RICARDO HENRIQUE DA SILVA

Integração de ferramentas do *Design Thinking* e da metodologia TRIZ na fase conceitual de um processo de desenvolvimento de um novo produto na indústria automotiva.

São Paulo
(2018)

RICARDO HENRIQUE DA SILVA

Integração de ferramentas do *Design Thinking* e da metodologia TRIZ na fase conceitual de um processo de desenvolvimento de um novo produto na indústria automotiva.

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

São Paulo
(2018)

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Silva, Ricardo Henrique da

Integração de ferramentas do Design Thinking e da metodologia TRIZ na fase conceitual de um processo de desenvolvimento de um novo produto na indústria automotiva / R. H. Silva -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
121 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Centro de Engenharia Automotiva.

1. Engenharia Mecânica 2. Engenharia Automotiva 3. Projeto Automotivo
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Centro de Engenharia Automotiva II. t.

RICARDO HENRIQUE DA SILVA

Integração de ferramentas do *Design Thinking* e da metodologia TRIZ na fase conceitual de um processo de desenvolvimento de um novo produto na indústria automotiva.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Engenharia Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski

São Paulo
(2018)

Dedico este trabalho à minha querida família,
Ariane, Rafaela e Mirella.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus pela vida, saúde e força para seguir em frente.

A minha família pela paciência e por me motivarem sempre a continuar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski pela gentileza de me aceitar como seu aluno orientado e pela sua contribuição que foi fundamental para a qualidade deste trabalho.

Ao time que compõe o Centro de Engenharia Automotiva (CEA) por me ajudarem e orientarem sobre todos os procedimentos necessários que deveriam ser cumpridos ao longo de todo o mestrado.

À Escola Politécnica da USP em São Paulo por promover o desenvolvimento de nosso estado e de nossa nação com pesquisa de ponta em muitos de seus segmentos.

“ Todo aquele que sonha, projeta.
Aquele que projeta, constrói.
Quem constrói, desfruta. ”
(Antônia Viana)

RESUMO

O que se desejou investigar é se a metodologia do *Design Thinking* (DT) e da Teoria de Resolução de Problemas Inventivos (TRIZ) podem ser utilizadas em conjunto de maneira sinérgica na fase conceitual de um processo de desenvolvimento de produto (PDP) automotivo do tipo APQP (*Advanced Product Quality Planning*) com a finalidade de alavancar a criatividade na geração de ideias e, ao mesmo tempo, selecionar o melhor conceito para levar às demais fases do PDP. A presente pesquisa busca entender dentro da literatura os pontos fortes e limitações de cada uma das metodologias e, ao mesmo tempo, propõe uma forma de combiná-las à metodologia APQP. O processo proposto é então testado dentro de um projeto de redução de massa de guarnição de carroceria na região da porta de um veículo automotivo de passeio. Como ficará demonstrado, o PDP automotivo do tipo APQP, utilizando a melhoria proposta, se mostra mais eficaz ao alavancar a criatividade ao mesmo tempo que consolida uma fase de conceito dentro do APQP automotivo tradicional. Através desta pesquisa, concluiu-se que ambas as metodologias são sinérgicas e que, portanto, podem trazer melhorias para o atual processo APQP, alavancando a qualidade e assertividade da geração de ideias, bem como apoiando a seleção do melhor conceito a ser levado para as próximas fases.

Palavras-Chave: *Design Thinking*. TRIZ. Processo de desenvolvimento de novos produtos. APQP. Redução de massa. Guarnição de carroceria de porta. Veículos automotivos.

ABSTRACT

This research aimed to verify whether the methodology of Design Thinking (DT) and the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) could be used together synergistically in the conceptual phase of a new product development project (NPD) in the automotive industry through the also known APQP (Advanced Product Quality Planning) process. The main purpose was to leverage the creativity by generating ideas that are more qualified and, at the same time, select the best product concepts to be taken to the next phases of the NPD. This research seeks to understand within the literature the strengths and limitations of each of the methodologies and, at the same time, a proposal is made on how to integrate them into the APQP methodology. The proposed process is then tested in a project of mass reduction of the door body seal of an automotive vehicle. As shall be demonstrated, the automotive NPD, by using the improvement proposal, will become more effective by leveraging the creativity while consolidates a conceptual stage within the APQP. Through this research, it is concluded that both methodologies are synergistic and, therefore, can bring improvements for the current APQP process by leveraging the quality and assertiveness of the generation of ideas, as well as supporting to select the best concept to be taken to the next phases.

Keywords: Design Thinking. TRIZ. New product development process. APQP. Mass reduction. Door body seal. Automotive vehicles.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1: Gastos com P&D (doméstico & importado) por região e em percentagem do gasto com P&D	19
Figura 1-2: Depósitos de patentes internacionais por país de residência do inventor de tecnologias para “redução de emissões e eficiência energética em transportes”	20
Figura 2-1: Possíveis formatos de um PDP	26
Figura 2-2: Fases Metodologia DFSS	27
Figura 2-3: Macrofases e fases do modelo de referência de um PDP	29
Figura 2-4: Funil de desenvolvimento de um PDP	30
Figura 2-5: Modelo PRODIP	31
Figura 2-6: Fase conceitual do modelo de referência.....	32
Figura 2-7: Fases do APQP	36
Figura 2-8: Esquema estrutural do APQP	38
Figura 2-9: Possível localização de uma etapa de ‘Conceito’ dentro do APQP	39
Figura 3-1: DT como uma ferramenta de inovação	41
Figura 3-2: Etapas do Design Thinking conforme a Design Council	42
Figura 3-3: Etapas do Design Thinking na HPI D-School	43
Figura 3-4: Perfil T	45
Figura 3-5: Ambiente DT	45
Figura 3-6: Ambiente FAB LAB - MIT	46
Figura 3-7: Caminho percorrido pelo DT dentro de uma organização	49
Figura 3-8: Fluxo geral da TRIZ mostrando algumas de suas ferramentas	54

Figura 3-9: Fluxograma para uso do MPI	61
Figura 3-10: Processo sistemático de resolução de problemas da TRIZ	62
Figura 3-11: Comparativo DT e TRIZ	65
Figura 3-12: Processo DT com o suporte da TRIZ	65
Figura 3-13: Novo fluxograma proposto do APQP	67
Figura 3-14: Fluxograma proposto para o APQP com o suporte da DT e TRIZ	67
Figura 3-15: Introdução do DT e da TRIZ como suporte ao APQP	68
Figura 3-16: Processo proposto para o PDP automotivo	69
Figura 4-1: Guarnições de carroceria e de porta	74
Figura 4-2: Seção transversal de uma guarnição de carroceria	75
Figura 4-3: Dimensões da guarnição atual utilizado pela montadora de veículos	81
Figura 4-4: Diagrama função-componente	87
Figura 4-5: Diagrama funcional do sistema técnico em estudo	87
Figura 4-6: Construção com fita dupla-face para aplicação automotiva	95
Figura 4-7: Guarnição com fita acrílica dupla-face aplicada	96
Figura 4-8: Esboço secção transversal guarnição atual versus guarnição com fita ..	98
Figura 4-9: Teste em laboratório para avaliar conceito de guarnição com fita adesiva	98
Figura 4-10: Propostas de guarnição com fita adesiva	99
Figura 4-11: Equipamento para laminar fita dupla-face em perfil de extrusão contínua	101
Figura 4-12: Estação utilizando braço robotizado para aplicar guarnição de carroceria	103

Figura 4-13: Aplicação automatizada de uma guarnição de carroceria	103
Figura 4-14: Cabeça aplicadora de guarnição primária	104
Figura 4-15: Dispositivos manuais para exercer pressão sobre a guarnição	105
Figura 4-16: Carro com as guarnições adaptadas para o uso de fita dupla-face	107
Figura 4-17: Teste com água pressurizada	107
Figura 4-18: Testes com poeira em estrada de terra	108
Figura 4-19: Teste de atenuação acústica	108
Figura 4-20: Medições de ruído a 80 km/h (250-630 Hz)	109
Figura 4-21: Medições de ruído a 100 km/h (250-630 Hz)	110
Figura 4-22: Medições de ruído a 120 km/h (250-630 Hz)	110
Figura 4-23: Áreas da guarnição para testes de força de arrancamento	111
Figura 4-24: Teste de força de arrancamento	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Comparativo entre o referencial teórico e os modelos de PDP automotivos	31
Tabela 3-1: Classificação das ferramentas da TRIZ de acordo com o campo de aplicação.....	57
Tabela 3-2: Princípios inventivos desenvolvidos por Altshuller.....	58
Tabela 3-3: Parâmetros de engenharia de Altshuller.....	59
Tabela 3-4: Fragmento da matriz de contradição	60
Tabela 3-5: Características complementares da DT e da TRIZ.....	64
Tabela 4-1: Descrição das empresas participantes do projeto	72
Tabela 4-2: Evolução das patentes de guarnição de carroceria	76
Tabela 4-3: Etapa 1: utilização do DT	79
Tabela 4-4: Informações de peso e custo da guarnição de carroceria atual.....	81
Tabela 4-5: Etapa 2: utilização da TRIZ	84
Tabela 4-6: Aplicação das ferramentas da TRIZ na fase de análise do problema	85
Tabela 4-7: Aplicação do método de ‘Trimming’ conforme proposto por Sheu e Hou [76].....	88
Tabela 4-8: Avaliação das linhas de ação propostas no Brainstorming	94
Tabela 4-9: Avaliação das possíveis formas de eliminação do EF	95
Tabela 4-13: Etapa 3: utilização do DT	97
Tabela 4-11: Comparativo de massa da solução atual versus a solução proposta.	100

Tabela 4-12: Comparativo de custo de manufatura solução atual versus a solução proposta.....	102
Tabela 4-13: Comparativo custos aplicação manual versus automatizada.....	105
Tabela 4-14: Tabela comparativa final entre os conceitos propostos de solução ...	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	<i>Three Dimensional</i>
AIAG	<i>American Water Works Association</i>
ANFAVEA	<i>American Water Works Association Research Foundation</i>
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>
ARIZ	<i>Algorithm for Inventive Problem Solving</i>
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CRD	<i>Conflict Resolution Diagram</i>
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>
DFSS	<i>Design for Six Sigma</i>
DT	<i>Design Thinking</i>
EF	Elemento de Fixação
EPDM	<i>Ethylene Propylene Diene Monomers</i>
FAB LAB	<i>Fabrication Laboratory</i>
FAST	<i>Function Analysis System Technique</i>
MC	Matriz de Contradições
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MPI	Método dos Princípios Inventivos
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PE	Parâmetros de Engenharia
PI	Princípios Inventivos
POV	<i>Point of View</i>
PPAP	<i>Product Part Approval Process</i>
PRODIP	Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais
RFI	Resultado Final Ideal
SINDIPEÇAS	Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

ST	Sistema Técnico
TRIZ	<i>Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch</i>
U.R.S.S.	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos.....	22
2	DELIMITAÇÃO DA FASE CONCEITUAL DO APQP.....	24
2.1	Introdução ao Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).....	24
2.2	Delimitação da fase conceitual de um PDP.....	32
2.3	Importância da fase conceitual de um PDP.....	33
2.4	Indicadores de desempenho de um PDP	34
2.5	Modelo APQP e sua fase conceitual	36
3	MODELO INTEGRANDO O DT E A TRIZ.....	40
3.1	Design Thinking – DT.....	40
3.1.1	Definição do DT	40
3.1.2	Origem do DT	40
3.1.3	Metodologia do DT	41
3.1.4	Atributos essenciais ao DT	44
3.1.5	Dificuldades encontradas na aplicação do DT	48
3.2	TRIZ.....	50
3.2.1	Definição da TRIZ.....	50
3.2.2	Origem da TRIZ.....	51
3.2.3	Metodologia TRIZ	53
3.2.4	Dificuldades encontradas na aplicação da TRIZ	63
3.3	Sinergia entre o DT e a TRIZ	63
3.4	Utilizado o DT e a TRIZ como suporte ao APQP	66
3.5	Modelo proposto de um PDP automotivo	68
4	ESTUDO DE CASO	72
4.1	Guarnições de porta aplicadas na carroceria	73
4.2	Etapa 1: aplicação do DT	79
4.2.1	Fase 1: entender	79
4.2.2	Fase 2: observar.....	80
4.2.3	Resultados	81
4.3	Etapa 2: aplicação da TRIZ.....	83
4.3.1	Fase 1: analisar	84

4.3.2	Fase 2: aplicar	90
4.3.3	Fase 3: avaliar	94
4.4	Etapa 3: aplicação do DT	97
4.4.1	Fase 1: prototipar	97
4.4.2	Fase 2: testar.....	100
5	CONCLUSÃO	114
	REFERÊNCIAS	116

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Lançar produtos que sejam considerados inovadores e disruptivos pelo mercado, antes de todos os concorrentes e, ao mesmo tempo, reduzir o nível de incertezas, aumentando o ganho financeiro frente ao capital investido, é, ou pelo menos deveria ser, o objetivo principal de todas as empresas que investem em processos de inovação, independentemente de sua nacionalidade, do mercado em que atuam, do portfólio de produtos que possuam ou de seu respectivo tamanho.

A indústria automotiva não foge a essa regra. Cada vez mais, a dinâmica de mercado se mostra competitiva e desafiadora com um número maior de concorrentes e uma gama maior de produtos disponíveis ao mercado. Há ainda um novo perfil de consumidor cada vez mais exigente e que demanda inovação a cada nova compra. Há que se inferir também sob as novas regulamentações socioambientais a serem atendidas que mudam constantemente e cada vez mais tornam-se gargalos para o lançamento de novos produtos. Por último, como elemento potencializador, vale citar ainda as inúmeras funcionalidades que as tecnologias digitais e da internet das coisas podem trazer a este cenário aumentando o leque de possibilidades de desenvolvimento e de diferenciação das marcas na conquista de novos consumidores.

No mercado automotivo brasileiro, as duas últimas décadas foram marcadas em parte pela entrada de diversos novos fabricantes de veículos e em parte por novos investimentos em expansão das montadoras de veículos aqui instaladas e de sua cadeia de suprimento. Ao mesmo tempo que a quantidade de concorrentes cresceu, as opções e estratificações de produtos e de opcionais aumentaram de maneira significativa em todos os segmentos de veículos. Este movimento tornou a disputa por *Market Share*¹ cada vez mais acirrada entre as empresas, uma vez que a demanda do mercado não cresceu na mesma proporção que os novos investimentos em capacidade produtiva aqui feitos durante esse mesmo período.

A mesma análise pode ser feita sobre o novo perfil dos usuários finais e consumidores que se tornaram mais exigentes e com uma escala de valores diferente das suas

¹ *Fatia ou quota de mercado que uma empresa tem no seu segmento ou no segmento de um determinado produto.*

gerações anteriores. Estes demandam soluções inovadoras e adaptadas às suas necessidades e estilo de vida. Buscam cada vez mais conteúdo que aumente seu conforto, segurança e sejam viáveis financeiramente ao longo da vida útil de seus veículos.

Há também o desafio das novas legislações que visam melhorar a segurança veicular além de limitar as emissões de gases de efeito estufa. Novos marcos regulatórios têm pressionado montadoras de veículos e toda a sua cadeia de fornecedores em todo o mundo a desenvolverem produtos mais leves e com motores mais eficientes ou até mesmo baseados em novas matrizes energéticas como é o caso dos veículos elétricos. No Brasil o Inovar-auto (Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores), pode ser citado como exemplo já que uma de suas prerrogativas é a de aumento da eficiência dos veículos aqui produzidos. Europa, EUA e Japão também impuseram restrições para que os carros ali vendidos sejam cada vez menos poluentes e mais seguros. Não é por acaso que os maiores investimentos em desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos sejam feitos pelas empresas cujo o mercado alvo sejam esses países.

Não obstante tudo isso há que se inferir ainda sobre a abundância de oportunidades de desenvolvimento de novas funcionalidades que podem ser geradas dentro do universo das tecnologias digitais integradas à internet das coisas. Portabilidade, compartilhamento de informações, monitoramento e automação são apenas algumas das opções de novas funcionalidades tanto na concepção de novos produtos, em sua produção bem como na forma de se fazer negócios. Exemplos de empresas recém-criadas como o Uber que faz a gestão de transporte de pessoas sem possuir um carro em sua frota e também de empresas do ramo de tecnologia e informação como Google, Apple e Tesla que entraram na indústria automotiva em busca do desenvolvimento de carros autônomos, mostram claramente que a indústria automotiva está diante de um novo ciclo de inovação e que pode reconfigurar totalmente este mercado na próxima década.

É diante deste cenário que as empresas devem buscar, cada vez mais, incluir dentro do seu portfólio de PDPs, projetos que sejam considerados disruptivos e estejam alinhados às demandas dos usuários e aos requisitos socioambientais, ao mesmo tempo que investem na qualificação de suas pessoas e de suas unidades de pesquisa

e desenvolvimento (P&D), fatos estes que não vem ocorrendo dentro do setor automotivo brasileiro.

Dados de empresas de consultoria que atuam no estudo do mercado automotivo global, tais como a PwC [1], apontam que as montadoras de veículos ainda concentram boa parte do investimento em P&D em suas matrizes e que, embora haja uma globalização deste investimento desde 2007, o mesmo tem sido aplicado em grande escala em países da Ásia como fica demonstrado na Figura 1-1.

Figura 1-1: Gastos com P&D (doméstico & importado) por região e em percentagem do gasto com P&D

Fonte: Adaptado de JARUZELSKI, HIRSH (2015)

Este fato claramente mostra que outros países (inclusive a América Latina) tem mantido, senão aumentado, sua vocação para a gestão de projetos de adaptação ou de melhorias incrementais sem papéis de liderança em novos projetos de maior complexidade. Isto significa uma atuação das empresas desses países nas fases mais posteriores de um PDP onde, em boa medida, se dá o esforço de execução e não de análise e criação.

Uma análise setorial da indústria automotiva feita pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) [2], claramente identifica e posiciona o Brasil aquém da vanguarda do desenvolvimento de tecnologia, dentro do contexto global da indústria automotiva, ao analisar o número de patentes depositadas sobre o tema “*redução de emissões e eficiência energética em transportes*” que é um dos temas que tem estado na pauta dos times de P&D desde 1999. Pelos dados levantados pelo BNDES, fica evidente que o Brasil pouco tem contribuído para o desenvolvimento de tecnologias voltados para esta problemática frente a outros países tais como China e todos aqueles que sediam algum tipo de montadora.

Figura 1-2: Depósitos de patentes internacionais por país de residência do inventor de tecnologias para “redução de emissões e eficiência energética em transportes”

Fonte: BNDES (2014)

Isto se deve, em grande medida, à maneira como o setor automotivo brasileiro ainda trabalha novos desenvolvimentos de produto se baseando no uso de ferramentas de melhoria de qualidade tais como o Planejamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP²), restringindo, desta forma, novas ideias e oportunidades mais inovadoras de serem avaliadas devidamente. Isso faz com que profissionais e empresas desta indústria, mais notadamente as empresas de menor porte e que fazem parte da cadeia de fornecimento das grandes montadoras de veículos, fiquem num círculo vicioso de gestão de melhorias incrementais.

² Série de procedimentos e técnicas usadas para gerir a qualidade produtiva.

De acordo com Toledo [3], após avaliar 23 empresas de autopeças do segmento automotivo concluiu que todas, de alguma forma, já tinham adotado algum modelo de referência para a gestão de seus respectivos PDPs. A pesquisa, no entanto, também identificou que boa parte daquele esforço estava associado à difusão da QS 9000³ na década de 1990 e da TS 16949:2009⁴ que exigem a adoção de um modelo estruturado para o desenvolvimento de novos produtos. Este movimento fez com que muitas autopeças corressem em optar pela adoção do modelo APQP por já ser um modelo pronto e consolidado pelas montadoras de veículos à época.

Num estudo similar, Rocha [4] concluiu que, embora a utilização do APQP já estivesse trazendo uma melhora à gestão do PDP dentro da indústria automotiva naquele momento, o mesmo não abrangia todos os aspectos que envolvem a gestão de um PDP e, na prática, funcionava mais como uma ferramenta de gerenciamento de prazos bem como de alinhamento de informações entre montadoras e fornecedores numa fase mais de implementação do PDP. Desde então pouca coisa mudou neste cenário.

É por conta deste contexto que, pesquisas como esta, podem trazer sugestões às OEM⁵s e sua cadeia de fornecedores, no momento em que as mesmas forem abordar seus projetos ou até mesmo seus respectivos processos de inovação.

Segundo Clark, Chew e Fujimoto [5], a etapa de criação conceitual dentro de um PDP, é de extrema importância e cobre desde aspectos como conseguir informações de possíveis usuários finais para serem atendidas durante o desenvolvimento do projeto bem como antecipar necessidades mais gerais ou tendências do mercado. São nas fases mais iniciais de PDP onde ocorrem as avaliações consideradas mais estratégicas de um novo projeto e onde, não raro, o time possui pouca ou nenhuma informação sobre o produto que se deseja, sobre o seu processo de fabricação e também sobre o mercado a ser atingido. É nesta etapa onde diversas iterações divergentes e convergentes acabam ocorrendo de maneira cíclica com o envolvimento de times multifuncionais e onde muitas ferramentas de criatividade acabam sendo

³ *Requisitos fundamentais de qualidade dos fornecedores, internos ou externos, de peças, serviços e materiais para a Chrysler, Ford e General Motors.*

⁴ *Sistemas de gestão da qualidade para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes.*

⁵ *Sigla para Original Equipment Manufacturer - se refere às Montadoras de Veículos.*

utilizadas para a geração de ideias (processo divergente) e, posteriormente, para a escolha ou priorização das ideias que foram levantadas pelo time do projeto (etapa convergente). É ainda na etapa inicial onde o conceito do produto é definido e os primeiros protótipos e especificações, mesmo que embrionárias, começa a surgir, sendo este momento um marco importante para o sucesso na condução de todas as demais fases de um PDP.

Segundo Rozenfeld et al. [6], entre 80% a 90% do custo do produto final é oriundo de decisões tomadas nas fases iniciais de um projeto marcadamente a fase conceitual. A prática ainda mostra que o custo de modificar uma decisão tomada em algum momento de um projeto tende a aumentar exponencialmente ao longo do mesmo trazendo prejuízos e não raro causando atrasos na sua entrega.

Por todas estas razões aqui apresentadas é que esta pesquisa se constitui de grande importância para ajudar a alavancar o processo de inovação de empresas do setor automotivo localizadas em países que, como o Brasil, estão habituados apenas a projetos de melhorias incrementais. Isto pode ser atingido através de métodos e ferramentas auxiliares sem que haja redução do rigor e da sistematização técnicas tão necessários a esta indústria. Sem a devida atualização e manutenção dos processos existentes, as empresas passarão a falhar na entrega de produtos e soluções que estejam alinhadas às necessidades de seus usuários finais e, como consequência disto, perderão sua competitividade.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é alavancar a qualidade e o potencial de sucesso dos conceitos que são gerados e levados às fases de implementação dentro de um processo APQP tradicional, reduzindo desta forma desperdício e aumentando a eficácia e eficiência do PDP através da utilização do DT e da TRIZ.

Abaixo seguem os objetivos secundários ou etapas que serão cumpridas tendo em vista o objetivo principal desta pesquisa:

- Mapear a fase conceitual de um PDP automotivo baseado no APQP;
- Compreender como novas metodologias de inovação, tais como o DT e a TRIZ, poderiam colaborar com a fase conceitual de um PDP automotivo tendo em vista as barreiras e dificuldades levantadas;

- Propor um modelo de referência que integre o DT e a TRIZ de maneira sinérgica dentro da fase do PDP considerada foco desta pesquisa;
- Checar a viabilidade do modelo proposto através do estudo de caso de um PDP cujo principal objetivo é reduzir a massa das guarnições de carroceria que são utilizadas para a vedação de portas de veículos automotivos.

2 DELIMITAÇÃO DA FASE CONCEITUAL DO APQP

2.1 Introdução ao Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP)

Inovar, embora diferente de operações, vendas e marketing, ainda assim é uma função que pode ser gerenciada: há princípios que são conhecidos, recursos que podem ser obtidos e as ações que podem ser implementadas para melhorar o processo ao longo do tempo.

Para Morgan [7] o ambiente de um projeto de desenvolvimento de produto pode ser tratado como único, contudo os trabalhos executados nos mais diversos projetos são bastante similares entre si e podem ser sistematizados.

É desta mesma constatação que surgem os modelos de referência para o processo de desenvolvimento de novos produtos dentro do ambiente empresarial e que é chamado nesta pesquisa de PDP.

Segundo Rozenfeld et al. [6]“[...]um modelo de referência é um guia das atividades, recursos e informações, fases, responsabilidades e outras possíveis dimensões do processo de desenvolvimento de um novo produto[...]”. Ainda segundo o mesmo autor, nada impede que um modelo de referência seja adaptado ou melhorado para atender adequadamente as expectativas e peculiaridades de uma determinada empresa.

De acordo com Eveleens [8], a literatura apresenta diferentes modelos de PDP, na sua grande maioria baseados em etapas ou blocos de trabalho que fluem de maneira aproximadamente linear passando por um funil onde a montante há um ambiente turbulento contendo muitas informações, problemas, ideias e incertezas e a jusante há num ambiente caracterizado pela apresentação de uma solução (novo produto, serviço, processo ou uma combinação destes). Ainda, segundo o mesmo autor, todos estes processos podem ser implementados nas suas mais diferentes variações buscando atender fatores tais como:

- Tipo de inovação: produto, processo ou serviço ou uma combinação deles;
- Grau de novidade: incremental ou radical;
- Tipo de organização que usará o modelo: público ou privado;
- Tamanho da organização: grande ou pequena;
- Ambiente empresarial: turbulento ou estável.

O mesmo autor ainda pontua que, de maneira geral, todos os modelos, após definido o escopo do projeto, partem para uma fase de geração de ideias com ênfase mais quantitativa que qualitativa. Esta etapa é seguida então por uma fase que procura reduzir a quantidade de ideias através de um processo de seleção ou priorização com vistas ao potencial de sucesso e retorno financeiro que cada ideia poderá trazer na conclusão do projeto. A fase seguinte procura, de alguma maneira, tornar a ideia ou ideias selecionadas em produtos ou processos tangíveis e que serão posteriormente implementados e lançados no mercado alvo. Tem-se então uma solução ou conjunto de soluções para o problema inicial.

Estes diferentes sub-processos são descritos de diversas maneiras e por diversos autores.

Cooper [9] procura descrever um modelo de desenvolvimento de produto que possui estágios bem definidos e que são separados por eventos onde ocorre uma avaliação junto com todo o time do projeto da etapa anterior e a preparação para a próxima etapa. Esta forma de estruturar um PDP deu origem ao modelo conhecido como *Stage-Gate*^{®6}.

São nestes eventos entre as etapas que decisões, tais como parar um projeto, retroagir ou seguir em frente, são tomadas com o envolvimento de toda a liderança do projeto e, em alguns casos, até com a liderança executiva da empresa.

Para Nonaka e Takeuchi [10], o gerenciamento de projetos de novos produtos precisava adotar uma abordagem mais holística saindo assim dos tradicionais métodos lineares e sequenciais propostos anteriormente e dando origem ao que se conhece como Engenharia Simultânea.

Para os autores, a nova ênfase está na velocidade e flexibilidade do processo de desenvolvimento de novos produtos que só pode ser atingido em processos que sejam caracterizados pelo entendimento de que todas as partes do projeto estão de alguma forma intimamente conectadas e não limitadas por pequenos blocos de atividades que vão e voltam.

⁶ Marca registrada por Robert G. Cooper e pelo Instituto de Desenvolvimento de Produto <<http://www.stage-gate.com>>

Segundo os mesmos autores, esta abordagem de processo possui características tais como sobreposição de fases e atividades, alto grau de cooperação e transferência de conhecimento, fluxo não linear de informações além de demandar um alto nível de foco no resultado final pela liderança do projeto.

Figura 2-1: Possíveis formatos de um PDP

Fonte: traduzido de NONAKA e TAKEUCHI (1986)

Para Clark, Chew e Fujimoto [5], o processo de desenvolvimento de um novo produto é, em sua essência, a simulação do processo produtivo deste produto e também da experiência do uso do mesmo pelo seu usuário final. Os autores focam seu estudo no mercado automotivo da década de 80 e procuram estabelecer métricas de performance de projetos baseados em horas de engenharia gastas para se desenvolver uma nova plataforma de veículo. Segundo este estudo, o modelo japonês de desenvolvimento conseguia entregar produtos com qualidade total final superior e em um tempo menor quando comparada com suas concorrentes da América do Norte e Europa naquele período. Segundo os autores, ainda, os modelos de desenvolvimento de novos produtos podem ser genericamente divididos nas seguintes etapas:

- Conceito do produto;
- Plano de produto;
- Desenvolvimento do produto;
- Desenvolvimento do processo de manufatura;
- Produção do produto.

Segundo Rozenfeld et al. [6], ambas as metodologias de *Stage-Gates* e Engenharia Simultânea se desenvolveram no final da década de 90 para o que hoje é chamado de Desenvolvimento Integrado de Produto. Dentro desta abordagem, o processo de desenvolvimento de novos produtos é considerado como sendo parte integrante do planejamento estratégico ou empresarial, permeando, desta forma, todas as áreas da empresa indo desde a área comercial, desenvolvimento, manufatura, logística até as áreas de qualidade. É neste momento também que os times multifuncionais são estabelecidos como necessários e fundamentais para o sucesso dos projetos de novos produtos bem como os papéis de liderança de projeto dentro das organizações.

Figura 2-2: Fases Metodologia DFSS

Fonte: adaptado de BMGI (2017) extraído <<http://www.bmgindia.com/innovations/innovation-services/design-for-six-sigma>>

Ainda, segundo Rozenfeld et al. [6], durante a década de 80 começam a surgir novas abordagens tais como o *Six Sigma* que, naquele momento, tinham um foco quase que exclusivo em aspectos de qualidade e de melhoria contínua dentro de processos de manufatura. Essa metodologia foi primeiramente adotada pela Motorola em 1986 e posteriormente na década de 90 por Jack Welch na General Electric onde ganhou notoriedade no meio empresarial. É neste momento também que o *Six Sigma* começa a ampliar seu escopo e por fim se transformar numa metodologia de *Design For Six Sigma* (DFSS), ou seja, desenvolver novos produtos com o constante monitoramento do usuário final e de suas necessidades de tal forma que estas necessidades se reflitam em especificações, requerimentos e procedimentos suficientemente robustos para garantir a satisfação final do usuário.

Da mesma forma a indústria automotiva, procurando organizar seus procedimentos de desenvolvimento de novos produtos e harmonizar as práticas entre os grandes fabricantes de veículos, lançou, em 1994 através da *Automotive International Action Group* (AIAG) seu primeiro manual de controle e planejamento avançado de qualidade de produto (APQP) [11]. Este modelo nada mais é que uma proposta de Desenvolvimento Integrado de Produto que deve ser seguida também por todos os fornecedores *Tier 1*⁷ homologados dentro da ISO/TS16949⁸ [12]. Sua prerrogativa também é a de garantir que o produto que será desenvolvido esteja de acordo com os requerimentos do usuário final segundo um conjunto de atividades:

- Planejamento antecipado dos requerimentos de qualidade do produto;
- Avaliação do mercado para verificar se o usuário final está satisfeito;
- Implementação de planos de melhoria.

A partir do ano 2000 surgem novas abordagens tais como o Desenvolvimento *Lean* que propõe uma sistemática de desenvolvimento de novos produtos mais orgânica e integrada a empresa através da diminuição e máxima simplificação do processo de desenvolvimento propriamente dito.

Mais recentemente, modelos de referência mais complexos começam a surgir e com um escopo cada vez mais abrangente e integrado ao processo de negócios das empresas. Dentro destes novos formatos, Rozenfeld et al. [6], propõe um modelo de referência geral de PDP que é dividido em três grandes macrofases e estas por sua vez em fases menores que posteriormente são distribuídas em atividades conforme a ilustra a Figura 2-3.

⁷ Fornecedor de primeiro nível, com responsabilidades básicas ou fundamentais de desenvolvimento para os principais sistemas, subsistemas ou componentes do produto final.

⁸ Requisitos específicos de gestão da qualidade da indústria automotiva mundial.

Figura 2-3: Macrofases e fases do modelo de referência de um PDP

Fonte: ROZENFELD et al. (2006) extraído <<http://www.pdp.org.br>>

A primeira macrofase é a do projeto informacional. Esta fase atua no campo mais abstrato - busca e análise de informações para o desenho do escopo do projeto, requisitos iniciais são delineados de maneira qualitativa (especificação meta do produto).

A macrofase seguinte é a de desenvolvimento. É nesta fase que, segundo Rozenfeld et al. [6], surgem os diferentes projetos de produto que foram priorizados na fase anterior em função dos resultados esperados e os recursos disponíveis pela empresa. Para Rozenfeld et al. cada fase possui suas características e conjunto de atividades.

Na macrofase do projeto conceitual, procura-se sair do campo abstrato – utiliza processos de criatividade para apresentar alternativas de soluções. Desenhos e protótipos iniciais são gerados para atender o escopo definido na fase anterior. Avalia e escolhe o protótipo que passará à fase subsequente.

Na macrofase seguinte, do projeto detalhado, surge o protótipo funcional que é homologado com especificações finais prontas, plano de vendas, plano de manufatura e plano de ciclo de vida do produto começam a ser finalizados.

A macrofase de preparação da produção do produto nada mais é que a liberação de produção, documentos finais de homologação junto a clientes e fornecedores.

Por último, o lançamento do produto trata da campanha de marketing, plano de vendas final, lote industrial, treinamento equipe de vendas etc.

A última macrofase é a de pós desenvolvimento. Nesta macrofase é feito o monitoramento do atingimento dos resultados bem como o levantamento e implementação de melhorias ao produto ou processo. É nesta fase também que ocorre a gestão da retirada do produto do mercado e se estabelece os conhecimentos ou lições aprendidas que serão transmitidos a novas plataformas de projeto.

Vale enfatizar que, de acordo com Clark e Wheelwright [13], as macrofases do PDP se comportam como um grande funil onde podem ser verificadas 3 etapas bastante distintas entremeadas por filtros ou marcos de projeto onde uma das possíveis soluções deve ser escolhida para seguir o fluxo de desenvolvimento conforme mostra a Figura 2-4.

Figura 2-4: Funil de desenvolvimento de um PDP

Fonte: adaptado de CLARK e WHEELWRIGHT (1993)

Já as fases mais posteriores ao gargalo do funil – fases 2 e 3 da Figura 2-4 – possuem uma característica de convergência pois caminham para a definição do produto ou solução final. É nesta fase onde o projeto adquire uma característica mais sistematizada e sequencial. Nesta etapa do projeto, o mesmo se torna mais previsível.

Outro modelo similar ao proposto por Rozenfeld et al. [6], foi o modelo proposto por Back et al.[14], também chamado de PRODIP (Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais).

Figura 2-5: Modelo PRODIP

Fonte: extraído de BACK et al. (2008)

Silva [15], ao analisar os PDPs utilizados pelas indústrias automotivas asiáticas, americanas e europeias, chegou à conclusão que existem similaridades destes modelos com o modelo de referência proposto por Rozenfeld et al. [6].

Tabela 2-1: Comparativo entre o referencial teórico e os modelos de PDP automotivos

referencial teórico
atividades iniciais de investigação e levantamento de informações estratégicas. Atividades de transformação dos requisitos do mercado em informações quantitativas de engenharia. Atividades de desenvolvimento do produto. Atividades de desenvolvimento do processo. Atividades de treinamento e estabelecimento de métricas para o produto e para o processo. Atividades de testes e validações, ajustes do produto e do processo. Atividades de finalização e ou alterações de documentação do produto. Atividades fabris e de acompanhamento do produto no mercado, coleta de informações dos usuários e retroalimentação do planejamento estratégico do produto.
montadora asiática
criar processos e executar objetivos preservando o valor definido pelo cliente durante todo o processo de desenvolvimento do produto. Padronizar o máximo de atividades quanto a sua forma de execução. Discutir lições aprendidas. Executar reuniões diárias para melhoria contínua dos processos, atividades, documentos, entre outros componentes do processo de desenvolvimento do produto.
montadora européia
posicionar o produto. Criar modelo de estilo e desenvolver conceito virtual do produto. Desenvolver conceito virtual, desenvolver protótipos, realizar testes e validações. Desenvolver meios para a produção do automóvel. Treinar colaboradores. Realizar testes finais, ajustes de processo e iniciar produção piloto. Lançar o automóvel no mercado. Coletar informações do mercado para programas futuros.
montadora americana
definir portfólio de produtos estudar mercado e concorrentes. Validar o programa a ser desenvolvido. Desenvolver o estilo do automóvel. Aprovar o estilo e desenvolver o produto. Desenvolver o processo de fabricação. Testar e validar o produto e o processo. Iniciar a produção piloto. Lançar o produto no mercado.

Fonte: extraído de SILVA (2013)

Segundo Silva, de maneira geral, todos os modelos se iniciam com uma fase mais estratégica, posteriormente fases estratégicas e técnicas e ao final são fases técnicas e de aplicação. A Tabela 2-1 mostra um comparativo entre as atividades que são encontradas no referencial teórico e os exemplos de PDPs automotivos estudados pelo autor.

2.2 Delimitação da fase conceitual de um PDP

Para fins de simplificação desta pesquisa, seu foco será nas atividades e fases de um PDP voltadas para o desenvolvimento de um produto físico e material, portanto algo tangível e não de um serviço.

Por se tratar de um modelo bastante completo, didático e atual, o modelo de referência proposto por Rozenfeld et al.[6] será utilizado como base para a delimitação da fase conceitual do modelo APQP como se verá mais à frente. Vale salientar, no entanto, que outros modelos de PDP poderiam ser utilizados como o modelo do PRODIP [14] da Figura 2-5.

O foco deste trabalho não será tratar sobre o modelo de PDP como um todo, mas tratar do conjunto de fases mais iniciais do mesmo, ou seja, do conjunto de fases e atividades que ficam à montante do fluxo geral de atividades demonstrado na Figura 2-6. É necessário ainda definir que, dentro do conjunto de fases de interesse, especial atenção será dada a fase conceitual do projeto de desenvolvimento de um novo produto. É dentro desta fase que serão utilizados o DT e a TRIZ.

Figura 2-6: Fase conceitual do modelo de referência

Fonte: adaptado de ROZENFELD et al. (2006) extraído <<http://www.pdp.org.br>>

Para efeito de simplificação será considerado que todos os requisitos das fases anteriores à fase conceitual foram adequadamente atendidos. Considera-se, por exemplo, que a etapa de pré-desenvolvimento tenha ocorrido com sucesso, isto é, que as atividades de planejamento estratégico e o correto estabelecimento dos objetivos e métricas corporativas e da unidade de negócios tenham sido previamente definidos bem como o portfólio de produtos que será desenvolvido. É esperado ainda

que as atividades da fase de planejamento do projeto tenham sido executadas na sua integralidade tais como: definição das pessoas que comporão o time, divisão dos papéis e atribuições de cada integrante, definição do escopo geral do projeto, definição do escopo do produto, elaboração do cronograma, avaliação dos riscos envolvidos, reserva e planejamento orçamentário dentre outras atividades.

Espera-se assim que, ao entrar na fase de Projeto Conceitual, todas estas informações sirvam de entrada para que, ao final, tenha-se como saída, uma solução ou produto definido e qualitativamente esboçado em conjunto com seu processo produtivo e aspectos gerais de sua utilização junto ao usuário final. Estas informações prosseguirão então para a fase seguinte do PDP também conhecida como Projeto Detalhado onde o novo produto e seu processo produtivo serão detalhados qualitativa e quantitativamente. Não será, portanto, o foco desta pesquisa tratar sobre esta fase de detalhamento ou de implementação do PDP e sim concentrar-se apenas na tratativa de Projeto Conceitual.

2.3 Importância da fase conceitual de um PDP

Segundo Rozenfeld et al. [6], a fase de Projeto Conceitual é onde ocorre a transição do campo da abstração para a obtenção concreta da possível solução. Segundo os autores, esta etapa do PDP é marcada por atividades de busca por informações, representação de possíveis soluções, criação e seleção de alternativas. Estas atividades ocorrem muitas vezes em processos cíclicos e iterativos se afunilando até o momento da concepção final do produto ou solução em seus diversos componentes sem tampouco detalhar suas especificações - o que é feito na fase seguinte de detalhamento do projeto.

Ainda, segundo Rozenfeld et al., a busca por soluções pode ser feita através da observação de produtos concorrentes ou similares, *Benchmarking*⁹ ou ainda através da utilização de base de dados como artigos, livros e patentes.

As atividades de criação e representação das possíveis soluções são feitas através de croquis ou desenhos e são nestas atividades onde processos criativos - como o

⁹ Processo de comparação de produtos, serviços e práticas empresariais.

DT - e processos de resolução de problemas - como a TRIZ - trazem sua maior contribuição.

Para Back et al.[14], o projeto conceitual tem como foco principal o desenvolvimento de concepções alternativas para o problema exposto pelo projeto, constituindo-se na fase criativa do mesmo. Para Back et al., é nesta fase onde o problema deve ser abstraído e uma modelagem funcional do produto deve ser feita a fim de se buscar por soluções nos mais diferentes campos do conhecimento. Para os autores, esta é a fase criativa do projeto.

Para Ibusuki e Kaminski [16], a busca por inovação ainda na fase conceitual de um PDP onde os requerimentos de qualidade, custo e investimento ainda não estão rigidamente delimitados, se constitui em fator potencializador no desenvolvimento de produtos considerados revolucionários ou inovações radicais.

É por esta razão que Ibusuki e Kaminski trabalham na introdução de ferramentas de Engenharia de Valor nesta fase de um PDP.

Além dos fatores já elencados, a fase conceitual foi escolhida como foco desta pesquisa por ser uma das fases que possui maior peso para o sucesso final de um PDP. Segundo Rozenfeld et al. [6], 85% do custo final de um produto é oriundo de decisões que são tomadas nas fases mais iniciais do projeto. Conforme relatam os mesmos autores, é ainda nesta etapa do projeto que existe o maior número de incertezas e onde o maior número de decisões importantes são tomadas.

2.4 Indicadores de desempenho de um PDP

Embora este assunto seja vasto, vale à pena mencionar sobre as possíveis formas de entender ou mensurar aspectos de produtividade de um PDP uma vez que, o que se objetiva com esta pesquisa, é aumentar a taxa de sucesso através do atingimento de métricas de eficiência e eficácia dentro do projeto de desenvolvimento de um novo produto.

A literatura também traz muitas informações que podem ser utilizadas no momento de se medir a taxa de sucesso de um determinado projeto ou grupo de projetos. De acordo com Rozenfeld et al. [6], há pelo menos dois grupos distintos de parâmetros que podem ser utilizados para se medir esta taxa. Há parâmetros indiretos que são

utilizados para se medir o sucesso que o produto tem após seu lançamento no mercado e há também grupos de parâmetros que podem ser utilizados para se medir a eficiência ou eficácia do PDP específico que se queira analisar. Como exemplos de indicadores diretos, Rozenfeld et al. os subdivide da seguinte forma:

- Financeiro: todos aqueles que procuram medir o grau de retorno dos investimentos feitos no projeto;
- Operacional: todos aqueles que procuram medir a produtividade do processo de desenvolvimento tais como tempo, quantidade de produtos lançados, grau de atingimento das metas estabelecidas no escopo do projeto;
- Qualidade: consistência na entrega da promessa feita ao mercado;
- Perceptivo: avaliações internas feitas pelo time e pela liderança do projeto e procuram levar em conta fatores como coesão e harmonia do time, disponibilidade de recurso, qualidade da liderança e da distribuição de tarefas, enfrentamento de crises além de outros fatores cognitivos.

Segundo a obra *Product Development Performance* de Clark, Chew e Fujimoto [5], que trata em grande medida do universo do mercado automotivo, após analisarem dados de 29 projetos de novos produtos de 20 empresas, chegaram à conclusão que existem 3 grandes dimensões que podem ser analisadas antes de se emitir um veredito sobre a qualidade de um PDP:

- Produtividade: mede o nível de recursos empregados ao longo de todo o projeto sejam eles horas trabalhadas ou recursos financeiros, até o momento do lançamento do produto;
- Tempo gasto no projeto: mede a agilidade com que um projeto se move de suas fases iniciais até seu lançamento no mercado podendo ser medido em semanas ou meses;
- Qualidade total: avalia em que medida o produto atinge os requisitos dos clientes alvos do projeto.

Para Ellison et al.[17], uma forma mais simples e direta de se medir a dimensão da produtividade é utilizando o número de horas de engenharia empregadas no projeto do produto. As horas reportadas seriam apenas aquelas correspondentes aos departamentos de engenharia de produto indo do departamento de estilo da montadora até a engenharia de prototipagem e validação – excluindo o trabalho com

lote piloto. Também não entrariam, na conta de horas empregadas no projeto, os departamentos de engenharia de manufatura e processo, além de custos indiretos.

Segundo o mesmo autor, a dimensão qualidade total poderia ser avaliada utilizando diferentes parâmetros de qualidade medidas no mercado tais como: qualidade total, qualidade estética, qualidade funcional e mesmo evolução do *Market Share* após lançamento do produto.

2.5 Modelo APQP e sua fase conceitual

O APQP [11] é um processo estruturado para assegurar o desenvolvimento de novos produtos atenda aos padrões de qualidade previamente estabelecidos, garantindo assim a satisfação do usuário final.

O APQP permite que todos os setores envolvidos no planejamento e desenvolvimento do produto final possam se compreender utilizando uma linguagem comum e ferramentas correspondentes.

De acordo com o Manual de Referência APQP, com a definição da equipe responsável pela condução do programa, a prioridade passa a ser o planejamento, ou seja, estabelecer, através de um cronograma específico, todos os passos necessários para que ocorra êxito, desde o desenvolvimento de um novo produto ou processo até o seu lançamento. São cinco as fases norteadoras do APQP, conforme demonstra Figura 2-7.

Figura 2-7: Fases do APQP

Fonte: AIAG (2008)

Segundo aborda Rocha [4], cada fase é composta por etapas que totalizam quarenta e nove subfases abrangendo desde o controle de qualidade ao desenvolvimento de produtos:

1. Planejar e definir o programa: considera a voz do cliente (através de pesquisa de mercado, informações históricas de garantia e qualidade e as experiências da equipe); plano de negócios e estratégia de marketing; dados de benchmark do produto e do processo; outras premissas do produto e processo envolvendo capacidade técnica; estudo sobre a confiabilidade do produto; inputs do cliente;
2. Verificação do projeto e desenvolvimento do produto: considera os objetivos do projeto; as metas de confiabilidade e de qualidade; lista preliminar de materiais; fluxograma preliminar do projeto; lista preliminar de características especiais de produtos e processos; plano de garantia do produto; suporte da gerência;
3. Verificação do projeto de desenvolvimento do processo: considera o projeto de manufaturabilidade¹⁰ e montagem; verificação do projeto; análises críticas do projeto, construção de protótipo; desenhos de engenharia; especificações de engenharia, alterações de desenho e especificações; requisitos para novos equipamentos, ferramentas e instalações; características especiais de processos; requisitos para meio de medição e equipamento de teste, comprometimento de viabilidade da equipe e suporte da gerência;
4. Validação do produto e processo: considera a corrida piloto de produção; avaliação dos sistemas de medição; estudos preliminares da capacidade do processo; aprovação de peças de produção; testes de validação da produção; avaliação da embalagem; plano de controle da produção; aprovação do planejamento da qualidade e suporte da gerência;
5. Produção: início de produção em larga escala do novo produto. Avaliação e aplicação de plano corretivos de qualidade.

Conforme aborda Lin, Li e Kiang [18], de maneira geral, o fluxo de atividades do APQP segue um esquema estruturado conforme ilustra a Figura 2-8.

O PPAP – sigla para o termo em inglês *Productive Parts Approval Process* ou Procedimento de Aprovação de Peças Produtivas – é a saída do APQP [11], antes da

¹⁰ Capacidade que um produto ou serviço tem de ser manufaturável, ou seja, de ser produzido (no caso de produtos) ou prestado (no caso de serviços).

fase de produção em massa, e que inclui dez atividades obrigatórias. O PPAP deve ser apresentado aos clientes para ter certeza que o produto piloto atende as expectativas dos clientes e aos requerimentos necessários estabelecidos no início do projeto.

Figura 2-8: Esquema estrutural do APQP

Fonte: traduzido de LIN, LI e KIANG (2009)

Um dos pontos positivos desta metodologia está em sua capacidade de, se corretamente aplicada, garantir que os requisitos estabelecidos na origem do projeto sejam plenamente atendidos durante o desenvolvimento do produto e do processo de produção do mesmo, obedecendo tolerâncias aceitáveis ao usuário final.

Com frequência, no entanto, o processo de APQP parte do princípio que os 'requisitos do cliente' foram devidamente compreendidos e o escopo do problema ou do produto que se quer desenvolver está adequadamente definido. Algo, que na prática, nem sempre ocorre.

A metodologia APQP falha também ao não delimitar claramente uma fase conceitual dentro de seu processo de desenvolvimento como outros PDPs clássicos o fazem. Isso traz dificuldades ao time para lidar com ideias ou sugestões novas e que pudessem gerar inovações radicais.

No caso da metodologia do APQP tradicional, a etapa de conceito estaria compreendida entre as etapas de 'Planejamento' e de 'Desenvolvimento do Produto' conforme ilustra a Figura 2-9.

Figura 2-9: Possível localização de uma etapa de 'Conceito' dentro do APQP

Fonte: adaptado de AIAG (2008)

É para esta etapa dentro do APQP que esta pesquisa procurará focar aplicando as ferramentas do DT e da TRIZ.

As metodologias do *Design Thinking* e da TRIZ foram escolhidas para esta pesquisa pois ambas possuem um número grande e diversificado de ferramentas que podem ser utilizadas para suportar esta importante fase do APQP como se procurará demonstrar a seguir.

3 MODELO INTEGRANDO O DT E A TRIZ

As metodologias do *Design Thinking* e da TRIZ foram escolhidas para esta pesquisa pois ambas as metodologias possuem um número grande e diversificado de ferramentas que podem ser utilizadas para suportar a fase de conceito de um PDP como se procurará demonstrar a seguir. Ficará provado ainda o aspecto de complementação que ambas as ferramentas possuem.

3.1 Design Thinking – DT

3.1.1 Definição do DT

De acordo com Naiman [19], fundadora da *Creativity at Work*, DT é uma metodologia usada por *designers* para resolver problemas complexos e encontrar soluções que sejam valorizadas pelo usuário final. Segundo a mesma autora, dentro do DT existe um foco na busca pela solução e não no problema em si. Trata-se de uma metodologia que busca criar o futuro através do uso da lógica, imaginação, intuição sem abrir mão do pragmatismo e da sistemática na exploração de possibilidades e na obtenção dos resultados esperados.

Brown [20] aborda a utilização do DT dentro da área de negócios como suporte à capacidade criativa conjuntamente com outros métodos auxiliares para identificar adequadamente as necessidades do usuário final e enquadrá-las dentro daquilo que é tecnicamente viável, criando assim, uma oportunidade de negócios conforme ilustra a Figura 3-1. Ainda segundo o mesmo autor, o DT trata-se de um método que permeia as atividades de inovação com foco no ser humano, através de um processo de compreensão detalhado que ocorre por meio de observações diretas com a finalidade de extrair os desejos e necessidades das pessoas muitas vezes não explicitados dentro de uma pesquisa ou entrevista tradicionais.

3.1.2 Origem do DT

Simon [21], em seu livro intitulado *The sciences of the artificial*, foi o primeiro pesquisador a estabelecer a base do DT ao classificar a atividade do *Design* mais como uma forma de pensar do que necessariamente um processo de transformação física ou estética de um produto.

Rowe [22] foi quem primeiramente utilizou o termo *Design Thinking* ao intitular seu livro que trata sobre os métodos e abordagens utilizados por urbanistas e arquitetos. Mais tarde o termo se expandiu para outros campos do conhecimento tais como os da educação e da área de negócios.

Faste [23], professor de Stanford, popularizou o conceito de *Design Thinking* ao lecionar aulas onde apresentava o DT como um método de ação criativa. Segundo procura descrever Brown [24], David M. Kelley, colega de Faste em Stanford aplicou os conceitos do DT dentro da área de gestão e negócios fundando em 1991 a IDEO [25], empresa norte-americana de consultoria de *design* de produtos, que apesar de não ter inventado o termo, foi uma das primeiras fomentadoras da metodologia do DT.

Figura 3-1: DT como uma ferramenta de inovação

Fonte: IDEO (2017) extraído < <https://www.ideo.com> >

Vale citar ainda Buchanan [26], que aplica os princípios e conceitos do DT para resolver aquilo que ele chama de *Wicked Problems*¹¹ nos mais diferentes campos do conhecimento humano. O autor considera que para haver a aplicação do DT basta haver um problema que seja considerado de difícil resolução, ou seja, um problema considerado complexo, ambíguo ou com muitas variáveis interconectadas que envolvam diferentes áreas de conhecimento humano.

3.1.3 Metodologia do DT

¹¹ Trata-se de um problema que é difícil ou impossível de resolver uma vez que seus requisitos ainda podem estar incompletos ou em evolução ou até mesmo serem contraditórios.

De acordo com Robson [27], ao contrário do processo analítico convencional, o DT inclui uma etapa preliminar de geração intensiva de ideias durante uma seção de *Brainstorming*¹². Por si só, esta etapa reduz a apreensão dos participantes e favorece o trabalho colaborativo. Esta parte do DT tem sido reconhecida como de fundamental importância pois ela traz à tona elementos muitas vezes ignorados assim como ambiguidades e falsas hipóteses feitas anteriormente.

De acordo com Cohen [28], uma grande parte do sucesso do DT está baseado na empatia entre o *designer* e o usuário final que se beneficiará do produto que está sendo desenvolvido. Faz parte do DT incluir uma série de atividades de checagem junto ao usuário final para saber se a ideia ou conceito beneficia e traz valor de fato ao usuário atendendo suas demandas de maneira geral.

Figura 3-2: Etapas do Design Thinking conforme a Design Council

Fonte: NAIMAN (2017)

Ainda, de acordo com Naiman [19], o ciclo do DT envolve intensa observação para descobrir necessidades do usuário final dentro do contexto e das dificuldades reais de uma situação particular para que ideias criativas sejam geradas, testadas e refinadas até que se tenha atingido a solução final. A Design Council [29] procura descrever o DT num processo de 4 fases distintas: descoberta, definição, desenvolvimento e

¹² Método criado nos Estados Unidos, pelo publicitário Alex Osborn, usado para testar e explorar a capacidade criativa de indivíduos ou grupos, principalmente nas áreas de relações humanas, dinâmicas de grupo e publicidade e propaganda.

entrega. Todas estas etapas fluem em etapas cíclicas de divergência e convergência até que o conceito final seja encontrado conforme ilustra a Figura 3-2.

Para Plattner, Meinel e Leifer [30], o DT possui seis estágios conforme Figura 3-3. Dentro deste modelo as etapas são cíclicas, ou seja, a metodologia permite que etapas anteriores sejam revistadas e refeitas. Segundo o mesmo autor, as etapas não são lineares e podem ocorrer simultaneamente e de maneira repetitiva caso seja necessário.

Figura 3-3: Etapas do Design Thinking na HPI D-School

Fonte: PLATTNER et. al. (2010)

Para Thoring e Mueller [31], as etapas acima se desdobram da seguinte maneira:

- Entender: busca de informações existentes sobre o assunto ou problema que se queira tratar. É feita em grande medida através de pesquisa secundária;
- Observar: baseado em pesquisas qualitativas que incluem entrevistas e técnicas de observação (o objetivo desta etapa é obter informações a respeito do problema e das necessidades não percebidas do usuário final, mas que precisam ser identificadas para posterior tratamento);
- Definir: as conclusões obtidas através das etapas anteriores são então compiladas de maneira visual através de utilização de *Storytelling*¹³ criando assim uma microteoria sobre o problema através da ótica do usuário final – também chamada de POV – *Point of View*;
- Idealizar: esta fase se inicia com uma atividade de geração de ideias para trazer soluções ao POV levantado na etapa anterior e posteriormente uma atividade de priorização é feita para elencar as melhores ideias que serão levadas para a próxima fase;
- Prototipar: na fase de prototipagem, as ideias selecionadas na etapa anterior são prototipadas de maneira rápida e ágil;

¹³ Consiste em um método que utiliza palavras ou recursos audiovisuais para transmitir uma história.

- Teste: posteriormente o protótipo é levado para a avaliação do usuário final que poderá então validar ou trazer novas melhorias ao conceito proposto pelo time do projeto.

Eventuais problemas revelados na fase de teste podem fazer com que o projeto retorne algumas fases em iterações cíclicas onde o conceito do produto pode ser revisado ou, então, apenas o protótipo ser alterado. Eventualmente o projeto pode voltar nas fases de 'Entender' e 'Observar'.

Um processo alternativo e mais sucinto de 5 etapas é descrito também por Plattner, Meinel e Leifer [30] com a seguinte descrição: 1- definir o problema, 2 - pesquisa & *benchmarking*, 3 - idealizar, 4 - prototipar e 5 – testar. Neste modelo as atividades de 'entender' e 'observar' do modelo anterior se fundem num único passo ou etapa que é chamada de 'pesquisa & *benchmarking*'. São, portanto, metodologias similares contendo apenas alguns ajustes para fins de simplificação.

3.1.4 Atributos essenciais ao DT

De acordo com Beinecke [32], o DT encontra sua maior aplicabilidade ao tratar problemas que são chamados por Rittel e Webber [33] de *Wicked Problem*, ou seja, problemas complexos e desconhecidos com soluções também desconhecidas em oposição àqueles problemas onde o escopo está bem definido e a solução está disponível em algum campo do conhecimento humano (*classical design*).

Rowe [22], ao analisar os tipos de *Wicked Problems*, descreveu os mesmos como todo aquele problema onde boa parte do esforço está concentrado no trabalho de compreender adequadamente o problema em si e também na delimitação das fronteiras de seu escopo.

Segundo Thoring e Mueller [31], é de fundamental importância para o aumento da eficiência do processo de DT, a formação de times com até 6 pessoas possuindo diferentes perfis de conhecimento. Essas pessoas necessariamente devem trabalhar em conjunto e de maneira colaborativa. Os mesmos autores ainda abordam o perfil ideal de pessoas para trabalharem em projetos de DT como sendo aquele conhecido como 'T', ou seja, pessoas que possuam profundo conhecimento em uma área, mas também possuam conhecimento em áreas adjacentes àquela de sua atuação normal.

Figura 3-4: Perfil T

Fonte: adaptado de HPI D-School (2017) extraído <<https://hpi.de/en/school-of-design-thinking.html>>

Os autores ainda mencionam a importância de ambientes de trabalho e ferramentas apropriadas onde a experimentação, a discussão e a prototipagem rápida sejam incentivadas.

Figura 3-5: Ambiente DT

Fonte: HPI D-School (2017) extraído <<https://hpi.de/en/school-of-design-thinking.html>>

Um exemplo de ambiente que é considerado propício à utilização do DT pelas facilidades que traz à experimentação e prototipagem são os chamados FAB LABs que foram introduzidos em 2001 pelo MIT [34].

Um FAB LAB (abreviação do termo em inglês *fabrication laboratory*) é uma plataforma de prototipagem rápida de objetos físicos e digitais e está inserido em uma rede mundial de quase cinco centenas de laboratórios ao redor do globo. Destina-se aos empreendedores que querem passar mais rapidamente da fase do conceito ao protótipo e aos estudantes que desejam experimentar e enriquecer seus conhecimentos práticos em eletrônica, em CAE, CAD e CAM¹⁴.

Figura 3-6: Ambiente FAB LAB - MIT

Fonte: FAB LAB (2016) extraído <<http://www.fabfoundation.org>>

De maneira geral, um FAB LAB traz consigo um ambiente propício à inovação com diversas ferramentas de prototipagem física e digital tais como:

- Impressora 3D;
- Cortadoras a laser de pequeno e grande porte;
- Fresadoras de pequeno e grande porte;
- Mesas de recorte;
- Ferramentais digitais programáveis e processadores de baixo custo;
- Espaço acolhedor e colaborativo para troca de ideias e simulações.

Além de um ambiente propício, é importante também levar em conta outros fatores que podem influenciar os resultados da aplicação do DT. De acordo com Plattner,

¹⁴ Abreviatura inglesa para as seguintes expressões: *Computer Aided Engineering (CAE)* – engenharia assistida por computador; *Computer Aided Design (CAD)* – projeto assistido por computador; *Computer Aided Manufacturing (CAM)* – manufatura assistida por computador.

Meinel e Leifer [30] da *HPI-Stanford Design Thinking Program* [35], existem quatro princípios para se obter o sucesso na implementação do DT:

1. Princípio do ser humano – toda atividade de *design* é em sua essência social;
2. Princípio da ambiguidade – ambiguidades devem ser tratadas com especial interesse;
3. Princípio do *re-design* – toda atividade de *design* é, na verdade, um *re-design*;
4. Princípio da tangibilidade – tornar ideias em algo tangível facilita a comunicação.

Para Thoring e Mueller [31], existem duas características que regem todo o processo de DT tais como ‘foco no usuário final’ e ‘errar antes e sempre’.

Para Kelley e Littman [25], a atividade de geração de ideias é de fundamental importância dentro do DT e por isso deve ter algumas regras para nortear todo o processo de idealização tais como:

- Utilizar recursos visuais sempre que possível;
- Rejeitar julgamento de ideias;
- Aproveitar ideias anteriores para gerar novas ideias;
- Foco total do time na etapa que está sendo executada;
- Uma pessoa de cada vez no momento da exposição das ideias;
- Encorajar ideias radicais;
- Quanto maior a quantidade de ideias, maior a chance de sucesso ao final.

Para os autores, ainda, as utilizações de técnicas de criatividade podem ser alteradas para atender propósitos específicos de cada projeto. Como exemplo é mencionado o uso do *Brainstorming* tradicional e também do chamado ‘*Brainstorming* negativo’ (geração de ideias intencionalmente ruins com a finalidade de intensificar o problema para posteriormente encontrar as ideias consideradas boas).

Pode-se concluir que, se os problemas forem corretamente selecionados (*Wicked Problem*) para serem tratados por times multidisciplinares com o perfil apropriado e dentro de ambientes também preparados e que sigam as premissas aqui colocadas, a metodologia do DT terá então todas as condições reunidas para a sua correta aplicação dentro da fase de conceito de um PDP.

3.1.5 Dificuldades encontradas na aplicação do DT

Johansson-Sköldberg [36], afirma haver diferentes discursos existentes acerca do DT. Segundo ela existe o discurso gerencial, feito pelo quadro de liderança das empresas e que colocam o DT mais como uma ferramenta de gerenciamento do que necessariamente uma ferramenta para a obtenção de resultados. Há ainda aquele discurso utilizado por *designers* e que se concentra mais no conceito estético dos produtos do que necessariamente nas muitas funcionalidades que o mesmo pode agregar ao usuário final. A mesma autora afirma ainda haver o discurso acadêmico sobre o DT como sendo aquele que procura estabelecer e desenvolver as bases conceituais da metodologia em si dentro dos corredores da academia. Segundo a mesma autora, existe uma dissociação entre todos estes discursos o que acaba por enfraquecer o DT como uma ferramenta para a resolução prática de problemas dentro de uma empresa, confinando a metodologia mais aos campos da educação e das ciências sociais.

Da mesma forma, Kimbell [37] expõe o fato de o DT ter se tornado uma metodologia que está demasiadamente centrada apenas na pessoa e na atividade do *designer*, ou seja, daqueles que atuam com foco na mudança estética de algo. Ao contrário disso, a autora coloca a necessidade de incorporar pessoas com conhecimentos nas mais variadas áreas do conhecimento humano para atuarem de forma conjunta na resolução de problemas. O mesmo deve ser feito ao procurar incluir pessoas com os mais diferentes perfis de comportamento. A mesma autora enfatiza a questão da utilização prática do DT para resolver problemas e não apenas como uma metodologia de negócios ou de gerenciamento.

Há ainda, aqueles que questionam a capacidade do DT de gerar inovações consideradas radicais. Nussbaum [38] aborda o fato de que muitas empresas não souberam utilizar o DT na sua forma original e tornaram-na em mais uma metodologia de inovação sistematizada em fases e que, ao invés de incentivar, reduz a capacidade criativa das pessoas envolvidas no projeto gerando apenas melhorias incrementais. Segundo o mesmo autor, há grande dificuldade por parte das empresas em implementar a metodologia devido ao caminho caótico que o DT percorre dentro dos mais diferentes quadros funcionais de uma empresa durante a sua execução.

Para Tjendra [39], as organizações desejam criatividade mas têm dificuldade de aceitar o grau de imprecisão, confusão, abstração e obscuridade que vêm junto com ela. Isto porque em um ambiente lógico e sistêmico, como é o mundo organizacional, lidar com a imprecisão, confusão, abstração e obscuridade acaba gerando a percepção de ineficiência e ineficácia. Portanto, é difícil que as organizações entendam como que resultados podem ser alcançados usando processos tão confusos como o DT.

Para a mesma autora, o DT também não leva em conta etapas posteriores à fase de prototipagem e discorre pouco sobre a implementação final da solução escolhida não abordando pontos tais como: desenvolvimento do processo de manufatura, plano de negócios, plano de marketing etc.

Figura 3-7: Caminho percorrido pelo DT dentro de uma organização

Fonte: traduzido de NAIMAN (2017)

Tjendra [39] ainda discorre sobre a dificuldade que o DT tem de abordar o futuro por ser uma metodologia baseada na necessidade presente do usuário, não havendo preocupação com necessidades ainda não percebidas pelo usuário.

São por todas estas dificuldades apresentadas que o DT pode ser complementado com outras metodologias. Neste estudo escolhemos a TRIZ pois a mesma possui características complementares ao DT.

3.2 TRIZ

3.2.1 Definição da TRIZ

Segundo relata o Instituto Altshuller de Estudos da TRIZ [40], a sigla "TRIZ" vem das palavras russas para "Teoria da Resolução de Problemas Inventivos". Segundo reporta o mesmo instituto em seu site na internet, G.S. Altshuller e seus colegas na antiga U.R.S.S. desenvolveram o método após analisarem 40.000 patentes e estabelecerem padrões, com base nestas patentes, de como os problemas eram resolvidos e novas invenções realizadas.

Para o próprio Altshuller [41], a TRIZ é um método de resolução de problemas com base na lógica e em dados, não na intuição, o que acelera a capacidade da equipe do projeto na resolução destes problemas de maneira criativa. Para o autor, a TRIZ é apresentada como um método que proporciona repetibilidade, previsibilidade e confiabilidade devido a sua estrutura e abordagem algorítmica.

Para Savransky [42], TRIZ é uma metodologia sistemática baseada no conhecimento obtido na resolução prévia de problemas inventivos.

Para Zlotin et. al. [43], o uso da TRIZ não ficou concentrado apenas em áreas técnicas mas também migrou para outras áreas tais como administração, política e publicidade sendo, inclusive, utilizada no gerenciamento de projetos, em sistemas de gestão de risco assim como em iniciativas de inovação organizacional.

Fey e Rivin [44] descreveram a TRIZ como uma metodologia efetiva no desenvolvimento de novos sistemas técnico além de ser um conjunto de princípios que descrevem como as tecnologias e os sistemas evoluem.

Segundo Hua et. al. [45], a TRIZ, tornou-se, com o passar do tempo, em uma metodologia com diversas ferramentas e que ganhou muitos adeptos até o ponto de ser considerada como uma ciência internacional de criatividade e que se baseia no estudo dos padrões de problemas e de suas soluções.

Para Gadd [46], a TRIZ consiste numa caixa de ferramentas contendo métodos que cobrem todos os aspectos da compreensão de um problema e de sua resolução.

3.2.2 Origem da TRIZ

Segundo relata Terninko, Zusman e Zlotin [47], Genrich Saulovich Altshuller – o inventor de TRIZ – nasceu em 15 de outubro de 1926 em Tashkent, antiga União Soviética e morreu em 24 de setembro de 1998 em Petrozavodsk, Rússia. G. Altshuller era um jovem e bem-sucedido inventor Judeu e oficial da marinha soviética responsável pelo departamento de "Inspeção de Invenções" do Mar Cáspio. Sua principal responsabilidade era a de ajudar os inventores a arquivar e submeter suas patentes. Segundo relatam Terninko, Zusman e Zlotin, em seu trabalho de patente, G. Altshuller percebeu químicos, biólogos, físicos e engenheiros repetindo o trabalho uns dos outros, porque, de maneira geral, eles nunca buscavam fora de sua própria área de conhecimento para encontrar se problemas semelhantes aos seus já tinham ocorrido e tido uma solução anterior. G Altshuller percebeu ainda que cada um escrevia suas patentes em sua própria linguagem e terminologia técnica sendo que problemas semelhantes foram resolvidos com soluções análogas, mas ninguém, até então, tinha notado que havia uma enorme duplicação de trabalhos. Ainda segundo Terninko, Zusman e Zlotin, G. Altshuller procurou então extrair conhecimentos de invenções e a compilar esses conhecimentos em forma utilizável e a disponibilizar os mesmos conhecimentos a inventores de qualquer disciplina.

Ao identificar e categorizar os padrões, G. Altshuller percebeu que se poderia ter acesso a soluções que normalmente não estariam disponíveis em uma dada área de conhecimento. Ele então compila todas as soluções em patentes para identificar todas as possíveis formas para se resolver um dado problema.

Conforme ainda relatam os mesmos autores, G Altshuller categorizou estas patentes de uma maneira nova – ao invés de classificá-las pela indústria, como automotivo, aeroespacial, etc., ele removeu o assunto para descobrir o processo utilizado na resolução do problema. G Altshuller descobriu que muitas vezes os mesmos problemas tinham sido resolvidos diversas vezes utilizando princípios que mais tarde foram chamados de os “Quarenta Princípios Inventivos Fundamentais”. Percebendo que uma inovação representa uma mudança fundamental em um sistema tecnológico e que, portanto, está sujeita a análise, G. Altshuller estudou mais de 40.000 patentes de todo o mundo. Depois de investigar as mesmas, descobriu que apenas 0,3% de as soluções patenteadas eram realmente novas, ou seja, tinham utilizado algum princípio

físico realmente novo – como o primeiro receptor de rádio ou a primeira câmera fotográfica de filme etc. Os 99,7% restantes das invenções utilizavam algum princípio físico ou tecnológico já conhecido, mas que tinha sido implementado de diferentes formas.

Ainda conforme Terninko, Zusman e Zlotin, G. Altshuller iniciou então uma pesquisa para descobrir quais eram os processos de criatividade existentes em sua época e acabou por descobrir estudos afirmando que, sendo a criatividade um produto da mente humana, o processo de resolução de problemas ou de criatividade poderia ser incentivado através de técnicas psicológicas. Alguns métodos (como *Brainstorming*) foram desenvolvidos para superar a inércia psicológica - ou seja, ajudar as pessoas a ter ideias "fora da caixa". G. Altshuller logo começou a perceber a dificuldade de obter informações objetivas sobre esses métodos, sendo que, os resultados, em sua opinião, eram difíceis de serem mensurados e, ao mesmo tempo, pouco confiáveis. Ainda segundo relatam os autores, depois disso, G. Altshuller chegou à conclusão de que embora não houvesse ferramentas que permitissem, dentro da mente humana, estudar o processo criativo, os resultados desse processo poderiam ser facilmente observados pelo estudo das próprias invenções ou da literatura de patentes associada a elas.

De acordo com o Instituto Altshuller de Estudos da TRIZ [40], pesquisas de patentes continuaram a ocorrer, sendo que, em meados da década de 1980, mais de dois milhões de patentes tinham sido investigadas segundo a ótica da TRIZ, o que representava, na época, cerca de 10% de todas as patentes existentes em todo o mundo. Conforme relata o mesmo Instituto, os resultados dos esforços de G. Altshuller formaram a base teórica da TRIZ e lançaram os fundamentos para as ferramentas de solução criativas de problemas. Posteriormente, estudantes de G. Altshuller emigraram para os EUA, Escandinávia, Israel, Alemanha introduzindo a TRIZ em outros países, razão pela qual esta metodologia se difundiu havendo hoje, pelo menos, três grandes organizações de fomento a sua utilização:

- Fundação oficial G.S. Altshuller (Rússia);
- Instituto Altshuller de estudos da TRIZ (EUA);
- Associação Europeia da TRIZ (Europa).

Mais recentemente alguns dos especialistas da TRIZ tem se dedicado ao desenvolvimento de aplicações de software com a finalidade de trazer maior aproveitamento ao uso desta metodologia.

Segundo relata Kaplan [48], a grande contribuição dada por G. Altshuller foi a sua constatação de que problemas inventivos poderiam ser codificados, classificados e resolvidos metodicamente, assim como outros problemas de engenharia.

3.2.3 Metodologia TRIZ

Existem diversas formas de organizar as ferramentas e técnicas utilizadas na TRIZ. Um fluxograma pode ser bastante útil pois, a partir dele, pode-se ter uma ideia de como as ferramentas estão relacionadas bem como o papel que cada uma delas possui dentro do fluxo geral da TRIZ. Para este fim utilizaremos o modelo desenvolvido por Domb e Dettmer [49]. A Figura 3-8 representa este modelo da TRIZ tanto para o desenvolvimento de produtos como de processos. Segundo Domb e Dettmer, não são mostrados neste modelo a análise 'S-Field' (um sistema de modelagem diagramática usado para descrever problemas e identificar categorias de soluções – geralmente usada para problemas difíceis ou avançados) e a 'ARIZ' que pode ser traduzido como "algoritmo para resolver problema inventivo" (trata-se de um algoritmo não-computacional composto por uma série de mais de 70 perguntas sendo uma forma alternativa de vincular as ferramentas e técnicas de TRIZ).

Conforme mostra a Figura 3-8, a primeira fase da TRIZ é a de 'Análise do Problema'. Segundo Domb e Dettmer, para esta fase, as ferramentas mostradas no fluxograma acima podem ser descritas conforme segue.

Análise funcional – analisa o sistema, subsistemas e componentes em termos de funções desempenhadas. Uma técnica mais recente utilizada em TRIZ é conhecida como "*Trimming*" (examina cada função para ver se de fato ela é necessária e, em sendo, se há algum outro elemento do sistema que poderia executar a mesma função). Reduções radicais em custo e em complexidade são geralmente obtidos após a utilização da análise funcional e a técnica de "*Trimming*".

Figura 3-8: Fluxo geral da TRIZ mostrando algumas de suas ferramentas

Fonte: traduzido de DOMB & H. W. DETTMER (1999)

Resultado final ideal – expressa a situação em termos de por que a inovação é necessária e qual seria o melhor resultado possível que se poderia obter na resolução de um dado problema sem, no entanto, considerar limitações tecnológicas ou de implementação para o atingimento deste resultado. Avanços estratégicos importantes vêm da visão adquirida nesta etapa. Oportunidades de melhoria de qualidade podem ser identificadas ao se mapear elementos que tornam o sistema em não-ideal. O progresso obtido em um projeto em função do resultado ideal é chamado de "idealidade" e é definido pela seguinte equação:

$$\text{Idealidade} = \frac{\sum \text{Benefícios}}{(\sum \text{Custos} + \sum \text{Prejuízos})}$$

Análise de recursos – identificação de todos os recursos, fontes de energia, objetos disponíveis, informações, funções e outros elementos que estão dentro ou perto do sistema e que poderiam ser combinados com os elementos dentro do sistema para melhorá-lo.

Identificando as zonas de conflito – trata-se da compreensão da causa exata do problema. A "zona" refere-se ao tempo e lugar em que o problema ocorre. O diagrama de resolução de conflito (também chamado de CRD – *Conflict Resolution Diagram*) é uma ferramenta eficiente para localizar as zonas de conflito.

Ainda segundo Domb e Dettmer, em cerca de 45% dos problemas a resolução se torna óbvia logo após a conclusão da fase de análise. Neste caso é comum ir direto para a fase de implementação. Por outro lado, segundo os autores, se o problema não foi resolvido ou se há uma solução alternativa que traga maior eficiência, parte-se então para a utilização das ferramentas do banco de dados da TRIZ: Princípios, Previsões e Efeitos. Neste caso, para Domb e Dettmer, pode-se optar por utilizar apenas algumas das ferramentas ou todas elas, sendo cada uma das ferramentas descritas na sequência.

Princípios (também chamados de resolução de contradições) – contradições técnicas ocorrem quando o estado desejado não pode ser alcançado porque alguma coisa no sistema impede. Contradições físicas são situações onde um objeto possui requisitos contraditórios. Uma vez que a contradição é definida em termos de seus parâmetros padrão, o problema é resolvido através da aplicação dos quatro princípios da separação (contradições físicas) ou dos quarenta princípios de resolução de conflitos (contradições técnicas)¹⁵.

Predição (também chamado de previsão de tecnologia) – a TRIZ identificou oito padrões de evolução técnica que um sistema pode demonstrar ao longo do tempo. Projetos de sistemas, subsistemas ou componentes podem ser movidos para o próximo estágio dentro de um padrão específico, uma vez que o padrão é identificado. Os oito padrões são:

1. Aumento da idealidade;

¹⁵ A base de dados destes princípios está disponível em várias formas e pode ser obtida em <<http://www.triz-journal.com>>.

2. Fases de evolução;
3. Desenvolvimento não uniforme de elementos do sistema;
4. Maior dinamismo e controle;
5. Complexidade crescente seguida de simplicidade;
6. Encontro e desencontro de partes;
7. Transição para o nível micro e uso de campos;
8. Diminuição da interação humana (automação crescente).

Efeitos – usa a fenomenologia científica e de engenharia e seus efeitos fora da disciplina em que foram desenvolvidas originalmente. As ferramentas incluem bases de dados, enciclopédias de ciências e pesquisas da literatura técnica para encontrar formas alternativas para alcançar as funções que são necessários para resolver o problema.

Ainda para Domb e Dettmer [49], o último bloco no fluxograma é a fase de ‘avaliação das soluções’. Nesta etapa as possíveis soluções são comparadas com o ‘resultado final ideal’ e certifica-se de que as melhorias trarão avanços tecnológicos e atenderão as necessidades do usuário final. Segundo os autores, múltiplas soluções podem ser combinadas para melhorar a solução global usando metodologias de seleção de conceitos tais como a Matriz de Pugh¹⁶. O fluxograma mostra que os problemas não resolvidos podem ser iterados novamente dentro do processo.

Para Zlotin et al. [43], as ferramentas podem ser classificadas em três grupos: ferramentas de análise, ferramentas baseadas em conhecimento e operadores psicológicos. Ferramentas analíticas como análise ‘Su-Field’, análise funcional e ARIZ ajudam a definir, formular e modelar um problema, enquanto as ferramentas de conhecimento, como os 40 princípios inventivos, 76 soluções-padrão e efeitos fornecem recomendações para a transformação do sistema (ou seja, resolução de problemas). Os operadores psicológicos ajudam a facilitar processo criativo de resolução de problemas.

Como mostrado na Tabela 3-1, as ferramentas foram colocadas nos grupos para os quais elas foram pensadas para serem mais relevantes.

¹⁶ É uma ferramenta para comparação de soluções competindo contra uma referência.

Tabela 3-1: Classificação das ferramentas da TRIZ de acordo com o campo de aplicação

Campo de Aplicação	Conceito / ferramenta / técnica
Estado Atual	Análise de Função (e objeto) Contradição Análise Campo-Substância Análise Evolutiva
Estado Pretendido	Solução próxima do ideal quanto possível
Metas	Resultado Final Ideal (RFI) Ferramenta de Identificação de Falhas
Transformação	Princípios Inventivos Matriz de Contradição Princípios de Separação Análise Campo-Substância Análise Evolutiva Análise de Recursos Banco de dados de efeitos
Análise de Recurso	Análise de Recursos (análise de sistemas, análise campo-substância e pesquisa sistemática por recursos)

Fonte: adaptado de MOEHRLE (2005)

Moehrle [50] forneceu uma proposta para estruturar as ferramentas de acordo com o campo de aplicação considerado importante para a análise e resolução do problema. Estes campos foram descritos da seguinte forma:

- Estado atual – definição de qual é o estado atual;
- Estado pretendido – definição da situação futura pretendida;
- Objetivos – definição dos objetivos;
- Transformação – transformação do estado atual no estado pretendido;
- Recursos – definição de quais recursos estão disponíveis para utilização.

Um dos primeiros resultados da pesquisa de Altshuller sobre as características comuns das soluções inovadoras, conforme descrito por Zusman, Zlotin e Terninko [51], foi um conjunto de 40 princípios de resolução de problemas conforme apresentado a Tabela 3-2. As ideias verdadeiramente inovadoras que Altshuller encontrou no estudo de centenas de milhares de patentes se enquadravam em 40 categorias genéricas ou Princípios Inventivos (PI), daí o nome desta ferramenta da TRIZ ser chamada de Método dos Princípios Inventivos (MPI).

Tabela 3-2: Princípios inventivos desenvolvidos por Altshuller

Número	Princípio Inventivo	Número	Princípio Inventivo
1	Segmentação, fragmentação	21	Travessia rápida
2	Extração, remoção	22	Conversão de danos em benefícios
3	Qualidade local	23	Retroalimentação
4	Assimetria	24	Mediação
5	Combinação	25	Auto-serviço
6	Universalidade	26	Cópia
7	Alinhamento	27	Uso de objeto barato e de vida curta
8	Contrapesos	28	Substituição de meios mecânicos
9	Contra-atuação preliminar	29	Uso de pneumática e hidráulica
10	Ação prévia	30	Uso de filmes e membranas flexíveis
11	Atenuações prévias	31	Uso de materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneidade
14	Esferoidicidade	34	Descarte e recuperação de partes
15	Dinamicidade	35	Mudança de parâmetros e propriedades
16	Ação parcial ou excessiva	36	Mudança de fase
17	Movimento para nova dimensão	37	Expansão térmica
18	Uso de vibrações mecânicas	38	Uso de oxidantes fortes
19	Ação periódica	39	Uso de atmosferas inertes
20	Continuidade da ação útil	40	Uso de materiais compostos

Fonte: adaptado de BACK et al. (2008)

Para o uso do MPI, é relevante conhecer os Parâmetros de Engenharia (PE). Esses parâmetros correspondem a grandezas genéricas presentes em problemas técnicos de diferentes áreas. As contradições existentes no problema original devem ser traduzidas em termos de um primeiro PE, que se deseja melhorar, e de um segundo, que é usualmente piorado em função da melhora do primeiro. A Tabela 3-3 ilustra os 39 PEs mencionados.

Tabela 3-3: Parâmetros de engenharia de Altshuller

Número	Parâmetros de Engenharia	Número	Parâmetros de Engenharia
1	Peso do objeto em movimento	21	Potência
2	Peso do objeto em repouso	22	Perda de energia
3	Comprimento do objeto em movimento	23	Perda de substância
4	Comprimento do objeto em repouso	24	Perda de informação
5	Área do objeto em movimento	25	Perda de tempo
6	Área do objeto em repouso	26	Quantidade de substância
7	Volume do objeto em movimento	27	Confiabilidade
8	Volume do objeto em repouso	28	Precisão de medição
9	Velocidade	29	Precisão de fabricação
10	Força	30	Fatores indesejados atuando no objeto
11	Tensão, pressão	31	Efeitos colaterais indesejados
12	Forma	32	Manufaturabilidade
13	Estabilidade do objeto	33	Conveniência de uso
14	Resistência	34	Mantenabilidade
15	Durabilidade do objeto em movimento	35	Adaptabilidade
16	Durabilidade do objeto em repouso	36	Complexidade do objeto
17	Temperatura	37	Complexidade de controle
18	Brilho	38	Nível de automação
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	39	Produtividade
20	Energia gasta pelo objeto em repouso		

Fonte: adaptado de BACK et al. (2008)

G.S. Altshuller selecionou e organizou as contradições mais frequentes e os princípios para resolver essas contradições. Ele as converteu numa fórmula, a matriz de 39 PEs

de melhoria e 39 PEs de agravamento – matriz 39 X 39 – e incluiu os Pls mais frequentemente usados em cada célula de intersecção. Esta matriz foi nomeada como Matriz de Contradição (MC) e está ilustrada na Tabela 3-4.

Tabela 3-4: Fragmento da matriz de contradição

Peso do objecto em movimento	Peso do movimento parado	Comprimento do objecto em movimento	Comprimento do objecto parado	Área do objecto em movimento	Área do objecto parado	Volume do objecto em movimento	Volume do objecto parado
No		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Peso do objecto em movimento	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28	
2	Peso do movimento parado		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2
3	Comprimento do objecto em movimento	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35	
4	Comprimento do objecto parado		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14
5	Área do objecto em movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4	
6	Área do objecto parado		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+		

Fonte: adaptado de MAZUR (1995) extraído <<http://www.mazur.net/triz/contradi.htm>>

A seguir algumas regras para a utilização da MC:

- Algumas células diagonais estão vazias, o que significa que apenas algumas ou nenhuma patentes foram encontradas para a resolução de uma contradição particular;
- Os 39 PEs na coluna vertical são as características do problema definido que precisa de ser melhorado;

- Os 39 PEs na coluna horizontal são as características que são afetadas e/ou degradadas como o resultado de melhorar os parâmetros do problema definido;
- Os números nas células de intersecção são os PIs, que guiarão para as melhores soluções para o problema técnico;
- As combinações entre PEs iguais são excluídas (células em cinza).

Ainda, conforme Carvalho e Back [52], há duas formas para utilização desses princípios:

1. A primeira delas trata do uso direto dos princípios inventivos para a melhoria do ST;
2. A segunda envolve a identificação de contradições, a modelagem das mesmas em termos de PE conflitantes, o uso da matriz de contradições (MC) para identificar PIs com maior potencial e sua aplicação.

A Figura 3-9 apresenta o fluxograma para o uso dos conceitos fundamentais do MPI conforme já discutido.

Figura 3-9: Fluxograma para uso do MPI

Fonte: adaptado CARVALHO e BACK (2001)

Para Gadd [46], a TRIZ possui considerável vantagem sobre outros métodos aplicados à resolução de problemas inventivos. Métodos como *Brainstorming*,

mapeamento da mente, pensamento lateral, análise morfológica, etc., têm a capacidade de identificar ou revelar um problema e suas causas, mas não possuem a capacidade de realmente apontar soluções para o problema.

Figura 3-10: Processo sistemático de resolução de problemas da TRIZ

Fonte: traduzido de SAVRANSKY (2000) e GADD (2011)

Ainda para Gadd, uma característica central à TRIZ é o conjunto de soluções conceituais para problemas técnicos. Segundo o mesmo autor, para aplicar qualquer uma dessas soluções, um problema técnico específico e factual precisa ser reduzido a seus fundamentos e descrito num formato conceitual. Em sua forma conceitual, o problema então pode ser combinado com uma ou mais das soluções conceituais existentes dentro da TRIZ. A solução conceitual identificada posteriormente pode ser transformada em uma solução específica ao problema factual original conforme indica a Figura 3-10.

Segundo relata Barry, Domb e Slocum [53], existem três conclusões primárias das pesquisas em torno da TRIZ ao longo de sua evolução e que seguem descritas a seguir:

- Problemas e soluções são padrões repetitivos tanto na indústria quanto nas ciências sendo que a classificação das contradições, em cada problema, prediz as soluções criativas para esse problema;
- Padrões de evolução técnica repetem-se em setores da indústria e das ciências;

- Inovações criativas usam efeitos científicos fora do campo ou área onde foram desenvolvidas.

3.2.4 Dificuldades encontradas na aplicação da TRIZ

Segundo Ezickson [54], um completo entendimento da TRIZ requer investimentos substanciais em tempo e recursos, devido a sua extensa abrangência e natureza "misteriosa". Parte do mistério referido por Ezickson, é a dificuldade em escolher as ferramentas certas, daqueles que estão disponíveis dentro TRIZ. Para o autor, aplicar o conjunto errado de ferramentas muitas vezes resulta em um desperdício de esforço.

Segundo Zlotin et al. [43], mesmo após extensivo treinamento, muitos profissionais não aplicam a metodologia dentro de seu campo de atuação. Para o autor, há também uma compreensão errônea de que a TRIZ somente traz resultados positivos quando empregada por pessoas com aptidão criativa.

Eversheim [55] observou que a metodologia TRIZ não fornece uma sequência restrita ou um procedimento específico na aplicação de suas muitas ferramentas. Fato este que tem gerado um grande número de estudos sugerindo formas e meios de utilizar a metodologia.

Ilievbare, Probert e Phaal [56], após estudarem a metodologia, concluíram que há poucos exemplos de organizações renomadas que tenham obtido sucesso após terem aplicado a metodologia TRIZ. Isso, segundo os autores, se deve à complexidade do método e a falta de clareza quanto a sua forma de aplicação. Os mesmos autores ainda comentam que, mesmo após o surgimento da ARIZ (ferramenta de suporte na utilização passo-a-passo da TRIZ), a sua aplicação não se difundiu amplamente.

3.3 Sinergia entre o DT e a TRIZ

Analisando-se ambas as metodologias comparativamente, pode-se concluir que existem similaridades entre as mesmas tais como:

- Possuem um processo flexível e que pode se adaptar a situações específicas;
- Dão grande ênfase à parte analítica de 'definição do problema' delegando o sucesso do projeto a esta etapa;
- Permitem ciclos de iterações que culminam em geração de novas ideias até que se chegue numa proposta de solução;

- Têm potencial de gerar invenções ou inovações consideradas radicais ou disruptivas.

Para Hentschel e Czinki [57], ao mesmo tempo que as metodologias possuem similaridades, ambos os modelos também se complementam conforme ilustra a Tabela 3-5.

Tabela 3-5: Características complementares da DT e da TRIZ

	DT	TRIZ
Base do Processo	Baseado na criatividade	Baseado em dados e conhecimento
Aprendizagem / Aplicação	É fácil e amigável	Complexa e de difícil aplicação
Foco	No usuário	No sistema técnico
Resultado esperado	Dar o máximo de satisfação aos usuários	Idealidade do sistema técnico
Número de Ferramentas	Identificação do problema	Resolução do problema
Afinidade	Pessoas intuitivas	Pessoas analíticas

Fonte: adaptado de HENTSCHEL, CZINKI (2013)

Para o mesmo autor, quando se trata de TRIZ, há uma percepção de estar lidando com ferramentas altamente sofisticadas e um processo de aprendizagem muito demorado. Como proposta, os autores propõem a facilitação à compreensão da TRIZ pela utilização do DT como elemento mediador. Para os autores, a DT permite facilmente estabelecer um processo de inovação sistemática de maneira mais amigável ao mesmo tempo que abre caminho para uma maior aceitação e uma compreensão mais profunda da TRIZ.

Figura 3-11: Comparativo DT e TRIZ

Fonte: adaptado de HENTSCHEL, CZINKI (2013)

Este suporte da TRIZ à DT pode ocorrer justamente na etapa onde a DT mais carece de uma abordagem analítica e técnica que é dentro da sua fase de geração de ideias ou também chamada de fase 'ideação' conforme mostra a Figura 3-12.

Figura 3-12: Processo DT com o suporte da TRIZ

Fonte: adaptado de PLATTNER et. al. (2010)

No momento em que o DT identifica o problema e passa a idealizar ou a gerar ideias dentro de um processo livre e auxiliado pelo *Brainstorming* é que muitos erros podem ser gerados. Não raro há uma elevada quantidade de ideias de baixa qualidade levando a um alto grau de iterações dentro da fase inicial do PDP até que haja uma depuração das ideias ou até que se chegue a um consenso sobre o melhor conceito a ser levado às demais fases do projeto de desenvolvimento.

A ideia por trás do *Brainstorming* é que o julgamento está suspenso e não há ideia que seja considerada ruim. Isso incentiva as pessoas a falar sobre tudo o que vem à mente gerando, por vezes, uma quantidade muito grande de ideias. Quando o julgamento está suspenso o grupo pode ir rapidamente por um caminho cheio de ideias irrelevantes ou irrealistas gerando desperdício de tempo e inúmeros retrabalhos.

Como mencionado, a metodologia TRIZ apresenta uma abordagem mais técnica e analítica. Dentro desta metodologia encontramos ferramentas que podem ajudar na correta abordagem do problema como por exemplo a Análise Funcional e a definição do Resultado Final Ideal esperado. Há, ainda, um grupo de ferramentas sequenciais para o tratamento do problema até que se encontre uma solução, seja pela utilização dos Princípios de Engenharia ou pela Predição conforme ficou demonstrado na Figura 3-8.

Desta forma, a combinação dos modelos da DT e da TRIZ como proposto na Figura 3-12, se aplicados corretamente à fase inicial de um APQP, podem trazer incrementos reais de qualidade e assertividade a projetos de desenvolvimento de novos produtos, bem como aumentar as chances de que inovações mais radicais ocorram, deixando de ser assim, apenas um processo para garantir a qualidade do produto final.

3.4 Utilizado o DT e a TRIZ como suporte ao APQP

Uma vez concluído que as metodologias do DT e do TRIZ podem atuar de maneira sinérgica, será também de interesse deste estudo, aplicar a metodologia resultante para auxiliar o APQP. Como ilustra a Figura 2-8, a metodologia do APQP está baseada sobre a lógica de que os requisitos do cliente foram corretamente compreendidos e definidos pelo time no início do projeto, abolindo, desta forma, uma possível etapa de conceito dentro de seu fluxograma. No entanto, na prática, muitos problemas carecem de tratamentos e estudos adicionais até que se consiga elaborar uma lista de requisitos. Esse projeto, em primeiro lugar, se propõe delimitar uma fase de 'Conceito' dentro do fluxograma esquemático da Figura 2-8, criando desta forma, um 'espaço' para geração e refinamento de ideias dentro do APQP conforme ilustra a Figura 3-13.

Figura 3-13: Novo fluxograma proposto do APQP

Fonte: o autor (2016)

Como já mencionado, é exatamente no início que a metodologia combinada da DT e da TRIZ pode trazer sua maior contribuição ao APQP, mais especificamente, dentro da nova fase incluída e que convencionamos chamar de 'Fase Conceito'. Será dentro desta etapa que aplicaremos a metodologia do DT auxiliada pela TRIZ conforme ilustra a Figura 3-14.

Figura 3-14: Fluxograma proposto para o APQP com o suporte da DT e TRIZ

Fonte: o autor (2016)

Dentro deste fluxograma esquemático proposto, a DT, suportada pela TRIZ, será aplicada antes das demais fases do APQP. Elimina-se então a premissa de que todos os requisitos do cliente estejam definidos. Abre-se desta forma uma oportunidade para explorar com mais profundidade o problema a ser resolvido bem como permite uma

etapa de ideação e escolha da solução baseada e suportada por critérios mais objetivos utilizando a TRIZ.

Outra forma de se compreender a aplicação do DT e da TRIZ ao processo de APQP é através da visualização da Figura 2-7, no entanto, com a inserção da DT e da TRIZ como fica demonstrado na Figura 3-15.

Fonte: o autor (2016)

Observando Figura 3-15, entende-se que a proposta do uso das metodologias do DT e da TRIZ será na fase inicial do APQP iniciando na exploração do problema e se estendendo até uma etapa de prototipagem onde o conceito final é escolhido para ser então levado às demais fases do APQP. Vale salientar que a 'prototipagem' aqui mencionada é aquela própria ao DT e que não substitui as etapas de prototipagem muito comuns no processo de implantação do APQP.

3.5 Modelo proposto de um PDP automotivo

Não será o escopo deste estudo abranger ou aplicar todas as ferramentas da DT ou da TRIZ, mas dar atenção e foco àquelas que poderiam suportar a geração e a tratativa das ideias. Abrir-se-á mão das etapas ou ferramentas do DT e da TRIZ que tem como finalidade ou característica principal a implementação de uma solução já previamente escolhida, uma vez que esta função está delegada ao próprio APQP como fica demonstrado na Figura 3-16.

Figura 3-16: Processo proposto para o PDP automotivo

Fonte: o autor (2016)

Dentro deste fluxograma esquemático da Figura 3-16, têm-se 4 etapas de atividades.

Na primeira etapa, a metodologia do DT será usada, para entender e aprofundar conhecimento sobre o problema bem como para defini-lo em termos técnicos. Para este fim utilizar-se-á de duas fases:

- Fase 1: esta fase será denominada de 'Entender' e seu objetivo é compreender o problema através de um levantamento feito com o uso da Pesquisa Secundária¹⁷;
- Fase 2: esta fase será denominada de 'Observar' e seu objetivo é aprofundar a compreensão do problema obtida na fase anterior através de pesquisa primária¹⁸ (observação *in loco*, questionário técnicos etc) com o objetivo de se adquirir uma compreensão profunda e ampla do problema a ser tratado.

Ao final deste bloco de atividades, é esperado que haja uma clara definição do problema a ser resolvido bem como do escopo do projeto.

¹⁷ Utilização de dados que já foram coletados para outros objetivos e poderão ser úteis para a resolução do problema a ser resolvido.

¹⁸ Utilização de dados que ainda não foram antes coletados – tratam-se de dados que são pesquisados com o objetivo de atender às necessidades específicas do projeto em andamento.

Na segunda etapa, a metodologia da TRIZ será usada, para tratar o problema identificado na etapa 1, trazendo ao final, propostas de soluções que terão seus respectivos conceitos materializados. Esta etapa é conduzida através de 3 fases:

- Fase 1: esta fase será denominada de 'Analisar' e seu objetivo será o de classificar o problema segundo a ótica da TRIZ para que as ferramentas corretas sejam escolhidas para tratar o problema na fase seguinte;
- Fase 2: esta fase será denominada de 'Aplicar' e seu objetivo será o de levantar possíveis soluções ao problema utilizando as ferramentas da TRIZ;
- Fase 3: esta fase será denominada de 'Avaliar' e seu principal objetivo é selecionar, dentre as propostas de soluções advindas da fase anterior, aquelas soluções que mais se aproximam do 'Resultado Final Ideal'.

Na terceira etapa, a metodologia do DT será usada novamente, com o objetivo de materializar as soluções ou conceitos de produto geradas na etapa anterior, de tal forma que, os usuários do produto, possam opinar sobre o mesmo gerando melhorias ou mesmo descartando ou aprovando as soluções propostas. Esta etapa é conduzida em 2 fases conforme segue:

- Fase 1: esta fase será denominada de 'Prototipar' e consiste em tornar os conceitos trazidos da etapa anterior em objetos materiais ou digitais que possam ser avaliados pelos usuários finais;
- Fase 2: esta fase será denominada de 'Testar' e seu objetivo é o de avaliar os protótipos da solução que foram geradas na fase anterior bem como entrevistar os usuários finais coletando suas opiniões e assistindo *in loco* ao uso ou manipulação do protótipo virtual ou físico.

Ao final, a solução que melhor atender as necessidades gerais dos usuários finais – percebidas e não percebidas – será escolhida para adentrar à fase de implementação. Eventualmente, caso a solução seja reprovada ou necessite de melhoria, o projeto retorna à etapa 2 do processo de desenvolvimento. A solução ou conceito oriunda desta etapa adentrará, então, à fase de implementação que será integralmente conduzida pela metodologia do APQP juntamente com toda a sua gama de ferramentas. O objetivo aqui é tornar o conceito selecionado num produto que possa ser comercializado ou vendido. Entende-se por produto comercializável aquele que pode ser produzido em larga escala dentro de um processo de manufatura estável,

obedecendo a requerimentos de qualidade e de custo a fim de gerar valor aos seus usuários.

Não será, portanto, como já mencionado anteriormente, o objetivo desta pesquisa tratar sobre a etapa 4 de atividades pois a mesma é pertinente ao processo já bastante conhecido do APQP e trata da implementação da solução e não da sua criação ou geração.

Dentro desta pesquisa, todo o esforço estará em conduzir as atividades contidas nas etapas 1 a 3 e que tratam da geração da solução ou soluções até que um protótipo físico ou digital seja aprovado pelos seus usuários finais.

4 ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de verificar a eficácia do modelo proposto, o mesmo foi aplicado a um projeto de desenvolvimento de uma nova guarnição de carroceria que é aplicado na região da porta de veículos automotivos leves. Esta guarnição tem como função primária isolar o interior do veículo contra a entrada de agentes externos tais como humidade, poeira, vento e até mesmo ruídos.

Para trabalhar neste projeto foram selecionadas 3 empresas e um total de 7 pessoas para integrar a equipe do projeto, sendo distribuídos entre as empresas que compõe a cadeia de fluxo de valor da guarnição conforme ilustra a Tabela 4-1. Todas as empresas são multinacionais do setor automotivo localizadas no Brasil e que optaram por não terem seus nomes divulgados.

Tabela 4-1: Descrição das empresas participantes do projeto

Participante	Motivo para participar do projeto	Área / Quantidade pessoas na equipe
Montadora de Veículos	<ul style="list-style-type: none"> • Aplica a guarnição no carro • Recebe informações dos consumidores de veículos sobre a performance da guarnição • Interessada em projetos de redução de massa • Projeto o veículo 	<ul style="list-style-type: none"> • Eng. de carroceria / 1 • Eng. de portas / 1 • Eng. interior / 1
Fabricante da Guarnição	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrica a guarnição • Fornece peças diretamente para a montadora de veículos (Tier 1) • Influencia a engenharia da carroceria 	<ul style="list-style-type: none"> • Eng. produto / 1 • Eng. processo / 1
Fornecedor Insumos	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa química com perfil inovador do seguimento automotivo • Fornece insumos para a Fabricante da Guarnição (Tier 2) • Fornecedora produtos e tecnologias automotivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Eng. inovação / 1 • Laboratório / 1

Fonte: o autor (2016)

Quanto ao objetivo ou meta principal do projeto, o mesmo era o de encontrar uma nova solução de guarnição de carroceria que pudesse trazer uma significativa redução

de massa frente às soluções adotadas atualmente pela indústria automotiva. Este objetivo deveria ser alcançado sem, no entanto, comprometer o custo total das soluções atuais. Entende-se por custo total aquele custo oriundo das somas de todos os custos relativos à produção da guarnição bem como os custos posteriores advindos da aplicação da peça no veículo e posteriormente sua manutenção durante a vida útil do carro. Neste estudo de caso, não foi tratado do custo de manutenção durante a vida útil da peça, apenas dos custos de fabricação desta guarnição (custos realizados pela fabricante da guarnição) e custo da aplicação da guarnição no carro (custos realizados pela montadora de veículos).

A metodologia apresentada na Figura 3-16 foi então aplicada para resolver o problema de projeto exposto acima e, para o propósito desta pesquisa, o sucesso da mesma seria atingido se os requisitos abaixo fossem atendidos na sua integralidade:

1. Todos os objetivos primários do projeto forem atendidos;
2. A solução apresentada seja passível de ser reproduzida em escala;
3. A solução apresentada seja considerada uma ruptura tecnológica frente aos conceitos vigentes de guarnição de carroceria na indústria automotiva.

Levando-se em conta o cenário de pouca inovação da indústria automotiva no tocante a guarnições de carroceria, foi considerado uma ruptura toda e qualquer solução que apresentasse, pelo menos, uma das seguintes características:

- Trouxesse uma alteração significativa no conceito e na construção do produto quando comparado àquilo que é usado atualmente pela indústria automotiva;
- Ocorresse uma mudança significativa em seu processo produtivo, com redução significativa de custos ou elevação na qualidade percebida do produto junto aos usuários finais (montadora e comprador do veículo);
- Mudasse a forma de se aplicar o produto na linha de montagem da montadora trazendo redução de custo ou melhorias ergonômicas e de qualidade final significativas.

4.1 Guarnições de porta aplicadas na carroceria

Guarnições compostas de uma espuma de célula fechada para vedar possíveis entradas de ar e humidade no interior dos veículos, têm sido o padrão da indústria

automotiva desde a década de 1950 quando as primeiras patentes começaram a surgir com mais intensidade.

De maneira geral as guarnições são aplicadas tanto na carroceria ao redor de aberturas – tais como abertura das portas e do porta-malas – como também na própria porta ou peça basculante, perfazendo o perímetro da mesma.

Figura 4-1: Guarnições de carroceria e de porta

Fonte: adaptado de VOLKSWAGEN MANUAL (2017) extraído <http://workshop-manuals.com/volkswagen/golf-mk4/body/general_body_repairs_exterior/>

Para vedar uma porta, por exemplo, pode-se optar por uma ou mais guarnição apenas na carroceria ou apenas na porta, ou ainda por ambas de maneira a conferir um grau maior de vedação. Caso ambas as guarnições forem escolhidas para um determinado projeto, então as guarnições da carroceria poderão ser chamadas de primárias (marcações 1 e 2 da Figura 4-1) e as guarnições da porta poderão ser identificadas como guarnições secundárias (marcações 3 e 4 da Figura 4-1).

Guarnições, de maneira geral, possuem um bulbo ou região tubular que existe para prover interferência entre a porta e a carroceria. Possuem ainda um elemento de fixação para garantir que a guarnição fique aderida à estrutura da carroceria ou da porta respectivamente conforme indica a Figura 4-2. Quando a porta está fechada, o bulbo da guarnição, flexiona de acordo com o nível de interferência mecânica que se

quer dar entre as estruturas – porta e carroceria. Geralmente, quanto maior a interferência, melhor será a função de vedação exercida por esta guarnição.

Boa vedação entre portas e as suas respectivas aberturas na carroceria de um veículo são de grande importância para garantir que os passageiros do interior do veículo estejam isolados de condições climáticas adversas tais como chuva bem como entrada de jatos de ar demasiados frios ou quentes. Considerando que o carro se desloca através do ar, também é importante se considerar o conforto acústico dos passageiros no sentido de se minimizar ruídos que se propagam pelo ar. Deve ser ressaltado, no entanto, que um alto grau de interferência entre a estrutura da porta e da carroceria, pode levar à necessidade de um esforço muito alto para se obter o devido fechamento da porta.

Figura 4-2: Seção transversal de uma guarnição de carroceria

Fonte: ZORO INC. (2017) extraído <<https://www.zorocanada.com/g/00117009/>>

Tratando especificamente da guarnição primária, ou da guarnição que vai fixada à carroceria do veículo, a mesma passou a ser utilizada com mais frequência em projetos de veículos a partir da década de 1960. Até então, meados de 1958, as guarnições, quando existentes, eram fixadas na carroceria do veículo através de um processo de adesão por cola líquida ou pastosa dentro de um canal que era soldado no perímetro da abertura da porta, sem que houvesse a devida automação para uma aplicação eficiente da cola durante os processos de fabricação em massa de veículos. Em 1958, surge então a primeira patente de Hofmeister [58], que introduzia o conceito de fixação da guarnição por encaixe, utilizando para isso 2 perfis – um macio para a

vedação e outro mais rígido para a fixação que se dava por encaixe em um perfil soldado à carroceria e apropriado para esse fim.

Em 1961 Zoller [59] e também em 1964 Weimar [60] introduziram o conceito de uma guarnição única – contendo num único perfil – um elemento rígido com insertos metálicos para fixação e um elemento macio para vedação. Estes perfis poderiam admitir diversas configurações através de adaptações da geometria do elemento rígido, do inserto metálico contido dentro deste perfil rígido, bem como do elemento macio de vedação.

A partir de então, pouca evolução ocorreu com as guarnições de porta que são aplicadas na carroceria. As patentes que se seguiram tratam apenas de melhorias incrementais com relação à forma, ora do elemento fixador, ora do elemento de vedação. Várias destas patentes podem ser descritas na Tabela 4-2.

Tabela 4-2: Evolução das patentes de guarnição de carroceria

Data	Inventor	Geometria Guarnição
1970	Niemanns [61]
1970	Kruschwitz [62]

1975

Bright [63]

1975

Prikkel [64]

1985

Iwasa [65]

1986

Hashimoto [66]

2000

Masahiro [67]

2003 Watanabe [68]

2007 Leung [69]

2012 Jonsson [70]

Fonte: o autor (2016)

Com o passar do tempo, estas guarnições passaram a ter uma região específica na carroceria do carro para a sua aplicação, normalmente sobre um flange de união das chapas metálicas das estruturas internas e externas da carroceria. Foram agregando ainda, elementos ou partes com função estética e de acabamento, normalmente denominadas de 'lábio de acabamento', que são projeções do perfil para ocultar aberturas e terminações da carroceria.

Outra observação importante é que o nível de complexidade e a quantidade de massa que as guarnições foram ganhando com o tempo, acabaram por agregar peso ao veículo. Um exemplo é a utilização cada vez maior de insertos ou perfis metálicos imersos na massa polimérica da parte mais rígida da guarnição. Estes insertos têm a finalidade de garantir o correto encaixe da guarnição sobre o flange da carroceria ao longo do perímetro da abertura da porta, bem como trazer estabilidade dimensional e a rigidez necessária à mesma.

Quanto a sua cadeia de fornecimento, as guarnições iniciam a mesma sendo produzidas pelos denominados 'borracheiros' – nome dado pela indústria automotiva nacional às empresas que fazem uso de borracha ou EPDM¹⁹ como insumo principal de seu processo produtivo. Após a fabricação das guarnições, as mesmas são enviadas para as montadoras de veículos que, por sua vez, fazem a aplicação da guarnição na carroceria do veículo durante o processo de montagem do mesmo. Por fim as guarnições são vendidas em conjunto com o veículo para o usuário final que é quem deverá usufruir dos principais benefícios para os quais a guarnições são desenhadas: vedação.

4.2 Etapa 1: aplicação do DT

Conforme já mencionado, o objetivo principal da Etapa 1 é entender e delimitar com clareza o escopo do problema utilizando para isso 2 fases:

- Fase 1: entender o problema utilizando pesquisa secundária;
- Fase 2: observar *in loco* os usuários finais e entender dificuldades, requisitos e mesmo necessidades não percebidas pelo usuário.

Na Etapa 1 do projeto é aplicado o DT conforme ilustra a Tabela 4-3.

Tabela 4-3: Etapa 1: utilização do DT

Fases	ENTENDER	OBSERVAR
Objetivo	Buscar informações sobre o problema	Observar ocorrência do problema
Suporte	DT	DT
Ferramentas	-Pesquisa Secundária	-Entrevistas técnicas - Visitas 'in loco'

Fonte: o autor (2016)

4.2.1 Fase 1: entender

Durante a Fase 1 do projeto as seguintes atividades foram realizadas:

¹⁹ Monômero de etileno propileno-dieno popularmente conhecido como 'borracha'.

- Levantamento de todo o conhecimento disponível dentro da equipe do projeto e também dentro das empresas participantes através de busca em base de dados de projetos anteriores;
- Utilização de ferramentas de busca na internet para a obtenção de possíveis informações abertas ao público sobre a utilização das guarnições no Brasil e no mundo;
- Busca por artigos ou materiais técnicos através de consulta a bancos de dados disponíveis em faculdades ou em órgãos governamentais tais como o Portal de Periódicos da CAPES [71] entre outros;
- Busca de informações junto a entidades setoriais tais como ANFAVEA [72] e SINDIPEÇAS [73];
- Busca por patentes para entender o estado da arte atualmente em uso utilizando ferramentas de busca *online*;
- Visita a concessionárias de veículos de diferentes marcas para entender visualmente as tecnologias em uso.

4.2.2 Fase 2: observar

Durante a Fase 2 do projeto as seguintes atividades foram realizadas:

- Reuniões *in loco* realizadas na montadora de veículos para reunir e discutir o aprendizado obtido na fase anterior;
- Discussão de desenhos e modelos matemáticos das peças de interface à guarnição tais como porta, carroceria e peças de acabamento interno do veículo;
- Visualização e discussão das normas existentes bem como sua abrangência e suas limitações;
- Visitas técnicas à planta que fabrica as guarnições com o objetivo de entender limitações do processo atual de fabricação das guarnições bem como possibilidades de adaptações ou melhorias;
- Visitas técnicas com realização de entrevistas e de filmagens junto aos operadores que aplicam a guarnição no carro na linha da montadora a fim de observar procedimentos e dificuldades bem como questões ergonômicas de todo o processo de aplicação.

4.2.3 Resultados

Como saídas ou resultados da Etapa 1, as seguintes definições precisavam estar claras e bem delimitadas:

- A. Definição do estado atual (qual o sistema técnico que se quer melhorar e como ele está definido atualmente em termos das variáveis que se quer melhorar);
- B. Definição dos objetivos primários e secundários do projeto (qual é a melhoria quantitativa ou qualitativa que se quer alcançar nestas variáveis);
- C. Delimitações do escopo do projeto (quais variáveis importantes serão monitoradas ao longo de todo o projeto – eventualmente pode-se listar também todas as variáveis que estarão fora do escopo do projeto).

Quanto ao tópico A, a Figura 4-3 e a Tabela 4-4 apresentam as informações que dão uma clara definição do estado atual do sistema técnico.

Figura 4-3: Dimensões da guarnição atual utilizado pela montadora de veículos

Fonte: MONTADORA DE VEÍCULOS (2016)

Tabela 4-4: Informações de peso e custo da guarnição de carroceria atual

Descrição da Peça	Comprimento	Peso	Custo Peça ²⁰
Guarnição Frontal	3,5 m	1,27 kg	R\$ 5,50

²⁰ Custo para manufaturar a guarnição no fabricante (matéria-prima mais mão-de-obra, tempo de máquina) da guarnição sem levar em conta depreciação de equipamentos nem eventuais acréscimos de margem de lucro. Para este projeto os valores de custo utilizados são fictícios e servem apenas para ilustrar o estudo de caso.

Guarnição Traseira	3,2 m	1,17 kg	R\$ 5,00
Total (veículo 4 portas)	13,4 m	4,88 kg	R\$ 21,00

Fonte: MONTADORA DE VEÍCULOS (2016)

Todas estas informações são exatas e representam a realidade do projeto – únicas exceções são as informações de custo que, embora proporcionais entre si, retratam valores fictícios.

Quanto ao tópico B, têm-se as seguintes definições de objetivos:

- Objetivo primário: um novo conceito de guarnição de carroceria que apresente redução de massa significativa (maior que 40%²¹) frente aos conceitos atuais e que foram descritos em tópicos anteriores;
- Objetivo secundário: manutenção ou redução do custo total (custo peça e custo da operação de aplicação da peça na carroceria do veículo).

Como variáveis de controle do projeto, têm-se as seguintes definições ou requisitos:

- Variáveis de controle do fabricante da guarnição:
 - Nova solução deve utilizar o processo produtivo atual da fabricante da guarnição sem que haja alteração no layout²² da fábrica;
- Variáveis de controle da guarnição final:
 - Manter performance de selagem frente ao conceito atual (teste de selagem ao pó, humidade e ruído conforme normativo da montadora de veículo);
 - Manter esforço necessário de arrancamento da guarnição da carroceria após aplicação (teste instantâneo e após envelhecimento conforme normativa da montadora de veículos);
 - Ser uma peça com dimensões estáveis sem prejuízo da operação de manipulação da peça durante o transporte e instalação na linha de montagem;

²¹ Melhoria mínima necessária imposta pela montadora de veículos para justificar uma alteração do conceito atual.

²² Técnica utilizada para definir a distribuição e disposição física dos componentes da área de produção. O objetivo é organizar o espaço físico do chão de fábrica localizando os equipamentos e postos de trabalho de forma a obter maior eficiência na produção.

- Inserção da guarnição na carroceria deve ser ergonomicamente viável;
- Adaptar aos raios da porta da carroceria sem que haja soltura tampouco enrugamento da mesma nestas áreas críticas;
- Guarnição precisa assentar sobre flange existente no projeto da carroceria do veículo e que compreende o encontro de chapas da estrutura interna e externa da carroceria, devendo atender, desta forma, às possíveis variações das espessuras das chapas, do espaçamento entre as chapas, bem como da altura e ângulo do flange ao longo de todo o perímetro do vão de porta;
- Adaptar às peças de acabamento do interior do veículo atuais sem que haja necessidade de um novo projeto destas peças;
- Variáveis de controle da operação de aplicação da guarnição:
 - Manter produtividade da operação de montagem;
 - Atingimento dos padrões atuais de qualidade;
 - Avaliação e aprovação dos aspectos ergonômicos da nova solução;
 - Deverá fazer parte do projeto uma proposta de dispositivo de aplicação (caso seja necessário);
 - A forma de montagem deve ser do tipo *push-on* (encaixe) não podendo ser do tipo *crimping* (cravamento);
 - Não poderá haver alteração da estação de aplicação da guarnição na carroceria dentro da linha da montadora.

Como prazo de desenvolvimento, têm-se a seguinte definição:

- O prazo 12 meses (este é normalmente o prazo que se tem para desenvolver uma guarnição a partir da conclusão do desenho da carroceria).

4.3 Etapa 2: aplicação da TRIZ

Na Etapa 2 do projeto foi aplicado o TRIZ conforme ilustra a Tabela 4-5.

Tabela 4-5: Etapa 2: utilização da TRIZ

2: Tratamento do Problema		
ANALISAR	APLICAR	AVALIAR
Classificar o problema	Levantar soluções	Avaliar soluções
TRIZ	TRIZ	TRIZ
-Análise funcional -Resultado ideal -Recursos -Zona de conflito	-Princípios -Predição -Efeitos	-Resultado ideal -Matriz de Pugh

Fonte: o autor (2016)

Conforme já mencionado, o objetivo principal da Etapa 2 é tratar o problema identificado na Etapa 1, trazendo ao final, propostas de soluções que terão seus respectivos conceitos materializados na etapa subsequente. Esta etapa é conduzida através de 3 fases como descrito a seguir:

- Fase 1: classificar o problema segundo a ótica da TRIZ;
- Fase 2: levantar possíveis soluções ao problema utilizando as ferramentas da TRIZ;
- Fase 3: selecionar, dentre as propostas de soluções advindas da fase anterior, aquelas soluções que mais se aproximam do ‘Resultado Final Ideal’ (RFI).

4.3.1 Fase 1: analisar

Para dar início a esta etapa, um dos primeiros passos é definir o Sistema Técnico (ST) em análise e, para isso, utilizaremos os passos descritos por Carvalho e Back [52] e que estão listados a seguir:

1. Identificação da função ou funções principais do ST;
2. Identificação dos principais elementos do ST e de suas funções;
3. Descrição do funcionamento do ST;
4. Levantamento dos recursos;
5. Identificação das características desejadas a serem melhorada ou da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada no ST;
6. Formulação do RFI.

Tabela 4-6: Aplicação das ferramentas da TRIZ na fase de análise do problema

Passo da TRIZ	Resultado / Resposta
Identificação (nome) do ST	Guarnição primária aplicada sobre a carroceria na região de vão de porta
1. Identificação da função ou funções principais do ST	Promove vedação quando a porta do veículo está fechada;
2. Identificação dos principais elementos do ST e de suas funções	Elemento de fixação Bulbo de vedação Lábio de acabamento Flange da carroceria no vão de porta Dispositivo de aplicação
3. Descrição do funcionamento do ST	<p>A guarnição primária é formada por 3 perfis de massa polimérica que são coextrudados²³ ao mesmo tempo. O primeiro destes perfis é chamado de 'elemento de fixação' e é formado por uma massa polimérica rígida contendo travas e também uma alma metálica para promover a adequada fixação da guarnição no flange do vão de porta. O encaixe é feito utilizando um dispositivo formado por roldanas que fazem a inserção do perfil da guarnição sobre o flange e que, manualmente, corre todo o perímetro do vão de porta realizando a conformação desse perfil sobre o flange.</p> <p>A guarnição contém ainda um segundo perfil formado por uma massa polimérica esponjosa em formato de um bulbo – oco e flexível – sustentado pelo elemento de fixação que, quando a porta do veículo está fechada e o elemento de fixação está fixado no flange, o mesmo se conforma com a lateral da porta do carro impedindo que ar, pó, humidade e ruído adentrem o interior do veículo através do espaçamento formado entre as chapas metálicas da carroceria e da porta quando a mesma está fechada. Eventualmente essas guarnições podem agregar um terceiro perfil que possui a função de acabamento estético ao longo da carroceria do vão de porta apontando para o lado de dentro do veículo – normalmente chamado de 'lábio de acabamento',</p>

²³ Processo mecânico de produção de componentes de forma contínua onde um material ou diversos materiais são forçados através de uma matriz adquirindo assim a forma pré-determinada pela forma da matriz projetada para a peça.

	sendo o mesmo também sustentado pelo elemento fixador da guarnição.
4. Levantamento dos recursos	<p>Recursos de Substância: acabamentos internos do veículo, carroceria do veículo, faces do flange do vão de porta.</p> <p>Recurso de Energia: elétrica, gravitacional, calor do ambiente, energia química oriunda de bateria ou pilha, combustível.</p> <p>Recursos de Campo: gravitacional, eletromagnético, linha de ar pressurizada.</p> <p>Recurso de tempo: tempo de produção da guarnição no fabricante da mesma, tempo de montagem da guarnição na linha da montadora de veículos.</p>
5. Identificação das características desejadas a serem melhorada ou da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada no ST	<p>Características a serem mantidas ou melhoradas: vedação, tempo de montagem, qualidade final, acabamento estético, custo unitário da guarnição no nível do fabricante.</p> <p>Característica a ser reduzida: massa da guarnição.</p>
6. Formulação do RFI	Guarnição mais eficiente na vedação, mais fácil de aplicar, com menor custo de produção e com uma redução superior a 40% da sua massa.

Fonte: o autor (2016)

Após concluída a fase de definição do ST, a próxima etapa, conforme ilustra a Figura 3-8, é realizar a Análise Funcional do ST em estudo.

A Análise Funcional ajuda a realizar uma reflexão objetiva sobre o problema pois a mesma identifica as relações lógicas entre os elementos constituintes do ST. Ao se organizar a Análise Funcional dentro de um diagrama esquemático, facilmente pode se perceber todas as funções que são consideradas necessárias bem como aquelas consideradas desnecessárias e até mesmo prejudiciais. No caso deste estudo de caso, a função prejudicial mais importante é a de 'acúmulo de massa' que cada um dos elementos pode causar ao sistema.

Existem diversos métodos que tratam sobre Análise Funcional. Makino, Sawaguchi e Miyata [74] abordam a utilização da Análise Funcional dentro de diversas metodologias, entre elas a TRIZ. Há ainda outras metodologias muito difundidas como

é o caso da FAST (Function Analysis System Thechnique) descrita por Bytheway [75]. Para este estudo de caso, por se tratar de um projeto de eliminação de massa do sistema, foi mais apropriado aplicar a metodologia do Trimming, descrita por Sheu e Hou [76], e que consiste basicamente na identificação de cada componente e suas respectivas funções dentro do ST tal como ilustra a Figura 4-4, bem como a posterior eliminação de componentes que causam funções indesejadas ao sistema.

Figura 4-4: Diagrama função-componente

Fonte: traduzido de SHEU e HOU (2015)

Segundo os autores, quando um componente A atua sobre um componente B, se certos atributos (parâmetros) do componente B são alterados ou mantidos devido a esta ação, então o componente A fornece a função para o componente B. Neste caso, a ação se torna uma função. O Componente A é chamado de 'Operador de Função' ou 'Ferramenta'. O componente B é chamado de 'Objeto da Função', ou simplesmente 'Objeto'.

Após o sistema ser definido em termos de seus componentes e respectivas funções, todas aquelas que forem consideradas funções indesejadas poderão ser identificadas e, possivelmente, eliminadas do sistema conforme indica a Figura 4-5.

Figura 4-5: Diagrama funcional do sistema técnico em estudo

Fonte: o autor (2016)

Após concluído o diagrama funcional do ST, e, conforme o método de *Trimming* proposto por Sheu e Hou [76], uma série de reflexões podem ser feitas sobre o sistema e que já servirão de inspiração na geração de propostas de soluções.

Tabela 4-7: Aplicação do método de 'Trimming' conforme proposto por Sheu e Hou [76]

Ferramentas	Funções	Objetos	Pontos de Reflexão
Dispositivo	Encaixar	Elemento Fixação (EF)	Posso eliminar o EF?
Dispositivo	Encaixar	EF	Posso não encaixar o EF?
Dispositivo	Encaixar	EF	Posso fazer com que o EF se encaixe por si?
Dispositivo	Encaixar	EF	Existe algum outro recurso que pode ser usado para encaixar o EF no flange?
Dispositivo	Encaixar	EF	Existe a possibilidade de substituir o Dispositivo por algo mais eficiente?
Dispositivo	Encaixar	Flange Carroceria (FC)	Posso eliminar a FC?
Dispositivo	Encaixar	FC	Posso não encaixar a FC?
Dispositivo	Encaixar	FC	Posso fazer com que a FC se encaixe por si?
Dispositivo	Encaixar	FC	Existe algum outro recurso que pode ser usado para encaixar a FC?
Dispositivo	Encaixar	FC	Existe a possibilidade de substituir o Dispositivo por algo mais eficiente?
Flange Carroceria (FC)	Sustenta	Elemento Fixação (EF)	Posso eliminar o EF?
FC	Sustenta	EF	Posso não sustentar o EF?
FC	Sustenta	EF	Posso fazer com que o EF se sustente por si?
FC	Sustenta	EF	Existe algum outro recurso que pode ser usado para sustentar o EF no flange?
FC	Sustenta	EF	Existe a possibilidade de substituir a FC por algo mais eficiente?
Elemento Fixação (EF)	Sustenta	Bulbo	Posso eliminar o Bulbo?
EF	Sustenta	Bulbo	Posso não sustentar o Bulbo?

EF	Sustenta	Bulbo	Posso fazer com que o Bulbo se sustente por si?
EF	Sustenta	Bulbo	Existe algum outro recurso que pode ser usado para sustentar o Bulbo?
EF	Sustenta	Bulbo	Existe a possibilidade de substituir a EF por algo mais eficiente?
Elemento Fixação (EF)	Sustenta	Lábio acabamento (LA)	Posso eliminar o LA?
EF	Sustenta	LA	Posso não sustentar o LA?
EF	Sustenta	LA	Posso fazer com que o LA se sustente por si?
EF	Sustenta	LA	Existe algum outro recurso que pode ser usado para sustentar o LA?
EF	Sustenta	LA	Existe a possibilidade de substituir a EF por algo mais eficiente?
Elemento Fixação (EF)	Encaixa	Flange Carroceria (FC)	Posso eliminar o FC?
EF	Encaixa	FC	Posso não encaixar o FC?
EF	Encaixa	FC	Posso fazer com que o FC se encaixe por si?
EF	Encaixa	FC	Existe algum outro recurso que pode ser usado para encaixar o FC?
EF	Encaixa	FC	Existe a possibilidade de substituir a EF por algo mais eficiente?
Bulbo	Veda	Veículo	Posso eliminar o veículo?
Bulbo	Veda	Veículo	Posso não selar o veículo?
Bulbo	Veda	Veículo	Posso fazer com que o veículo se vede por si?
Bulbo	Veda	Veículo	Existe algum outro recurso que pode ser usado para vedar o veículo?
Bulbo	Veda	Veículo	Existe a possibilidade de substituir a Bulbo por algo mais eficiente?

Lábio Acabamento (LA)	Embeleza	Veículo	Posso eliminar o veículo?
LA	Embeleza	Veículo	Posso não embelezar o veículo?
LA	Embeleza	Veículo	Posso fazer com que o veículo se embeleze por si?
LA	Embeleza	Veículo	Existe algum outro recurso que pode ser usado para embelezar o veículo?
LA	Embeleza	Veículo	Existe a possibilidade de substituir a LA por algo mais eficiente?

Fonte: o autor (2016)

Considerando que da Análise Funcional da Figura 4-5, o Elemento de Fixação (EF) é o grande responsável pelo aumento de massa do ST, as seguintes reflexões oriundas da Tabela 4-7 nos ajudam a direcionar o trabalho na próxima fase:

- a. Posso não sustentar o bulbo?
- b. Posso fazer com que o bulbo se sustente por si?
- c. Existe algum outro recurso que pode ser usado para sustentar o bulbo?
- d. Existe a possibilidade de substituir-se a EF por algo mais eficiente?

4.3.2 Fase 2: aplicar

Após concluída a delimitação do ST e a Análise Funcional, deve-se então, conforme a Figura 3-8, responder à seguinte pergunta: ‘Sabe-se o que fazer?’. É comum que durante a fase anterior, de análise, ideias para se resolver o problema comecem a aparecer. No entanto, terminada a parte da análise do ST, a próxima fase busca tratar o problema implementando as ferramentas da TRIZ. Seguem 3 possíveis cenários de respostas à pergunta acima considerando o ST em estudo:

- A. Sabe-se onde se quer chegar (qual será o estado final), mas não se sabe como;
- B. Não se sabe ainda onde se quer chegar (não há ainda uma ideia formada de como seria o estado final do sistema após a implementação da melhoria);
- C. Sabe-se onde se quer chegar, mas para chegar lá, outra variável ficará prejudicada (há uma contradição no sistema).

É com base nos cenários acima que um caminho será seguido ou evitado. Não foi o foco deste estudo de caso se aprofundar por demais nas ferramentas que a TRIZ pode

proporcionar. Eventualmente, diante de um problema extremamente complexo, mais de um caminho poderia ser adotado na tentativa de resolvê-lo.

Como exemplo, para tratar problemas tais como o descrito no cenário 'A', a ferramenta, ou grupo de ferramentas mais indicada pela TRIZ são aquelas vinculadas à conhecida Matriz de Efeitos. Segundo Domb e Dettmer [49], a Matriz de Efeitos faz uso da ciência e da engenharia fenomenológica de efeitos fora da disciplina em que foram desenvolvidos. As ferramentas incluem bases de dados, enciclopédias científicas e pesquisas da literatura técnica para encontrar formas alternativas para alcançar as funções necessárias para resolver o problema.

Para tratar problemas tais como o descrito no cenário 'B', a ferramenta, ou grupo de ferramentas mais indicada pela TRIZ são aquelas vinculadas ao grupo de Predição e que tentam traçar um possível prognóstico de qual será o próximo passo evolutivo de uma tecnologia. Ainda segundo Domb e Dettmer [49], a TRIZ identifica 8 padrões de evolução técnica conforme já citado no capítulo anterior. Os projetos de sistemas, subsistemas ou componentes podem ser movidos deliberadamente para o próximo estágio superior dentro de um padrão específico, uma vez que o padrão é identificado. Os oito padrões, conforme já citado, são:

1. Idealidade aumentada;
2. Etapas da evolução;
3. Desenvolvimento não uniforme dos elementos do sistema;
4. Aumento do dinamismo e controle;
5. Complexidade crescente, depois simplicidade;
6. Correspondência e desajustar as peças;
7. Transição ao nível micro e uso dos campos;
8. Diminuição da interação humana (aumento da automação).

Para tratar problemas tais como o descrito no cenário 'C', a ferramenta, ou grupo de ferramentas mais indicada pela TRIZ são aquelas vinculadas ao grupo que trata da resolução de conflitos tais como o Método dos Princípios Inventivos (MPI). As contradições técnicas são os *trade-offs* da engenharia clássica onde o estado desejado não pode ser alcançado porque algo mais no sistema o impede. Já as contradições físicas são situações em que um objeto tem requisitos contraditórios e opostos. Por exemplo, na embalagem é comum fazer um recipiente mais forte,

tornando as paredes mais grossas. Mas isso também torna o recipiente mais pesado. A força aumenta (bom), mas o peso também aumenta (ruim). O mesmo problema pode ser expresso como uma contradição física: o recipiente deve ser pesado, mas o recipiente deve ser leve.

Ao se analisar o cenário 'A', o mesmo não parece ser o caminho adequado para a resolução do problema uma vez que não se sabe ainda como seria uma possível solução que trouxesse redução de massa expressiva. Mesmo se o conceito de guarnição se mantivesse, não havia, entre os membros do time, uma ideia de como esta guarnição seria.

Ao analisar o cenário 'B', o mesmo parece ser extremamente propício pois levaria ao time extrapolar para outros campos de conhecimento humano buscando uma solução. No entanto, como havia uma limitação de tempo e não havia entre os membros da equipe perfis adequados a esta tarefa, pareceu mais sensato testar o caminho proposto pela alternativa 'C' primeiramente e que trata da resolução de contradições. Remover massa da guarnição, ao mesmo tempo, estaria reduzindo as dimensões da guarnição e, conseqüente, esta ação afetaria sua capacidade de vedar o interior do veículo (ao se remover massa da guarnição a mesma poderia perder estabilidade ou mesmo sua capacidade de vedação). Este fato configura um *trade off* de engenharia, pois ao melhorar uma variável técnica, outra estaria sendo prejudicada.

Optou-se, então, por formular a contradição e buscar dentro da MC os PIs que poderiam ser úteis à resolução do problema. Utilizando como base a Tabela 3-3, seguem os PE que foram formulados:

- PE a ser melhorado do EF: peso do objeto em repouso (nº 2);
- PE que piora ou degrada quando a massa do EF é reduzida: vedação do sistema que pode ser traduzida como 'Perda de substância do objeto' (nº23).

Com base nos PEs formulados acima, e buscando dentro da MC, têm-se os seguintes PIs para resolver a contradição formulada:

- Combinação (PI nº 5):
 - a. Combinação de objetos homogêneos destinados a operações contínuas no espaço;
 - b. Combinação de operações contínuas e homogêneas no tempo;

- Contrapeso (PI nº 8):
 - a. Compensar o peso do objeto pela união com outro objeto que produz sustentação;
 - b. Compensar o peso do objeto pela interação com o ambiente fornecendo força aerodinâmica ou hidrodinâmica;
- Inversão (PI nº 13):
 - a. Inverter a solução utilizada normalmente para solucionar o problema;
 - b. Fixar partes móveis e tornar móveis partes fixas;
 - c. Virar o objeto de “cabeça para baixo”;
- Uso de filmes finos e membranas flexíveis (PI nº 20):
 - a. Substituir construções tradicionais com filmes ou membranas flexíveis;
 - b. Isolar um objeto do seu ambiente externo utilizando filmes ou membranas flexíveis.

Utilizando PIs que foram retirados da MC e também utilizando as reflexões que saíram da Análise Funcional da Figura 4-5, o PI nº 8 foi o escolhido para tratar o problema uma vez que o mesmo tratava diretamente sobre EF (elemento que mais contribuía para o aumento de massa do sistema):

- a. Posso não sustentar o bulbo?
- b. Posso fazer com que o bulbo se sustente por si?
- c. Existe algum outro recurso que pode ser usado para sustentar o bulbo?
- d. Existe a possibilidade de substituir o EF por algo mais eficiente?

As perguntas ‘b’, ‘c’ e ‘d’ acima bem como a solução ‘a’ do PI nº 8, são complementares e levaram o time do projeto a propor uma série de soluções voltadas para esta linha de ação. Tradicionalmente um projeto de DT, teria utilizado técnicas de *Brainstorming* logo no início desta etapa sem este afunilamento prévio do problema. Percebe-se, no entanto, que com uma linha de ação já encaminhada pela TRIZ, a técnica de *Brainstorming* pode então ser utilizada com muito mais eficácia, isto é, gerando ideias muito mais efetivas para a solução do problema.

Seguem algumas linhas de pensamento já agrupadas e categorizadas que foram geradas pelo time após uma breve sessão de ideação do tipo *Brainstorming*:

1. Alterar o EF por algo mais eficiente (retirar o inserto metálico do EF e substituir por um material mais leve, alterar o perfil do flange e da guarnição para reduzir

a necessidade de uma área grande de sobreposição de encaixe, reduzindo assim a quantidade de material etc.);

2. Substituir o EF por algum novo método de fixação como por exemplo o uso de pinos e presilhas para aderir o EF à carroceria do veículo;
3. Eliminar o EF fazendo com que o bulbo seja fixado direto na carroceria por algum tipo de sistema adesivo.

4.3.3 Fase 3: avaliar

Nesta fase, o grande objetivo é avaliar as linhas de ação propostas na fase anterior com o objetivo de selecionar aquela que mais se aproxima do RFI buscado e que já foi definido na Fase 1 desta etapa.

Foi consenso entre os membros do time que as linhas de ação 1 e 2 trariam reduções marginais de massa do ST. Além disso, haveria grandes chances da necessidade de mudanças significativas da área de flange da carroceria, o que poderia demandar um grande dispêndio de energia para um baixo resultado – se comparado ao RFI.

Tabela 4-8: Avaliação das linhas de ação propostas no Brainstorming

<i>Linha de Ação</i>	<i>Recursos Necessários</i>	<i>Proximidade da RFI</i>
1. Alterar EF	Médio	Baixa
2. Substituir EF	Alto	Baixa
3. Eliminar EF	Médio	Alta

Fonte: o autor (2016)

Com base na Tabela 4-8, foi então selecionado como linha de ação a alternativa 3 e que busca a completa eliminação do EF utilizando algum método de adesão química para fixar o bulbo diretamente na carroceria.

Ainda nesta linha de ação e analisando as possíveis soluções de adesão química disponíveis no mercado, 2 conceitos poderiam ser utilizados:

1. Utilização de adesivo líquido;
2. Utilização de uma fita adesiva dupla-face.

A aplicação de adesivos líquidos dentro da indústria automotiva é um processo amplamente conhecido. Sabe-se previamente que para a utilização deste tipo de junção, há a necessidade de grandes investimentos na linha de montagem para

acomodar uma unidade aplicadora de adesivo, bem como um tempo mínimo para completar o processo de adesão química.

Aplicando novamente a mesma análise acima de dispêndio de recursos versus proximidade ao RFI, têm-se o que segue na Tabela 4-9.

Tabela 4-9: Avaliação das possíveis formas de eliminação do EF

Linha de Ação	Recursos Necessários	Proximidade da RFI
1. Adesivo líquido	Alto	Alta
2. Fita Dupla-Face	Médio	Alta

Fonte: o autor (2016)

Com base na Tabela 4-9, foi então selecionado como linha de ação a alternativa 2 que busca a completa eliminação do EF utilizando algum método de adesão química por fita dupla-face para fixar o bulbo diretamente na carroceria.

A utilização de fitas dupla-face na indústria automotiva também é um processo bastante disseminado principalmente em aplicações de fixação de peças plásticas no exterior da carroceria do veículo bem como em algumas guarnições de borracha mais simples e com função estética.

De maneira geral estas fitas possuem uma construção que possui um substrato de espuma base acrílica com adesivos laminados em ambas as faces da espuma conforme indica a Figura 4-6.

Figura 4-6: Construção com fita dupla-face para aplicação automotiva

Fonte: adaptado de TRIMCO (2017) extraído<<http://www.trimco.info>>

Um dos adesivos laminados tem uma formulação específica que é ativada por calor e que funde com a massa polimérica durante o processo de fabricação da guarnição. O outro lado do substrato da fita recebe outra camada de adesivo que tem a função de unir o sistema fita mais guarnição à carroceria do veículo e que é ativada por pressão. Após aplicada uma pressão mínima sobre o sistema fita mais guarnição – processo geralmente feito com o auxílio de um dispositivo manual – o adesivo ativa suas propriedades de adesão e fixa o sistema sobre a pintura automotiva fazendo a união de todo o sistema.

Figura 4-7: Guarnição com fita acrílica dupla-face aplicada

Fonte: o autor (2016)

Sabe-se já, de antemão, que esta tecnologia apresenta os seguintes benefícios:

- A proposta tem potencial de trazer uma significativa redução de massa ao ST e de se aproximar do RFI buscado;
- A primeira parte da aplicação, que é feito para juntar a fita ao perfil da guarnição, é realizada pelo próprio fabricante da guarnição através de um processo contínuo ao final da linha de extrusão sem alterações de layout;
- A aplicação de perfis de borracha com fita adesiva já laminada é um conceito bem estabelecido dentro das montadoras de veículos;
- Dispositivo de aplicação manual já disponíveis sem prejuízo de ergonomia ou de tempo de aplicação na linha de montagem;
- Não é necessário a criação de uma nova estação de aplicação na linha da montadora de veículos.

Com base em todos estes benefícios é que esta proposta foi selecionada para ser levada às demais etapas pela equipe do projeto.

4.4 Etapa 3: aplicação do DT

Na Etapa 3 do projeto foi aplicado o DT conforme ilustra a Tabela 4-10.

Tabela 4-10: Etapa 3: utilização do DT

3: Verificação da Solução		
Fases	PROTOTIPAR	TESTAR
Objetivo	Prototipagem rápida	Escolha do protótipo junto ao usuário
Suporte	DT	DT
Ferramentas	-Ambiente -Pessoas -Equipamentos	-Avaliação usuário

Fonte: o autor (2016)

Conforme já mencionado, o objetivo principal da Etapa 3 é o de materializar as soluções ou conceitos de produto geradas na etapa anterior, de tal forma que a solução seja avaliada pelos usuários, gerando melhorias ou mesmo descartando ou aprovando as soluções que estão sendo propostas. Esta etapa é conduzida através de 2 fases conforme segue:

- Fase 1: prototipagem rápida da solução para avaliação do conceito;
- Fase 2: avaliar funcionalmente os protótipos da solução que foram geradas na fase anterior, rejeitando ou propondo melhorias.

4.4.1 Fase 1: prototipar

Para fins de elaboração do protótipo fez-se uso das ferramentas do DT de prototipagem rápida com a finalidade apenas de demonstrar o conceito da solução aos possíveis usuários do produto. O primeiro passo, antes da efetiva prototipagem, foi esboçar esquematicamente como seria o conceito de uso da fita aplicada à guarnição sem o EF e como seria a fixação desta guarnição à carroceria do veículo. Alguns desenhos foram gerados com esta finalidade.

Conforme demonstra a Figura 4-8, para os testes, optou-se pela remoção de todo o inserto metálico do EF e pela fixação da guarnição na lateral do flange.

Figura 4-8: Esboço secção transversal guarnição atual versus guarnição com fita

Fonte: o autor (2016)

Para a construção dos protótipos, guarnições disponíveis comercialmente foram adquiridas e adaptadas manualmente com a retirada do EF, remoção do inserto metálico e, posteriormente, pela aplicação da fita dupla-face. Posteriormente estas guarnições foram encaixadas em placas metálicas disponíveis para simular diferentes espessuras possíveis de um flange (0,8mm e 7,0mm) conforme indica a Figura 4-9.

Figura 4-9: Teste em laboratório para avaliar conceito de guarnição com fita adesiva

Fonte: o autor (2016)

Neste momento do projeto também foi importante entender qual seria a fita ideal para utilização em aplicações como essa e qual deveria ser a largura mínima e a espessura necessária. Neste ponto do projeto foi importante consultar o guia de seleção de produtos de empresas fornecedoras de fitas adesivas dupla-face ao mercado automotivo. Após avaliação de todos as possíveis opções, chegou-se à conclusão de que a fita deveria ter uma espessura de 1,0mm a 1,2mm e uma largura de pelo menos 10mm para garantir a força de adesão necessária da guarnição à flange do carro. Era importante ainda que a fita tivesse uma espuma na cor preta para dificultar a sua distinção do corpo da guarnição.

Este conceito foi então demonstrado a alguns dos possíveis usuários do produto dentre eles as áreas responsáveis pelo processo de fabricação da guarnição e também pela engenharia e montagem desta guarnição para possíveis aprimoramentos ou refinamentos da proposta. Após reuniões sucessivas realizadas entre os integrantes da equipe, 4 propostas foram construídas utilizando recursos de CAD. Conforme demonstra a Figura 4-10, todas elas utilizando o conceito de fita adesiva dupla-face para substituir o conceito vigente de fixação e que foi demonstrado pela Figura 4-3.

Figura 4-10: Propostas de guarnição com fita adesiva

Fonte: FORNECEDORA GUARNIÇÃO (2016)

Dentre as propostas da Figura 4-10, a Proposta 3 foi a que apresentou menor densidade linear de massa (apenas 20,1g de massa para cada 100mm de comprimento da guarnição) frente às demais propostas. Esta foi a construção escolhida para ser levada à próxima fase do projeto.

4.4.2 Fase 2: testar

Esta etapa consiste na experimentação mais técnica da solução que sai da fase anterior. Neste momento algumas informações são validadas em termos de atingimento dos objetivos e métricas que foram estabelecidas na Etapa 1 do projeto. É necessário que ao final a proposta seja aprovada para seguir adiante para a Etapa 4 de implementação ou realização da solução via APQP. Caso refinamentos sejam necessários ou a proposta seja reprovada, é necessário que o projeto volte para a Etapa 1 para que uma nova interação seja feita utilizando a DT e, posteriormente, adentrando a Etapa 2 para ser tratada pela TRIZ novamente.

Uma das primeiras checagens que foram feitas é se a proposta vai atender a métrica primária do projeto de obtenção de redução de massa superior a 40%. Para se fazer esta avaliação, foram utilizados os dados de densidade de massa obtidas com auxílio de recursos de CAD e que estão demonstrados na Figura 4-10.

Tabela 4-11: Comparativo de massa da solução atual versus a solução proposta

Descrição da Peça	Comprimento	Peso	Peso
		Solução Atual	Solução Proposta
Guarnição Frontal	3,5 m	1,27 kg	0,70 kg
Guarnição Traseira	3,2 m	1,17 kg	0,65 kg
Total (veículo 4 portas)	13,4 m	4,88 kg	2,70 kg

Fonte: o autor (2016)

Utilizando-se da densidade linear de ambas as guarnições, bem como do comprimento do perímetro do flange de porta onde a guarnição é aplicada, têm-se os dados comparativos demonstrados na Tabela 4-11 onde se observa uma redução de

45% no total das peças que comporiam 1 veículo de 4 portas (2 guarnições dianteiras e 2 guarnições traseiras).

Com a métrica primária de redução de massa atingida, foi-se então em busca da validação da métrica secundária e que tinha por objetivo a manutenção ou redução do custo total (custo peça e custo de operação de aplicação da peça na carroceria do veículo). Considerando-se as variáveis de custos de manufatura da peça, as seguintes variações tiveram impacto no cálculo do novo custo:

- Remoção do inserto metálico da guarnição;
- Redução da quantidade de massa polimérica que compões a guarnição;
- Acréscimo da fita dupla-face;

Acréscimo de depreciação de investimento necessário de um dispositivo automática para laminar à quente a fita sobre a guarnição no final da linha de extrusão do fabricante da guarnição e que totalizava aproximadamente R\$100.000 (Figura 4-11).

Figura 4-11: Equipamento para laminar fita dupla-face em perfil de extrusão contínua

Fonte: STRAUB (2016) extraído <<http://straubdesign.com>>

Com base nas informações recebidas, um novo cálculo do custo unitário de manufatura foi feito verificando-se um aumento no custo das guarnições de 5,2% se considerado 1 conjunto por 1 veículo conforme demonstra a Tabela 4-12. Mais uma

vez foram utilizando valores fictícios conforme solicitação feita pelo fabricante da guarnição.

Tabela 4-12: Comparativo de custo de manufatura solução atual versus a solução proposta

<i>Descrição da Peça</i>	<i>Comprimento</i>	<i>Custo Solução Atual</i>	<i>Custo Solução Proposta</i>
Guarnição Frontal	3,5 m	R\$ 5,50	R\$ 6,05
Guarnição Traseira	3,2 m	R\$ 5,00	R\$ 5,50
Total (veículo 4 portas)	13,4 m	R\$ 21,00	R\$ 23,10

Fonte: o autor (2016)

Faltava ainda checar se haveria aumento de custos para a aplicação da solução na linha de montagem do veículo. Esta análise foi feita *in locu* na estação produtiva da própria montadora e levou o time do projeto a concluir que haveria a necessidade de desenvolver um dispositivo de aplicação que pudesse garantir o correto posicionamento da guarnição no flange do vão de porta, bem como exercer a pressão necessária para ativar o adesivo sensível a pressão da fita dupla-face ao longo do perímetro do flange. Caso contrário, a produtividade da aplicação ficaria comprometida e erros durante a aplicação poderiam ocorrer aumentando o índice de peças descartadas.

Após algumas reuniões com empresas especializadas na engenharia e construção destes tipos de dispositivos, chegou-se em 2 conceitos de aplicação sendo um manual e outro automatizado.

O conceito automatizado consiste em um braço robotizado estático que realiza a operação de aplicação da guarnição direto na carroceria do veículo que por sua vez está em movimento, permanecendo parada apenas até o ciclo do robô terminar. Foi consenso entre os membros do time que o melhor lugar para uma estação robotizada seria logo no início da etapa de montagem final, logo após o processo de pintura, quando as portas do veículo ainda não estão montadas nem tampouco peças de acabamento interno.

Figura 4-12: Estação utilizando braço robotizado para aplicar guarnição de carroceria

Fonte: MONTADORA DE VEÍCULOS (2016) disponível <<https://youtu.be/fl7H595ZnIM>>

Para se avaliar este conceito de aplicação, foram feitos testes experimentais em linhas de montagem adaptadas (Figura 4-12). Um dos aprendizados adquirido ao longo dos testes realizados, foi o desenvolvimento de um rolo de guarnição contínuo para aumentar a produtividade da aplicação versus uma guarnição de anel fechado, uma vez que o robô aplicador não precisa ficar se reabastecendo de guarnições para cada nova aplicação que irá executar.

Figura 4-13: Aplicação automatizada de uma guarnição de carroceria

Fonte: MONTADORA DE VEÍCULOS (2016) disponível <<https://youtu.be/fl7H595ZnIM>>

Dentre as vantagens deste novo conceito de aplicação de guarnição primária, observou-se os seguintes fatores:

- Ganho de produtividade;
- Redução de erros de aplicação;
- Facilidade de gerenciamento produtivo (Indústria 4.0²⁴).

Pesa, no entanto, contra esta alternativa, o alto investimento inicial necessário para adaptar a linha para um processo totalmente automatizado bem como o alto custo de a engenharia e instalação de tais dispositivos. Segundo algumas estimativas feitas pela equipe do projeto, o investimento total para a implantação deste processo seria da ordem de U\$2,0Mi considerando-se 1 estação e 2 robôs (lado esquerdo e direito) por estação.

Figura 4-14: Cabeça aplicadora de guarnição primária

Fonte: MONTADORA DE VEÍCULOS (2016) disponível <<https://youtu.be/fI7H595ZnIM>>

O outro conceito possível de aplicação de guarnição primária é aquele que utiliza ferramentas manuais. Neste caso, o posicionamento da guarnição é feito manualmente pelo operador que remove o filme protetor do adesivo da fita dupla-face ao mesmo tempo que faz o posicionamento da guarnição sobre o perfil do flange do vão de porta. Todo o risco do mal posicionamento da guarnição recai sobre o operador que precisa ser extremamente treinado para este fim. Uma ferramenta é então utilizada apenas para exercer pressão sobre a guarnição depois desta já posicionada conforme demonstra a Figura 4-15. Esta pressão é necessária para ativar o adesivo da fita dupla-face.

²⁴ Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial é uma expressão que engloba algumas tecnologias para automação e troca de dados e utiliza conceitos de sistemas ciber-físicos, internet das coisas e computação em nuvem

Figura 4-15: Dispositivos manuais para exercer pressão sobre a guarnição

Fonte: MONTADORA DE VEÍCULOS (2016) disponível <<http://bcove.me/f6we2f5b>>

Para a implantação deste conceito de aplicação haveria a necessidade de um investimento de aproximadamente U\$0,2Mi para a aquisição de 8 dispositivos de montagem pela montadora (sendo 4 para uso na linha e outros 4 como reserva). Algumas simulações realizadas em laboratório demonstraram que os dispositivos manuais poderiam ser robustos e não ocasionariam problemas de ergonomia dado que houvesse um bom treinamento dos operadores responsáveis pela aplicação da guarnição no veículo.

Considerando os salários pagos na região aonde está localizada a montadora de veículos e fazendo o cálculo da depreciação dos investimentos ao longo da vida útil da plataforma de veículo para o qual a guarnição estava sendo desenvolvida, chegou-se à Tabela 4-13 que faz a comparação financeira de ambos os conceitos de aplicação.

Tabela 4-13: Comparativo custos aplicação manual versus automatizada

Descrição da Peça	Investimento Inicial	Ciclo Montagem²⁵	Qtd. Operadores	Custo Montagem / Carro	Custo Guarnição / Carro
------------------------------	---------------------------------	--	----------------------------	---------------------------------------	--

²⁵ Tempo carro parado na estação para aplicação das 4 guarnições (2 dianteiras e 2 traseiras).

Aplicação Atual	-	5 min	2	R\$ 6,63	R\$ 21,00
Aplicação Manual	U\$ 0,2Mi	6 min	2	R\$ 10,04	R\$ 23,10
Aplicação por Robô	U\$ 2,0Mi	4 min	-	R\$13,89	R\$ 23,10

Fonte: o autor (2016)

Após análise desta tabela, considerando a realidade da indústria brasileira, a equipe do projeto concluiu que o conceito de aplicação manual seria a opção mais recomendada. Mesmo após ter sido constatado pelo time que haveria um aumento de 5,3% no custo das guarnições e de 53% no custo da montagem, comprometendo, assim o atingimento do objetivo secundário, houve consenso em continuar o projeto dada a redução de massa que se iria obter ao final do mesmo (próximo de 45%).

O conceito totalmente automatizado não foi descartado mas ficou para um segundo momento uma vez que os custo do investimento inicial era considerado demasiado alto pela equipe.

Uma vez concluída a checagem das métricas primárias e secundárias do projeto, passou-se então a verificar algumas das principais variáveis de controle estabelecidas na Etapa 1. Dentre estes fatores, os mais importantes e que valem ser citados são aqueles concernentes à performance de vedação da guarnição bem como a resistência ao arrancamento após a guarnição já estar aplicada na carroceria dos veículos.

Com relação à vedação da guarnição, há 3 fatores que devem ser analisados:

- Vedação contra humidade;
- Vedação contra poeira;
- Vedação acústica.

Para a realização destes testes, um carro utilizando o conceito atual de fixação de guarnição (por encaixe) foi submetido a todos os testes de vedação. Posteriormente, o mesmo carro, teve as suas guarnições primárias removidas e adaptadas para o uso de fitas adesivas, tal qual demonstrado pela Figura 4-8. Após concluída a montagem

dos protótipos de guarnição com fita adesiva conforme a Figura 4-16, o carro foi submetido aos mesmos testes para fins de comparação.

Figura 4-16: Carro com as guarnições adaptadas para o uso de fita dupla-face

Fonte: o autor (2016)

A primeira verificação teve por objetivo comparar o comportamento das guarnições quanto à vedação que ambas conseguiriam proporcionar contra infiltração de água. O método de testes consistiu na utilização de um jato de água com vazão de 400 L/h e pressurizada a 2000 psi. Este jato de água é então aplicado nos contornos das portas dianteiras e traseiras de maneira repetitiva e contínua durante 5 min com a finalidade de verificar se haveria penetração ou acúmulo de água nas regiões da guarnição.

Figura 4-17: Teste com água pressurizada

Fonte: o autor (2016)

Após concluído os testes, ambos os conceitos de guarnição (atual versus fita dupla-face) demonstraram performance similar, ou seja, ambas conseguiram garantir total vedação impedindo a entrada de água no interior do veículo.

A segunda verificação realizada foi a o teste de vedação contra poeira. Para esta checagem, o mesmo veículo foi utilizado em 2 momentos (antes e depois de ter a guarnição primárias alterada para o uso de fita dupla-face). O método utilizado foi o de rodagem com o veículo em estrada de terra durante 30 minutos trafegando atrás de um veículo de carga para gerar quantidade excessiva de poeira para o teste.

Figura 4-18: Testes com poeira em estrada de terra

Fonte: o autor (2016)

Ambos os testes (atual versus fita dupla-face) apresentaram performance também similar. Não houve infiltração de poeira no interior do veículo. A poeira parou exatamente na interface da linha de contato entre a guarnição e a estrutura da porta quando a mesma estava fechada. Não havia depósito ou mesmo rastro de poeira na estrutura do vão de porta da carroceria como normalmente ocorre quando há infiltração de pó.

Figura 4-19: Teste de atenuação acústica

Fonte: o autor (2016)

A terceira e última verificação com relação a vedação foi para avaliar o grau de atenuação acústica obtido para o novo conceito de guarnição versus o antigo. Para este teste, o mesmo veículo foi submetido em 2 momentos (antes e depois de ter a guarnição primária alterada para o uso de fita dupla-face) a testes de rodagem em campo de provas percorrendo circuito pavimentado e sem obstáculos a velocidade constante.

O objetivo era, ao final, comparar valores de ruído percebido pelo motorista do veículo nas duas situações. Para esta medição foi utilizado um microfone calibrado para posterior construção das curvas em dBa com veículo trafegando a 80 Km/h; 100 Km/h e 120 Km/h conforme demonstrado na Figura 4-19.

Os testes demonstraram resultados de atenuação de ruído mais significativos para a guarnição com fixação por fita dupla-face. Seguem resultados obtidos para cada uma das velocidades averiguadas:

- 80 Km/h – entre 800 - 6300Hz: 3,43dBa / entre 250 - 6300Hz: 2,38dBa;
- 100 Km/h – entre 1000 - 2500Hz: 2,46dBa / entre 250 - 6300Hz: 1,20dBa;
- 120 Km/h – entre 1250 - 6300Hz: 4,27dBa / entre 250 - 6300Hz: 1,15dBa.

Os resultados nesta análise estão apresentados nos gráficos da Figura 4-20, Figura 4-21 e Figura 4-22.

Figura 4-20: Medições de ruído a 80 km/h (250-630 Hz)

Fonte: o autor (2016)

Figura 4-21: Medições de ruído a 100 km/h (250-630 Hz)

Fonte: o autor (2016)

Figura 4-22: Medições de ruído a 120 km/h (250-630 Hz)

Fonte: o autor (2016)

Desta forma a guarnição com fixação por fita demonstrou uma vedação superior contra a entrada de ondas sonoras ou ruídos transmitidos pelo ar oriundos da parte externa do veículo e que entram pela região entre a carroceria e a guarnição. Este fenômeno se deve ao efeito visco-elástico da espuma acrílica que compõe o substrato da fita (ver Figura 4-6), fazendo com que a fita se molde à carroceria do veículo de

maneira mais efetiva e uniforme quando comparado com a fixação mecânica tradicional por encaixe sobre o flange.

Após concluída a avaliação da característica de vedação do novo conceito de guarnição, partiu-se então para a avaliação do último dos critérios de controle que se escolheu avaliar, e que trata sobre a força mínima de arrancamento.

O teste de força de arrancamento é realizado com dinamômetro com garra especial adaptada ao perfil da guarnição e tem por objetivo avaliar a força necessária para remover a guarnição da carroceria do carro. Normalmente é feito de maneira imediata, logo após a conclusão da aplicação da guarnição sobre a carroceria do veículo. Existe, no entanto, a possibilidade de repetir o teste logo após um tempo determinado de envelhecimento. Para este estudo de caso optou-se apenas pelo método imediato pois a fita dupla-face tende a aumentar sua adesão com o tempo.

Figura 4-23: Áreas da guarnição para testes de força de arrancamento

Fonte: MONTADORA DE VEÍCULOS (2016)

O valor de força mínima referencial para o teste de remoção da guarnição é de 120N conforme menciona a norma técnica da montadora de veículos. Os pontos onde o teste deve ser realizado, também disponíveis na norma técnica, podem ser visualizados na Figura 4-23.

Figura 4-24: Teste de força de arrancamento

Fonte: o autor (2016)

Neste caso, por haver um valor mínimo como limite, optou-se por realizar o teste apenas com a guarnição com fita. Os resultados demonstraram que, durante os testes, na maioria dos pontos avaliados, a capacidade de medição do dinamômetro (500N) foi atingida sem que a guarnição conseguisse ser removida da carroceria do carro. O menor ponto apresentou valor de 380N.

Uma vez concluída a checagem de todas as métricas – primárias e secundárias – bem como das variáveis de controle estabelecidas na Etapa 1, a Tabela 4-14 comparativa abaixo pode ser construída.

Tabela 4-14: Tabela comparativa final entre os conceitos propostos de solução

Conceito	Métrica Primária	Métrica Secundária	Vedação Humidade	Vedação Poeira	Vedação Acústica	Força Arrancamento
Atual	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo
Proposto	Verde	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Verde
RFI	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Fonte: o autor (2017)

As cores representam o nível de aproximação de cada um dos conceitos ao RFI sendo que podem ser descritas da seguinte maneira:

- Vermelho – distanciamento da RFI;
- Verde – iguala ao RFI;
- Amarelo – se aproxima do RFI, no entanto em menor grau quando comparado aos demais conceitos em avaliação.

Foi com base na Tabela 4-14 que a equipe do projeto pode então, finalmente, decidir pelo encaminhamento da proposta de solução de uso de guarnições com fita adesiva dupla-face à Etapa 4 do processo de desenvolvimento de produto proposto. Foi de comum acordo que, mesmo não atingindo o objetivo secundário estabelecido, a solução traria grandes benefícios de redução de massa à guarnição e que não estavam contabilizados aí ganhos de vedação acústica bem como de melhorias de manufatura muitas vezes intangíveis para projetos que apresentem soluções consideradas disruptivas.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como principal objetivo alavancar a criatividade na geração de ideias, aumentando a eficácia na geração e seleção das mesmas durante a etapa conceitual do modelo de APQP, comumente utilizado pela indústria automotiva para o desenvolvimento de seus produtos.

O modelo de APQP foi escolhido por ser um sistema bastante disseminado principalmente nas empresas de menor porte – *Tier 1* e *Tier 2* – e por ser um método normativo que, se aplicado de maneira direta, não consegue modificar o estado da arte atual, criando um círculo vicioso de melhorias incrementais e de implantações de soluções previamente já definidas.

Para atender este objetivo, duas metodologias de resolução de problemas, reconhecidas pela sua extensa aplicabilidade tanto no meio acadêmico como no meio empresarial – DT e TRIZ – foram selecionadas e aplicadas na fase inicial do processo normativo do APQP. A fase inicial foi escolhida para a aplicação destas ferramentas por se tratar da fase mais importante dentro de um PDP tradicional quando se quer alcançar soluções inovadoras.

Após mapeamento bibliográfico, os principais pontos positivos e negativos de ambas as metodologias puderam ser estabelecidos. Foi também proposta uma forma de colaboração das ferramentas para suportar a fase conceitual do APQP, formando assim um novo PDP para utilização no desenvolvimento de novos produtos da indústria automotiva, sejam eles no nível de produtos e até mesmo de sistemas mais complexos.

Conforme se procurou demonstrar, o DT e a TRIZ são complementares e podem ser eficazes se aplicadas de maneira estruturada. Enquanto o DT tem como sua característica central a prospecção de problemas e a apresentação e validação de conceitos junto ao usuário final, a TRIZ tem como ponto forte o tratamento do problema técnico que se quer resolver, apontando soluções.

O PDP proposto foi então testado dentro de um projeto de redução de massa de uma guarnição de carroceria aplicada no vão de porta de um veículo automotivo. Esta peça foi escolhida pela grande dificuldade que a indústria automotiva possui de conseguir

evoluções no conceito atual desta guarnição, principalmente se levado em conta a atual demanda existente para reduções de massa nos veículos automotivos. O PDP proposto, entretanto, poderia ter sua eficácia avaliada também no desenvolvimento de sistemas mais complexos.

Utilizando o método proposto, pôde-se verificar que o DT incentiva o time do projeto a interagir com o usuário final, tanto no momento da definição do problema como no momento da avaliação do protótipo que foi construído a posteriori. Percebeu-se ainda um incremento na qualidade das ideias geradas sem que houvesse uma dispersão das mesmas nas etapas divergentes (muito comum em processos tradicionais de ideação). Observou-se ainda que o método proposto apresenta uma forma mais estruturada durante as etapas convergentes em que o problema é tratado pela TRIZ e uma proposta de solução é feita mediante a confecção de um protótipo.

Conforme pôde ser observado, a metodologia combinada da DT e TRIZ, se adequadamente aplicadas na fase inicial do processo APQP, podem trazer melhorias na prospecção de ideias. Pode ainda levar mais rapidamente o time do projeto ao conceito de produto ou da solução final e que será encaminhado às demais fases do APQP, aumentando as possibilidades de que soluções consideradas realmente inovadoras venham a surgir.

Conclui-se, portanto, que ambas as metodologias são sinérgicas e podem suportar o processo de APQP na indústria automotiva trazendo produtos com maior potencial de inovação. Faz-se necessário, no entanto, que trabalhos adicionais sejam feitos no sentido de testar a metodologia no desenvolvimento de outros produtos e até mesmo no desenvolvimento de sub-sistemas mais complexos dentro da indústria automotiva. Somente assim é que se conseguirá identificar melhorias ou refinamentos que contribuirão para o sucesso do PDP proposto. Vale ainda mencionar que a metodologia proposta precisa ter sua aplicabilidade avaliada levando-se em conta as estruturas matriciais e hierárquicas vigentes na indústria automotiva convencional, algo que esta pesquisa não abordou.

REFERÊNCIAS

- [1] E. Hirsh, J. Jullens, R. Wilk, A. Singh; “2016 Auto Industry Trends”; Strategy& - PwC; 2016; Disponível: <http://www.strategyand.pwc.com/trends/2016-auto-industry-trends>; [Acessado: 07-Jan-2017].
- [2] B. H. R. de Castro, D. C. Barros, L. F. H. Vaz; “BNDES Setorial”; vol. 40, pp. 385–426; 2014; Disponível: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>; [Acessado: 05-Ago-2017].
- [3] J. C. De Toledo, S. L. Da Silva, D. H. Alliprandini, M. F. Martins, e F. M. Ferrari; “Práticas de gestão no desenvolvimento de produtos em empresas de autopeças”; Produção; vol. 18, no. 2, pp. 405–422; 2008.
- [4] J. R. P. Rocha, “A gestão do desenvolvimento de produto via APQP na indústria automobilística”; Dissertação Mestrado, USP; 2009.
- [5] K. B. Clark, W. B. Chew, e T. Fujimoto; “Product development in the world auto industry”; Brookings Pap. Econ. Act; vol. 3, p. 734; 1987.
- [6] H. Rozenfeld, F. A. Forcellini, D. C. Amaral, J. C. de Toledo, S. L. da Silva, D. H. Alliprandini, e R. K. Scalice; “Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo”; 1ª ed.; Saraiva; 2006.
- [7] J. Morgan; “Applying lean principles to product development”; SAE International; 2002; Disponível: <http://www.sae.org/manufacturing>; [Acessado: 05-Ago-2017].
- [8] C. Eveleens; “Innovation Management: a literature review of innovation process models and their implications”; Science; no. Abril, pp. 1–16; 2010.
- [9] R. G. Cooper, “Stage-gate Systems: a new tool for managing new products”; Bus. Horiz.; vol. 33, no. 3, pp. 44–54; 1990.
- [10] H. Takeuchi e I. Nonaka; “The new new product development game”; J. Prod. Innov. Manag.; vol. 3, no. 3, pp. 205–206; 1986.
- [11] AIAG; “APQP - Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle”; 2ª ed.; 2008.

- [12] ABNT; ISO/TS 16949; 2ª ed.; Rio de Janeiro; 2010.
- [13] K. B. Clark e S. C. Wheelwright; "Managing new product and process development"; 1ª ed.; New York, NY; The Free Press; 1993.
- [14] N. Back, A. Ogliari, A. Dias, e J. C. Da Silva; "Projeto Integrado de Produtos - planejamento, concepção e modelagem"; 1ª ed.; 2008.
- [15] G. C. Da Silva, "Modelo de referencia para o processo de desenvolvimento do produto automotivo e diretrizes para seleção de protótipos virtuais e físicos"; Tese Doutorado; USP; 2013.
- [16] U. Ibusuki e P. C. Kaminski; "Product development process with focus on value engineering and target-costing: a case study in an automotive company"; Int. J. Prod. Econ.; vol. 105, no. 2, pp. 459–474; 2007.
- [17] D. J. Ellison, K. B. Clark, F. Takahiro, e H. Young-suk; "Product development performance in the auto industry: 1990s update"; IWP; Toronto; 1995.
- [18] L.C. Lin, T.S. Li, e J. P. Kiang; "A continual improvement framework with integration of CMMI and Six-sigma model for auto industry"; Qual. Reliab. Eng. Int.; vol. 25, no. Nov., pp. 551–569; 2009.
- [19] L. Naiman; "Design thinking as a strategy for innovation: how do you create a strategy for guaranteeing that innovation and creativity flourish in your organization ? What is Design Thinking ?"; Creat. Work; pp. 1–5; 2017.
- [20] T. Brown; "Design Thinking"; Harv. Bus. Rev.; no. June; 2008.
- [21] H. A. Simon; "The sciences of the artificial"; 1ª ed.; M.I.T. Press; 1969.
- [22] P. G. Rowe; "Design Thinking"; 1ª ed.; Cambridge, MA; M.I.T. Press; 1987.
- [23] R. A. Faste; "Ambidextrous Thinking"; Stanford, CA; 1994.
- [24] T. Brown e B. Katz; "Change by Design: how Design Thinking transforms organizations and inspires innovation"; 1ª ed.; New York, NY; HarperCollins, 2009.

- [25] T. Kelley e J. Littman; "The Art of Innovation: lessons in creativity from IDEO, America's leading design firm"; Crown Business; 2001.
- [26] R. Buchanan; "Wicked Problems in Design Thinking"; Dez, vol. 8, no. 2, p. 21; 1992.
- [27] M. Robson; "Problem-Solving in Groups"; 3ª ed.; Hampshire, England; Gower; 2002.
- [28] R. Cohen, "Design Thinking: a unified framework for innovation"; Forbes; 2014; Disponível: <http://www.forbes.com>; [Acessado: 05-Fev-2017].
- [29] J. O. Lange; "The Design Process: what is the double diamond?"; Design Council; UK; 2015; Disponível: <http://www.designcouncil.org.uk>; [Acessado: 18-Nov-2017].
- [30] H. Plattner, C. Meinel, e L. Leifer; "Design Thinking: understand – improve – apply"; 1ª ed.; Berlin; Springer; 2010.
- [31] K. Thoring e R. M. Müller; "Understanding the creative mechanisms of design thinking"; Proceedings Second Conf. Creat. Innov. Des; no. October 2011, p. 137; 2011.
- [32] R. H. Beinecke; "Leadership for Wicked Problems"; Innov. J.; vol. 14, no. 1; pp. 1–17; 2009.
- [33] H. W. J. Rittel e M. M. Webber; "Dilemmas in a general theory of planning"; Policy Sci.; vol. 4, no. 2, pp. 155–169; 1973.
- [34] MIT; "FAB LABs"; The Center of Bit and Atoms; Disponível: <http://fab.cba.mit.edu>; [Acessado: 18-Nov-2017].
- [35] HPI School of Design Thinking; 2017; Disponível: <https://hpi.de>; [Acessado: 05-Fev-2017].
- [36] U. Johansson-Skoldberg, J. Woodilla, e M. Cetinkaya; "Design thinking: past, present and possible futures"; Creat. Innov. Manag.; vol. 22, no. 2, pp. 121–146; 2013.

- [37] L. Kimbell, "Rethinking Design Thinking: Part 1"; Des. Cult.; vol. 3, no. 3, pp. 285–306; 2011.
- [38] B. Nussbaum, "Design Thinking is a failed experiment - so what's next?"; Fast Co.Design; 2011; Disponível: <http://www.fastcodesign.com>; [Acessado: 15-Fev-2017].
- [39] J. Tjendra, "Why Design Thinking will fail"; Innovation Excellence; 2013; Disponível: <http://innovationexcellence.com>; [Acessado: 15-Fev-2017].
- [40] The Altshuller Institute for TRIZ studies; 2013; Disponível: <https://www.aitriz.org/triz>; [Acessado: 19-Feb-2017].
- [41] G. Altshuller; "Creativity as an exact science: the theory of the solution of inventive problems"; CRC Press; 1984.
- [42] S. D. Savransky; "Engineering of Creativity: introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving"; CRC Press; p. 408; 2000.
- [43] B. Zlotin, A. Zusman, L. Kaplan, S. Visnepolschi, V. Proseanic, e S. Malkin; "TRIZ Beyond Technology: the theory and practice of applying TRIZ to non-technical areas"; TRIZ J.; no. Jan 5; 2001.
- [44] V. Fey e E. I. Rivin; "Innovation on demand: new product development using TRIZ"; J. Prod. Innov. Manag.; vol. 24, no. 6, pp. 635–636; 2007.
- [45] Z. Hua, J. Yang, S. Coulibaly, e B. Zhang; "Integration TRIZ with problem-solving tools: a literature review from 1995 to 2006"; Int. J. Bus. Innov. Res.; vol. 1, no. 1/2, p. 111; 2006.
- [46] K. Gadd; "TRIZ for Engineers: enabling inventive problem solving"; 1ª ed.; West Sussex, UK; John Wiley & Sons; 2011.
- [47] J. Terninko, A. Zusman, e B. Zlotin; "Systematic Innovation: an introduction to TRIZ"; 1ª ed.; Boca Raton, FL; CRC Press; 1998.
- [48] S. Kaplan; "An Introduction to TRIZ: the russian theory of inventive problem solving"; 1ª ed.; Ideation International; 1996.

- [49] E. Domb e H. W. Dettmer; "Breakthrough innovation in conflict resolution marrying TRIZ and the thinking process"; Proc. APICS Constraint Manag. Spec. Interes. Gr.; p. 11; 1999.
- [50] M. G. Moehrle; "What is TRIZ? From conceptual basics to a framework for research"; Creat. Innov. Manag.; vol. 14, no. 1, pp. 3–13; 2005.
- [51] K. Barry, E. Domb, e M. S. Slocum; "What is TRIZ?"; TRIZ J.; no. Sep 22; 2014.
- [52] J. W. Ezickson; "Deploying Innovation and Inventive Thinking in Organizations – applying TRIZ to non-technical fields of business"; 7ª Conferência annual; Altshuller Institute for TRIZ Studies; p. 20; 2005.
- [53] W. Eversheim; "Innovation management for technical products"; RWTH.; Aachen, Germany; Springer; 2009.
- [54] I. M. Ilevbare, D. Probert, e R. Phaal; "A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice"; Technovation; vol. 33, no. 2–3, pp. 30–37; 2013.
- [55] C. Hentschel and A. Czinkj; "Design Thinking as a door-opener for TRIZ - paving the way towards systematic innovation"; TRIZ Futur.; vol. 49; 2013.
- [56] W. Hofmeister; "SEALS AND SECURING ARRANGEMENT THEREFOR"; US3002783; 1958.
- [57] Robert A. Zoller; "STRIP STRUCTURES"; US3167825; 1961.
- [58] E. Weimar; "TRIMMING MEMBER"; US3310928; 1964.
- [59] G. Niemanns; "SEALING STRIP"; US3665646; 1970.
- [60] W. Krusehwitz; "PROTECTIVE SEALING STRIP"; US3638359; 1970.
- [61] R. G. Bright; "CHANNEL-SHAPED SEALING FINISHING AND GUIDING STRIPS"; US4015398; 1975.
- [62] J. Prikkel; "WEATHERSTRIP STRUCTURE"; US4046940; 1975.
- [63] T. Iwasa; "WEATHER STRIP"; US4603899; 1985.

- [64] H. Hashimoto e M. Fujiyoshi; "WEATHER STRIP FOR AUTOMOBILE"; US4745016; 1986.
- [65] K. Masahiro; "AUTOMOBILE WEATHERSTRIP"; JP2000142266; 2000.
- [66] H. Watanabe; "DOOR OPENING TRIM WEATHER STRIP FOR MOTOR VEHICLE;" US6926944B2; 2003.
- [67] K. C. Leung; "SEALING ARRANGEMENTS FOR AUTOMOTIVE DOORS"; US20080178532; 2007.
- [68] M. Jonsson; "SEAL ARRANGEMENT FOR A VEHICLE DOOR"; EP2479051A1; 2011.
- [69] MEC; Portal de Periódicos CAPES; 2017; Disponível: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>; [Acessado: 28-Nov-2017].
- [70] ANFAVEA; 2017; Disponível: <http://www.anfavea.com.br/>; [Acessado: 28-Nov-2017].
- [71] SINDIPEÇAS; 2017; Disponível: <http://www.sindipecas.org.br/>; [Acessado: 28-Nov-2017].
- [72] M. A. de Carvalho e N. Back; "Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos princípios inventivos no desenvolvimento de produtos"; 3º Congr. Bras. Gestão Desenvolv. Prod.; no. Setembro, pp. 1–8; 2001.
- [73] K. Makino, M. Sawaguchi, e N. Miyata; "Research on functional analysis useful for utilizing TRIZ"; Procedia Engineering; vol. 131, pp. 1021–1030; 2015.
- [74] C. Bytheway; "FAST Creativity & Innovation"; 1ª ed.; Fort Lauderdale, FL; J. Ross Publishing Inc.; 2006.
- [75] D. D. Sheu e C. T. Hou; "TRIZ-based systematic device trimming: theory and application"; Procedia Eng.; vol. 131, pp. 237–258; 2015.
- [76] A. Zusman, B. Zlotin, e J. Terninko; "Step-by-step TRIZ: creating innovative solution concepts"; 3ª ed.; Responsible Management Inc; 1996.