.1 Modelo de referência para o PDP

Na literatura existem diversos modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, tais como os métodos desenvolvidos por Pahl *et al* (2007), o APQP (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto) desenvolvido pela Chrysler, General Motors e Ford (2008) e o modelo de referência para o desenvolvimento de produtos elaborado por Rozenfeld *et al.* (2006).

O APQP é um modelo desenvolvido em conjunto pelas montadoras Chrysler, General Motors e Ford. Esse modelo tem por objetivo estabelecer as diretrizes gerais para cobrir situações relacionadas ao planejamento inicial, fase de projeto e análise do processo. Dessa forma, podem ser definidos procedimentos, técnicas e plano de qualidade para dar suporte ao desenvolvimento de produtos e serviços na indústria automotiva (CHRYSLER LLC, FORD MOTOR COMPANY, 2008b).

O modelo APQP se baseia nos chamados ciclos de planejamento da qualidade do produto, que são ciclos de melhoria contínua PCDA (Planejar, Fazer, Checar e Agir) e consiste de seis fases, que são:

- definição e planejamento do programa;
- desenvolvimento do produto;
- desenvolvimento do processo;
- validação do processo e do produto;
- avaliação e ações corretivas.

Pahl *et al* (2007) apresenta um modelo para desenvolver as especificações técnicas de um novo produto e processo através de abordagem sistemática que incluem os seguintes passos (PAHL *et al.*, 2007):

- planejamento e esclarecimento da tarefa;
- projeto conceitual;
- projeto de concretização;
- projeto detalhado.

O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, desenvolvido por Rozenfeld *et al.* (2006) e representado pela Figura 1, será utilizado como base para a definição do método de identificação de oportunidade de melhoria de produtos proposto neste trabalho, para utilização durante o acompanhamento dos produtos na indústria automotiva, pelo fato do modelo documentar as melhores práticas de Gerenciamento de

Desenvolvimento de Produto (GDP), propor integração de métodos, ferramentas, sistemas e conceitos de GDP que surgiram de diversas áreas de conhecimento distintas (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O modelo de Processo de Desenvolvimento de Produto, representado pela Figura 1, consiste basicamente de três macrofases, que são o Pré-Desenvolvimento, o Desenvolvimento e o Pós-Desenvolvimento.

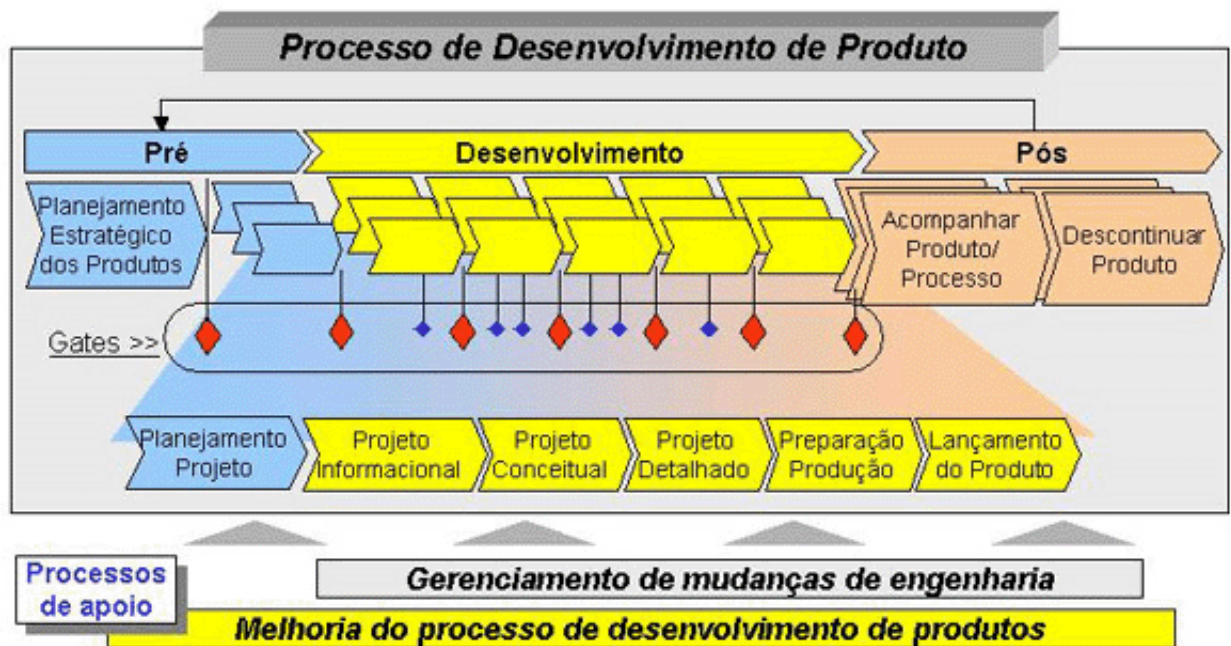


Figura 1 - Visão geral do modelo de referência para o PDP

Fonte: ROZENFELD *et al.* (2006)

Esse estudo será focado na macrofase de Pós-desenvolvimento, que consiste do acompanhamento do produto na produção em série, até o final do ciclo de vida do produto. Consiste do acompanhamento dos problemas e sucessos obtidos com o produto, com o objetivo de suportar o cliente e gerar conhecimento, que pode ser aplicado em novos projetos. Trata-se, também, de documentar as lições aprendidas, acompanhar o fim de vida do produto e retirá-lo sistematicamente do mercado.

2.2 GERENCIAMENTO DE REQUISITOS

O Gerenciamento de requisitos é uma importante etapa, dentro do processo de desenvolvimento do produto, e um tema a ser considerado para a execução de qualquer

Mudanças de Engenharia. Caso ocorra a modificação de um determinado produto, após a alteração do produto, esse precisa continuar a atender os requisitos pré-estabelecidos.

Nas seções seguintes será descrito brevemente o processo de gerenciamento de requisitos e a diferenciação entre demandas e desejos dentro dos projetos.

2.2.1 Especificação do projeto

A análise de requisitos para um sistema é realizada de forma estruturada, organizada, considerando metodologias para a identificação de um conjunto adequado de requisitos para satisfazer a necessidade do sistema que fornecem uma base sólida para a concepção de projetos. A atividade de análise de requisitos de sistema deve ser gerenciado para interagir precocemente com a atividade de desenvolvimento do projeto conceitual no desenvolvimento de um sistema (GRADY, 2010).

Primeiramente, o levantamento das necessidades gerais dos clientes de cada fase do ciclo de vida do produto é realizado. Essas necessidades são obtidas através de abordagens com a utilização de listas de verificação, por meio de observação direta, entrevistas, ou ainda, usando qualquer outro método de interação com os clientes. Em seguida, ocorre o processamento dessas necessidades através da classificação e ordenação das informações, que recebe a denominação de requisitos do cliente (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Restrições mínimas devem ser formuladas, tais como $P > 20\text{kW}$ ou $L > 400\text{ mm}$, antes de se atribuir valores aos requisitos (PAHL *et al.*, 2007). A atribuição de um valor a um requisito, considerando as restrições do sistema, pode ser chamada de especificação (ROZENFELD *et al.*, 2006). A especificação pode ser feita através da aplicação do bom senso com base em informações adquiridas através de algum processo racional incluindo: i) uma pesquisa de mercado para descobrir o que a indústria está fazendo ou o que o cliente prefere; ii) experiência com os produtos e necessidades do cliente; iii) consulta ao cliente ou engenharia; ou iv) padrões de referência para a indústria ou cliente padrões de valores comprovados na prática (GRADY, 2010). São essas especificações que servirão de orientação para definições de sistema e processo de fabricação e avaliação do produto em garantia, por exemplo.

2.2.2 Diferenciação entre demandas e desejos

Ao se preparar uma lista de requisitos, o estabelecimento dos objetivos e circunstâncias que esses requisitos serão utilizados devem ser considerados para identificar claramente demandas e desejos do cliente (PAHL *et al.*, 2007). Assim, pode-se definir prioridades do projeto, alocação de recursos e avaliação do esforço na execução de determinado desenvolvimento ou reprojeto de produto.

As demandas são requisitos que devem ser atendidos sob qualquer circunstância. Dessa forma, as soluções que não atenderem esses requisitos devem ser consideradas inaceitáveis e serem descartadas. Os desejos são os requisitos que devem ser levados em consideração sempre que possível. Esse tipo de requisito deve estipular limites de aumentos em custo para garantir sua viabilidade de implementação. É aconselhável classificar desejos como sendo de grande, médio ou menor importância. Dentro dos exemplos dos desejos, é possível citar requisitos tais como travamento centralizado, menos manutenção, entre outros (PAHL *et al.*, 2007).

Mesmo antes de uma determinada solução é adotada, uma lista de demandas e desejos devem ser configurado e os aspectos quantitativos e qualitativos tabulados. Só então o informações resultantes ser adequado (PAHL *et al.*, 2007):

- a) quantidade: Todos os dados que envolvem números e magnitudes, como o número de itens requerida, peso máximo, potência, rendimento, taxa de fluxo de volume, entre outros;
- b) qualidade: todos os dados que envolvem variações admissíveis ou requisitos especiais, tais como impermeável, resistente à corrosão, à prova de choque, entre outros.

Os requisitos quantitativos, sempre possível, devem ser preferidos aos qualitativos. É importante que os requisitos sejam quantificados, pois eles podem auxiliar, também no modo de verificar adequadamente o item produzido quanto ao atendimento das exigências. Atividades de planejamento de teste com foco em verificação do requisito, como definir critério aprovado/reprovado, tornam-se difíceis se forem utilizados requisitos qualitativos (GRADY, 2010).

A correta interpretação das necessidades dos clientes, definição e manutenção dos requisitos, assim como a especificação do projeto e sistemas são essenciais para o desenvolvimento de produtos e processos nas empresas. A correta definição e classificação de

prioridade dos requisitos pode auxiliar no planejamento estratégico, tomada de decisões e orientação da empresa para o mercado.

2.3 COBERTURA DE GARANTIA DO PRODUTO

O acompanhamento do desempenho do produto em campo é uma importante etapa dentro da Fase de Pós-Desenvolvimento no Processo de Desenvolvimento de Produto. Essa etapa consiste do monitoramento de problemas e sucessos obtidos com o desenvolvimento do produto, que permite dar suporte ao cliente e gerar conhecimento que pode ser aplicado em novos projetos.

Nas últimas décadas, o papel e a importância da cobertura de garantia do produto mudaram significativamente. Atualmente, a maioria dos produtos é vendida com alguma forma de garantia. A garantia de um produto é vista como importante, tanto para os fabricantes, como para os consumidores (HUSSAIN; MURTHY, 2003). Do ponto de vista do consumidor, a garantia fornece informações sobre a confiabilidade e a qualidade do produto, além de funcionar como uma espécie de seguro em caso de uma falha ocasionada principalmente no início da vida útil de um produto. Do ponto de vista do fabricante, a garantia o protege de reivindicações indevidas dos consumidores, e serve ainda como uma ferramenta promocional de apresentação do produto, diferenciando-o de produtos semelhantes de seus concorrentes.

Vender um produto com garantia resulta em custos adicionais para o fabricante devido à manutenção da garantia. O custo esperado de garantia depende da confiabilidade do produto. Quanto maior a confiabilidade do produto, menor o custo de garantia esperado (HUSSAIN; MURTHY, 2003).

Nessa seção serão apresentados diferentes aspectos estudados na revisão bibliográfica com relação à garantia de um produto.

2.3.1 Bases de Dados

As bases de dados relativas a reclamações de garantia de produtos manufaturados registram as experiências relativas às reclamações e informações sobre os fatores

concomitantes (LAWLESS, 1998). Se construídas e mantidas de forma adequada, as bases de dados de garantia podem ser utilizadas para uma variedade de fins, que incluem a previsão de falhas futuras, a comparação de registro de reclamações para diferentes grupos de produtos, estimativa da confiabilidade de campo, e a identificação de oportunidades de melhoria de qualidade e confiabilidade.

Embora seja comum utilizarem-se os termos dados de garantia e banco de dados de garantia, na maioria das aplicações, as inferências sobre a confiabilidade de campo a partir de dados de garantia necessitam de informações complementares de duas diferentes bases de dados. Um banco de dados contém informações de produção dando a número de identificação único (por exemplo, o número de identificação do veículo, também conhecido como VIN (*Vehicle Identification Number*), ou ainda, números de séries dos produtos, hora e data de fabricação, linha de montagem e outros dados de fabricação pertinentes. Para alguns produtos como por exemplo, os automóveis, este banco de dados pode também conter a data de venda do veículo (WU; MEEKER, 2002).

Frequentemente há falta de informação nos bancos de dados de garantia, onde o número exato de unidades que apresentaram o problema ou ainda a correta quilometragem do veículo que apresentou a falha são desconhecidos, ou ainda as informações sobre determinada falha são registradas somente para as unidades que apresentaram problemas e não para todas as unidades (LAWLESS; KALBFLEISCH, 1991). Adicionalmente, os bancos de dados são, na maioria das vezes, desenvolvidos para contabilizar/registrar as reclamações, e não para a avaliação estatística desses registros. Para que a análise estatística possa ser conduzida, é necessário adquirir informações de outras bases de dados, como por exemplo, da produção.

Todo produto reclamado que ainda está coberto pela garantia possui registros separados para cada reclamação. Cada registro de reclamação contém dados básicos para garantir a rastreabilidade do produto e avaliação futura dos dados de garantia, tais como o número de série do produto, a data de reclamação, cidade em que o produto foi reclamado, um código/descrição indicando que medidas foram tomadas, nome do responsável pela análise, e, geralmente, o custo da análise. Os bancos de dados de garantia de montadoras de automóveis também fornecem a quilometragem no momento da geração do relatório.

As informações sobre confiabilidade de um produto em campo podem ser obtidas de diferentes formas. A rastreabilidade de campo longitudinal ou estudo de acompanhamento é realizado através do monitoramento de um pequena quantidade de unidades em um determinado período de tempo, onde é possível se obter o máximo de informações e também analisar esses dados através de métodos conhecidos. Estudos desse tipo são muitas vezes

conduzidos por empresas que determinam e acompanham esse pequeno grupo de unidades. O custo de monitoramento por unidade tende a ser elevado, já que somente uma pequena quantidade de unidades é monitorada para obtenção dos dados (LAWLESS; KALBFLEISCH, 1991).

2.3.2 Qualidade e Confiabilidade

Os fabricantes de produtos que são vendidos com cobertura de garantia costumam recolher dados abrangentes sobre reclamações de garantia e custos. Isso inclui a data e o local de fabricação do produto, a data da venda, e o tipo de problema que levam à reclamação. Covariáveis sobre o uso do produto ou outros fatores também podem ser registrados (LAWLESS, 1998).

Atualmente, as indústrias têm adotado cada vez mais a filosofia de produção com qualidade e confiabilidade, que é a concepção de confiabilidade em um produto e realização com antecedência (*up-front*) de testes acelerados antes de a fabricação ser iniciada, em um esforço para evitar sérios problemas de confiabilidade, que é o estado de funcionamento em circunstâncias de rotina, bem como em circunstâncias hostis e inesperadas, e, garantia para o produto no campo (WU; MEEKER, 2002). Programas como o *Reliability by Design* e *Design for Six Sigma* tornam-se cada vez mais populares nas indústrias, à medida que a necessidade de melhoria da qualidade e confiabilidade aumentam.

Se construída e mantida de forma adequada, as bases de dados de garantia podem ser utilizadas para prever futuras reclamações, para comparar a experiência de causas para diferentes grupos de produtos, e estudar as variações em causas relativas a fatores como tempo e local de fabricação, ou ainda ambiente de utilização (LAWLESS, 1998). Em algumas circunstâncias, dados de garantia pode também ser utilizado para estimar a confiabilidade de campo de produtos e para identificar oportunidades de melhoria da qualidade e confiabilidade.

Este foco na qualidade e confiabilidade e utilização eficaz de métodos estatísticos têm contribuído muito para melhorar a confiabilidade dos produtos fabricados em determinados setores, sobretudo a indústria automobilística. Períodos de garantia de automóveis têm aumentado de forma bastante expressiva e a vida útil de um automóvel atualmente já é bem maior do que era há alguns anos atrás (WU; MEEKER, 2002).

No entanto, mesmo com os avanços em termos de confiabilidade dos produtos, a maioria das empresas de manufatura, de tempos em tempos, enfrenta e continuará a enfrentar problemas de confiabilidade graves, na maioria das vezes causadas por um ou alguma combinação dos seguintes fatores: i) modo de falha imprevisto; ii) condição de funcionamento mais severa do que a projetada; iii) mudança não autorizada nas propriedades da matéria-prima, fornecedor, ou ainda; iv) alteração de projeto indevidamente avaliada. A fim de atender às exigências de relatórios financeiros e para assegurar adequadas reservas financeiras, empresas de manufatura mantêm bases de dados de garantia. A correta utilização e análise estatística dos dados de garantia podem identificar problemas de confiabilidade ou mesmo prevenir problemas mais graves. Detectando esses problemas, alguns meses ou mesmo semanas com antecedência, pode-se reduzir os custos tangíveis e intangíveis de pouca confiabilidade.

O uso de ferramentas estatísticas apropriadas pode fornecer informação de forma confiável, separando dados de ruídos. Considerando que os bancos de dados de garantia já existem, há pouco custo extra em fazer essa estratificação estatística (WU; MEEKER, 2002). A análise dos dados de garantia tem sido historicamente um tema bastante negligenciado, embora haja muitos trabalhos sobre a modelagem matemática e projeto de garantias. Alguns dos problemas associados com os dados de garantia são semelhantes para os problemas que envolvem reclamações agregadas em seguros e outras áreas. Porém, só no final da década de 90 é que o tema têm recebido maior destaque, e, dessa forma, têm aumentado o número de pesquisas sobre análise de dados de garantia (LAWLESS, 1998).

2.3.3 Políticas de garantia

O termo de garantia do produto é um contrato estabelecido entre o fabricante e seus clientes, para reparar ou substituir itens defeituosos. Do ponto de vista do comprador, o papel principal de uma garantia é salvaguardar a transação. Por outro lado, do ponto de vista do produtor, é um instrumento promocional, semelhante ao preço e desempenho de um produto para ser usado na competição com outros fabricantes no mercado. No entanto, deve notar-se que a oferta de garantia ilimitada, com a intenção de monopolizar o mercado, não é realista, uma vez que os custos eventualmente ultrapassar os lucros. Portanto, a correta definição da política de garantia é importante para o fabricante. As duas políticas básicas de

garantia são a garantia de substituição gratuita (*free replacement warranty* - FRW), que cobra nenhuma taxa de consumidores durante a vigência da garantia, e a garantia pro-rata (*pro-rata warranty* - PRW), que cobra ao consumidor uma proporção predefinida de custo para cada reparo dentro do prazo de garantia. Ocasionalmente, FRW e PRW podem ser combinados como uma política - uma garantia combinada (*combined warranty* - CW) para fornecer aos consumidores mais escolhas. (FANG; HSU, 2009).

O setor automotivo utiliza a quilometragem (de uso) e tempo decorrido entre a data de venda e data de falha para quantificar a cobertura da garantia. Com base nas dimensões da cobertura, a garantia pode ser classificada em dois tipos, isto é, a garantia unidimensional e bidimensional garantia. Garantia unidimensional é caracterizada por um único intervalo de tempo, por exemplo, a quilometragem ou tempo. Já a garantia bidimensional utiliza as duas dimensões (quilometragem e tempo) para definir períodos de garantia (SU; SHEN, 2012).

As políticas de garantia estipuladas nos termos ou contratos de garantia definem critérios de cobertura. Dentro desses critérios de cobertura de garantia, podemos citar como exemplos: não cobre acidentes, incêndios, inundações, tensão incorreta, os danos causados pela instalação incorreta, reparação indevida ou não autorizada, antena quebrada, a falta ou número de série alterado e os ajustes dos clientes que não estão descritos no manual de instruções. A definição clara desses critérios é importante para avaliação das reclamações de produtos em garantia e entendimento das limitações de uso do produto por parte do cliente.

2.3.4 Temporalidade

A distribuição dos dados de garantia em períodos, quando se analisa um tipo específico de código de falha, requer a fusão de informações de produção e dos bancos de dados de reclamações (WU; MEEKER, 2002). Em particular, o banco de dados de reclamações fornece informações sobre o período da reclamação e outras informações (como custo) para todas as ocorrências do código de falha específico. A base de dados de produção fornece a definição do início de vida do produto ou veículo, no caso da indústria automotiva. Então, o tempo de serviço até ao momento da reclamação pode ser determinado, assim como, a quantidade de tempo de serviço pode ser avaliada para produtos ou veículos sem reclamação.

Para a detecção precoce de problemas de confiabilidade para um dado produto, o monitoramento começa assim que os dados de garantia estejam disponíveis, e ações de monitoramento devem ser repetidas periodicamente, conforme ocorre acúmulo de mais dados (WU; MEEKER, 2002). Para fins de detecção, a produção é estratificada em intervalos de tempo ou períodos. Intervalos mensais, semanais ou até diários podem ser apropriados, dependendo da situação (número de códigos de falha ou modos de falha que podem ser reclamados, custos da não detecção de um importante problema, custos de falsos alarmes, bem como, custo e disponibilidade de processamento das informações).

Na maioria das estratificações para fins de análise de garantia, o início da vida é definido como o momento quando a unidade foi vendida. Devido à importância para os custos de garantia, embora outras definições poderiam ser aplicadas para outros fins específicos. O momento em que uma unidade específica é vendida é registrado da base de dados de produção da indústria automobilística. Em alguns outros setores, no entanto, esta informação nem sempre está disponível. A data de venda geralmente torna-se conhecida por unidades que são devolvidas para reparo dentro da garantia. Para unidades sem um relatório da garantia, esta informação pode, geralmente, ser completada por informação estatística sobre a distribuição do tempo entre a produção e a venda (WU; MEEKER, 2002).

2.3.5 Aplicação de Tecnologia da Informação

A aplicação da tecnologia da informação é imprescindível para a utilização de dados provenientes da cobertura de garantia. Os sistemas modernos para registros de garantia em reparos no campo utilizam as tecnologias computacionais (por exemplo, código de barras, digitalização e entrada direta de informações em alguns terminais portáteis de computador sem fio para reparos em campo). As oficinas das concessionárias também utilizam computadores disponíveis diretamente no local de reparação para agilizar os registros das informações coletadas durante reparos e diagnose de veículos, no setor automotivo. Estes sistemas virtualmente eliminam atraso da notificação que costumava ser uma dificuldade séria na análise de dados de garantia (WU; MEEKER, 2002).

2.4 MUDANÇAS DE ENGENHARIA

Na literatura do tema, é possível encontrar diferentes definições para o processo de Mudanças de Engenharia (*Engineering Change Process – ECP*), que divergem basicamente no contexto do fenômeno. Alguns autores consideram que o processo de Mudanças de Engenharia só é acionado para um produto que já está sendo produzido em série. Por exemplo, essa é a definição que considera a Mudança de Engenharia como uma modificação em um componente de um produto, depois que o produto entrou em produção (WRIGHT, 1997). Outros autores como Benedetto e Trabasso (1997 apud Rozenfeld; Horta, 2002) consideram que o processo de Mudança de Engenharia é típico do processo de desenvolvimento de produto.

Para outros autores, as principais causas que tornam as Mudanças de Engenharia grandes consumidoras de tempo dentro de uma empresa são: i) complexos processos de aprovação; ii) propagação de alterações tipo bola de neve; iii) capacidade escassa; e iv) problemas organizacionais (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005).

O processo de Mudanças de Engenharia é complexo, exige gerenciamento de diversas atividades interdependentes e ainda colaboração dos participantes para atingir o resultado desejado da forma mais eficiente possível. Uma Mudança de Engenharia rápida e eficiente requer uma definição clara do processo de Mudança de Engenharia e bom entendimento de todos os participantes (KOCAR; AKGUNDUZ, 2010).

2.4.1 Processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia

O Gerenciamento de Mudanças de Engenharia é um processo de apoio, pois durante todo o processo de desenvolvimento de produtos podem ocorrer mudanças e, somente quando as mudanças são necessárias, há necessidade de um processo para gerenciá-las (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Para Kocar e Akgunduz (2010), o Gerenciamento de Mudanças de Engenharia é o processo de organizar, controlar e gerir o fluxo de trabalho (*workflow*) e de informações para Mudança de Engenharia. Ainda de acordo com esses autores, o processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia envolve três fases principais: i) pedido; ii) aprovação; e iii) notificação/execução (KOCAR; AKGUNDUZ, 2010).

Com relação à rastreabilidade, existem basicamente dois tipos de mudanças:

- a) as não controladas: ocorrem no início do desenvolvimento ou na fase do projeto conceitual. As mudanças afetam um número pequeno de pessoas que estão em contato direto e correspondem a um escopo de alteração limitado;
- b) as controladas: ocorrem quando as informações já foram compartilhadas com mais pessoas dentro de uma organização e é necessário controle para garantir a consistência da informação.

Dentro do Gerenciamento de Mudanças de Engenharia, alguns conceitos são necessários para o perfeito entendimento do tema, quais sejam:

- a) Pedido de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Request – ECR*): tem o objetivo de formalizar o pedido de alteração, indicando o possível problema ou oportunidade de mudança encontrada;
- b) Ordem de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Order - ECO*): contém a solução aprovada para o pedido de Mudança de Engenharia, bem como a autorização para sua execução;
- c) Comitê de Controle de Mudança (*Change Control Board - CCB*): formado por um time multifuncional, em que os participantes podem ser alterados de acordo com o produto ou mudança a ser realizada.

Na Figura 2 são representados os processos de apoio envolvidos durante o Gerenciamento de Mudanças de Engenharia. Na fase Identificar Mudança, a necessidade de uma mudança surge e é colocada em um sistema de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia por um emitente. O emitente pode ser um departamento ou um membro da equipe de engenharia relacionado com os parâmetros de projeto, que acredita que há espaço para melhorias. O problema identificado é encaminhado para avaliação e então é emitida uma *ECR* (*Engineering Change Request*), também conhecido como Pedido de Mudança de Engenharia. Essa *ECR* contém informações sobre: qual o componente deve ser alterado, o que atribui a mudança, a razão para a mudança e um desenho técnico anexado representando as mudanças (ROZENFELD *et al.*, 2006).

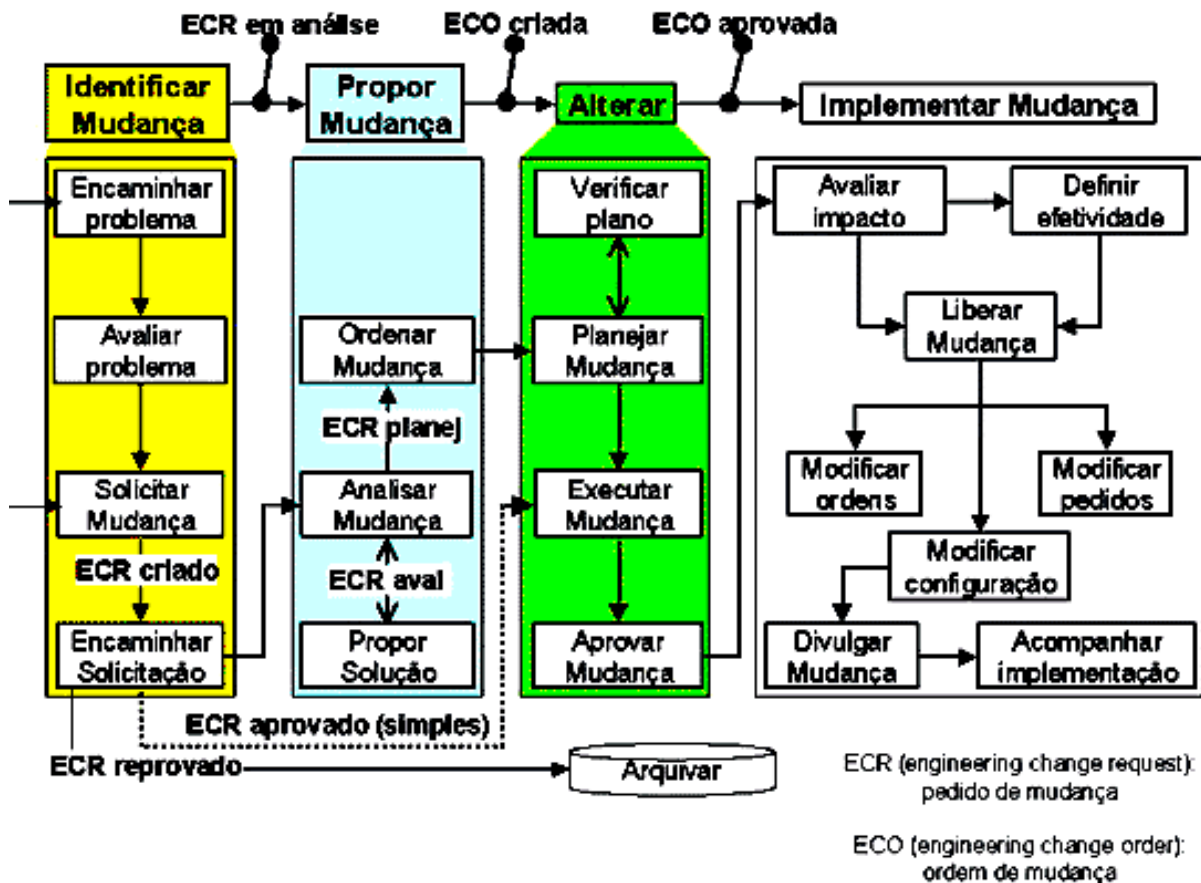


Figura 2 - Processos de apoio para o Gerenciamento de Mudanças de Engenharia

Fonte: ROZENFELD *et al.* (2006), página 456

Na fase Propor Mudança, a ECR é planejada, as mudanças são avaliadas e é proposta uma solução para o problema. Após a aprovação do pedido de mudança por todos os membros do Comitê de Controle de Mudança, o coordenador determina os departamentos a serem informados e distribui uma Ordem de Mudanças de Engenharia, envolvendo informações em texto e graficamente sobre a mudança a ser implementada. Na fase Alterar, um Comitê de Controle de Mudança, com membros de vários departamentos funcionais, que devem verificar o plano, planejar, executar e aprovar as mudanças, gerenciando métodos e procedimentos de Mudanças de Engenharia.

Na fase seguinte, conhecida como Implementar Mudança, ocorre a identificação dos componentes que são afetados pela mudança (avaliação do impacto) e é definida a eficácia da solução. Esta fase é finalizada pelo acompanhamento da implementação da solução.

A propagação de mudança é um dos mais importantes sub-processos envolvidos em um ciclo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia. Alguns dos aprovadores são funcionários não-técnicos que têm dificuldade em compreender complicados desenhos

técnicos que definem a mudança, o que gera erros importantes durante o processo de aprovação de uma proposta de Mudança de Engenharia. Dessa forma, torna-se ainda mais importante a clareza das informações e comunicação entre todos os participantes para que o processo de aprovação seja eficiente.

A formalização do processo de aprovação, assim como a nomeação de um coordenador de Mudanças de Engenharia e estabelecimento de um conselho ou Comitê de Controle de Engenharia, são necessários para realizar um Gerenciamento de Mudanças de Engenharia eficiente.

Uma abordagem eficaz para o Gerenciamento de Mudanças de Engenharia deve, em caso de uma modificação desejada ou necessária do produto, fornecer a funcionalidade que: i) rastreie o impacto da mudança sobre os elementos da estrutura do produto; ii) identifique as pessoas a serem informadas, tanto dentro da empresa quanto através dos limites da empresa; iii) determine uma sequência razoável para informar as pessoas identificadas; e iv) execute um fluxo de aprovação e liberação (ordenado por atividades) com a participação de todas as pessoas envolvidas ou afetadas pela mudança (ROUIBAH; CASKEY, 2003).

O problema deve ser analisado e transformado em uma proposta de Mudança de Engenharia (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005). O sistema de informação desempenha um papel importante na organização e coleta dos dados necessários. A organização também inclui a análise e teste, se aplicável. É necessário se assegurar de que cada proposta seja sujeita a discussão profissional adequada, o que, por motivos econômicos, pode ser realizado em várias etapas. Cada mudança deve passar pelo processo de aprovação, no qual as consequências da mudança são calculadas a partir de todas as perspectivas em termos de custos e viabilidade técnica. Uma vez que a mudança tenha sido aprovada, deve, primeiro, ser inscrita na documentação e distribuída, e, posteriormente, deverá ser implementada no processo de produção, serviços, e assim por diante.

Processos bem definidos ajudam os projetistas a trabalhar de forma eficiente e aumentar a chance de sucesso do reprojeto. Por outro lado, os processos não-estruturados, em que faltam métodos apropriados, podem resultar em produtos sem qualidade ou lançados tardiamente no mercado.

A estrutura organizacional deve apoiar a Mudança de Engenharia e os processos de projeto. Para melhorar a eficiência do processo de desenvolvimento de produtos é necessário separar as mudanças em produtos já em processo de fabricação dos projetos destinados a desenvolver novos produtos (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005). Esta divisão de trabalho pode garantir tempos de resposta mais curtos. É necessário ter em mente que

Mudanças de Engenharia são muito imprevisíveis e podem requerer cargas variáveis e longos tempos de resposta. Análises adicionais podem ser particularmente demoradas. Uma solução possível é o horário de trabalho flexível, que é parcialmente ajustado para a quantidade de trabalho. Outra medida, que pode ser útil para um melhor aproveitamento de recursos, é o compartilhamento de membros de equipe, onde um engenheiro pode ser utilizado em mais de um projeto de Mudanças de Engenharia, variando sua carga de trabalho nos projetos em que ele atua, de acordo com a demanda de trabalho desses projetos.

2.4.2 Comunicação

O Gerenciamento de Mudanças de Engenharia, assim como o Processo de Desenvolvimento de Produto, exige comunicação intensiva entre muitas pessoas dentro de uma empresa, ou ainda entre diversas empresas. A comunicação também deve ser estendida além de departamentos funcionais, incluindo também fornecedores, que podem auxiliar com a interface dos componentes afetados pela mudança.

A comunicação inadequada leva a um processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia pouco robusto. O contato frequente entre os membros da equipe responsável pela Mudança de Engenharia pode melhorar a comunicação, mas é necessária a utilização de procedimentos claros para facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas no cumprimento dos requisitos exigidos pelo projeto. Os procedimentos de comunicação devem estabelecer funções claras entre os participantes envolvidos no processo (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005).

Para a realização adequada das atividades de desenvolvimento de produto, é importante ser capaz de distinguir quais são os canais de comunicação relevantes, bem como a frequência e o conteúdo da comunicação. O tipo predominante de comunicação varia consideravelmente de acordo com o tipo de projeto. No desenvolvimento de novos produtos, o mercado serve como importante fonte de informação e o diálogo criativo vai predominar. Quando se fala de variações de produtos, os projetistas são consideravelmente mais limitados e dependentes da informação que foi compilada dentro da empresa, o que é ainda mais frequente no caso de mudanças no produto. Uma má comunicação é o motivo mais frequente de problemas no Gerenciamento de Mudanças de Engenharia (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005).

A utilização de times multifuncionais na concepção de produtos, especialmente se os mesmos forem de natureza complexa, é de grande importância (ECKERT *et al.*, 2004). Dessa forma, especialistas em diferentes áreas trazem diferentes experiências para o projeto. No entanto, às vezes as pessoas não se comunicam como deveriam e então não se beneficiam das informações já disponíveis e também não fornecem informações necessárias para um bom planejamento e execução do projeto. Na prática, muitas vezes é difícil de identificar e encontrar a pessoa certa para se comunicar. A comunicação informal também é de grande valia no processo de comunicação em um determinado projeto. A comunicação informal ultrapassa diferentes níveis hierárquicos dentro de uma empresa, enquanto a comunicação formal tende a seguir os níveis hierárquicos, se tornando mais lenta ou com uma linguagem nem sempre acessível a todos os participantes da equipe.

Os projetistas trabalham de forma mais eficiente quando é definido claramente o objetivo da entrega e como seu trabalho se relaciona com outras tarefas (ECKERT *et al.*, 2004). A melhor forma de garantir o entendimento da relação de seu trabalho com outras tarefas é a proximidade física entre os membros da equipe do projeto. Dessa forma, além da realização de um diálogo mais criativo, é criado um canal de comunicação informal, onde os projetistas não têm que interpretar todo o escopo das suas tarefas, o que poderia levar à repetição desnecessária ou inadequada, que por sua vez poderia exigir retrabalho ou resultar em alterações para outras tarefas (ECKERT *et al.*, 2004).

O acesso às informações referentes ao processo de Mudanças de Engenharia é importante para uma comunicação adequada. Especialmente em projetos complexos, existe o envolvimento de diversos projetistas que nem sempre estão fisicamente próximos, e que dependem de informações de outros projetistas para a execução correta de sua atividade. Durante o Gerenciamento de Mudanças de Engenharia, à medida em que ocorre a distribuição das informações, mais pessoas possuirão acesso aos dados do produto/alterações propostas (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005). Por esta razão, o acesso ao conteúdo atualizado de documentos e comunicação através do sistema de informação é muito importante.

Manter uma boa comunicação entre os departamentos de uma empresa não é uma tarefa fácil. No atual cenário mundial, em que o desenvolvimento do produto ocorre em diferentes localidades, envolvendo vários OEM's (*Original Equipment Manufacturer*), prestadores de serviços de engenharia e fornecedores, os desafios são ainda maiores. Os OEMs e os fornecedores costumam ter os seus próprios processos de Mudanças de Engenharia e terminologias, apoiados por um grande número de fluxos de trabalho (*workflows*) e sistemas de gerenciamento de dados próprios, além de estruturas específicas

para gerir e comunicar Mudanças de Engenharia. Portanto, toda vez que as informações relacionadas à mudança atravessam as fronteiras da empresa, é necessária a realização de tradução e interpretação das terminologias utilizadas em cada uma das empresas envolvidas, para que todos os membros do time de Mudanças de Engenharia tenham o mesmo entendimento sobre a mudança proposta. Assim, há necessidade de que cada processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia se comunique através da cadeia de abastecimento utilizando uma linguagem universal (WASMER *et al.*, 2011).

2.4.3 Multidisciplinaridade

Com a finalidade de assegurar a conformidade com os requisitos do cliente e diminuir a possibilidade de desvios, torna-se uma prática cada vez mais comum nos processos de projeto/Mudanças de Engenharia a participação precoce dos departamentos funcionais, como produção, qualidade, planejamento e compras. A participação de clientes e fornecedores na fase de desenvolvimento de produto é essencial para a concepção de produtos mais completos já na primeira tentativa (ROUIBAH; CASKEY, 2003). O Desenvolvimento Integrado de Produto, gestão da cadeia de abastecimento e produção baseada nas encomendas recebidas, do inglês *make-to-order* (MTO) são filosofias e técnicas que não só asseguram, como também exigem a cooperação entre departamentos, clientes e fornecedores.

O Gerenciamento de Mudanças de Engenharia envolvendo mais de uma empresa requer a colaboração entre diferentes departamentos e fornecedores. O Gerenciamento de Mudanças de Engenharia é mais rápido e menos propenso a erros quando realizado simultaneamente e os dados são transparentes para todos os interessados. Na maioria das Mudanças de Engenharia, os departamentos de projeto, engenharia e produção industrial estão envolvidos. No entanto, outros departamentos também podem fazer parte do time que discute Mudanças de Engenharia, tais como compras, pós-venda e tecnologia para manufatura. O Gerenciamentos de Mudanças de Engenharia envolve de quatro a sete departamentos (equipe de projeto, engenharia, engenharia funcional de um ou mais componentes de interface, gestão da qualidade, planejamento de produção, finanças, compras e protótipos) (TERWIESCH; LOCH, 1999). O Gerenciamento de Mudanças de Engenharia tem fortes implicações para todas as funções de uma empresa e seus fornecedores, como recursos ou como pessoas afetadas.

Embora as informações precisem estar ao alcance de todos os interessados, deve-se tomar o cuidado em não sobrecarregar o time de análise de Mudanças de Engenharia, com informações que não são relevantes para sua área de atuação. Daí, a importância de um bom gerenciamento das informações pertinentes à mudança e experiência do líder de projeto.

Uma Mudança de Engenharia nem sempre é necessariamente iniciada pelo departamento de engenharia. Outros departamentos também podem iniciar/solicitar alterações em produtos, quando necessário. Além do departamento que iniciou a mudança, outros departamentos também são afetados ao passo que documentos ou especificações precisam ser alterados.

Os objetivos da mudança nem sempre são os mesmos para os diversos departamentos envolvidos (ROUIBAH; CASKEY, 2003). O objetivo da engenharia poderia ser executar uma determinada função da melhor maneira possível, enquanto que a meta de produção poderia ser a de redução do tempo de montagem, e redução de custos de material poderia ser o objetivo principal para o departamento de compras. Portanto, o processo de mudança requer a aprovação de todas as pessoas envolvidas, que podem ser afetadas pela mudança. O processo de Mudanças de Engenharia demanda várias negociações, a fim de chegar a um consenso.

2.4.4 Aplicação de Tecnologia da Informação

Com o grande número de informações compartilhadas e também de participantes no processo, o suporte de computadores torna-se indispensável para uma boa comunicação durante o Gerenciamento de Mudanças de Engenharia. Nenhuma pessoa sozinha pode ter uma boa visão geral dos numerosos processos que ocorrem simultaneamente. Portanto, o processo de Mudança de Engenharia deve ser determinado com um fluxo de trabalho flexível, de modo que cada participante receba apenas as informações em que ele ou ela precisa para avaliar ou executar as Mudanças de Engenharia.

Muitas indústrias procuram a utilização de sistemas CAD, como o CATIA, durante todo o processo de projeto para gerar um modelo virtual completo do produto. Como as peças e sistemas estão interligados no espaço virtual, o efeito das alterações torna-se visível com mais antecedência do que se utilizado somente as técnicas convencionais (ECKERT *et*

al., 2004). Contudo, os sistemas CAD não podem modelar as alterações que terão impacto em outros sistemas além do sistema em que as mudanças são imediatamente propagadas, porque eles não sabem exatamente quais serão os efeitos nos sistemas seguintes. As propriedades funcionais podem ser analisadas através de técnicas específicas, tais como dinâmica de fluidos computacional. Além disso, os efeitos colaterais funcionais podem ser modelados. Por exemplo, as vibrações podem ser parcialmente modeladas matematicamente.

Em trabalho sobre sistemas CAD, um exemplo simples de uma mudança do projeto de uma mesa foi utilizado para ilustrar a capacidade de gerenciamento de mudanças pela solução proposta, chamada de ADVICE (KOCAR; AKGUNDUZ, 2010). Os autores desse trabalho discutem a implementação de uma solução de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia computadorizada que incorpora Ambientes de Projeto Colaborativos Virtuais (*Virtual Collaborative Design Environments*) e técnicas de Procura de Padrões Sequenciais (*Sequential Pattern Mining*) no processo. O sistema resultante, chamado de ADVICE, é um ambiente virtual distribuído, que fornece suporte ao usuário de forma interativa para implementar um processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia de forma mais eficaz.

Alguns pacotes também facilitam a simulação de comportamento, o que permite a avaliação inicial do produto para que as alterações possam ser feitas para atender os requisitos exigidos (ECKERT *et al.*, 2004). As alterações podem ser apresentadas no âmbito do processo de projeto, o que os torna mais barato e fácil de implementar. Como a tecnologia computacional facilita as etapas de projeto e testes, muitas empresas têm aumentado o número de rodadas de refinamento antes de um protótipo ser construído e a produção ser iniciada. Na verdade, a maioria das empresas pretende usar cada vez mais a simulação para reduzir o número de protótipos que eles precisam para construir um projeto antes de entrar em produção, e, dessa forma, reduzir os custos associados à construção desses protótipos.

2.4.5 Prototipação, Validação e Testes

Na concepção da maioria dos produtos, sistemas e sub-sistemas é necessária a realização de testes físicos, quer para definir o comportamento básico ou resistência aos efeitos externos, como por exemplo, a radiação eletromagnética ou o impacto físico (ECKERT *et al.*, 2004). Os órgãos de certificação também prescrevem inúmeros testes. O

teste pode exigir um planejamento considerável, já que os recursos físicos e humanos precisam ser reservados e atribuídos. Além disso, as peças para testes que são obtidas externamente, através de fornecedores, podem ter longos períodos para sua aquisição.

As simulações realizadas através da informática e a confecção de protótipos permitem um teste mais realista do comportamento e, também, expor os comportamentos funcionais indesejados, tais como vibração ou ruído. Para se construir um protótipo completo é necessário se utilizar sistemas integrados de teste em uma plataforma de teste. Protótipos são extremamente caros para se construir e empresas querem reduzir o número de protótipos físicos. Muitas vezes, é mais barato se modificar protótipos existentes do que construir um novo protótipo para cada mudança (ECKERT *et al.*, 2004).

A inexistência de testes apropriados pode ter enormes repercussões sobre o processo de projeto. O teste final de qualquer produto é, naturalmente, como ele se comporta em uso. Muitas questões, tais como fadiga, manutenção e segurança durante o uso pouco convencional, só podem ser estabelecidas durante a utilização. Sérios problemas podem ser observados durante o uso contínuo do produto. Soluções para outros problemas podem ser incorporadas em novas modificações do produto (reprojeto).

Em um reprojeto de produto, os problemas de fabricação podem se manifestar de várias maneiras diferentes: i) quando algo não pode ser produzido a um custo definido, como por exemplo, quando uma peça fora do padrão é especificada; ii) quando algo não pode ser fisicamente fabricado (como por exemplo, devido a uma especificação de tolerâncias não atingíveis); e iii) quando a capacidade de produzir algo não existe (ECKERT *et al.*, 2004). No entanto, em muitas empresas, o projeto ocorre com pouca consideração ou a compreensão de fabricação. Especialistas em projeto, muitas vezes sabem pouco sobre fabricação e produção. E em muitas vezes, os especialistas em produção não entendem as exigências do projeto.

2.4.6 Tomada de Decisão

No Gerenciamento de Mudanças de Engenharia muitas decisões precisam ser tomadas, fazendo com que a tomada de decisão dentro de uma empresa torne-se o gargalo. O trabalho é mais eficiente se as decisões são tomadas por uma pessoa (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005). No entanto, é difícil para uma pessoa ter todo o conhecimento complexo que é necessário para a tomada de decisão. Dessa forma, é prática comum nomear uma equipe

responsável pela tomada de decisões, conhecida como Comitê de Controle de Mudança. No entanto, neste caso, o perigo é que a responsabilidade pode ser transferida de uma pessoa para outra. Um bom processo também contém delimitação clara das competências em matéria de tomada de decisão e um plano de emergência em caso de complicações.

Uma decisão errada pode ter muitas implicações e, como resultado da falta de conhecimento técnico ou visão geral do produto, decisões erradas são inevitavelmente tomadas. Tais problemas, que podem resultar em alterações, precisam ser reconhecidos e resolvidos o mais rapidamente possível. Além disso, a falta de uma decisão sobre se e como resolver um problema pode ter efeitos enormes no final do processo de projeto (ECKERT *et al.*, 2004).

O processo de Mudança de Engenharia é dividido em duas partes: i) na primeira, as decisões são passadas; e ii) na segunda, a ênfase está na sua rápida implementação (TAVČAR; DUHOVNIK, 2005). Quando as avaliações são feitas, uma combinação de comunicação por meios eletrônicos e por consultas pessoais dentro de uma equipe irá produzir a mais alta confiabilidade e as decisões corretas. A produção de um protótipo é, também, parte integrante do processo de tomada de decisão. Além do seu aspecto técnico da produção do protótipo, o acesso a todos os dados sobre o produto, tanto os dados técnicos como os dados de produção, também são importantes. O processo de mudança também inclui componentes e fornecedores de ferramentas, que devem ter acesso às informações diretamente do sistema central. É importante reconhecer o nível de concepção da Mudança de Engenharia, enquanto se determina o plano de ação e o que é necessário para dar suporte para as diferentes fases do projeto.

A confiança na avaliação de determinada mudança é a medida de quão provável o avaliador acredita ser a alternativa que preenche os critérios de projeto. Um critério bem definido mensura um atributo específico da alternativa e dá uma indicação de qual é o desempenho aceitável deste atributo. No entanto, muitos critérios de projeto não podem ser plenamente representados numericamente com metas conhecidas ou mesmo calculáveis. Assim, a confiança é muitas vezes subjetiva e parte do discernimento necessário para resolver os problemas de projeto (DAVID *et al.*, 2005).

2.4.7 Propagação

Um fator que influencia a velocidade e a qualidade do Gerenciamento de Mudanças de Engenharia é a propagação de mudança. Este é o resultado da ligação entre o componente que é modificado e os componentes de interface ou de desenvolvimento. As peças e sistemas, especialmente em produtos complexos, podem ser altamente interligados, dependendo de quanto os produtos são modulares. Os automóveis, aeronaves, barcos ou helicópteros têm interações complexas entre seus componentes. Alterações em uma parte ou sistema pode ter um efeito de propagação sobre outras partes e sistemas. Como uma parte ou sistema reage à mudança depende de como o projeto foi estruturado.

Quanto mais forte a ligação entre os componentes, mais provável é que a mudança de uma parte do sistema vá gerar uma mudança em outra parte. Produtos são a soma de interações complexas entre as peças e sistemas. As peças têm de interagir umas com as outras, com sistemas e sistemas têm de interagir com outros sistemas. Como consequência, uma mudança para uma única peça ou sistema pode causar alterações em outras partes ou sistemas (ECKERT *et al.*, 2004). Uma mudança raramente ocorre sozinha e pode ter vários efeitos interagindo em outros sistemas. Por isso, é preciso estar atento não só nas cadeias de mudanças específicas, mas também em mudanças de redes complexas. Na Figura 3 é apresentado um exemplo hipotético de propagação de alterações.

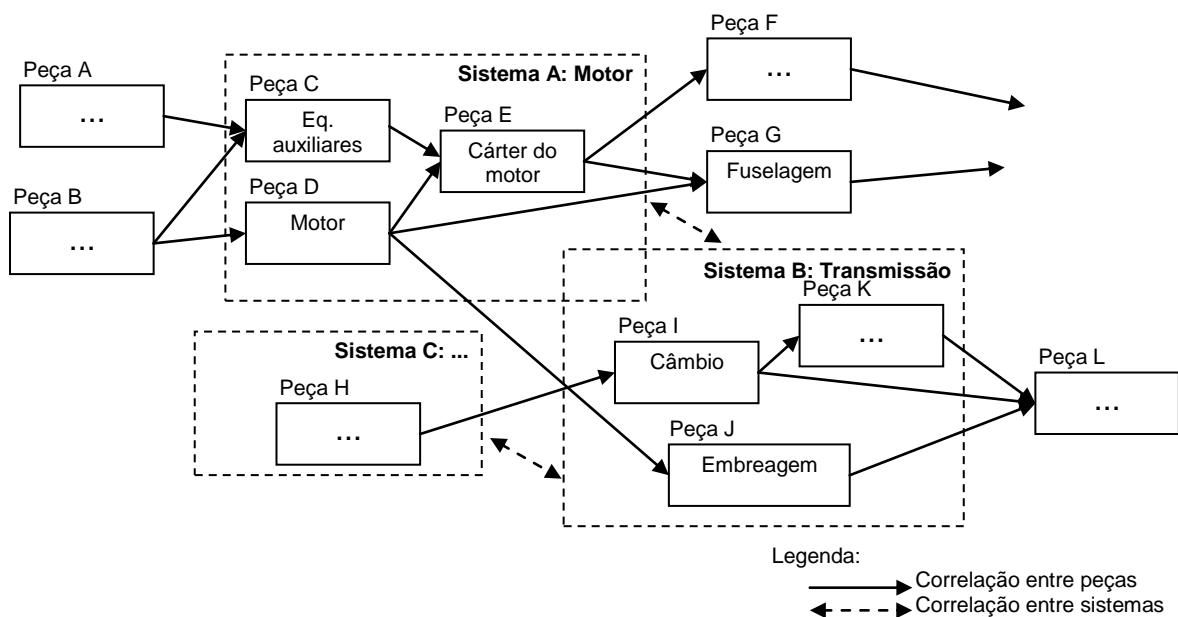


Figura 3 - Rede de mudanças através de propagação de mudanças

Fonte: Adaptado de ECKERT, CLARKSON e ZANKER (2004).

Os objetos relacionados podem causar outras alterações e, portanto, mudanças no produto inteiro. Existem três grupos de ligações: i) entre um componente do produto e seu processo de fabricação correspondente; ii) entre um componente do produto e outros componentes (dentro da mesma empresa); e iii) entre um componente do produto e outros componentes em outros parceiros (fornecedores) (ROUIBAH; CASKEY, 2003).

Sistemas e peças respondem à mudança de formas diferentes, que vão desde sistemas que não propagam uma mudança para outros componentes ou sistemas, até sistemas que amplificam a mudança. Este comportamento de propagação de mudança depende de uma situação específica de mudança. Além disso, a forma como um determinado sistema reage à mudança depende da sua capacidade para absorver ou multiplicar a mudança, que podem ser amortecido por limites de mudança e as conseqüências funcionais associados com a sua mudança. A decisão de alterar ou não um subsistema é gerencial e leva em consideração as conseqüências que as Mudanças de Engenharia podem ter com relação à essa ligação entre componentes e a propagação dessas alterações no sistema ou produto (ECKERT *et al.*, 2004).

Quanto maior é a mudança realizada, mais complexa será a análise de propagação de mudanças. Em um sistema que já foram analisadas e definidas as ligações entre seus componentes, serão mais facilmente previstas as propagações de Mudança de Engenharia. Devido à grande quantidade de relações e a propagação de mudança resultante, um procedimento que pode lidar com essas relações complexas é útil para realizar Gerenciamento de Mudanças de Engenharia com eficiência.

2.5 GERAÇÃO DE IDEIAS PARA REPROJETOS

Essa seção descreve a pesquisa sobre o tema geração de ideias de Mudanças de Engenharia, realizando o estudo sobre gestão para inovação.

2.5.1 Gestão para Inovação

O estudo do tema geração de ideias para Mudanças de Engenharia exige um aprofundamento no tema gestão para inovação. A inovação é movida pela habilidade de detectar oportunidades e tirar proveito das mesmas. Inovar não necessariamente consiste

apenas na abertura de novos mercados, mas significa novas formas de servir a mercados já estabelecidos e maduros (TIDD *et al.*, 2008).

No caso de produtos mais maduros e estabelecidos, o crescimento da competitividade nas vendas é resultado não apenas da capacidade de oferecer preços mais baixos, mas também de uma infinidade de fatores não-econômicos, tais como o modelo, customização e qualidade de um determinado produto. Num mundo em que o ciclo de vida dos produtos é cada vez menor, a substituição dos produtos por versões mais modernas, de forma mais frequente, representa uma necessidade para manutenção da capacidade competitiva de uma organização (TIDD *et al.*, 2008).

A inovação compreende duas atividades estabelecidas. A primeira é tradicionalmente entendida como tecnológica: pesquisa e desenvolvimento (P&D) de novos produtos. A segunda é estratégica: a definição do modelo de negócios. O sucesso depende da integração do modelo de negócios e da mudança tecnológica em um processo homogêneo, sem que haja conflito entre essas atividades (DAVILA *et al.*, 2008).

Um processo homogêneo não significa que a inovação deva ser alocada em uma única unidade organizacional, mas pelo contrário. Por sua própria natureza, inovação requer recursos, competências e experiências que residem em diferentes partes da organização, ou, ainda, em organizações externas. Requer igualmente esforços coordenados e sincronizados ao longo dos departamentos para que se possa levar uma ideia desde o mundo da abstração até um produto tangível. Estabelecer colaboração interna e externa sólida é um elemento indispensável para a inovação (DAVILA *et al.*, 2008).

A inovação não exige, necessariamente, uma revolução interna nas empresas, mas, sim, uma definição de sólidos processos de gestão e de uma organização capaz de transformar desenhos em fatos. O livro As Regras da Inovação (DAVILA *et al.*, 2008) aponta sete principais fatores para uma correta gestão para inovação:

- a) liderança sólida com foco na definição de estratégias de inovação, organização de agendas inovadoras e incentivo à criação de valor com real significado;
- b) a inovação deve fazer parte da mentalidade de negócios da empresa;
- c) a inovação deve estar alinhada com a estratégia de negócios da empresa, inclusive no que diz respeito à seleção da estratégia de inovação;
- d) estabelecer um equilíbrio entre criatividade e captação de valor, de maneira que a empresa consiga gerar novas ideias com sucesso e extrair o máximo retorno possível desse investimento;

- e) neutralizar os anticorpos organizacionais capazes de minar boas ideias pelo simples fato de serem diferentes da rotina;
- f) redes internas e externas de inovação, pois são as redes, e, não os indivíduos os elementos básicos da construção da inovação;
- g) corrigir os indicadores e as recompensas, a fim de tornar a inovação gerenciável e de produzir a conduta adequada.

2.5.2 Fontes para Inovação

Não reside no indivíduo a unidade central da inovação: não é uma pessoa o principal elemento construtivo. Muito pelo contrário, é a rede que se estende no interior (P&D, *marketing*, produção) e no exterior (clientes, fornecedores, sócios, entre outros) de uma organização. A inovação requer o desenvolvimento e a conservação de uma rede de relacionamentos aberta e de mútua colaboração, torna-se de difícil implementação na prática, levando em consideração a complexidade dos relacionamentos, motivações e objetivos diferenciados. A gestão de parcerias eficientes na empresa com clientes, fornecedores, consultores e todos aquele com alguma capacidade de ajudá-la a se manter inovadora constitui um dos elementos centrais da inovação (DAVILA *et al.*, 2008).

As redes são importantes, mas, se não contarem com uma definição clara do tipo de rede adequada ao seu caso, a organização pode acabar optando por redes de custo elevado de manutenção e baixo rendimento ou retorno ao investimento realizado.

As pesquisas com foco em inovação apontam uma extensa lista de fontes de ideias para Mudanças de Engenharia, tais como clientes, competidores, universidades, fornecedores, outras divisões dentro de uma mesma empresa, consultores, entre outros (SALTER; GANN, 2003). Essas fontes apresentam variação dependendo do setor da indústria em questão ou país em que a indústria se localiza (DAVILA *et al.*, 2008).

Embora a colaboração externa seja essencial para o sucesso, a empresa não pode terceirizar completamente a inovação. Algumas atividades fundamentais de desenvolvimento de produtos podem ser terceirizadas, da mesma forma que atividades na geração e comercialização de ideias. Mas a terceirização completa de inovação significaria abdicar do controle da tecnologia que a empresa usa (produtos, serviços, processos e capacitação), bem

como dos modelos de negócio que empresa para concorrer (tais como a cadeia de suprimentos). Alguns desses elementos são cruciais para a sobrevivência e sucesso da empresa. Saber quais deles são cruciais e quais deles podem ser administrados com a colaboração de um sócio é parte importante da estruturação da inovação no âmbito de qualquer empresa (DAVILA *et al.*, 2008).

As duas maiores fontes de idéias mais apontadas para projetos de engenharia, foram apontadas como contato frente-a-frente e trabalho com outras pessoas em projetos. A experiência adquirida na execução de projetos anteriores foi citada por mais de 70% dos entrevistados numa pesquisa conduzida na empresa Arup, no Reino Unido (SALTER; GANN, 2003).

Uma organização que procura promover a inovação, incentiva a comunicação. Essa comunicação deve ocorrer não apenas entre os integrantes dessa organização, mas, também, entre interessados externos. Entre esses interessados externos podem ser citados os clientes, fornecedores, universidades, concorrentes ou empresas de outros setores industriais (DAVILA *et al.*, 2008).

A organização que pretende sobreviver aos próximos dois ciclos de vida de produtos precisa, ao menos, de pequenas doses de inovação e realizar investimentos para concretizá-las. Isto, porém, não significa que a organização deva contar com constantes inovações espetaculares, capazes de produzir significativas mudanças em sua base tecnológica e de negócios. Esse nível de mudança pode acabar com a concorrência, mas no final acaba igualmente honerando a organização inovadora o peso dos imensos custos. Dessa forma, cada empresa precisa definir o nível de inovação que será capaz de sustentar num determinado momento, qual o acréscimo de inovação que virá a necessitar futuramente (DAVILA *et al.*, 2008).

Ao contrário do que é presumido em algumas empresas, a estrutura e processos não são inimigos naturais da criatividade, mas, sim, podem favorecer ao aumento dessa, desde que a estrutura seja usada de maneira adequada.

As organizações bem-sucedidas combinam mudança em tecnologia e mudança no modelo de negócios para criar inovação. Para integrar com sucesso um sólido modelo de inovação à mentalidade empresarial, uma empresa precisa equilibrar com precisão os elementos tanto de negócios quanto de inovação tecnológica.

2.5.3 Tipos de inovação

Na literatura é possível encontrar diferentes classificações com relação aos tipos de inovação. No livro Gestão da Inovação (TIDD *et al.*, 2008) foram definidas quatro categorias abrangentes, definidas como os “4Ps” da inovação:

- a) inovação de produto: mudanças nas coisas (produtos/serviços) que uma empresa oferece;
- b) inovação de processo: mudanças na forma em que os produtos/serviços são criados e entregues;
- c) inovação de posição: mudanças no contexto em que os produtos/serviços são introduzidos;
- d) inovação de paradigma: mudanças nos modelos mentais subjacentes que orientam o que a empresa faz

A inovação de produto, por exemplo, poderia ser um novo modelo de carro, um novo pacote de seguro contra acidentes para bebês recém-nascidos, ou, ainda, um novo sistema de entretenimento doméstico. Já a mudança nos métodos de fabricação ou nos equipamentos utilizados para manufatura dos produtos, como no exemplo anterior, o carro, o sistema de entretenimento doméstico, ou, mesmo, nos procedimentos administrativos, no caso do seguro, seriam exemplos de inovação de processo (TIDD *et al.*, 2008).

A inovação pode, ainda, ser direcionada pelo reposicionamento da percepção de um produto ou processo já estabelecido em um contexto de uso específico. Um exemplo disso, é um produto fabricado no Reino Unido, desenvolvido originalmente para aumentar a disposição de crianças e enfermos, que foi relançado no mercado como bebida energética, com a finalidade de auxiliar na melhoria do desempenho de atletas para uso durante atividades físicas (TIDD *et al.*, 2008).

Algumas oportunidades de inovação surgem quando é repensada a forma de atuar ou de percepção do negócio. É o caso da linha de montagem desenvolvida por Henry Ford, que possibilitou a produção em larga escala e consequente redução do custo do automóvel. Antes do processo de fabricação em série desenvolvido por ele, os automóveis eram montados de uma forma artesanal e poucos poderiam comprar tal meio de locomoção, por se tratar de um produto bastante caro (TIDD *et al.*, 2008).

Os diferentes tipos de inovação variam em complexidade, propósito e abrangência. As inovações não são criadas de uma mesma forma, e, apresentam riscos e

retornos bastante diferentes. Uma segunda dimensão da mudança leva em consideração o grau de novidade envolvido, e pode, de forma geral, ser classificadas em:

- a) incremental;
- b) semirradical;
- c) radical.

Na Figura 4 é ilustrado o processo de mudanças, enfatizando o grau de inovação envolvido e a ideia de qua tal mudança pode ocorrer do componentes ou subsistemas ou afetar o sistema como um todo.

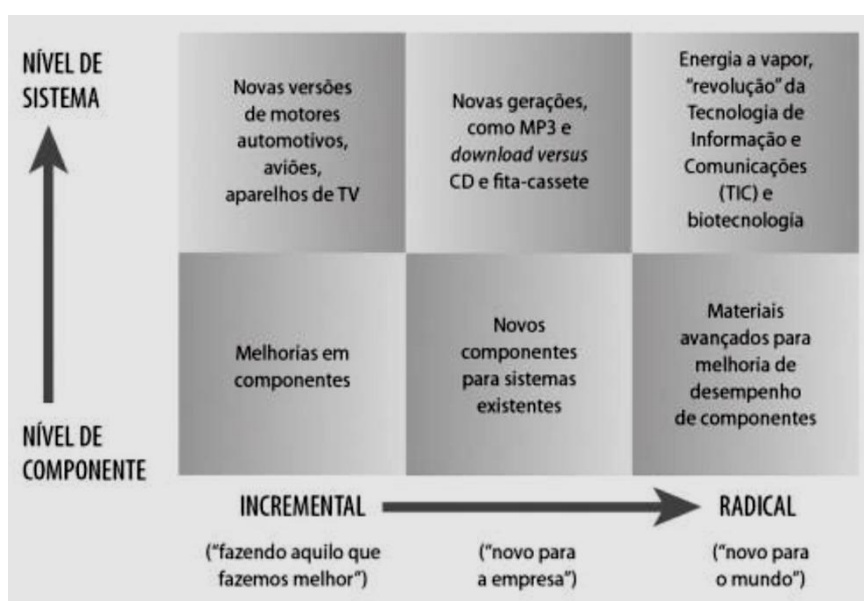


Figura 4 - Dimensões da inovação

Fonte: TIDD *et al.* (2008), página 32

Cada uma das categorias mais abrangentes definidas como "4Ps" da inovação pode ocorrer ao longo de um eixo, desde a mudança incremental até a mudança radical. Na Figura 5 está ilustrado o espaço potencial para a inovação, dentro do qual cada organização opera. Uma organização que explora adequadamente todo o espaço da inovação, apresenta vantagens estratégicas em relação aos seus competidores.

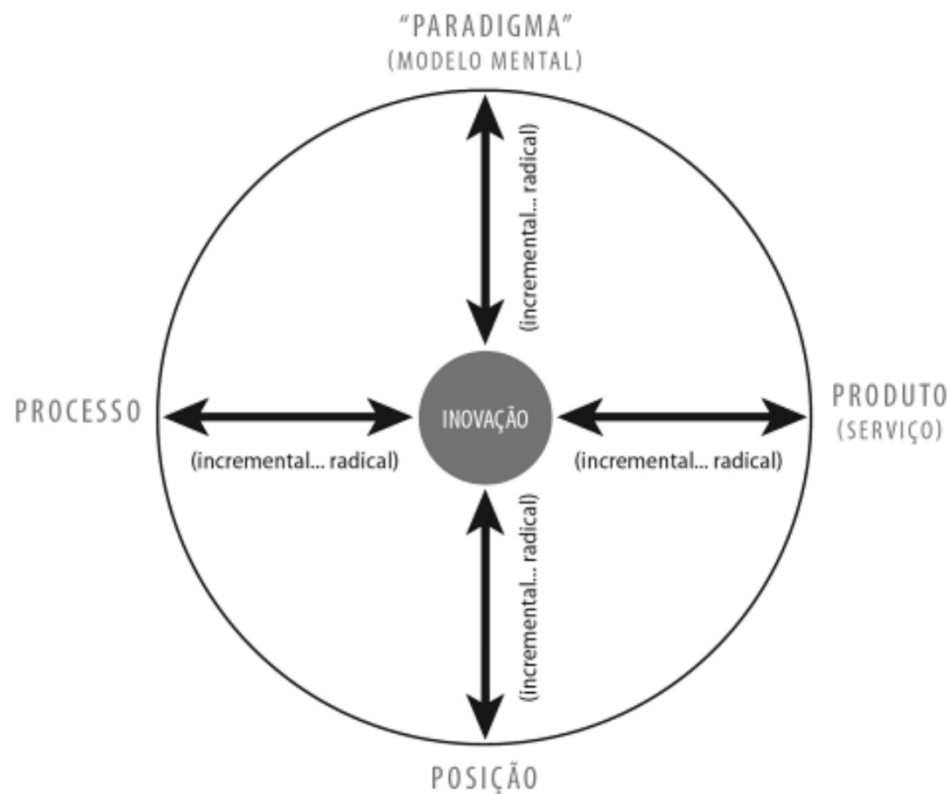


Figura 5 - Espaço da inovação

Fonte: TIDD *et al.* (2008), página 33.

No processo de gerencialmente de inovação, é necessária uma definição clara de como lidar com os diferentes tipos de mudanças. As mudanças do tipo incremental, que ocorrem mais frequentemente numa organização, devem ser tratadas de forma diferente das mudanças radicais.

Em seguida, será abordado com mais detalhes o tipo de inovação incremental, principal tipo de inovação discutida através desse trabalho.

2.5.3.1 Inovação incremental

Nos últimos anos, destacaram-se os resultados positivos obtidos por empresas japonesas, apoiados por um processo de melhoria contínua e do movimento gerencial de qualidade total, favorecendo a melhoria da qualidade e produtividade através da mudança incremental sustentada. Esse princípio ou efeito conhecido como curva de aprendizagem ocorre com a melhoria contínua da qualidade e dos processos, com o aumento da escala de produção. A razão dessa melhoria, reside na aprendizagem e no fato de serem aplicadas

contínuas inovações incrementais, a fim de solucionar problemas que acompanham a introdução de um novo produto ou processo (TIDD *et al.*, 2008). Diversas empresas constataram que trabalhar no modelo de negócios com projetos de inovação com caráter incremental ou derivativo é mais seguro e confortável, por serem mais previsíveis, do que ousar e trabalhar no espaço de mudanças semi-radicais e radicais (DAVILA *et al.*, 2008).

Pesquisas relacionadas ao desenvolvimento do processo incremental sugerem que os ganhos cumulativos de eficiência no processo de P&D são muito maiores a longo prazo nesse tipo de inovação, do que os ganhos obtidos com mudanças do tipo radical ocasional (TIDD *et al.*, 2008).

Os projetos derivativos ou incrementais são aqueles que visam realizar alterações e melhorias moderadas em produtos e processos já existentes, podendo incluir mudanças de produto incremental com pouca ou nenhuma mudança de projeto, mudanças no processo de manufatura incremental com pouca ou nenhuma mudança de produto, e mudanças incrementais tanto em processo quanto em produto. Geralmente envolvem custos mais baixos e menos recursos, apresentando menor complexidade quando comparados aos outros tipos de projetos (ROZENFELD *et al.*, 2006). Esse tipo de inovação pode ser descrita como um exercício de resolução de problemas em que é clara a meta, mas não a maneira de chegar até ela (DAVILA *et al.*, 2008).

As inovações que envolvem mudanças descontínuas, representando algo totalmente novo ou uma resposta a condições profundamente alteradas, ocorrem numa frequência bem menor do que inovações derivativas (TIDD *et al.*, 2008). A inovação incremental é a forma predominante de inovação na maioria das empresas, seguidamente recebendo mais de 80% do investimento total das companhias em inovação. Os portfólios de inovação de boa parte das empresas são cheios de projetos voltados para pequenas mudanças (DAVILA *et al.*, 2008).

A escassez de inovação incremental pode constituir enorme ameaça ao sucesso de qualquer empresa, pois ela permite que os concorrentes acabem tirando proveito das inovações passadas e atraindo clientes pelo uso de tecnologias e modelos de negócios que são simplesmente cópias daqueles anteriormente lançados pelas pioneiras (DAVILA *et al.*, 2008).

Uma organização deve evitar a utilização de inovações incrementais para proteger produtos não competitivos, que já ultrapassaram o respectivo ápice, e, deveriam ser descontinuados. As inovações incrementais em produtos não competitivos acabam desviando recursos de esforços críticos destinados a criar produtos e serviços significativamente novos e de maior valor. De qualquer forma, investir em inovações incrementais que não produzam um

adequado retorno sobre o investimento priva a empresa da oportunidade de investir em outras inovações efetivamente capazes de proporcionar-lhe vantagem competitiva. Uma empresa não consegue ter sucesso ou mesmo sobreviver no longo prazo, sem complementar seu portfólio de inovações com outros tipos de novidades (DAVILA *et al.*, 2008).

A abordagem da inovação contínua ou incremental pode ser aproveitada de forma mais produtiva por meio do conceito de modelo plataforma ou robusto, que basicamente consiste na criação de uma plataforma básica forte que possa ser ampliada, de forma a aumentarem o alcance e a vida útil do produto (TIDD *et al.*, 2008).

Nesse sentido, esse trabalho procura contribuir especialmente para o tipo de inovação incremental, em plataformas de produtos definidas como estratégicas para a empresa, agregando melhorias percebidas pelo cliente ao produto.

2.6 OUTROS MÉTODOS DE APOIO ÀS MUDANÇAS DE ENGENHARIA

O método é o conjunto dos meios dispostos convenientemente para alcançar um fim e especialmente para chegar a um conhecimento científico ou comunicá-lo aos outros, maneira sistemática de dispor informações ou modo de proceder. (SILVA; MICHAELIS, 2004).

A seguir são apresentadas as observações sobre os temas Revisão do Projeto Baseado no Modo de Falha (*Design Review Based on Failure Mode* - DRBFM) e Análise do Modo e Efeito de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis* - FMEA), definidas como métodos de suporte à utilização do método proposto através desse trabalho, por se tratar de temas já bastante estudados e com sua utilização consolidada nas empresas e meio acadêmico.

2.6.1 Revisão do Projeto Baseado no Modo de Falha - *Design Review Based on Failure Mode* (DRBFM)

O DRBFM é um método desenvolvido originalmente pela Toyota Motor Corporation, e, foi baseada na filosofia de que os problemas de projeto ocorrem quando mudanças são realizadas em projetos já aprovados e bem sucedidos (HAUGHEY, 2012). A

metodologia visa integrar o processo de qualidade dentro do processo de engenharia (SCHORN; KAPUST, 2005).

A metodologia do DRBFM foi desenvolvida pelo especialista em qualidade e professor da Universidade de Kyushu, no Japão, Dr. Tatsuhiko Yoshimura. Para Dr. Yoshimura, os problemas de projeto ocorrem quando se realiza determinada Mudança de Engenharia, sem profundidade adequada de análise da mudança proposta, assim como, ausência de documentação suporte. O desenvolvedor dessa metodologia também acredita que era necessário o comprometimento de todo o time multifuncional para o objetivo comum de agregação de valor ao produto e atingimento das expectativas do cliente (HAUGHEY, 2012).

O DRBFM tem como premissas (SCHORN; KAPUST, 2005):

- a) o engenheiro projetista deve conduzir a mudança de forma segura, sistemática e criativa durante todo o processo de Mudança de Engenharia;
- b) um projeto robusto para um processo robusto deve ser alcançado o quanto antes na fase de projeto;
- c) as decisões do Processo de Mudança de Engenharia devem ser realizadas e compatilhadas entre os envolvidos nesse processo, tais como produção, compras, fornecedores e clientes; e
- d) o engenheiro projetista deve manter-se em contato com o departamento de qualidade para reduzir o distanciamento entre esse departamento e a engenharia.

A filosofia do DRBFM segue o conceito GD3: i) *good design* (bom projeto); ii) *good discussion* (boa discussão); e iii) *good dissection* (boa dissecção) (SCHORN; KAPUST, 2005) e (HAUGHEY, 2012).

2.6.1.1 *Good Design (bom projeto)*

A regra base para se obter alta confiabilidade, e, conseqüentemente um bom projeto é, evitar mudanças em projetos comprovadamente robustos (SCHMITT *et al.*, 2006). Portanto, o Dr. Yoshimura acredita que, se algumas mudanças de projeto forem necessárias, a mudança deve ocorrer em pequenos incrementos. O distúrbio em um projeto é causado pela discontinuidade da previsão de propagação durante a implementação de mudanças, afetando as interfaces entre as partes e as interações entre os sistemas. Deve-se evitar Mudanças de

Engenharia em dois lugares diferentes ao mesmo tempo em um projeto, pois, fazer muitas mudanças simultaneamente, aumenta a possibilidade de resultar em falhas, e, diminui a capacidade de detecção dessas falhas. Uma chave para a mudança bem sucedida é fazer mudanças visíveis, permitindo o monitoramento dos resultados de cada incremento no processo de Mudança de Engenharia (HAUGHEY, 2012). Além disso, as propostas de Mudanças de Engenharia devem identificar e avaliar componentes-chave, com a finalidade de propor melhorias na confiabilidade do produto (SCHMITT *et al.*, 2006).

2.6.1.2 *Good Discussion (boa discussão)*

Em discussões, deve-se concentrar nas mudanças propostas para um determinado projeto. Se um projeto testado, aprovado e considerado robusto for usado como base para o desenvolvimento de produtos futuros, o risco de falha será baixo. No entanto, se forem feitas alterações ao projeto existente, então a probabilidade de falha é aumentada. Dr. Yoshimura aconselha as pessoas a trabalhar para entender as mudanças ao invés de ignorá-las. Ele também sugere que o teste de validação pode ajudar a identificar pontos fracos do projeto, mas, porém, afirma, que boas discussões realizadas em revisões de projetos preliminares podem conseguir o mesmo resultado. A boa discussão que o Dr. Yoshimura se refere também é conhecido como DRBFM (HAUGHEY, 2012).

A análise para o DRBFM é modelada após uma ligação entre uma boa revisão de projeto e FMEA. Um FMEA coerente e bem-formulada é considerado um dos pré-requisitos (além de muitas outras planilhas de preparações definidos na metodologia) para execução de um DRBFM. O DRBFM é implementado quando uma mudança qualquer ocorre, envolvendo projeto, processo, fornecedor, ou ainda, qualquer fator que influencie na confiabilidade do produto. A intenção do DRBFM é fazer com que essas mudanças se tornem visíveis, à medida em que aumenta-se a profundidade das discussões, assim como, a análise todas as possíveis causas de falha que podem ocorrer, e, impactem em custo, qualidade ou entrega (HAUGHEY, 2012).

2.6.1.3 *Good Dissection (boa dissecção)*

Essa é a terceira parte do conceito GD3. Um dos objetivos de uma boa revisão de projeto é examinar os resultados dos testes de validação, fazendo com que todos os pontos fracos do produto se tornem visíveis. Este exame envolve a aplicação de um outro conceito GD3, o *Design Review Based on Test Results (DRBTR)*, que é a revisão de projeto baseada em resultados de testes. Ao aplicar o DRBTR, deve-se, sempre que possível, observar o teste do produto antes, durante e após a conclusão. O DRBTR necessita da figura do engenheiro de testes de validação para conduzir a revisão do DRBTR, e, definir problemas potenciais que estão prestes a acontecer e foram evidenciados nos testes de validação realizados. A avaliação dos resultados desses testes de validação também incentivam o projetista e engenheiro de testes a discutir problemas potenciais (observações) ou falta de robustez, em uma abordagem multifuncional e sob diferentes perspectivas. Além disso, a análise dos resultados dos testes de validação realizada de forma fracionada permite considerar variações de parâmetros para fabricação, perfil de teste, metas de qualidade e confiabilidade esperados para um determinado produto (HAUGHEY, 2012).

2.6.1.4 *Estruturação do DRBFM*

Na Figura 6 é apresentado, de forma resumida, o procedimento para utilização do DRBFM. De forma similar ao FMEA, o DRBFM é estruturado e documentado em formato de planilha. O método também já conta com ferramentas computacionais que auxiliam a utilização do DRBFM. A utilização do método é iniciada quando definida a necessidade de realização de Mudança de Engenharia em um determinado componente ou sistema. Em seguida, são avaliadas as propagações de mudanças e as funções afetadas por elas. Então são consideradas as possíveis falhas causadas pelas alterações técnicas e condições em que essas falhas podem ocorrer, causas e impacto dessas falhas nos clientes. Então são definidas medidas preventivas para evitar a ocorrência dessas falhas e tomada a decisão sobre a viabilidade da Mudança de Engenharia proposta.

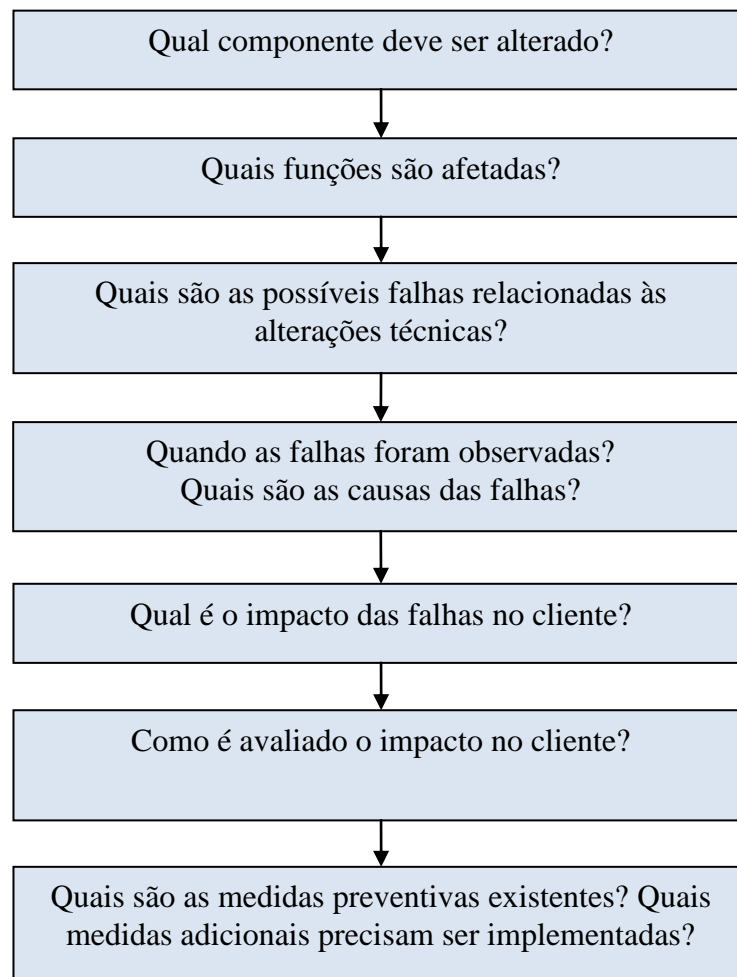


Figura 6 - Procedimento de utilização do DRBFM

Fonte: KÖHLER (2009), página 68

Conforme já mencionado anteriormente, a metodologia DRBFM visa integrar o processo de qualidade dentro do processo de engenharia (SCHORN; KAPUST, 2005). Dessa forma, para se estruturar um DRBFM são utilizados diversos métodos e ferramentas suporte, tais como o *Design of Experiments* (DOE), Kaizen, Shainin, desenhos em três dimensões, entre outras.

O DOE é um método utilizado para se planejar experimentos, para definir quais dados, quantidades e condições devem ser coletados durante um determinado experimento. O objetivo é satisfazer duas grandes premissas: a maior precisão estatística na resposta e o menor custo possível. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria pois seu emprego permite resultados mais confiáveis, com custo e tempo reduzidos. A sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é importante, à medida que quanto maior qualidade dos resultados dos testes, o projeto irá apresentar um desempenho superior, seja em

termos de suas características funcionais, como em sua robustez (ANDERSON; WHITCOMB, 1974).

Kaizen é uma palavra de origem japonesa relacionada à melhoria contínua, gradual. Pode ser visto como um processo diário, cujo propósito vai além de aumento da produtividade. É um processo que instrui as pessoas como realizar experimentos no seu trabalho usando o método científico, além de identificar e eliminar desperdícios nos negócios (LARAIA; MOODY; HALL, 1999).

O método Shainin é utilizado para identificação de causa raiz para determinado problema, melhoria da performance e confiabilidade do produto, bem como melhoria de processo, através de estratégias científicas de análise (SHAININ, 1993).

2.6.2 *Failure Mode and Effect Analysis*

Essa seção tem por objetivo apresentar conceitos fundamentais para entendimento do método FMEA dentro do contexto desse trabalho. No manual de referência publicado em conjunto pelas montadoras *Chrysler LLC*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation* (CHRYSLER LLC, FORD MOTOR COMPANY, 2008a) podem ser encontradas demais informações sobre o tema.

O *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) é um importante método usado para identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, assim como, aumentar a confiabilidade e segurança de sistemas complexos, fornecendo informações para a tomada de decisões de gestão de risco (LIU *et al.*, 2013). Não há um processo único para a elaboração de um FMEA, no entanto, há elementos comuns que devem ser considerados durante a elaboração (CHRYSLER LLC, FORD MOTOR COMPANY, 2008a).

Para elaboração do FMEA, deve-se identificar e compreender as funções, requisitos e especificações relevantes para o escopo definido. O objetivo dessa atividade é esclarecer a intenção de projeto do item ou a finalidade do processo. Isto ajuda na determinação do modo de falha potencial para cada atributo ou aspecto da função.

O modo de falha é definido como a forma ou maneira através da qual um produto ou processo poderia deixar de atender a intenção do projeto ou requisitos do processo. Dessa forma, é pressuposto que a falha pode ocorrer, mas não necessariamente ocorre. Um grande número de modos de falha identificados por um único requisito pode indicar que o requisito

definido não é conciso (CHRYSLER LLC, FORD MOTOR COMPANY, 2008a). Os efeitos ou impactos da falha são descritos levando em consideração como o cliente pode perceber ou experimentar determinado modo de falha. Determinar os efeitos potenciais inclui a análise das consequências das falhas e da severidade dessas consequências. O cliente pode ser um cliente interno bem como o usuário final.

A causa potencial de falha é definida como uma indicação de como a falha pode ocorrer, descrita em termos de qualquer coisa que possa ser corrigido ou pode ser controlado. Essa causa potencial de falha pode ser uma indicação de um ponto fraco de projeto, a consequência da qual se torna um modo de falha.

Um dos passos importantes na aplicação do método FMEA é a avaliação de risco, que é feita de três formas, severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) e:

- a) severidade é uma avaliação do nível de impacto de uma falha no cliente.
- b) ocorrência é a forma como muitas vezes a causa de uma falha pode ocorrer.
- c) detecção é uma avaliação da forma como os controles de produto ou processo detectar a causa da falha, ou o modo de falha.

As organizações precisam entender as necessidades de seus clientes para avaliação de risco. Existe uma relação direta entre uma causa e seu modo de falha resultante (ou seja, se a causa ocorre, então o modo de falha ocorre). O objetivo do FMEA é priorizar os modos de falha do produto ou sistema, a fim de atribuir os recursos limitados para os itens de risco mais graves. Em geral, a priorização de ações de correção para modos de falha é determinada por meio do *risk priority number* (RPN), que é o número de prioridade de risco, obtido através da multiplicação do O, S e D de uma determinada falha (LIU *et al.*, 2013). Dessa forma, a equação é representada como:

$$\text{RPN} = \text{O} \times \text{S} \times \text{D}$$

A intenção das ações recomendadas é reduzir o risco geral e probabilidade de que o modo de falha possa ocorrer. Para redução do RPN são recomendadas ações para redução dos três fatores que influenciam no número de prioridade de risco: severidade, ocorrência e detecção.

Existem, porém, outros critérios de avaliação do número de prioridade de risco de um modo de falha, que sugerem a utilização de incidência de falhas como orientação para avaliação de ocorrências. No manual de referência publicado em conjunto pelas montadoras *Chrysler LLC*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation*, cuja primeira edição data de 1993, foi

elaborada uma tabela que pode ser utilizada como referência nas pontuações de ocorrência, através da utilização de quantidade de falhas por unidades produzidas. Na

Tabela 1 estão representados os critérios sugeridos para avaliação por essas montadoras.

Tabela 1- Critérios de avaliação de ocorrência sugeridos

Fonte: CHRYSLER LLC, FORD MOTOR COMPANY (2008a)

Probabilidade de falha	Critérios: Ocorrência de Causa (vida do projeto / confiabilidade do item / veículo)	Critérios: Ocorrência de Causa (Incidentes por itens / veículos)	Avaliação
Muito Alta	Nova tecnologia / novo projeto, sem histórico	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10
Alta	A falha é inevitável com novo design, nova aplicação, ou mudança de ciclo de serviço / condições operacionais	50 por mil 1 em 20	9
	A falha é provável com novo design, nova aplicação, ou mudança de ciclo de serviço / condições de operação	20 por mil 1 em 50	8
	A falha é incerta com novo design, nova aplicação, ou mudança de ciclo de serviço / condições de operação	10 por mil 1 em 100	7
Moderada	Falhas frequentes associadas a projetos similares ou em simulação de projeto e testes.	2 por mil 1 em 500	6
	Falhas ocasionais associadas a projetos similares ou em simulação de projeto e testes.	0,5 por mil 1 em 2.000	5
	Falhas isoladas associadas com projeto semelhante ou em simulação de projeto e testes	0,1 por mil 1 em 10.000	4
Baixa	Somente falhas isoladas associadas com o projeto quase idêntico ou em simulação de projeto e testes	0,01 por mil 1 em 100.000	3
	Não há falhas observadas associadas ao projeto quase idêntico ou em simulação de projeto e testes	$\leq 0,001$ por mil 1 em 1.000.000	2
Muito Baixa	A falha é eliminada através do controle preventivo	A falha é eliminada através do controle preventivo	1

2.6.3 Histograma Pareto

O histograma é um tipo de gráfico de barras utilizado para apresentar a distribuição das variáveis. Nesse tipo de gráfico, cada atributo ou característica é representado por uma coluna e a frequência de cada atributo ou característica é quantificado e representado através da altura da coluna. Um diagrama ou gráfico de Pareto é um tipo específico de histograma que classifica causas ou questões por sua influência global. Além disso, o

diagrama de Pareto pode incluir um arco que representa a percentagem cumulativa das causas (CAMPOS, 1996).

O diagrama de Pareto é composto por um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências em ordem decrescente, permitindo a localização de problemas vitais (CARVALHO; PALADINI, 2012). Esse diagrama utiliza como base a Lei de Pareto, também conhecida como princípio 80-20, o qual afirma que para muitos fenómenos, 80% das consequências advêm de 20% das causas. A denominação dessa lei foi sugerida pelo consultor de negócios Joseph M. Juran, que deu o nome em homenagem ao economista italiano Vilfredo Pareto, que fundamentou esse princípio (CAMPOS, 1996).

A elaboração de um Diagrama Pareto segue seis passos básicos :

- a) determinar o objetivo do diagrama;
- b) definir como os dados serão classificados;
- c) organizar os dados com as categorias do aspecto definido;
- d) fazer os cálculos de frequência e agrupar as categorias que ocorrem com baixa frequência sob a denominação outros;
- e) traçar o diagrama.

Muitas vezes no Diagrama de Pareto são incluídos valores em porcentagem e o valor acumulado das ocorrências. Assim, torna-se possível avaliar o efeito acumulado dos itens pesquisados. O Diagrama de Pareto é uma ferramenta muito importante porque através dele é possível identificar pequenos problemas que são críticos e causam grandes perdas (CAMPOS, 1996).

O diagrama de Pareto tem como objetivo a compreensão da relação ação/benefício, e portanto, a definição da ação que trará o melhor resultado. Um gráfico Pareto auxilia na identificação dos atributos que representam os maiores impactos em determinado tema. Dessa forma, a priorização de ações corretivas é possível.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo é apresentada a caracterização da pesquisa, incluindo o tipo e natureza da pesquisa, seu alcance e limitações. São apresentadas também as etapas de pesquisa que foram realizadas para elaboração do método.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Considerando a natureza, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois visa gerar conhecimentos e técnicas para aplicação prática, focados à solução de problemas específicos, no caso desta pesquisa em particular, método para monitoramento e criação de ideias para melhorias de produtos (SILVA; MENEZES, 2000).

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, a pesquisa pode ser classificada como pesquisa quantitativa, pois requer a quantificação do número de ocorrências dos relatórios de garantia.

Com relação aos objetivos da pesquisa, ela pode ser classificada como pesquisa exploratória, pois procurou desenvolver um método através das oportunidades observadas no estudo de caso.

Durante a pesquisa serão utilizados alguns procedimentos técnicos, como a pesquisa bibliográfica, visando analisar em detalhes o monitoramento de falhas de campo existentes através da análise de livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na internet, para desta forma, identificar como podem ser aplicados ao processo Mudanças de Engenharia. Pode-se ainda se tornar necessária a pesquisa documental, a fim de complementar a pesquisa bibliográfica através de documentos que ainda não receberam tratamento analítico, com o objetivo de verificar a possibilidade de aplicação desta nova proposta de método de geração de ideias de melhoria de produtos no processo de Mudanças de Engenharia.

Com relação à aplicabilidade, este trabalho terá como foco proposto método para utilização de dados provenientes de cobertura de garantia para geração de ideias de melhoria de produto na indústria automotiva, estando limitado a esta área específica. A aplicação dos resultados deste trabalho em outras áreas requer uma análise específica do caso proposto, com o objetivo de verificar a necessidade de adaptação a nova situação proposta.

Na próxima seção são apresentadas as etapas relacionadas às entregas do trabalho.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa consistiu basicamente de cinco entregas, planejadas de acordo com uma Estrutura Analítica de Projetos (EAP), do inglês, *Work breakdown structure (WBS)*. Cada etapa apresentou entregas específicas. As etapas são basicamente as seguintes:

- etapa 1 - pesquisar os conceitos de Mudanças de Engenharia e temas correlatos;
- etapa 2 - estudar a utilização de ferramentas de reprojeto e avaliação da possibilidade de utilização de dados de garantia no processo de Mudança de Engenharia em uma empresa;
- etapa 3 - entender o modelo de referência para o desenvolvimento de produtos e as características de cada fase;
- etapa 4 - com base na pesquisa, propor um método para orientar o time de projeto com relação à identificação de oportunidades de melhorias de produtos para ser aplicado em novas plataformas ou em novos mercados;
- etapa 5 - demonstrar a aplicação método proposto através de um exemplo.

A seguir serão apresentados os detalhes de cada etapa.

3.2.1 Etapa 1 – Conceitos de Mudanças de Engenharia e temas correlatos

A pesquisa abordou conceitos de Mudanças de Engenharia, gerenciamento de requisitos, gestão para inovação e banco de dados de garantia na indústria automotiva. Esta pesquisa contribui para um melhor entendimento do tema reprojeto e utilização de dados de garantia como suporte às Mudanças de Engenharia. O resultado desta pesquisa se encontra nas seções, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5.

Esta etapa foi realizada através de uma pesquisa bibliográfica que consistiu de consulta a livros, periódicos, artigos e internet, e foi importante para consolidar os conceitos de Mudanças de Engenharia e entender como os dados provenientes da cobertura de garantia podem ser utilizados como suporte a reprojeto.

3.2.2 Etapa 2 - Reprojeto e utilização de dados de garantia no processo de Mudança de Engenharia em uma empresa

Na segunda etapa do trabalho, foram estudadas a utilização de ferramentas de reprojeto e a avaliação da possibilidade de utilização de dados de garantia como suporte no processo de Mudança de Engenharia em uma empresa. O resultado desse estudo foi apresentado na seção 4.1 desse trabalho.

A pesquisa relacionada a reprojeto e utilização dos dados de garantia, realizada dentro de uma empresa, contribuiu para avaliar a disponibilidade dos dados nos sistemas de garantia e determinar como esses dados podem ser aproveitados como fonte de informação para auxílio de tomada de decisão dentro de projetos de Mudanças de Engenharia. Nessa etapa, também foram definidos os possíveis cenários de utilização do método. Esses cenários estão descritos na seção 4.2.2 desse trabalho.

As características e aspectos relacionados à utilização de dados de garantia em conjunto com as ferramentas utilizadas em Mudanças de Engenharia foram considerados no desenvolvimento do método proposto nesse trabalho.

3.2.3 Etapa 3 - Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos.

Nesta etapa, foram estudados três modelos de referência para o desenvolvimento de produtos na indústria de autopeças. Foram estudadas as principais características e atividades de cada fase, incluindo as informações que estão disponíveis em cada fase do processo de desenvolvimento de produtos. O resultado desta etapa se encontra na seção 4.1.

Esta etapa foi importante para definir o modelo de referência para o desenvolvimento de produto a ser adotado no trabalho, entender como deve ser tratado o reprojeto dentro de uma organização.

3.2.4 Etapa 4 – Elaborar método para identificação de oportunidades de Mudanças de Engenharia

Nessa etapa, através do resultado da pesquisa de reprojeto e utilização de dados da cobertura de garantia dentro da empresa parceira, e o estudo do modelo de referência para o desenvolvimento de produto, ocorreu a definição das perspectivas a serem analisadas através do método, O resultado desta etapa se encontra na seção 4.2. Essas perspectivas são:

- a) taxa de procedência de falhas;
- b) indentificação das principais falhas causadas pelo cliente no produto ou componente
- c) concentração de falhas em cliente
- d) concentração de falhas em plantas fabricantes
- e) concentração de falhas em número de tipo e componentes
- f) concentração de falhas no local geográfico da aplicação

Após a definição das perspectivas a serem analisadas através do método, foi definida a sequência lógica de aplicação do método e relacionamento dele com as demais metodologias, métodos e ferramentas utilizados na engenharia.

A simulação do método em diferentes casos práticos foi o recurso utilizado para aperfeiçoamento do fluxograma de utilização do método. Essa simulação também pôde validar em prática o benefício de utilização do método.

Dessa forma, com base na pesquisa, foi proposto um método com o objetivo de realizar o planejamento da capacidade da engenharia, priorização de Mudanças de Engenharia com valor percebido pelo cliente, definição do produto corretamente definido para o mercado de aplicação e orientação do time de projeto com relação à identificação de oportunidades de melhorias de produtos para ser aplicado em novas plataformas ou melhoria de produtos já existentes para aplicação em novos mercados.

3.2.5 Etapa 5 - Demonstrar a aplicação do método através de um exemplo

O objetivo desta etapa foi demonstrar, através de um exemplo hipotético prático, como o método definido na etapa 4 pode ser aplicado para identificar oportunidades de melhoria de produtos na indústria automotiva, no segmento de autopeças. O resultado desta etapa se encontra na seção 4.3.

Este exemplo demonstrou como o método pode identificar oportunidades de melhoria de produto, auxiliando na tomada de decisões para definição das Mudanças de Engenharia necessárias.

No próximo capítulo são apresentados os resultados do presente trabalho.

4 RESULTADOS

Este capítulo traz os resultados do trabalho, iniciando pela apresentação do estudo de caso realizado na empresa parceira, organização hierárquica dessa empresa, descrevendo brevemente ferramentas e temas relacionados a projetos que podem se beneficiar da identificação de oportunidades de identificação de melhorias de produto baseada na utilização dos dados provenientes da cobertura de garantia.

Em seguida, é apresentada a proposta de método, com a definição da sequências lógica de utilização. O capítulo é finalizado com a apresentação de um exemplo de aplicação do método.

4.1 ESTUDO DE CASO

Esta seção apresenta e resumidamente o estudo de caso relacionado ao contexto do trabalho na empresa parceira. Esse estudo de caso abordou a situação real problemática e complexa para a tomada de decisões relativas à execução de reprojotos na empresa parceira, que pertence ao ramo automotivo, no segmento de autopeças. As linhas de análise da situação na empresa parceira abordaram questões abertas sobre reprojotos, identificação de oportunidades de melhoria de produtos, solicitações de Mudanças de Engenharia, utilização de métodos e ferramentas suporte, assim como a possibilidade de melhoria do processo de Mudança de Engenharia através do uso de dados de campo provenientes da cobertura de garantia.

A argumentação utilizada para abordagem da proposta de trabalho foi a observação da dificuldade da engenharia em quantificar determinadas ocorrências de falha para priorização de temas críticos, planejamento da capacidade e revisão de requisitos de projeto. Dessa forma, entrevistas com projetistas foram realizadas para fins de coletar informações sobre o problema e equacionar de forma adequada a situação.

A preparação para realização desse estudo de caso foi importante para refinamento da definição das seguintes questões:

- a) quais questões estudar;
- b) quais dados são relevantes;
- c) quais dados coletar;

d) como analisar os resultados.

A próxima seção apresenta a empresa parceira num contexto mais amplo, descrevendo o ramo de atividade, estrutura organizacional, as principais atividades da engenharia e a cobertura de garantia dentro da organização da empresa. Em seguida, os resultados da entrevista são descritos para ilustrar o problema e a conclusão do estudo é descrita.

4.1.1 Empresa parceira

A empresa parceira atua no segmento de autopeças, localizada em Curitiba há mais de trinta anos, conta com um quadro de funcionários com mais de três mil colaboradores. Seu portfólio produtos está voltado para atender demandas do mercado com relação a componente para aplicação em sistemas de injeção de combustível.

Conforme organograma simplificado da empresa parceira representado pela Figura 7, os departamentos de engenharia e qualidade são subordinados a diferentes diretorias, e, conseqüentemente a diferentes gerências e chefias. Além disso, existe também, um distanciamento físico entre os colaboradores desses dois departamentos, já que a engenharia e qualidade estão localizados em prédios diferentes. O conhecimento da estrutura organizacional da empresa parceira é importante para a compreensão de algumas lacunas de comunicação entre esses dois departamentos, que levam na falta de utilização de dados de garantia como informação para quantificação de ocorrências de falhas em produtos, que poderiam ser utilizada nos métodos e ferramentas para Mudanças de Engenharia dentro da empresa parceira.

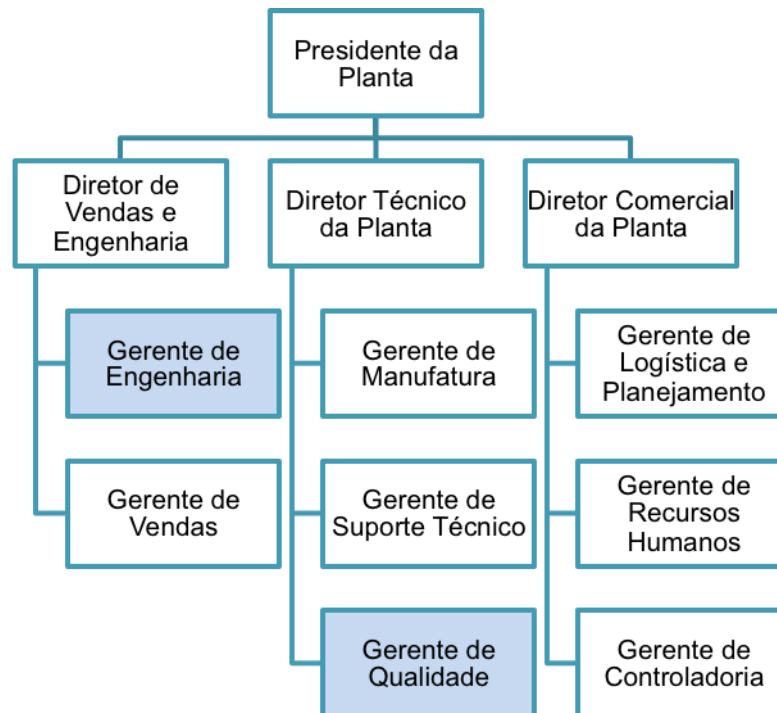


Figura 7 - Organograma simplificado da empresa parceira

Fonte: autoria própria

Por se tratar de uma multinacional, a empresa parceira possui diversas plantas filiais espalhadas pelo mundo. O desenvolvimento de produtos não é concentrado em uma única unidade ou planta matriz. A unidade situada em Curitiba conta com a presença da engenharia responsável pela manutenção da plataforma de um tipo de injetores de combustível. Dentro das responsabilidades da engenharia, destacam-se: i) desenvolvimento de novas plataformas do produto; ii) definição e revisão de requisitos de projeto para plataformas; e iii) análise de causa raiz para problemas de projeto.

4.1.2 Geração de ideias para reprojeto na empresa parceira

Nessa seção, a situação na empresa parceira é descrita através das respostas às questões sobre reprojeto, identificação de oportunidades de melhoria de produtos, solicitações de Mudanças de Engenharia, utilização de métodos e ferramentas suporte, assim como a possibilidade de melhoria do processo de Mudança de Engenharia através do uso de dados de campo provenientes da cobertura de garantia.

Na fase de discussão do escopo do projeto, foram realizadas entrevistas com projetistas e gestores do departamento de engenharia. As entrevistas foram conduzidas de forma espontânea, permitindo a indagação dos repondentes-chave sobre fatos e opiniões relacionadas ao reprojeto, assim como a interpretação deles sobre o processo de Mudanças de Engenharia dentro da empresa parceira.

Durante essas entrevistas, foram discutidos os seguintes temas relativos a métodos e ferramentas utilizados na engenharia dentro da empresa, com o objetivo de identificar fontes de oportunidades para melhoria de produtos através de Mudanças de Engenharia:

- a) monitoramento ativo de falhas;
- b) revisão de projeto baseado em modo de falha;
- c) análise de causa raiz para problemas de projetos;
- d) análise do modo e efeito de falha;
- e) projetos para redução de custo.

Embora o objetivo da pesquisa seja identificar fontes de geração de ideias para melhoria de produtos, também, em diversos temas foi verificada a ausência de dados que pudessem auxiliar na quantificação das ocorrências de falhas para auxiliar a tomada de decisão para reprojeto.

Quatro principais oportunidades de proposições de estudo foram observados durante a pesquisa para geração de ideias de Mudanças de Engenharia, que são representadas pelos cenários abaixo:

- a) identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance de plataforma base de produto para desenvolvimento de nova plataforma;
- b) identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance da plataforma para aplicação do produto em novo ambiente ou mercado;
- c) identificação de oportunidade de solução de causa raiz de problemas de projeto através da coleta de dados de campo; e
- d) identificação de oportunidade para redução de custo na fabricação do produto, através da coleta dados para estudo da robustez do produto em campo.

Considerando o escopo do trabalho, a definição dos cenários de utilização do método está relacionada à identificação de oportunidades de melhorias de produtos para

desenvolvimento de novas plataformas ou aplicação do produto em novo mercado. A descrição detalhada desses cenários será discutida na seção 4.2.2.

Dentro da pesquisa, foi definida a necessidade de reforçar os conceitos de utilização dos dois principais métodos dentro da engenharia, que são utilizados especialmente para manutenção de plataformas de produtos e devem ser considerados quando for levantada a necessidade de execução de Mudanças de Engenharia. Dessa forma, a seção 4.1.3 descreve o contexto de aplicação dos métodos DRBFM e FMEA para suporte no Gerenciamento de Mudanças de Engenharia dentro da empresa parceira.

Em seguida, a utilização de dados provenientes da cobertura de garantia e disponibilidade de informações para temas relacionados à engenharia são abordados.

4.1.3 Utilização de métodos suporte ao reprojeto dentro da empresa parceira

4.1.3.1 Utilização do DRBFM na empresa parceira

Na empresa parceira, o DRBFM é utilizado como um método para o desenvolvimento de produto focado em detectar sistematicamente e eliminar potenciais de falha em estágios preliminares de projeto, especialmente quando existe necessidade de realização de Mudança de Engenharia. Esse método está sendo utilizado há pouco mais de um ano dentro da empresa parceira e sua importância têm crescido, à medida que a experiência dos projetistas tem aumentado e os resultados de sua utilização têm se mostrado efetivos.

Os principais benefícios observados durante a utilização do DRBFM na empresa são:

- a) problemas de projeto são detectados com antecedência, é evitada a recorrência de falhas, reduzindo a taxa de falhas e custos associados a ela;
- b) trabalho focado em conteúdo, entendimento das relações de causa e efeito, parâmetros efetivos e propagação de Mudanças de Engenharia;
- c) torna visível as lacunas de conhecimento dentro da empresa;
- d) possibilita discussões técnicas em grande nível de profundidade; e
- e) integração de diferentes níveis hierárquicos, com foco nas soluções técnicas, e, conduzidos por uma discussão técnica aprofundada.

Embora tenham sido observados diversos benefícios da utilização do DRBFM dentro da empresa parceira, durante a entrevista realizada para entendimento do uso desse método, foi apontada a análise dos dados de garantia como possível ponto de melhoria em sua utilização. Os dados provenientes da cobertura de garantia do produto poderiam contribuir para a análise do comportamento do produto em uso e prover informações sobre a confiabilidade de determinado componente do produto em campo.

4.1.3.2 Utilização do FMEA na empresa parceira

O FMEA é considerado um método bastante importante na engenharia da empresa parceira, usado para identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, assim como, aumentar a confiabilidade e segurança de sistemas complexos, fornecendo informações para a tomada de decisões de gestão de risco. Esse método está vinculado ao processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia e revisões de requisitos de projeto dentro da empresa parceira.

No entanto, foi observado que a definição das ocorrências de um determinado modo de falha é realizada de forma qualitativa, sem a utilização de números concretos como fonte de informação. Dentro da empresa parceira, a pontuação/avaliação da ocorrência para um determinado modo de falha, é realizada de forma qualitativa, sem que o número real de falhas registradas em campo para determinada falha seja considerado como parte do critério de pontuação. Os dados de garantia podem contribuir na utilização do FMEA, para avaliação de ocorrência e determinação do número de prioridade de risco (RPN). Atualmente, somente a segunda coluna da

Tabela 1 (vida do projeto / confiabilidade do item / veículo) é utilizada como orientação para avaliação da ocorrência de um determinado modo de falha.

4.1.4 Garantia e utilização do banco de dados

A política de garantia utilizada na empresa parceira é uma derivação da FRW. Quando o cliente reclama um produto e este apresenta problemas reconhecidos em garantia, a empresa paga pela substituição do produto geralmente através de notas de créditos para os

clientes OEM (montadoras de veículos). Esses créditos são abatidos dos valores de próximos pedidos ou cobrados através de faturas enviadas pelos clientes ao fabricante do produto defeituoso.

Baseado na política de garantia da empresa parceira, foram definidas as chamadas decisões de garantia, que representam as decisões de procedência da reclamação, após as análises dos produtos reclamados. Na empresa, três principais decisões de garantia foram definidas:

- a) defeito causado pelo fabricante: produto defeituoso reconhecido em garantia, em o produto apresenta uma falha de fabricação, montagem ou projeto, de responsabilidade do fabricante;
- b) defeito causado pelo cliente: produto defeituoso rejeitado em garantia, com a falha casada pelo cliente;
- c) produto sem defeito: análise de garantia não encontrou qualquer desvio no produto.

Na empresa parceira, os dados relacionados à cobertura de garantia são registrados em um sistema desenvolvido pela empresa alemã *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*, conhecida internacionalmente pelo acrônimo SAP, que em português foi traduzido para Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados (MAZUCO, 2011). Esse sistema desenvolvido pela SAP, é conhecido dentro da empresa parceira como *Integrated Quality Improvement System* (IQIS), que tem como principal objetivo o processamento de reclamações de forma transparente, permitindo a todos os envolvidos o acompanhamento das etapas de processamento de reclamações, que engloba:

- a) recebimento de peças no centro de análise de garantia;
- b) registro das reclamações no sistema de garantia;
- c) realização da análise de garantia;
- d) comunicação dos resultados das análises para o cliente

O IQIS é utilizado tanto para reclamações de clientes internos, que são outras plantas dessa empresa que recebem subcomponentes para montar seus produtos, assim como clientes externos, que são os clientes finais dessa empresa parceira.

Dentro da empresa parceira, os relatórios gerados através do banco de dados de garantia possibilitam a visualização de indicadores estatísticos com foco comercial e em qualidade. Dessa forma, é possível, por exemplo, visualizar estatisticamente com os dados de garantia a quantidade de reclamações por cliente, decisões de garantia, produtos mais reclamados, entre outros.

Para utilização dos dados provenientes da cobertura de garantia, é necessária a utilização de recursos que permitam a categorização dos dados. Normalmente, nos bancos de dados de garantia são utilizados campos, que facilitam o agrupamento de registros e a estratificação dos dados para análise dos relatórios relacionados às reclamações. Ao definir tais campos, deve-se optar por evitar a utilização de campos textos de livre entrada de dados, pois nesses campos, pequenas diferenças na escrita podem representar grandes transtornos para realizar o agrupamento das informações. Dessa forma, a utilização de códigos pré-definidos e validação desses códigos no banco de dados podem facilitar a categorização das informações.

Na Figura 8 é representada de forma resumida a reclamação de garantia e seu relacionamento com a tabela de códigos de falhas. As reclamações de garantia apresentam um campo para definição do código de falhas. Nesses campos somente um código de falhas deve ser associado à reclamação, a fim de facilitar futuras estratificações de dados. Quando desejar-se definir o código de falhas para uma determinada reclamação de garantia, os usuários do banco de dados são permitidos selecionar um item disponível da lista de códigos de falhas. O código correspondente ao item escolhido fica salvo no registro da reclamação de garantia em questão.

Reclamação de garantia	
Código da falha:	F0000010 Desgaste

Lista de códigos de falha	
Código da falha	Descrição da falha
F0000009	Quebra
F0000010	Desgaste
F0000011	Vazamento

Figura 8 – Definição do código de falhas nas reclamações de garantia

Fonte: autoria própria

Uma dificuldade comum com dados de garantia é que o código de falha disponível muitas vezes não é suficientemente específico para representar a falha em um relatório, o que é geralmente necessária para uma avaliação mais detalhada de engenharia.

Embora possa haver fatores humanos na forma em que a pessoa relata o código de falha, a informação deve indicar o modo de falha específico relacionado com o relatório, não sendo demasiadamente abrangente (WU; MEEKER, 2002).

Em projetos de Mudança de Engenharia devem ser verificados se os novos produtos possuem novos componentes. Os novos componentes e os novos modos de falha avaliados no FMEA do produto devem ser incluídos também como opção na base de dados de garantia. Então, pode-se evitar o preenchimento incorreto da base de dados de garantia por não haverem disponíveis os códigos de falha correspondentes ao problema que está sendo reportado.

Durante o estudo, foi verificado que as informações técnicas necessárias para a engenharia, tais como códigos de falha relacionados a determinados componentes, tipo de produtos, fotos das análises, entre outros, estão disponíveis no banco de dados. Porém, existem dois fatores principais de dificultam a utilização desses dados por parte da engenharia: i) conhecimento sobre o banco de dados; e ii) liberação de acesso aos projetistas.

A interface do IQIS não é totalmente intuitiva e necessita de certo treinamento para utilização do sistema e geração dos relatórios de reclamações relacionadas a campo. Após a apresentação das possibilidades de utilização dos dados, os respondentes se mostraram interessados em receber treinamento sobre o sistema de garantia dentro da empresa parceira.

Embora o acesso ao banco de dados de garantia disponível no IQIS não esteja liberado para todos os usuários de sistemas de informática dentro da empresa, esse acesso pode ser facilmente garantido para os projetistas através de uma solicitação formal e indicação do centro de custo para o débito relativo ao acesso.

4.1.5 Conclusão do estudo de caso

Após a realização da pesquisa, verificou-se a importância da aplicação dos métodos DRBFM e FMEA para suporte no Gerenciamento de Mudanças de Engenharia dentro da empresa parceira. O primeiro método é utilizado com foco na detecção e eliminação de potenciais de falha em estágios preliminares de projeto, auxiliando na previsão de propagação de mudanças. O segundo método é usado para identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, assim como, aumentar a confiabilidade e segurança de sistemas complexos, fornecendo informações para a tomada de decisões de gestão de risco.

Em ambos os métodos, foi observada a possibilidade de melhoria através da quantificação de ocorrências de falhas, para obtenção de resultados ainda mais confiáveis relacionados à tomada de decisões de Mudanças de Engenharia. O forte vínculo desses dois métodos com o processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia e revisões de requisitos de projeto dentro da empresa parceira e a disponibilidade dos dados faltantes através da utilização do banco de dados de garantia permitiram o levantamento da oportunidade de vinculação do uso desses métodos dentro do fluxograma do método proposto através desse trabalho.

As limitações encontradas com relação à utilização dos dados de garantia pela engenharia podem ser facilmente contornadas através de treinamentos e liberação de acesso ao sistema de garantia pelos projetistas, já que esses dados não precisam ser necessariamente extraídos pelo departamento de qualidade.

4.2 MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA DE PRODUTO

Nessa seção são descritas a definição e a utilização do método proposto de identificação de oportunidades de melhoria de produto.

4.2.1 Definição do método

A disponibilidade do banco de dados de garantia e o conhecimento de sua estrutura proporcionam a possibilidade de execução de uma grande variedade de análises e estratificações desses dados, que tornam-se importantes fontes de informação para tomada de decisões dentro de uma organização.

Com base nos resultados do estudo de caso e revisão da literatura abordada nesse trabalho, foram definidas as etapas gerais para o processo de identificação de oportunidades de mudanças de engenharia, assim como o desfecho dessa aplicação do método através do gerenciamento de mudanças de engenharia. Para atribuir uma sequência lógica a essa definição geral, foi proposto o fluxograma representado pela Figura 9- Fluxograma geral para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos. Nesse

fluxograma geral (Figura 9), cada um dos seus seis elementos foram numerados e denominados Blocos.

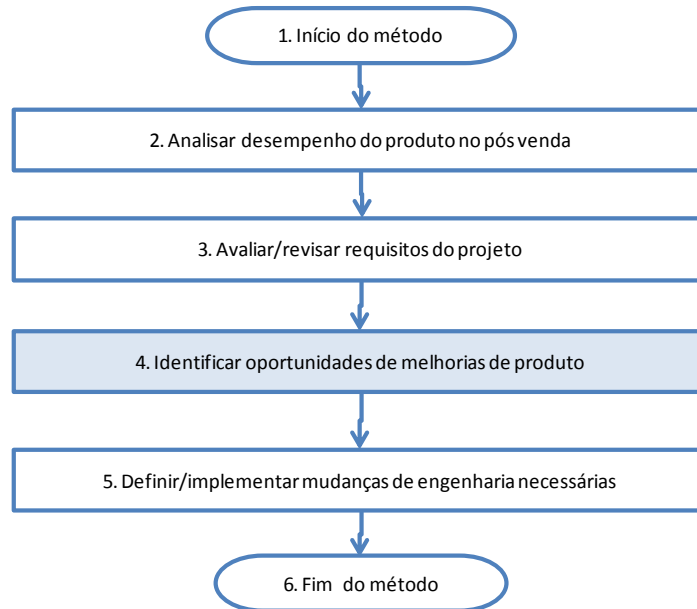


Figura 9- Fluxograma geral para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos

Fonte: autoria própria

Essas etapas contemplam os aspectos gerais para elaboração do método. No Bloco 2 procura-se analisar o desempenho do produto com dados provenientes da cobertura de garantia, na fase de pós-desenvolvimento do produto. Em seguida, no Bloco 3, é realizada a análise e/ou revisão dos requisitos de projeto. No Bloco 4, as oportunidades de melhoria do produto são identificadas através da comparação dos requisitos de projeto com o desempenho do produto em campo. Através dessa etapa, é possível definir, avaliar e implementar as mudanças de engenharia (no Bloco 5).

Através da utilização do modelo geral em três casos reais de mudanças de engenharia realizados dentro da empresa parceira, percebeu-se a necessidade de definição de análise sob diferentes perspectivas. Dessa forma, foi definida a necessidade de identificar oportunidades de melhoria em produtos através da avaliação e detecção de padrões de falhas sob seis diferentes perspectivas, fundamentadas na estratificação de dados provenientes da cobertura de garantia de produtos em campo: i) procedência de reclamações; ii) principais problemas causados por clientes; iii) influências de processos e aplicações nos clientes; iv) influências de fabricação do produto; v) influências de utilização de componentes em número de peça; e vi) local da falha e ambiente geográfico de aplicação.

A avaliação e identificação de padrões de falhas, procura determinar se uma falha está relacionada ou concentrada em uma das perspectivas mencionadas anteriormente. O elevado número absoluto de ocorrências sob uma dessas perspectivas tende a representar um maior custo associado à imagem do produto e da organização, manutenção da estrutura de suporte às análises de garantia, tais como, engenheiros de serviço e qualidade, técnicos analisadores de peças, armazenamento, recebimento, expedição, transporte, laboratório, máquinas e outros custos relacionados a análise de peças de campo em garantia.

A correção de falhas de fabricação ou montagem que são falhas reconhecidas em garantia pelas empresas, devem ser priorizadas, já que são as mais custosas para a organização. Em caso de falhas de fabricação ou montagem reconhecidas pelas empresas do setor automotivo, diversos custos proveniente da não-qualidade do produto são transferidos, de forma parcial ou integral, para o fornecedor da indústria de autopeças, fabricante do produto causador da falha. Dentro desses custos, pode-se relacionar custos de campanhas, transporte das peças para o laboratório ou oficina de análise, reboque do veículo até a oficina, mão-de-obra da oficina ou concessionária executante da substituição das peças, danos materiais causados pela inatividade de um veículo comercial, entre outros. Além disso, falhas no sistema de injeção de um veículo podem incorrer em custos relacionados a danos consequentes causados ao motor ou veículo. Isso significa que, caso um injetor venha a vazar combustível, por uma falha de fabricação desse produto, e, hipoteticamente num caso extremo, venha a causar a explosão de um motor ou veículo, a responsabilidade de assumir os custos provenientes dessa falha é da montadora de veículos, que repassa parte dessa responsabilidade e custos para seu fornecedor de autopeças fabricante do produto que ocasionou o problema, no caso, o injetor. Nesse sentido, embora o fabricante do injetor venha fornecer somente esse produto, ele pode vir a assumir dentro dos custos de garantia, mais do que o equivalente a trezentas vezes o valor da peça, além do pagamento de ações indenizatórias.

O método sugere a análise de causa raiz e definição de ações corretivas quando ocorrer a identificação de problemas sistêmicos ainda não corrigidos de fabricação ou montagem, observados através da análise de taxas de falhas procedentes (P1). A análise de causa raiz e definições de ações para correção dos problemas identificados devem possuir como premissas, evitar os elevados custos de garantia mencionados anteriormente nessa seção do trabalho, quando um produto tem a sua garantia reconhecida. Outras possíveis melhorias na qualidade ou confiabilidade, ou, ainda, a análise de possíveis reduções de custo de

fabricação do produto, são consideradas somente após a correção dos problemas de fabricação e montagem identificados.

A percepção da qualidade do produto pelos clientes está relacionada não somente aos problemas de fabricação ou montagem, que são reconhecidas em garantia. As falhas causadas pelo manuseio incorreto do produto podem ser consideradas problemas de qualidade pelo cliente e afetar diretamente a imagem do produto e, conseqüentemente, da empresa fabricante desse produto. Portanto, o método procura identificar oportunidades de melhoria do produto ou processo de fabricação, favorecendo o aumento de robustez e qualidade do produto, mesmo que para corrigir falhas de manuseio por parte do cliente.

De forma geral, o método utiliza o diagrama de Pareto para ordenar as frequências das ocorrências de falhas, da maior para a menor, permitindo a priorização de análise dos problemas. Em seguida, assim que identificadas as maiores frequências das ocorrências de falhas, essas são verificadas quanto à sua pontualidade e recorrência ao longo do tempo, plotando-se um novo gráfico com as quantidades de peças reclamadas no eixo y e a data de fabricação dos produtos no eixo x. O objetivo dessa análise é detectar concentração pontual de ocorrências que contribua para a falha se destacar através da análise via Pareto, permitindo avaliar o histórico relacionado ao problema e demais eventos que possam influenciar na falha do produto.

No método, as quilometragens de falha do produto são verificadas através da plotagem de uma distribuição de frequência de falhas. Os limites de quilometragem e tempo de utilização dos produtos são definidos em contratos de garantia entre clientes e fornecedores no mercado automotivo. A quilometragem de falha é um critério de aceitação ou não de garantia, para alguns fornecedores de autopeças da indústria automotiva. Além disso, quanto menores as quilometragens em que ocorrem as falhas, maior a percepção do cliente final com relação à determinada fragilidade do produto. Quando a quilometragem não está disponível, também é possível analisar o tempo decorrido entre a data de venda do produto para o consumidor final e a data em que ocorreu a falha, que também é definida na maioria dos contratos de garantia.

4.2.2 Cenários de utilização do método

De forma geral, o método pode ser utilizado para execução de análises objetivando a identificação de oportunidades de melhorias de produto em diferentes cenários. A partir dessas oportunidades, os requisitos atuais são avaliados e verificada a necessidade de definição de novos requisitos de projeto para implementação através de Mudanças de Engenharia. A seguir, são descritos dois diferentes cenários onde o método pode ser aplicado: i) identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance de plataforma base de produto para desenvolvimento de nova plataforma; e ii) identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance de uma plataforma existente para aplicação do produto em novo ambiente ou mercado.

4.2.2.1 *Cenário 1: identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance de plataforma base de produto para desenvolvimento de nova plataforma*

Especialmente na inovação incremental, o desenvolvimento de uma nova plataforma precisa levar em consideração as lições aprendidas relacionadas a projetos das plataformas anteriores, que foram desenvolvidas dentro de uma organização. Dessa forma, o processo de melhoria contínua é estimulado, favorecendo a melhoria da qualidade e produtividade através da mudança incremental sustentada. Nesse sentido, o desenvolvimento da nova plataforma precisa considerar as informações de performance atual do produto que podem ser obtidas através da estratificação dos dados de garantia no mercado onde o produto da nova plataforma será aplicado.

A taxa de procedência de falhas deve ser considerada na análise de performance de plataforma atual de produto para desenvolvimento de nova plataforma, que será desenvolvida através de melhorias incrementais. Através dessa análise é possível antecipar e corrigir problemas que poderiam ocorrer na nova plataforma, e, dessa forma, evitar altos custos de não-qualidade associados a esses possíveis desvios.

A percepção da qualidade do produto pelos futuros clientes da nova plataforma pode ser melhorada através de aumento de robustez do produto, para resistir a falhas causadas pelo manuseio incorreto ou exposição do produto a um ambiente mais agressivo do aquele em

que ele foi projetado. Essas oportunidades de melhoria de produto podem ser identificadas através da perspectiva relacionada às principais falhas causadas pelo cliente no produto ou componente (P2).

O escopo do projeto da nova plataforma deve definir os possíveis clientes estratégicos para os futuros produtos. Assim, a análise de concentração de falhas nos clientes atuais, especialmente se esses forem considerados estratégicos para lançamento da nova plataforma, pode auxiliar na detecção de oportunidades de melhoria a fim de evitar futuras falhas.

No caso de multinacionais com diferentes plantas e fornecedores, a concentração de falhas em plantas fabricantes pode identificar desvios de processos de manufatura na planta ou em seu fornecedor que poderiam impactar em elevados custos de garantia para a nova plataforma. Com isso, o método sugere comparar a quantidade de peças reclamadas fabricadas em cada planta de uma organização, procurando detectar possíveis desvios do processo de fabricação dessas plantas ou fornecedores, com o objetivo de corrigir essas falhas e prevenir elevados custos de não-qualidade do produto.

Durante o desenvolvimento de novas plataformas, a comparação entre a performance de diferentes números de peça pode auxiliar a detecção de aplicação incorreta do produto, fragilidade de diferentes componentes, ou ainda, falta de robustez de componentes similares de diferentes fornecedores.

A análise de concentração de falhas no local geográfico de falha auxilia no entendimento de problemas de robustez relacionados à condição de operação, temperatura, tipo e/ou características químicas do combustível, altitude, ou mesmo, aspectos culturais, como o modo em que o produto é utilizado. O entendimento dessas relações de performance do produto sob as condições de utilização específicas auxiliam na detecção de possíveis vulnerabilidades do produto com relação a determinadas falhas de componentes. Nesse sentido, identificação de oportunidade de melhoria de produto possibilita o desenvolvimento de novas plataformas mais robustas.

4.2.2.2 *Cenário 2: identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance da plataforma para aplicação do produto em novo ambiente ou mercado*

A aplicação do produto em um novo mercado precisa levar em consideração as lições aprendidas relacionadas a projetos das plataformas anteriores nesse mercado, especialmente as desenvolvidas dentro da própria organização. Dessa forma, possíveis falhas de aplicação do produto nesse novo mercado podem ser evitadas, definindo corretamente requisitos de projeto para atuação do produto sob condições específicas de operação.

A taxa de procedência de falhas deve ser considerada na análise de performance de plataforma atual de produto para utilização do produto em novo mercado. Através dessa análise é possível antecipar e corrigir problemas de fragilidade que poderiam ocorrer na utilização do produto no novo mercado, e, dessa forma, evitar altos custos de não-qualidade associados a esses possíveis desvios.

A percepção da qualidade do produto pelos futuros clientes do produto nesse novo mercado pode ser melhorada através de aumento de robustez do produto, para resistir a falhas causadas pelo manuseio incorreto ou exposição do produto a um ambiente mais agressivo do que ele foi projetado. Essas oportunidades de melhoria de produto podem ser identificadas através da perspectiva relacionada às principais falhas causadas pelo cliente no produto ou componente (P2) no mercado onde pretende-se aplicar o produto.

Para aplicar o produto em um novo mercado, o escopo do projeto deve definir os possíveis clientes estratégicos. Assim, a análise de concentração de falhas nos clientes atuais, especialmente se esses forem considerados estratégicos para lançamento do produto nesse novo mercado, pode auxiliar na detecção de oportunidades de melhoria a fim de evitar futuras falhas.

No caso de multinacionais com diferentes plantas e fornecedores, a concentração de falhas em plantas fabricantes pode identificar desvios de processos de manufatura na planta ou em seu fornecedor que poderiam impactar em elevados custos de garantia para a utilização do produto no novo mercado. Com isso, o método sugere comparar a quantidade de peças reclamadas fabricadas em cada planta de uma organização, procurando detectar possíveis desvios do processo de fabricação dessas plantas ou fornecedores, com o objetivo de corrigir essas falhas e prevenir elevados custos de não-qualidade do produto.

Durante o projeto, para o lançamento do produto no novo mercado, a comparação entre a performance de diferentes números de peça pode auxiliar na detecção de aplicação

incorreta do produto. Esta pode ser percebida quando o produto é instalado em uma determinada aplicação e essa aplicação apresenta diversos desvios de performance, causando aumento da quantidade de ocorrências de reclamações relacionadas aos números de peça em análise. A comparação entre a performance de diferentes números de peças também auxilia a identificação de fragilidade de componentes, ao passo que os diferentes números de peças possuem pequenas diferenças com relação à configuração ou uso de componentes.

A análise de concentração de falhas no local geográfico de falha auxilia no entendimento de problemas de robustez relacionados à condição de operação, temperatura, tipo e/ou características químicas do combustível, altitude, ou mesmo, aspectos culturais, como o modo em que o produto é utilizado. O entendimento dessas relações de performance do produto sob as condições de utilização específicas, representam a detecção de possíveis vulnerabilidades do produto a determinadas falhas relacionadas a componentes, objetivando a identificação de oportunidade de melhoria de produto e desenvolvimento de produtos mais robustos, mesmo antes do seu lançamento no mercado pretendido.

4.2.3 Descrição do procedimento para utilização do método

Para facilitar o entendimento do procedimento de utilização do método e atribuir uma seqüência lógica a ele, o fluxo de trabalho a ser realizado foi representado esquematicamente na Figura 10- Fluxograma detalhado para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos. Nesse fluxograma, cada um dos seus dezenove elementos foram numerados e denominados Blocos. A seguir será descrito o procedimento de utilização de cada um desses Blocos..

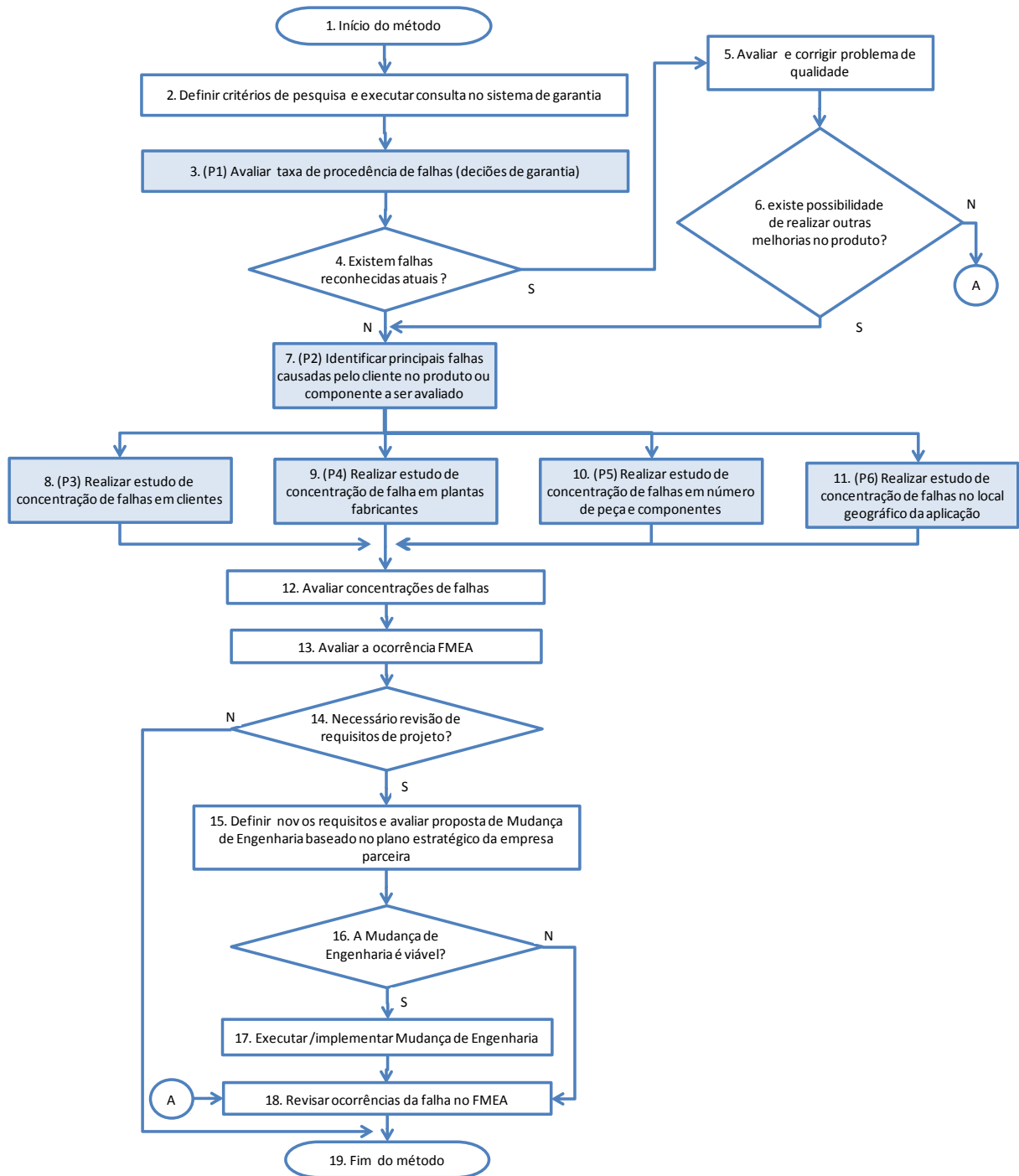


Figura 10- Fluxograma detalhado para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos

Fonte: autoria própria

4.2.3.1 *Bloco 1*

Antes de iniciar a utilização do método, é necessário definir o cenário de aplicação do mesmo. Os diferentes cenários de aplicação do método são discutidos na seção 4.2.2 desse trabalho. De acordo com esses cenários a serem avaliados, são definidos de forma geral quais famílias de produto serão analisadas, período de investigação e local geográfico da reclamação de campo.

4.2.3.2 *Bloco 2*

Conforme mencionado, a definição dos critérios de pesquisa e execução de consultas no sistema de garantia, dependem do cenário ou objetivo desejado. Para cada objetivo, devem ser definidos filtros iniciais específicos para seleção dos registros no banco de dados de garantia. Essa definição de filtros ou critérios de pesquisa inclui uma lista completa de números de peça (*part numbers*), períodos de reclamação ou fabricação e local geográfico da reclamação. O resultado da execução do Bloco 2 é uma tabela com os registros do banco de dados de garantia que correspondem à definição dos critérios de pesquisa.

4.2.3.3 *Bloco 3*

Considerando os altos custos da não qualidade do produto, a primeira perspectiva analisada através do método é a taxa de procedência de falhas (P1), representada pelo Bloco 3 na Figura 10. As quatro subetapas de execução do método sob a perspectiva P1 são representadas na Figura 11.

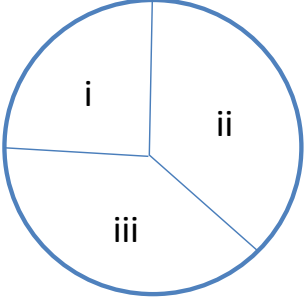
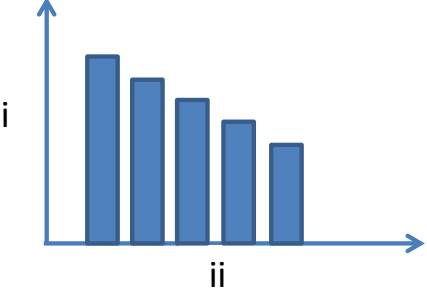
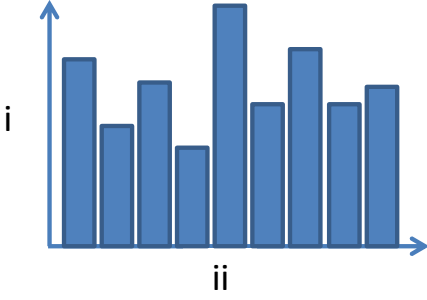
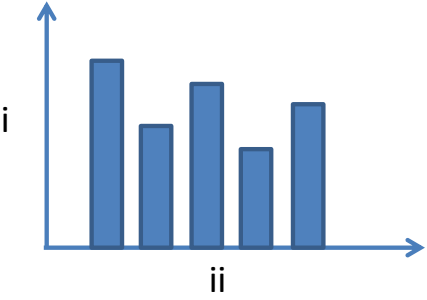
Atividade 1 - Gráfico Pizza - Identificação das taxas de decisões de garantia	Atividade 2 - Gráfico Pareto - Ocorrências de falhas por componentes
	
i) Percentual de reclamações percebidas como problemas de fabricação ou montagem ii) Percentual de produtos reclamados sem defeito; iii) Percentual de produtos com defeitos causados pelo manuseio ou processos do cliente	i) Frequência de ocorrência de falhas ii) Componentes
Atividade 3 - Principais falhas por data de fabricação	Atividade 4 - Frequências de falhas por quilometragem
	
i) Frequência de ocorrência de falhas ii) Tempo: data de fabricação do produto	i) Frequência de ocorrência de falhas ii) Quilometragem em que a falha foi reportada ou tempo de uso do produto

Figura 11- Representação das subetapas da primeira perspectiva (P1) de avaliação, taxa de procedência de falhas

Fonte: autoria própria

Na Atividade inicial da análise dessa perspectiva, Atividade 1 representada na Figura 11, o objetivo é definir o percentual de: i) reclamações percebidas como problemas de fabricação ou montagem, reconhecidos como responsabilidade da planta fabricante do produto a ser analisado; ii) percentual de produtos reclamados sem defeito; e iii) produtos com defeitos causados pelo manuseio ou processos do cliente. Quanto maior a taxa de

reclamações reconhecidas, maiores os custos de garantia associados a elas, e, conseqüentemente, devem ser priorizadas as correções para evitar que essas falhas aconteçam.

Em seguida, na Atividade 2 dessa perspectiva, um gráfico Pareto é plotado com os principais componentes falhados ou principais locais de falha em um determinado produto analisado. Assim que identificados os principais componentes, locais de falhas e/ou tipos de falhas, a Atividade 3 verifica as falhas quanto à sua pontualidade e recorrência ao longo do tempo, plotando-se as quantidades de reclamações reconhecidas no eixo y e a data de fabricação dos produtos no eixo x.

A última Atividade da análise dessa perspectiva é a quilometragem de falha, que indica em qual fase da vida útil do produto a falha está ocorrendo (início, meio ou final de sua vida útil). Essa Atividade também auxilia na previsão de novas falhas que estão sendo avaliadas e definição de priorização de avaliação de oportunidade de melhorias para falhas que ocorrem no início da vida útil do produto.

Na análise da perspectiva de taxa de falhas reconhecidas (P1), as falhas identificadas através do método são avaliadas quanto sua recorrência no período definido, sendo possível observar se tais falhas já foram corrigidas via metodologia de solução de problemas ou através de Mudanças de Engenharia. Nessa perspectiva, as oportunidades de melhorias de produtos para falhas reconhecidas em garantia devem ser priorizadas, pois representam maiores custos de imagem da marca perante o cliente, além de maiores ônus financeiro, devido ao aumento de custo relacionado à manutenção da estrutura de garantia.

4.2.3.4 *Bloco 4*

O método sugere a análise de causa raiz e definição de ações corretivas quando ocorrer a identificação de problemas sistêmicos ainda não corrigidos de fabricação ou montagem, observados através dos paretos da primeira perspectiva de análise de taxas de falhas procedentes (P1), representada pelo Bloco 3 da Figura 10. Quando identificadas tais ocorrências de falhas, o Bloco 5 deve ser executado, para que as falhas sejam avaliadas e corrigidas. Caso não sejam observadas falhas sistêmicas, o método segue sua execução através da segunda perspectiva (P2) representada pelo Bloco 7, com o objetivo de avaliar oportunidades de melhoria da confiabilidade do produto com relação às falhas causadas pelos clientes.

4.2.3.5 *Bloco 5*

Nesse bloco, a análise de causa raiz e definições de ações para correção dos problemas identificados devem possuir como premissas, evitar os elevados custos de garantia mencionados anteriormente nessa seção do trabalho, quando um produto tem a sua garantia reconhecida.

4.2.3.6 *Bloco 6*

Nessa etapa, a existência de possibilidade de realização de outras melhorias ou reduções de custo no produto são avaliadas. O método segue para o Bloco 18, quando houver entendimento de que outras melhorias ou reduções de custo no produto não são necessárias. Do contrário, as análises de ocorrências de falhas causadas por clientes no produto ou componente são executadas, onde está representado pelo Bloco 7.

4.2.3.7 *Bloco 7*

Nessa etapa de utilização do método representada pelo Bloco 7 da Figura 10, as reclamações de produtos reportadas são avaliadas quanto à perspectiva de identificação de falhas relacionadas às decisões de garantia definidas como causas de responsabilidade de clientes (P2). Dessa forma, tenta-se definir possíveis correlações de quantidades de falhas causadas pelos clientes, com data de fabricação, data de falha e quilometragem de falhas dos produtos. As Atividades que foram utilizadas para descrição da análise sob a perspectiva P2 estão representadas através da Figura 12.

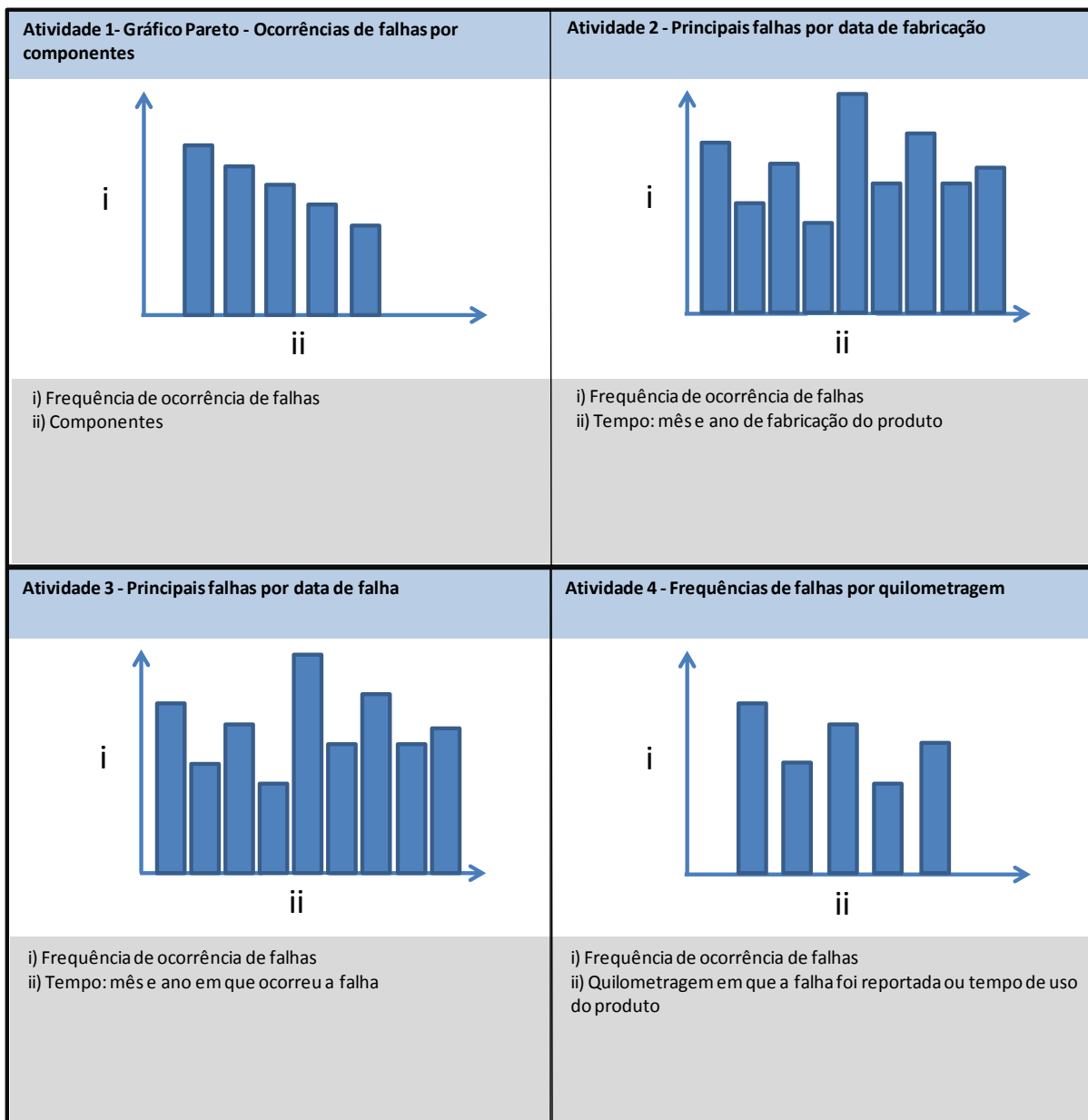


Figura 12- Representação das Atividades da segunda perspectiva (P2) de avaliação, identificação das principais falhas causadas pelo cliente no produto ou componente

Fonte: autoria própria

Na primeira Atividade dessa perspectiva, a plotagem de um gráfico Pareto é sugerida com o objetivo de apresentar as principais falhas de responsabilidade do cliente, de acordo com objetivo da análise. Nesse gráfico, a quantidade de falhas nos componentes dos produtos reclamados é indicada. Na legenda desse gráfico é indicado o tipo de falha. As análises posteriores utilizam como filtro as principais falhas identificadas nessa Atividade.

Em seguida, na Atividade 2, as quantidades de falha por mês de fabricação são analisadas com o objetivo de verificar concentrações de falhas em uma determinada data de fabricação, o que poderia ser um indicativo de problema pontual de qualidade do produto, não percebido durante as análises de garantia, que afetaria a confiabilidade da análise pareto.

Na Atividade 3, o objetivo da análise de quantidade de reclamações por mês de falha é detectar concentrações de falhas que ocorrem em determinados períodos do ano, como por exemplo no inverno, verão ou períodos de maior umidade. A análise procura identificar possível fragilidade do produto em determinados períodos do ano.

A última Atividade da análise dessa perspectiva é a quilometragem de falha, que indica em qual fase da vida útil do produto a falha está ocorrendo (início, meio ou final de sua vida útil) assim como facilita a definição se o produto está ou não em garantia, qual a previsão de novas falhas que estão sendo avaliadas e necessidade de priorização para falhas que ocorrem no início da vida útil do produto.

Na análise da perspectiva de identificação das principais falhas causadas pelo cliente (P2), as falhas detectadas através do método são avaliadas quanto sua recorrência no período definido, sendo possível observar se tais falhas ainda estão presentes ou podem se tornar oportunidades de melhorias de produtos através de Mudanças de Engenharia. Nessa perspectiva, as oportunidades de melhorias de produtos para falhas reconhecidas em garantia devem ser avaliadas, caso exista elevado número de ocorrências das falhas. As demais perspectivas utilizaram como base as falhas detectadas nesse bloco para aprofundamento nas análises e definição de novos requisitos de projetos que auxiliem evitar essas ocorrências.

4.2.3.8 *Bloco 8*

A perspectiva de análise que avalia as influências de processos e aplicações de clientes visa entender se a falha analisada está concentrada em um determinado cliente ou aplicação. As Atividades do estudo de concentração de falhas em cliente estão representadas na Figura 13.

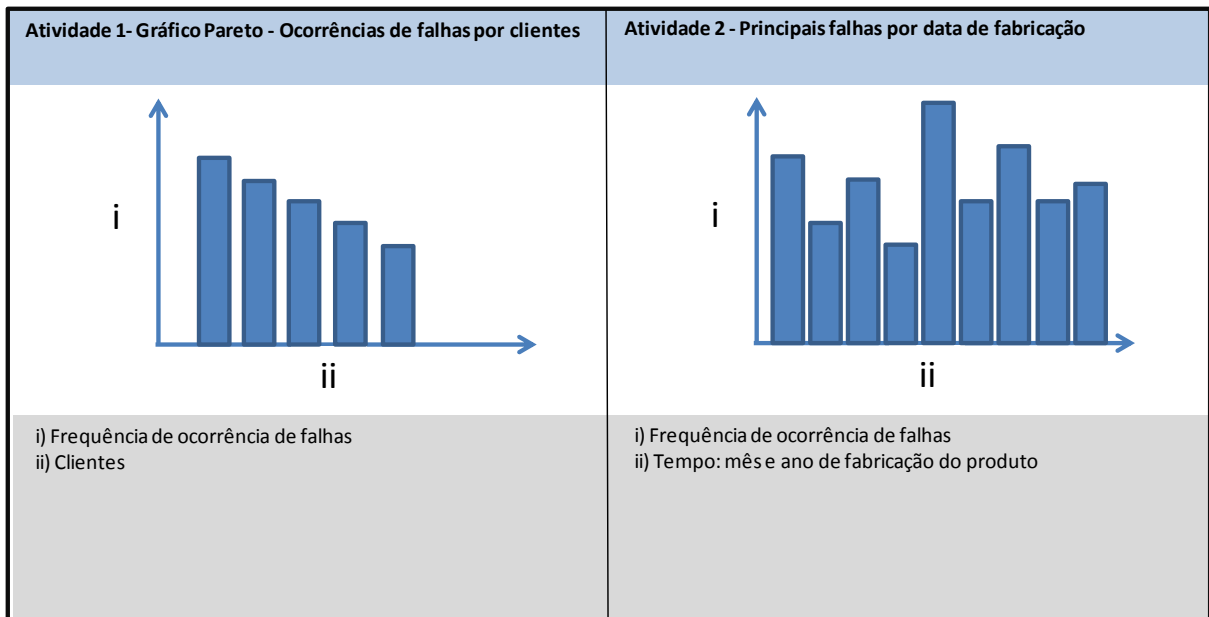


Figura 13- Representação das Atividades da terceira perspectiva (P3) de avaliação, estudo de concentração de falhas em cliente

Fonte: autoria própria

Na Atividade 1 da terceira perspectiva (P3), a elaboração de um gráfico tipo Pareto é proposta para identificar os clientes e aplicações que possuem maior número de ocorrências de falhas. Para os clientes e aplicações onde verificou-se o maior número de falhas, um novo gráfico de quantidades de reclamação por data de fabricação do produto é gerado, representado na Atividade 2 na Figura 13, com o objetivo de detectar problemas pontuais de fabricação no cliente, que contribuiriam para a falha se destacar através da análise Pareto.

Na perspectiva P3, a sequência de Atividades visam detectar se as principais falhas nos registros analisados estão concentradas em determinado cliente. Com isso, podem ser identificadas oportunidades de melhorias de produto relacionadas a clientes ou aplicações específicas e com isso definir-se novos requisitos de projeto, de forma a evitar essas falhas.

4.2.3.9 Bloco 9

O principal objetivo da análise de concentração de falha em plantas fabricantes é a detecção de problemas de fabricação relacionados à determinada planta, tais como

montagem, matéria-prima e falhas em componentes de diferentes fornecedores. As Atividades do estudo de concentração de falhas em plantas fabricantes estão representadas na Figura 14.

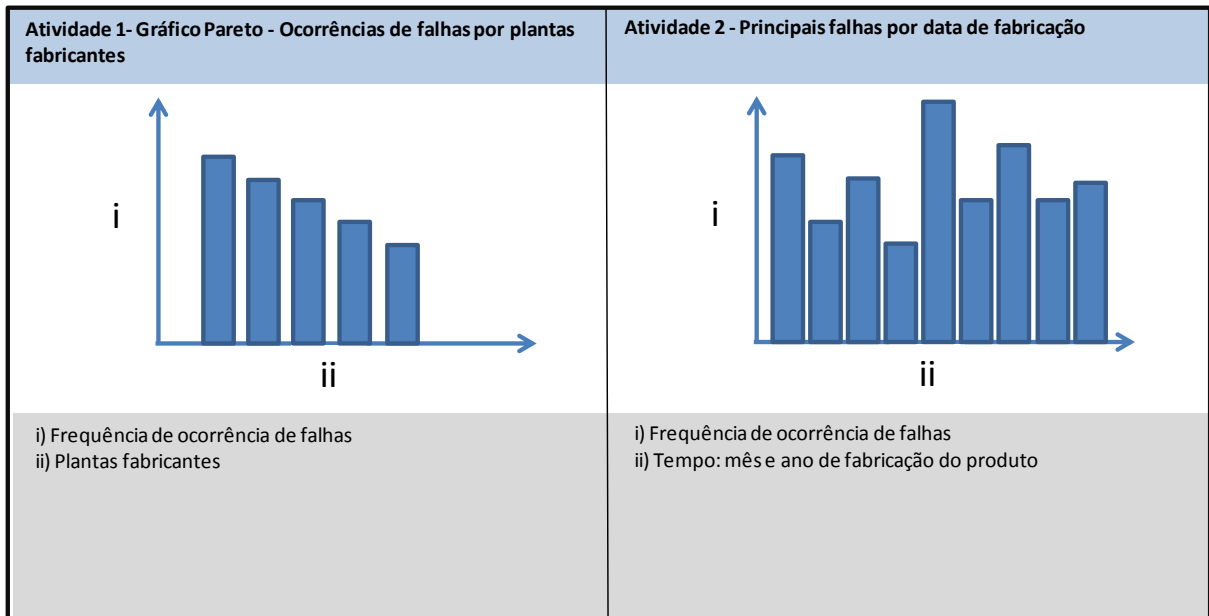


Figura 14- Representação das Atividades da quarta perspectiva (P4) de avaliação, estudo de concentração de falhas em plantas fabricantes

Fonte: autoria própria

Na Atividade 1 da quarta perspectiva (P4), a elaboração de um gráfico tipo Pareto é proposta para identificar as plantas fabricantes que possuem maior número de ocorrências de falhas. Para essas plantas onde verificou-se o maior número de falhas, um novo gráfico de quantidades de reclamação por data de fabricação do produto é gerado. Esse novo gráfico, representado na Atividade 2 na Figura 14, tem o objetivo de detectar concentrações de problemas de fabricação nas plantas, que contribuiriam para a falha se destacar através da análise Pareto.

Na perspectiva P4, a sequência de Atividades visa detectar se as principais falhas nos registros analisados estão concentradas em determinada planta fabricante ou em seus sub-fornecedores. Em caso de detecção de taxas de falhas diferenciadas entre as plantas fabricantes, estudos comparativos entre seus produtos podem detectar oportunidades de melhorias de produto relacionadas a plantas específicas ou mesmo fornecedores e com isso definir-se novos requisitos de projeto ou controles de fabricação, para evitar que essas falhas ocorram.

4.2.3.10 Bloco 10

No Bloco 10 é possível detectar concentrações de falha em determinados números de peça ou componentes. As Atividades do estudo de concentração de falhas em números de peças ou componentes estão representadas na Figura 15.

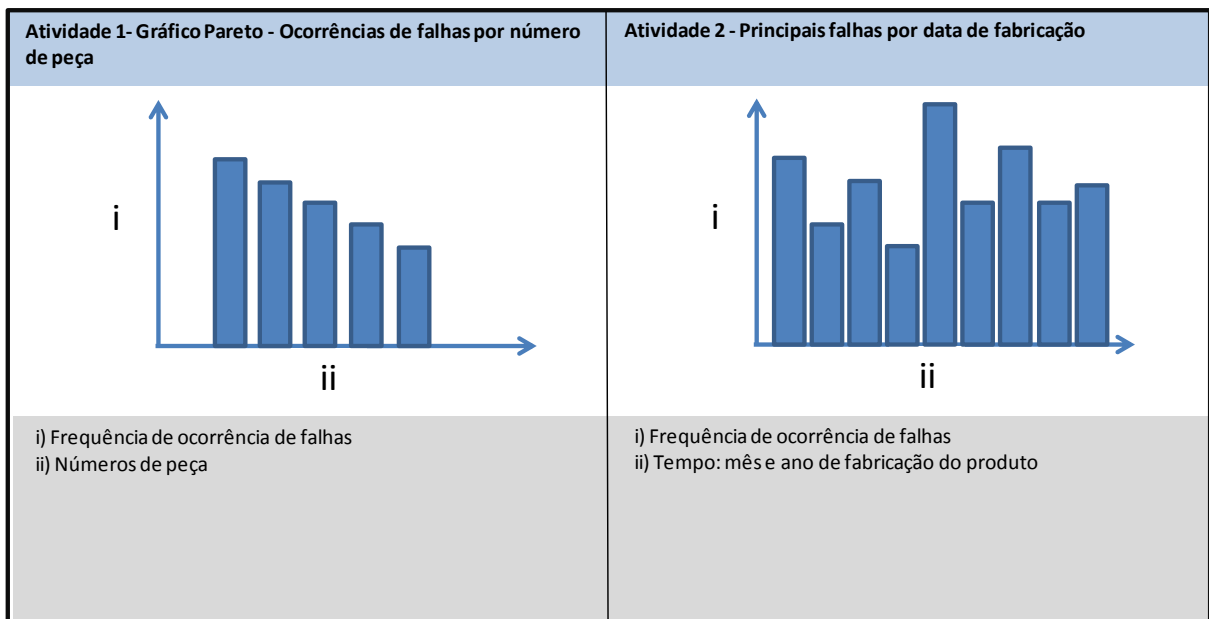


Figura 15- Representação das Atividades da quinta perspectiva (P5) de avaliação, estudo de concentração de falhas em números de peça

Fonte: autoria própria

Na Atividade 1 da quinta perspectiva (P5), a elaboração de um gráfico tipo Pareto é proposta para identificar os números de peças ou componentes que possuem maior número de ocorrências de falhas. Para esses números de peças ou componentes onde verificou-se o maior número de falhas, um novo gráfico de quantidades de reclamação por data de fabricação do produto é gerado. Esse gráfico, representado na Atividade 2 na Figura 15, tem o objetivo de detectar problemas relacionados à fabricação ou utilização de número de peça ou componentes, que contribuíram para a falha se destacar através da análise Pareto.

Na perspectiva P5, a sequência de Atividades visa detectar se as principais falhas nos registros analisados estão concentradas em determinado número de peça ou componente. Então, podem ser identificadas oportunidades de melhorias de produto relacionadas à fabricação ou utilização de determinados números de peça, ou, ainda, a correlação dessas

falhas com componentes. Com isso, pode-se definir novos requisitos de projeto, de forma a evitar essas falhas.

4.2.3.11 Bloco 11

No Bloco 11 é realizada a análise sob a perspectiva de local geográfico de falha e ambiente geográfico de aplicação. Essa perspectiva tem o objetivo de estudar a correlação das falhas com o país onde o produto é aplicado e condições de operação, tais como, temperatura, tipo e/ou características químicas do combustível, altitude, ou mesmo, aspectos culturais, como o modo em que o produto é utilizado. Nessa análise, é possível obter informações sobre o desempenho do produto com relação ao mercado e avaliar a necessidade de Mudança de Engenharia para adequar o produto a esse mercado. As Atividades do estudo de concentração de falhas em números de peças estão representadas na Figura 16.

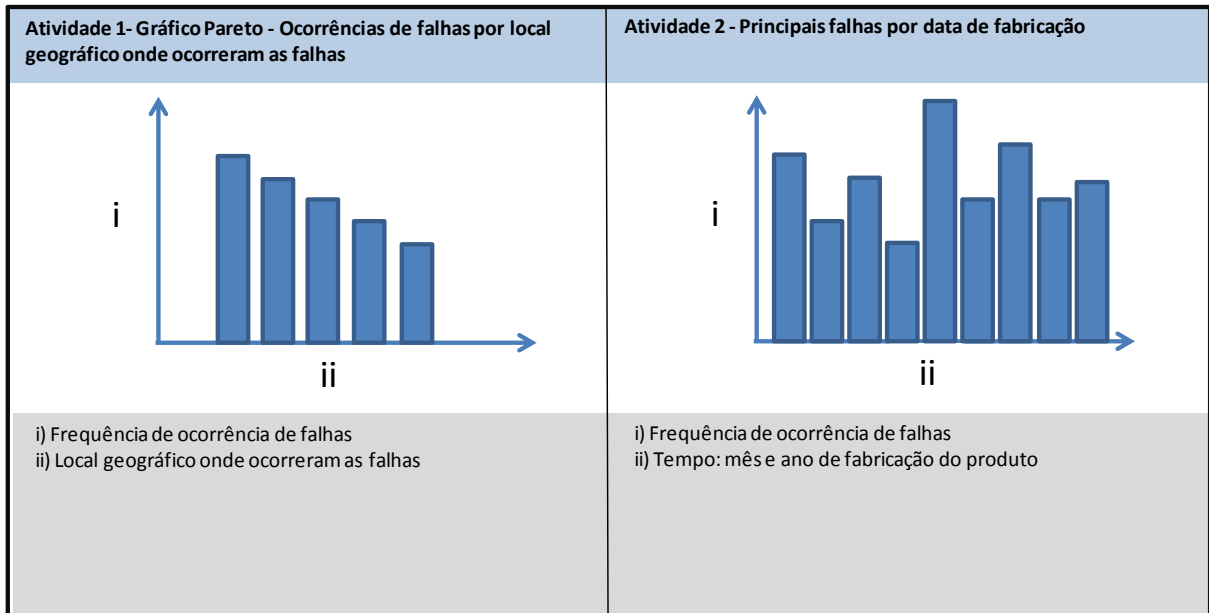


Figura 16- Representação das Atividades da sexta perspectiva (P6) de avaliação, estudo de concentração de falhas em local geográfico

Fonte: autoria própria

Na Atividade 1 da sexta perspectiva (P6), a elaboração de um gráfico tipo Pareto é proposta para identificar os locais geográficos que possuem maior número de ocorrências de

falhas. Para esses países onde verificou-se o maior número de falhas, um novo gráfico de quantidades de reclamação por data de fabricação do produto é gerado, representado na Atividade 2 na Figura 16, com o objetivo de detectar problemas pontuais relacionados ao produto, que contribuíram para a falha se destacar através da análise Pareto.

Na perspectiva P6, a sequência de Atividades visa detectar se as principais falhas nos registros analisados estão concentradas em determinado local geográfico de falha. Com isso, podem ser identificadas oportunidades de melhorias de produto, assim como definição de novos requisitos de projeto, de forma a evitar essas falhas.

4.2.3.12 Bloco 12

Após o encerramento do estudo de concentrações de falhas relacionadas às perspectivas de clientes, plantas fabricantes, número de peça e local geográfico da aplicação do produto, os resultados desses estudos são avaliados criticamente. Então, é elaborada a conclusão dos estudos, de forma a considerar as concentrações observadas em cada uma das perspectivas, conforme será demonstrada através da apresentação de um exemplo hipotético.

4.2.3.13 Bloco 13

Assim que finalizada a conclusão da análise crítica das perspectivas mencionadas anteriormente, são re-avaliadas as ocorrências no FMEA, de forma a manter a ferramenta sempre atualizada com as últimas informações de campo. Quando necessário, são atualizadas as ocorrências.

4.2.3.14 Bloco 14

Em seguida é avaliada a necessidade de revisões de requisitos de projeto. O produto que apresenta maior incidência de falhas deve ser sempre avaliado quanto a seus requisitos, de forma a suportar a condição que está levando-o a falhar.

4.2.3.15 Bloco 15

Quando optado pela definição de novos requisitos, deve-se levar em consideração a relevância estratégica desses requisitos para a empresa. Assim, deve ser avaliada a quantidade de tempo que esse produto deve permanecer sob a condição que o leva a falhar. Como resultado dessa etapa, deve-se definir claramente quais são os requisitos propostos.

4.2.3.16 Bloco 16

A próxima etapa é a avaliação se é possível e viável a implementação de uma Mudança de Engenharia para atender os novos requisitos propostos. Nessa etapa, é altamente recomendável a utilização de metodologias como o DRBFM.

4.2.3.17 Bloco 17

No caso de viabilidade de implementação, são executadas as Mudanças de Engenharia, já previamente analisadas na etapa anterior.

4.2.3.18 Bloco 18

Antes de finalizar a utilização do método, novamente é re-avaliada a ocorrência de falhas no FMEA, após a implementação das Mudanças de Engenharias propostas.

4.3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Nessa seção será apresentado o exemplo hipotético de aplicação do método para identificação de oportunidades de melhorias de produtos com dados provenientes da cobertura de garantia.

Para facilitar o entendimento das etapas que são propostas através desse exemplo de utilização do método e atribuir uma seqüência lógica a elas, o fluxo de trabalho também segue a Figura 10- Fluxograma detalhado para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos.

4.3.1 Bloco 1

Conforme descrito nas etapas de utilização do método, antes de iniciar a utilização do mesmo, é necessário definir o cenário de aplicação. O exemplo hipotético para apresentação do método, está relacionado com a identificação de oportunidade de melhoria de produto através da análise de performance de plataforma base de produto para desenvolvimento de nova plataforma, apresentado pelo cenário 1, na seção 4.2.2.1. A performance de injetores da plataforma X, já em utilização no mercado chinês, será avaliada com o objetivo de verificar se os requisitos de projeto definidos dentro da organização estão adequados para esse mercado. Com isso, podem ser identificadas possíveis oportunidades de melhoria do produto e evitar falhas que poderiam ocorrer nas condições de operação específicas do mercado chinês, implementando as melhorias na nova plataforma Y, em desenvolvimento.

4.3.2 Bloco 2

Os bancos de dados de garantia, geralmente não possuem campos relacionados a plataformas de produtos, que serviriam de base para execução de consultas ou estratificações de dados. Por isso, para selecionar os produtos de determinada plataforma, é necessário realizar o levantamento dos números de peça relacionados a ela. Então, primeiramente é solicitado ao departamento de vendas, uma lista com todos os números de peça de injetores da plataforma X que são vendidos na China.

Na indústria de autopeças, outro fator importante para ser definido na análise de problemas relacionados a determinada plataforma, são os períodos de consulta, que podem ter como base i) datas de fabricação dos produtos; ii) datas de falhas; ou, iii) datas de reclamação. O período a ser consultado, para realização da estratificação dos dados, deve levar em

consideração as informações disponíveis no banco de dados de garantia, e, ainda, que diferentes tipos de falha manifestam-se em diferentes tempos de utilização do produto, e que não é incomum a reclamação ser reportada com atraso pelo cliente ou mesmo pela concessionária autorizada que executou o reparo em garantia. Nesse exemplo, as ocorrências de reclamações de campo foram consultadas no sistema de garantia no ano de 2011. A escolha do ano de 2011 foi realizada, considerando o tempo de um ano e meio para que as peças fornecidas estejam montadas e apresentem um número representativo de falhas. Dentro da organização, foi verificado que períodos menores que um ano, não apresentam as ocorrências significativas de falhas, que seriam relevantes para o estudo.

Através da tabela gerada como resultado dessa consulta, são estratificados e analisados os dados através de gráficos sob diferentes perspectivas.

4.3.3 Bloco 3

A primeira perspectiva a ser analisada se refere à taxa de procedência de falhas ou decisões de garantia (P1) e está sendo apresentada pelas seguintes Atividades: Gráfico 1, Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4.

Na Atividade 1 dessa perspectiva, representada pelo Gráfico 1 – P1, Atividade 1: Identificação das taxas de decisões de garantia, a taxa de falhas reconhecidas é praticamente zero, totalizando nove ocorrências. Enquanto isso, as falhas causadas pelos clientes devido ao mal uso do produto, totalizam 78% (setenta e oito por cento), e as reclamações onde o produto não apresentou qualquer falha, representam 22% (vinte e dois por cento) do total de ocorrências.

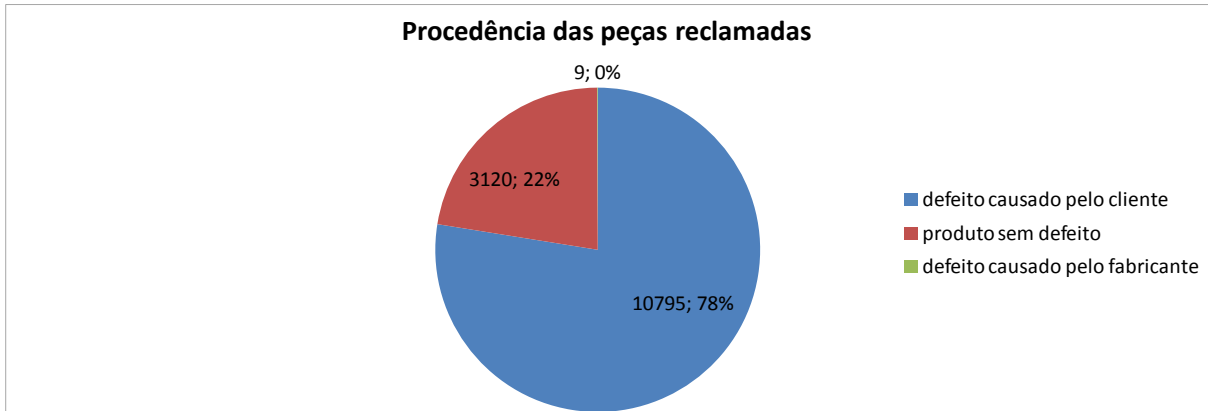


Gráfico 1 – P1, Atividade 1: Identificação das taxas de decisões de garantia

Fonte: autoria própria

Em seguida, na Atividade 2 é realizada a análise dos principais componentes que apresentaram falhas e foram reconhecidos em garantia, conforme é mostrado no Gráfico 2 – P1, Atividade 2: Pareto de componentes mais falhados com procedência reconhecida. Assim, foram verificadas somente ocorrências de falhas nos componentes grupo magnético e conjunto de válvula, que são montados nos injetores de combustível da plataforma X. As oito ocorrências de falhas do grupo magnético estão relacionadas à soldagem defeituosa de uma conexão dentro desse componente. Já a única falha relacionada ao conjunto de válvulas está relacionada à obstrução por partícula metálica de um furo nesse último componente.

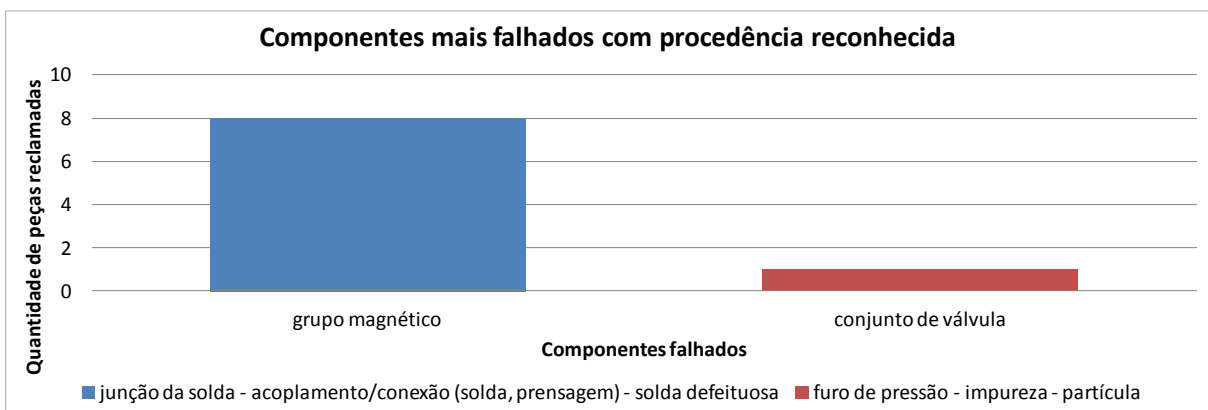


Gráfico 2 – P1, Atividade 2: Pareto de componentes mais falhados com procedência reconhecida

Fonte: autoria própria

Na Atividade 3, representada pelo Gráfico 3 – P1, Atividade 3: Ocorrências de falhas procedentes em componentes por data de fabricação, a verificação da concentração dessas falhas é realizada com relação à data de fabricação do produto, avaliando-se

concentração de falha pontual ou possível tendência de aumento de problemas no decorrer do tempo. Conforme observado nessa etapa, tanto as ocorrências de falhas do componente conjunto de válvula, quanto do componente grupo magnético estão concentradas em um único mês, indicando um problema pontual de fabricação ou montagem.

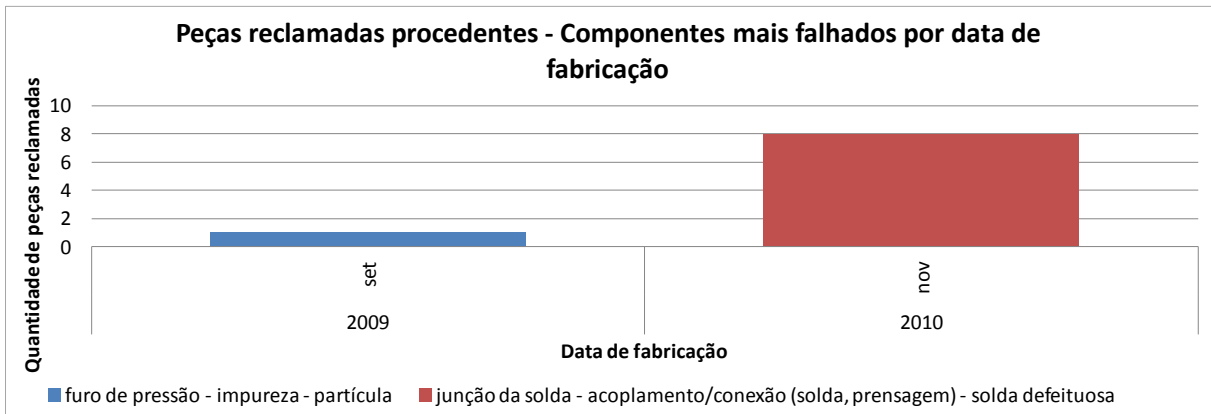


Gráfico 3 – P1, Atividade 3: Ocorrências de falhas procedentes em componentes por data de fabricação

Fonte: autoria própria

A última Atividade dessa perspectiva de análise, representada pelo Gráfico 4 – P1, Atividade 4: Histograma de quilometragem de peças reclamadas reconhecidas em garantia, procura avaliar em qual momento da vida útil dos injetores de combustível as falhas reconhecidas estão ocorrendo. Para efeitos de previsão de falhas, é suposto que um veículo comercial rode cerca de cem mil quilômetros por ano. Observando que as falhas ocorreram em até trinta mil quilômetros, supõe-se que novas ocorrências dessas falhas não são mais esperadas após quatro meses da data de venda do veículo.

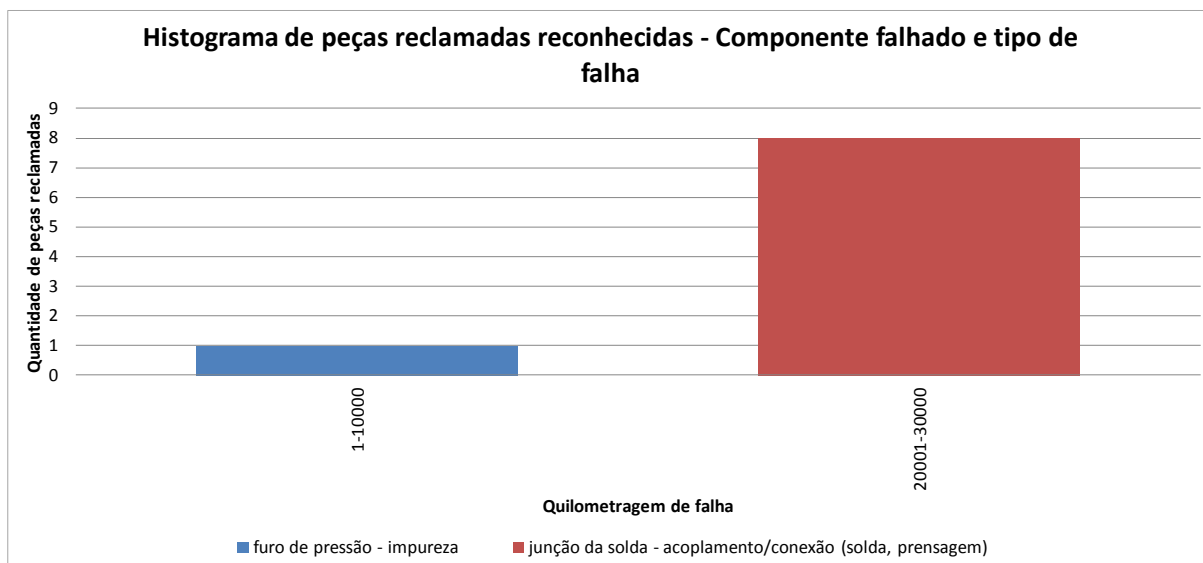


Gráfico 4 – P1, Atividade 4: Histograma de quilometragem de peças reclamadas reconhecidas em garantia

Fonte: autoria própria

Com os resultados da análise sobre a perspectiva de taxa de procedência de falhas, foi possível concluir que as falhas reconhecidas em garantia foram somente duas: i) grupo magnético com solda defeituosa; e ii) válvula com furo de pressão obstruído por partícula. Os dois tipos de falha foram pontuais, já foram corrigidos e não são esperados novas ocorrências de falha de campo relacionadas a esses casos.

4.3.4 Bloco 4

Considerando que as falhas procedentes encontradas já foram corrigidas, é realizada uma análise visando a identificação de oportunidade de melhoria da percepção do cliente com relação ao produto. Então, a próxima perspectiva a ser abordada está relacionada com a identificação das principais falhas causadas pelo cliente no produto (P2), representada pelo Bloco 7, Figura 10- Fluxograma detalhado para execução do método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos.

4.3.5 Bloco 5

Nesse exemplo hipotético, as essa etapa não foi executada, pois as falhas reconhecidas em garantia foram pontuais e já foram corrigidas.

4.3.6 Bloco 6

Nesse exemplo hipotético, as essa etapa não foi executada, pois as falhas reconhecidas em garantia foram pontuais e já foram corrigidas.

4.3.7 Bloco 7

Na primeira Atividade dessa perspectiva, representada pelo Gráfico 5 – P2, Atividade 1: Pareto de componentes que mais apresentaram ocorrências de falhas causadas pelo cliente, são apresentados os cinco componentes mais falhados e na legenda foram apresentados os tipos de falhas relacionados a esses componentes. Com a análise desse gráfico, foram identificados o conjunto de válvula e o bico injetor como os componentes que mais apresentaram ocorrências de falhas. Também foi possível observar que o tipo de falha desgaste foi o que mais ocorreu nesses dois componentes com maior incidência de falha. As análises a serem realizadas nas próximas Atividades e perspectivas utilizarão como filtro os injetores de combustível da plataforma X que apresentaram as falhas relacionadas a desgastes nos componentes conjunto de válvula e bico injetor.

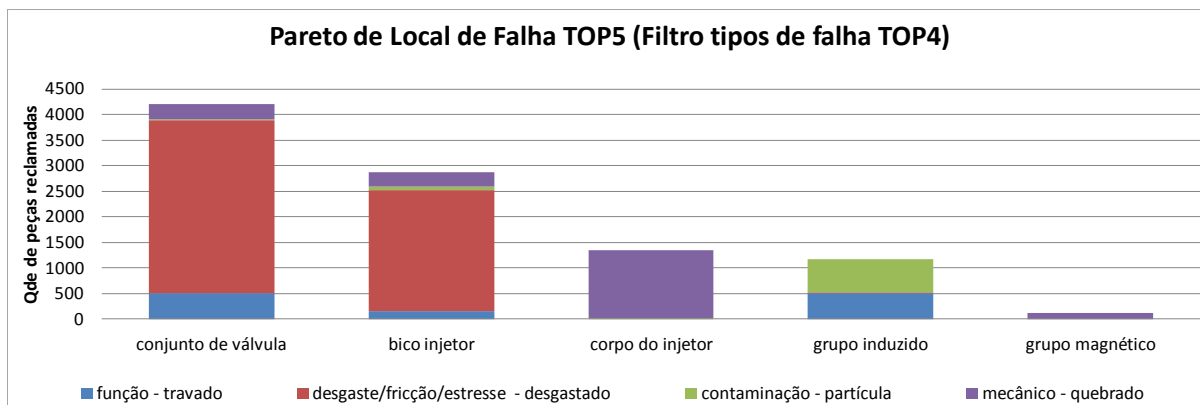


Gráfico 5 – P2, Atividade 1: Pareto de componentes que mais apresentaram ocorrências de falhas causadas pelo cliente

Fonte: autoria própria

Após a definição dos componentes e falhas relacionadas que serão analisados, foi realizada a análise de concentrações de ocorrências de falhas por data de fabricação, representada pelo Gráfico 6 - P2, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor. Não foi observada nenhuma concentração específica de falhas, mas, sim, ocorrências frequentes de desgastes nos dois componentes analisados.

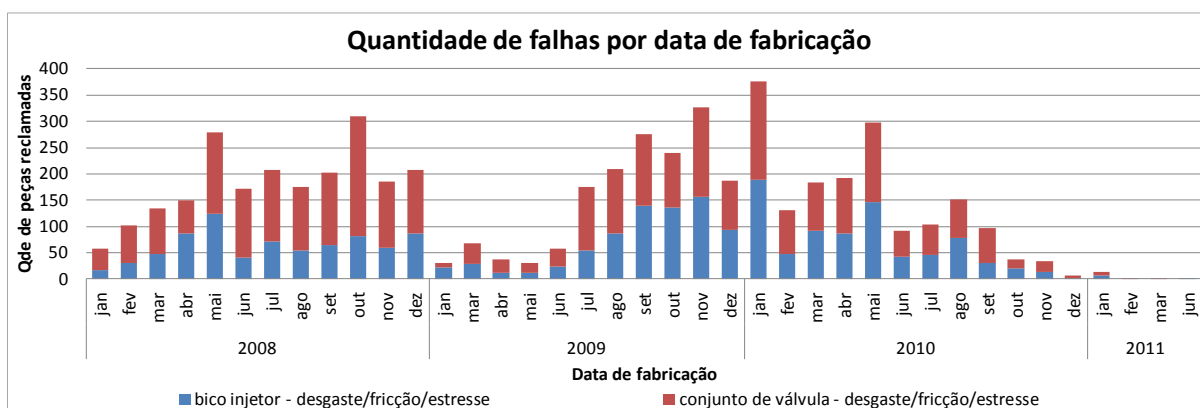


Gráfico 6 - P2, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação

Fonte: autoria própria

Foi realizada a análise de concentrações de ocorrências de falhas por data de falha, representada pelo Gráfico 7 - P2, Atividade 3: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de falha. Não foi observada nenhuma concentração específica de falhas, mas, sim, ocorrências frequentes de

desgastes nos dois componentes analisados. Pode-se interpretar, então, que o produto não tem concentrações significativas de ocorrências de falhas em determinadas épocas do ano.

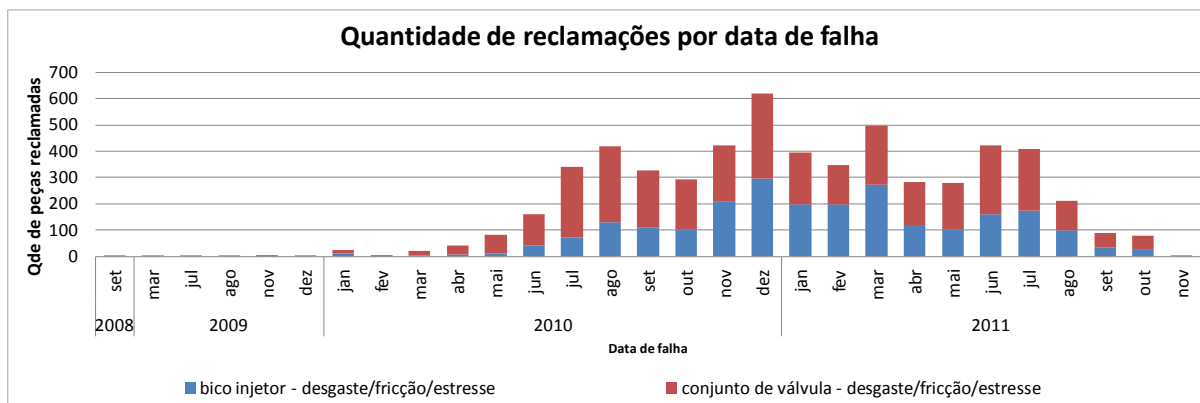


Gráfico 7 - P2, Atividade 3: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de falha

Fonte: autoria própria

A última Atividade dessa perspectiva de análise, representada pelo Gráfico 8 - P2, Atividade 4: Histograma de quilometragem de injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor, procura avaliar em qual momento da vida útil dos injetores de combustível as falhas causadas pelo cliente estão ocorrendo. Problemas de desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor não são esperados em quilometragens baixas e médias, com menos de setenta mil quilômetros, como as relacionadas no Gráfico 8. O problema de desgaste nesses componentes pode ser interpretado como crítico e pode vir a comprometer a imagem do produto e da empresa, já que falhas em baixas quilometragens são mais facilmente percebidas pelo cliente.

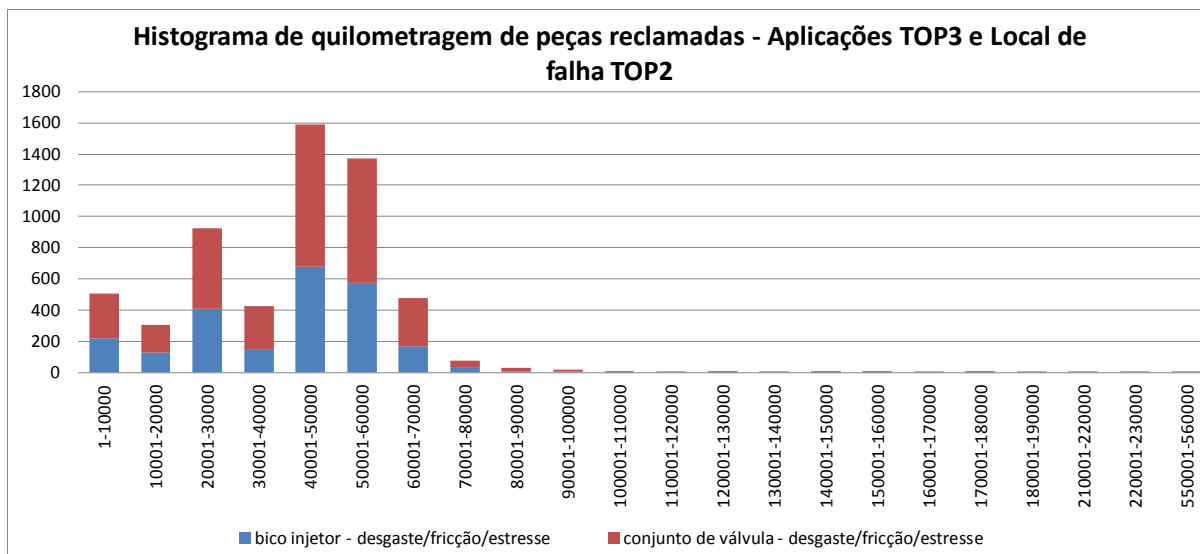


Gráfico 8 - P2, Atividade 4: Histograma de quilometragem de injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor

Fonte: autoria própria

Após a identificação das principais falhas causadas pelos clientes, são analisadas possíveis concentrações de falhas em clientes, plantas fabricantes, números de peça de produto e local geográfico de aplicação.

4.3.8 Bloco 8

Na primeira Atividade da perspectiva análise de concentração de clientes, representada pelo Gráfico 9 – P3, Atividade 1: Pareto dos três clientes e suas aplicações que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor, as aplicações ou modelos de veículos são apresentados na legenda. Com a análise desse gráfico, o cliente FGS foi identificado como o cliente que mais possui ocorrências de reclamações relativas ao desgaste dos componentes conjunto de válvula e bico injetor.

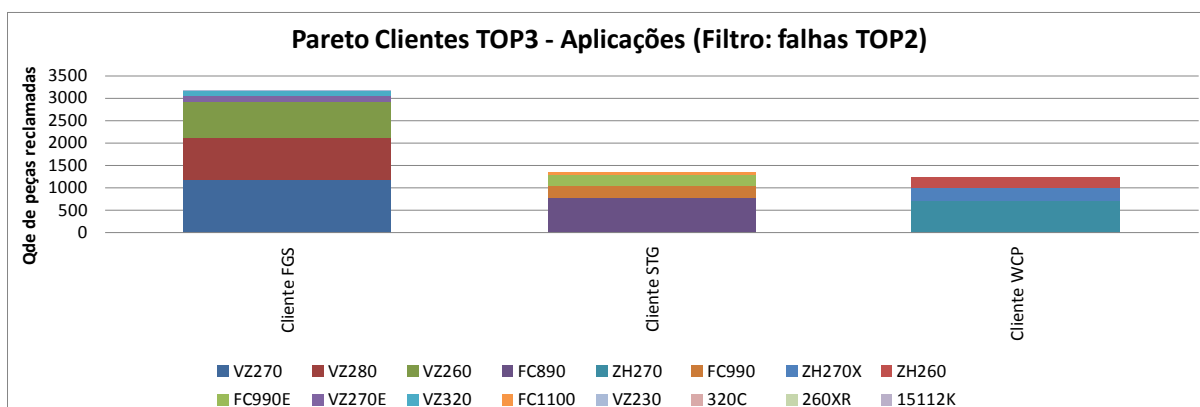


Gráfico 9 – P3, Atividade 1: Pareto dos três clientes e suas aplicações que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor

Fonte: autoria própria

Na Atividade seguinte da perspectiva de análise de concentrações de falhas em clientes, representada pelo Gráfico 10 – P3, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação no Cliente FGS, são investigadas possíveis concentrações de ocorrências de falhas por data de fabricação do produto injetor de combustível, apresentando as aplicações do Cliente FGS que mais ocorreram a falha de desgaste no conjunto de válvula e bico injetor. Como resultado da análise do Gráfico 10, não foi observada concentração relevante de ocorrências de falha, que pudessem indicar que o problema poderia ter sido causado na linha de montagem do cliente FGS num determinado período.

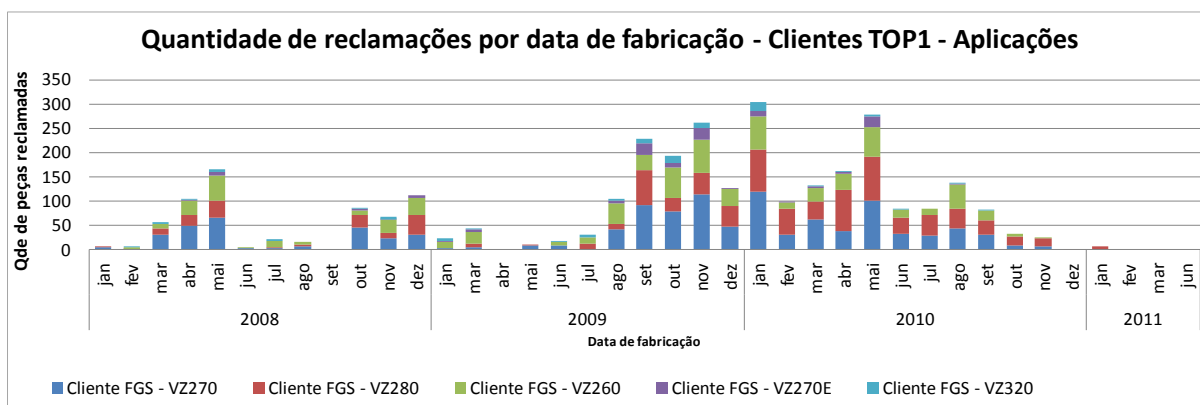


Gráfico 10 – P3, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação no Cliente FGS

Fonte: autoria própria

4.3.9 Bloco 9

A primeira Atividade da perspectiva de análise de concentração de falha em plantas fabricantes é representada pelo Gráfico 11 – P4, Atividade 1: Pareto das três plantas fabricantes que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor. Na análise desse gráfico, foi identificada a planta fabricante da China, como a planta que mais possui reclamações relativas ao desgaste dos componentes conjunto de válvula e bico injetor. Isso é explicado pelo fornecimento dos números de peça fabricados serem na sua maioria produzidos na planta China.

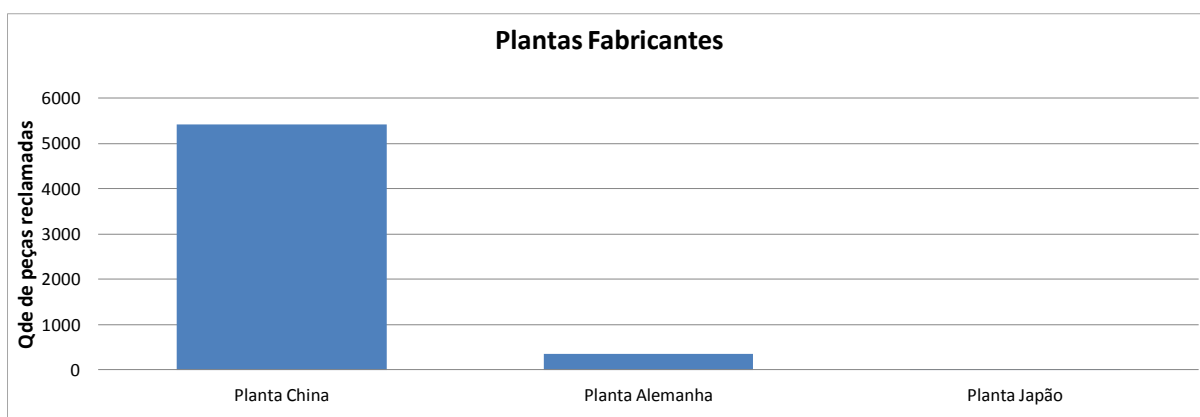


Gráfico 11 – P4, Atividade 1: Pareto das três plantas fabricantes que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor

Fonte: autoria própria

Na Atividade seguinte da perspectiva de análise de concentrações de falhas em plantas fabricantes, representada pelo Gráfico 12 – P4, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação na Planta China, possíveis concentrações de ocorrências de falhas por data de fabricação do produto injetor de combustível são investigadas com relação ao desgaste no conjunto de válvula e bico injetor. Como resultado da análise do Gráfico 12, não foi observada concentração de ocorrências de falha relevante, que indicasse um problema causado em somente uma planta ou período de fabricação nessa planta.

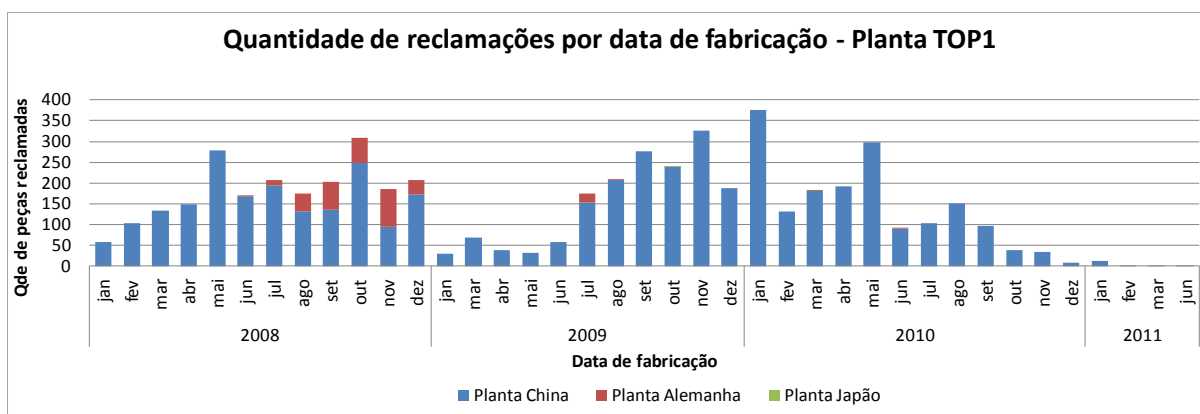


Gráfico 12 – P4, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor por data de fabricação na Planta China

Fonte: autoria própria

4.3.10 Bloco 10

Na primeira Atividade da perspectiva análise de concentração de falha em número de peça de produtos (P5), representada pelo Gráfico 13 – P5, Atividade 1: Pareto com os dez número de peça que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor. Com a análise desse gráfico, foram identificados os injetores 078 e 170, como os números de peça que mais possuem reclamações relativas ao desgaste dos componentes conjunto de válvula e bico injetor. O alto número de reclamações relacionadas à esses dois números de peça são explicadas pelo volume proporcional de fornecimento desses produtos. O maior volume fornecido desses números de peças, proporcionam uma maior quantidade desses produtos no mercado chinês e conseqüentemente uma maior quantidade desses números de peças reclamadas.

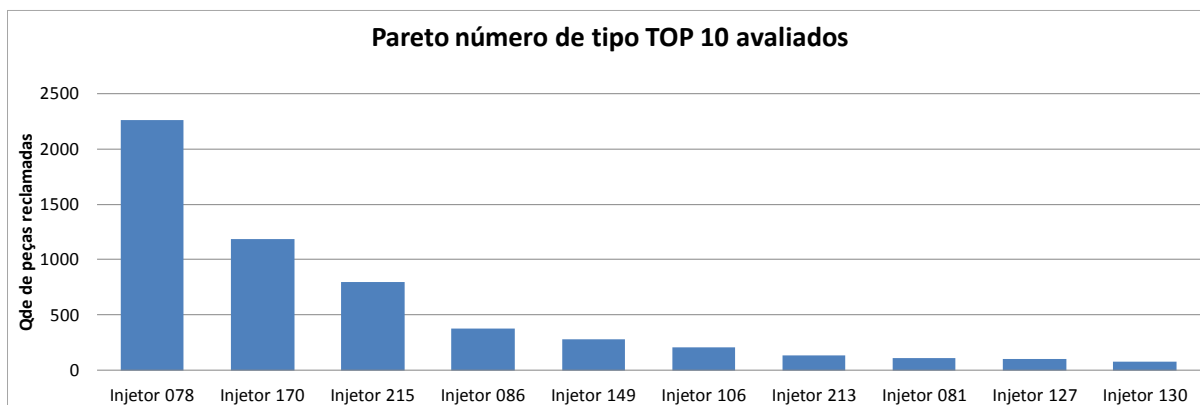


Gráfico 13 – P5, Atividade 1: Pareto com os dez número de peça que mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor

Fonte: autoria própria

Na Atividade seguinte da perspectiva de análise de concentrações de falhas em número de peça de produto, representada pelo Gráfico 14 – P5, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste por data de fabricação nos números de peça 170 e 078, são investigadas possíveis concentrações de ocorrências de falhas por data de fabricação do produto injetor de combustível, que mais apresentou a falha desgaste no conjunto de válvula e bico injetor. Como resultado da análise do Gráfico 14, não foi observada concentração relevante, concluindo-se que as altas concentrações de reclamações nesses dois números de peça são decorrentes do volume de vendas proporcional.

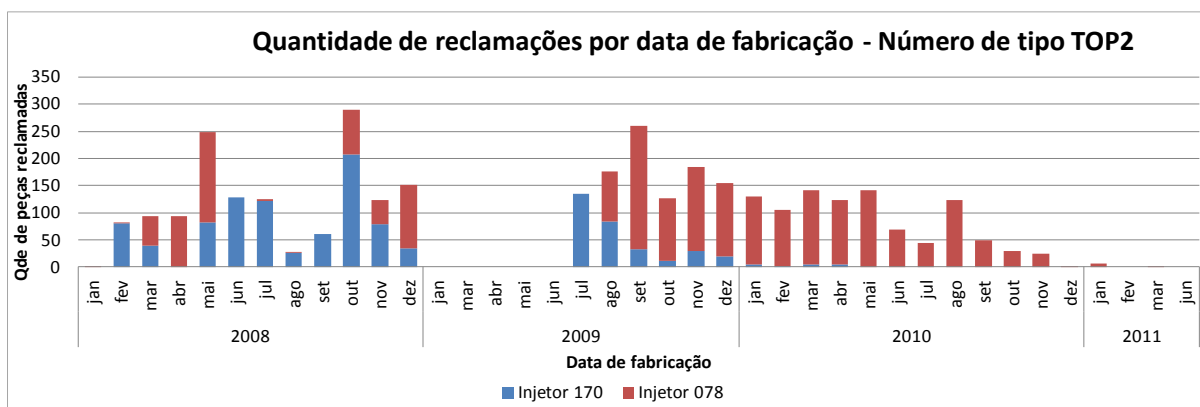


Gráfico 14 – P5, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste por data de fabricação nos números de peça 170 e 078

Fonte: autoria própria

4.3.11 Bloco 11

Na primeira Atividade da perspectiva análise de concentração de falha em local geográfico (P6), representada pelo Gráfico 15 – P6, Atividade 1: Pareto com os dois países onde mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor. Com a análise desse gráfico, o país China foi identificado como aquele que mais possui reclamações relativas ao desgaste dos componentes conjunto de válvula e bico injetor. Isso é explicado pelo fornecimento dos números de peça utilizados na China serem fabricados na sua maioria pela planta local nesse país.

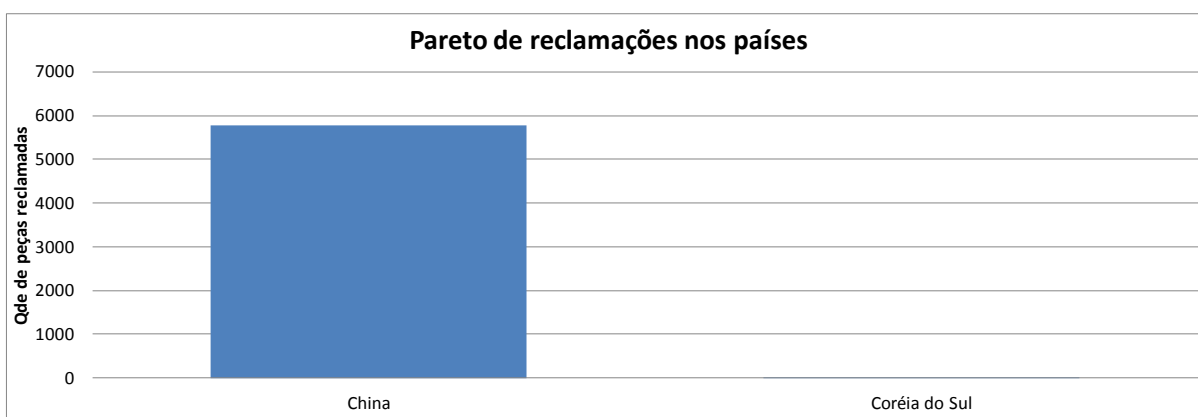


Gráfico 15 – P6, Atividade 1: Pareto com os dois países onde mais apresentaram ocorrências de falha relacionadas a injetores com desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor

Fonte: autoria própria

Na Atividade seguinte da perspectiva de análise de concentrações de falhas na China e Coréia do Sul, representada pelo Gráfico 16 – P6, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste por data de fabricação nos países China e Coréia do Sul, as possíveis concentrações de ocorrências de falhas por data de fabricação do produto injetor de combustível são investigadas, com relação às falhas desgaste no conjunto de válvula e bico injetor. Como resultado da análise do Gráfico 16, não foi observada concentração relevante, que indicasse que o problema estivesse sendo causado em uma dessas plantas. A maior quantidade de peças reclamadas da planta fabricante China é explicado pelo fornecimento dos números de peça utilizados na China serem fabricados na sua maioria pela planta local nesse país.

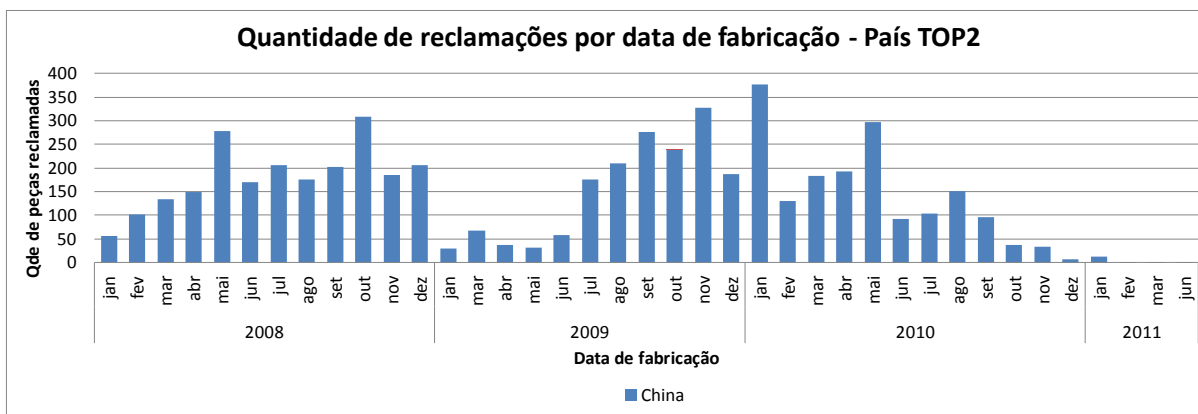


Gráfico 16 – P6, Atividade 2: Quantidades de ocorrências de falhas relativas a desgaste por data de fabricação nos países China e Coréia do Sul

Fonte: autoria própria

4.3.12 Bloco 12

Com a utilização do método, foi possível observar que mais de quatorze mil injetores da plataforma X foram reclamados na China no ano de 2011. Dentro dessas ocorrências, não existem falhas atuais recorrentes, reconhecidas em garantia, que precisem ser corrigidas. Dessa forma, podem ser planejados recursos para identificar oportunidades de melhoria do produto, deixando o produto mais robusto e prevenindo a ocorrência dessas falhas que foram causadas pela má utilização do produto, que são setenta e oito por cento da quantidade total de falhas.

Nas análises relacionadas às falhas causadas pelos clientes (P2), o produto se mostrou vulnerável a problemas de desgaste dos componentes bico injetor e conjunto de válvula. As demais perspectivas analisadas não indicaram concentrações de falhas, sob clientes (P3), plantas fabricantes (P4) e número de peça (P5) específicos, caracterizando que o produto possui fragilidade geral no mercado chinês ou necessidade de revisão dos requisitos de projeto.

Considerando que cada análise em garantia para injetores de combustível custa em média R\$ 400,00 (quatrocentos reais), somente os cinco mil setessentos e dezessete injetores de combustível que retornaram em garantia com problemas de desgaste no conjunto de válvula e bico injetor no ano de 2011 representariam um custo de mais de R\$ 2,2 milhões/ano (dois milhões e duzentos mil reais por ano). Assim, através da análise sob as diferentes

perspectivas, foi identificada a oportunidade de melhoria dos componentes bico injetor e conjunto de válvula com relação à sua resistência ao desgaste no mercado chinês.

4.3.13 Bloco 13

Nessa etapa, a avaliação da ocorrência do modo de falha desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor é realizada no FMEA do produto injetor de combustível.

4.3.14 Bloco 14

Conforme identificação da oportunidade de melhoria de produto verificada nesse exemplo hipotético, foi definida a necessidade de revisão de requisitos de projeto, já que o mercado chinês é de grande importância estratégica para a empresa parceira.

4.3.15 Bloco 15

Considerando a importância do mercado chinês no plano estratégico da empresa, um novo requisito de projeto foi definido, com a premissa de evitar falhas de desgaste nos componentes bico injetor e conjunto de válvula dentro do período de garantia que equivale a 200.000 km (duzentos mil quilômetros).

4.3.16 Bloco 16

Nesse exemplo hipotético, a empresa parceira possui uma solução de tratamento superficial na agulha do bico injetor inteiramente desenvolvida, que proporciona maior robustez com relação ao desgaste nesse componente e reduz a incidência desse tipo de falha em até 95% (noventa e cinco por cento) em produtos dentro do período de garantia. Essa solução já foi testada em outros mercados, porém, ainda não foi validada eficácia no mercado chinês. Portanto, os custos para implementação desse projeto de Mudança de Engenharia na

plataforma Y, que será utilizada no mercado chinês, serão basicamente relativos a teste e validação, já que a solução para o problema de desgaste de bico injetor já foi desenvolvida.

A segunda oportunidade de melhoria avaliada é referente à redução de ocorrência de falhas de desgaste no componente conjunto de válvulas. A partir da definição clara do novo requisito de projeto e Mudanças de Engenharia propostas, a viabilidade de implementação de Mudança de Engenharia para atender os novos requisitos de projeto mencionados é avaliada com a metodologia DRBFM. Através da avaliação verificou-se que o projeto para desenvolvimento da solução é viável e o investimento possui um *payback* menor que um ano. Além disso, a solução pode também ser utilizada em outros mercados e o produto pode ter um maior valor agregado.

4.3.17 Bloco 17

Entendendo-se que existe viabilidade para o projeto, as Mudanças de Engenharia são implementadas, de acordo com o estudo realizado através da metodologia DRBFM.

4.3.18 Bloco 18

Nessa etapa, a avaliação da ocorrência do modo de falha desgaste nos componentes conjunto de válvula e bico injetor é realizada novamente no FMEA do produto injetor de combustível, com o objetivo de atualizar as ocorrências de falhas após as implementações de melhorias propostas.

4.3.19 Bloco 19

Ao concluir as etapas definidas na Figura 10, o método é finalizado e são apresentados os resultados.

Na primeira perspectiva analisada, taxa de procedência de falhas (P1), foram identificadas somente duas falhas reconhecidas em garantia: i) grupo magnético com solda defeituosa; e ii) válvula com furo de pressão obstruído por partícula. Os dois tipos de falhas

foram pontuais, já foram corrigidos e não são esperadas novas ocorrências de falha de campo relacionadas a esses casos.

Na perspectiva P2, onde são analisadas as ocorrências de falhas causadas pelos clientes, foram observadas duas principais falhas através da análise Pareto: i) bico injetor com desgaste; e ii) conjunto de válvula com desgaste. Essas duas falhas não possuem concentrações específicas em determinada data de fabricação ou data de falha que indicasse um problema pontual. Na análise através do Histograma de quilometragem foi observado que as ocorrências de falhas estão concentradas em baixas quilometragens, sendo mais facilmente percebidas pelos clientes, e assim, tornam-se mais críticas em termos de priorização de solução do problema.

As demais perspectivas analisadas não indicaram concentrações de falhas, sob clientes (P3), plantas fabricantes (P4) e número de peça (P5) específicos, caracterizando que o produto possui fragilidade geral no mercado chinês ou necessidade de revisão dos requisitos de projeto.

O custo médio de análise por peça de R\$ 400,00 (quatrocentos reais), representa um custo de mais de R\$ 2,2 milhões/ano (dois milhões e duzentos mil reais por ano) relacionados às peças reclamadas. Assim, no exemplo de aplicação apresentado, foram identificadas as oportunidades de melhoria dos componentes bico injetor e conjunto de válvula com relação à sua resistência ao desgaste no mercado chinês.

A empresa parceira possui uma solução que proporciona maior robustez com relação ao desgaste no componente bico injetor. Portanto, os custos para implementação desse projeto de Mudança de Engenharia na plataforma Y, que será utilizada no mercado chinês, serão basicamente relativos a teste e validação. A segunda oportunidade de melhoria avaliada é referente à redução de ocorrência de falhas de desgaste no componente conjunto de válvulas. A partir da definição clara do novo requisito de projeto e Mudanças de Engenharia propostas, a viabilidade de implementação de Mudança de Engenharia para atender os novos requisitos de projeto mencionados é avaliada com a metodologia DRBFM. Através da avaliação verificou-se que o projeto para desenvolvimento da solução é viável e o investimento possui um *payback* menor que um ano. Além disso, a solução pode também ser utilizada em outros mercados e o produto pode ter um maior valor agregado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É vital para uma empresa inovar e aperfeiçoar seus produtos, mas deve-se considerar a grande utilização de recursos da engenharia e outros custos associados às Mudanças de Engenharia, especialmente às mal planejadas.

O método de identificação de oportunidades de melhoria de produtos proposto neste trabalho pode ser utilizado para aperfeiçoar o processo de Mudanças de Engenharia, propondo mudanças realmente percebidas e desejadas pelo cliente, auxiliando no planejamento de capacidade, priorização de temas críticos e redução de custos relativos ao uso de Mudanças de Engenharia na indústria automotiva.

Para atingir o objetivo deste trabalho, foram pesquisados os conceitos de Mudanças de Engenharia, gerenciamento de requisitos, gestão para inovação e banco de dados de garantia. O estudo de caso dentro de uma empresa do setor automotivo, no segmento de autopeças foi utilizado para definir os métodos FMEA e DRBFM, que devem ser integrados ao método de identificação de oportunidades de melhorias de produtos.

A análise de diferentes dos modelos de referência para o desenvolvimento de produtos, e a definição do modelo proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) como modelo vinculado ao método, foi uma importante etapa para o correto entendimento sobre contexto geral do trabalho dentro do processo de desenvolvimento de produto. Este entendimento foi fundamental para a definição da análise de temas correlacionados e complementação da revisão da literatura.

A pesquisa concluiu que existe a necessidade de levantamento de dados para avaliação de aspectos técnicos relacionados à confiabilidade e qualidade do produto em campo, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão dentro do processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia. A disponibilidade do banco de dados de garantia e o conhecimento de sua estrutura proporcionam a possibilidade de execução de uma grande variedade de análises e estratificações desses dados, que tornam-se importantes fontes de informação para tomada de decisões dentro de uma organização.

O resultado final foi o desenvolvimento do método proposto. O fluxograma de trabalho detalhado propõe o estabelecimento de uma sequência lógica para a identificação de oportunidades de melhoria em produtos através da avaliação e detecção de padrões de falhas sob seis diferentes perspectivas, fundamentadas na estratificação de dados provenientes da cobertura de garantia de produtos em campo, destacadas na Figura 10: i) procedência de reclamações; ii) principais problemas causados por clientes; iii) influências de processos e

aplicações nos clientes; iv) influências de fabricação do produto; v) influências de utilização de componentes em número de peça; e vi) local da falha e ambiente geográfico de aplicação.

Para demonstrar a aplicabilidade do método proposto neste trabalho durante o processo de desenvolvimento de produtos, foi apresentado um exemplo de aplicação dentro de um cenário pré-estabelecido. Através do exemplo, concluiu-se que o método proposto pode contribuir para identificação de oportunidades de melhoria de produtos, que são realmente percebidas pelo cliente, que foi objetivo proposto.

Sob o ponto de vista científico, o presente trabalho contribui para o aperfeiçoamento de métodos de decisão para Mudanças de Engenharia, proporcionando uma ferramenta de suporte à avaliação de aspectos técnicos e econômicos, e estimulando o estudo sob uma nova ótica de proposta para reprojeto de produtos, valorizando ainda a confiabilidade e a qualidade do produto percebidas pelo cliente.

Com a análise executada na revisão da literatura, há poucas evidências de que já se tenha sido criado método similar. Além disso, o método proposto apresentou grande potencial de aplicabilidade dentro da empresa parceira e setor de autopeças. Ainda, mostrou potencial de adaptação para outras indústrias.

O método de identificação de oportunidades de melhoria de produto através de dados provenientes da cobertura de garantia proposto através desse trabalho deve ser depurado, através da aplicação em outros casos reais de análise, a fim de se aperfeiçoar sua utilização e validar os resultados obtidos.

Como proposta para novos trabalhos, sugere-se o estudo de avaliação de viabilidade da oportunidade de melhoria identificada em proposta de geração ou manutenção de requisitos. Outra oportunidade observada durante o trabalho é a pesquisa de análises estatísticas de confiabilidade do produto e aperfeiçoamento de cálculo de custos de falhas dentro de projetos, através da utilização de dados provenientes da cobertura de garantia.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, MARK J.; WHITCOMB, PATRICK J.. **Design of experiments**. John Wiley & Sons Inc., 1974.
- CAMPOS, V. F. **TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 7. ed. Belo Horizonte: Fundação Christino Ottoni, Escola de Engenharia UFMG, 1996.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade**. 2. ed. Campus, 2012.
- CHRYSLER LLC, FORD MOTOR COMPANY, G. M. C. **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) - Reference Manual**. 4. ed. AIAG, 2008a.
- CHRYSLER LLC, FORD MOTOR COMPANY, G. M. C. **Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan: Reference Manual**. 2. ed. AIAG, 2008b.
- DAVID, M.; IDELMERFAA, Z.; RICHARD, J. **Managing and Organizing Concurrent Processes According to the CMM Levels**. *Concurrent Engineering*, v. 13, n. 3, p. 241–251, 2005.
- DAVILA, T.; EPSTEIN, M. J.; SHELTON, R. **As Regras Da Inovação**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 2008.
- ECKERT, C.; CLARKSON, P. J.; ZANKER, W. **Change and customisation in complex engineering domains**. *Research in Engineering Design*, v. 15, n. 1, p. 1–21, 2004.
- FANG, C.-C.; HSU, C.-C. **A study of making optimal marketing and warranty decisions for repairable products**. *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, p. 905–909, 2009.
- GRADY, J. O. **System requirements analysis**. 1. ed. San Diego, California, EUA: Elsevier Inc., 2010.
- HAUGHEY, B. **Design Review Based on Failure Modes (DRBFM) and Design Review Based on Test Results (DRBTR) Process Guidebook**. 1. ed. Warrendale, PA: SAE International, 2012.
- HUSSAIN, A. Z. M. O.; MURTHY, D. N. P. **Warranty and Optimal Reliability Improvement through Product Development**. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 38, n. 11-13, p. 1211–1217, 2003.
- KOCAR, V.; AKGUNDUZ, A. **ADVICE: A virtual environment for Engineering Change Management**. *Computers in Industry*, v. 61, n. 1, p. 15–28, 2010.
- KÖHLER, C. M. **Technische Produktänderungen – Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes**. Universität des Saarlandes, 2009.

LARAIA, ANTHONY C.; MOODY, PATRICIA E.; HALL, ROBERT W.. **The Kaizen Blitz: Accelerating breakthroughs in productivity and performance**. New York: John Wiley, 1999.

LAWLESS, J. F. **Statistical analysis of product warranty data**. International Statistical Review, v. 66, n. 1, p. 41 – 60, 1998.

LAWLESS, J. F.; KALBFLEISCH, J. D. **Some issues in the collection and analysis of field reliability data**. Survival analysis: state of the art, v. 212, n. 1, p. 141–151, 1991.

LIU, H.-C.; LIU, L.; LIU, N. **Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review**. Expert Systems with Applications, v. 40, n. 2, p. 828–838, 2013.

MAZUCO, V. **SAP AG**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/SAP_AG>. Acesso em: 11/12/2012.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H. **Engineering design: a systematic approach**. 3. ed. Londres: Springer-Verlag London Limited, 2007.

ROUIBAH, K.; CASKEY, K. R. **Change management in concurrent engineering from a parameter perspective**. Computers in Industry, v. 50, n. 1, p. 15–34, 2003.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

ROZENFELD, H.; HORTA, L. C. DA. **Gerenciamento de mudanças de engenharia: caracterização e estudos de caso**. 2o Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. João Pessoa, v. 2, n. 1, p. 183–184, 2002.

SALTER, A.; GANN, D. **Sources of ideas for innovation in engineering design**. Research Policy, v. 32, n. 8, p. 1309–1324, 2003.

SCHMITT, R.; KRIPPNER, D.; BETZOLD, M. **Geringere Fehlerkosten – höhere Zuverlässigkeit**. Qualität und Zuverlässigkeit, v. 51, p. 66–68, 2006.

SCHORN, M.; KAPUST, A. **Im Fluss: Wie Toyota von DRBFM Profitiert**. Qualität und Zuverlässigkeit, v. 50, n. 4, p. 56–58, 2005.

SILVA, A. P.; MICHAELIS, H. **Michaelis: Moderno Dicionário Da Língua Portuguesa**. 1. ed. São Paulo: Melhoramentos Ltda., 2004.

SILVA, E. DA; MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis, 2000.

SHAININ, RICHARD D. **Strategies for technical problem solving**. Quality Engineering, v.5, n. 3, p. 433-448, 1993.

SU, C.; SHEN, J. **Analysis of extended warranty policies with different repair options.** *Engineering Failure Analysis*, v. 25, p. 49–62, 2012.

TAVČAR, J.; DUHOVNIK, J. **Engineering change management in individual and mass production.** *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 21, n. 3, p. 205–215, 2005.

TERWIESCH, C.; LOCH, C. H. **Managing the Process of Engineering Change Orders: The Case of the Climate Control System in Automobile Development.** *Journal of Product Innovation Management*, v. 16, n. 2, p. 160–172, 1999.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Gestão da inovação.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 2008.

WASMER, A.; STAUB, G.; VROOM, R. W. **An industry approach to shared, cross-organisational engineering change handling - The road towards standards for product data processing.** *Computer-Aided Design*, v. 43, n. 5, p. 533–545, 2011.

WRIGHT, I. C. **A review of research into engineering change management: implications for product design.** *Design Studies*, v. 18, n. 1, p. 33–42, 1997.

WU, H.; MEEKER, W. Q. **Early Detection of Reliability Problems Using Information From Warranty Databases.** *Technometrics*, v. 44, n. 1, p. 120–133, 2002