UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ABORDAGEM SIMPLIFICADA DE *DESIGN FOR SIX SIGMA* (DFSS) E ANÁLISE DE SUA INFLUÊNCIA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E PROCESSOS EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA: UM ESTUDO DE CASO

HELIO MACIEL JUNIOR

Itajubá, dezembro de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

HELIO MACIEL JUNIOR

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ABORDAGEM SIMPLIFICADA DE *DESIGN FOR SIX SIGMA* (DFSS) E ANÁLISE DE SUA INFLUÊNCIA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E PROCESSOS EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA: UM ESTUDO DE CASO

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Modelagem, Otimização e Controle

Orientador: Prof. Dr. Pedro Paulo Balestrassi
Co-Orientador: Prof. Dr. João Batista Turrioni

Itajubá, dezembro de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

HELIO MACIEL JUNIOR

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ABORDAGEM SIMPLIFICADA DE *DESIGN FOR SIX SIGMA* (DFSS) E ANÁLISE DE SUA INFLUÊNCIA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E PROCESSOS EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA: UM ESTUDO DE CASO

Banca Examinadora:
Prof. Dr. Pedro Paulo Balestrassi (Orientador)
Prof. Dr. João Batista Turrioni
Prof. Dr. Rogério Santana Peruch
Prof. Dra. Gabriela Belinato
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Mariano de Souza
Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello

Itajubá, dezembro de 2018

Dedico este trabalho a meu pai Helio Maciel e a minha mãe Elza Helena Silva Maciel sem vocês em minha vida, nada disso seria possível. Obrigado pais pelo amor, confiança e dedicação de toda uma vida.

Ao Mathias que está vindo ao mundo. Espero estar contribuindo para você encontrar um mundo melhor meu filho!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelos milagres recebidos e pelas pessoas que fazem parte da minha vida.

Aos meus pais se não fosse por vocês eu não estaria aqui a ponto de realizar este trabalho.

Aos familiares que acreditaram em mim. Bom poder recarregar minha bateria na companhia de vocês.

Aos amigos da vila Dominguinho, pela força e gratuidade de nossa amizade

A minha noiva Mariana Gaby Lima pela paciência e compreensão dos finais de semana de estudo, feriados sem viagem pela parceria do dia-a-dia. Muito obrigado por caminhar comigo e me ajudar a chegar ao final desta etapa. Desejo que possamos fazer caminhadas conjuntas pela vida toda

Aos amigos da Aioba pela torcida e alegria compartilhada de ver o progresso dos amigos.

Ao professor Gonzaga que à quase 20 anos atrás me convenceu a fica na engenharia de produção. Obrigado por sua competência e dedicação em cuidar das pessoas. Hoje sou muito feliz na engenharia de produção.

Aos professores da EFEI, que sempre tiveram muita competência, sabedoria e paciência em me ensinarem. Em especial ao prof. João Batista Turrioni que me ajudou em vários momentos difíceis, sempre me dando apoio e uma palavra amiga.

A meu orientador Prof. Pedro Paulo Balestrassi, que mais do que professor hoje tenho a alegria de ter como amigo. Obrigado por todo suporte, incentivo, me ajudar manter a positividade e acreditar que seria possível.

Ao amigo Eduardo Lange pela orientação e por me ajudar definir prioridades e encontrar o equilíbrio entre elas.

Obrigado a todos, sem vocês este trabalho não seria possível. Este trabalho assim como eu temos um pouco de cada um de vocês

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, com que se sintam humildes.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

Durante o desenvolvimento de produtos várias decisões de compromisso entre demandas conflitantes devem ser tomadas, quanto mais assertivas forem estas maiores as probabilidades de sucesso do produto. As decisões tomadas nos estágios iniciais do desenvolvimento ocasionam grandes impactos na qualidade e custo total do produto, isto faz com que de métodos que auxiliem o processo de tomadas de decisões nestes estágios seja bastante necessário. Métodos tradicionais de solução de problemas apresentam eficácia limitada em apontar melhorias nos estágios iniciais do desenvolvimento, pois fazem uso de informações defasadas das etapas de tomada de decisões. Neste contexto surgiram abordagens proativas para o desenvolvimento de produtos como, por exemplo, o DFSS. Porém ainda existem dúvidas da sua real eficácia frente à quantidade de recursos utilizada, tempo e resultados práticos. Sendo assim este trabalho tem como objetivo analisar o uso de uma abordagem simplificada de roteiro DFSS, procurando entender quais foram os pontos positivos e negativos da aplicação da abordagem, para responder a seguinte questão: A utilização do DFSS agrega valor no processo de desenvolvimento? Para responder esta questão e se possível trazer contribuições para o refinamento ou extensão da teoria contemporânea, utilizou-se como método de pesquisa o estudo de caso descritivo de caso único com várias unidades de análise. Baseados na literatura foram desenvolvidas nove hipóteses que tinham relação com a questão da pesquisa. Para respondê-las foram utilizadas três principais fontes de evidências: análise dos relatórios de projetos *DFSS* concluídos, entrevistas estruturadas e semi estruturadas engenheiros responsáveis pela execução dos projetos e gestores. Cada uma das nove hipóteses foi respondida utilizando-se uma escala Likert que possibilitou análises intragrupos e intergrupos, e permitiu a análise das hipóteses. Os resultados foram confrontados com a literatura apresentando concordância para a maioria das hipóteses e discordância com outras. De forma geral pode se dizer que na empresa estudada a utilização do *DFSS* agregou valor no processo de desenvolvimento de produtos. Principalmente para as atividades de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto, desdobramento do *VOC* em características mensuráveis, entendimento das relações causa-efeito, seleção de conceitos e identificação de riscos. Porém não foi observada a mesma contribuição para as atividades de obtenção e entendimento das necessidades dos clientes. Da mesma forma que o método não ajudou a aumentar a moral dos funcionários.

Palavras-chave: *Design for Six Sigma (DFSS)*; Estudo de caso; Seleção de conceitos

ABSTRACT

During product development several trade-offs decisions between conflicting demands must be made, the more assertive the greater the likelihood of product success. The decisions made in the early stages of product development process cause major impacts on the quality and total product life costs. It makes very important the use of methods that help the decision making process in the early development stages. Traditional problem-solving methods have limited effectiveness in finding improvements in the early stages of development because they make use of lagged information from decision-making stages. In this context proactive product development approaches have emerged, as example the DFSS. However, there are still doubts about their real effectiveness regarding the amount of resources used, time and practical results. Thus, this work aims to analyze the use of a simplified DFSS roadmap, trying to understand what are the positives and negatives aspects of the use of the proposed approach and answer the following question. Does DFSS add value to the product development process? In order to answer this question and if possible to bring contributions to the refinement or extension of contemporary theory, was used as a research method the descriptive case study using a single case with several units of analysis. Based on the literature were developed nine hypotheses that had relation with the research question. Three main sources of evidence were used to answer them: analysis of completed DFSS project reports; structured and semi structured interviews to the engineers responsible for the execution of projects and managers. Each of the nine hypotheses was answered using a Likert scale that allowed for intragroup and intergroup analysis, and enable the analysis of hypotheses. The results were confronted with the literature presenting agreement for most hypotheses and disagreement with others. In general, it can be said that in the company where the study case was conducted the use of DFSS added value in the product development process. Mainly for the activities of planning, communication and monitoring of the project, deploying the VOC in measurable characteristics, understanding of cause and effect relationships, selection of concepts and identification of risks. However, the same contribution was not made to the activities of obtaining and understanding the needs of customers. In the same way that the method did not help to increase the morale of the employees.

***Key-words*:** *Design for Six Sigma (DFSS)*; Case Study, Concept Selection

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo das quatro fases para o QFD 25
Figura 2 - Classificação do trabalho de pesquisa 41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado das análises das hipóteses segundo o grupo de executores 80
Gráfico 2 - Resultado das análises das hipóteses segundo o grupo dos gestores 86
Gráfico 3 - Análise das hipóteses – Dados da análise documental dos projeto.....92
Gráfico 4 - Análise de Concordância para Ha (1) 99
Gráfico 5 - Análise de Concordância para Ha (2) 100
Gráfico 6 - Análise de Concordância para Ha (3) 103
Gráfico 7 - Análise de Concordância para Ha (4). 105
Gráfico 8 - Análise de Concordância para Ha (5). 106
Gráfico 9 - Análise de Concordância para Ha (6). 108
Gráfico 10 - Análise de Concordância para Ha (7). 109
Gráfico 11 - Análise de Concordância para Ha (8). 110
Gráfico 12 - Análise de Concordância para Ha (9). 112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos artigos resultantes da busca 20
Quadro 2 - Classificação dos artigos publicados em revista 21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise qualitativa dos projetos (1 a 5) 58
Tabela 2 - Análise qualitativa dos projetos (6 a 10) 620
Tabela 3 - Análise qualitativa dos projetos (11 a 15) 65
Tabela 4 - Análise qualitativa dos projetos (16 a 20) 68
Tabela 5 - Análise qualitativa dos projetos (1 a 20) 72
Tabela 6 - Análise Qualitativa das Entrevistas dos Executores 74
Tabela 7 - Análise Qualitativa das Entrevistas dos Gestores 75
Tabela 8 - Consolidado da entrevista estruturada 78
Tabela 9 - Análise Quantitativa dos Executores 80
Tabela 10 - Análise Quantitativa dos Gestores 88
Tabela 11 - Análise Quantitativa dos Projetos 94

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

1.1. Contexto e Relevância da Pesquisa 15

1.2. Objetivos 17

1.2.1. Objetivo geral 17

1.2.2. Objetivos específicos 17

1.2.3. Limitações da Pesquisa 18

1.3. Estrutura do trabalho 18

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 20

2.1. *Design for Six Sigma*: revisão da literatura 20

2.1.1. Histórico do *DFSS* e diferenças do *DMAIC* 21

2.1.2. Principais etapas e análises do *DFSS* 24

2.1.3. Desafios para a implementação do DFSS 30

2.2. Desenvolvimento das hipótese da pesquisa 32

3. MÉTODO DE PESQUISA 39

3.1.1. Classificação da pesquisa científica 39

3.1.2. O método de estudo de caso 42

3.1.3. Estruturação do estudo de caso 43

4. ESTUDO DE CASO DA IMPLEMENTAÇÃO DA ABORDAGEM DE ROTEIRO DFSS PROPOSTA, EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA 53

4.1. Seleção do Caso 53

4.2. Instrumentos de Pesquisa e Protocolos 54

4.2.1. Protocolo de pesquisa 55

4.3. Pesquisa de Campo 55

4.3.1. Documentação 55

4.3.2. Entrevistas 72

4.4. Análise de dados 77

4.4.1. Análise do grupo de executores do projeto 78
4.4.2. Análise do grupo de gestores 85
4.4.3. Análise dos documentos 91
4.4.4. Triangulação e comparativo com a literatura 98
5. CONCLUSÕES 114
5.1. Aspectos relacionados ao objetivo da pesquisa 114
5.2. Aspectos relacionados ao método de pesquisa 117
5.3. Limitações ligadas à pesquisa 120
5.4. Sugestões para estudos futuros 121
REFERÊNCIAS 122
APÊNDICE A – ANÁLISE QUANTITATIVA DOS ARTIGOS DE DFSS 130
APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS ACESSADOS NA INTEGRA .. 163
APENDICE C – DFSS: ANÁLISE QUANTITATIVA 172
APENDICE D – ROTEIRO DFSS UTILIZADO PELA EMPRESA ESTUDADA 179
ANEXO A – EXEMPLO DE PROJETO DFSS: DESENVOLVIMENTO DA CÂMARA DE SUCÇÃO 205

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto e Relevância da Pesquisa

Um projeto de produto pode ser definido como um conjunto de ações intelectuais que tem como objetivo criar soluções para atender determinadas necessidades, sendo desenvolvido num ambiente com restrições. Tal projeto tem início com algumas idéias que vão amadurecendo quando certas circunstâncias de capacidade técnica e viabilidade econômica estão disponíveis e seu sucesso é dependente de uma sólida fundamentação matemática, leis físicas, experiências de projetos anteriores, consideração das necessidades dos clientes e uma correta tomada de decisões. Durante o desenvolvimento do produto várias decisões de compromisso entre demandas conflitantes e atendimento das restrições devem ser tomadas.

Quanto mais assertivas forem estas decisões maiores a probabilidade de sucesso do produto. As decisões tomadas nos estágios iniciais do desenvolvimento ocasionam grandes impactos na qualidade e custo total do produto. Alega-se que mais de 80% do custo de vida total é definido durante os estágios iniciais do desenvolvimento (FREDRIKSON, 1994). Por isso o uso de métodos que auxiliem o processo de tomadas de decisões nas etapas iniciais de desenvolvimento se faz tão importante.

Observa-se na literatura da área de projetos uma mudança do foco de melhorias realizadas nas fases finais de desenvolvimento, para uma abordagem preventiva onde melhorias são realizadas nas fases iniciais. Porém muitas empresas ainda tentam resolver problemas nas fases iniciais do desenvolvimento utilizando métodos tradicionais de solução de problemas, os quais foram concebidos para a melhoria de produtos e processo existentes, e apresentam eficácia limitada em apontar pontos de melhoria nas etapas iniciais do desenvolvimento. Esta limitação existe, pois os métodos tradicionais fazem uso de informações defasadas das fases de tomada de decisões iniciais. Usualmente fazem uso das informações provenientes de testes e protótipos levando ao um ciclo de projeto, teste, correção e teste novamente o que acaba consumindo uma grande parcela do tempo de desenvolvimento. Empresas que operam utilizando abordagens que fazem uso de informações defasadas no processo de desenvolvimento de produtos geralmente apresentam longo tempo de desenvolvimento, problemas de qualidade nas fases de lançamento do produto e elevados

custos de projeto. Todos estes problemas afetam o sucesso do produto e a vantagem competitiva da empresa. Devido a estes problemas as áreas de pesquisas da engenharia produção, incluindo a de desenvolvimento de produtos, vem recebendo uma crescente demanda em auxiliar as indústrias a desenvolverem e utilizarem métodos de prevenção de problemas que apresentem ferramentas e técnicas mais adequadas às etapas iniciais do ciclo de desenvolvimento; onde ainda existem várias decisões conceituais a serem tomadas e onde várias características do produto ainda não estão definidas.

Uma das abordagens preventivas para o desenvolvimento de produtos mais atuais é o Projeto para Seis Sigma, mais conhecido pelo seu acrônimo em inglês *DFSS (Design for Six Sigma)*. O primeiro roteiro *DFSS* foi proposto pela Motorola para estender a abrangência do Seis Sigma para o desenvolvimento de produtos e processos (PARK, 2003). Entre as primeiras empresas a utilizar o *DFSS* está também a GE que aplicou no desenvolvimento de equipamentos médicos e posteriormente estendeu o uso para todas as áreas corporativas (HARRY e SCHROEDER, 2000). Atualmente muitas organizações estão adotando *DFSS* para o desenvolvimento de seus produtos e processos pois sua utilização *DFSS* pode reduzir dramaticamente o número de modificações de engenharia após o final do projeto e entrega do produto.

Enquanto o processo tradicional de desenvolvimento é reativo, onde freqüentemente existem urgências para resolver problemas de qualidade, o *DFSS* é um método proativo de desenvolvimento o qual previne os problemas. Enquanto o primeiro provê a qualidade "testada", o ultimo tem a qualidade "projetada". Chowdhury (2002), ressalta que o *DFSS* evoluiu de um dos principais pontos fracos da iniciativa Seis Sigma, o de desenvolver produtos e processos totalmente novos e não apenas melhorar os existentes. De Feo (2005) define o DFSS como uma metodologia estruturada e orientada por dados, baseada em ferramentas analíticas que permite prevenir e predizer defeitos durante o projeto do produto e Mader (2003) descreve DFSS de uma forma mais ampla como sendo o aprimoramento do processo de desenvolvimento de produtos o qual provê uma forma mais estruturada e melhor para gerenciar as entregas, recursos e decisões de compromisso. Tennant (2002) enfatiza o foco no cliente, definindo DFSS como uma abordagem rigorosa para desenvolver novos produtos que promove a redução to tempo e custos de desenvolvimento e aumenta a eficácia do produto e, portanto a satisfação do cliente. Apesar de um pouco diferentes, essas visões concordam num aspecto: *DFSS* visa melhorar as atividades de desenvolvimento de produto e seus resultados.

A abordagem seis sigma para a solução de problemas possui um roteiro padronizadoe é amplamente com hecido pelo acrônimo inglês *DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)* que possui as fases de:

- Definir o problema (Y)
- Medir o problema (Y)
- Analisar as relações causa-efeito (Y=f(x))
- Implementar soluções (x's)
- Controlar as entradas do processo (x's)

Watson e DeYong (2010) discutiram em seu trabalho a variedade de roteiros *DFSS* implementados nos últimos 10 anos e concluíram que não existe consenso sobre um padrão. De acordo com Shahin (2008), o DFSS não possui um roteiro padrão estabelecido. Para Hoerl (2004), não ter um roteiro padrão impediu que o *DFSS* fosse assimilado e disseminado tão rapidamente quanto o Seis Sigma *DMAIC*. Além disso, outros autores como Gremyr e Fouquet (2012) citam como dificuldade para o uso e implementação do DFSS, a quantidade excessiva de documentação gerada e segundo Gremyr e Fouquet (2012) a complexidade de adaptação do *DFSS* aos modelos existentes de desenvolvimento de produto, impede a disseminação maciça do método.

Em busca de uma contribuição nesta área, este trabalho tem como objetivo estudar o departamento de pesquisa e desenvolvimento de produtos de uma empresa de tecnologia brasileira. A seguir será apresentado em detalhes estes objetivos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar o uso de uma abordagem simplificada de roteiro DFSS. Através da análise detalhada de vários projetos e entrevistas com os membros das equipes de projetos, foi verificado quais foram os pontos positivos e negativos da aplicação da abordagem, que visam responder as seguintes questões, como motivação de pesquisa:

- A utilização do DFSS ajudou, agregou valor no processo de desenvolvimento de produtos?

1.2.2. Objetivos específicos

a) Desenvolver um estudo de caso sobre a implementação da abordagem em uma empresa de tecnologia, onde foram considerados vários projetos DFSS.

b) Com base na literatura sobre DFSS desenvolver hipóteses que serão analisadas no estudo de caso;
c) Desenvolver instrumentos de pesquisa;
d) Avaliar documentação de projeto para obter evidências.

1.2.3. Limitações da Pesquisa

A presente tese de doutorado pretende contribuir com a área de processos de desenvolvimento de produtos e tem o intuito complementar o conhecimento específico necessário para o desenvolvimento de produtos, deixando claro que os métodos propostos pelo *DFSS* não substituem os conhecimentos especializados.

Por se tratar de uma área de conhecimento relativamente nova, o número de organizações brasileiras que aplicam estes métodos nos desenvolvimento de produtos ainda é pequeno. O acesso aos projetos destas organizações também é, de certa forma restrita, por se tratar de projetos de novos produtos e tecnologias que fazem parte do plano estratégico das empresas. Devido a estas restrições o estudo de caso será de caso único, o que permite um maior aprofundamento, mas tem como limitação a generalização das conclusões e teorias desenvolvidas.

1.3. Estrutura do trabalho

A fim de cumprir com os objetivos propostos, este trabalho será dividido em cinco capítulos, distribuídos da seguinte forma:

- O Capítulo 1 – Introdução: contextualiza o tema, sua relevância, justificativa para o estudo e apresenta os objetivos e restrições do trabalho;
- O Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: Faz uma análise bibliográfica sobre *Design for Six Sigma (DFSS)*.
- Capítulo 3 – Método de pesquisa: Focado principalmente no estudo de caso.
- Capítulo 4 – Estudo de caso sobre a implementação da abordagem proposta em uma empresa de tecnologia: Desenvolve teorias e hipótese a partir da literatura, criar os protocolos e instrumentos de pesquisa, realiza a pesquisa de campo através da análise documental dos projetos e entrevista, realiza as análises, testa as hipóteses e compara com a literatura;
- Capítulo 5 – Conclusões e recomendações de trabalhos futuros: Faz um resumo das principais lições aprendidas e sugere novos temas para aprofundamento do tema;

- APÊNDICE A – Resultados da busca nas bases de dados: Apresenta a lista dos artigos resultantes da busca pelo termo "*Design for Six Sigma*" nas bases de dados WOS e Scopus.
- APÊNDICE B – Lista de artigos publicados em periódicos e acessados na íntegra: Apresenta a lista dos artigos publicados e relacionados ao termo "*Design for Six Sigma*" que foram acessados integralmente.
- APÊNDICE C – Abordagem simplificada de roteiro DFSS: Apresenta o roteiro DFSS proposto, apresentando as principais ferramentas e a interligação entre as fases;
- ANEXO A - Apresenta a aplicação do roteiro simplificado em um caso real de desenvolvimento e mostra passo a passo do roteiro aplicado no desenvolvimento de uma câmara de sucção de compressor;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. *Design for Six Sigma*: revisão da literatura

Uma extensa e detalhada revisão da literatura foi conduzida para este trabalho com base em duas bases de dados: ISI Web of Science (WOS) da Thomson Reuters e Scopus da Elsevier Science que, de acordo com Chadegani et al. (2013), são as duas principais coletâneas de literatura acadêmica da atualidade. Uma busca pelas palavras "*Design for Six Sigma*" (entre aspas) foi realizada em ambas as bases. O quadro 1 mostra as informações que foram tabeladas para os artigos resultantes da busca. Essas informações foram usadas nas análises quantitativas e na revisão qualitativa da literatura.

Quadro 1 - Classificação dos artigos resultantes da busca

Autores	Título	Ano	Fonte	Tipo da Fonte	CR	Citação WOS	JR	Citação Scopus	Base	Qualis CAPES
				- journal *- congress*						

Conforme ilustrado no quadro 1, as informações tabeladas foram: Autores, título do artigo, ano de publicação, nome da fonte, tipo da fonte (j para periódico – do inglês, jornal, ou c para congresso), fator de impacto na WOS (dado pelo *Journal Citation Reports – JCR* – de cada periódico), quantidade de citação na WOS, fator de impacto na Scopus (dado pelo *Scientific Journal Rankings – SJR* – de cada periódico), quantidade de citação na *Scopus*, a base de dados onde o artigo foi encontrado (*WOS*, *Scopus* ou ambas) e o fator de impacto Qualis da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) para o grupo Engenharias III, grupo no qual se encontra a Engenharia de Produção. A tabela completa com todos os artigos classificados está no APÊNDICE A.

Para a análise quantitativa, todos os artigos tabelados foram considerados. No entanto, a análise qualitativa foi focada nos artigos publicados em periódicos. Os pesquisadores tiveram acesso ao texto completo de 120 dos 125 artigos de periódicos resultantes da busca para desenvolver a revisão da literatura e descrever o estado da arte em DFSS.

Em sua revisão da literatura, Zain et al. (2001) foram inspirados pela base de dados da Emerald Library ao adotar uma abordagem estruturada para categorizar pesquisas relacionadas ao Gerenciamento Total da Qualidade (do inglês, *Total Quality Management – TQM*) e esta classificação mostrou-se adequada a este trabalho. Conforme ilustrado no quadro 2, as categorias para classificar a abordagem da pesquisa são: “CS” para aplicações reais como estudo de caso (do inglês, *Case Study*), “C” para comparação / avaliação de técnicas (do inglês, *Comparison*), métodos ou ferramentas, “S” para pesquisas (do inglês, *Survey*), “L”

para revisão da literatura (do inglês, *Literature*), "T" para trabalhos teóricos, podendo ou não haver exemplos de aplicação, (do inglês, *Theoretical*), e "o" para outros tipos de trabalho, (do inglês, *Others*), que não se encaixam nas classificações anteriores.

A área do conhecimento, os roteiros que foram seguidos na implantação e o tipo de projeto foram também extraídos dos artigos nos quais foram obtidos os textos completos, o Quadro 2 mostra estas categorias. A listagem completa dos artigos de periódicos classificados segundo o esquema mostrado no Quadro 2 pode ser vista no APÊNDICE B.

Quadro 2 - Classificação dos artigos publicados em revista

Abordagem da pesquisa	- CS (aplicações reais / estudo de caso, do inglês, *case study*) - C (comparação / avaliação de métodos e ferramentas) - S (pesquisa, do inglês, *survey)* - L (revisão da literatura) - T (teórico, com ou sem exemplos de aplicação) - o (outra)
Área	- Indústria de manufatura - Negócios em geral - Saúde - Finanças - Construção - Pesquisa e desenvolvimento - Desenvolvimento de *software* - outros / livre
Roteiro	- DMADV - IDOV - DCOV - IDDOV - DMACOV - novos / outros / livre
Tipo de projeto	- QuI (melhoria da qualidade, do inglês, *Quality Improvement*) - CoS (redução de custo, do inglês, *Cost Saving*) - ReE (aumento do lucro, do inglês, *Revenue Enhancing*) - nenhum / não menciona

Com base nestas informações foi possível fazer uma detalhadas análise quantitativa a qual é apresentada no APÊNDICE C.

2.1.1. Histórico do *DFSS* e diferenças do *DMAIC*

O primeiro roteiro DFSS foi proposto pela Motorola para estender a atuação do Seis Sigma (SS) para os processos de desenvolvimento de produtos (PARK, 2003). Sendo esta mesma empresa a responsável pelo desenvolvimento do SS no final dos anos 1980 como uma resposta à demanda de qualidade em seus produtos (MONTGOMERY, 2010). De acordo

com Kumar et al. (2011) o principal benefício de um programa SS é a eliminação da subjetividade no processo de tomada de decisão, ao criar um sistema no qual todos da organização coletam, analisam, armazenam e utilizam os dados de maneira consistente. A General Electric (GE) também desenvolveu e aplicou conceitos de *DFSS* no final dos anos 90 e, em seguida, disseminou em todas as suas unidades de negócio (ANTONY e CORONADO, 2002). O primeiro projeto *DFSS* desenvolvido pela GE foi para a introdução de um scanner de tomografia computadorizado, que era nove vezes mais rápido e dez vezes mais confiável do que os scanners da época. Após o sucesso obtido neste projeto a empresa expandiu o uso do *DFSS* para todas as áreas corporativas (HARRY e SCHROEDER, 2000).

De acordo com Echeveste *et al.*(2016) ainda hoje o *DFSS* é visto como uma abordagem nova para o desenvolvimento de produtos e como uma tendência que segue a implementação de modelos como referência. Atualmente muitas organizações estão adotando o *DFSS* não apenas para o desenvolvimento de produtos, mas também para serviços. Chung e Hsu (2010) mostraram que o nível de implementação das atividades de *DFSS* tem uma grande influência na competitividade do negócio (redução de custo e diferenciação). Segundo Chowdhury (2002) a utilização do *DFSS* ajuda a reduzir drasticamente o número de alterações de engenharia após a fase de projeto e entrega do produto.

Enquanto a forma tradicional de desenvolvimento de produtos é reativa, com frequentes urgências para resolver problemas de qualidade, o *DFSS* é um método proativo de prevenção de problemas e, enquanto o enfoque tradicional provê uma “qualidade testada”, o *DFSS* propoem uma “qualidade projetada”. Segundo HE *et al.* (2009) melhorar um produto em sua fase de planejamento é muito menos custoso, mais fácil e mais controlável do que tentar fazer melhorias mais tarde nos processos. Além disso, as melhorias em sistemas convencionais eram muitas vezes limitadas por decisões tomadas no planejamento inicial. Esses fatos motivaram a busca por um sistema proativo e esquemático para o desenvolvimento de produtos que visou a qualidade SS desde a origem, surgindo assim o *DFSS*, (JAHANZAIB et al., 2013).

De acordo com CHOWDHURY (2002) o *DFSS* evoluiu de um dos principais pontos fracos da iniciativa SS, o de desenvolver produtos e processos totalmente novos e não apenas melhorar os existentes. De Feo (2005) define o DFSS como uma metodologia estruturada e orientada por dados, baseada em ferramentas analíticas que permite prevenir e predizer defeitos durante o projeto do produto. Já Mader (2003) descreve DFSS de uma forma mais ampla como sendo o aprimoramento do processo de desenvolvimento de produtos o qual provê uma forma mais estruturada e melhor para gerenciar as entregas, recursos e decisões de

compromisso. Tennant (2002) enfatiza o foco no cliente, definindo DFSS como uma abordagem rigorosa para desenvolver novos produtos que promove a redução do tempo e custos de desenvolvimento e aumenta a eficácia do produto e, portanto, a satisfação do cliente. Apesar de um pouco diferentes estas diferentes visões concordam num aspecto: *DFSS* visa melhorar as atividades de desenvolvimento de produto e seus resultados.

De acordo com Hasenkamp e Olme (2008), o D*FSS* não é considerado uma metodologia para solucionar problemas, mas sim, uma forma de garantir de maneira preventiva a qualidade durante o desenvolvimento. Os benefícios de implementar projetos *DFSS* são tipicamente em termos de redução de erros, economia de gastos ou prevenção de desperdício. É bem disseminado na literatura que, enquanto esforços SS são focados na melhoria de processos existentes, esforços *DFSS* focam no desenvolvimento de novos produtos e serviços ou no *re-design* daqueles que já existem (HASSAN et al., 2016; GOH, 2011; MONTGOMERY, 2010; KOVACH et al., 2005, TREICHLER et al., 2002).

Para Kaplan *et al*.,(2009) o DFSS foi de fato pensado para ser uma ferramenta apropriada para o desenvolvimento de um processo novo ou o re-design de um processo já existente, a expectativa era que conseguisse facilmente absorver alterações que surgissem no futuro usando o SS. Para Kovach et al. (2005) o DFSS é uma ferramenta proativa, pois é integrada na vida dos processos/produto logo nas etapas iniciais permitindo maiores níveis de satisfação do cliente e maiores lucros.

De acordo com Lee e Chang (2010), diferentemente do SS que requer uma equipe pequena e focada, *o DFSS* requer uma equipe dedicada, multifuncional e com longo prazo tipicamente incluindo pessoas que exerçam funções administrativas, de marketing, tecnologia, engenharia, manufatura, vendas e outras funções de suporte. Para Varshapetian e Semenova (2015) o SS é mais fácil de ser replicado de uma empresa para outra com pouca ou nenhuma customização no começo, já o *DFSS* é diferente e exige um grau maior de customização baseada em características específicas da área de atuação, da empresa e do próprio produto.

Para Mader (2003) outra diferença é que o treinamento em *DFSS* não deve ser feito em etapas, como ocorre para SS. O processo de desenvolvimento é mais demorado que o de DMAIC. Segundo Hamsekamp (2010) apesar das e métodos serem auxílios importantes, elas não geram automaticamente melhores níveis de qualidade e nem aumentam a satisfação do cliente por si só. De acordo com Shahin (2008) muitas dessas ferramentas dependem de um nível de entendimento e treinamento avançados, podendo ser um empecilho para a implementação.

Segundo Treichler et. al., (2002) um aspecto extremamente importante para a implementação do DFSS diz respeito à cultura da engenharia que deve mudar para que a implementação seja bem sucedida. A mudança cultural é um esforço de longo prazo que normalmente não é muito bem aceito por engenheiros. Não se deve, por exemplo, apenas falar aos engenheiros que o processo que eles têm trabalhado há 10 anos será descontinuado e substituído por *DFSS*. Para Mader (2003) é preciso que as entregas do *DFSS* sejam integradas às entregas do atual processo de desenvolvimento e pedir que sejam providenciadas em conjunto.

De acordo com Azis e Osada (2013), uma metodologia clara e sistemática para o *DFSS* ajudaria a superar as dificuldades na implementação e isso diminuiria a percepção errada e a resistência, ao mesmo tempo em que aumentaria a eficácia da comunicação entre os membros da equipe.

2.1.2. Principais etapas e análises do *DFSS*

Independentemente do roteiro DFSS utilizado, todos eles apresentam etapas e reflexões semelhantes. São descritas a seguir as principais etapas destes roteiros.

De acordo com Riley et. al. (2013) e Junker et al. (2011) o DFSS tem uma forte ênfase na voz do cliente e considera suas necessidades. Suas etapas inciais dedicam-se à obtenção e entendimento da voz do cliente (*VOC*). Vários autores afirmam que a utilização do *DFSS* ajuda a definir quais características do produto são valorizadas e priorizadas pelo cliente (ALVARES, 2015; AZIS e OSADA, 2011; NEAGU e HOERLY, 2005; JOHNSON, 2002).

Para Gremyr et al. (2012), o DFSS promove uma melhor compreensão da complexidade de alguns grupos de clientes. O uso de ferramentas como análise de Kano e métodos de priorização permitem uma minuciosa análise das necessidades dos clientes. Segundo Chung et al. (2008) o DFSS promove uma clara definição dos requisitos dos clientes. Para Suffian e Ibrahim (2012) o roteiro promove uma clara determinação dos objetivos do projeto, e segundo Ferryanto (2007) promove a identificação precoce de fatores críticos para o cliente, permitindo que a equipe do projeto tenha tempo hábil de desenvolver soluções adequadas para o atendimento das necessidades dos clientes. Para autores como Smith e Phadke (2005) e Riley *et al.,(*2013) o DFSS promove oportunidades de envolvimento e entendimento dos clientes o que proporciona melhorias da satisfação e construção de um novo relacionamento com os clientes.

Após a etapa inicial de identificação das necessidades dos clientes, passa-se para uma etapa de desdobramento destas necessidades em características mensuráveis, chamadas de

requisitos funcionais (RFs). Esta etapa é importante, pois uma das principais razões para a insatisfação dos clientes é o fato de das especificações de projeto não traduzirem adequadamente o que é preciso do produto para que este desempenhe corretamente suas funções. Esta realidade pode ser atribuída às práticas atuais de desenvolvimento que não alocam atividades e recursos necessários para a correta definição das funções e respectivas metas e tolerâncias. Segundo Yang, K. e El-Haik, B. (2003) vários projetos gastam recuros em melhorias da satisfação e construção de um novo relacionamento com o cliente, problema que poderia ser evitado por meio do correto desdobramento das necessidades em característica mensuráveis.

Para Azis e Osada (2011) as características mensuráveis facilitam a geração e seleção de conceitos. Para Nicolaescu et al., (2015) a utilização do *DFSS* garante que os requisitos e necessidades dos clientes estejam integrados.

De acordo com Sulivan (1986) a utilização do método de Desdobramento da Função Qualidade, mais conhecido pelo acrônimo inglês *QFD (Quality Functional Deployment*) pode facilitar a identificação de metas preliminares levando em consideração as necessidades dos clientes. Para o autor o *QFD* é um método adequado para assegurar que as necessidades dos clientes orientem o projeto do produto e dos processos de produção. Existem diversos modelos de *QFD* de acordo com Kovach e Cho (2008), o modelo de quatro fases é o mais simples e provavelmente o mais conhecido. Tal modelo foi proposto por Clausing (1994) e pela *American Supplier Institute (ASI*)

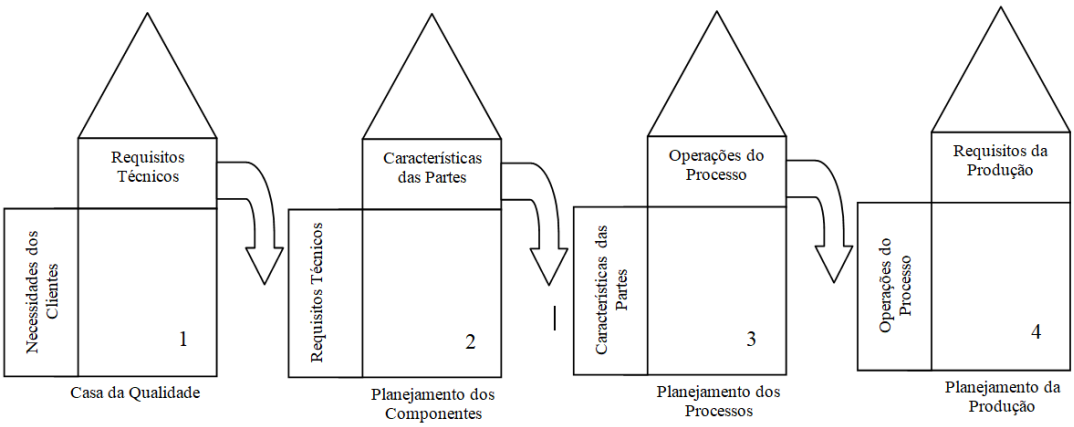


Figura 1 - Modelo das quatro fases para o QFD

Fonte: Adaptado de Kovach e Cho (2008), Chan e Wu (2002) e Clausing (1994)

Chan e Wu (2002) descrevem este modelo de maneira clara e sucinta. A primeira matriz do *QFD* corresponde ao planejamento do produto e é tão fundamental no processo de desenvolvimento que recebe um nome especial: Casa da Qualidade mais conhecido pelo

acrônimo inglês HoQ1 (do inglês, *House of Quality 1).* A *HOQ 1* faz o desdobramento das necessidades dos clientes em requisitos técnicos ou especificações do produto. A segunda matriz do *QFD* é referente ao planejamento dos componentes nela os requisitos funcionais resultantes da *HOQ1* são desdobrados em características para os componentes, peças ou as partes do produto. Na terceira etapa, planejamentos dos processos, apenas os parâmetros de produto mais importantes, da fase anterior, são transformadas em variáveis de processo. Por fim as variáveis de processos se tornam requisitos da produção na quarta fase, o planejamento da produção (KOVACH e CHO, 2008; CHAN e WU, 2002; CLAUSING, 1994; HAUSER e CLAUSING, 1988). O desdobramento proporcionado pelo QFD garante que as especificações do produto, dos componentes, dos processos e dos padrões de operação sejam orientadas pelas necessidades dos clientes.

Outra etapa importante do roteiro DFSS é dedicada à geração e seleção de conceitos. Para Yang K. e El-Haik B. (2003) os conceitos são traduções físicas das funões, por isto a correta compreensão das funções proporcionam a geração de conceitos inovadores. Segundo Hasenkamp et al. (2009) projetistas e engenheiros devem ser encorajados a levarem em consideração a perspectiva do cliente e pensar em termos de robustez. Para Phadke (1989) a geração de conceitos requer experiência e habilidades do projetista, pois apenas a aplicação das ferramentas e métodos não garante o desenvolvimento mais robusto.

Segundo Chowdhury (2002) para iniciar e organizar o processo de pensamento, sessões de "*brainstorming"* tem provado sere uma abordagem bastante útil. Já para Pugh (1990) os "conceitos são melhores gerados por indivíduos", enquanto que a "seleção e o aprimoramento de conceitos têm maior desempenho em grupos". Outra fonte de inspiração para a geração de conceitos é através da de sistemas já existentes incluindo os competidores. A realização de *"benchmarking*" é um movimento natural quando os competidores possuem produtos disponíveis no mercado.

A fase de geração de conceitos pode resultar em muitos conceitos com diferentes soluções. Todas estas soluções provavelmente não são igualmente adequadas, necessitando, portanto de um processo de triagem. De acordo com Ullman (1997) a seleção de conceitos deve ser visto como um processo de triagem onde os conceitos são progressivamente melhorados. Pugh (1990) propõe um método estruturado para a seleção de conceitos baseado numa matriz de avaliação, onde os conceitos são visualizados, com esboços e são avaliados contra uma lista de critérios mensuráveis originados na etapa anterior de desboramento pelo QFD. Se um grande número de conceitos surgem desta primeira iteração, o autor sugere um desenvolvimento mais detalhado e uma segunda fase de avaliação. Esta técnica de seleção de

conceitos suporta a ideia de desenvolvimento de diversos conceitos simultaneamente. De acordo com Yang e El-Haik (2003) uma matriz de seleção de conceitos, fornece estrutura e controle para o processo de análise, geração e avaliação de soluções. Ela pode ser utilizada para justificar porque alguns conceitos foram selecionados e porque algumas soluções são inferiores e devem ser descartadas.

Após uma triagem inicial, os conceitos remanescentes necessitam de um maior detalhamento do projeto, o que facilita uma análise acurada das alternativas de conceitos e melhor entendimento das relações causa-efeito. A abordagem DFSS promove o entendimento das relações causa-efeito entre variáveis de resposta, variáveis de projeto sob a influência de ruídos. Estas relações podem ser baseadas em funções de transferência derivadas matematicamente, modelos analíticos, simulações computacionais, experimentações com modelos físicos, regressões e planejamento de experimentos, mais conhecido pelo acrônimo inglês *DOE* (Design of Experiments). Segundo Wild e Pignatiello (2001), *DOEs* podem também melhorar a qualidade e facilitar a análise estatística dos resultados de simulação. Geralmente os modelos teóricos, matemáticos e analíticos são de difícil disponibilidade, já os modelos baseados em *DOE* são os mais aplicados para a modelagem das relações causa-efeito. De acordo com Koziolek e Derlukiewicz (2012) o *DFSS* requer a identificação quantitativa destes relacionamentos por meio de equações de Y=f(x), chamadas de funções de transferência. Para Yang K. e El-Haik B. (2003) deveria existir uma função transferência para toda função importante para o cliente.

A identificação e redução de riscos dos conceitos também são importantes dentro da abordagem *DFSS*. De acordo com Junkes et al. (2011) o método *DFSS* promove uma detalhada identificação de riscos. Autores como Yang K. e El-Haik (2003) sugerem que a análise de riscos seja realizada logo nos estágios inicias do desenvolvimento. A escassez de informações detalhadas e quantitativas nestas etapas iniciais requerem abordagens qualitativas para a avaliação de conceitos. Uma das das abordagens mais tradicionais para a análise de riscos é a análise do modo e efeito de falha, conhecida pelo acrônimo inglês *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).* Para Shahin (2008) o foco destas análises de riscos devem ser para as falhas potenciais, associados as funções do sistema, causadas pelo projeto, as quais devem ser identificadas antes que o produto seja colocado em produção. Meng et al. (2011) recomendam que a análise de riscos seja concluída antes da construção dos protótipos pois ajuda a listar ações para prevenir causas ou detectar modos de falha e manter um histórico das ações tomadas. Vários autores afirmam que a análise de riscos quando conduzidas nas etapas

iniciais de desenvolvimento aumentam a confiabilidade e qualidade do produto (ALVAREZ, 2015; LIU et al., 2008; FERRYANTO, 2007; SMITH & PHADKE, 2005).

Outra contribuição do *DFSS* é fornecer uma abordagem estatística e probabilística para o processo de otimização do conceito selecionado. A maior parte dos problemas de engenharia envolve pelo menos um elemento de incerteza tais como: nas características dos materiais, dimensões geométricas, precisão da manufatura, solicitações de uso. Segundo Hasenkamp (2010) muitos algorítimos de otimização tendem a levar as variáveis de projeto a uma ou mais restrições até a restrição tornar-se ativa, porem esta abordagem pode criar projetos com alto riscos, nos quais pequenas incertezas na formulação do problema, variações de processos e ou modificações nos ambientes de operação podem gerar falhas no projeto. Além disso, algoritmos de otimização tendem procurar pelo máximo das soluções, onde pequenas alterações nas variáveis controláveis ou incontroláveis e incerteza dos parâmetros podem gerar degradações significativas de desempenho.

Por outro lado algumas abordagens tradicionais de engenharia são formuladas para lidar com incerteza apenas por meio de fatores de segurança bruto, os quais muitas vezes levam a produtos superdimensionados e não oferecem compreensão sobre os efeitos de incertezas individuais e a real margem de segurança. Por este motivo foram desenvolvidos métodos de análises probabilísticas aplicadas a projetos e métodos de otimização, usualmente chamadas de métodos de engenharia de qualidade. Estes tem se desenvolvido para endereçar incertezas e variabilidades através de modelagem estatística e análise probabilística. Tais métodos probabilísticos foram desenvolvidos para converter formulações de problemas determinístico em probabilístico e modelar e considerar os efeitos das incertezas. Segundo Thanedar e Kodiyalam (1991) antigamente os custos computacionais para uma análise probabilística de um único ponto do projeto, em termos de número de avaliações de funções necessárias para capturar a variação de desempenho e estimar a probabilidade de falhas, faziam da aplicação de métodos estatísticos quase que impraticáveis. A otimização probabilista era considerada proibitivamente onerosa, particularmente para problemas de engenharia multidisciplinares e complexos. Com o constante aumento do poder computacional, capacidade de processamento em larga escala e disponibilidade de ferramentas e sistemas de análises probabilísticas e de otimização este tipo de análise tornou-se viável.

A etapa final do roteiro propõe a validação e verificação do produto e dos processos. A validação do projeto é um processo que verifica se o que foi desenvolvido (produto e/ou processo) funciona em um nível consistente com as especificações definidas para o cliente.

No desenvolvimento de produto as três principais validações são: produto, processos de manufatura e produção. Para a validação do projeto do produto faz-se necessário a verificação dos seguintes aspectos:

a) **Validação do desempenho funcional:** A qual verifica como o produto atende os requisitos funcionais;
b) **Validação dos requisitos do ambiente operacional:** Que verifica como o produto pode entregar suas funções em diversas condições de ambiente, tais como, altas e baixas temperaturas, vibrações e impactos, umidade, maresia, entre outras;
c) **Validação dos requisitos de confiabilidade:** A qual verifica como o produto pode desempenhar suas funções no longo período de uso. Esta validação deve incluir a validação de tempo de vida útil e da degradação da função;
d) **Validação dos requisitos de uso:** A qual verifica como o produto pode entregar suas funções sob várias condições de uso, algumas vezes até mesmo condições abusivas de uso;
e) **Validação dos requisitos de segurança:** Que verifica como o produto pode atender aos requisitos de segurança;
f) **Validação de compatibilidade e interfaces:** Verifica se um produto ou equipamento precisa trabalhar com outros produtos e equipamentos, então é necessário verificar como eles podem trabalhar adequadamente juntos, verificar se são compatíveis;
g) **Validação dos requisitos de manutenção:** Verifica se o trabalho de manutenção do produto pode ser realizado adequadamente, bem como manutenções para atualização do produto. Verifica também metas de tempo entre manutenções corretivas e preventivas.

Nem todas estas validações precisam ser realizadas. Para diferentes produtos, os requisitos de validação e suas importâncias relativas para cada tipo de validação podem ser diferentes. Deve-se realizar uma análise dos requisitos de validação para compilar a lista para todos estes itens.

A validação dos processos de manufatura tem como objetivo verificar se os processos conseguem produzir produtos que se deseja com suficiente capacidade de processo e essas validações de processo podem incluir as seguintes atividades:

a) **Validação da especificação de produtos**: Que tem como objetivo verificar se o processo de manufatura pode produzir produtos que satisfaçam o projeto pretendido;

b) **Validação da capacidade de processo (curto prazo):** Tem como propósito verificar se o processo de manufatura consegue produzir com satisfatória capacidade de processo.

A validação da produção tem como objetivo confirmar se a produção em massa pode entregar produtos finais com baixo custo, alta produtividade e nível de qualidade Seis Sigma.

A validação da produção pode incluir as seguintes atividades:

a) **Validação da capacidade do processo (longo prazo):** Verifica-se o processo que satisfaz a capacidade de curto prazo pode também atender na produção em massa;
b) **Validação da produtividade:** A proposta aqui é para verificar se os processos de produção em massa podem produzir com suficiente quantidade e produtividade, apresentando baixo nível de paradas e interrupções;
c) **Validação dos custos de produção:** Tem como objetivo verificar se os processos de produção em massa podem produzir produtos com suficiente baixo custo.

2.1.3. Desafios para a implementação do DFSS

Existem diversos desafios que devem ser abordados para que se tenha uma correta implementação do *DFSS*. Dentre os trabalhos que relatam implementação do *DFSS*, os que realizaram pesquisas com empresas e outros de revisão de literatura da área, apontam vários desafios para a implementação do DFSS. Segundo Nicolaescu *et.al.* (2015) engenheiros tendem a resistir a este tipo de estruturação pois acreditam que o mesmo inibe a criatividade. Para vários autores um dos principais desafios é convencer os engenheiros que melhorias são necessárias. A compreensão, a cooperação ou aprovação dos mesmos deve ser conseguida antes da introdução do *DFSS* em suas atividades (PARK, 2003; SHAHIN, 2008; JOHNSON 2002). Uma das lições enumeradas por Treichler et al. (2002) para evitar armadilhas na implementação do *DFSS*, diz respeito à mudança da cultura da engenharia. Porem o processo de mudança cultural é um esforço de longo prazo que normalmente não é muito bem aceito por engenheiros. Para Gremyr et al. (2012), não se deve propor aos engenheiros que o o processo que eles têm trabalhado por muitos deve ser descontinuado e substituído por uma nova abordagem.

De acordo com Shahin (2008) o uso das ferramentas utilizadas no DFSS, depende de um nível de entendimento e treinamento avançados, podendo ser um empecilho para a implementação do programa. Para Park (2003) é muito importante o treinamento em *DFSS*, uma vez que existem muitas ferramentas como QFD, *DOE*, técnicas de simulação, projeto robusto, análise de regressão, que muitas vezes não são de conhecimento trivial. Para Kovach

et al. (2005) todos os funcionários envolvidos no processo de desenvolvimento, deveriam entender como o *DFSS* funciona, os benefícios para o cliente, para o negócio e para eles próprios. Segundo Varshapetian e Semenova (2015), o *DFSS* exige um grau maior de customização baseado em características específicas da área de atuação, da empresa e do próprio produto sendo assim os treinamentos deveriam ser cuidadosamente preparados com exemplos práticos e reais para que engenheiros e pesquisadores pudessem entender a utilidade do método. De acordo com Carvalho et. al. (2016) mesmo com treinamento adequado ainda pode existir a resistência por parte do público alvo.

De acordo com Mader (2003) para facilitar a implementação é preciso que as etapas do DFSS sejam integrados às entregas do processo já vigente. Para Gerhorst et al. (2006) é importante prover uma ligação entre as fases do desenvolvimento de produto e influenciar efetivamente nas decisões do planejamento. Para Varshapetian e Semenova (2015), o uso prático e efetivo do DFSS requer maturidade da gerência, certo nível de preparo e experiência. Para Gremyr *et al*. (2012) é preciso considerar as necessidades implícitas dos funcionários para apoiar os projetos *DFSS*.

Outra dificuldade já citada anteriormente é a falta de um roteiro padrão *DFSS*. Para Yang et. al. (2014) não há um modelo unificado apesar de vários padrões propostos por pesquisadores ou por empresas. De acordo com Watson e Deyong (2010) existem muitos modelos diferentes causando dificuldades no alinhamento com os processos da engenharia. Para Park (2003), projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) usualmente são difíceis e complexos gerando enormes dificuldades, nestes casos *Black Belts (BBs)* em *DFSS* deveriam ter dedicação em tempo integral juntamente com o líder do projeto.

De acordo com Yang K. e El-Haik B (2003) o uso de ferramentas preventivas é geralmente negligenciado devido a pressões de prazos de projeto e limitações de orçamento. É importante que a empresa proporcione tempo, espaço e suporte financeiro necessários para a condução de projetos DFSS. Para Echeveste et. al. (2016) os pesquisadores querem tempo para realizar uma boa pesquisa e os engenheiros querem respeitar os prazos. Segundo Wang et. al . (2016) a implementação da abordagem *DFSS* fica muito dificultada quando o orçamento é limitado e quando faltam incentivos para a inovação. Para o autor é importante fazer com que os gerentes de todos os níveis se comprometam a investir recursos para iniciar, promover, atualizar e financiar o programa.

A comprovação do valor gerado pelo de métodos de qualidade durante a fase de projetos também é amplamente discutida na literatura. De acordo com Echeveste *et. al.* (2016) a utilização da ferramenta certa na hora certa ao longo do ciclo do desenvolvimento do

produto é extremamente importante assim como , decidir quando escolher SS para solução de problemas (*DMAIC)* ou *DFSS* ou quando nenhum dos dois encaixam no problema. De acordo com Sokovi et. al. (2009) selecionar as ferramentas de qualidade mais apropriadas nem sempre é uma tarefa fácil. Para Gremyr e Fouquet (2012) muitas vezes a documentação de projetos DFSS é extensa. Por isto é fundamental ter um balanço adequado entre tempo de análise e tempo para a tomada de decisão. É importante discernir o verdadeiro "valor agregado" das atividades (JOHNSON, 2002).

2.2. Desenvolvimento das hipótese da pesquisa

De acordo com Montgomery (2010) a abordagem DFSS tem enfoque em desenvolvimento de novos produtos e processos ou em *re-design* daqueles já existentes. Para Hasenkamp e Olme (2008) é um método preventivo que deve ser utilizado nos estágios iniciais do desenvolvimento. Segundo vários autores como He *et al.* (2009) e Jahanzaib *et al.* (2013) a melhoria de um produto em sua fase de desenvolvimento envolve muito menos custos e é mais fácil e mais controlável do que fazer melhorias mais tarde, durante a fase final de produção. Após levantamento de dados em diferentes empresas de manufatura, Chung e Hsu (2010) concluíram que atividades relacionadas à DFSS têm um efeito positivo no desempenho do desenvolvimento de novos produtos, porém Hansenkamp (2010) ressalta que ferramentas e métodos são auxílios importantes, mas não geram automaticamente melhores níveis de qualidade e nem aumentam a satisfação do cliente por si só.

Antony et al. (2003), resumem os principais benefícios da implementação do DFSS que incluem: (1) redução da variabilidade dos processos; (2) aumento da lucratividade; (3) redução dos custos operacionais; (4) redução dos custos da não qualidade; (5) aumento da produtividade; (6) redução do tempo de ciclo; (7) redução das reclamações dos clientes; (8) aumento das vendas; (9) redução de inspeções. Motivado pelas experiências obtidas por outras organizações, o presente estudo pretende também analisar algumas hipóteses referentes aos resultados obtidos após a implementação do DFSS.

Um dos principais objetivos deste estudo é obter uma melhor compreensão de quais são os benefícios do uso do DFSS no desenvolvimento de produtos e processos. Para Riley *et al.*(2013) é necessário uma maior investigação para a compreensão de quais são os fatores que têm mais impacto no sucesso dos projetos. Para cumprir com os objetivos do trabalho será identificado com base na literatura hipóteses que serão analisadas com por meio de entrevistas e análise documental.

A seguir são elaboradas as hipóteses que serão analisadas no trabalho.

Ha (1): O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto.

De acordo com Azis e Osada (2011) o roteiro DFSS pode ser resumido como uma integração sistemática de ferramentas, métodos e processos voltados para o desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos. Para vários autores uma das principais contribuições do método é oferecer uma abordagem estruturada, um passo a passo para o desenvolvimento, tornando-o mais processual e trazendo assim um aumento da disciplina, foco e melhora na comunicação (AZIS e OSADA, 2013; RAFIQUE, 2013; NEAGU e HOERL, 2005).

Segundo Johson (2002) uma das vantagens em padronizar o processo de desenvolvimento de produtos é reduzir a dependência da experiência das pessoas para a obtenção dos resultados desejados do projeto. A padronização também ajuda a reduzir a nos resultados entre projetos e também facilita o treinamento de novos entrantes, uma vez que fica claro o processo de desenvolvimento a ser utilizado. Uma linguagem fácil e uma boa documentação também ajudam no processo de aprendizagem organizacional. Processo padronizado e uma linguagem comum permitem uma melhor comunicação, acompanhamento, documentação e entendimento, que por sua vez permitem melhorar os projetos no futuro. O compartilhamento de boas práticas e informações de projeto auxilia no aumento da eficiência e eficácia de desenvolvimento de novos produtos, trazendo redução nos custos de desenvolvimento e ganhos de qualidade e custos do produto.

Para Antony e Coronado (2002) um processo padronizado de desenvolvimento também facilita o planejamento do projeto, uma vez que são conhecidos os passos a serem executados. Segundo estes autores o DFSS é uma metodologia que torna o planejamento de produtos, processos e serviços mais eficiente e confiável.

Estas características e vantagens citadas serão avaliadas por meio da hipótese Ha (1) citada acima.

Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.

De acordo com Riley et. al. (2013) e Junker et al. (2011) o DFSS tem uma forte ênfase na voz do cliente e considera realmente suas necessidades. Para Gremyr et al. (2012), o DFSS promove uma melhor compreensão da complexidade de alguns grupos de clientes. O uso de ferramentas como Análise de Kano e métodos de priorização permitem uma minuciosa análise das necessidades dos clientes. Segundo Chung et al. (2008) isto promove uma clara definição dos requisitos dos clientes. Suffian e Ibrahim (2012) corroboram este fato, para eles o uso do DFSS permite que as necessidades dos clientes sejam compreendidas permitindo que objetivos do projeto sejam claramente de definidos.

Para Ferryanto (2007) o DFSS promove a identificação precoce de fatores críticos para o cliente, permitindo que a equipe do projeto tenha tempo hábil de desenvolver soluções adequadas para o atendimento das mesmas. De acordo com Riley et al. (2013) e Smith e Phadke (2005) o DFSS promove um esforço de envolvimento e entendimento que traz melhoria da satisfação e construção de novo relacionamento com o cliente. Vários autores afirmam que a utilização do DFSS ajuda a definir quais características do produto são valorizadas e priorizadas pelo cliente (ALVARES, 2015; RILEY et al., 2013; AZIS e OSADA, 200

O presente estudo de caso busca também avaliar se a identificação dos clientes e o entendimento de suas necessidades são facilitados com a utilização do DFSS, para isto a hipótese Ha (2) citada acima será avaliada.

Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.

De acordo com Azis e Osada (2011) o DFSS favorece a conversão do VOC em informações técnicas e mensuráveis, que por sua vez são utilizadas para guiar a criação e a seleção de conceitos. Para Yang, K e El-Haik, B. (2003), uma das principais razões para a insatisfação do cliente é o fato das especificações de projeto não traduzirem adequadamente o que é necessário para o produto desempenhar corretamente suas funções. Esta realidade pode ser atribuída às práticas atuais de desenvolvimento que não alocam atividades e recursos necessários para a correta definição das funções e respectivas metas e tolerâncias. Esta falta de definição de requisitos mensuráveis para a tradução do que é importante para o cliente, ocasiona um baixo entendimento das características importantes para o cliente e também a verificação se as mesmas estão sendo atendidas. Muitos projetos desperdiçam recursos

gastando muito tempo em atividades que trazem valor marginal para o cliente, uma lacuna que pode ser preenchida pelo correto desdobramento da VOC em característica mensuráveis.

Para Nicolaescu et al., (2015) a utilização do DFSS garante que os requisitos e necessidades dos clientes estejam integrados. A utilidade do método para a definição de características mensuráveis e correto desdobramento, será verificada por meio da análise da hipótese Ha (3).

Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.

Para Yang K. e El-Haik B., (2003) os conceitos são a tradução física das funções e a correta compreensão ajuda na geração de conceitos inovadores. O uso de uma matriz de seleção de conceitos ajuda na verificação dos requisitos funcionais durante o processo de escolha de conceito. Ela também fornece estrutura e controle para o processo de análise, geração e avaliação de soluções e pode ser utilizada para justificar porque os melhores conceitos foram selecionados e porque algumas soluções são inferiores e devem ser descartadas.

Segundo Junker et al. (2011) a seleção de conceitos deve ser realizada com equipes multifuncionais, garantido assim o entendimento das necessidades do produto sob diversos pontos de vista. Para Rajagopalan et al. (2007) os projetos DFSS devem ter um time com funções e conhecimentos diversificados. O desenvolvimento de produtos (DFSS) requer uma equipe dedicada, multifuncional e com longo prazo tipicamente incluindo pessoas que exerçam funções administrativas, de marketing, tecnologia, engenharia, manufatura, vendas e outras funções de suporte (LEE e CHANG, 2010).

O roteiro DFSS busca promover o envolvimento de vários clientes e diversas especialidades internas. Geralmente especialistas conhecem profundamente os requisitos funcionais (RFs) de sua área de conhecimento, não conhecendo tão afundo os requisitos de outras especialidades. Desda forma fica difícil para eles avaliarem o relacionamento e sensibilidade de todos os requisitos. Portanto somente uma equipe multidisciplinar trabalhando simultaneamente consegue promover a correta formulação dos requisitos, definição dos limites e entendimento dos relacionamentos e sensibilidades.

Pretende-se verificar se a identificação dos RFs auxilia o processo de seleção de conceitos, analisando-se a hipótese Ha (4).

Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.

De acordo com Koziolek e Derlukiewicz (2012) o DFSS estabelece a correlação entre fatores e propõe uma identificação quantitativa destes relacionamentos por meio de equações de Y=f(x), chamadas de funções de transferências. Tais funções são desenvolvidas para a predição da combinação ótima parâmetros de produto (PPs) e variáveis de processos (VPs) permitem também avaliações simultâneas de vários PPs e VPs à procura do potencial de melhoria. Segundo Yang K. e El-Haik B. (2003) deveria existir uma função transferência para toda função importante para o cliente.

O entendimento das relações causa-efeito será realizado pela análise da hipótese Ha (5).

Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.

De acordo com Junkes et al. (2011) o método DFSS promove uma detalhada identificação de riscos. Yang K. e El-Haik (2003) sugerem a análise de riscos para conceitos de sistemas e subsistemas logo nos estágios inicias do desenvolvimento. De acordo com Shahin (2008) o foco são os modos de falhas potenciais, associados com as funções do sistema, que são causados pelo projeto e devem ser identificados antes que o produto seja colocado em produção. Meng et al. (2011) recomendam que a análise de riscos provenientes do produto seja concluída antes da construção dos protótipos. Vários autores afirmam que a análise de riscos quando conduzidas nas etapas iniciais de desenvolvimento aumentam a confiabilidade e qualidade do produto (ALVAREZ, 2015; LIU et al., 2008; FERRYANTO, 2007; SMITH & PHADKE, 2005).

A contribuição do roteiro na identificação de riscos será verificada pela análise da hipótese Ha (6).

Ha (7): O método auxilia na obtenção de um ótimo global

De acordo com Yang K. e El-Haik (2003), a utilização das funções transferência permite a otimização dos requisitos funcionais (RFs), parâmetros de produto e variáveis de processo. Tem como principal objetivo identificar quais são os atendem os RFs no menor

custo total possível, ou seja, que atendam um ótimo global. A identificação dos vários RFs também auxilia no processo de otimização, por garantir que os pesos para priorização estejam alinhados com as expectativas dos clientes e que o processo considere os vários requisitos.

Esta característica será analisada pela análise da hipótese Ha (7).

Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento;

Segundo Antony (2002) os seguintes benefícios podem ser obtidos pela aplicação do DFSS no desenvolvimento de novos produtos e processos: (1) redução do tempo de lançamento de produtos inovadores ou melhorados de forma incremental; (2) redução dos custos do ciclo de vida associados com o produto; (3) redução do número de modificações de projeto e também do número de protótipos construídos durante a fase de desenvolvimento; (4) melhoria da qualidade e confiabilidade; (5) melhoria do gerenciamento de riscos durante o desenvolvimento; (6) redução dos custos de garantia.

O trabalho de Chung e Hsu (2010) concluiu que atividades relacionadas a DFSS têm um efeito positivo desempenho do desenvolvimento de novos produtos. Hasenkamp e Ölme (2008) relatam aumento da eficiência da engenharia após a implementação do DFSS e Alvarez (2015) e Ferryanto (2007) citam como fator positivo a redução do custo de produto e do processo. Também o trabalho de Rajagopalan et al. (2007) relata que o tempo de desenvolvimento e prototipagem, na W.R. Grace (indústria de refinaria) foi reduzido de 12-11 para 9-8 meses após a implementação do DFSS. Outros vários autores citam a redução do tempo de desenvolvimento e de lançamento de novos produtos como contribuições da abordagem DFSS (ALVAREZ, 2015; SURANGE, 2015; GRANT e MERGEN, 2009; FERRYANTO, 2007; RAJAGOPALAN et al., 2007; MADER, 2003).

Também várias empresas tiveram um aumento em suas vantagens competitivas alavancadas pelo uso do DFSS. Bons resultados foram reportados pela Dow Chemical (Buss e Ivey, 2001), W.R. Grace (Rajagopalan et al., 2004), Delphi Automotive (Treichler et al., 2002), NCR Corporation (McClusky, 2000), General Electric (Weiner, 2004).

A análise da hipótese Ha (8) analisará se estes mesmos resultados foram obtidos na empresa estudada.

Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.

De acordo com Surange (2015) a utilização do DFSS traz benefícios intangíveis como o aumento da moral dos funcionários e melhora da imagem da organização. Gremyr e Fouquet (2012) relatam o aumento da moral e da confiança da organização, também ressaltam que o ambiente de aprendizagem colaborativa é reforçado com a condução de projetos DFSS. Já Lucas et al. (2015) afirmam que o DFSS melhora o trabalho em equipe.

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1.1. Classificação da pesquisa científica

As formas clássicas de se classificar pesquisas científicas estão relacionadas à natureza, aos objetivos, à abordagem e ao método.

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como básica ou aplicada. Enquanto a pesquisa básica é movida pelo interesse na ampliação do conhecimento científico, a pesquisa aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade.

Segundo Appolinário (2011), a pesquisa básica estaria mais ligada ao incremento do conhecimento científico, sem objetivos comerciais, ao passo que a pesquisa aplicada suscitada por objetivos comerciais através do desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados às necessidades do mercado.

O presente trabalho caracteriza-se quanto à natureza, uma pesquisa aplicada.

Com relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva, explicativa e normativa.

A pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão; a pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta dados como questionário e observação sistemática. Já a pesquisa explicativa visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, “o porquê” das coisas, enquanto a pesquisa normativa está primariamente interessada no desenvolvimento de políticas, estratégias e ações para aperfeiçoar os resultados disponíveis na literatura existente, para encontrar uma solução ótima para novas definições de problemas ou para comparar várias estratégias relativas a um problema específico.

Apesar de conter elementos de vários tipos de objetivos, este trabalho tem como objetivo principal aperfeiçoar o resultado da utilização do método *DFSS* e encontrar uma solução ótima para a disseminação de sua utilização e facilitar sua implementação em

empresas brasileiras, portanto quanto ao objetivo este trabalho pode ser classificado com de pesquisa normativa.

Quanto à forma de abordagem, a pesquisa pode ser classificada em: quantitativa, qualitativa e combinada.

A pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificado, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, por isso requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas.

A pesquisa qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave.

Já a pesquisa combinada considera que o pesquisador pode combinar aspectos das pesquisas qualitativas e quantitativas em todos ou em algumas das etapas do processo de pesquisa.

Este trabalho apresenta muitos elementos da pesquisa qualitativa uma vez que é realizado no ambiente natural de desenvolvimento de projetos, e conta com o relato de pesquisadores e engenheiros que fizeram o uso do *DFSS*, além da pesquisa documental de projetos. Porém, o trabalho também procura reduzir um pouco a subjetividade das análises por meio da classificação dos projetos e entrevista utilizando técnicas quantitativas. Portanto, quanto à forma de abordagem o trabalho pode ser classificado como de pesquisa combinada.

Do ponto de vista dos métodos, a pesquisa pode ser feita através de experimento, levantamentos ou *survey*, modelagem e simulação, estudo de caso, pesquisa-ação e *soft system methodology*.

O experimento é empregado quando se determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

A pesquisa de levantamento ou *survey* é empregada quando envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento deseja-se conhecer e analisar.

A modelagem e simulação são empregadas quando se deseja experimentar através de um modelo, um sistema real, determinando-se como este sistema responderá a modificações que lhe são propostas.

O estudo de caso envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

A pesquisa-ação é utilizada quando concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo, nela os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Por fim a *soft system methodology* auxilia a formulação e estruturação do pensamento sobre os problemas em situações complexas. Seu princípio está na construção de modelos conceituais e na comparação desses modelos com o mundo real.

O método escolhido para o desenvolvimento deste trabalho é o de estudo de caso, que foi realizado no departamento de pesquisa e desenvolvimento de uma empresa que desenvolve produtos para o mercado de refrigeração e a seguir será dada uma ênfase maior a este método e suas etapas.

A figura 2 mostra como ficou a classificação da pesquisa:

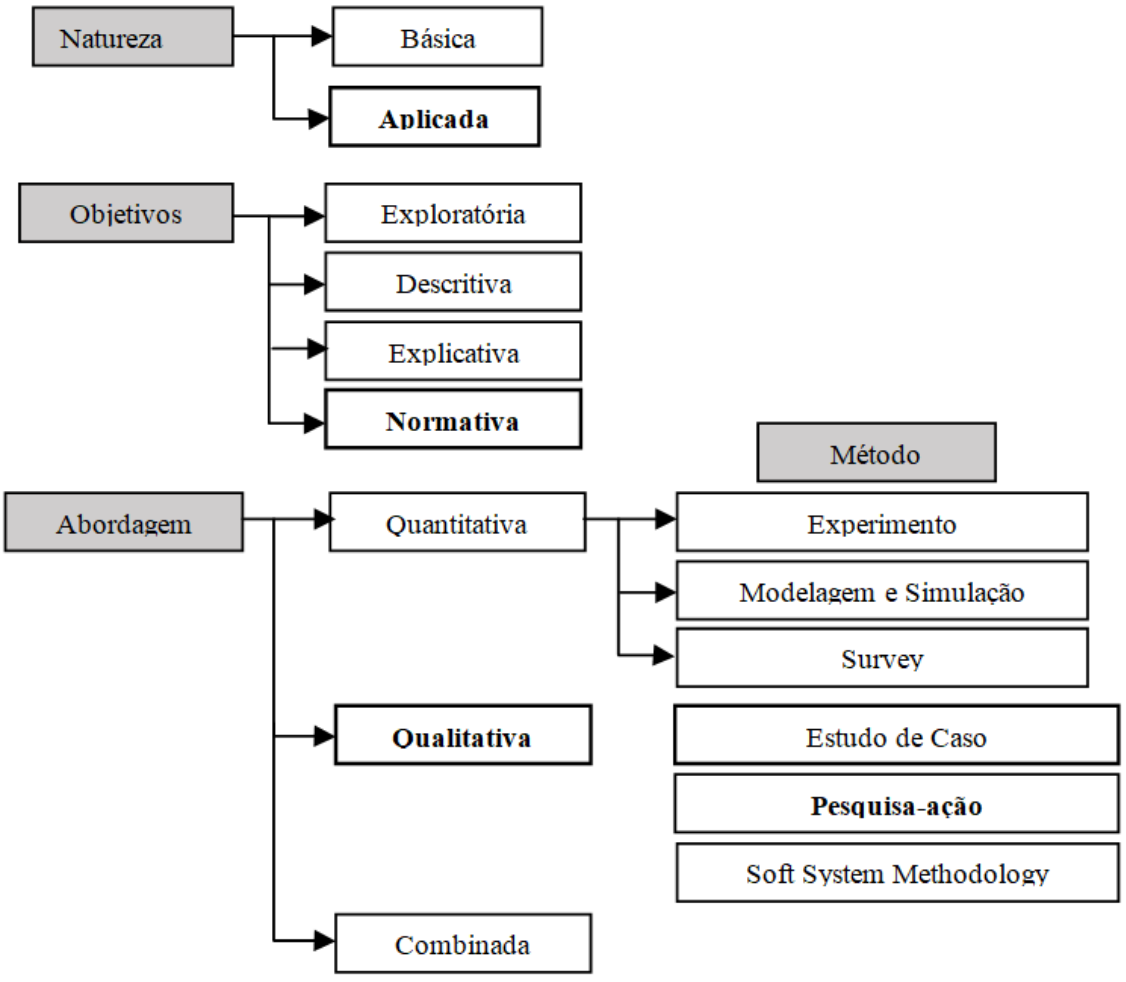


Figura 2 - Classificação do trabalho de pesquisa

3.1.2. O método de estudo de caso

O estudo de caso é um estudo de natureza empírica que investiga um determinado fenômeno geralmente contemporâneo, dentro de um contexto real de vida, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que ele se insere não são claramente definidas.

Trata-se de uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), para que permita o seu amplo e detalhado conhecimento (NAKANO, 2000).

Seu objetivo é aprofundar o conhecimento acerca de um problema não suficientemente definido (MATTAR, 1996), visando estimular a compreensão, sugerir hipóteses e questões ou desenvolver a teoria.

Há, predominantemente, três tipos de estudo de caso, dependo dos objetivos para o qual ele é usado: exploratório, descritivo e explanatório (Yin, 1993).

O estudo de caso exploratório é uma espécie de estudo piloto que pode ser feito para testar as perguntas norteadoras do projeto, hipóteses, e principalmente os instrumentos e procedimentos. Concluído o estudo exploratório, haverá perguntas que serão modificadas, retiradas ou acrescentadas, instrumentos que serão refinados, ou hipóteses que serão reformuladas, com base no que funcionou ou deixou de funcionar.

Mesmo sendo exploratório, haverá um planejamento cuidadoso, o mais detalhado possível, para que não haja desperdício de tempo, nem do pesquisador nem dos sujeitos envolvidos.

O estudo de caso descritivo tem por objetivo mostrar ao leitor uma realidade que ele não conhece. Não procura estabelecer relações de causa e efeito, mas apenas mostrar a realidade como ela é, embora os resultados possam ser usados posteriormente para a formulação de hipóteses de causa e efeito.

O estudo de caso explanatório pode ser considerado o mais ambicioso dos três, já que tem por objetivo não apenas descrever uma determinada realidade, mas também explicá-la em termos de causa e efeito.

O estudo de caso explanatório pode também ter como objetivo a confirmação ou generalização de determinadas proposições teóricas.

Este trabalho se enquadra como um estudo de caso descritivo que tem como objetivo mostrar uma realidade de aplicação de *DFSS*, mostrando seus resultados num ambiente de desenvolvimento de produtos e processos.

3.1.3. Estruturação do estudo de caso

Para a estruturação do estudo de caso poder-se considerar que algumas decisões metodológicas são de ordem estratégica. Decisões relativas à escolha da abordagem mais adequada ao endereçamento da questão de pesquisa, enquanto que outras são de nível tático ou operacional, decisões relativas aos procedimentos de condução da pesquisa (MIGUEL, 2007).

Segundo Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), o estudo de caso pode ser usado para diferentes propósitos de pesquisa, tais como:

- Exploração: Objetiva explorar áreas para pesquisa e desenvolvimento de teorias;
- Construção de teoria: Tem como propósito identificar/descrever variáveis chaves, ligações entre variáveis e entender "porque" essas ligações existem;
- Teste da teoria: Testa as teorias desenvolvidas nos estágios anteriores e realiza predições de resultados futuros;
- Refinamento/extensão de teoria: Tem como objetivo estruturar melhor as teorias a luz dos resultados observados.

O presente trabalho tem como propósito um refinamento e extensão do uso do método de *DFSS*. Para isto propõe um roteiro simplificado para *DFSS*, faz uso do mesmo e procura entender via estudo de caso qual o valor que o método agregou ao processo de desenvolvimento.

No nível operacional é definida uma estrutura para a condução do estudo de caso. Yin (1993) denomina essa estrutura de projeto de pesquisa. Segundo esse autor, o projeto de pesquisa é a sequência lógica que conecta os dados empíricos às questões de pesquisa iniciais do estudo e, em última análise, às suas conclusões.

Como estrutura para condução do trabalho será adotado adaptado ao modelo proposto por Eisenhardt (1989), que possui as seguintes etapas:

- Iniciar o estudo de caso
  - Definição das questões da pesquisa;
  - Criação dos constructos preliminares.
- Selecionar casos
  - Especificação da população.
- Elaborar instrumentos e protocolos de pesquisa

  - Definição de múltiplos métodos para a coleta de dados;
  - Combinação de dados qualitativos e quantitativos;
  - Utilizar múltiplas investigações.
- Iniciar pesquisa de campo
  - Sobrepor dados coletados e análises incluindo notas realizadas em campo;
  - Utilizar métodos de coleta de dados flexíveis e oportunistas.
- Analisar os dados
  - Análise individual dos casos;
  - Pesquisa de padrão entre casos utilizando técnicas divergentes.
- Desenvolver e testar hipóteses
  - Tabulação iterativa das evidências para cada constructo;
  - Replicação da lógica através dos casos;
  - Procurar evidências do "porque" dos relacionamentos.
- Comparar com a literatura
  - Comparação com literatura conflitante;
  - Comparação com literatura semelhante.
- Compor o relatório final do estudo de caso
  - Realizar a conclusão quando ocorrer à saturação teórica.

Segundo Eisenhardt (1989), uma definição inicial da questão da pesquisa, mesmo que em termos gerais, é importante para a construção de teorias a partir do estudo de caso.

Uma pesquisa sem foco torna-se susceptível de ser subjugada pelo volume de dados e a definição da questão de pesquisa dentro de um tópico abrangente permite ao pesquisador especificar o tipo de organização a ser abordada e o tipo de dados a serem coletados.

Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) acrescentam que nesta estratégia de pesquisa a quantidade de dados que podem ser coletados é muito grande. Por essa razão, quanto maior for o foco da pesquisa, mais fácil será para identificar os casos potenciais e para se desenvolver os protocolos de pesquisa.

A especificação de construtos a priori também pode ajudar no desenvolvimento do projeto inicial da pesquisa de construção da teoria (EISENHARDT, 1989). Apesar deste tipo de especificação não ser comum nos estudos de construção da teoria, ela é valiosa porque permite que os pesquisadores meçam os construtos com maior precisão. Se esses construtos provam a sua importância durante o progresso da pesquisa, os pesquisadores têm uma forte

fundamentação empírica para a teoria emergente. Esses construtos podem ser explicitamente medidos nos protocolos e questionários de entrevistas.

Outro ponto importante do projeto de pesquisa é definir a unidade de análise ou de investigação. A seleção dos casos é um aspecto bastante importante no estudo de caso. Como se trata de um teste de hipóteses, o conceito de população é crucial, porque a população define o conjunto de elementos dos quais a pesquisa será realizada.

A correta seleção da população também ajuda a definir os limites para a generalização das conclusões. Segundo Yin (1993), o estudo de caso único é um projeto apropriado nas circunstâncias onde ele representa um caso decisivo ao testar uma teoria bem-formulada.

A teoria especifica um conjunto claro de proposições, assim como as circunstâncias nas quais se acredita que as proposições sejam verdadeiras. Para confirmar, contestar ou estender a teoria deve existir um caso único, que satisfaça todas as condições para testar a teoria. O caso único pode, então, ser utilizado para se determinar se as proposições da teoria são corretas ou se algum outro conjunto alternativo de explanações possa ser mais relevante.

O caso único pode significar uma importante contribuição à base de conhecimento e à construção da teoria, o estudo pode até mesmo nos ajudar a redirecionar investigações futuras em uma área inteira.

Outro fundamento lógico para um caso único é aquele em que o caso representa um caso raro ou extremo. Um terceiro fundamento para um estudo de caso único é o caso revelador. Essa situação ocorre quando o pesquisador tem a oportunidade de observar e analisar um fenômeno previamente inacessível à investigação científica.

Esses três fundamentos representam as razões principais para conduzir; um estudo de caso único. Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) destacam como vantagem da utilização do estudo de caso único a oportunidade que ele permite observações mais profundas.

O estudo de caso único é análogo a um experimento único, e muitas das condições que servem para justificar um experimento único também justificam um estudo de caso único.

Projetos de caso único, exigem uma investigação cuidadosa do caso em potencial para minimizar as chances de uma representação equivocada e para maximizar o espaço necessário para se coletar as evidências do estudo de caso. Este tipo de estudo de caso apresenta algumas limitações como: a natureza do estudo de caso pode se alterar, sem o conhecimento do investigador, durante a realização do estudo.

As questões iniciais do estudo podem apresentar uma orientação, mas, à medida que o estudo avança, pode surgir uma orientação diferente, e as evidências começam a se voltar para questões diferentes. Embora algumas pessoas afirmem que essa flexibilidade é o ponto forte

da abordagem de estudo de caso, na verdade a maior crítica aos estudos de caso se baseia nesse tipo de mudança - no qual o projeto de pesquisa original não é mais adequado às questões da pesquisa que estão sendo feitas. Devido a esse problema, é preciso se evitar esse deslize insuspeitado; se as questões relevantes da pesquisa realmente mudarem, deve-se recomeçar o trabalho, com um novo projeto de pesquisa.

Uma maneira de aumentar a percepção a esse tipo de deslize é possuir um conjunto de subunidades. Com elas, um projeto de caso único com múltiplas unidades de análise pode servir como um importante mecanismo para focalizar uma investigação de estudo de caso. As subunidades podem acrescentar oportunidades significativas a uma análise extensiva, realçando o valor das impressões em um caso único. No entanto, se for dada atenção demasiada a essas subunidades, e se os aspectos holísticos mais amplos do caso começar a ser ignorado, o próprio estudo de caso terá sua orientação alterada e sua natureza modificada.

Para orientar o pesquisador na condução do seu estudo de caso é interessante a elaboração de um protocolo de pesquisa que segundo Yin (1993), este protocolo é uma das táticas principais para se aumentar a confiabilidade e a validade da pesquisa de estudo de caso.

Um protocolo para o estudo de caso é mais do que um questionário, ele contém procedimentos e as regras gerais que deveriam ser seguidas ao utilizar o questionário. O protocolo é uma das táticas principais para se aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso e destina-se a orientar o pesquisador na condução do estudo.

O protocolo deve apresentar as seguintes seções:

- Uma visão geral do projeto do estudo de caso: Contendo os objetivos e patrocínios do projeto, questões do estudo de caso e leituras importantes sobre o tópico que está sendo investigado.
- Procedimentos de campo: Com as credenciais e acesso aos locais do estudo de caso, fontes gerais de informações e advertências de procedimentos.
- Questões do estudo de caso: Contém as questões específicas que o pesquisador do estudo de caso deve manter em mente ao coletar os dados, uma planilha para disposição específica de dados e as fontes em potencial de informações ao se responder cada questão.

Para iniciar a pesquisa de campo, o primeiro passo é conseguir acesso à organização que será considerada como unidade de investigação. Os dados devem ser coletados de pessoas e instituições existentes, e não dentro dos limites controlados de um laboratório. Assim, em

um estudo de caso, o pesquisador deve aprender a integrar acontecimentos do mundo real às necessidades do plano traçado para a coleta de dados; nesse sentido, o pesquisador não controla o ambiente da coleta de dados como se poderia controlar ao utilizar outras estratégias de pesquisa.

Observe que, em um experimento de laboratório, "objetos" humanos são convidados a entrar no laboratório, isto é, um ambiente controlado quase que inteiramente pelo pesquisador da pesquisa. Nesse contato inicial o pesquisador pode apresentar o protocolo de pesquisa e discutir os benefícios mútuos da pesquisa com os participantes potenciais. Dessa forma, a organização pode ter uma primeira noção do contexto que envolve a pesquisa, do perfil dos respondentes potenciais e dos procedimentos necessários para a realização da pesquisa.

Um ponto forte muito importante da coleta de dados para um estudo de caso é a oportunidade de utilizar muitas fontes diferentes para a obtenção de evidências, denominada de triangulação.

O uso de várias fontes de evidência nos estudos de caso permite que o pesquisador se dedique a uma ampla diversidade de questões históricas, comportamentais e de atitudes.

A vantagem mais importante, no entanto, é o desenvolvimento de linhas convergentes de investigação.

Com a triangulação, o pesquisador pode se dedicar ao problema em potencial da validade do construto, uma vez que várias fontes de evidências fornecem essencialmente várias avaliações do mesmo fenômeno.

A triangulação frequentemente inclui: observação direta do pesquisador no ambiente do caso; sondagens através de questionamentos dos participantes do caso por explicações e interpretações dos dados operacionais e análises de documentos escritos e dos locais onde se dá o ambiente do caso estudado.

Yin (1993) discute seis fontes de evidências: documentação, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e os artefatos físicos. Nenhuma dessas fontes possui uma vantagem indiscutível sobre as outras, na verdade elas são complementares. Um bom estudo de caso utilizará o maior número possível de fontes de evidências.

Ainda segundo Yin (1993) os benefícios que se pode obter a partir dessas seis fontes de evidências podem ser maximizados se o pesquisador mantiver presente três princípios para a coleta de dados. Eles são importantes para todas as seis fontes de evidências e auxiliam o pesquisador a estabelecer a validade do construto e a confiabilidade do estudo de caso.

Um segundo princípio bastante importante para o estudo de caso é a criação de um banco de dados para o estudo de caso e esse princípio tem a ver com a maneira de organizar e documentar os dados coletados para os estudos de casos.

Todo projeto de estudo de caso deve empenhar-se para desenvolver um banco de dados formal apresentável, de forma que, em princípio, outros pesquisadores possam revisar as evidências diretamente, e não ficar limitados a relatórios escritos. Um banco de dados aumenta a confiabilidade do estudo.

O terceiro princípio é manter o encadeamento de evidências. Esse princípio consiste em permitir que um observador externo, o leitor do estudo de caso, por exemplo, possa perceber que qualquer evidência proveniente de questões iniciais da pesquisa leve às conclusões finais do estudo de caso.

Além disso, o observador externo deve ser capaz de seguir as etapas em qualquer direção: das conclusões para as questões iniciais da pesquisa ou das questões para a conclusão. Eisenhardt (1989) acrescenta que a coleta de dados deve combinar evidências qualitativas e quantitativas.

A combinação desses tipos de dados pode ser altamente sinergética. As evidências quantitativas podem indicar relacionamentos que podem não parecer salientes para o pesquisador em um primeiro momento e ainda corroborar as descobertas provenientes das evidências qualitativas. Eisenhardt (1989) considera que alternar a coleta de dados com a análise de dados não apenas dá ao pesquisador a vantagem na análise, mas mais importante, permite que os pesquisadores tirem vantagem da flexibilidade da coleta de dados. Ajustes adicionais podem ser feitos aos instrumentos de coleta de dado.

Outro elemento importante no estudo de caso é estabelecer a confiabilidade e validade do estudo de caso. Segundo Yin (1993), quatro testes são comumente utilizados para determinar a qualidade das pesquisas:

- Validade do constructo: Onde se estabelece medidas operacionais corretas para os conceitos que estão sob estudo. Para isto devem-se utilizar múltiplas fontes de evidências e estabelecer um encadeamento de evidências;
- Validade interna: Estabelece uma relação causal, por meio da qual são mostradas certas condições que levem a outras. Para isto deve fazer análise de séries temporais e fazer construção da explanação;
- Validade externa: A qual estabelece domínios nos quais as descobertas de um estudo podem ser generalizadas;

- Confiabilidade: Forma de demonstrar que os procedimentos de coleta de dados podem ser repetidos, apresentando os mesmos resultados. Para isto deve-se utilizar um protocolo pesquisas bem elaborado e organizar um banco de dados para o estudo de caso.

Para Yin (1993) maior erro que se comete ao se realizar estudos de casos é conceber a generalização estatística como método de se generalizar os resultados do caso, uma vez que os casos não são unidades de amostragem. Ou seja, o estudo de caso é generalizável a proposições teóricas e não a populações ou universos.

Outra etapa extremamente importante do estudo de caso é a análise de dados. Segundo Eisenhard (1989) a análise de dados é o coração da construção de teorias a partir dos estudos de caso, mas é também a mais difícil e a parte menos codificada do processo.

Yin (1993) também concorda, afirmando que a análise das evidências de um estudo de caso é um dos aspectos menos explorados e mais complicados ao realizar estudos de caso.

Devido à grande quantidade de dados é muito fácil a análise divergir e dados e conclusões ficarem muito diferentes. Uma etapa importante é a análise interna dos casos. A importância da análise interna (dentro do caso) é importante devido à enorme quantidade de dados típico aos estudos de caso.

A análise interna de dados pode ajudar os investigadores a lidar com essa enorme quantidade de dados. Ela envolve estudos detalhados para cada um dos casos.

Muitas vezes a análise interna são apenas descrições puras, mas elas são centrais para a geração de discernimento e compreensão.

Não existe um formato padrão para essa análise, alguns autores combinam a descrição narrativa com análises longitudinais, outros utilizam tabelas e gráficos para cada um dos casos. Na verdade, existem inúmeras abordagens que podem variar de acordo com o gosto do pesquisador. No entanto a ideia principal é tornar-se intimamente familiar com cada caso como uma entidade autônoma.

Este processo permite que os padrões únicos de cada caso surjam antes que os investigadores queiram generalizar os padrões entre os casos. Isto traz ao pesquisador uma grande familiaridade com cada um dos casos o que ajuda posteriormente na comparação entre casos (EISENHARDT, 1989).

Já a busca sistemática pelos padrões na análise interna dos casos é uma etapa chave na pesquisa por estudos de casos. Também é essencial para aumentar o poder de generalização das conclusões extraídas dos casos (Voss, Tsikriktsis e Frohlich, 2002).

Para Eisenhardt (1989) a chave para uma boa comparação inter casos e ver os dados de diversas formas uma delas é selecionar categorias ou dimensões e então buscar por similaridades de intra grupos junto com diferenças intergrupos.

As dimensões podem ser sugeridas pelo problema da pesquisa ou pela literatura existente. Outra tática é selecionar pares de casos e então listar as similaridades e diferenças entre cada par. Esta tática força os pesquisadores a buscar as similaridade e diferenças sutis entre os casos. O resultado dessas comparações forçadas pode ser de novas categorias e conceitos que os investigadores não conheciam. Outra tática é dividir os dados por fontes de dados como: dados de entrevista, de questionários, observações.

Quando o padrão de uma fonte de dados é corroborado pelas evidências de outra fonte, a descoberta é mais forte e melhor fundamentada.

Quando as evidências são conflitantes, o pesquisador pode algumas vezes reconciliar a evidência através de sondagens mais profundas do significado dessas diferenças. A idéia geral por trás dessas táticas de análises internas é forçar os pesquisadores a ir além das impressões iniciais, especialmente pelo uso de métodos estruturados para uso dos dados (Eisenhardt, 1989).

Segundo Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), o estudo de caso é usado para testar as hipóteses e para o desenvolvimento de teorias. Na maioria das pesquisas com estudos de caso existem algumas hipóteses iniciais que podem ser diretamente testadas usando-se os dados do caso. Entretanto, em outros estudos de caso o foco pode ser também o desenvolvimento de teorias e o desenvolvimento ou ajuste de novas hipóteses a partir dos dados coletados, assim como testar as hipóteses iniciais.

Eisenhardt (1989) sugere dois passos para o ajuste das hipóteses. O primeiro passo é aprimorar os construtos, envolvendo o refinamento da definição do construto e a construção de evidências que meçam o construto em cada caso. Isso acontece através da constante comparação entre os dados e o construto, de forma que as evidências acumuladas das diversas fontes convirjam para um único e bem definido construto.

O segundo passo é verificar se as relações emergentes entre os construtos se ajustam com as evidências de cada caso. Eisenhardt (1989) afirma que os dados qualitativos são particularmente úteis para entender por que as relações emergentes acontecem. Quando uma relação é sustentada, os dados qualitativos em geral fornecem um bom entendimento da dinâmica por trás da relação, ou seja, o “por que” do que está acontecendo. Isso é crucial para o estabelecimento da validade interna. A autora conclui que o ajuste das hipóteses na pesquisa de construção da teoria envolve medir os construtos e verificar as relações. Ela considera que

esse processo é similar a tradicional pesquisa de teste de hipóteses. Contudo, ela explica que esses processos são mais baseados no julgamento nas pesquisas de construção da teoria porque os pesquisadores não podem aplicar testes estatísticos.

Uma característica essencial para a construção da teoria é comparar os conceitos, teorias ou hipóteses emergentes com a literatura existente. Isso envolve perguntar o que é similar, o que se contradiz e por que.

Quanto mais extensa for, a literatura pesquisada, melhor (Eisenhardt, 1989). Examinar a literatura que entra em conflito com a teoria emergente é importante por duas razões. Primeiro, se os pesquisadores ignorarem os resultados conflitantes, a confiança nos resultados será reduzida. Segundo e talvez mais importante, literatura conflitante representa uma oportunidade. A justaposição de resultados conflitantes força os pesquisadores a se tornarem mais criativos com formas diferentes de pensar.

O resultado pode ser uma compreensão mais profunda tanto da teoria emergente quanto da literatura conflituosa, bem como da nitidez dos limites da generalização da pesquisa focal. Os achados similares que são discutidos pela literatura também são importantes porque une similaridades subjacentes em fenômenos normalmente não associados entre si. O resultado é muitas vezes de uma teoria com maior validade interna, maior generalização, e maior nível conceitual.

Em geral, amarrar a teoria emergente à literatura existente aumenta a validade interna, a generalização e o nível teórico da construção de teoria a partir da pesquisa de estudo de caso.

Embora vincular os resultados à literatura seja importante na maioria das pesquisas, ela é particularmente crucial na pesquisa de construção de teoria, porque os achados geralmente se baseiam em um número muito limitado de casos. Nesta situação, qualquer corroboração adicional de validade interna ou generalização é uma melhoria importante (EISENHHARDT, 1989).

Todo o conjunto de atividades das etapas anteriores deve então ser sintetizado em um relatório de pesquisa. Duas questões são importantes para alcançar o fechamento: quando parar de adicionar casos e quando parar de iterar entre teoria e dados. No primeiro, idealmente, os pesquisadores deveriam parar de adicionar casos quando a saturação teórica é alcançada.

A segunda questão é quando parar de iterar entre teoria e dados, novamente, a saturação é a idéia chave. Ou seja, o processo de iteração para quando a melhoria incremental

da teoria é mínima. O produto final do estudo pode ser conceitos, estrutura conceitual, proposições ou ainda uma teoria intermediária.

De acordo com Yin (1993) cinco características tornam um estudo de caso exemplar. Essas cinco características devem indicar que o estudo de caso é ou deve ser:

- Significativo: isso acontece quando o caso ou casos individuais não forem usuais e de interesse público; as questões subjacentes forem de importância nacional, tanto em termos teóricos quanto em termos práticos; ou as duas condições anteriores;
- Completo: o caso completo é aquele em que os limites do caso recebem uma atenção explícita, também deve demonstrar que o pesquisador despendeu esforços exaustivos ao coletar as evidências relevantes;
- Considerar perspectivas alternativas: para os estudos de caso explanatórios, uma abordagem muito valiosa é o exame de proposições concorrentes e a análise de evidências nos termos dessas proposições;
- Apresentar evidências suficientes: o estudo de caso deve apresentar evidências convincentes para que o leitor possa fazer um julgamento independente em relação ao mérito da análise. As evidências devem ser apresentadas de forma neutra, tanto com dados de sustentação quanto com dados de contestação;
- Considerar perspectivas alternativas: para os estudos de caso explanatórios, uma abordagem muito valiosa é o exame de proposições concorrentes e a análise de evidências nos termos dessas proposições;

Ser elaborado de uma maneira atraente: ou seja, ele deve ser escrito em um estilo claro e que incite o leitor a continuar lendo. O pesquisador deve ser entusiástico ao transmitir amplamente os resultados obtidos.

4. ESTUDO DE CASO DA IMPLEMENTAÇÃO DA ABORDAGEM DE ROTEIRO DFSS PROPOSTA, EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA

4.1. Seleção do Caso

O presente estudo de caso tem como objetivo compreender quais são os benefícios da utilização do DFSS no desenvolvimento de novos produtos e processos. O DFSS já é um a metodologia bem estruturada, utilizada por várias empresas. Segundo vários autores como Neagu e Hoerl (2005), Azis e Osada (2013) e Rafique (2013), uma das principais contribuições do método é oferecer uma abordagem estruturada, um passo a passo para o desenvolvimento, tornando-o mais processual e trazendo assim um aumento da disciplina, foco e melhora na comunicação. São constados também redução do tempo de desenvolvimento, redução de custos de desenvolvimento e lançamento do produto. Estes e outros ganhos citados pela literatura de DFSS desejam ser verificados, criando o entendimento de quais são os elementos e circunstâncias necessárias para que sejam possíveis. Para isto deve-se realizar um estudo profundo e detalhado, para que se possa observas as diversas condições e testar a teoria.

É importante levar em considersação o fato de que ainda poucas empresas utilizam DFSS aqui no Brasil e por se tratar do desenvolvimento de novos produtos, as empresas limitam o acesso a tais projetos e pessoas envolvidas. Estes fatores sugerem que a escolha de um estudo de caso único seja a melhor opção para o trabalho, pois este irá permitir o aprofundamento necessário e análise de diversas condições. Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) destacam como vantagem da utilização do estudo de caso único a oportunidade de se realizar observações mais profundas. Projetos de caso único exigem uma investigação cuidadosa do caso, para minimizar as chances de uma representação equivocada e para maximizar o espaço necessário para se coletar as evidências do estudo de caso.

A empresa escolhida para a realização do estudo de caso é uma empresa nacional com unidades de negócios em vários outros países e com o centro de pesquisa e desenvolvimento localizdo no Brasil. A empresa investe de 3% a 4% do faturamento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e possui uma equipe de cerca de 600 engenheiros e técnicos neste departamento. .A área de P&D conta com o suporte de 47 laboratórios próprios, localizados nas diferentes unidades e parceiria com diversas universidades. O reconhecimento do

desempenho do departamento de P&D pode ser atestado pelas cartas-patentes obtidas em âmbito mundial. São cerca de 1700 patentes depositadas vigentes e mais de 3.600 no total. É uma das empresas nacionais com o maior número de patentes concedidas nos Estados Unidos. Pelo quarto ano consecutivo, foi eleita, uma das dez empresas, mais inovadoras do Brasil pelo *Ranking Valor Inovação* 2018, um dos mais tradicionais e reconhecidos no Brasil.

O desenvolvimento de projetos DFSS teve início no ano de 2014 quando 60 pessoas foram treinadas e desenvolveram 40 projetos. Desde 2016 os métodos e ferramentas do DFSS estão integrados com o sistema de desenvolvimento de produtos do departamento de P&D e também fazem parte das competências de desenvolvimento de carreira da engenharia. Importante também salientar que os times de projetos são suportados por um Black Belt DFSS de dedicação integral.

4.2. Instrumentos de Pesquisa e Protocolos

Segundo Eisenhardt (1989), os pesquisadores de um estudo de caso geralmente combinam múltiplos métodos de coleta de dados que se baseiam em diferentes fontes de evidências. De acordo com YIN (1993) seis fontes são as principais do estudo de caso: documentação, registro de arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. Voss, Tsikriktsis e Fronhlich (2002) consideram que a principal fonte de dados em um estudo de caso é a entrevista estruturada, freqüentemente apoiada por entrevistas não estruturadas e interações. Neste trabalho foram utilizadas as seguintes fontes de evidências:

- Documentação: Foram analisados vinte projetos completos de DFSS e materiais de treinamento;
- Entrevistas: foram realizadas entrevistas estruturadas e semiestrutrudas. As entrevistas estruturadas foram aplicadas por meio de um questionário com questões fechadas, formuladas a partir de aspectos chave extraídos da literatura, os quais foram analisados através de uma escala de Likert de cinco pontos. O questionário foi aplicado a gestores e executores projeto e também responsáveis pelo treinamento e desdobramento do DFSS dentro da empresa. Durante a mesma entrevista houve uma sessão de perguntas semiestruturadas onde a resposta era aberta;
- Observação direta: Observação do local de estudo para avaliação de alguns comportamentos relevantes.

4.2.1. Protocolo de pesquisa

Para auxiliar o pesquisador durante a condução do estudo de caso foi elaborado um protocolo de pesquisa. Segundo Yin (1993), o protocolo de pesquisa é uma das principais táticas para se aumentar a confiabilidade e a validade da pesquisa de estudo de caso. Voss, Tsikriktsis e Fronhlich (2002) consideram que a essência do protocolo é o conjunto de questões a serem usadas nas entrevistas.

As seguintes questões foram realizadas na entrevista estruturada. Elas foram baseadas na literatura e nas opiniões dos especialistas em DFSS. No total foram realizadas 10 questões para verificar quais foram os pontos que a utilização do método auxiliou como seguem:

A utilização do DFSS ajudou nos seguintes atividades/características?

1. Planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto.
2. Identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.
3. Desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.
4. Lembrança dos requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.
5. Entendimento das relações causa-efeito.
6. Identificação de riscos.
7. Obtenção de um ótimo global
8. Eficiência do processo de desenvolvimento;
9. Aumento da moral dos funcionários.

Cada uma destas questões foi analisada utilizando uma escala de Likert com os seguintes cinco pontos:

1. Discordo totalmente;
2. Discordo parcialmente;
3. Indiferente;
4. Concordo parcialmente;
5. Concordo totalmente.

4.3. Pesquisa de Campo

4.3.1. Documentação

Foram desenvolvidos vários projetos desde o início da implementação do DFSS na empresa em estudo. Foram escolhidos vinte projetos para a avaliação de quais foram as

principais ferramentas e métodos utilizados. Por ser tratar de projetos de desenvolvimento de novas tecnologias e produtos, os detalhes técnicos do desenvolvimento não serão apresentados, mas isto não trará prejuízos aos objetivos deste trabalho que é entender sobre o uso e valor agregado das ferramentas do DFSS. Para fins de confidencialidade serão apresentados apenas os nomes dos projetos e qual componente foi envolvido no desenvolvimento. A lista abaixo mostra os nomes dos projetos analisados:

- Projeto 1: Desenvolvimento de um processo para acabamento superficial dos mancais do eixo;
- Projeto 2: Definição das cotas críticas para o volume morto entre pistão e cabeçote;
- Projeto 3: Desenvolvimento de elemento de fixação entre pistão e biela;
- Projeto 4: Desenvolvimento de câmara de sucção;
- Projeto 5: Desenvolvimento de placa isolante para motores de velocidade variável;
- Projeto 6: Estudo de geometria do anel de descarga da placa válvula;
- Projeto 7: Estudo de geometria da lâmina do estator de motores de velocidade variável;
- Projeto 8: Estudo do impacto de sucção direta e semi-direta na eficiência do compressor;
- Projeto 9: Desenvolvimento de cabeçote para compressores comerciais;
- Projeto 10: Desenvolvimento da câmara de descarga;
- Projeto 11: Desenvolvimento de fixação do inversor diretamente no compressor
- Projeto 12: Desenvolvimento de válvula para equalização de pressão
- Projeto 13: Seleção de dispositivo de partida para compressores comerciais
- Projeto 14: Desenvolvimento de válvula de comutação
- Projeto 15: Análise para aumento de eficiência de sistemas e compressores
- Projeto 16: Desenvolvimento de fixação para a tampa do cilindro
- Projeto 17: Desenvolvimento de fixação entre câmara e tubo de descarga
- Projeto 18: Desenvolvimento de bloco
- Projeto 19: Desenvolvimento de fixação ente bloco e tampa do cilindro
- Projeto 20: Desenvolvimento de fixação entre tampa do cilindro e câmara de descarga.

As tabelas abaixo analisam qualitativamente como os projetos atenderam as questões realizadas pelo protocolo de pesquisa. Foram confrontadas as nove hipóteses do estudo com os vinte projetos. Cada projeto foi analisado para entender quais foram as ferramentas utilizadas e se estas contribuíram para o objetivo pretendido.

Tabela 1 - Análise qualitativa dos projetos (1 a 5)

Análise qualitativa dos projetos (1 a 5)					
Hipóteses	**Projeto 1:** Desenvolvimento de um processo para acabamento superficial dos mancais do eixo.	**Projeto 2:** Definição das cotas críticas para o volume morto entre pistão e cabeçote.	**Projeto 3:** Desenvolvimento de elemento de fixação entre pistão e biela	**Projeto 4:** Desenvolvimento de câmara de sucção	**Projeto 5:** Desenvolvimento de placa isolante para motores de velocidade variável
Ha (1): O método DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto.	A **Matriz Pugh** ajudou a organizar a avaliação dos conceitos. O **SIPOC** ajudou a identificar qual o escopo do projeto.	O **roteiro DFSS** e a sequência de utilização das ferramentas ajudaram no planejamento do projeto e atendimento dos objetivos.	A **Matriz Pugh** ajudou a organizar a avaliação dos conceitos. Ficaram bem definidas as características a serem otimizadas. A fase de verificação ficou organizada e validada com **testes de hipóteses**.	A utilização do **roteiro DFSS** o ajudou no planejamento, condução do projeto e alinhamento entre áreas.	O **roteiro DFSS** ajudou na linha lógica de condução do projeto. Auxiliou também a documentação das necessidades e justificativas das escolhas.
Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.	O **VOC** trouxe algumas evidências, mas nada de muito novo, que não fosse ser observado pelo projeto.	A organização do VOC ajudou na documentação e racional do projeto. Porém o VOC não trouxe nada de novo.	Identificação do VOC trouxe necessidades de produto, processo, qualidade. Auxiliou mais na consolidação das informações, mas não trouxe necessidades desconhecidas	Um time multifuncional foi envolvido, porém as necessidades que foram listadas ficaram distantes do componente que estava sendo desenvolvido. As necessidades ficaram muito vagas.	**Time multifuncional**: Produto e processos foram envolvidos. Isso ajudou no levantamento das necessidades.
Ha (3): O método auxilia no desdobramento	A **Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou	A **Casa da Qualidade 1 do QFD**), ajudou a	**Casa da Qualidade 1 do QFD**, ajudou o **desdobramento do**	Realizada **análise funcional** simplificada, e elaborada a **Casa da**	**Análise funcional** detalhada ajudou a criar critérios

da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.	organizar os limites de especificações e forçou a definição de algumas funções. Foi realizada a análise do sistema de medições **MSA**, para várias características	organizar os limites de especificações e forçou a definição de outros. Mas nada que fizesse uma grande diferença no rumo do projeto.	**VOC** em itens mensuráveis. Rápida **análise funcional** auxiliou pensar nas funções.	**Qualidade 1 do QFD.** Isto ajudou na definição de critérios mensuráveis.	mensuráveis de confiabilidade, isolamento, processos e montagem.
Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.	O desdobramento ajudou a criar critérios para avaliação, porém nada que fez muita diferença na avaliação do que normalmente seria avaliado.	O **Desdobramento da VOC** ajudou a manter a atenção nos principais Requisitos Funcionais relacionados ao Volume Morto.	Os **Requisitos Funcionais** foram utilizados para na seleção do conceito.	Os conceitos foram analisados sob o ponto de vista de diversos **requisitos funcionais**. Foi utilizada **Matriz Pugh** para organizar as análises, que foram inicialmente qualitativas e depois quantitativas (3)	Foram considerados 68 critérios mensuráveis (**requisitos funcionais)** para a seleção do conceito, que foram divididos em três etapas para a análise. Na primeira etapa foram considerados 20 critérios que representavam 56% do peso total, na segunda foram adicionados mais 20 critérios e com isto 86% do peso dos critérios, e na última etapa foram considerados todos os critérios.

Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.	A utilização da **Casa da Qualidade 3 do QFD, ANOVA, Regressão** e **DOE** ajudaram a identificar e organizar as variáveis e as relações causa-efeito.	A utilização das **Casas da Qualidade (2 e 3) do QFD** ajudaram o entendimento das relações causa-efeito.	Utilização do **DOE** ajudou a quantificar as relações causa-efeito.	**Análise funcional**, construção das **Casas da Qualidade (1 e 2) do QFD** e **DOE** ajudaram a entender as principais relações causa-efeito.	A **análise funcional** detalhada ajudou no entendimento das relações causa-efeito
Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.	O PFMEA ajudou a identificação de alguns riscos de processos. Porém nada muito profundo que não seria obtido sem o uso da ferramenta.	A utilização do **DFMEA** ajudou na identificação dos principais riscos.	Realizado análise de riscos **DFMEA**. A fase de verificação também ajudou a análise de algumas características.	Realizado análise de riscos **DFMEA**. A fase de verificação também ajudou a análise de algumas características.	Não foi realizado análise de riscos (FMEA ou DFMEA). Porém a grande quantidade de requisitos funcionais (68) ajudou a antever alguns riscos.
Ha (7): O método auxilia na obtenção de um ótimo global	**DOE** ajudou otimizar o processo levando e consideração aspectos de produtividade e qualidade.	A **Alocação Estatística de Tolerâncias** ajudou a encontrar a melhor especificação para produto e processos.	Utilização do **DOE** e **Desejabilidade** ajudou otimizar as principais variáveis de interesse.	Utilização do **DOE** e **Desejabilidade** permitiram a obtenção de uma otimização global.	Os vários **Requisitos Funcionais** ajudaram a encontrar um ótimo entre produto e processos.
Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento;	O processo de compra da máquina e implementação do projeto aconteceu dentro do prazo. Mesmo	O **roteiro DFSS** e ferramentas ajudaram no processo de reflexão e entendimento das principais	O **roteiro DFSS** ajudou a organizar o processo de desenvolvimento. Auxiliou também o processo de **comunicação**.	O **roteiro DFSS** ajudou a organizar o desenvolvimento, atender os requisitos técnicos das áreas envolvidas, prazos de desenvolvimento e custos	O **roteiro DFSS** ajudou a execução, **comunicação** e **convergência** do desenvolvimento do novo conceito de

	se tratando de um processo inovador para a empresa.	características críticas para o Volume Morto.		do componente.	componente. Possibilitou pensar em conceitos diferentes dentro de um prazo limitado.
Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.	Engenheiro que desenvolveu o projeto obteve o reconhecimento do bom trabalho realizado.	Projetista que desenvolveu participou de congresso onde apresentou o trabalho.	Não houve nada significativo em relação a aumento da moral.	Utilização do método permitiu a otimização de duas principais áreas de produto. O componente posteriormente foi utilizado por vários produtos, gerando um espírito de equipe e bom trabalho desenvolvido	Especialista responsável pelo desenvolvimento teve um entendimento do todo o que ajudou a fazer bons questionamentos e realizar uma boa negociação de preço para o componente.

Tabela 2 - Análise qualitativa dos projetos (6 a 10)

Análise qualitativa dos projetos (6 a 10)					
Hipóteses	**Projeto 6:** Estudo de geometria do anel de descarga da placa válvula	**Projeto 7:** Estudo de geometria da lâmina do estator de motores de velocidade variável	**Projeto 8:** Estudo do impacto de sucção direta e semi-direta na eficiência do compressor	**Projeto 9:** Desenvolvimento de cabeçote para compressores comerciais	**Projeto 10:** Desenvolvimento da câmara de descarga
Há (1): O método DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto.	**O roteiro DFSS** auxiliou a documentação do desenvolvimento do componente.	**O roteiro DFSS** ajudou apenas na documentação das análises.	Maioria dos testes que forneceram subsídios para a decisão já seriam listados por um	**O roteiro DFSS** permitiu a correta condução, comunicação e acompanhamento do	**O roteiro DFSS** ajudou no planejamento e permitiu uma rápida convergência para a

	Desenvolvimentos anteriores não tinham um roteiro padrão ficando ao cargo do engenheiro responsável decidir o roteiro.		simples planejamento de testes. Foram comparados 2 conceitos já existentes.	projeto.	solução de interesse do projeto. Ajudou também na **comunicação**.
Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.	Foram envolvidas diversas áreas, porém não foi descoberta nenhuma necessidade não conhecida anteriormente.	Identificação do VOC foi muito generalista e pouco ajudou no desenvolvimento do componente.	Foram envolvidas diversas áreas, porém não foi descoberta nenhuma necessidade não conhecida anteriormente.	Foi realizado o levantamento do contexto do negócio no qual o produto e o subsistema estavam envolvidos. Realizado o levantamento das necessidades técnicas sob diversos pontos de vista.	Foi envolvido um **time multifuncional** de produto e processos para o levantamento do **VOC**.
Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.	Foi realizada **análise funcional** para a definição de critérios mensuráveis. Foram definidas as características que são normalmente verificadas.	A **Casa da Qualidade 1 do QFD**, ajudou a definir várias características mensuráveis para o VOC e priorizá-las.	A **Casa da Qualidade 1 do QFD**, ajudou a definir várias características mensuráveis para o **VOC** e **priorizá-las**. Também ajudou a realizar um **Benchmarking** do nível de desempenho de alguns compressores.	Foi realizada **análise funcional** para cada componente do subsistema estudado. A utilização da **Casa da Qualidade 1do QFD** permitiu entender o relacionamento das funções com as necessidades dos clientes.	A utilização da **Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou a explicitar as funções do produto.

Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.	A utilização da **Matriz Pugh** levou em consideração os diversos **requisitos funcionais** e seus respectivos pesos, permitindo focar a análise quantitativa nos conceitos que apresentaram um maior potencial na análise qualitativa.	Foram gerados vários requisitos funcionais, porém apenas alguns deles foram utilizados para a seleção do conceito.	A **Matriz Pugh** ajudou a organizar a análise dos **requisitos funcionais**. Nesta fase foram realizadas apenas análises qualitativas de dois conceitos.	Cada componente do subsistema foi avaliado por meio da **Matriz Pugh**. Foram desenvolvidas oito matrizes.	Foram considerados **requisitos funcionais** de produto e processo na seleção do conceito.
Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.	**Análise funcional**, **DOE** e simulações ajudaram no entendimento das relações causa-efeito.	Foram comparados apenas conceitos finais, não foi realizada uma análise aprofundada de causa-efeito.	Integração da **Casa da Qualidade 2 do QFD** com o **DFMEA** o que possibilitou um entendimento qualitativo das relações causa-efeito. Porém foram realizados poucos testes experimentais para a quantificação dos riscos.	**Análise funcional**, **Casa da qualidade (1 e 2) do QFD**, **DFMEA**, **DOE** e simulação permitiram explicitar e quantificar as relações causa-efeito.	Não foi realizada nenhuma análise para a identificação e quantificação das relações causa-efeito.
Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.	Não foi realizada a análise de riscos via FMEA ou DFMEA. Porém **DOE** ajudou	Não foi realizada análise de riscos com FMEA ou DFMEA. Análise	Realizada análise de **DFMEA**. Mas não foi realizado nenhum teste	Realizado análise de riscos **DFMEA** e testes para a verificação dos	Não foi realizada análise de riscos (FMEA ou DFMEA) no projeto. Porém os

	a identificar fatores importantes para o desempenho do componente.	preliminar dos conceitos ajudou a identificar riscos de não atender a alguns requisitos funcionais.	diferente da norma de aprovação para a verificação de riscos.	principais riscos (5).	**Requisitos Funcionais** para a seleção de conceito alertam para algumas características de projeto que ajudam a prevenir problemas.
Ha (7): O método auxilia na obtenção de um ótimo global	Foram considerada **Requisitos Funcionais** de produto e processo para a seleção do conceito e também na otimização via **DOE**.	Não foi realizada otimização. Conceito proposto não atendia a todos os requisitos iniciais.	Não foi realizada otimização. Porém análise da **Matriz Pugh** foi possível selecionar conceitos que atendem a vários requisitos funcionais de produto e processos.	Foram combinados os melhores componentes de cada modelo para a construção do subsistema. Otimização via **DOE** e **Mode Frontier** garantiu a correta alocação de tolerâncias e obtenção de um ótimo global	A utilização da **Matriz Pugh** ajudou na escolha de um conceito que atendeu aos requisitos funcionais de produto processo e montagem.
Ha (9): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento;	O **roteiro DFSS** ajudou a organizar as fases do desenvolvimento, porém nada que tenha melhorado significativamente o desempenho do desenvolvimento.	O **roteiro DFSS** ajudou a organizar as análises, porém pouco ajudou a realizar reflexões mais aprofundadas.	O **roteiro DFSS** ajudou na documentação e comunicação, porém um plano de testes comparando os componentes propostos poderia chegar no mesmo resultado.	Projeto complexo onde o **roteiro DFSS** ajudou no planejamento, condução e documentação.	O **roteiro DFSS** ajudou na rápida convergência de uma solução adequada para produto e processo. Sem a utilização do roteiro DFSS o componente seria desenvolvido com foco somente em produto.

Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.	Não houve nada significativo em relação a aumento da moral.	Não houve nada significativo em relação a aumento da moral.	Envolvimento da área de assistência técnica, vendas e engenharia. Decisão sobre o tema foi tomado em **time.**	Especialista que desenvolveu o projeto teve a oportunidade de apresentar o projeto em diversos fóruns internos e externo, com o reconhecimento dos gestores.	União significativa entre produto e processo. Desenvolvimento de produto voltado à manufatura e custos.

Tabela 3 - Análise qualitativa dos projetos (11 a 15)

Análise qualitativa dos projetos (11 a 15)					
Hipóteses	**Projeto 11:** Desenvolvimento de fixação do inversor diretamente no compressor	**Projeto 12:** Desenvolvimento de válvula para equalização de pressão	**Projeto 13:** Seleção de dispositivo de partida para compressores comerciais	**Projeto 14:** Desenvolvimento de válvula de comutação	**Projeto 15:** Análise para aumento de eficiência de sistemas e compressores
Há (1): O método DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto.	O **roteiro DFSS** ajudou no planejamento e desenvolvimento de um conceito inovador. Ajudou também no **acompanhamento** do projeto e **comunicação**.	O **roteiro DFSS** ajudou na **condução** do projeto e **documentação** da solução.	O **roteiro DFSS** ajudou na comunicação, entendimento e consenso das análises.	A utilização da **Matriz Pugh** ajudou a análise e seleção de conceito que atendeu as necessidades de produto e processos.	Projeto foi desenvolvido em conjunto com o cliente, o qual valorizou a abordagem de trabalho. O **roteiro DFSS** ajudou no planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto.

Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.	Envolvimento de **time multifuncional** interno. Porém com pequeno envolvimento do cliente externo.	Necessidades listadas foram superficiais e ficaram distantes do componente em desenvolvimento.	Foram envolvidas diversas áreas como produto, processos, compras, marketing e assistência técnica. Porém as necessidades ficaram muito abrangentes. VOC poderia ter sido mais específico para o componente em desenvolvimento.	Necessidades listadas foram superficiais e ficaram distantes do componente em desenvolvimento, maior aprofundamento foi obtido somente na definição dos **requisitos funcionais**.	As necessidades foram explicitadas e classificadas utilizando o **Modelo de Kano**. Isto ajudou no processo de comunicação. A **Segmentação dos Produtos** ajudou a identificar necessidades específicas.
Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.	A **análise funcional** ajudou a tornar objetivas as necessidades dos clientes (VOC) que estavam subjetivas. Utilização da **Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou a entender o relacionamento entre o VOC e os **requisitos funcionais**.	A **Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou a relacionar o VOC com os **requisitos funcionais**.	VOC foi traduzido em **requisitos funcionais** o que ajudou a deixar mais objetivo necessidades como: confiabilidade, flexibilidade e facilidade de manutenção.	Foram definidos vários **requisitos funcionais** que ajudaram a deixar o **VOC objetivo e mensurável**.	**Análise Funcional**, **Casa da Qualidade 1 do QFD, funções de transferência** da literatura e **análise de sensibilidade** ajudaram a definir uma precisa orientação para o projeto.
Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no	Foram considerados vários **requisitos funcionais** de diversas áreas para a seleção do	Foram listados vários **requisitos funcionais** que ajudaram na seleção do	Foram listados **requisitos funcionais** de diversas áreas	Foram definidos vários **requisitos funcionais** (68) com seus respectivos limites de especificação, o que possibilitou a escolha	Foram listados diversos **requisitos funcionais** para a avaliação dos conceitos.

processo de seleção de conceitos.	conceito.	conceito.		de um conceito que atendeu os requisitos de produto e processos.	
Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.	**Análise funcional** e análise de riscos **DFMEA** ajudaram a entender algumas relações causa efeito.	**Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou a começar a relacionar as relações causa-efeito.	**Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou a começar a relacionar as relações causa-efeito.	**Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou a começar a relacionar as relações causa-efeito.	**Casa da Qualidade 1 do QFD** ajudou a começar a relacionar as relações causa-efeito. **Análise de sensibilidade** ajudou a entender as características de maior impacto.
Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.	Foi realizada uma detalhada **análise funcional** e análise de riscos **DFMEA**, que permitiu uma detalhada análise de riscos técnicos.	Foi realizada uma simples análise de riscos sem utilização de métodos.	Não foi realizada análise de riscos.	Realizada análise de riscos **DFMEA** simplificado que ajudou a identificar alguns riscos.	Não foi realizada análise de riscos utilizando.
Ha (7): O método auxilia na obtenção de um ótimo global	A utilização da **Matriz Pugh** ajudou na escolha de um conceito inovador que atendeu aos requisitos de produto, processos e custos.	A utilização da **Matriz Pugh** ajudou a verificação de todos os requisitos funcionais, ajudando no atendimento de um ótimo global.	A escolha do conceito levou em consideração diversos **requisitos funcionais**, que permitiram a avaliação e escolha de conceito sob **diversos pontos de vista**.	Foram identificados vários requisitos funcionais de **diversas áreas** o que permitiu uma escolha de conceito que atendesse os diversos pontos de vista.	Foram listados vários requisitos funcionais do sistema, subsistema e componentes. Realizada **análise de Sensibilidade;** o que permitiu atuar nas características com a **melhor relação custo** versus **impacto**.

Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento;	O **roteiro DFSS** ajudou no desenvolvimento de conceito inovador dentro do prazo e custos definidos pelo projeto.	Ajudou mais na documentação do que no aumento da eficiência do processo.	O **roteiro DFSS** ajudou no planejamento, **condução**, **comunicação** e **documentação** do projeto.	O **roteiro DFSS** ajudou na geração de conceitos e rápida convergência de escolha, atendendo necessidades de produto e processos.	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento**, **documentação**, **condução** e **comunicação** com o cliente.
Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.	Projeto conseguiu uma boa concordância entre as áreas de produto e processos. Projeto entregue dentro do prazo.	Não houve nada significativo em relação a aumento da moral.	Conceito escolhido teve o consenso de todos os envolvidos.	Utilização do método ajudou a geração de um conceito que atende as necessidades de produto e que tem fácil manufatura. Isto ajudou o time a avançar com o projeto.	Utilização do método foi muito bem vista pelo cliente.

Tabela 41 - Análise qualitativa dos projetos (16 a 20)

Análise qualitativa dos projetos (16 a 20)					
Hipóteses	**Projeto 16:** Desenvolvimento de fixação para a tampa do cilindro	**Projeto 17:** Desenvolvimento de fixação entre câmara e tubo de descarga	**Projeto 18:** Desenvolvimento de bloco	**Projeto 19:** Desenvolvimento de fixação ente bloco e tampa do cilindro	**Projeto 20:** Desenvolvimento de fixação entre tampa do cilindro e câmara de descarga
Há (1): O método DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento**, comunicação, acompanhamento e	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento** e acompanhamento do projeto. Foi um guia	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento**, **comunicação** e **acompanhamento** do desenvolvimento.	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento, acompanhamento** e **comunicação** do	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento, acompanhamento** e **comunicação** do

acompanhamento do projeto.	**condução** do projeto.	para proposição e análise de um conceito inovador.		projeto.	projeto
Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.	Necessidades listadas foram superficiais e ficaram distantes do componente em desenvolvimento, maior aprofundamento somente foi realizado na definição dos requisitos funcionais.	Foram listadas necessidades de várias áreas incluindo produto, processo, montagem e compras.	Foram listadas as necessidades de diversas áreas de produto e processos. Todas elas bem relacionadas com o desenvolvimento do componente.	Foram listadas as necessidades de diversas áreas de produto e processos. Todas elas bem relacionadas com o desenvolvimento do componente.	Foram levantas necessidades de algumas áreas. Porém ficaram muito amplas e subjetivas, trazendo poucas novidades e pontos de atenção.
Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.	VOC foi traduzido em **Requisitos funcionais** que ajudou a deixar o VOC mais objetivo.	VOC foi traduzido em **Requisitos Funcionais**, definidos limites de especificações o que permitiu a geração direcionada de conceitos e a seleção de um conceito robusto.	Realizada a tradução do VOC em **requisitos funcionais** principalmente para processos de fabricação e montagem.	O **roteiro DFSS** ajudou na tradução das necessidades em **requisitos funcionais**. Muitas foram especificadas objetivamente na fase inicial.	**Análise funcional** detalhada permitiu a tradução do VOC em características mensuráveis.
Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes	**Requisitos Funcionais** ajudaram a análise e melhoria dos conceitos. Ajudou a focar a análise	Foram gerados diversos conceitos e a utilização da **Matriz Pugh** garantiu a correta convergência, considerando os	Foram definidos diversos **requisitos funcionais** para a seleção do conceito. Estes requisitos vieram de diversas áreas.	Foram considerados vários **requisitos funcionais** para a definição do conceito. Os requisitos vieram de	A **matriz Pugh** ajudou a organizar a análise dos diversos conceitos em relação a cada um dos **requisitos**

(internos e externos) no processo de seleção de conceitos.	quantitativa nos conceitos mais promissores.	**requisitos funcionais** de diversas áreas.		diversas áreas.	**funcionais**, permitindo uma avaliação criteriosa sob diversos pontos de vista e concentrar esforços nos conceitos mais promissores.
Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.	A **Casa da Qualidade 1 do QFD**, ajudou a relacionar as relações causa-efeito.	A construção da **casa da qualidade 1 do QFD**, análise de riscos **DFMEA** e testes para avaliar os requisitos funcionais ajudaram no entendimento das relações causa-efeito.	A construção da **casa da qualidade 1 do QFD**, análise de riscos **DFMEA** e testes para avaliar os requisitos funcionais ajudaram no entendimento das relações causa-efeito.	A construção da **casa da qualidade 1 do QFD**, análise de riscos **DFMEA** e testes para avaliar os requisitos funcionais ajudaram no entendimento das relações causa-efeito.	A construção da **casa da qualidade 1 do QFD**, análise de riscos **DFMEA** e testes para avaliar os requisitos funcionais ajudaram no entendimento das relações causa-efeito.
Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.	Não foi realizada análise de riscos.	Análise de riscos utilizando o **DFMEA**. Foram identificados vários possíveis riscos e realizados experimentos e simulações para análise	Foi realizada análise **DFMEA** para a identificação dos riscos e análise de riscos	Foi realizada análise **DFMEA** para a identificação dos riscos, definição de testes e análises.	Foi realizada análise **DFMEA** para a identificação dos riscos, definição de testes e análises.
Ha (7): O método auxilia na obtenção de um ótimo global	A escolha do conceito levou em consideração **diversos requisitos funcionais**, que permitiram a avaliação. Foram	O conceito selecionado levou em consideração requisitos de **produto, processo e montagem**. Novo componente atendeu a todas estas necessidades.	O roteiro DFSS permitiu a operacionalização da **engenharia simultânea** garantindo que as necessidades de produto e processos fossem atendidas.	O roteiro DFSS permitiu a operacionalização da **engenharia simultânea** garantindo que as necessidades de	O roteiro DFSS permitiu a operacionalização da **engenharia simultânea** garantindo que as necessidades de

	realizados simulações e testes para a avaliação das características.			produto e processos fossem atendidas.	produto e processos fossem atendidas.
Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento;	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento**, **condução**, **comunicação** e **documentação** do projeto. O roteiro foi um excelente guia para o desenvolvimento.	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento** e desenvolvimento de uma abordagem de **engenharia simultânea**. Projeto atendeu os prazos e custos.	O **roteiro DFSS** ajudou no **planejamento** e desenvolvimento de uma abordagem de **engenharia simultânea** com forte foco em processos. Atendeu os critérios de investimento, prazos e custos.	O **roteiro DFSS** ajudou na proposição e análise de um conceito inovador. Análises criaram confiança na solução, o que permitiu uma rápida convergência cumprindo os prazos e **atendendo** os limites de **custos**.	O **roteiro DFSS** ajudou na proposição e análise de um conceito inovador. Análises criaram confiança na solução, o que permitiu uma rápida convergência cumprindo os prazos e **atendendo** os limites de **custos**.
Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.	O **roteiro DFSS** ajudou a condução e comunicação do projeto, formando um espírito de equipe.	A abordagem de **engenharia simultânea** permitiu que as áreas trabalhassem juntas e melhorassem o **trabalho em time.**	A abordagem de **engenharia simultânea** permitiu que as áreas trabalhassem juntas e melhorassem o **espírito de equipe.**	A abordagem de **engenharia simultânea** permitiu que as áreas trabalhassem juntas.	A abordagem de **engenharia simultânea** permitiu que as áreas trabalhassem juntas e melhorassem o **trabalho em time.**

Tabela 5: Análise quantitativa dos projetos (1 a 20)

	Análise quantitativa dos projetos (1 a 20)																			
Hipóteses	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**	**P13**	**P14**	**P15**	**P16**	**P17**	**P18**	**P19**	**P20**
Ha (1): O método DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto.	5	5	5	4	4	4	4	3	5	5	5	2	5	2	5	4	4	4	4	5
Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.	2	2	3	2	4	2	4	2	4	3	3	2	3	1	3	1	3	4	4	3
Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.	4	3	4	3	5	3	4	3	5	4	5	3	4	4	5	3	4	4	3	3
Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.	3	4	5	3	5	4	3	3	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	5
Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.	5	4	4	4	3	4	2	3	5	-	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3
Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.	3	4	3	3	-	-	-	3	5	3	4	-	-	3	-	-	4	4	5	5
Ha (7): O método auxilia na obtenção de um ótimo global	4	5	4	4	3	4	3	3	5	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4
Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento;	4	5	3	4	4	2	3	2	5	5	4	3	5	4	5	4	5	4	4	5

Ativar o Wind

4.3.2. Entrevistas

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com engenheiros especialistas (executores) e gestores de projetos. Foram 12 entrevistas, com 6 especialistas e 6 gestores, todos os quais haviam conduzidos projetos DFSS. Cada entrevista com aproximadamente 60 minutos. Durante a entrevista tiveram a oportunidade de pontuar segundo uma escala Likert e discorrer sobre as seguintes questões:

A utilização do DFSS ajudou os seguintes itens?

Q.1: O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?

Q.2: O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) para o desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos?Desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.

Q.3: O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis?Entendimento das relações causa-efeito.

Q.4: O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos?

Q.5: O roteiro DFSS promove o entendimento das relações causa-efeito?

Q.6: O roteiro DFSS promove a identificação de riscos?

Q.7: O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global?

Q.8: O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento?

Q.9: O roteiro DFSS ajuda a promover o aumento da moral dos funcionários?

As tabelas abaixo resumem a análise qualitativa das entrevistas, trazendo as principais observações para cada uma das questões:

Tabela 2 - Análise Qualitativa das Entrevistas dos Executores

Análise qualitativa das entrevistas com os especialistas (Executores)	
Questões	**Comentários**
Q.1: O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?	Roteiro ajuda, porém, é muito dependente das pessoas, muito fácil de utilizar de maneira equivocada; Ajuda na sistematização dos processos.
Q.2: O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) para o desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos?	Ajuda na identificação dos participantes; Ajuda na identificação das necessidades de processos; Muitas vezes o cliente externo não é a origem do requisito, falta conhecimento do cliente externo. VOC mais interno do que externo; Dificuldades no processo de obtenção do VOC com clientes externos. Como garantir que estamos fazendo as perguntas corretas para o cliente? Dificuldade em obtenção de requisitos numéricos. Falta quantitativo: VOC é muito sensível a variação de escopo, este não pode variar muito, caso contrário o VOC fica inválido; O escopo do projeto deve estar fechado antes de fazer o VOC; VOC é fortemente dependente de um bom planejamento estratégico; Geralmente é investido pouco tempo para o levantamento e reflexão dos dados de entrada; Utilização do roteiro DFSS para o VOC deixa evidente se houver falta de informações.
Q.3: O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis?	Difícil desdobrar quando os requisitos estão muito qualitativos; Dificuldades para desdobrar quando os requisitos não estão bem escritos e especificados; Dificuldades para desdobrar quando acontece troca do time entre as fases do projeto.
Q.4: O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos?	Ajudou a lembrar dos requisitos funcionais e fazer o plano de testes; Ajuda a pensar nas outras dimensões e requisitos; Faltou relação com os testes realizados por norma.
Q.5: O roteiro DFSS promove o	Ajudou, porém, faltam ferramentas para facilitar a rastreabilidade. Por meio de planilhas é pouco prático;

entendimento das relações causa-efeito?	Ferramentas numéricas auxiliam mais o entendimento destas relações, permitem um maior refinamento análise.
Q.6: O roteiro DFSS promove a identificação de riscos?	Identificação dos riscos vai evoluindo ao longo do projeto; A medida que o projeto evoluí vai acontecendo aprendizados e percepção dos riscos.
Q.7: O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global?	Geralmente necessidades de processo são deixadas em segundo plano. Requisitos de processos acabam ficando com pouco peso no processo decisório. É importante ter alguém com uma visão geral do todo para garantir equidade das decisões e assim garantir o ótimo global; Às vezes pode ser tendencioso por falta de conhecimento e peso dos requisitos; Importante ter todos os requisitos com pesos bem definidos, isto é muito dependente das etapas iniciais de obtenção do VOC; Importante dar clareza e métrica na tomada de decisão.
Q.8: O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento?	Roteiro promove a engenharia simultânea, que por sua vez ajuda a reduzir "surpresas" para as áreas durante o processo de desenvolvimento, todos os envolvidos participam das decisões e sabem qual a direção do projeto, reduzindo o tempo de alinhamento de informações; Proporciona uma maior visão do todo, isto melhora a eficiência.
Q.9: O roteiro DFSS ajuda a promover o aumento da moral dos funcionários?	Torna o ambiente de desenvolvimento mais intenso, gera mais atrito ao longo do desenvolvimento, pois coloca constantemente as partes frente a frente; Promove grande interação entre áreas, principalmente entre produto e processos; Muitas vezes o curto prazo de desenvolvimento não permite tempo para a interação e transmissão de conhecimentos.

Tabela 7 - Análise Qualitativa das Entrevistas dos Gestores

Análise Qualitativa das Entrevistas dos Gestores	
Questões	**Comentários**
Q.1: O roteiro DFSS auxilia no	Ajuda nas interfaces entre áreas e na comunicação;

processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?	Ajuda, porém é importante criar um ambiente favorável para a aplicação do mesmo. Projetos de muito curto prazo não favorecem a aplicação; Aplicar o roteiro nos projetos e desafios que precisam. Quando é aplicado em todos, coloca-se energia nos que são triviais e não nos que são problemáticos, perde-se o foco; Cuidar para as pessoas não se apoiarem no método e ficarem menos críticas. Cuidar para o método não ser apenas para documentação e com isso não promover as discussões necessárias.
Q.2: O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) para o desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos?	Roteiro DFSS promove a discussão do VOC; Importante distinguir o que o cliente precisa, e o que ele não precisa. Naturalmente ele não faz barreiras e requerem tudo, fazendo com que se perda o foco no que é importante; VOC ajuda na definição conceitual, porém é importante envolver o cliente externo; VOC é muito dependente de interpretações; Muitas vezes o VOC poder apresentar muitas contradições, se não for corretamente obtido pode levar para direções equivocadas; É importante definir quem são os clientes e incluir a voz do negócio (Voice of Business- VOB) Roteiro ajuda mais os especialistas menos experiente, experientes já tem uma boa noção do que precisa ser projetado; Especialistas experientes já sabem o potencial do conceito, produto com grande maturidade; Dificuldade em fazer o VOC integralmente, perde-se o foco em coisa não importante; Importante ter experiência no uso da ferramenta. Importante ter a validação com o cliente o mais cedo possível; Utilizar protótipos para rapidamente trazer informações; Forçar o congelamento do escopo para realizar o VOC, pois este é muito sensível a variação de escopo. VOC é sensível a variação do escopo;
Q.3: O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis?	Cuidar para não cascatear tudo e perder o foco. Não se consegue ter profundidade em tudo; Importante re-utilizar as informações para os desdobramentos e desenvolvimentos.
Q.4: O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os	Quanto maior a experiência do especialista maior a quantidade de requisitos que ele leva em consideração.

requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos?	Naturalmente ele processa todos no processo decisório; Padrão de requisitos seria muito importante para o processo de seleção; Requisitos de interface são muito importantes, naturalmente não são lembrados.
Q.5: O roteiro DFSS promove o entendimento das relações causa-efeito?	Importante prototipar para responder as questões e ter uma análise mais quantitativa.
Q.6: O roteiro DFSS promove a identificação de riscos?	Riscos são gradualmente conhecidos ao longo do projeto.
Q.7: O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global?	Muito dependente das pessoas. Por vezes falta a visão do cliente.
Q.9: O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento?	Grupos de trabalho ajudam na melhoria da eficiência.
Q.10: O roteiro DFSS ajuda a promover o aumento da moral dos funcionários?	Roteiro promove interação entre as áreas.

Durante a entrevista os participantes tiveram a oportunidade de pontuar as questões segundo a seguinte escala Likert:

1. Discordo totalmente;
2. Discordo parcialmente;
3. Indiferente;
4. Concordo parcialmente;
5. Concordo totalmente.

A tabela abaixo apresenta o resultado quantitativo das entrevistas.

Tabela 8 - Consolidado da entrevista estruturada

A utilização do DFSS ajudou os seguintes itens?	**Executores**						**Gestores**					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Q.1: O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5
Q.2: O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) para o desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos?	5	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4
Q.3: O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis?	4	3	5	4	5	5	2	4	5	5	5	5
Q.4: O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos?	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	4	5
Q.5: O roteiro DFSS promove o entendimento das relações causa-efeito?	5	4	3	3	4	4	4	3	5	5	4	5
Q.6: O roteiro DFSS promove a identificação de riscos?	5	5	4	5	4	5	4	4	5	5	4	5
Q.7: O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global?	5	5	4	4	4	5	3	3	5	4	5	5
Q.8: O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento?	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	4	5
Q.9: O roteiro DFSS ajuda a promover o aumento da moral dos funcionários?	3	3	5	5	3	4	3	4	4	4	4	5

4.4. Análise de dados

Cada uma das oito hipóteses foi pontuada segundo esta escala. As hipóteses foram analisadas sob três principais pontos de vista:

- Executores do projeto: Que compreende os engenheiros especialistas de cada área de atuação (acústica, termodinâmica, estrutural, sistemas térmicos, produto, processos..) os quais tiveram treinamento de DFSS e fizeram o uso do roteiro, método e ferramentas nos projetos de desenvolvimento de produtos. Este público é o responsável pelo desenvolvimento de novas plataformas de produtos.
- Gestores de projeto: É composto pelo time de líderes de projetos, responsáveis pelo desenvolvimento de novos produtos e plataformas, e pelos gestores dos times de áreas especialistas, os executores. Muitos destes gestores tiveram treinamento de "*Champion DFSS*" e acompanham os times de executores durante as atividades do dia-a-dia.
- Análise de projetos: Se baseia na análise documental dos projetos desenvolvidos. Um conjunto de 20 projetos DFSS foi analisado e para cada um deles foi foram atribuídas notas em relação a cada uma das hipóteses.

As hipóteses foram analisadas inicialmente dentro de cada grupo. Nestes foram analisadas a mediana, amplitude, maior e menor valor das pontuações. Os grupos foram analisados na seguinte ordem: Grupo dos executores, gestores e projetos.

4.4.1. Análise do grupo de executores do projeto

A tabela 9 mostra o compilado das opiniões do grupo de executores e o gráfico 1 mostra o resultado da análise quantitativa.

Tabela 9 - Análise Quantitativa dos Executores

Questões	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Maior	Menor	Amplitude	Mediana	Opnião (mediana)
Q.1: O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5	Concordo totalmente.
Q.2: O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) para o desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos?	5	4	5	5	4	4	5	4	1	4,5	Concordo parcialmente - totalmente
Q.3: O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis?	4	3	5	4	5	5	5	3	2	4,5	Concordo parcialmente - totalmente
Q.4: O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos?	5	3	4	5	5	5	5	3	2	5	Concordo totalmente.
Q.5: O roteiro DFSS promove o entendimento das relações causa-efeito?	5	4	3	3	4	4	5	3	2	4	Concordo parcialmente;
Q.6: O roteiro DFSS promove a identificação de riscos?	5	5	4	5	4	5	5	4	1	5	Concordo totalmente.
Q.7: O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global?	5	5	4	4	4	5	5	4	1	4,5	Concordo parcialmente - totalmente
Q.9: O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento?	5	5	5	5	4	4	5	4	1	5	Concordo totalmente.
Q.10: O roteiro DFSS ajuda a promover o aumento da moral dos funcionários?	3	3	5	5	3	4	5	3	2	3,5	Indiferente – concordo parcialmente

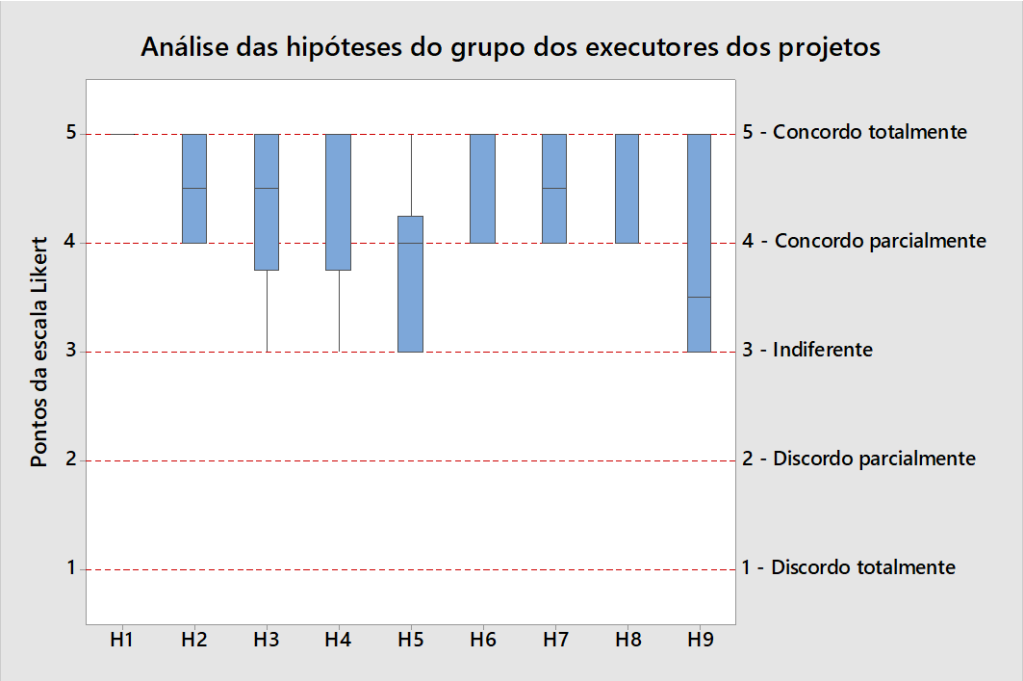


Gráfico 1 - Resultado das análises das hipóteses segundo o grupo de executores.

As respostas apresentarm uma pequena variação no grupo dos executores. Cada uma das hipóteses foi analisa em detalhes.

Ha (1): O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 5 = Concordam totalmente;
- Menor nota = 5

Os engenheiros especialistas responsáveis por executar os projetos concordam que o roteiro DFSS ajuda a planejar, comunicar e fazer o acompanhamento do projeto. Neste sentido a utilização do roteiro é um aliado para a atividade dos executores. Especialmente para as atividades de planejamento de projeto onde eles não precisam se preocupar com quais são as etapas que precisam ser executadas para a entrega do produto. Segundo os especialistas o roteiro ajuda na sistematização dos processos, porém ainda é muito dependente das pessoas, que podem fazer uso equivocado do método.

Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4,5 = Concordam parcialmente - totalmente;
- Menor nota: 4 = Concordam parcialmente

Os especialistas concordam que a utilização do roteiro ajuda no entendimento do que precisa ser executado, no entendimento do que o cliente necessita. Ajuda também no entendimento do projeto como um todo, tembém como funciona a participação de outras áreas, como as metas estão compartilhadas. Ajuda também no entendimento de quais são os mercados e clientes. Sem a utilização do roteiro muitos especialistas conheciam apenas a parte do projeto de sua responsabilidade sem o entendimento do todo e o porquê de algumas metas.

Apesar de entenderem que o roteiro ajuda no entendimento do VOC, durante a etapa qualitativa levantaram alguns problemas como:

- Falta de conhecimento do cliente externo: fazendo que em muitas vezes a origem das necessidades venham apenas do público interno a organização.
- Falta de um processo claro para obtenção do VOC com o cliente: Como abordar o cliente? Como garantir que as perguntas corretas estão sendo realizadas?
- Pouco tempo para a obtenção e entendimento dos dados de entrada: Muitas vezes este tempo não é considerado no cronograma oficial do projeto. Como não se tem um processo muito bem definido para a execução da tarefa, não se sabe quanto tempo precisa ser revezado para tal e quando reservado às vezes por falta de um procedimento adequado o tempo utilizado passa a ser pouco produtivo. Ainda existe um pouco da percepção que o tempo gasto nesta atividade de entendimento de VOC não é um tempo de valor agregado, é como se o projeto não tivesse começado. Muitos especialistas ficam ávidos para começar o projeto já desenvolvendo a solução física, sem muito tempo e técnica para o entendimento das reais necessidades.

Durante as entrevistas também ficaram claros alguns desafios que o projeto e a organização como um todo devem resolver para trabalhar efetivamente com um bom entendimento do VOC, os principais citados foram:

- Necessidade de um bom planejamento estratégico, o VOC é fortemente dependente de visões de médio, longo prazo. Projeto sem tempo para a obtenção adequada de VOC ou com alterações muito grande de escopo dificulta a utilização do VOC como dado de entrada. Por segurança das áreas cada uma desenvolve conforme o melhor entendimento que possuem do problema. Nem sempre é o mais exato nem o mesmo.

- VOC é muito sensível ao escopo do projeto, se este variar demais o VOC pode ficar muito equivocado. Por isto antes o início da obtenção do VOC é importante ter o escopo bem definido e fechado, para que tenha poucas alterações e mantenha a validade do VOC.

Apesar destes problemas e desafios organizacionais os especialistas acreditam que a utilização do roteiro ajuda com o entendimento do VOC.

Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4,5 = Concordam parcialmente - totalmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Esta hipótese apresentou não apresentou um forte consenso, teve uma amplitude de dois pontos, devido a opinião de um especialista que julga indiferente a ajuda do DFSS nos desdobramentos do VOC em características mensuráveis. A maior parte dos especialistas reconhece a importância e ajuda do roteiro DFSS para o desdobramento do VOC em requisitos funcionais. Porém a maior parte deles reconhece também a dificuldade em se conduzir a atividade, relataram as seguintes dificuldades.

- Dificuldades para desdobrar o VOC quando os requisitos não estão bem escritos e especificados;
- Dificuldade em desdobrar o VOC quanto está muito subjetivo;
- Dificuldades para desdobrar o VOC quando acontece troca de time entre as fases do projeto.

Segundo os especialistas estas dificuldades existem, pois não estão habituados a pensar no domínio funcional, mais sim diretamente no domínio das soluções físicas. É comum na prática do engenheiro começar procurando soluções físicas e práticas sem antes uma profunda análise das funções que precisam ser atendidas e seus respectivos limites. Existe ainda o estigma de que em se fazendo esta atividade o projeto ainda não foi “iniciado” e que o tempo está passando sem evoluções concretas do projeto. Infelizmente a falta deste entendimento profundo do que precisa ser atendido é causa de muitos re-projetos e consequentemente aumento de custos e prazos dos projetos. De forma geral os especialistas

reconhecem o valor do desdobramento do VOC em requisitos mensuráveis é importante, porém isto ainda não está na pratica do dia a dia, devido aos seguintes motivos:

- Falta tem prática e dificuldade para o desdobramento;
- Sensação do projeto não estar progredindo, não estar gerando resultados físicos;
- Tempo necessário para a reflexão e entendimento das funções.

Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 5 = Concordam totalmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Os especialistas concordam que a utilização do roteiro ajuda a identificar e lembrar dos requisitos funcionais (RFs), que também ajuda no entendimento das necessidades de outras áreas e é uma forma de viabilizar a engenharia simultânea, conseguindo desta forma a obtenção de um ótimo global. O entendimento dos RFs de forma antecipada, ainda na etapa de geração e seleção de conceitos, evita que RFs sejam descobertos apenas no final do projeto e gerem longos ciclos de retrabalho. Além disso previne problemas de campo, uso e fabricação do produto, uma vez que ficam claras para todos os envolvidos quais são as necessidades em cada um destes estágios do ciclo de vida do produto. Segundo um dos especialistas o uso RFs não ajudam a lembrar dos requisitos, pois muitas vezes eles não estão diretamente relacionados com os testes exigidos por norma, para el é com se houvessem dois processos: O de levantamento de RFs para a seleção de conceitos e outro processo para o desenvolvimento e aprovação do produto. Isto faz que após a seleção do conceito dos RFs utilizados não sejam mais revistados e utilizados.

Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Para os especialistas o roteiro DFSS contribui parcialmente para o entendimento das relações-causa efeito. Por falta do correto desdobramento do VOC em requisitos funcionais (RFs) e destes em parâmetros de produto (PPs) as relações causa-efeito não ficam totalmente explicitadas e entendidas.

Muitas das relações causa-efeito são entendidas por modelos analíticos das áreas especialistas, mas que geralmente não são de claro entendimento fora daquela área de especialidade. Para alguns especialistas faltam ferramentas para facilitar a rastreabilidade, o uso de planilhas eletrônicas para esta atividade é o pouco prático, impedindo o uso e disseminação da prática. Para outros especialistas o nível de refinamento das relações causa-efeito requerido para o desenvolvimento dos compressores é tamanho que somente pode ser obtido por ferramentas numéricas, pois estas permitem um maior refinamento da análise.

Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 5 = Concordam totalmente;
- Menor nota: 4 = Concordam parcialmente

Existe uma grande concordância de que o uso do roteiro DFSS ajuda na identificação dos riscos. Principalmente pelo uso do FMEA os projetos de produto e processos são analisados e com isto vários riscos são identificados. Na verdade, a identificação de riscos não acontece num único momento, ela é um processo iterativo que vai evoluindo durante as etapas do projeto uma vez que o aprendizado e percepções de riscos do projeto também vão evoluindo.

Ha (7): O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global

---

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4,5 = Concordam totalmente – parcialmente.
- Menor nota: 4 = Concordam parcialmente

Existe boa concordância entre os especialistas de que o roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global de conceito. O fato das necessidades das diversas áreas ficar explicita e entendida por todos, proporciona a escolha de conceitos que não sejam enviesados sob o aspecto de uma única área e assim se obtenha um ótimo global. Porem alguns especialistas relatatam que as necessidades da área de processos são deixadas em

segundo plano, que os requisitos de processos acabam obtendo um peso muito baixo no processo de decisão. Para que a escolha atinja um ótimo global é importante que os requisitos funcionais tenham pesos bem definidos, uma vez que estes pesos dependem de boa execução das etapas iniciais do roteiro. É muito importante dar clareza e métrica na tomada de decisão.

Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 5 = Concordam totalmente;
- Menor nota: 4 = Concordam parcialmente

Existe grande consenso entre os especialistas de que o método promove a melhoria do processo de desenvolvimento. O roteiro DFSS ajuda a viabilizar a engenharia simultânea, que por sua vez ajuda a reduzir "surpresas" das áreas durante o processo de desenvolvimento, evitando assim re-trabalhos e "*loops*" técnicos. Uma vez que todas as áreas participam das decisões e sabem quais são as metas do projeto, o tempo de alinhamento de informações é reduzido. O método DFSS proporciona uma maior visão do todo, melhorando assim a eficiência.

Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 3,5 = Indiferente - concordam parcialmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente

O roteiro DFSS promove um constante contato entre os especialistas durante a execução do projeto, isto torna o ambiente de desenvolvimento mais intenso, gera mais atrito, pois constantemente coloca as opniões frente à frente. Os especialistas acreditam que a valorização do time e aumento da moral dos funcionários depende de outros fatores, os quais são mais de responsabilidade da gestão de pessoas do que do roteiro DFSS.

4.4.2. Análise do grupo de gestores

Os dados das entrevistas com os gestores foram compilados e são apresentados no gráfico 2 abaixo:

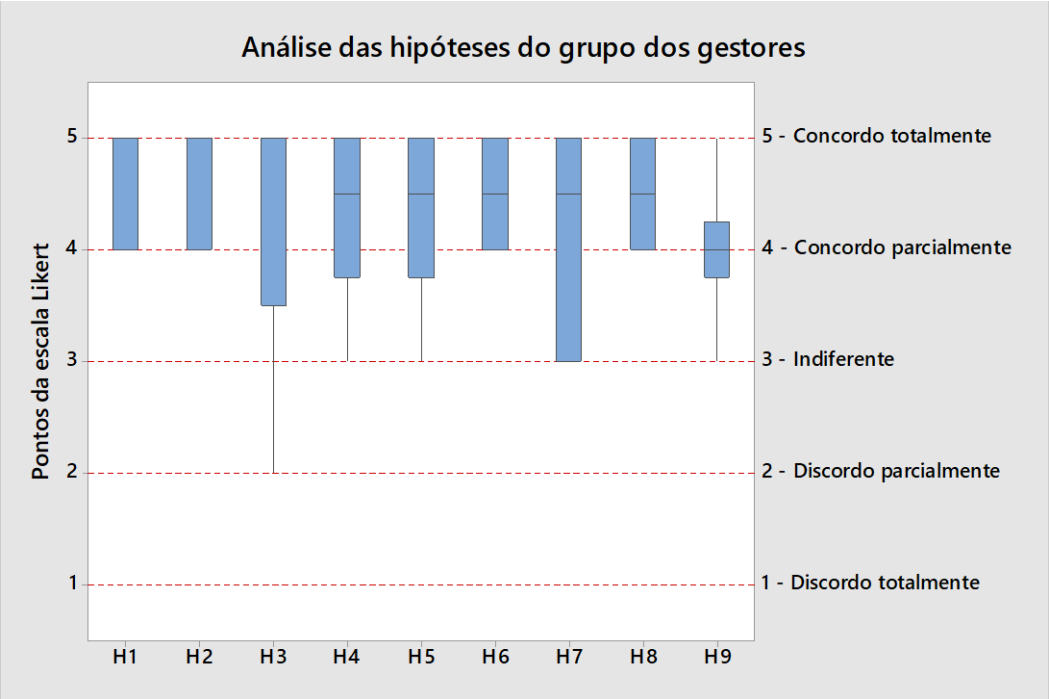


Gráfico 2 - Resultado das análises das hipóteses segundo o grupo dos gestores

Cada uma das hipóteses foi analisada dentro do grupo dos gestores:

Há (1): O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?

O consolidado das opiniões dos gestores apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 5 = Concordam totalmente;
- Menor nota: 4 = Concordam parcialmente.

A tabela 10 apresenta mostra os resultados das analises quantitativas e qualitativas.

Tabela 10 – Análise Quantitativa dos Gestores

Questões	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Maior	Menor	Amplitude	Mediana	Opnião (mediana)
Q.1: O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?	5	4	5	4	5	5	5	4	1	5	Concordam totalmente
Q.2: O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) para o desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos?	4	5	5	4	4	4	5	4	1	4	Concordam parcialmente
Q.3: O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis?	2	4	5	5	5	5	5	2	3	5	Concordam totalmente
Q.4: O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos?	3	4	5	5	4	5	5	3	2	4,5	Concordam parcialmente – totalmente
Q.5: O roteiro DFSS promove o entendimento das relações causa-efeito?	4	3	5	5	4	5	5	3	2	4,5	Concordam parcialmente – totalmente
Q.6: O roteiro DFSS promove a identificação de riscos?	4	4	5	5	4	5	5	4	1	4,5	Concordam parcialmente – totalmente
Q.7: O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global?	3	3	5	4	5	5	5	3	2	4,5	Concordam parcialmente – totalmente
Q.8: O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento?	4	4	5	5	4	5	5	4	1	4,5	Concordam parcialmente - totalmente
Q.9: O roteiro DFSS ajuda a promover o aumento da moral dos funcionários?	3	4	4	4	4	5	5	3	2	4	Concordam parcialmente

A análise mostrou que existe um grande consenso entre os gestores de que o roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento dos projetos de desenvolvimento. Segundo eles o roteiro ajuda nas interfaces entre áreas e na comunicação. Porém alguns salientaram que é importante criar um ambiente favorável para a aplicação do mesmo, que projetos de muito curto prazo não favorecem a aplicação. Também chamaram a atenção para que o roteiro seja aplicado em projetos que tenham desafios que necessitem de análises mais detalhadas, pois quando o roteiro é utilizado em todas as frentes de trabalho perde-se o foco e não é possível dar a profundidade necessária. Para alguns gestores deve-se tomar cuidado para o método não ser apenas uma documentação e com isso não promova as discussões necessárias.

Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.

O consolidado das opiniões dos gestores apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente;
- Menor nota = 4

Os gestores concordam parcialmente que o roteiro DFSS ajuda na identificação do VOC. Para alguns gestores o roteiro DFSS ajuda apenas os especialistas novatos, os mais experientes já têm uma boa noção do que precisa ser projetado. Devido ao fato do produto ter uma grande maturidade tecnológica, os especialistas mais experientes já conhecem o potencial dos conceitos. Para alguns gestores é importante incluir a voz do negócio (*Voice of Business- VOB)* bem como os clientes externos.

Na opinião da maioria dos gestores o roteiro ajuda a promover a discussão das necessidades dos clientes, porém é importante distinguir o que os clientes precisam e o que não. Geralmente os clientes não fazem barreiras e requisitam várias carcterísticas, fazendo com que se perda o foco no que é importante. Os gestores também salientam que o VOC pode apresentar muitas contradições, e que se não for corretamente obtido, pode levar para decisões equivocadas. O VOC é muito sensível a variação de escopo, por isso deve-se buscar a definição clara do escopo do projeto antes da realização do mesmo. Deve-se também obter a validação do VOC com o cliente o mais cedo possível. A utilização de protótipos pode ajudar a rapidamente realizar tal validação.

Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.

O consolidado das opiniões dos gestores apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 5 = Concordam totalmente.
- Menor nota: 2 = Discordam parcialmente.

Não existe um consenso sobre se o roteiro DFSS ajuda ou não o desdobramento do VOC em características mensuráveis. Os gesotres advertem para que se cuide do desdobramento de todas as funções e que com isso perda-se o foco no que é importante. Salientam que importante re-utilizar as informações para os desdobramentos e desenvolvimentos. De acordo com ele isto pode proporcionar a adequada velocidadeao projeto. Deixar para fazer os desdobramentos dentro do prazo do projeto pode trazer atrasos.

Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.

O consolidado das opiniões dos gestores apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4,5 = Concordam parcialmente - totalmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Os gestores concordam que a utilização do DFSS ajuda os especialistas a lembrarem dos RFs durante o processo de seleção de conceitos, especialmente para os requisitos de interface, os quais naturalmente não são lembrados. De acordo com alguns gestores quanto maior a experiência do especialista maior a quantidade de RFs que naturalmente ele leva em consideração no processo decisório. A utilização de um banco de dados de requisitos seria muito importante para o processo de seleção de conceitos. Isto ajudaria o projeto a ficar menos dependente da experiência das pessoas e também daria velocidade ao projeto.

Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.

O consolidado das opiniões dos gestores apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4,5 = Concordam parcialmente - totalmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Os gestores concordam que o DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito. Para eles é importante prototipar e realizar experimentos para quantificar as relações de causa-efeito. Acreditam que o conhecimento dos especialistas é fundamental para o entendimento destas relações de causa-efeito.

Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.

O consolidado das opiniões dos gestores apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 5 = Concordam totalmente;
- Menor nota: 4 = Concordam parcialmente

Existe uma grande concordância por parte dos gestores que o DFSS ajuda na identificação dos riscos. Entendem que a identificação de riscos no início do projeto ajuda a evitar re-trabalhos e "*loops*". Reconhecem também que os riscos vão sendo gradualmente identificados ao longo do projeto. Porém desejam que a fase de identificação de riscos não leve muito tempo.

Ha (7): O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global

O consolidado das opiniões dos gestores apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4,5 = Concordam parcialmente – totalmente.
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Segundo os gestores o roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global de conceito. Também ajuda na viabilização da engenharia simultânea principalmente entre produto e processos, o que evita "loops" de projeto durante as fases de implementação dos processos. O roteiro DFSS promove discussões sobre as capacidades técnicas dos processos selecionando desta forma, produtos que a manufatura pode produzir adequadamente, trazendo assim benefícios em prazo e custos de projeto, além da redução de investimentos.

Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou a seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4,5 = Concordam parcialmente – totalmente;

- Menor nota: 4 = Concordam parcialmente.

Existe um grande consenso entre os gestores de que o método promove a melhoria do processo de desenvolvimento. Acreditam que um projeto que segue todos os passos do roteiro tem um maior potencial de sucesso. A maior preocupação é se o tempo gasto em seguir todas as etapas está alinhado com o tempo de demanda do mercado.

Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.

O consolidado das opiniões dos especialistas apresentou a seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente

Gestores concordam parcialmente sobre a utilização do roteiro DFSS promover o aumento da moral dos funcionários. Concordam que o roteiro promove uma grande interação entre áreas, mas acreditam que o aumento da moral dos funcionários depende de outros fatores.

4.4.3. Análise dos documentos

As evidências coletadas para esta análise foram os documentos produzidos durante o desenvolvimento de projetos que utilizaram o roteiro DFSS. Cada um dos projetos foi analisado procurando responder cada uma das hipóteses colocadas neste trabalho. Para isto foram atribuídas notas segundo uma escala Likert para cada uma ds hipóteses, o gráfico 3 mostra como ficou a pontuação de cada uma das hipóteses. A tabela 11 mostra análise quantitatica dos documentos.

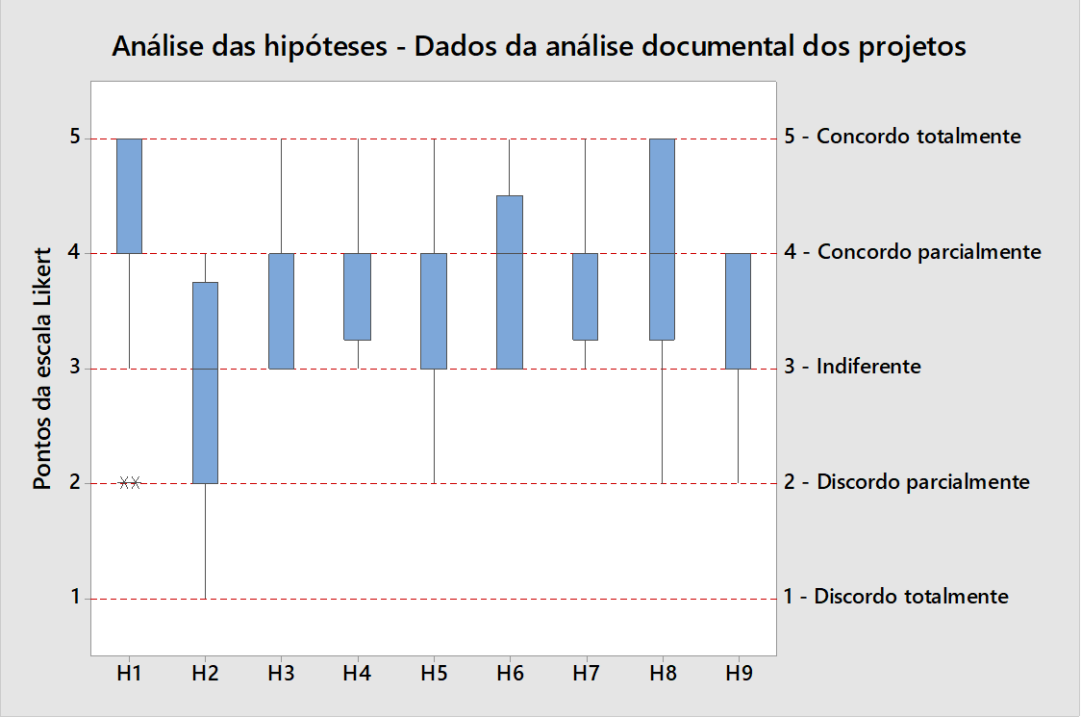


Gráfico 3 – Análise das hipóteses – Dados da análise documental dos projetos

Cada hipótese foi cuidadosamente analisada por meio das evidências documentais.

Há (1): O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente
- Menor nota = 2
- Amplitude = 3

Verifica-se que na maior parte dos projetos a existência de um roteiro padronizado ajudou no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento ds projeto. As principais decisões ficaram bem documentadas, proporcionando assim a reutilização em outros projetos e o compartilhamento de informações entre especialistas.

Tabela 11 - Análise Quantitativa dos Projetos

Questões	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	Maior	Menor	Amplitude	Mediana	Opnião (mediana)
Q.1: O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?	5	5	5	4	4	4	4	3	5	5	5	2	5	2	5	4	4	4	4	5	5	2	3	4	Concordam parcialmente
Q.2: O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) para o desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos?	2	2	3	2	4	2	4	2	4	3	3	2	3	1	3	1	3	4	4	3	4	1	3	3	Indiferente
Q.3: O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis?	4	3	4	3	5	3	4	3	5	4	5	3	4	4	5	3	4	4	3	3	5	3	2	4	Concordam parcialmente
Q.4: O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos?	3	4	5	3	5	4	3	3	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	5	5	3	2	4	Concordam parcialmente

Q.5: O roteiro DFSS promove o entendimento das relações causa-efeito?	5	4	4	4	3	4	2	3	5	-	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	5	2	3	4	Concordam parcialmente
Q.6: O roteiro DFSS promove a identificação de riscos?	3	4	3	3	-	-	-	3	5	3	4	-	-	3	-	-	4	4	5	5	5	3	2	4	Indiferente
Q.7: O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global?	4	5	4	4	3	4	3	3	5	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	5	3	2	4	Concordam parcialmente
Q.8: O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento?	4	5	3	4	4	2	3	2	5	5	4	3	5	4	5	4	5	4	4	5	5	1	4	4	Concordam parcialmente
Q.9: O roteiro DFSS ajuda a promover o aumento da moral dos funcionários?	4	4	2	4	3	2	2	3	3	3	3	2	4	3	4	3	3	3	3	4	4	2	2	3	Indiferente

(2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 3 = Indiferente
- Menor nota: 1 = Discorda totalmente

A organização do VOC ajudou na documentação e racional do projeto. Verifica-se a participação de um time multifuncional especialmente das áreas de processos e manufatura. Estas normalmente não participavam nas etapas iniciais de projeto e da seleção de conceitos. Porém em muitos projetos a obtenção e utilização do *VOC* não auxilou o suficiente, isto porque não trouxeram muitas informações novas e relevantes para o desenvolvimento do produto ou componente. Muitas das vezes as necessidades levantadas ficaram amplas, generalistas e distantes do produto/componente que estava sendo desenvolvido, ajudando pouco a guiar o desenvolvimento. Também se observou um baixo envolvimento do cliente externo.

Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (*VOC*) em características mensuráveis.

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Na maior parte dos projetos, a utilização do QFD ajudou o desdobramento do VOC e também permitiu um bom entendimento das funções que o produto/componente tinha que desempenhar. Também ajudou na definição e organização dos limites de especificações, muitas vezes por meio de *Benchmarking* interno e/ou externo. Ajudou também a pensar na qualidade dos sistemas de medição que iriam realizar as medições dos resultados.

As análises funcionais ajudaram a tornar mais claras e objetivas necessidades de confiabilidade, facilidade de fabricação e manutenção. A utilização da casa da qualidade 1 (HoQ1) do QFD ajudou a relacionar o VOC com os critérios mensuráveis e priorizá-los, criando desta forma orientadores e critérios para as etapas de geração e seleção de conceitos.

Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente
- Menor nota: 3 = Indiferente.

Na maior parte dos projetos a utilização dos requisitos funcionais (RFs) foi determinante para a escolha do conceito. Todos os projetos fizeram uso de matriz de seleção de conceitos (matriz Pugh) o que ajudou a organizar os RFs e conceitos. A utilização da matriz Pugh permitiu uma visão geral das necessidades das diveras áreas, o que por sua vez ajudou na geração e seleção de conceitos atenderam um ótimo global. Uma das principais contribuções do uso de vários RFs é a de focar em conceitos que atendem várias especificações evitando o detalhamento de conceitos não viáveis.

Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente;
- Menor nota: 2 = Discordam parcialmente.

Grande parte dos projetos realizou um bom entendimento das relações causa efeito. Mesmo que de forma qualitativa, por meio da elaboração da análise funcional, desodrobramento via QFD ou análise de riscos com FMEA. Alguns projetos realizaram a quantificação das relações causa-efeito, por meio do uso da ANOVA e DOE.

Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam Parcialmente;
- Menor nota: 3 = Indiferente

Nos projetos que realizaram a análise de riscos a utilização FMEA, foi possível identificar alguns pontos de potenciais riscos. Foram realizados testes para a verificação dos mesmos, com alguns se confirmando e outros não. O mapeamento das relações entre os

requisitos funcionais e parâmetros de produto e análise de riscos com FMEA, proporcionarm detalhadas e boas análises de riscos.

Ha (7): O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam Parcialmente.
- Menor nota: 3 = Indiferente

O entendimento das necessidades de várias áreas (VOC – multifuncional) e utilização da matriz de seleção de conceitos (matriz Pugh) para a escolha dos conceitos permitiu a operacionalização da engenharia simultânea, fazendo com que os conceitos escolhidos atendenssem vários requisitos. Este ótimo global foi melhorado em alguns casos pela utilização de DOE e alocação estatística de tolerâncias. Softwares como o *Minitab* e *ModeFrontier* foram amplamente utilizados nos processos de otimização. Para alocação estatística de tolerâncias foram realizadas simulações de Monte Carlo.

Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento.

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 4 = Concordam parcialmente;
- Menor nota: 4 = Discordam parcialmente

Na maior parte dos projetos o roteiro DFSS ajudou na melhoria da eficiência do processo de desenvolvimento. Principalmente em projetos mais inovadores, as análises propostas pelo método e o racional utilizado, trouxeram confiança na solução escolhida. Também permitiu uma rápida convergência entre todas as partes envolvidas, possibilitando o atendimento das metas de qualidade, custo e prazos. A aplicação do método possibilitou a análise de diveros conceitos dentro de um prazo adequado.

A participação de um time multifuncional, desde o início do projeto, melhorou a comunicação do time evitando assim surpresas no projeto, o que por sua vez evitou "*loops*" técnicos e retrabalhos. O envolvimento da área de processos permitiu uma rápida introdução dos novos produtos nos processos produtivos existentes, ou mesmo quando da aquisição de novos equipamentos, estas ocorreram dentro dos prazos desejados.

A documentação do projeto também ficou facilitada, uma vez que cada etapa do foi documentada. Porem muitas vezes não foi observado uma análise profunda em tais documentações, o que por sua vez não trouxe contribuiçõe significativas ao projeto. Em alguns projetos exitiam divergências entre o resultado das análises e a decisão tomada.

Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.

A análise documental dos projetos apresentou as seguintes métricas:

- Mediana das notas: 3 = Indiferente;
- Menor nota: 2 = Discordam parcialmente.

Vários dos projetos desenvolvidos tiveram sucesso e também promoveram o trabalho em time e também permitiram uma união entre as áreas. As decisões tomadas em time geraram um ótimo consenso e patrocínio das áreas envolvidas. Houve projetos com retornos bastatne positivos de clientes e gestores. Alguns foram apresentados em congressos e outras empresas, as quais fizeram benchmarking do programa DFSS desenvolvido na empresa. Mesmo que projeto tenha tido sucesso dificilmente é só atribuído a utilização do método. Mesmo com o sucesso dos projetos não se observou um aumento do patamar da moral dos funcionários.

4.4.4. Triangulação e comparativo com a literatura

A seguir serão analisadas cada uma das hipóteses comparando os pontos de vistas de executores e gestores, documentação dos projetos e a literatura.

Ha (1): O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 4.

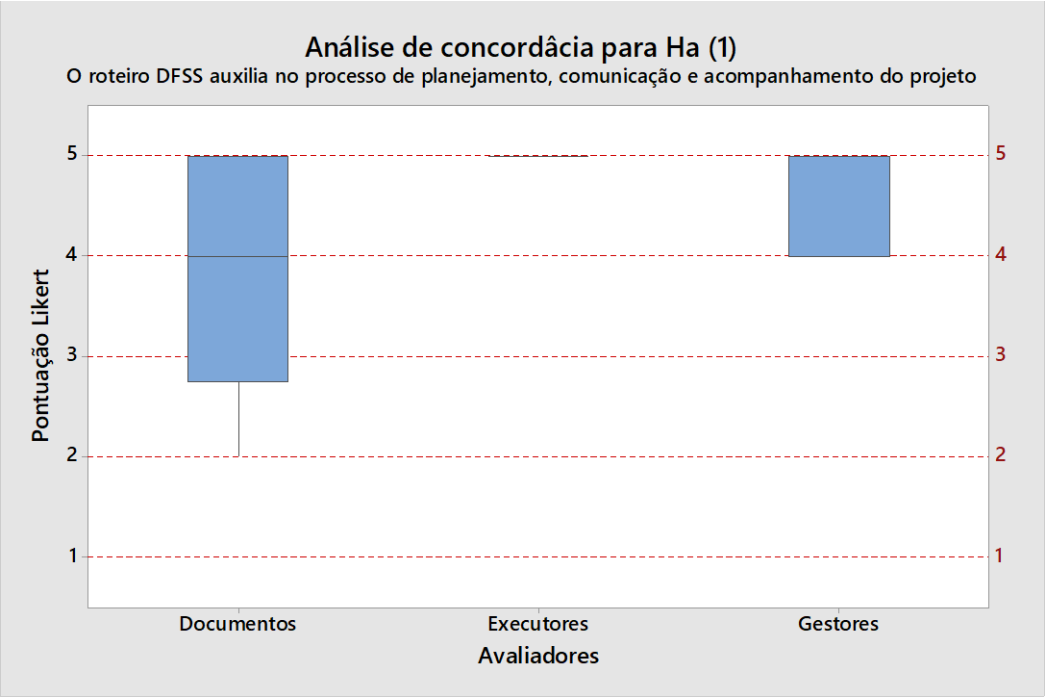


Gráfico 4 - Análise de Concordância para Ha (1)

Verifica-se uma grande concordância entre os executores e gestores sobre a utilidade do roteiro DFSS nos processos de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto. Já em relação aos documentos analisados verifica-se que em alguns casos a utilização do método não proporcionou todo o valor esperado. Isto pode ser por uma utilização do método em projetos que não precisam sua utilização. Corroborando com a preocupação de alguns gestores de que o método deve ser aplicado nas frentes de projeto que tenham desafios que precisem de um olhar mais crítico. E que gestores deve-se tomar cuidado para o método não ser apenas uma documentação e com isso não promover as discussões necessárias.

Quando se compara o resultado do case com a literatura percebe-se uma grande concordância, sendo os principais pontos de concordância:

- Uma das principais contribuições do método é oferecer uma abordagem estruturada, um passo a passo para o desenvolvimento, tornando-o mais processual e trazendo assim um aumento da disciplina, foco e melhora na comunicação (AZIS e OSADA, 2013; RAFIQUE, 2013; NEAGU e HOERL, 2005). Foi observado em todos os projetos e também relatado pelos executores e gestores que o roteiro DFSS tornou o processo de desenvolvimento mais processual, melhorou o foco e a comunicação entre áreas;
- O planejamento do projeto também fica facilitado, uma vez que são conhecidos os passos necessários para o desenvolvimento (ANTONY E CORONADO, 2002). Este foi um ponto bastante salientado, especialmente para as atividades de planejamento

de projeto onde eles não precisam se preocupar com quais são as etapas que precisam ser executadas para a entrega do produto;

- O uso de uma linguagem comum permite uma melhor comunicação, acompanhamento, documentação e *feedback* que por sua vez permite melhorar os projetos no futuro (JOHNSON, 2002). As principais decisões ficaram bem documentadas, facilitando assim a reutilização em outros projetos e compartilhamento de informações entre especialistas.

Ha (2): O método ajuda na identificação da voz do cliente no desenvolvimento de subsistemas, componentes e processos.

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 5.

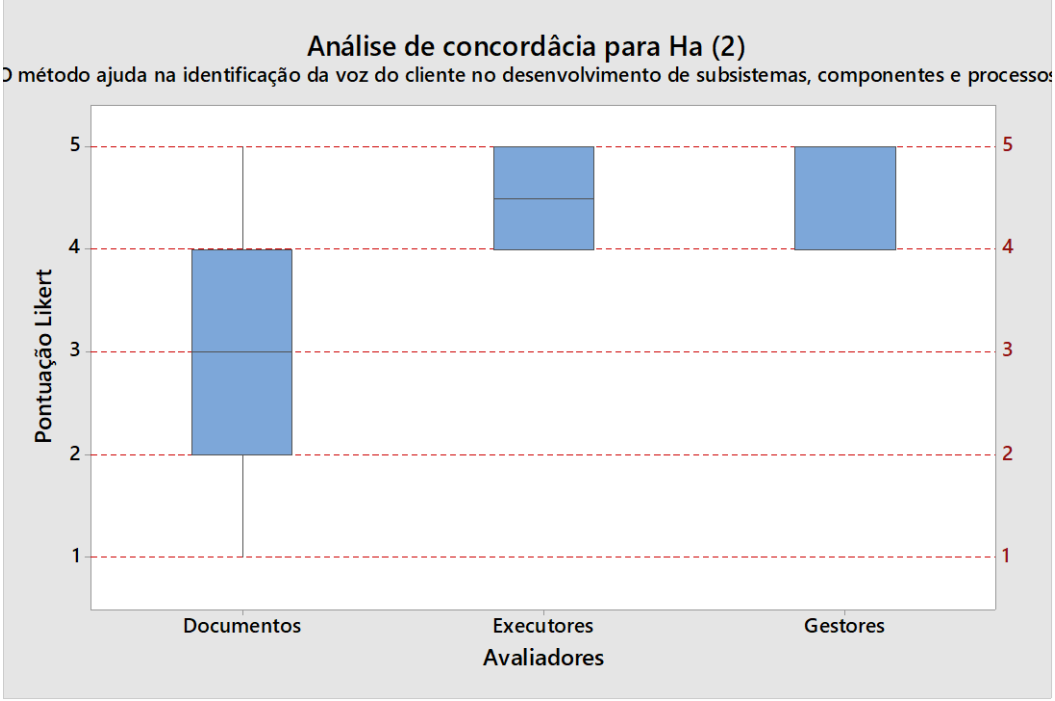


Gráfico 5 - Análise de Concordância para Ha (2)

Existe uma boa concordância entre os executores e gestores de que o roteiro DFSS ajuda no processo de identificação da voz dos clientes, eles concordam parcialmente que o método ajuda neste processo.

Na opinião da maioria dos gestores o roteiro ajuda a promover a discussão das necessidades dos clientes. Para os especialistas o DFSS ajuda no entendimento do projeto como um todo e a conhecer melhor quem são os clientes e mercados. Diferentemente do que

foi observado na análise documental, onde ficou constado que a obtenção do VOC acabou não sendo tão eficaz.

Para a maioria dos projetos a etapa de identificar o VOC não trouxe muitas informações novas e relevantes para o desenvolvimento do produto ou componente. Muitas vezes as necessidades listadas (VOC) ficaram muito amplas, generalistas e distantes do produto/componente que estava sendo desenvolvido e acabou por pouco ajudar e o orientar o desenvolvimento.

Por isto pela análise documental a ajuda do roteiro DFSS é indiferente na identificação do VOC. Este resultado encontrado nos projetos mostra que as preocupações levantadas pelos executores de projeto, como: (1) Falta de um processo claro para obtenção do VOC com o cliente; (2) pouco tempo para a obtenção e entendimento dos dados de entrada; (3) Pouco contado com o cliente externo.

Estão acontecendo e dificultando o processo de obtenção do VOC e por isto observa-se uma diferença entre a expectativa do que o método pode ajudar (opiniões dos executores e gestores) e o que realmente está acontecendo na prática (resultado da análise documental dos projetos).

Portanto existe uma concordância no entendimento de gestores e executores de que o roteiro ajuda na identificação do VOC no desenvolvimento de produto e processos corroborando com a literatura em pontos como:

- Vários autores afirmam que a utilização do DFSS ajuda a definir quais características do produto são valorizadas e priorizadas pelo cliente (ALVARES, 2015; RILEY *et al*., 2013; AZIS e OSADA, 2011; NEAGU e HOERLY, 2005; JOHNSON, 2002).
- Para Chung *et al.* (2008) isto promove uma clara definição dos requisitos dos clientes. Suffian e Ibrahim (2012) corroboram este fato e para eles o uso do método permite que os objetivos do projeto sejam claramente determinados

Porém para que este processo seja efetivo e obtenha informações relevantes que irão ajudar a orientar o processo de desenvolvimento é preciso tomar cuidado com os seguintes pontos:

- Não ter envolvimento com o cliente externo: cuidar para que o VOC seja realizado apenas internamente e com isto diz-se que foi realizado, mas na verdade tem pouco vínculo com o cliente externo. O que pode levar o produto que foi desenvolvido a não ter o aceite do cliente externo;

- Pouco tempo para a obtenção do VOC: Muitas vezes este tempo de obtenção do VOC é considerado como um tempo em que o projeto não está evoluindo, pois não se observa o desenvolvimento físico, material do mesmo. Por isto quando se tem pressões para reduzir o tempo de projeto, estas etapas de obtenção das necessidades geralmente é muito encurtada, fazendo com que não se tenha o tempo suficiente para o entendimento profundo das necessidades;
- Mudanças de escopo durante o projeto: VOC é muito sensível ao escopo do projeto, se este variar demais o VOC pode ficar muito equivocado. Deve-se procurar não alterar muito o escopo do projeto após a obtenção do VOC para não o invalidar. U planejamento de médio e longo prazo do desenvolvimento de tecnologias e produtos pode ajudar a trazer estabilidade na definição de escopo;
- Não validar o entendimento do VOC com o cliente: O VOC é bastante dependente de interpretações. O VOC é bastante dependente de interpretações. Muitas vezes as necessidades listadas (VOC) ficam muito amplas, generalistas e distantes dos produto/componentes que estão sendo desenvolvidos. A utilização de protótipos pode ajudar a rapidamente tangiblizar o que o cliente está precisando, mas tem dificuldades em se expressar.

Ha (3): O método auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 6.

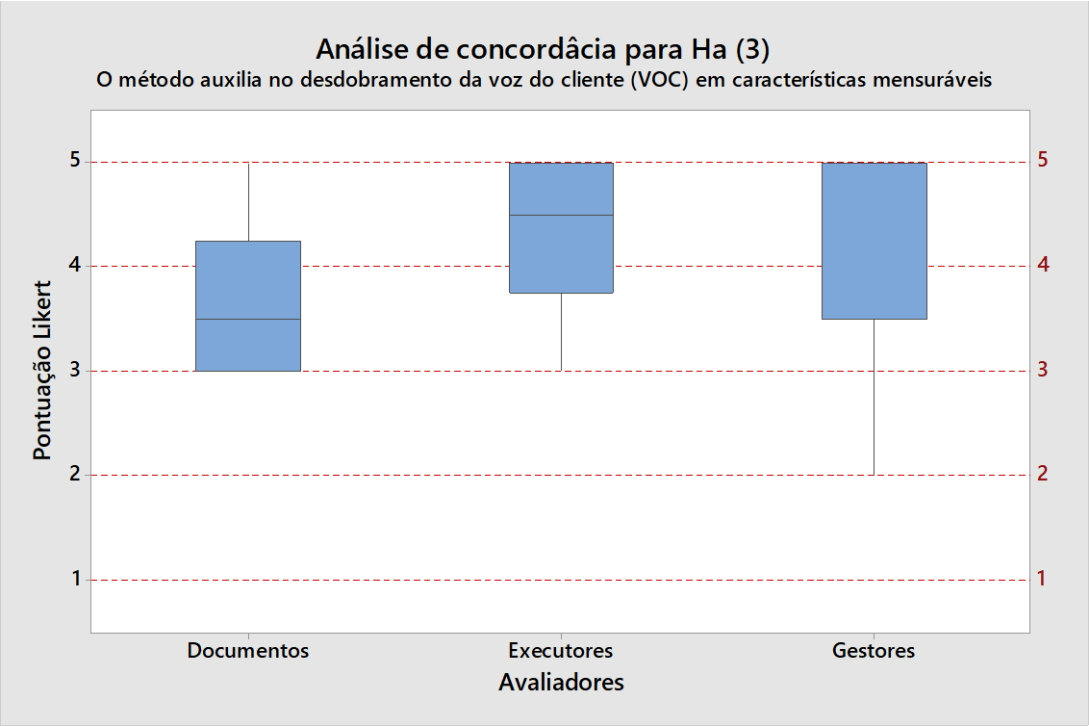


Gráfico 6 - Análise de Concordância para Ha (3)

Existe um bom consenso entre opiniões dos especialistas, gestores e análise documental de que o roteiro DFSS auxilia no desdobramento do VOC em características mensuráveis. Porem dentro de cada grupo de análise existe opiniões de que o método não ajuda neste desdobramento, isto se dá especialmente pela dificuldade em se realizar esta tradução de VOC em RFs.

Normalmente engenheiros e típicos de áreas de exatas são treinados para criar soluções, em rapidamente criar uma solução física, tangível para o problema, mas não tem a mesma ênfase de treinamento para a compreensão e elaboração mais conceitual e funcional do problema. A maior parte dos executores encontra dificuldade em obter e traduzir o VOC em RFs.

Ainda para alguns gestores esta atividade de desdobramento gera muito burocracia e pouco valor para o projeto e recomendam que as maiores partes dos desdobramentos já estejam preparadas previamente para que durante a execução do projeto possa ser possível fazer uma rápida consulta e não deixar para refletir no desdobramento dentro do projeto, uma vez que é uma atividade que consome bastante tempo, seja pela dificuldade inerente, seja pela falta de prática dos especialistas.

A análise dos resultados do caso estudo converge com o que foi citado na literatura. Existe uma concordância de entre executores e gestores de que o método favorece o desdobramento do VOC, semelhante ao citado por Azis e Osada (2011) que citam que o

DFSS favorece a conversão do VOC em informações técnicas e mensuráveis, que por sua vez são utilizadas para guiar a criação e a seleção de conceitos.

Na maior parte dos projetos a utilização das casas da qualidade do QFD ajudou o desdobramento do VOC e também permitiram um melhor entendimento das funções que o produto/componente tinham que desempenhar. Também ajudou na definição e organização dos limites de especificações, muitas vezes por meio de *Benchmarking* do nível de desempenho de compressores e componentes semelhantes, às vezes internamente outras externamente.

Por outro lado também concordam com Yang, K e El-Haik, B. (2003) que afirmam que uma das principais razões para a insatisfação do cliente é o fato das especificações de projeto não traduzirem adequadamente o que é necessário para o produto desempenhar corretamente suas funções e que esta realidade pode ser atribuída às práticas atuais de desenvolvimento que não alocam atividades e recursos necessários para a correta definição das funções e respectivas metas e tolerâncias. Para os especialistas os seguintes motivos dificultam a realização da atividade de desdobramento.

- Pouco tempo para a reflexão e entendimento das funções;
- Sensação do projeto não estar progredindo, não estar gerando resultados físicos, durante esta etapa;
- Falta de prática e dificuldade para o desdobramento.

Ha (4): O método ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 7.

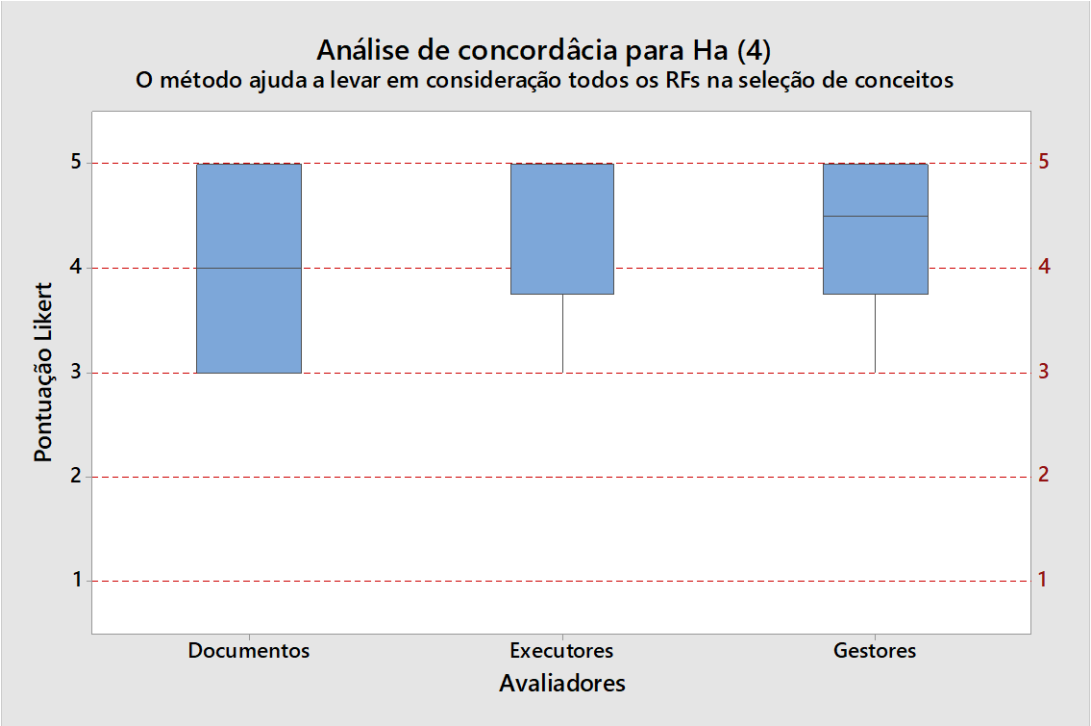


Gráfico 7 - Análise de Concordância para Ha (4)

Existe uma grande concordância entre especialista, gestores e o resultado dos projetos de que o roteiro DFSS ajuda a lembrar dos RFs no processo de seleção de conceitos. Para gestores e executores o método viabiliza a engenharia simultânea, ajudando a deixar claro as necessidades de outras áreas e promover uma tomada de decisão que seja equilibrada ao atendimento das diferentes necessidades.

O fato de tornar claro e explicito todas as necessidades, melhora o processo de comunicação e evita que necessidades sejam descobertas apenas no final do projeto, gerando retrabalhos e aumentando assim o tempo de execução do projeto.

A utilização da matriz Pugh foi observada em todos os projetos, o que ajudou a organizar de forma fácil e clara os RFs e conceitos. Ajudou também a “apostar” em conceitos viáveis e com alta potencial de sucesso. Diminuindo assim apostas em conceitos que levavam em consideração apenas um pequeno conjunto de requisitos e eram “apostas” de um único especialista. O resultado apresentado no caso estudado corrobora o que é apresentado na literatura.

De acordo com Yang K. e El-Haik B., (2003) os especialistas conhecem bem os RFs de sua área, mas não conhecem com profundidade os RFs de outras áreas e também não possuem o completo entendimento do relacionamento e impactos de todos os RFs. O entendimento dos RFs de todas as áreas promove uma melhor escolha de conceito.

Segundo os especialistas o roteiro DFSS é uma forma de viabilizar a engenharia simultânea, conseguindo desta forma a obtenção de um ótimo global. Ainda de acordo com os mesmos autores matriz de conceitos fornece estrutura e controle para o processo de análise, geração e avaliação de soluções. Ela pode ser utilizada para justificar porque os melhores conceitos foram selecionados e porque algumas soluções são inferiores e devem ser descartadas. Segundo os gestores a matriz Pugh, que ajudou a organizar os RFs e os conceitos, e em alguns casos gerar conceitos híbridos. A utilização da matriz Pugh permitiu uma visão geral das necessidades de várias áreas o que ajudou a geração e seleção de conceito que se atende um ótimo global.

Ha (5): O método DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado o gráfico 8.

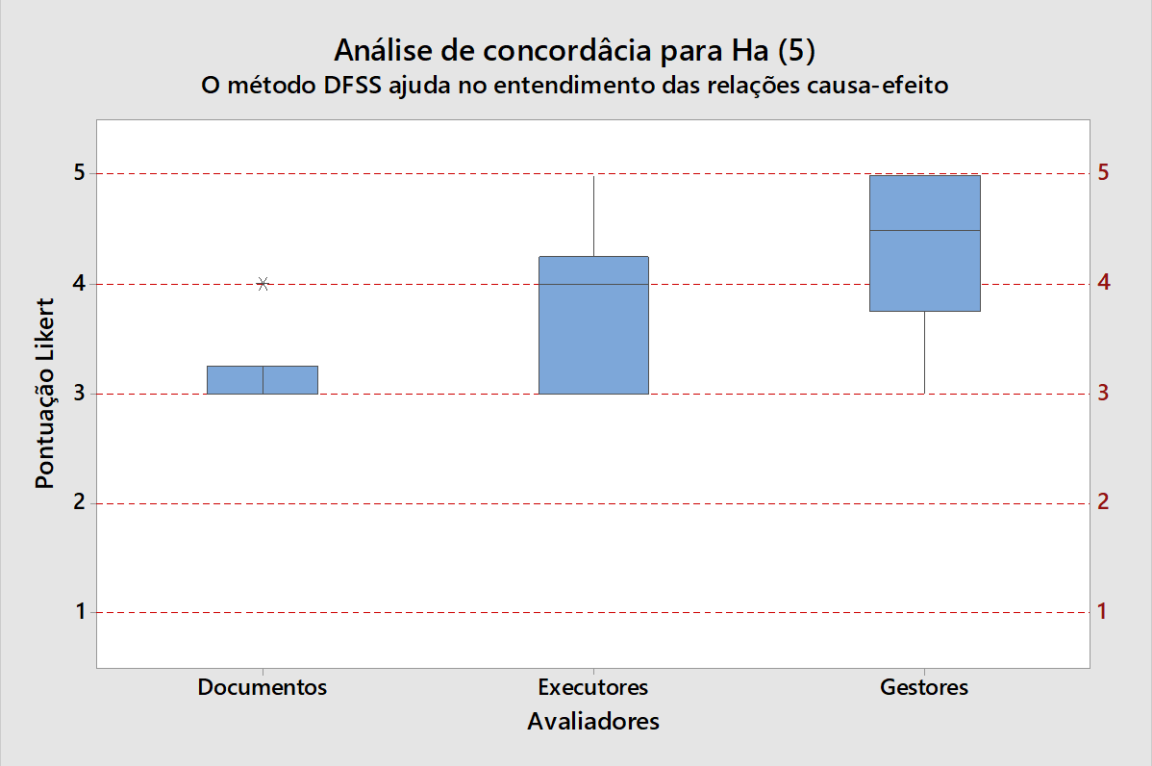


Gráfico 8 - Análise de Concordância para Ha (5)

Existe concordância entre os gestores, executores e o que foi observado nos projetos de que o DFSS contribui parcialmente no entendimento das relações causa-efeito. A maior parte dos projetos conseguiu promover um bom entendimento das relações causa efeito,

mesmo que de forma qualitativa, por meio da elaboração da análise funcional e casas da qualidade 1 e 2 do QFD.

De acordo com os especialistas esta atividade contribui parcialmente, pois o nível de refinamento das relações causa-efeito requerido para o desenvolvimento dos compressores é tamanho que somente pode ser obtido por ferramentas numéricas, pois estas permitem um maior refinamento da análise destas relações. Citam também que a falta de ferramentas para facilitar a rastreabilidade, o uso de planilhas eletrônicas para esta atividade é o pouco prático, impedindo o uso e disseminação da prática.

Desta forma no caso estudado, as relações causa-efeito foram entendidas de uma forma mais qualitativa, apenas alguns projetos obtiveram análises quantitativas e obtiveram funções transferência. Ficando um pouco diferente do que é encontrado na literatura. Segundo Yang K. e El-Haik B. (2003) deveria existir uma função transferência para toda função importante para o cliente.

Isto pode ter acontecido por se tratar de um programa DFSS ainda no início, onde está sendo entendidos a utilidade, encadeamento e valor de cada uma das atividades. Muitas das relações causa-efeito são entendidas por modelos analíticos das áreas especialistas, mas geralmente não são conhecidas fora daquela área de especialidade. Ainda não é uma cultura deixar todas estas funções bem conhecidas e acessíveis a todos.

Ha (6): O método ajuda na identificação de riscos.

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 9.

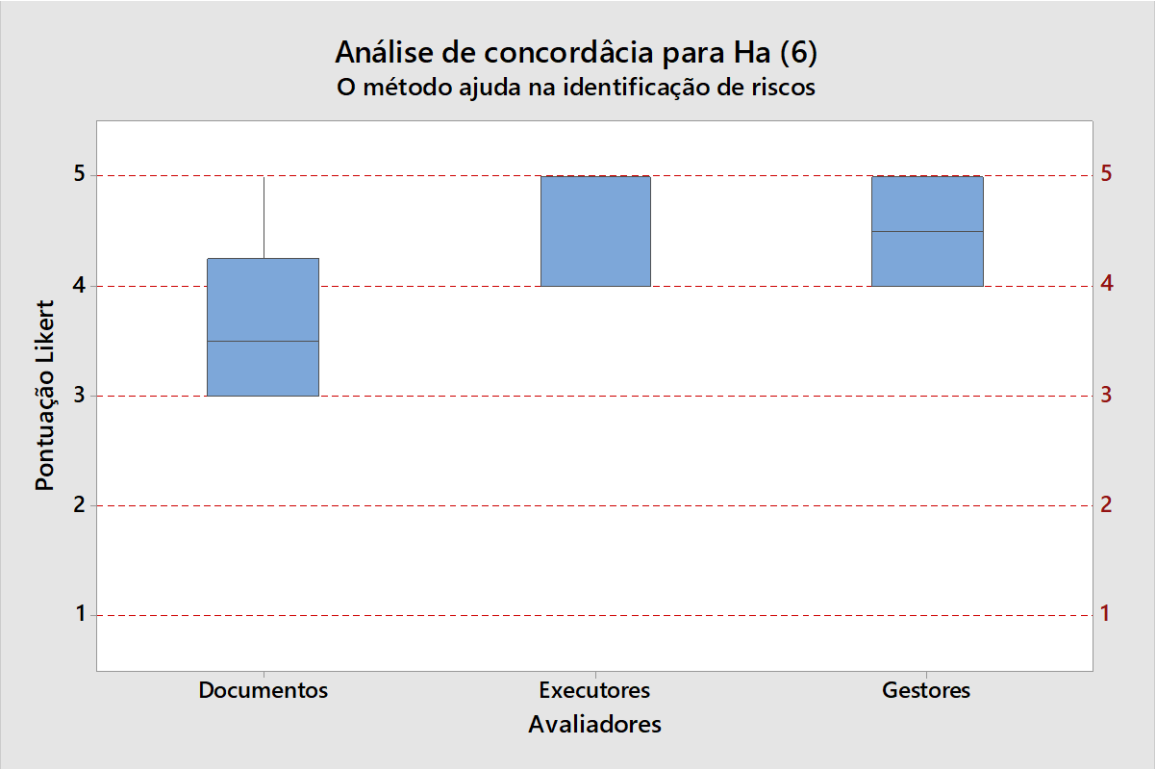


Gráfico 9 - Análise de Concordância para Ha (6)

Existe uma grande concordância entre os executores e gestores de projetos que o roteiro DFSS ajuda na identificação dos riscos e isto também é observado nos trabalhos.

A utilização do DFMEA ajudou a identificar pontos de potenciais riscos e a utilização da casa da qualidade 2 com o DFMEA, permitiu uma análise de riscos assertiva. Isto está de acordo com o que foi citado na literatura. De acordo com Junkes et al. (2011) o método DFSS promove uma detalhada identificação de riscos.

Autores como Yang K. e El-Haik (2003) sugerem a análise de riscos para conceitos de sistemas e subsistemas logo nos estágios inicias do desenvolvimento. Vários autores afirmam que a análise de riscos quando conduzidas nas etapas iniciais de desenvolvimento aumentam a confiabilidade e qualidade do produto (ALVAREZ, 2015; LIU et al., 2008; FERRYANTO, 2007; SMITH & PHADKE, 2005).

Os gestores de projeto estão convencidos de que a identificação de riscos logo no início do projeto ajuda a evitar re-trabalhos e "*loops*" de projeto. Reconhecem também que os riscos vão sendo conhecidos gradualmente ao longo do projeto. Porém desejam que a fase de identificação de riscos não leve muito tempo.

Ha (7): O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global

---

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 10.

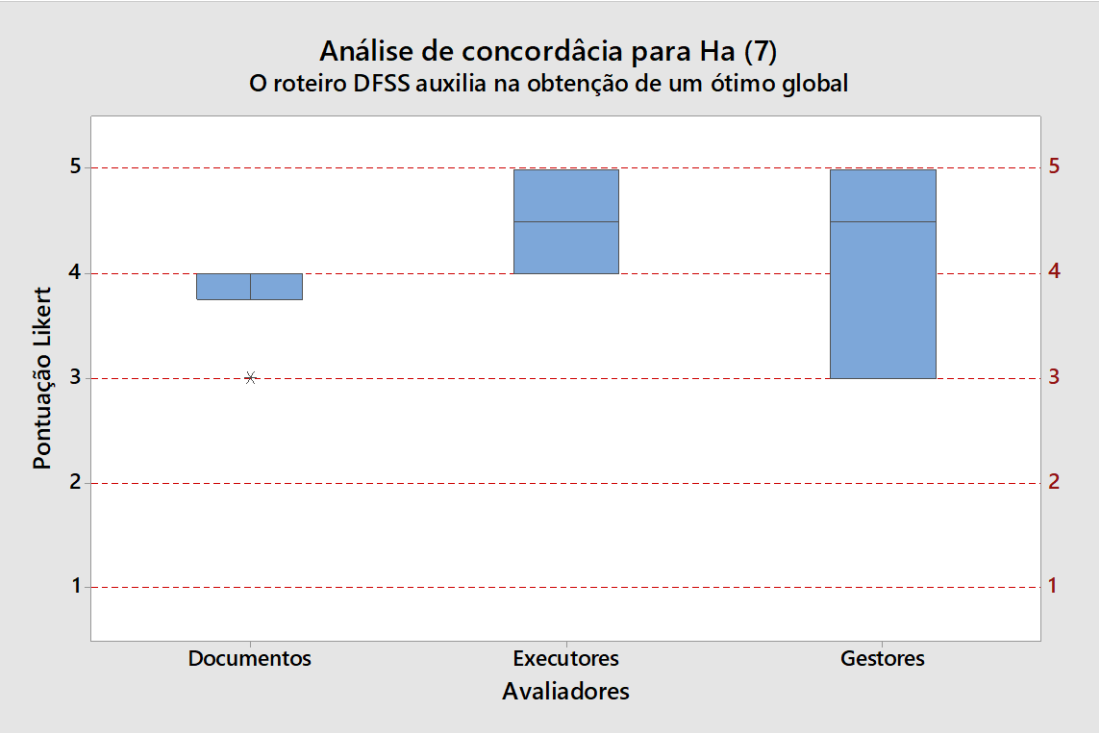


Gráfico 10 - Análise de Concordância para Ha (7)

Existe uma grande concordância entre executores, gestores e o resultado dos projetos no que se refere ao roteiro DFSS ajudarem na obtenção de um ótimo global. A obtenção do ótimo global começa pela formação de um time multifuncional, analise e compartilhamento das funções, utilização da matriz Pugh para a seleção de conceitos, uso de DOEs para obtenção de funções transferência e otimização. De acordo com os gestores o roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global de produto e processos, o que evita “loops” de projeto durante as fases de implementação dos processos.

O que foi verificado nas várias unidades de análise do caso estudado está de acordo com o citado na literatura. Segundo Yang K. e El-Haik (2003), a utilização das funções transferência permitem a otimização dos RFs, PPs e VPs e tem como objetivo identificar os ajustes que atendam as especificações dos RFs e resultem no menor custo total possível, ou seja, que atendam um ótimo global.

Ha (8): O método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento.

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 11.

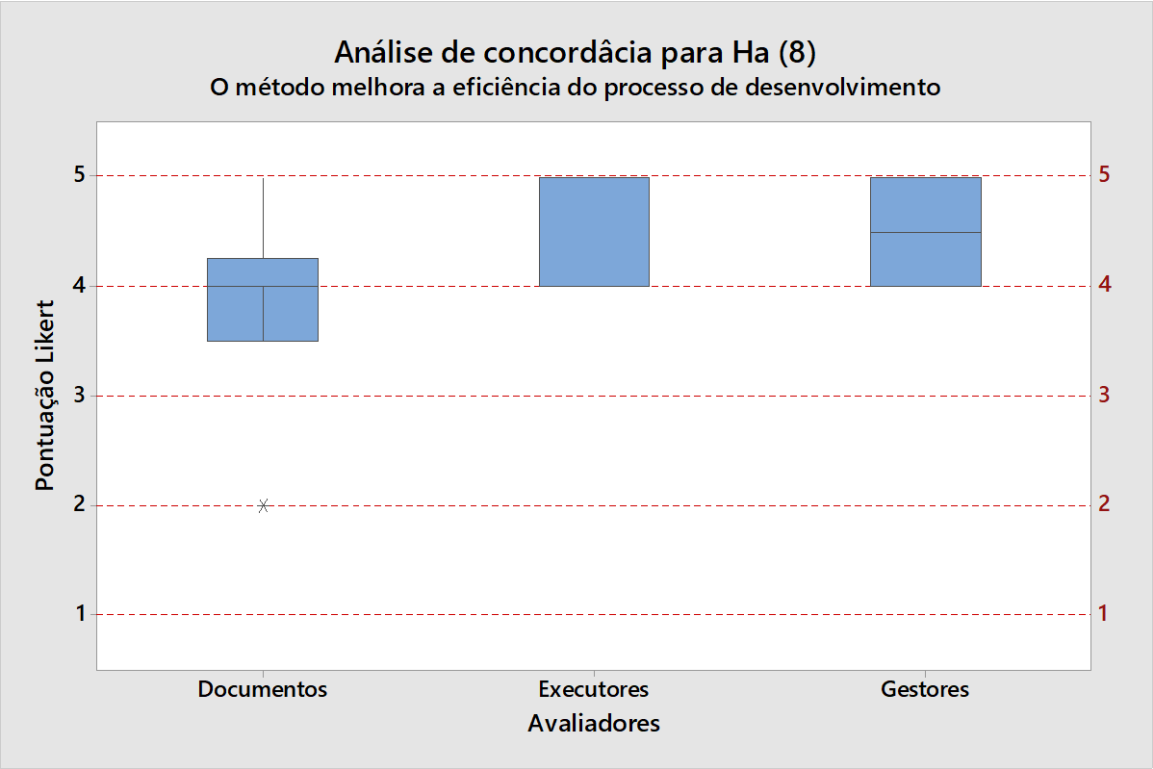


Gráfico 11 - Análise de Concordância para Ha (8)

Existe um grande consenso entre os executores, gestores e o observado nas documentações de projeto de que o roteiro DFSS promove a melhoria do processo de desenvolvimento. O roteiro DFSS promove o trabalho multidisciplinar, explicita as informações e melhora a comunicação, o que ajuda a reduzir "surpresas" para as áreas durante o processo de desenvolvimento, evitando assim retrabalhos e "*loops*" técnicos. Como todas as áreas participam de todas as decisões que as envolvem, garante-se o alinhamento das informações, rápida convergência e patrocínio e suporte as decisões ao longo do projeto.

A maior parte dos benefícios citados na literatura como os relatados por Antony (2002), foram observados nas unidades de análise do caso estudado:

- Redução do tempo de lançamento de produtos inovadores ou melhorados de forma incremental: A melhoria da comunicação diminui a quantidade de retrabalhos e "*loops*" técnicos, reduzindo assim o tempo total de desenvolvimento;
- Redução dos custos do ciclo de vida associados com o produto: A obtenção de conceitos que atendem um ótimo global, principalmente entre produto e processos, permite que os projetos e processos fiquem mais simples, reduzindo assim os custos do produto, transformação e investimentos;

- Redução do número de modificações de projeto: O melhor entendimento das funções e das relações causa efeito ajudam a corrigir problemas nos estágios iniciais do projeto. Além disto, todas as áreas envolvidas participam das decisões do projeto o que garante que as decisões estejam alinhadas e necessitem de menos correções no futuro;
- Melhoria da qualidade e confiabilidade: O entendimento do uso do produto, dos fatores de ruído e fontes de variação, quantificação das relações causa-efeito, correta alocação de tolerâncias e envolvimento dos times de processo e manufatura desde o início do projeto, ajudam na melhoria da qualidade confiabilidade;
- Melhoria do gerenciamento de riscos durante o desenvolvimento: O trabalho em times multifuncionais e a abordagem de engenharia simultânea promovem a rápida e constante troca de informações entre as áreas. Além disso, ferramentas como o DFMEA promovem a identificação e atenuação de riscos;
- Redução dos custos de garantia: A melhoria de qualidade e confiabilidade, correta alocação de tolerâncias, estreito e continuo contato entre as áreas de produto e manufatura, garantem um lançamento de produtos sem falhas.

A utilização do DFSS na Embraco obteve bons resultado, o mesmo que foi observado em outras empresas como: Dow Chemical (Buss e Ivey, 2001), W.R. Grace (Rajagopalan et al., 2004), Delphi Automotive (Treichler et al., 2002), NCR Corporation (McClusky, 2000), General Electric (Weiner, 2004).

Os executores responsáveis pelo desenvolvimento dos projetos, concordam totalmente que o método melhora a eficiência do processo de desenvolvimento, o mesmo o que foi relatado por Chung & Hsu (2010) que concluíram que atividades relacionadas à DFSS têm um efeito positivo no desempenho do desenvolvimento de novos produtos.

De acordo com os gestores o racional utilizado no método permite confiança nas soluções escolhidas, o que por sua vez faz com que se tenha uma rápida convergência entre todas as partes envolvidas, permitindo assim cumprir os prazos do projeto.

O que também foi observado por diversos autores citam a redução do tempo de desenvolvimento e de lançamento de novos produtos com contribuições do método (ALVAREZ, 2015; SURANGE, 2015; GRANT e MERGEN, 2009; FERRYANTO, 2007; RAJAGOPALAN et al., 2007; MADER, 2003).

Ha (9): O método promove aumento da moral dos funcionários.

O consolidado da avaliação dos documentos, executores e gestores é apresentado no gráfico 12.

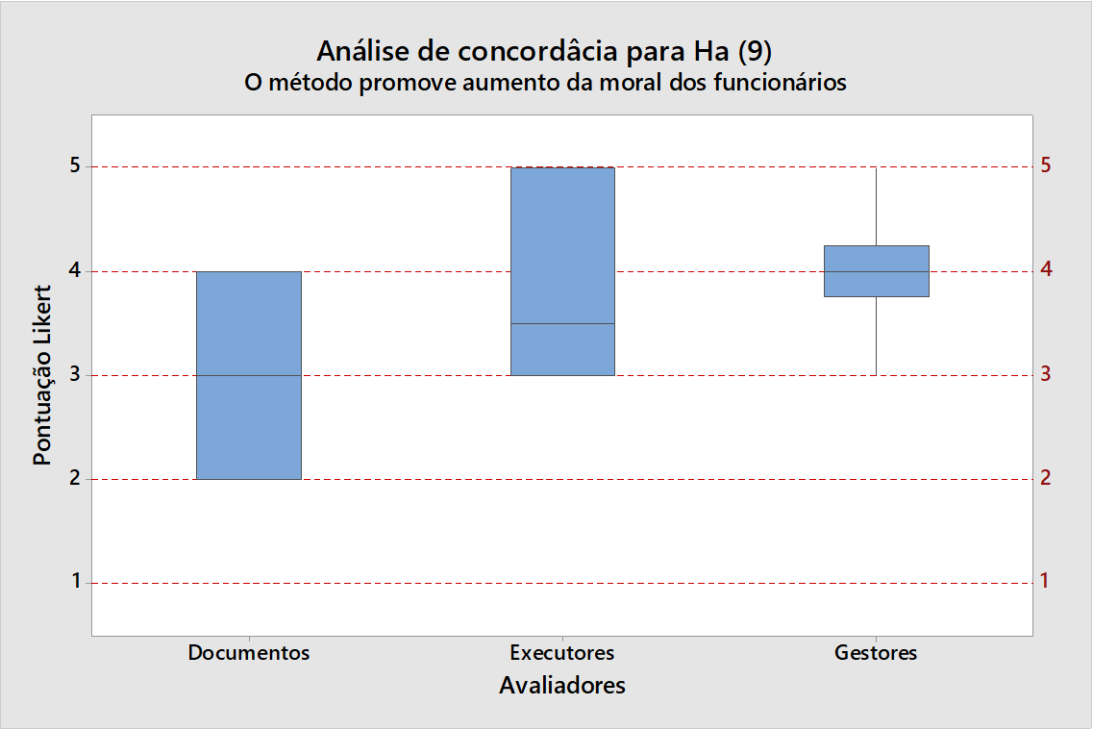


Gráfico 12: Análise de Concordância para Ha (9)

Existe um consenso entre executores e gestores de que apesar dos projetos desenvolvidos obterem sucesso e promoverem o trabalho em time, dificilmente o sucesso é somente atribuído a utilização do método, ele aparece com um dos fatores, mas não o único.

Além disso, não foi observado nenhum aumento do patamar da moral dos funcionários após o termino dos projetos. Observa-se algum ânimo interno ao time de projeto, pôr falto um reconhecimento da organização como um todo.

Os especialistas acreditam que a valorização do time e aumento da moral dos funcionários depende de outros fatores, que são mais de responsabilidade da gestão do que do método de desenvolvimento.

Gestores concordam parcialmente que a utilização do roteiro DFSS promova o aumento da moral dos funcionários. Concordam que o roteiro promove uma grande interação entre áreas, mas o aumento da moral dos funcionários depende de outros fatores.

Desta maneira alguns pontos convergem com a literatura e outros não. Os pontos de convergência dizem respeito ao trabalho em equipe, Gremy e Fouquet (2012) afirmam que o DFSS melhora o trabalho em equipe. Isto foi observado no caso estudado e esta melhoria se deu principalmente entre os times de produto e processos que passaram a entender as limitações de ambos os lados e passaram a tomar decisões em maior consenso.

Outro ponto de convergência é em relação à aprendizagem, Lucas *et al.* (2015) ressaltam que o ambiente de aprendizagem colaborativa é reforçado com a condução de projetos DFSS. Uma vez que o trabalho se deu em times multifuncionais, que tiveram suas análises funcionais compartilha, promoveram uma maior clareza de quais eram as funções que precisam ser atendidas e suas relações causa-efeito e interações com outros subsistemas, tudo isto permitiu um ambiente de grande aprendizagem colaborativa.

Os pontos de divergência com a literatura são em relação ao aumento da moral do time de desenvolvimento, segundo Surange (2015) a utilização do DFSS também traz benefícios intangíveis como o aumento da moral dos funcionários e melhora da imagem da organização. Gremyr e Fouquet relatam o aumento da moral e da confiança da organização. Isto não foi observado no caso estudado.

5. CONCLUSÕES

Este capítulo traz considerações relacionadas com os aspectos de realização da pesquisa referentes aos objetivos propostos por esta e os métodos utilizados para seu atendimento, assim como as limitações ligadas a pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

5.1. Aspectos relacionados ao objetivo da pesquisa

Esta pesquisa teve como objetivo propor uma abordagem simplificada de roteiro DFSS e compreender qual o seu impacto no desenvolvimento de novos produtos. Para isto procurou responder a seguinte questão:

A utilização do DFSS ajudou, agregou valor no processo de desenvolvimento de produtos?

Para se atingir tal objetivo, os instrumentos de coleta de dados, análise documental e entrevistas estruturadas e semiestruturas, relacionados em detalhes no capítulo 5, item 5.3, foram aplicados no departamento de P&D da Embraco (maior detalhamento da seleção de caso é encontrado no item 5.2) onde os dados necessários foram obtidos e analisados visando poder atingir o objetivo proposto pelo trabalho.

Analisando-se os resultados obtidos através dos instrumentos de coleta de dados, presentes no item 5.4, onde estão presentes os bancos de dados da análise documental e entrevistas, e também os itens da análise dos resultados presentes no item 5.5, onde são analisadas as hipóteses relacionadas às questões iniciais da pesquisa, acredita-se que foi possível responder a questão inicial da pesquisa.

Para ajudar a responder esta questão foram analisadas as seguintes hipóteses:

Ha (1): O roteiro DFSS auxilia no processo de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto?

Hipótese validada – Concorda-se totalmente ou parcialmente

Ha (2): O roteiro DFSS ajuda na identificação da voz do cliente (VOC) no desenvolvimento de componente, subsistemas, componentes e processos.

Hipótese **não** validada – Concorda-se parcialmente ou indiferente

Ha (3): O roteiro DFSS auxilia no desdobramento da voz do cliente (VOC) em características mensuráveis.

Hipótese validada – Concorda-se totalmente ou parcialmente

Ha (4): O roteiro DFSS ajuda a levar em consideração e lembrar todos os requisitos funcionais dos clientes (internos e externos) no processo de seleção de conceitos.

Hipótese validada – Concorda-se totalmente ou parcialmente

Ha (5): O roteiro DFSS ajuda no entendimento das relações causa-efeito.

Hipótese validada – Concorda-se totalmente ou parcialmente

Ha (6): O roteiro DFSS ajuda na identificação de riscos.

Hipótese validada – Concorda-se totalmente ou parcialmente

Ha (7): O roteiro DFSS auxilia na obtenção de um ótimo global

Hipótese validada – Concorda-se parcialmente - totalmente

Ha (8): O roteiro DFSS melhora a eficiência do processo de desenvolvimento.

Hipótese validada – Concorda-se totalmente ou parcialmente

Ha (9): O roteiro DFSS promove aumento da moral dos funcionários.

Hipótese **não** validada – Concorda-se parcialmente ou indiferente

De acordo com a análise das hipóteses pode se dizer que na empresa estudada a utilização do DFSS agregou valor no processo de desenvolvimento de produtos, principalmente para as atividades de planejamento, comunicação e acompanhamento do projeto, no desdobramento do VOC em características mensuráveis, entendimento das relações causa-efeito, seleção de conceitos e identificação de riscos.

Também ajuda a levar em consideração e lembrar os RFs dos clientes no processo de seleção de conceitos, auxiliando assim a obtenção de um ótimo global. De várias maneiras o roteiro DFSS ajuda a melhorar a eficiência do processo de desenvolvimento. Este resultado tem grande concordância com o que é descrito na literatura sobre DFSS, como analisado no item 5.5.4 deste trabalho.

A hipótese (H2) sobre a ajuda do roteiro DFSS na identificação do VOC no desenvolvimento de componentes, subsistema, componentes e processos não foi validada, ficando também em discordância com a literatura. Existem algumas possíveis causas para o fato do roteiro DFSS não ter ajudado a identificação do VOC no caso estudado:

- Falta de uma cultura de envolvimento do cliente para o desenvolvimento de novos produtos;
- Distância dos clientes. Muitos clientes encontram-se na Europa, Ásia, América do Norte;
- Pouco contato da engenharia com os clientes. Maior parte das interfaces com os clientes é feito por vendas, marketing e assistência técnica;
- Falta de um processo padronizado para obtenção de necessidades dos clientes;
- Falta de um processo para desdobramento interno destas necessidades;

Além disto, deve-se levar em consideração que o entendimento do VOC não é uma atividade trivial devido a algumas características:

- Nem sempre o cliente consegue expressar extamente o que precisa, o VOC muitas vezes é muito subjetivo;
- Necessidades podem varias ao longo do tempo,
- Clientes demandam várias características, muitas vezes dificil definir quais são as realmente prioritárias, uma vez que se tem uma solução compromisso com custos.

Outra hipótese não validada foi a de que o método promove o aumento da moral dos funcionários (H9), ficando também dissonante com o que é descrito na literatura. Uma das possiblidades da não verificação desta melhora de moral dos funcionários é:

- Não estar obtendo 100% do resultado desejado, muitas vezes por algumas falhas no entendimento do VOC.
- O ambiente estar sendo afetado por outros problemas, como períodos de crise e corte de pessoas.
- Falta de valorização do uso de uma abordagem estruturada.

5.2. Aspectos relacionados ao método de pesquisa

O método de desenvolvimento para esta pesquisa se deu na seguinte ordem: Fundamentação teórica sobre DFSS e métodos de pesquisa, desenvolvimento de uma abordagem simplificada de roteiro DFSS, aplicação do roteiro simplificado em vinte projetos de desenvolvimento de produtos, componentes e processos, desenvolvimento do estudo de caso.

Inicialmente foi realizada uma boa fundamentação teórica sobre DFSS através de buscas em duas grandes bases de dados: *Web of Science (WOS*) e *Scopus*, a busca resultou artigos de periódicos e congressos, o que permitiu várias análises como:

- Quais as principais abordagens de pesquisas sobre DFSS: Estudo de caso, comparação/avaliação, estudo teórico; revisão da literatura; *survey.*
- Areas de atuanção que implementaram DFSS: Indústria de manufatura, negócios em geral, industria automotiva, logistica, saúde, educação, finança entre outras.
- Objetivos dos projetos DFSS: Melhoria da qualidade do produto, aumento do lucro, redução de custos e combinação entre estes objetivos.
- Roteiro DFSS utilizado: DMADV, IDOV, DCOV, IDDOV, DMADOV, DMEDI, CDOV, ICOV, I2DOV entre outros.

A revisão bibliográfica permitiu também, definir as diferenças e fronteiras entre projetos que utilizam DMAIC e DFSS. E por fim foram identificados os principais desafios para a implementação do DFSS. Após o entedimento do “estado da arte” sobre DFSS, o passo seguinte foi desenvolver uma abordagem simplificada de roteiro DFSS para que esta pudesse ser implementada e utilizada no ambiente de desenvolvimento de produtos.

Especialmente por alterar a rotina de desenvolvimento de projetos e aumentar a carga de trabalho na fase inicial de desenvolvimento, procurou-se desenvolver uma abordagem mais customizada para o produto desenvolvido pela empresa estudada.

Além da customização a ideia era deixar a abordagem mais “leve” para que não causasse muito impacto em aumento do tempo de desenvolvimento, uma vez que as pessoas ainda estariam aprendendo como utilizar as ferramentas e métodos, e também para que se conseguisse fechar ciclos relativamente rápidos para motivação da equipe e análise dos resultados.

Foi então desenvolvida uma abordagem simplificada de roteiro, baseado no roteiro (IDDOV) que possui as seguintes fases: identificar *(identify)*, definir *(define)*, desenvolver *(develop)*, otimizar *(optimize)*, verificar *(verify)*.

O principal objetivo da abordagem era o de contribuir com o processo de seleção de conceitos, para que este fosse conectado com as necessidades dos clientes (VOC) e que tivesse uma abordagem multifuncional, principalmente entre produto e processos.

Os processos de otimização e verificação já eram bem atendidos e desenvolvidos pelo sistema de existente.

Os processos de otimização eram realizados por uma série de modelos analíticos altamente sofisticados e suportados por uma boa infraestrutura de pessoas, software e hardware.

Os processos de verificação de subsistemas e produto final, também possuíam uma grande quantidade de métodos e documentação que viabilizavam e suportavam a verificação e aprovação do produto.

Já as fases iniciais de desenvolvimento careciam de métodos conceituais para: entendimento de VOC, análise funcional, estruturação de causa-efeito e seleção de conceitos, por estes motivos o roteiro simplificado de DFSS focou na melhoria da estruturação destas atividades.

Após a elaboração do roteiro o mesmo foi utilizado no desenvolvimento de vinte projetos, de várias categorias como processos, produtos e componentes, a seguir são dados exemplos destas três categorias:

- Desenvolvimento de processos para acabamento superficial de mancais de eixo
- Desenvolvimento de cabeçote para compressores comerciais,
- Desenvolvimento de válvula para equalização de pressão

A lista completa dos vinte projetos é apresentada no item 5.4.1 desde trabalho. O capítulo 4 traz o exemplo completo da aplicação do roteiro DFSS no desenvolvimento de uma câmara de sucção.

Concluída estas fases iniciais, deu-se início ao estudo de caso.

Inicialmente foram desenvolvidas hipóteses com base na fundamentação teórica, no total foram desenvolvidas nove hipóteses, que tinham como objetivo ajudar a responder a questão inicial da pesquisa, que era entender se a utilização do DFSS ajuda, agrega valor no processo de desenvolvimento de produtos.

Decidiu-se pela realização de estudo de caso único, pois o acesso integral à projetos DFSS é extremamente difícil, uma vez que se trata do desenvolvimento de novos produtos e que tornam explicitas e claras as relações causa-efeito e decisões de projeto.

Especialmente no Brasil, ainda são poucas as empresas que aplicam DFSS no desenvolvimento de seus produtos.

Outro motivo foi o de poder estudar o tema com bastante profundidade. Mais detalhes da escolha do caso único são apresentados no item 5.2.

A pesquisa de campo combinou múltiplos métodos de coleta de dados:

- Documentação: Foram analisados vinte projetos completos de DFSS.Cada um dos projetos foi analisado, procurando responder as questões do instrumento de pesquisa, os detalhes desta análise são apresentados no item 5.4.1.
- Entrevistas: foram realizadas entrevistas estruturadas e semiestrutrudas. As estruturadas foram aplicadas por meio de um questionário com questões fechadas, formuladas a partir de aspectos chaves extraídas da literatura, os quais foram analisados através de uma escala de Likert de cinco pontos. O questionário foi aplicado a gestores e executores projeto. Cada entrevista teve a duração de aproximadamente 60 minutos, onde os entrevistados puderam responder as questões e expressar suas opiniões sobre o tema. Os registros das entrevistas são apresentados nos itens 5.4.2 e 5.4.3.
- Observação direta: Observação do local de estudo para avaliação de alguns comportamentos relevantes

Maiores detalhes sobre os instrumentos de pesquisa e protocolos são apresentados no item 5.3.

Após a pesquisa de campo os dados foram analisados e primeiramente foram analisados dentro de cada grupo: o dos executores de projeto, dos gestores e da análise documental.

Dentro de cada um destes grupos cada hipótese foi analisada primeiro quantitativamente e depois qualitativamente.

Os resultados são apresentados nos itens de 5.5.1 a 5.5.3. Depois os dados dos grupos foram comparados entre si e depois com a literatura, permitindo a verificação dos pontos de convergência e divergência, estas análises são apresentadas no item 5.5.4.

Seguindo-se cuidadosamente estas etapas, acredita-se que a condução da pesquisa foi adequada para garantir a confiabilidade e a validade do estudo de caso.

5.3. Limitações ligadas à pesquisa

Uma das principais limitações desta pesquisa acontece por se tratar de um estudo de caso único, apesar de ter sido conduzida com cuidado cada uma das etapas para garantir a confiabilidade e a validade do estudo e também ter se trabalhado com várias unidades de análise, e se tratar de um estudo de caso incorporado.

Tomou-se o cuidado de se analisar a subunidade, mas também o a departamento e o programa DFSS como um todo, e mesmo assim ainda pode estar restrito a generalização das conclusões, ou teorias desenvolvidas pelo estudo.

Outras limitações das análises podem acontecer pela natureza dos projetos desenvolvidos. Como são projetos de novos produtos e processos, cada desenvolvimento é um caso único sujeito a inúmeras outras variáveis como, financeiras, time de trabalho, aceitação do cliente, condições de mercado e concorrência que podem afetar o andamento, resultados do projeto e motivação do time. Estas fontes de variação podem causar muito mais impactos na execução e resultados do projeto do que o impacto gerado pela utilização do método.

Também pelo fato de cada projeto desenvolvido ser único as complexidades e dificuldades técnicas entre eles podem variar bastante, o que também afeta a execução e resultados dos projetos.

Por fim por ser tratar de projetos novos e únicos fica difícil estabelecer bases de comparação direta. Todos estes fatores podem comprometer a análise dos resultados dos projetos e por consequência as conclusões obtidas.

5.4. Sugestões para estudos futuros

Através do desenvolvimento deste trabalho foi possível a verificação dos elementos abordados na literatura e comprovados através da aplicação da pesquisa.

A partir do amadurecimento do conhecimento adquirido durante a execução deste trabalho, e visando uma melhor compreensão aos assuntos ligados a implementação e ampliação do uso de métodos estruturados para desenvolvimento de produtos, engenharia robusta e DFSS, algumas propostas de estudos futuros são oferecidas:

- Aumentar o escopo de aplicação da pesquisa, realizando-a em um número maior de empresas que fazem uso do DFSS no Brasil;
- Ampliar o uso do roteiro DFSS proposto, aplicando-o no desenvolvimento de outros produtos, além dos relacionados ao compressor e seus componentes;
- Aprofundar o entendimeto de técnicas para a adentificação das necessidades dos clientes, principalmente em empresas de engenharia. Este assunto é conhecido na literatura como VOC B2B.

REFERÊNCIAS

Aksit, M. F., Chupp, R. E., Dinc, O. S., & Demiroglu, M. (2002). Advanced Seals for Industrial Turbine Applications: Dynamic Seal Development. **Journal of Propulsion and Power**, 18(6), 1260–1266. http://doi.org/10.2514/2.6061

Alvarez, J. C. (2015). Lean design for Six Sigma. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 32(8), 895–905. http://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2012-0125

AMER, Y.; ASHRAF, M. A.; LUONG, L.; LEE, S. H.; WANG, W. Y. C. A systems approach to order fulfillment using design for six sigma methodology. **International Journal of Business and Systems Research**, v. 1, n. 3, p. 302, 2007. Inderscience Enterprises Ltd. /

AMER, Y.; LUONG, L.; ASHRAF, M. A.; LEE, S. H. A systems approach to order fulfillment. **International Journal of Operational Research,** *v. 9, n. 4*, p. 443, 2010.

AMER, Y.; LUONG, L.; LEE, S.-H. Case study: Optimizing order fulfillment in a global retail supply chain. **International Journal of Production Economics**, *v. 127, n. 2,* p. 278–291, 2010.

ANTONY, J.; CORONADO, R. B. Design for six sigma. **Manufacturing Engineer**, v. 81, n. 1, p. 24–26, 2002.

APOLINÁRIO, F. **Metodologia da Ciência: Filosofia e Prática da Pesquisa**. 2011.

AZIS, Y.; OSADA, H. An empirical study of new value creation in financial service companies using design for Six Sigma approach. **International Journal of Productivity and Quality Management,** v. 7, n. 1, p. 104, 2011.

AZIS, Y.; OSADA, H. Managing innovation using design for six sigma (DFSS) approach in healthcare service organizations. **International Journal of Innovation and Technology Management,** v. 10, n. 3, p. 1340010, 2013. World Scientific Publishing Co. Pte Ltd.

BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Going from six sigma to design for six sigma: an exploratory study using analytic hierarchy process. **The TQM Magazine**, v. 15, n. 5, p. 334–344, 2003.

BONGINI, D.; CITTI, P.; MEZZEDIM, V.; TOGNARELLI, L. **New product monitoring in gas turbines. Measurement and Control,** v. 34, n. 4, p. 105–106-108, 2001.

Buss, P; Ivey, N. Dow chemical Design for Six Sigma rail delivery project. **IEEE Winter Simulation Conference, Proceedings.** 2001.

CARVALHO, M. S.; MAGALHAES, D. S.; VARELA, M. L.; SA, J. O.; GONÇALVES, I. Definition of a collaborative working model to the logistics area using design for Six Sigma. (P. Sampaio, Maria Sameiro Carvalho and, Org.). **International Journal of Quality & Reliability Management,** v. 33, n. 4, p. 465–475, 2016.

CHADEGANI, A. A.; SALEHI, H.; YUNUS, M. M.; et al. A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. **Asian Social Science**, v. 9, n. 5, p. 18–26, 2013.

CHAKRAVORTY, S. S.; FRANZA, R. M. The implementation of Design for Six Sigma: a development experience. *International Journal of Product Development*, v. 9, n. 4, p. 329, 2009.

CHAN, L.-K.; WU, M.-L. Quality Function Deployment: A Comprehensive Review of Its Concepts and Methods. **Quality Engineering**, v. 15, n. 1, p. 23–35, 2002.

ChWDHURY, S. Design for Six Sigma: The Revolutionary Process for Achieving Extraordinary Profits. **Dearborn Trade Publishing**. 2002.

CHUNG, Y. -C.; HSU, Y.-W. Research on the correlation between Design for Six Sigma implementation activity levels, new product development strategies and new product development performance in Taiwan's high-tech manufacturers. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 21, n. 6, p. 603–616, 2010.

CHUNG, Y. C.; HSU, Y.-W.; TSAI, C.-H. An empirical study on the correlation between Critical DFSS success factors, DFSS implementation activity levels and business competitive advantages in Taiwan's high-tech manufacturers. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 19, n. December 2014, p. 595–607, 2008.

CLAUSING, D. Total Quality Development: A Step-By-Step Guide to World-Class. *Concurrent Engineering*. New York, NY: The ASME Press, 1994.

CRONEMYR, P. DMAIC and DMADV differences, similarities and synergies. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage,** v. 3, n. 3, p. 193, 2007.

De Feo, JA; Barnard, WW. JURAN Institute's Six Sigma breakthrough and beyond-quality performance breakthrough methods. **McGraw-Hill.** Nova Yorque, EUA. 2005.

ECHEVESTE, M. E.; ROZENFELD, H.; SONEGO, M. Potential application of Six Sigma tool in the integrated product development process. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 38, n. 8, p. 2499–2511, 2016. Springer Berlin Heidelberg.

ERICSSON, E.; GINGNELL, L.; LILLIESKÖLD, J. Implementing Design for Six Sigma in large Swedish product developing organizations – an interview study. **Total Quality Management & Business Excellence,** v. 3363, n., p. 37–41, 2014.

ERLANDSON, P. W. DFSS for shift quality using full-vehicle ADAMS model**. International Journal of Product Development,** v. 3, n. 3–4, p. 337–348, 2006.

Fredickson, B. Holistic Systems Engineering in Product Development. **The Saab-Scania Griffin,** Saab-Scania, AB, Linkoping, Suécia, Nov. 1994.

GERHORST, F.; GRÖMPING, U.; LLOYD-THOMAS, D.; KHALAF, F. Design for Six Sigma in product development at Ford Motor Company in a case study on robust exhaust manifold design. **International Journal of Product Development**, v. 3, n. 3–4, p. 278–291, 2006.

GOH, T. N. Six Sigma in industry: some observations after twenty-five years. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 27, n. 2, p. 221–227, 2011.

GOH, T. N.; LAM, S. W. Problem-based learning approach to application of statistical experimentation. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 26, n. 4, p. n/a-n/a, 2010.

GRANT, D.; MERGEN, A. E. Towards the use of Six Sigma in software development. **Total Quality Management & Business Excellence,** v. 20, n. November 2014, p. 705–712, 2009.

GRAVES, B. A. Breakthrough in Total Closed Loop Recycling. **Products Finishing (Cincinnati)**, v. 67, n. 11, p. 81–86, 2003.

GREMYR, I. Exploring Design for Six Sigma from the viewpoint of Robust Design Methodology. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 1, n. 3, p. 295, 2005.

GREMYR, I.; FOUQUET, J. B. Design for Six Sigma and lean product development. **International Journal of Lean Six Sigma,** v. 3, n. 1, p. 45–58, 2012.

HARIHARAN, A. Three Types of Lean Six Sigma Projects. 2013.

Harry, MJ; Schroeder, R. Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. **Doubleday.** Nova Yorque, EUA. 2010.

HASENKAMP, T. Engineering Design for Six Sigma-a systematic approach. **Quality and Reliability Engineering International.** February, p. n/a-n/a, 2010.

HASENKAMP, T.; ÖLME, A. Introducing Design for Six Sigma at SKF. **Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 4, n. 2, p. 172–189, 2008.

HASSAN, M. F.; KEAT, M. K.; YUNOS, M. Z.; et al. Investigation of existing laptop computer towards sustainable development using design for six sigma and design for disassembly**. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 11, n. 12, p. 7683 – 7688, 2016.

HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. The house of quality. **Harvard Business Review**, n. November, p. 63–73, 1988.

HE, Y.; TANG, X.; CHANG, W. Technical decomposition approach of critical to quality characteristics for Product Design for Six Sigma. *Quality* **and Reliability Engineering International,** n. October 2009, p. n/a-n/a, 2009.

HOERL, R. One perspective on the future of Six-Sigma. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 1, n. 1, p. 112–119, 2004.

HU, M.; PIEPRZAK, J. Using axiomatic design to improve conceptual design robustness in Design for Six Sigma (DFSS) methodology. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage,** v. 1, n. 3, p. 245, 2005.

JAHANZAIB, M.; ATHAR MASOOD, S.; JAMIL, U.; AKHTAR, K. Product design variables optimization using Design for six sigma (DFSS) approach. **Life Science Journal**, v. 10, n. 1, p. 57–63, 2013.

JOHNSON, A. Six Sigma in R&D. **Research Technology Management,** p. 3, 2002.

JOHNSON, J. A.; GITLOW, H.; WIDENER, S.; POPOVICH, E. Designing New Housing at the University of Miami: A “Six Sigma” © DMADV/DFSS Case Study. **Quality Engineering**, v. 18, n. 3, p. 299–323, 2006.

KAPLAN, S.; BISGAARD, S.; TRUESDELL, D.; ZETTERHOLM, S. Design for Six Sigma in healthcare: developing an employee influenza vaccination process. **Journal for healthcare quality: official publication of the National Association for Healthcare Quality**, v. 31, p. 36–43, 2009.

Kalamdani, R; Khalaf, F. Application of Design for Six Sigma to manufacturing process design at Ford PTO. **International Journal of Product Development**. 2006.

KOVACH, J., STRINGFELLOW, P., TURNER, J. AND CHO, B. R. The house of competitiveness: the marriage of agile manufacturing, design for Six Sigma, and lean manufacturing with quality considerations. **Journal of Industrial Technology,** v. 21, n. 3, p. 1–10, 2005.

KOVACH, J.; CHO, B. R. Solving Multiresponse Optimization Problems Using Quality Function–Based Robust Design. **Quality Engineering**, v. 20, n. 3, p. 346–360, 2008.

KUMAR, S.; PRAJAPATI, D. R.; SATSANGI, P. S. Design for Six Sigma to optimise the process parameters of a foundry. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 8, n. 3, p. 333, 2011.

LEE, M. C.; CHANG, T. Developing a lean design for Six Sigma through supply chain methodology. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 6, n. 4, p. 407, 2010.

LIU, X.; WANG, S.; QIU, J.; et al. Robust Optimization in HTS Cable Based on DEPSO and Design for Six Sigma. **2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting**. Anais. p.1–5, 2008. IEEE.

LUCAS, A. G.; PRIMUS, K.; KOVACH, J. V; FREDENDALL, L. D. Rethinking behavioral health processes by using design for six sigma. **Psychiatric services** (Washington, D.C.), v. 66, n. 2, p. 112–4, 2015. American Psychiatric Association.

MADER, D. P. DFSS and your current design process. **Quality Progress**, n. July, p. 88–89, 2003.

MAGALHÃES, D.; DE CARVALHO, M. D. S.; VARELA, L. R. Definition of a collaborative working model to the logistics area. **Romanian Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics**, v. 2015, n. 48, p. 92–97, 2015.

MENG, X.; WANG, S.; QIU, J.; et al. Robust Multilevel Optimization of PMSM Using Design for Six Sigma. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 47, n. 10, p. 3248–3251, 2011.

MONTGOMERY, D. C. A modern framework for achieving enterprise excellence. **International Journal of Lean Six Sigma,** v. 1, n. 1, p. 56–65, 2010.

NEAGU, R.; HOERL, R. A Six Sigma Approach to Predicting Corporate Defaults. **Quality and Reliability Engineering International,** v. 21, n. 3, p. 293–309, 2005.

NICOLAESCU, S.; KIFOR, C. V.; LOBONŢ, L. Design for six sigma applied on software development projects from automotive industry. **Academic Journal of Manufacturing Engineering,** v. 12, n. 4, p. 76–83, 2015.

NUMNNALLY, JC, Psychometric theory. **McGraw-Hill**, Nova York, EUA, 1978.

Park, SH, Six Sigma for Quality and Productivity Promotion. **Asian Productivity Organization.** Tokyo, Japão, 2006.

PARK, S.; GIL, Y. How Samsung Transformed its Corporate R&D Center. **Research Technology Management,** v. 49, p. 24–29, 2006.

PATTERSON, A.; BONISSONE, P.; PAVESE, M. Six Sigma applied throughout the lifecycle of an automated decision system. **Quality and Reliability Engineering International,** v. 21, n. October 2003, p. 275–292, 2005.

PHADKE, M. S. Quality engineering using robust design. **Prentice Hall / McGraw-Hill**, 1989.

PUGH, S. Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. **Pearson Education Berkeley, CA**, EUA, 1991.

PYLE, M. J.; LIKER, J. K. Imitation in Large Complex Organizations: A Case of Design for Six Sigma in the Automobile Industry. **Journal of Enterprise Transformation**, v. 4, n. 2, p. 76–99, 2014.

QURESHI, Z. H.; ASHRAF, M. A. Bottom-up integration of quality in new product development using systems engineering. **International Journal of Business and Systems Research**, v. 5, n. 5, p. 511, 2011. Inderscience Enterprises Ltd.

RAFIQUE, S. M. S. B. M. The use of design for six sigma (DFSS) methodology in product design. **Lecture Notes in Engineering and Computer Science**. Anais. v. 1 LNECS, p.664–669, 2013.

RAJAGOPALAN, R.; FRANCIS, M.; SUÁREZ, W. Developing novel catalysts with six sigma. **Research Technology Management,** v. 47, n. 1, p. 13–16, 2007.

RILEY, B. W.; KOVACH, J. V.; CARDEN, L. Developing a policies and procedures manual for a consumer lending department: A design for six sigma case study**. EMJ - Engineering Management Journal**, v. 25, n. 3, p. 3–15, 2013.

SHAHIN, A. Design for Six Sigma (DFSS): lessons learned from world-class companies. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage,** v. 4, n. 1, p. 48, 2008.

SMITH, L. R.; PHADKE, M. S. Some thoughts about problem solving in a DMAIC framework Madhav S . Phadke. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 1, n. 2, p. 151–166, 2005.

SODEBORG, NR. The role of design for six sigma in successful product development. *SAE* **World Congress and Exhibition, Proceeding**. 2010.

SOKOVI, M.; JOVANOVI, J.; VUJOVI, A. Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process. **Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering**, v. 55, p. 1–9, 2009.

SUFFIAN, M. D. M.; IBRAHIM, S. Adopting Six Sigma in formulating a defect prediction model for system testing. **International Journal of Digital Content Technology and its Applications**, v. 6, n. November, p. 60–76, 2012.

SURANGE, V. G. Implementation of Six Sigma to Reduce Cost of Quality: A Case Study of Automobile Sector. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v. 15, n. 2, p. 282–294, 2015.

TENNANT, G, Design for Six Sigma: Launching New Products and Services without Failure. **Gower Publishing**. Hampshire, Gra-Bretanha. 2002.

TREICHLER, D.; CARMICHAEL, R.; KUSMANOFF, A.; LEWIS, J.; BERTHIEZ, G. Design for Six Sigma: 15 Lessons Learned. **Quality Progress,** p. 33–42, 2002.

ULLMAN, DG; The Mechanical Design Process. **McGraw-Hill** SGP

VARSHAPETIAN, A.; SEMENOVA, W. E. Aspects of integration management methods. **International Journal for Quality Research,** v. 9, n. 3, p. 481–494, 2015.

WANG, H. M. S.; WANG, S. P.; LEE, W. A case study for reducing client waiting time in a health evaluation center using design for six sigma. **EMJ - Engineering Management Journal,** v. 26, n. 2, p. 62–73, 2014. American Society for Engineering Management.

WATSON, G. H.; DEYONG, C. F. Design for Six Sigma: caveat emptor**. International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 1, p. 66–84, 2010.

YANG, K.; CAI, X. The integration of DFSS, lean product development and lean knowledge management. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 5, n. 1, p. 75, 2009.

YANG, K; EL-HAIK, B. Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development. New York, NY: **McGraw Hill**, 2003.

YANG, M.; GAO, X.; LIANG, Y.; LI, Y.; YU, T. An innovative DFSS approach for multivariate production process. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research,** v. 6, n. 2, p. 221–225, 2014.

YIN, R. Applications of case study research. Newbury Park, CA: Sage Publishing, 1993.

ZAIN, Z. M.; DALE, B. G.; KEHOE, D. F. Total quality management: an examination of the writings from a UK perspective. **The TQM Magazine**, v. 13, n. 2, p. 129–137, 2001.

APÊNDICE A – ANÁLISE QUANTITATIVA DOS ARTIGOS DE DFSS

Autores	Título	Ano	Nome da Fonte	Tipo da Fonte	JCR (WOS)	Citado por (WOS)	SJR (Scopus)	Citado por (Scopus)	Base	Qualis CAPES
Echeveste, ME; Rozenfeld, H; Sonego, M	*Potential application of Six Sigma tool in the integrated product development process*	2016	*Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*	j	0.963		0.218	0	Scopus	B1
Hassan, MF; Keat, MK; Yunos, MZ; Adzila, S; Arifin, AMT; Rahman, MNA; Haq, RHA	*Investigation of existing laptop computer towards sustainable development using design for six sigma and design for disassembly*	2016	*ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*	j			0.202	0	Scopus	
Suresh, KM; Asokan, P; Vinodh, S	*Application of design for Six Sigma methodology to an automotive component*	2016	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	j			0.14	0	Scopus	
Zhang, W; Likich, M; Lynch, M; White, J	*A Study on Robust Air Induction Snorkel Volume Velocity Prediction Using DFSS Approach*	2016	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c			0.337	0	Scopus	
Ahari, H., Smith, M., Zammit, M., Walker, B.	*Adapting Design for Six Sigma (DFSS) Methodology for Diesel Lean NOx Trap (LNT) Catalyst Screening*	2016	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c			0.337	0	Scopus	
Griffith, SEJ	*Creating a culture of operational discipline within a management of change process*	2016	*Process Plant Safety Symposium; AIChE Spring Meeting; Global Congress on Process Safety, Proceedings*	c				0	Scopus	
Cooney, EM; Yearling, PR; Smith, JÁ	*Multi-disciplinary capstone project on self-replicating 3-D printer*	2016	*ASEE Annual Conference and Exposition, Proceedings*	c			0.104	0	Scopus	
Dixit, M;	*Optimization of Muffler*	2016	*SAE Technical Papers -*	c			0.337	0		

Sundaram, V; Kumar, S	*Acoustics Performance using DFSS Approach*		*World Congress and Exhibition, Proceedings*					Scopus	
Konikineni, P; Sundaram, V; Sathish, K; Thirukkotti, S	*Optimization Solutions for Fan Shroud*	2016	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c		0.337	0	Scopus	
Kumar, S; Luthra, S; Govindan, K; Kumar, N; Haleem, A	*Barriers in green lean six sigma product development process: an ISM approach*	2016	*Production Planning & Control*	j		1.295		WOS	
Carvalho, MS; Magalhaes, DS; Varela, ML; Sa, JO; Gonçalves, I	*Definition of a collaborative working model to the logistics area using design for Six Sigma*	2016	*International Journal of Quality and Reliability Management*	j		0.544	1	WOS e Scopus	B3
Mitchell, EM; Kovach, JV	*Improving supply chain information sharing using Design for Six Sigma*	2016	*European Research on Management and Business Economics*	j			0	WOS e Scopus	
Lei, G; Liu, C; Jafari, M; Zhu, JG; Guo, Y	*Multilevel Robust Design Optimization of a Superconducting Magnetic Energy Storage Based on a Benchmark Study*	2016	*IEEE Transactions on Applied Superconductivity*	j	1.092	0.381	0	WOS e Scopus	B1
Wang, F.-K., Yeh, C.T., Chu, T.-P.	*Using the design for Six Sigma approach with TRIZ for new product development*	2016	*Computers and Industrial Engineering*	j	2.086	1.63	0	WOS e Scopus	
Du, X	*Uncertainty topics for engineering design courses*	2016	*ASME Design Engineering Technical Conference, Proceedings*	c		0.109	0	WOS e Scopus	
Varshapetian, A; Semenova, WE	*Aspects of integration management methods*	2015	*International Journal for Quality Research*	j			0	Scopus	B3
Magalhães, DS; Carvalho, MS; Varela, ML	*Definition of a collaborative working model to the logistics area*	2015	*Romanian Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics*	j		0.161	0	Scopus	
Nicolaescu, S; Kifor, CV; Lobonț, L	*Design for six sigma applied on software development projects from automotive industry*	2015	*Academic Journal of Manufacturing Engineering*	j		0.113	0	Scopus	
Potra, S; Pugna, A	*DFSS in marketing: Designing an innovative value co-creation*	2015	*International Journal of Six Sigma and*	j		0.14	0	Scopus	

	campaign		*Competitive Advantage*					
Li, Q., Savage, G.J., Son, Y.K.	*Economic, robust and quality design of engineering systems using a hybrid six sigma-second moment approach*	2015	*International Journal of Performability Engineering*	j	0.36	0	Scopus	B3
Surange, VG	*Implementation of Six Sigma to Reduce Cost of Quality: A Case Study of Automobile Sector*	2015	*Journal of Failure Analysis and Prevention*	j	0.261	1	Scopus	B3
Alvarez, JC	*Lean design for Six Sigma: An integrated approach to achieving product reliability and low-cost manufacturing*	2015	*International Journal of Quality and Reliability Management*	j	0.544	0	Scopus	B3
Ferryanto, L	*Structuring a design for Six Sigma project: Paper helicopter robust and optimal design*	2015	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	j	0.14	0	Scopus	B3
Arthanari, T; Sundaram, V; Sathish Kumar, S	*1D modeling of expansion tank flow*	2015	*SAE Symposium on International Automotive Technology, Proceedings*	c		1	Scopus	
Yilmaz, S	*A method to optimize Robust Core Design performance based on Design for Six Sigma (DFSS) methodology*	2015	*Topical Meeting on Advances in Nuclear Fuel Management, Proceedings*	c		0	Scopus	
Arvanitis, A; Orzechowski, J; Tousignant, T; Govindswamy, K	*Automobile Powertrain Sound Quality Development Using a Design for Six Sigma (DFSS) Approach*	2015	*SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition, Proceedings*	c		0	Scopus	
Narasappan, C; Sundaram, V; Sathish Kumar, S	*CAC plumbing lines inner medium pressure drop 1D model optimization*	2015	*SAE Symposium on International Automotive Technology, Proceedings*	c		0	Scopus	
Uduma, K; Purushothaman, D; Pawargi, D.S; Bilkhu, S; Beaudet, B	*CAE Based Development of an Ejection Mitigation (FMVSS 226) SABIC using Design for Six Sigma (DFSS) Approach*	2015	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c	0.337	0	Scopus	
Bhuyan, DR; Netapalli, S; Dev, S; Srinivasan, S	*Design for Six Sigma (DFSS) for Optimization of Stamping Simulation Parameters to*	2015	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c	0.337	0	Scopus	

	Improve Springback Prediction									
Yoo, D; Song, J; Kim, Y; Jung, W; Kim, D	*Fuel Consumption Improvement of 2.4L ULPC Diesel Engine by Optimizing the Combustion System; Nozzle, Swirl Ratio and Piston Bowl Geometry*	2015	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c			0.337	0	Scopus	
Ramadas, S; Prasanth Suseelan, S; Paramadhayalan, T; Annamalai, A; Mital, R	*Optimization of Diesel Oxidation Catalyst (DOC) on Passenger Cars to Improve Emission Robustness*	2015	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c			0.337	0	Scopus	
Balashunmuganathan, V; Nukala, R; Kumar, SS; Govindarajalu, M	*Optimization of MAC Side Window Demister Outlet by Parametric Modelling through DFSS Approach*	2015	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	c			0.337	0	Scopus	
Thomas, P.	*Split peel seal system for flexible medical device packaging prototype*	2015	*Annual Technical Conference, Proceedings*	c			0.103	0	Scopus	
Vikram, MR; Patil, R; Chattanahalli, S; Meti, VH	*Torsional vibration damper development for emerging market RWD vehicle*	2015	*SAE Symposium on International Automotive Technology, Proceedings*	c				0	Scopus	
Kovach, JV; Fredendall, LD	*Learning During Design for Six Sigma Projects-A Preliminary Investigation in Behavioral Healthcare*	2015	*EMJ - Engineering Management Journal*	j	0.319	0	0.307		WOS	B2
Horinkova, B; Plura, J	*Possibilities of product quality planning improvement using selected tools of Design for Six Sigma*	2015	*International Conference on Metallurgy and Materials, Proceedings*	c		0			WOS	
Cai, F; Ma, Z	*Research on The Application of DFSS In RandD of Materiel In Foreign Countries*	2015	*International Conference on Advanced Management Science and Information Engineering, Proceedings*	j		0			WOS	
Ericsson, E; Gingnell, L;	*Implementing Design for Six Sigma in large Swedish product*	2015	*Total Quality Management and*	j	0.896	1	0.662	1	WOS e Scopus	

Lilliesköld, J	*developing organizations – an interview study*		*Business Excellence*						
Kannengiesser, U; Gero, JS	*Is designing independent of domain? Comparing models of engineering, software and service design*	2015	*Research in Engineering Design*	j	1.786	0	0.765	0	WOS e Scopus
Lucas, AG; Primus, K; Kovach, JV; Fredendall, LD	*Rethinking behavioral health processes by using design for six sigma*	2015	*Psychiatric Services*	J	2.335	0	1.316	2	WOS e Scopus
Lei, G; Wang, T; Zhu, JG; Guo, Y; Wang, S	*System-Level Design Optimization Method for Electrical Drive Systems - Robust Approach*	2015	*IEEE Transactions on Industrial Electronics*	J	6.383	1	3.285	33	WOS e Scopus
Wu, JJ; Wan, LQ; Nie, PF	*Kriging surrogate model for compliant mechanism Six Sigma robust optimization design*	2015	*IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Proceedings*	J		30	0.103	0	WOS e Scopus
Lei, G; Guo, YG; Zhu, JG; Xu, W; Li, YB	*Multilevel six-sigma robust optimization of a superconducting magnetic energy storage*	2015	*IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, Proceedings*	C		0			WOS e Scopus
Karthik, TVSSN; Subramanian , K; Kumar, RG; Prasad, TK; Sriniwas, A	*A Six Sigma approach for the design of thermal architecture of energy storage system*	2015	*IEEE International Transportation Electrification Conference, Proceedings*	C		0			WOS e Scopus
Ericsson, E; Buschle, M; Lillieskold, J; Ekstedt, M	*Developing a Design for Six Sigma framework for the analysis of product development processes*	2015	*IEEE PICMET, Proceedings*	C		0			WOS e Scopus
Babajide, B; Moore, T	*Engineering university-industry projects: A design for six sigma framework*	2015	*IEEE Frontiers in Education Conference, Proceedings*	J	6.798		3.12		WOS e Scopus
Bertelli, CR;	*Quality problems in complex*	2015	*ISPE International*	J			0.135		

Loureiro, G	*systems even considering the application of quality initiatives during product development*		*Conference on Concurrent Engineering, Proceedings*					Scopus
Lei, G; Guo, Y; Zhu, JG; Xu, W	*Six-sigma robust topology and shape optimization for flux switching permanent magnet machines*	2015	*IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, Proceeding*	J				Scopus
Cheng, Y-L; Wee, HM; Chen, P-S; Kuo, Y-Y; Chen, G-J	*Innovative reservoir sediments reuse and design for sustainability of the hydroelectric power plants*	2014	*Renewable and Sustainable Energy Reviews*	j		0.14		Scopus
Gremyr, I; Elg, M	*A developmental view on implementation of quality management concepts*	2014	*International Journal of Quality and Service Sciences*	J	6.798		0	Scopus
Yang, M; Gao, X; Liang, Y; Li, Y; Yu, T	*An innovative DFSS approach for multivariate production process*	2014	*Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*	J		0.135	0	Scopus
Pyle, MJ; Liker, JK	*Imitation in large complex organizations: A case of design for six sigma in the automobile industry*	2014	*Journal of Enterprise Transformation*	J			1	Scopus
Yeung, SMC	*Integrate DLDDC into DFSS for reducing variations in programmed delivery*	2014	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J		0.14	0	Scopus
Sarkar, A; Mukhopadhyay, AR; Ghosh, SK	*Measurement system analysis for implementing design for Six Sigma*	2014	*International Journal of Productivity and Quality Management*	J		0.376	3	Scopus
Cudney, E; Kanigolla, D	*Measuring the impact of project based learning in Six Sigma education*	2014	*Journal of Enterprise Transformation*	J			2	Scopus
Cheng, WK; Azman, AF; Hamdan, MH; Mansa, RF	*Application of Six Sigma in oil and gas industry: Converting operation data into business value for process prediction and quality control*	2014	*IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Proceedings*	C		0.103	0	Scopus
Idris, MRM,	*Design an effective reliability*		*IEEE International*	C		0.103	0	

Aladin,	*demonstration test plan using Six Sigma approach*		*Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Proceedings*					Scopus	
El-Sharkawy, A; Salahuddin, A; Komarisky, B	*Design for Six Sigma (DFSS) for Optimization of Automotive Heat Exchanger and Under hood Air Temperature*		*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	7	Scopus	
Sundaram, V; Arthanari, T; Sathish Kumar, S	*Optimization of TOC plumbing line pressure drop using 1D modeling*		*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	WOS	
Iorga, D; Scarlat, C; Ionescu, S	*The Enterprise Dynamic Indicators Matrix: Top Management Tool for Stable and Mature Process Sustainability*		*European Conference on Innovation and Entrepreneurship, Proceedings*	C		0				
Wang, HMS; Wang, SP; Lee, W	*A case study for reducing client waiting time in a health evaluation center using Design for Six Sigma*	3014	*EMJ - Engineering Management Journal*	J	0.319	2		2	WOS e Scopus	B2
Ferreira, I; Cabral, JA; Saraiva, P; Oliveira, MC	*A multidisciplinary framework to support the design of injection mold tools*	2014	*Structural and Multidisciplinary Optimization*	J	2.208	1		4	WOS and Scopus	A2
Ericsson, E; Gingnell, L; Lilliesköld, J Successful	*Successful risk management approaches in product development organizations: A case study experience*	2014	*IEEE PICMET, Proceedings*	C		0		0	WOS e Scopus	
Azis, Y; Osada, H	*Managing innovation using design for six sigma (DFSS) approach in healthcare service organizations*	2013	*International Journal of Innovation and Technology Management*	J				0	Scopus	
Ye, T	*A statistical approach for correlation/validation of hot soak terminal temperature of a vehicle cabin CFD model*	2013	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.206	1	Scopus	
Kim, Y; Jeong, C; Lee, M; Yoo, J	*Development of cost saying and sloshing noise reductive baffles of fuel tent using Triz and*	2013	*FISITA World Automotive Congress, Proceedings*	C			0,337	0	Scopus	

	Taguchi engineering method									
Zhang, B; Beyer, C; Pelkey, J; Whitehead, G; Opeiko, A	*Integrated virtual approach for optimization of vehicle sensitivity to brake torque variation*	2013	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0,337	0	Scopus	
Foran, TR	*Lean and design for six sigma applications in tool design*	2013	*SME Technical paper*	C				0	Scopus	
Oh, W; Kim, H; Chun, Y; Kim, E; Lee, J; Choi, K	*Physical properties of TPO airbag cover using DFSS (design for six sigma) concept*	2013	*FISITA World Automotive Congress, Proceedings*	C				0	Scopus	
Pulido, J	*Reliability program for medical device*	2013	*ISSAT International Conference on Reliability and Quality In Design, Proceedings*	C				0	Scopus	
Qu, W	*RETRACTED ARTICLE: The application of design for Six Sigma in product design*	2013	*International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, Proceedings*	C				0	Scopus	
Nallapati, SR; Miller, J; Chinta, B; Morley, J	*Robust analytical methodology for hood overslam travel using a DFSS approach*	2013	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Badiru, IA; Neal, MW	*Use of DFSS principles to develop an objective method to assess transient vehicle dynamics*	2013	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	J			0.337		Scopus	
Riley, BW; Kovach, JV; Carden, L	*Developing a policies and procedures manual for a consumer lending department: A Design for Six Sigma case study*	2013	*EMJ - Engineering Management Journal*	J	0.319	2	0.307		Scopus	B2
Nagalingam, SV; Kuik, SS; Amer, Y	*Performance measurement of product returns with recovery for sustainable manufacturing*	2013	*Robotics and ComputerIntegrated Manufacturing*	J	2.077	10	1.621		Scopus	A2
Jahanzaib, M; Athar Masood, S; Jamil, U; Akhtar, K	*Product design variables optimization using Design for Six Sigma (DFSS) approach*	2013	*Life Science Journal*	J	0.165	0	0.136		Scopus	
Rafique, SMSBM	*The use of Design for Six Sigma (DFSS) methodology in product*	2013	*Lecture Notes in Engineering and*	J		0	0.112		Scopus	

	design		*Computer Science*						
Gardner, M; Wiggs, G	*Design for Six Sigma: The first 15 years*	2013	*ASME Turbo Expo, Proceedings*	C		0	0.147	Scopus	
Pulido, J	*Effective Implementation of an Enterprise Reliability Program with Suppliers*	2013	*IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, Proceedings*	C		0		WOS e Scopus	
Ericsson, E	*Is there a need for a new process model in product development when implementing DFSS?*	2013	*IEEE PICMET, Proceedings*	C		0		WOS e Scopus	
Suffian, MDM; Ibrahim, S	*Adopting Six Sigma in formulating a defect prediction model for system testing*	2012	*International Journal of Digital Content Technology and its Applications*	J			0.118	Scopus	
Gremyr, I; Fouquet, JB	*Design for six sigma and lean product development*	2012	*International Journal of Lean Six Sigma*	J			0.562	Scopus	
Lin, WT; Wang, ST; Hwang, CH; Li, MH; Cheng, Y	*Improved process performance in new product development of optical communications manufacturing by the integration of DFSS and ANP*	2012	*International Journal of Manufacturing Technology and Management*	J			0.183	Scopus	
Gremyr, I; Gustavsson, S; Gideberg, A	*The medication process - A design for Six Sigma project*	2012	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	Scopus	B3
Chen, K-S; Wang, CH; Wu, C-F	*A DMADV approach to optimization of night-vision system assembly*	2012	*Advanced Science Letters*	J	1.253		0.154	1	Scopus
Kim, JH; Kim, IS; Lee, HW; Park, BO	*A Study on the Role of TRIZ in DFSS*	2012	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus
Chackelson, C; Errasti, A; Tanco, M	*A world class order picking methodology: An empirical validation*	2012	*IFIP International Conference, Proceedings*	C				1	Scopus
Wei, W; Falzetta, F	*Applying DFSS method in NVH measurement to optimize vehicle wind noise treatment*	2012	*IFIP International Conference, Proceedings*	C				0	Scopus
Na, WJ	*CAE based multi-level optimization of a bus body constituted of aluminum*	2012	*International Congress and Exposition on Noise Control Engineering,*	C			0.337	0	Scopus

	extrusions		*Proceedings*						
Kim, J; Ryu, N; Kim, Y	*Optimized Caliper Design for Low Drag Using DFSS Method*	2012	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C				0	Scopus	
Haught, M; Kovach, JV; Tiwari, V	*Redesigning the SKU creation process using design for six sigma*	2012	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	c				0	Scopus	
Fallon, L; Hendricks, A	*Test method for seat wrinkling and bagginess*	2012	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
El-Sharkawy, A	*Transient Thermal Analysis of Diesel Fuel Systems*	2012	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Raju, D; Vasconi, S	*Virtual optimization of epicyclic gearbox planet bearings in wind turbines*	2012	*American Gear Manufacturers Association Fall Technical Meeting, Proceedings*	C				0	Scopus	
Koziołek, S; Derlukiewicz, D	*Method of assessing the quality of the design process of construction equipment with the use of DFSS (Design for Six Sigma)*	2012	*Automation in Construction*	J	2.442	1	1.571	6	WOS e Scopus	
Tchidi, MF; He, Z; Li, YB	*Process and quality improvement using Six Sigma in construction industry*	2012	*Journal of Civil Engineering and Management*	J	1.53	7	0.907	9	WOS e Scopus	B1
Ericsson, E; Lillieskold, J	*Identifying weaknesses in the Design for Six Sigma concept through a pedagogical structure*	2012	*IEEE PICMET, Proceedings*	C		0		1	WOS e Scopus	
Kompally, SK; Ramanath, V; Jeevanandan, K; Kunnil, M	*Recent advances in test vs finite element correlations through Design for Six Sigma tools*	2012	*International Conference on Nuclear Engineering and The ASME Power Conference, Proceedings*	C		0		0	WOS e Scopus	
Azis, Y; Osada, H	*An empirical study of new value creation in financial service companies using design for Six Sigma approach*	2011	*International Journal of Productivity and Quality Management*	J			0.376	11	Scopus	

Qureshi, ZH; Ashraf, MA	*Bottom-up integration of quality in new product development using systems engineering*	2011	*International Journal of Business and Systems Research*	J	0.205	1	Scopus	C
Kumar, S; Prajapati, DR; Satsangi, OS	*Design for Six Sigma to optimise the process parameters of a foundry*	2011	*International Journal of Productivity and Quality Management*	J	0.376	1	Scopus	
Li, BZ; Wu, S-S; Yang, J-G; Shukla, SK	*An adaptive design for six sigma (ADFSS): a simulated annealing and regression analysis embedded approach*	2011	*Journal of Donghua University (English Edition)*	J		1	Scopus	
Thompson, LL; Jensen, C	*A design for six sigma approach to optimize a front-wheel-drive transmission for improved efficiency and robustness*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus	
Suffian, MDM; Ibrahim, S	*Adopting six sigma approach in predicting functional defects for system testing*	2011	*IEEE Malaysian Conference in Software Engineering, Proceedings*	C		0	Scopus	
Andreassa, MC; Tiusso, JR	*Design for reliability: Overview of the systemic approach for failure analysis in electronics*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus	
Balakrishnan, PV; Perumal, J; Salahudeen, AM; Kannan, JS	*Design for six sigma (DFSS) of hydroformed engine cradle design for SUV application*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	2	Scopus	
Brown, SJ	*Design Optimization of Front Bumper System for Low Speed Impact Insurance Industry Impact Test using DFSS and CAE Analysis*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings0*	c	0.337	0	Scopus	
Pyszel, R	*Effects of fretting corrosion on lift glass*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus	
Berger, L; Fallon, L; Carpenter, MG	*Measurement of occupant pocketing kinematics during whiplash assessments*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus	
Hotton, R	*Optimization of scratch resistance for molded in color*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and*	C	0.337	0	Scopus	

	interior thermoplastic olefin injection molded plastics		*Exhibition, Proceedings*							
Imam, AS; Chinta, B; Thorpe, S	*Optimum constraint strategy for liftgates*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Jinmei, H	*RETRACTED ARTICLE: Research on product innovation in tourism development*	2011	*IEEE International Conference on Product Innovation Management, Proceedings*	C					Scopus	
Henshall, ED; Campean, I; Brunson, D	*Robust and reliable teamwork within engineering projects*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Mandadapu, S; Chinta, B; Jutila, B; Schoenefeld, M	*Robust design of a light weight flush mount roof rack*	2011	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Yang, H	*Business process reengineering and functional design of information system based on DFSS: A case study of pharmaceutical wholesale enterprise*	2011	*Applied Mechanics and Materials*	J		0	0.113	0	WOS e Scopus	B1
Baril, C; Yacout, S; Clement, B	*Design for Six Sigma through collaborative multiobjective optimization*	2011	*Computers and Industrial Engineering*	J	2.086	7	1.63	11	WOS e Scopus	
Kuei, C-H; Madu, CN; Lin, C	*Developing global supply chain quality management systems*	2011	*International Journal of Production Research*	J	1.693	12	1.445	15	WOS e Scopus	B1
de Mast, J; Diepstraten, G; Does, RJMM	*Quality quandaries: Design for Six Sigma: Method and application*	2011	*Quality Engineering*	J	0.883	5	0.58	8	WOS e Scopus	B1
Meng, X; Wang, S; Qiu, J; Zhang, Q; Zhu, JG; Guo, Y; Liu, D	*Robust multilevel optimization of PMSM using Design for Six Sigma*	2011	*IEEE Transactions on Magnetics*	J	1.277	13	0.602	11	WOS e Scopus	B1
Goh, TN	*Six Sigma in industry: Some observations after twenty-five years*	2011	*Quality and Reliability Engineering International*	J	1.457	8	1.3	16	WOS e Scopus	B1
Bassler, D;	*A comparison of the integration*		*International Conference*	C		0		2	WOS e Scopus	

Oehmen, J; Seering, W; BenDaya, M	*of risk management principles in product development approaches*	2011	*on Engineering Design, Proceedings*						
Wu, J; Wang, Y; Zhang, Q; Huang, P	*Improve burnishing formation yield applying Design for Six Sigma*	2011	*IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Proceedings*	C	0	0.103	0	WOS e Scopus	
Luiten, IGA	*Thermal design in the Design for six sigma - DIDOV framework*	2011	*IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, Proceedings*	C	0	0.264	0	WOS e Scopus	
Downing, CG	*Using design for Six Sigma practices to develop a "rose" Belt course*	2011	*ASEE Annual Conference and Exposition, Proceedings*	C	0	0.105	0	WOS e Scopus	
Ericsson, E; Von Würtemberg, LM; Lilliesköld, J	*Who is the DFSS Black Belt?: An investigation of the competence profile of the role in theory and practice*	2011	*IEEE PICMET, Proceedings*	C	0		0	WOS e Scopus	
Montgomery, DC	*A modern framework for achieving enterprise excellence*	2010	*International Journal of Lean Six Sigma*	J		0.562	28	Scopus	B3
Amer, Y; Luong, L; Ashraf, MA; Lee, S-H	*A systems approach to order fulfillment*	2010	*International Journal of Operational Research*	J		0.451	4	Scopus	B5
Lin, CS; Chen, L-F; Yu, HC	*Application of DFSS for ODM electronic product development - An empirical study of a wireless communication Company*	2010	*Journal of Quality*	J		0.122	0	Scopus	
Mettas, A	*Design for reliability: Overview of the process and applicable techniques*	2010	*International Journal of Performability Engineering*	J		0.36	4	Scopus	B3
Watson, GH; DeYong, CF	*Design for six sigma: Caveat emptor*	2010	*International Journal of Lean Six Sigma*	J		0.562	23	Scopus	B3
Lee, M-C; Chang, T	*Developing a lean design for Six Sigma through supply chain methodology*	2010	*International Journal of Productivity and Quality Management*	J		0.376	23	Scopus	
Mandahawi, N;	*Reducing waiting time at an*	2010	*International Journal of*	J		0.14	11		

AlShihabi, S; Abdallah, AA; Alfarah, YM	*emergency department using design for Six Sigma and discrete event simulation*		*Six Sigma and Competitive Advantage*				Scopus
Patidar, A	*Application of design for six sigma methodologies to design automotive HVAC system*	2010	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	1	Scopus
Long, P; Kovach, J; Ding, D	*Designing an IT change management process for mid-size accounting firms*	2010	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C		0	Scopus
Rivera, EA; Mastro, N; Zizelman, J; Kirwan, J; Ooyama, R	*Development of injector for the direct injection homogeneous market using design for six sigma*	2010	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	12	Scopus
Zhao, Y; Jiang, F; Yan, Z	*Efficient integration for a hardware-in-the-loop (hil) system*	2010	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	1	Scopus
Dhiauddin, M; Suffian, M; Abdullah, MR	*Establishing a defect prediction model using a combination of product metrics as predictors via six sigma methodology*	2010	*IEEE International Symposium on Information Technology, Proceedings*	C		0	Scopus
Narayanan, H; Khoh, SB	*Managing change towards design for Six Sigma™*	2010	*IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, Proceedings*	C		0	Scopus
Kim, CS; Hong, J; Shim, J; Won, Y; Kwon, Y-I	*Multiphysics modeling and design of ultralarge multiwafer MOVPE reactor for group IIInitride light emitting diodes*	2010	*International Conference on Thermal, Mechanical and MultiPhysics Simulation, and Experiments in Microelectronics and Microsystems, Proceedings*	C		0	Scopus
Thanasiu, E; Chanko, T; Jen, H-W; Hubbard, CP	*Research application of DFSS: Study of the impact of accelerated aging and recovery on low-Rh three-way catalyst activity for catalyst monitoring*	2010	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus

Wu, JJ; Wang, YZ; Cai, WS; Shao, JJ	*RETRACTED ARTICLE: Improving quality and manufacturability by design for Six Sigma*	2010	*IEEE International Conference on Advanced Management Science, Proceedings*	C				0	Scopus	
Tchidi, MF; He, Z	*RETRACTED ARTICLE: Six sigma axiomatic design method based on quality function deployment*	2010	*IEEE International Conference on Information Management and Engineering, Proceedings*	C				0	Scopus	
Heemskerk, R; Adane, T; Wagner, R	*System dynamic modelling applied to wind turbine bearings*	2010	*European Wind Energy Conference and Exhibition, Proceedings*	C				0	Scopus	
Tchidi, MF; He, Z	*The requirements engineering process model based on Design for Six Sigma*	2010	*IEEE International Conference on Information Management and Engineering, Proceedings*	C				1	Scopus	
Soderborg, NR	*The role of design for six sigma in successful product development*	2010	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	1	Scopus	
Benguerel, E; Seyer, S; Geoffroy, N; Le Regent, A	*Upgrading the selenium removal process for CEZinc's acid plant effluents*	2010	*Lead-Zinc Symposium, Proceedings*	C				0	Scopus	
Jou, YT; Chen, CH; Hwang, CH; Lin, WT; Huang, SJ	*A study on the improvements of new product development procedure performance-an application of Design for Six Sigma in a semi-conductor equipment manufacturer*	2010	*International Journal of Production Research*	J	1.693	5	1.445	12	WOS ans Scopus	B1
Amer, Y; Luong, L; Lee, SH	*Case study: Optimizing order fulfillment in a global retail supply chain*	2010	*International Journal of Production Economics*	J	2.782	6	2.749	10	WOS ans Scopus	A1
Hasenkamp, T	*Engineering Design for Six Sigma - A systematic approach*	2010	*Quality and Reliability Engineering International*	J	1.457	10	1.3	11	WOS ans Scopus	B1
Goh, TN; Lam, SW	*Problem-based learning approach to application of statistical experimentation*	2010	*Quality and Reliability Engineering International*	J	1.457	1	1.3	1	WOS ans Scopus	B1

Chung, Y-C; Hsu, YW	*Research on the correlation between design for Six Sigma implementation activity levels, new product development strategies and new product development performance in Taiwan's high-tech manufacturers*	2010	*Total Quality Management and Business Excellence*	J	0.896	5	0.662	8	WOS ans Scopus	
Goh, TN	*Six triumphs and six tragedies of six sigma*	2010	*Quality Engineering*	J	0.883	10	0.58	18	WOS ans Scopus	B1
He, Y; Tangb, X; Changa, W	*Technical decomposition approach of critical to quality characteristics for Product Design for Six Sigma*	2010	*Quality and Reliability Engineering International*	J		7	1.3	11	WOS ans Scopus	B1
Koziołek, S; Derlukiewicz, D; Ptak, M	*Design process innovation of mechanical objects with the use of Design For Six Sigma methodology*	2010	*International Conference on Mechatronic Systems and Materials, Proceedings*	C		1		6	WOS ans Scopus	
Tang, V; Otto, KN	*Multifunctional enterprise readiness: Beyond the policy of build-test-fix cyclic rework*	2010	*ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Proceedings*	C		0		0	Scopus	
Kaplan, S; Bisgaard, S; Truesdell, D; Zetterholm, S	*Design for Six Sigma in healthcare: developing an employee influenza vaccination process*	2009	*Journal For Healthcare Quality*	j	1.507		0.468	4	Scopus	
Aggogeri, F; Mazzola, M; O'Kane, J	*Implementing DFSS to increase the performance level of an extrusion process*	2009	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	j			0.14	1	Scopus	
Ray, S; Das, P	*Improving efficiency and effectiveness of APQP process by using DFSS tools*	2009	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	j			0.14	6	Scopus	
Jugulum, R; Kamarthi, S; Zeid, I; Samuel, P	*Robust design of a radiofrequency identification system using Design for Six Sigma approach*	2009	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	j			0.14	4	Scopus	B3

Chakravorty, SS; Franza, RM	*The implementation of Design for Six Sigma: A development experience*	2009	*International Journal of Product Development*	j	0.175	3	Scopus
Yang, K; Cai, X	*The integration of DFSS, lean product development and lean knowledge management*	2009	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J	0.14	11	Scopus
Awad, MI; Ewing, A; Sedlak, G; Yi, T; Shanshal, Y	*Track roller and idler design improvement using DFSS*	2009	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	j	0.14	1	Scopus
Chinta, B; Mandadapu, S; Carpenter, MG	*Application of principle component analysis to low speed rear impact - Design for six sigma project at general motors*	2009	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	j	0.337	3	Scopus
Liebermann, G	*Design for six sigma in high value materials development*	2009	*AIChE Annual Meeting, Proceedings*	j		0	Scopus
Kiemele, MJ	*Designnovation™: The systematic application of innovation within a design for six sigma (DFSS) structure*	2009	*Annual Technical Conference, Proceedings*	j	0.103	2	Scopus
Zhang, B	*DFSS for robust tooling design with concurrent virtual dimensional analysis (CVDA) methods*	2009	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus
Gangal, M; Thakur, A; Roy, D; Kumar, P; Kelso, B; Marks, S	*Integrated, virtual plant design and commissioning methodology using digital manufacturing and lean principles*	2009	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus
Hijawi, M; Levine, MA	*Lessons learned for effective design verification*	2009	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus
Bennur, M; Hogland, D; Abboud, E; Wang, T; Rudnick, M	*Multi-disciplinary robust optimization for performances of noise and vibration and impact hardness and memory shake*	2009	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	3	Scopus
Lathrop, R	*The digital solder paste*	2009	*IPC APEX Expo,*	C		0	Scopus

			Proceedings							
Grant, D; Mergen, AE	*Towards The Use of Six Sigma In Software Development*	2009	*Total Quality Management and Business Excellence*	J	0.896	4	0.662		WOS	
Banciu, F; Draghici, G; Turc, CG	*Holistic Approach on Integrated, Collaborative Product Design*	2009	*International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, Proceedings*	c					WOS	
Soković, M; Jovanović, J; Krivokapić, Z; Vujović, A	*Basic quality tools in continuous improvement process*	2009	*Strojniski Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*	J	0.677	3	0.405	5	WOS e Scopus	
Rusiński, E; KozioŁek, S; Jamroziak, K	*Quality assurance method for the design and manufacturing process of armoured vehicles [Metoda zapewnienia jakości procesu projektowokonstrukcyjnego pojazdów opancerzonych]*	2009	*Eksploatacja I NiezawodnoscMaintenance and Reliability*	J	1.248	8	0.509	11	WOS e Scopus	
Negroni, DY; Trabasso, LG	*A quality improving method to assist the Integrated Product Development process*	2009	*International Conference on Engineering Design, Proceedings*	C		1		1	WOS e Scopus	
Shahin, A	*Design for Six Sigma (DFSS): Lessons learned from worldclass companies*	2008	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	25	Scopus	
Savage, GJ; Son, YK	*Design-for-six-sigma for multiple response systems*	2008	*International Journal of Product Development*	J			0.175	7	Scopus	B3
Hasenkamp, T; Olme, A	*Introducing design for six sigma at SKF*	2008	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	15	Scopus	
Manikandan, G; Kannan, SM; Jayabalan, V	*Six Sigma inspired sampling plan design to minimise sample size for inspection*	2008	*International Journal of Productivity and Quality Management*	J			0.376	4	Scopus	
Kovach, J; Cho, BR	*Solving multiresponse optimization problems using quality function-based robust design*	2008	*Quality Engineering*	J	0.883		0.58	17	Scopus	B1
Zhang, B	*A framework of DFSS*		*SAE Technical Papers -*				0.337	0		

	application in Flexible Inspection System (FIS)	2008	*World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			Scopus
Hsu, J; Awano, M; Hayahsi, K; Kunihiro, A; Yasin, A	*An approach on robust design optimization of side impact crash analysis using FEM and DFSS*	2008	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	2	Scopus
Junior, HM; Turrioni, JB; Rosati, AC; Neto, DG; Goto, FK; Mologni, JF; Fernandes, MM	*Application of design for six sigma (DFSS) on an automotive technology development process*	2008	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	1	Scopus
Ranganathan, S; Redzic, C	*Application of design for six sigma in third party intensive programs*	2008	*IEEE International Conference on Secure System Integration and Reliability Improvement, Proceedings*	C		0	Scopus
Kochem, M; Weyer, F; Holzmann, H	*Application of design for six sigma methods in the development and validation of chassis control systems*	2008	*FISITA World Automotive Congress, Proceedings*	C		0	Scopus
Axelsson, J	*Applying design for six sigma to the concept development of an automotive HMI*	2008	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus
Goh, TN; Tang, LC; Xie, M	*Applying statistical design of experiments as a change agent in industry*	2008	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C		0	Scopus
Chollar, GW; Morris, GK; Peplinski, JD	*Applying systems engineering and design for six sigma in a requirements-based cost modeling process*	2008	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C		0	Scopus
Egbert, N; Mccoy, P; Schwerin, D; Jones, J; Karl, A	*Design for process excellenceensuring timely and cost-effective solutions*	2008	*Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, Proceedings*	C		0	Scopus
Johns, F; Ketelsen, M; Peter, R	*Design for six sigma (DFSS) for an automotive supplier*	2008	*FISITA World Automotive Congress, Proceedings*	C		0	Scopus

Shenvi, AA	*Design for six sigma: Software product quality*	2008	*India Software Engineering Conference, Proceedings*	C			0	Scopus
Kim, EJ; Sung, DU; Kim, JY; Jung, GS	*Development of durability test modes for suspension components under multi-axial loading*	2008	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	2	Scopus
Schenck, L; Chen, A; Lowinger, M; Troup, GM; Sinha, A; Ho, J; Rudeen, BL; Robison, S; Cruz, C	*Integrating design for six sigma Tools and Qbd concepts in hot melt extrusion process development*	2008	*AIChE Annual Meeting, Proceedings*	C		0.1	0	Scopus
Heggelund, DG; Andresen, V	*Productization of data*	2008	*SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, Proceedings*	C			0	Scopus
Graban, R; Sakowicz, JR	*Robust assessment of USCAR electrical connectors using standardized signal-to-noise*	2008	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus
Jensen, C; Quinlan, J; Feiler, B	*Robust engineering and DFSS: How to maximize user delight and function and minimize cost*	2008	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	2	Scopus
Fischer, WJ	*SGT5-8000H product validation at irsching 4 test center*	2008	*Verein Deutscher IngenieureBerichte Conference, Proceedings*	C			0	Scopus
Sanftleben, H; Lewis, L; Stark, K; Young, M; Skrzat, M	*The value of joint customer and supplier Quality Function Deployment (QFD) and Design for Six Sigma (DFSS) toolset applications*	2008	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337		Scopus
Chung, YC; Hsu, YW; Tsai, CH	*An Empirical Study on The Correlation Between Critical DFSS Success Factors, DFSS Implementation Activity Levels and Business Competitive Advantages In Taiwan's HighTech Manufacturers*	2008	*Total Quality Management and Business Excellence*	J	0.896	0.662		WOS

Yun, EK; Chun, KM	*Critical to quality in telemedicine service management: Application of DFSS (Design for Six Sigma) and SERVQUAL*	2008	*Nursing Economics*	J	0.934	4	0.534	10	WOS e Scopus	
Shimoyama, K; Oyama, A; Fujii, K	*Development of multi-objective Six Sigma approach for robust design optimization*	2008	*Journal of Aerospace Computing Information and Communication*	J	1	10		15	WOS e Scopus	
Liu, X; Wang, S; Qiu, J; Zhu, JG; Guo, Y; Lin, ZW	*Robust optimization in HTS cable based on Design for Six Sigma*	2008	*IEEE Transactions on Magnetics*	J	1.277	12	0.602	21	WOS e Scopus	
Narayanan, H; Khoh, SB	*Deploying Design For Six Sigma (TM) In New Product Development*	2008	*IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, Proceedings*	C		0		1	WOS e Scopus	
van Geffen, S; Duis, J; Miller, R	*Optical links in handheld multimedia devices*	2008	*SPIE Proceedings*	C		0	0.216	0	WOS e Scopus	
Wang, S; Liu, X; Qiu, J; Jian, GZ; Guo, Y; Zhi, WL	*Robust optimization in HTS cable based on DEPSO and Design for Six Sigma*	2008	*IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Proceedings*	C		0	0.1	0	WOS e Scopus	
Schmidt-Kretschmer, M; Warncke, TR	*Towards an integration of Six Sigma, Design for Six Sigma and Design Methodology*	2008	*International Design Conference, Proceedings*	C		0		0	WOS e Scopus	
Chinbat, U; Takakuwa, S	*Using operation process simulation for a Six Sigma project of mining and iron production factory*	2008	*IEEE Winter Simulation Conference, Proceedings*	C		2		5	WOS e Scopus	
Ramakrishnan, S; Tsai, PF; Drayer, CM; Srihari, K	*Using simulation with Design for Six Sigma in a server manufacturing environment*	2008	*IEEE Winter Simulation Conference, Proceedings*	C		0		7	WOS e Scopus	
Amer, Y; Ashraf, MA; Luong, L; Lee, S-H; Wang, WYC	*A systems approach to order fulfilment using Design for Six Sigma methodology*	2007	*International Journal of Business and Systems Research*	J			0.205	13	Scopus	C
Ferryanto, L	*Analytical Design for Six Sigma for multiple response products*	2007	*International Journal of Six Sigma and*	J			0.14	6	Scopus	

			Competitive Advantage						
Cronemyr, P	*DMAIC and DMADV - Differences, similarities and synergies*	2007	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J		0.14	16	Scopus	
Hu, M; Antony, J	*Enhancing design decisionmaking through development of proper transfer function in Design for Six Sigma framework*	2007	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J		0.14	4	Scopus	
Savage, G	*Probability constrained optimization as a tool for functional design for six sigma*	2007	*Quality Engineering*	J	0.883	0.58	4	Scopus	B1
Chang, C-M; Su, C-T	*Service process design and/or redesign by fusing the powers of Design for Six Sigma and Lean*	2007	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J		0.14	5	Scopus	
Stancliffe, M; Kroker, J; Wang, X	*Focusing core binder needs*	2007	*Modern Casting*	C		0.103	4	Scopus	
Li, YQ; Cui, Z-S; Chen, J; Zhang, D-J; Ruan, X-Y	*Structural multi-objective probabilistic design for six sigma*	2007	*Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*	C		0.133	0	Scopus	
Stauffer, L; Pawar, T	*A comparision of Systematic Design and Design for Six Sigma*	2007	*International Conference on Engineering Design, Proceedings*	C			0	Scopus	
Cherian, T; Farhad, M; Wong, J; Wu, X	*Combining DFSS and multi-body dynamics for vehicle ride tuning*	2007	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus	
Kovach, J; Cho, BR	*Design for six sigma projects using quality function deployment priorities within multiresponse robust design problems*	2007	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C			4	Scopus	
Hsu, J; Kunihiro, A; Yasin, A; Nagumo, H;	*Development of a robust design approach for occupant*	2007	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	1	Scopus	
Zhang, B	*Development of advanced dimensional control method for Design for Six Sigma (DFSS)*	2007	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus	

Choi, H-R; Kim, S-J; Han, S-W; Lee, S-H; Oh, Y-H; Lee, U-K	*Development of optimized actuator for active geometry control suspension*	2007	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus
Delor, JP; Wong, J	*Future truck steering effort optimization*	2007	*SAE Steering and Suspension Technology Symposium, Proceedings*	C			1	Scopus
Biondo, W; Griffin, J	*Improving a vehicle theft deterrent system's communication using Design for Six Sigma (DFSS)*	2007	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	1	Scopus
Helgeson, SM; Stauffer, LA	*Indian health service strategic planning using design for six sigma*	2007	*ASEM Annual National Conference, Proceedings*	C			0	Scopus
Schankin, DP; Sun, Z; Gehringer, MA; Khan, M; Heaton, J	*Integration of independent front axles for gear mesh energy*	2007	*SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition, Proceedings*	C			0	Scopus
Hong, S; Oh, B; Kim, Y; Jeon, W; Jin, B	*Optimization of intake manifold design using DFSS (Design for Six Sigma)*	2007	*SAE Asia Pacific Automotive Engineering Conference, Proceedings*	C			1	Scopus
Kim, S; Kwag, K; Choi, H	*Optimum design with DFSS for ride performance of 8×4 tipper truck development*	2007	*SAE Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0	Scopus
Pawar, T; Stauffer, LA	*Selecting the best design for six sigma roadmap*	2007	*ASEM Annual National Conference, Proceedings*	C			0	Scopus
Agba, EI; Exner, E; Akinyemi, P	*Six sigma in machining process development*	2007	*SME Technical paper/*	C			1	Scopus
Mancini, DJ	*The design for six sigma approach for the development of a carbon canister for Tier II, LEV II and PZEV emission levels*	2007	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus
Jones, E; Fei, G	*Using design for six sigma to develop real-world testing environments for RFID systems*	2007	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C			0	Scopus
Qi, X; Wang, Y	*Application of Simulation-Based*	2007	*Conference on Systems*	C	0			

	DFSS		*Science, Management Science and System Dynamics, Proceedings*						WOS	
Rajagopal, R; del Castillo, E	*A Bayesian approach for multiple criteria decision making with applications in Design for Six Sigma*	2007	*Journal of the Operational Research Society*	J	1.225	7	1.026	7	WOS e Scopus	B1
Ishii, G	*A study of knowledge succession in engineering process management*	2007	*IEEE PICMET, Proceedings*	C		0		0	WOS e Scopus	
Franza, RM; Chakravorty, SS	*Design for Six Sigma (DFSS): A case study*	2007	*IEEE PICMET, Proceedings*	C		2		2	WOS e Scopus	
Gardner, M; Wiggs, G	*Design for Six Sigma: The first 10 years*	2007	*ASME Turbo Expo, Proceedings*	C		0	0.147	0	WOS e Scopus	
Shin, D; Baek, H; Oh, J; Kwak, D; Kim, K; Song, Y; Kim, J	*Development of reliability verification system for robust package design*	2007	*International Conference on Thermal, Mechanical and MultiPhysics Simulation and Experiments in MicroElectronics and Micro-Systems, Proceedings*	C		0		0	WOS e Scopus	
Amer, Y; Luong, L; Lee, SH; Wang, WYC; Ashraf, MA; Qureshi, Z	*Implementing Design for Six Sigma to supply chain design*	2007	*IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Proceedings*	C		0	0.103	1	WOS e Scopus	
Kovach, J; Cho, BR	*A D-optimal design approach to robust design under constraints: A new Design for Six Sigma tool*	2006	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	20	Scopus	
Al-Aomar, R	*A simulation-based DFSS for a lean service system*	2006	*International Journal of Product Development*	J			0.175	2	Scopus	B3
Kalamdani, R; Khalaf, F	*Application of Design for Six Sigma to manufacturing process design at Ford PTO*	2006	*International Journal of Product Development*	J			0.175	7	Scopus	B3
Thomas, M; Singh, N	*Complexity reduction in product design and development using*	2006	*International Journal of Product Development*	J			0.175	10	Scopus	B3

	Design for Six Sigma								
Gerhorst, F; Grömping, U; LloydThomas, D; Khalaf, F	*Design for Six Sigma in product development at Ford Motor*	2006	*International Journal of Product Development*	J		0.175	7	Scopus	B3
Johnson, JA; Gitlow, H; Widener, S; Popovich, E	*Designing new housing at the University of Miami: A "Six Sigma"© DMADV/DFSS case study*	2006	*Quality Engineering*	J	0.883	0.58	12	Scopus	B1
Erlandson, PW	*DFSS for shift quality using fullvehicle ADAMS model*	2006	*International Journal of Product Development*	J		0.175	3	Scopus	B3
Washington II, DM; Amori, R; Gearhart, C	*A generic teaching case study for teaching Design for Six Sigma*	2006	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus	
Kirby, MR; Raczynski, C; Mavris, D	*An approach for strategic planning of future technology portfolios*	2006	*AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Proceedings*	C			0	Scopus	
Cronin, DM; Ash, KS	*Balancing cost and performance during design new techniques and processes to enable design trades*	2006	*International Symposium of the International Council on Systems Engineering, Proceedings*	C			0	Scopus	
Sastri, V	*Design for six sigma and product development in the plastics industry*	2006	*Annual Technical Conference, Proceedings*	C		0.103	0	Scopus	
Logan, RW; Nitta, CK; Chidester, SK	*Design for Six Sigma with Critical -To-Quality metrics for research investments*	2006	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus	
Washington II, DM; Wooldridge, S; Neal, P; Gentile, P	*Development of an empirically based volumetric flow rate transfer function for ports using airflow measurements*	2006	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	0	Scopus	
Zhou, J; Li, D	*Failure mode avoidance through design for Six Sigma and Transfer Function*	2006	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0.337	2	Scopus	
MacKertich, N; Cleotelis, D	*How do we win this game when the rules keep changing? A case for the increased application of*	2006	*International Symposium of the International Council on Systems*	C			0	Scopus	

	design for six sigma in systems engineering		*Engineering, Proceedings*							
Hanik, P	*Increasing the economic impact of Six Sigma with TRIZ*	2006	*SPE International Conference on Polyolefins, Proceedings*	C				0	Scopus	
Kovach, J; Byung, RC; Fredendall, LD	*Latent benefits and connections within quality function deployment*	2006	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C				0	Scopus	
Johnson, A	*Lessons learned from Six Sigma in RandD*	2006	*SPE International Conference on Polyolefins, Proceedings*	C				0	Scopus	
Stancliffe, M	*Phenolic urethane cold-box binders - A study of global properties, variables, causes and effects*	2006	*World Foundry Congress, Proceedings*	C				0	Scopus	
Shaya, NJ; Pietron, GM; Lee, S-H	*Practical application of DFSS on the development of electrical and electro-hydraulic controlled torque transfer clutch*	2006	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	1	Scopus	
Gowell, RW; Dreux, PC	*The use of design for Six Sigma in a new business development opportunity*	2006	*SPE International Conference on Polyolefins, Proceedings*	C				0	Scopus	
Jikar, VK; Cudney, E; Ragsdell, KM; Hui, CT	*Unifying value methodology and robust design to achieve design for Six Sigma*	2006	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Park, S; Gil, Y	*How Samsung Transformed Its Corporate RandD Center*	2006	*Research Technology Management*	J		3	0.522		WOS	
Sun, ZH; Ranek, M; Voight, M; Steyer, G	*Manufacturing Tolerances and Axle System NVH Performance*	2006	*Sound and Vibration*	J	0.045	0	0.131		WOS	
Hu, M	*Robustness Improvement Through Design For Six Sigma Disciplines*	2006	*IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Proceedings*	C		0	0.103		WOS	
Li, YQ; Cui, ZS;	*CAE-Based Six Sigma robust*		*International Journal of*	J	1.568	16	0.915	23	WOS e Scopus	B1

Ruan, XY; Zhang, DJ	*optimization for deep- drawing process of sheet metal*	2006	*Advanced Manufacturing Technology*							
Lee, SW; Kwon, OJ	*Robust airfoil shape optimization using Design for Six Sigma*	2006	*Journal of Aircraft*	J	0.701	3	0.733	7	WOS e Scopus	B1
Baek, JY; Kim, BH; Lee, GB; Park, SE; Lee, HC	*Design of the support system for the production control of injection forming process using DFSS methodology*	2006	*International DAAAM Symposium, Proceedings*	C		0		0	WOS e Scopus	
Yang, K	*Design for Six Sigma and value creation*	2005	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	4	Scopus	
Gremyr, I	*Exploring Design for Six Sigma from the viewpoint of Robust Design Methodology*	2005	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	22	Scopus	
Smith, LR; Phadke, MS	*Some thoughts about problem solving in a DMAIC framework*	2005	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	13	Scopus	
Kovach, J; Stringfellow, P; Turner, J; Cho, BR	*The house of competitiveness: The marriage of agile manufacturing, design for six sigma, and lean manufacturing with quality considerations*	2005	*Journal of Industrial Technology*	J				13	Scopus	
Hu, M; Pieprzak, J	*Using axiomatic design to improve conceptual design robustness in Design for Six Sigma (DFSS) methodology*	2005	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J			0.14	3	Scopus	
Soderborg, NR	*Challenges and approaches to design for six sigma in the automotive industry*	2005	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Turner, J; Kovach, J; Stringfellow, P; Cho, BR	*Combinations for competitiveness: Balancing production and quality*	2005	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C				0	Scopus	
Reichert, E; Rompf, D; Bick, W	*Combustion engine design under use of design for six sigma (DFSS)*	2005	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	1	Scopus	
Gianacakes, G; Sampson, ME	*Design for six sigma (dfss) integrated with systems*	2005	*International Symposium of the International*	C				0	Scopus	

	engineering toolsets systems engineering quality into products		*Council on Systems Engineering, Proceedings*							
Ragsdell, KM	*Design stability*	2005	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Creveling, CM	*Enhancing commercial systems engineering with design for six sigma*	2005	*International Symposium of the International Council on Systems Engineering, Proceedings*	C				0	Scopus	
Judd, TC	*Program level design for six sigma*	2005	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Hu, M; Yang, K	*Transfer function development in design for six sigma framework - Part i*	2005	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Chollar, GW	*Tutorial on design for six sigma*	2005	*AIChE Spring National Meeting, Proceedings*	C			0.1	0	Scopus	
Sun, ZH; Ranek, M; Voight, M; Steyer, G	*Variation reduction of axle system NVH*	2005	*SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition, Proceedings*	C				5	Scopus	
Grove, D; Campean, F; Henshall, E	*A Course In Statistical Engineering*	2005	*International Journal of Engineering Education*	J	0.559	0	0.799		WOS	B1
Goh, TN	*Some Practical Issues In Applying Six Sigma For Customer Satisfaction*	2005	*International Conference on Quality and Reliability, Proceedings*	C		0			WOS	
Neagu, R; Hoerl, R	*A Six Sigma approach to predicting corporate defaults*	2005	*Quality and Reliability Engineering International*	J	1.457	6	1.3	12	WOS e Scopus	B1
Patterson, A; Bonissone, P; Pavese, M	*Six Sigma applied throughout the lifecycle of an automated decision system*	2005	*Quality and Reliability Engineering International*	J	1.457	13	1.3	24	WOS e Scopus	B1
Shimoyama, K; Oyama, A; Fujii, K	*A new efficient and useful robust optimization approach - Design for multi-objective Six Sigma*	2005	*IEEE Congress on Evolutionary Computation, Proceedings*	C		7	1.3	27	WOS e Scopus	
Li, YQ; Cui, ZS; Ruan, XY; Zhang, DJ	*Application of Six Sigma robust optimization in sheet metal forming*	2005	*International Conference and Workshop on Numerical Simulation of*	C		6		8	WOS e Scopus	

			3d Sheet Metal Forming Processes, Proceedings				
Luce, K; Trepanier, L; Ciochetto, F; Goldman, L	*Simulation and optimization as effective DFSS tools*	2005	*IEEE Winter Simulation Conference, Proceedings*	C	1	6	WOS e Scopus
Seifert, MJ	*The use of discrete event simulation in a Design for Six Sigma project*	2005	*IEEE Winter Simulation Conference, Proceedings*	C	1	1	WOS e Scopus
Rajagopalan, R; Francis, M; Suárez, W.	*Developing novel catalysts with six sigma*	2004	*Research Technology Management*	J	0.522	19	Scopus
Hoerl, R	*One perspective on the future of Six-Sigma*	2004	*International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*	J	0.14	48	Scopus
Liao, L; Talya, SS; Kolonay, RM	*A robust and secure system for performing engineering analysis and design in a distributed environment*	2004	*AIAA/ASME/ASCE/AHS/ ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Proceedings*	C	0.104	0	Scopus
Tzannetakis, N; Donders, S; Van Peer, JD; Weal, P	*A system approach to simulationbased design under uncertainty, through best in class simulation process integration and design optimization*	2004	*ASME Design Engineering Technical Conference, Proceedings*	C	0.107	0	Scopus
Woyak, S; Kim, H; Mullins, J; SobieszczanskiSobieski, J	*A web centric architecture for deploying multi-disciplinary engineering design processes*	2004	*AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, Proceedings*	C		0	Scopus
Hutcheson, RS; McAdams, DA; Donndelinger, JA; Stone, RB	*Applying functional modeling as a unifying basis for Design for Six Sigma execution*	2004	*ASME Design Engineering Technical Conference, Proceedings*	C	0.108	0	Scopus
Fioravanti, A; Kaminski, PC	*Design for six sigma (DFSS): A technical and economical analysis of its application in the Vehicle Development Process*	2004	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus
Lussier, E;	*Design for six sigma and phase*	2004	*IIE Annual Conference*	C		0	Scopus

Coleman, G	*gate integration case study*		*and Expo, Proceedings*				
Choudri, A	*Design for six sigma for aerospace applications*	2004	*AIAA Space Conference and Exposition, Proceedings*	C		0	Scopus
Aggour, KS; Barnett, JA; Bonissone, PP	*Designing quality into expert systems: A case study in automated insurance underwriting*	2004	*AAAI Sponsored Workshop, Proceedings*	C		0	Scopus
Shimoyama, K; Fujii, K; Kobayashi, H	*Development of realistic optimization method of TSTO spaceplane - Multi-objective and robust optimization*	2004	*AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, Proceedings*	C		0	Scopus
Hu, M; Pieprzak, JM; Glowa, J	*Essentials of design robustness in Design for Six Sigma (DFSS) methodology*	2004	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	2	Scopus
Nanda, A; Surisetty, G; Mohapatra, S; Ad, S; Shuler, S; Mooijman, F Method	*Method for designing and evaluating pedestrian protection energy absorbers for various car geometries*	2004	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C	0.337	0	Scopus Scopus
Feng, Q; Kapur, KC	*Optimization models for analysis and improvement phases of DFSS (Design for Six Sigma)*	2004	*IIE Annual Conference and Expo, Proceedings*	C		0	Scopus
Wasiloff, JM; ElHaik, B	*Practical application of DFSS with a focus on axiomatic design - A transmission planetary case study*	2004	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		0	Scopus
Ghosh, DK	*Robust design - An important tool for business success*	2004	*AIAA/ASME/ASCE/AHS/ ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Proceedings*	C		0	Scopus
Hu, M; Barth, B; Sears, R	*Six sigma disciplines in automotive applications*	2004	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C		1	Scopus
Hu, M; Barth, B; Sears, R;	*Six sigma disciplines utilizing design for six sigma strategy in*	2004	*SAE Technical Papers - World Congress and*	C		1	Scopus

Pieprzak, J	*automotive applications*		*Exhibition, Proceedings*							
Ryoo, K; Son, YK; Savage, GJ	*Probabilistic Robust Design of Multiple Response Systems For Functional Design For Six Sigma*	2004	*ISSAT International Conference on Reliability and Quality In Design, Proceedings*	C		0			WOS	
Koch, PN; Yang, RJ; Gu, L	*Design for six sigma through robust optimization*	2004	*Structural and Multidisciplinary Optimization*	J	2.208	85	1.603	126	WOS e Scopus	A2
Slocum, MS	*Computer aided comprehensive Design for Six Sigma (DFSS) and Axiomatic Design (AD): Computer aided performance excellence (CAPE)*	2004	*IFIP World Computer Congress, Proceedings*	C		0			WOS e Scopus	
Goldman, LI; Campbell, C	*Crystal ball® and design for six sigma*	2004	*IEEE Winter Simulation Conference, Proceedings*	C		1		2	WOS e Scopus	
Banuelas, R; Tennant, C; Tursley, I	*From Six Sigma to Design for Six Sigma*	2004	*International Conference on Quality, Reliability and Maintenance, Proceedings*	C		0		0	WOS e Scopus	
Graves, BA	*Breakthrough in Total Closed Loop Recycling*	2003	*Products Finishing*	J			0.1	0	Scopus	
Mader, DP	*DFSS and your current design process*	2003	*Quality Process*	J	0.146		0.135	10	Scopus	
Bañuelas, R; Antony, J	*Going from six sigma to design for six sigma: An exploratory study using analytic hierarchy process*	2003	*TQM Magazine*	J				68	Scopus	
Stamatis, DDH	*Design for Six Sigma (DFSS) and reliability*	2003	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Mahajan, SK; Surella, MM; Single, TC	*Designing Six Sigma quality into a RWD IRS driveline system for improved vehicle-level NVH performance*	2003	*SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition, Proceedings*	C				2	Scopus	
Kim, HS; Kim, CB; Yim, HJ	*Robust design for a brake judder of heavy duty trucks using design for six sigma*	2003	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Kim, HS; Kim,	*Quality improvement for brake*	2003	*International Journal of*	J	0.876	8	0.847	7		B3

CB; Yim, HJ	*judder using Design for Six Sigma with response surface method and sigma based robust design*		*Automotive Technology*						WOS e Scopus	
Antony, J; Coronado, RB	*Design for six sigma*	2002	*IEEE Manufacturing Engineer*	J				25	Scopus	
Johnson, A	*Six Sigma in R&D*	2002	*Research Technology Management*	J			0.522	21	Scopus	
Miller, RK; Haberkamp, WC; Badeau, KM; Liu, ZG; Shirk, RC; Wood, T	*Design, development and performance of a composite diesel particulate filter*	2002	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	1	Scopus	
Card, DN	*Managing software quality with defects*	2002	*IEEE Computer Software and Applications Conference, Proceedings*	C				4	Scopus	
Simons, N; Lindland, J	*The relationship between ISO 9001:2000 and design for six sigma (DFSS)*	2002	*SAE Technical Papers - World Congress and Exhibition, Proceedings*	C			0.337	0	Scopus	
Mortimer, D	*Achieving Robust Designs Through The Use of 'Design For Six Sigma'*	2002	*International Conference on Statistics and Analytical Methods In Automotive Engineering, Proceedings*	C		0			WOS	
Aksit, MF; Chupp, RE; Dinc, OS; Demiroglu, M	*Advanced seals for industrial turbine applications: Design approach and static seal development*	2002	*Journal of Propulsion and Power*	J	1.134	10	0.948	16	WOS e Scopus	A1
Treichler, D; Carmichael, R; Kusmanoff, A; Lewis, J; Berthiez, G	*Design for six sigma: 15 lessons learnedj*	2002	*Quality Progress*	J	0.146	18	0.135	50	WOS e Scopus	
Bongini, D; Citti, P; Mezzedim, V; Tognarelli, L	*New product monitoring in gas turbines*	2001	*Measurement and Control*	J	0.431		0.194	0	Scopus	
Chupp, RE; Aksit, MF; Ghasripoor,	*Advanced seals for industrial turbine applications*	2001	*Joint Propulsion Conference and Exhibit,*	C				0	Scopus	

F; Turnquist, NA; Demiroglu, M			*Proceedings*				
Buss, P; Ivey, N	*Dow chemical Design for Six Sigma rail delivery project*	2001	*IEEE Winter Simulation Conference, Proceedings*	C	7	8	WOS e Scopus
Eagan, P; Hussey, D	*A Case Study Application of Design For Six Sigma on Environmental Design Problems*	2000	*IEEE Electronics Goes Green, Proceedings*	C	0		WOS
Bongini, D; Citti, P; Mezzedimi, V; Tognarelli, L	*Gas Turbine Fuel System Robust Design*	2000	*International Conference on Quality, Reliability and Maintenance, Proceedings*	C	0		WOS
Bongini, D; Citti, P; Mezzedimi, V; Tognarelli, L	*New Product Introduction and Design For Six Sigma Processes Integration In Gas Turbine Design*	2000	*International Conference on Quality, Reliability and Maintenance, Proceedings*	C	0		WOS

APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS ACESSADOS NA INTEGRA

ID	Autores	Título	Abordagem de Pesquisa	Área	Roteiro	Tipo
1	Rajagopal, R; del Castillo, E	*A Bayesian approach for multiple criteria decision making with applications in Design for Six Sigma*	T	*Manufacturing industry*	N	n
2	Wang, HMS; Wang, SP; Lee, W	*A case study for reducing client waiting time in a health evaluation center using Design for Six Sigma*	CS	*Healthcare*	IDDOV, DMADV, DMADOV	QuI, CoS
3	Grove, D; Campean, F; Henshall, E	*A Course In Statistical Engineering*	T	*Automotive industry*	DCOV	N
4	Gremyr, I; Elg, M	*A developmental view on implementation of quality management concepts*	C	*Healthcare*	DMADV	QuI, CoS
5	Kovach, J; Cho, BR	*A D-optimal design approach to robust design under constraints: A new Design for Six Sigma tool*	C	*General Business*	N	QuI, CoS
6	Montgomery, DC	*A modern framework for achieving enterprise excellence*	L	*General Business*	DMADV	QuI
7	Ferreira, I; Cabral, JA; Saraiva, P; Oliveira, MC	*A multidisciplinary framework to support the design of injection mold tools*	CS	*Manufacturing industry*	IDOV	QuI
8	Al-Aomar, R	*A simulation-based DFSS for a lean service system*	T	*Healthcare*	IDOV	QuI, CoS
9	Neagu, R; Hoerl, R	*A Six Sigma approach to predicting corporate defaults*	CS	*Finance*	DMADV	CoS
10	Jou, YT; Chen, CH; Hwang, CH; Lin, WT; Huang, SJ	*A study on the improvements of new product development procedure performance-an application of Design for Six Sigma in a semi-conductor equipment manufacturer*	CS	*Manufacturing industry*	DMADV	QuI
11	Amer, Y; Luong, L; Ashraf, MA; Lee, SH	*A systems approach to order fulfilment*	T	*Logistics*	IDOV, IDDOV	QuI
12	Amer, Y; Ashraf, MA; Luong, L; Lee, SH; Wang, WYC	*A systems approach to order fulfilment using Design for Six Sigma methodology*	T	*Logistics*	IDOV, IDDOV	QuI
13	Suffian, MDM; Ibrahim, S	*Adopting Six Sigma in formulating a defect prediction model for system testing*	T	*General Business*	DMADV	QuI
14	Aksit, MF; Chupp, RE;	*Advanced seals for industrial turbine*	CS	*Manufacturing industry*	IDOV	QuI

	Dinc, OS; Demiroglu, M	*applications: Design approach and static seal development*				
15	Azis, Y; Osada, H	*An empirical study of new value creation in financial service companies using design for Six Sigma approach*	S	*Finance*	DMADV, DMEDI, DFACE, IDDOV	QuI
16	Chung, YC; Hsu, YW; Tsai, CH	*An Empirical Study on The Correlation Between Critical DFSS Success Factors, DFSS Implementation Activity Levels and Business Competitive Advantages In Taiwan's HighTech Manufacturers*	S	*Manufacturing industry*	IDOV	N
17	Yang, M; Gao, X; Liang, Y; Li, Y; Yu, T	*An innovative DFSS approach for multivariate production process*	C	*General Business*	IDOV	N
18	Ferryanto, L	*Analytical Design for Six Sigma for multiple response products*	T	*Manufacturing industry*	IDOV	QuI
19	Kalamdani, R; Khalaf, F	*Application of Design for Six Sigma to manufacturing process design at Ford PTO*	CS	*Manufacturing industry*	I2DOV, CDOV, IDDOV, DCOV, DMADV	N
20	Lin, CS; Chen, LF; Yu, HC	*Application of DFSS for ODM electronic product development - An empirical study of a wireless communication Company*	CS	*Manufacturing industry*	DMADV	QuI
21	Varshapetian, A; Semenova, WE	*Aspects of integration management methods*	L	*General Business*	ICOV	N
22	Kumar, S; Luthra, S; Govindan, K; Kumar, N; Haleem, A	*Barriers in green lean six sigma product development process: an ISM approach*	C	*Automotive industry*	N	N
23	Soković, M; Jovanović, J; Krivokapić, Z; Vujović, A	*Basic quality tools in continuous improvement process*	L	*General Business*	DMADV, IDOV	N
24	Qureshi, ZH; Ashraf, MA	*Bottom-up integration of quality in new product development using systems engineering*	C	*General Business*	IDOV, IDDOV	QuI
25	Graves, BA	*Breakthrough in Total Closed Loop Recycling*	CS	*Chemical process*	N	QuI, CoS
26	Yang, H	*Business process reengineering and functional design of information system based on DFSS: A case study of pharmaceutical wholesale enterprise*	T	*Pharmaceutical Industry*	N	N

27	Li, YQ; Cui, ZS; Ruan, XY; Zhang, DJ	*CAE-Based Six Sigma robust optimization for deep- drawing process of sheet metal*	T	*Manufacturing industry*	DMADOV	QuI
28	Amer, Y; Luong, L; Lee, SH	*Case study: Optimizing order fulfillment in a global retail supply chain*	T	*Logistics*	IDOV	QuI
29	Thomas, M; Singh, N	*Complexity reduction in product design and development using Design for Six Sigma*	T	*Automotive industry*	N	QuI, CoS
30	Yun, EK; Chun, KM	*Critical to quality in telemedicine service management: Application of DFSS (Design for Six Sigma) and SERVQUAL*	T	*Healthcare*	DMADV	QuI
31	Carvalho, MS; Magalhães, DS; Varela, ML; Sa, JO; Gonçalves, I	*Definition of a collaborative working model to the logistics area*	CS	*Logistics*	DMADV, IDOV, DIDES, IIDOV, CDOV, DCOV, IDEAS	QuI
32	Magalhães, DS; Carvalho, MS; Varela, ML	*Definition of a collaborative working model to the logistics area*	CS	*Logistics*	DMADV	QuI
33	Mettas, A	*Design for reliability: Overview of the process and applicable techniques*	C	*General Business*	N	N
34	Antony, J; Coronado, RB	*Design for six sigma*	L	*General Business*	IDOV	QuI, CoS, ReE
35	Shahin, A	*Design for Six Sigma (DFSS): Lessons learned from worldclass companies*	L	*General Business*	DMADV, IDOV, DCOV	QuI, CoS
36	Gremyr, I; Fouquet, JB	*Design for six sigma and lean product development*	S	*General Business*	DMADV, DMADOV, DCOV	CoS
37	Yang, K	*Design for Six Sigma and value creation*	L	*General Business*	IDOV, DMADV	QuI, CoS
38	Nicolaescu, S; Kifor, CV; Lobonţ, L	*Design for six sigma applied on software development projects from automotive industry*	CS	*Automotive industry*	DMADV, IDDOV, CDOV, RADIOV	QuI
39	Kaplan, S; Bisgaard, S; Truesdell, D; Zetterholm, S	*Design for Six Sigma in healthcare: developing an employee influenza vaccination process.*	CS	*Healthcare*	DMADV	CoS
40	Gerhorst, F; Grömping, U; Lloyd-Thomas, D; Khalaf, F	*Design for Six Sigma in product development at Ford Motor Company in a case study on robust exhaust manifold design*	CS	*Automotive industry*	DCOV	N
41	Baril, C; Yacout, S; Clement, B	*Design for Six Sigma through collaborative multiobjective optimization*	T	*Automotive industry*	IDOV	QuI

42	Koch, PN; Yang, RJ; Gu, L	*Design for six sigma through robust optimization*	T	*Automotive industry*	N	QuI
43	Kumar, S; Prajapati, DR; Satsangi, PS	*Design for Six Sigma to optimise the process parameters of a foundry*	CS	*Manufacturing industry*	N	N
44	Treichler, D; Carmichael, R; Kusmanoff, A; Lewis, J; Berthiez, G	*Design for six sigma: 15 lessons learned*	L	*General Business*	N	QuI, CoS, ReE
45	Watson, GH; DeYong, CF	*Design for six sigma: Caveat emptor*	L	*General Business*	DMADV, IDOV, ICOV, DMADOV DCCDI, DMEDI	N
46	Savage, GJ; Son, YK	*Design-for-six-sigma for multiple response systems*	T	*General Business*	N	QuI, CoS
47	Johnson, JA; Gitlow, H; Widener, S; Popovich, El	*Designing new housing at the University of Miami: A "Six Sigma"© DMADV/DFSS case study*	cs	*Construction*	DMADV	ReE, QuI
48	Lee, MC; Chang, T	*Developing a lean design for Six Sigma through supply chain methodology*	L	*Logistics*	DMADV, DMADOV, DCCDI, IDOV, DMEDI	ReE, CoS
49	Riley, BW; Kovach, JV; Carden, L	*Developing a policies and procedures manual for a consumer lending department: A Design for Six Sigma case study*	Cs	*Finance*	DMADV	QuI, ReE, CoS
50	Kuei, CH; Madu, CN; Lin, C	*Developing global supply chain quality management systems*	S	*Logistics*	N	QuI
51	Rajagopalan, R; Francis, M; Suárez, W	*Developing novel catalysts with six sigma*	Cs	*Chemical Process*	N	QuI, CoS
52	Shimoyama, K; Oyama, A; Fujii, K	*Development of multi-objective Six Sigma approach for robust design optimization*	T	*General Business*	N	QuI
53	Mader, DP	*DFSS and your current design process*	C	*General Business*	N	QuI, CoS
54	Erlandson, PW	*DFSS for shift quality using fullvehicle ADAMS model*	Cs	*Automotive industry*	DCOV	QuI
55	Potra, S; Pugna, A	*DFSS in marketing: Designing an innovative value co-creation campaign*	Cs	*Marketing*	DMEDI	QuI
56	Cronemyr, P	*DMAIC and DMADV - Differences, similarities and synergies*	L	*General Business*	DMADV, DMADOV, DMEDI, IDOV, DMAIC, DCOV	QuI, CoS

57	Li, Q; Savage, GJ; Son, YK	*Economic, robust and quality design of engineering systems using a hybrid six sigma-second moment approach*	T	*Manufacturing industry*	N	QuI, CoS
58	Hasenkamp, T	*Engineering Design for Six Sigma - A systematic approach*	C	*General Business*	N	QuI
59	Hu, M; Antony, J	*Enhancing design decisionmaking through development of proper transfer function in Design for Six Sigma framework*	C	*General Business*	IDOV	QuI
60	Gremyr, I	*Exploring Design for Six Sigma from the viewpoint of Robust Design Methodology*	C	*Manufacturing industry*	IDOV, IDDOV, DMADV	QuI
61	Bañuelas, R; Antony, J	*Going from six sigma to design for six sigma: An exploratory study using analytic hierarchy process*	L	*General Business*	DMADV	QuI, CoS
62	Park, S; Gil, Y	*How Samsung Transformed Its Corporate RandD Center*	C	*Research and Development*	N	QuI
63	Pyle, MJ; Liker, JK	*Imitation in large complex organizations: A case of design for six sigma in the automobile industry*	Cs	*Automotive industry*	N	CoS
64	Surange, VG	*Implementation of Six Sigma to Reduce Cost of Quality: A Case Study of Automobile Sector*	Cs	*Automotive industry*	DMADV	QuI
65	Ericsson, E; Gingnell, L; Lilliesköld, J	*Implementing Design for Six Sigma in large Swedish product developing organisations – an interview study*	S	*Manufacturing industry*	IDDOV, DMADV, DCOV	QuI
66	Aggogeri, F; Mazzola, M; O'Kane, J	*Implementing DFSS to increase the performance level of an extrusion process*	Cs	*Manufacturing industry*	DMADV	QuI
67	Lin, WT; Wang, ST; Hwang, CH; Li, MH; Cheng, YH	*Improved process performance in new product development of optical communications manufacturing by the integration of DFSS and ANP*	Cs	*Manufacturing industry*	DMADV	QuI
68	Ray, S; Das, P	*Improving efficiency and effectiveness of APQP process by using DFSS tools*	C	*General Business*	DMADV	QuI, CoS
69	Mitchell, EM; Kovach, JV	*Improving supply chain information sharing using Design for Six Sigma*	Cs	*Logistics*	DMADV	N
70	Cheng, YL; Wee, HM; Chen, PS; Kuo, YY; Chen, GJ	*Innovative reservoir sediments reuse and design for sustainability of the hydroelectric power plants*	Cs	*Power Industry*	DMADV	QuI

71	Yeung, SMC	*Integrate DLDDC into DFSS for reducing variations in programme delivery*	T	*Teaching*	N	QuI
72	Hasenkamp, T; Olme, A	*Introducing design for six sigma at SKF*	C	*Manufacturing industry*	IDDOV, ICOV, DCOV	QuI
73	Hassan, MF; Keat, MK; Yunos, MZ; Adzila, S; Arifin, AMT; Rahman, MNA; Haq, RHA	*Investigation of existing laptop computer towards sustainable development using design for six sigma and design for disassembly*	Cs	*Hardware development*	DMADV	QuI
74	Kannengiesser, U; Gero, JS	*Is designing independent of domain? Comparing models of engineering, software and service design*	C	*General Business*	ICOV, DMADV, IDDOV	N
75	Alvarez, JC	*Lean design for Six Sigma: An integrated approach to achieving product reliability and low-cost manufacturing*	T	*Manufacturing industry*	IDOV	QuI, CoS
76	Kovach, JV; Fredendall, LD	*Learning During Design for Six Sigma Projects-A Preliminary Investigation in Behavioral Healthcare*	Cs	*Teaching*	DMADV	QuI, ReE
77	Azis, Y; Osada, H	*Managing innovation using design for six sigma (DFSS) approach in healthcare service organizations*	C	*Healthcare*	DMADV, DFACE, IDDOV, DMEDI	QuI
78	Sun, ZH; Ranek, M; Voight, M; Steyer, G	*Manufacturing Tolerances and Axle System NVH Performance*	CS	*Manufacturing industry*	N	N
79	Sarkar, A; Mukhopadhyay, AR; Ghosh, SK	*Measurement system analysis for implementing design for Six Sigma*	T	*General Business*	DMADV, IDOV, I2DOV, CDOV	N
80	Cudney, E; Kanigolla, D	*Measuring the impact of projectbased learning in Six Sigma education*	S	*Teaching*	DMADV	QuI
81	Koziołek, S; Derlukiewicz, D	*Method of assessing the quality of the design process of construction equipment with the use of DFSS (Design for Six Sigma)*	CS	*Manufacturing industry*	ICOV	QuI
82	Lei, G; Liu, C; Jafari, M; Zhu, J; Guo, Y	*Multilevel Robust Design Optimization of a Superconducting Magnetic Energy Storage Based on a Benchmark Study*	CS	*Power Industry*	N	N
83	Bongini, D; Citti, P; Mezzedim, V; Tognarelli, L	*New product monitoring in gas turbines*	CS	*Manufacturing industry*	IDOV	QuI

84	Hoerl, R	*One perspective on the future of Six-Sigma*	L	*General Business*	DMADV, DMADOV	QuI
85	Nagalingam, SV; Kuik, SS; Amer, Y	*Performance measurement of product returns with recovery for sustainable manufacturing*	CS	*Logistics*	IDOV	CoS
86	Echeveste, ME; Rozenfeld, H; Sonego, M	*Potential application of Six Sigma tool in the integrated product development process*	S	*Manufacturing industry*	I2DOV, CDOV, DMADV	QuI
87	Savage, GJ	*Probability constrained optimization as a tool for functional design for six sigma*	T	*General Business*	DCOV	CoS
88	Goh, TN; Lam, SW	*Problem-based learning approach to application of statistical experimentation*	T	*Automotive industry*	DCOV	N
89	Tchidi, MF; He, Z; Li, YB	*Process and quality improvement using Six Sigma in construction industry*	Cs	*Construction*	DCOV	QuI
90	Jahanzaib, M; Athar Masood, S; Jamil, U; Akhtar, K	*Product design variables optimization using Design for Six Sigma (DFSS) approach*	C	*Manufacturing industry*	DCOV	QuI, CoS
91	Rusiński, E; KozioŁek, S; Jamroziak, K	*Quality assurance method for the design and manufacturing process of armoured vehicles [Metoda zapewnienia jakości procesu projektowokonstrukcyjnego pojazdów opancerzonych]*	C	*Arms industry*	N	ReE, QuI
92	Kim, HS; Kim, CB; Yim, HJ	*Quality improvement for brake judder using Design for Six Sigma with response surface method and sigma based robust design*	Cs	*Automotive industry*	DMAIC	QuI
93	de Mast, J; Diepstraten, G; Does, RJMM	*Quality quandaries: Design for Six Sigma: Method and application*	C	*General Business*	DIDOV, DMADV	QuI
94	Mandahawi, N; Al-Shihabi, S; Abdallah, AA; Alfarah, YM	*Reducing waiting time at an emergency department using design for Six Sigma and discrete event simulation*	Cs	*Healthcare*	DMADV	QuI, CoS
95	Chung, YC; Hsu, YW	*Research on the correlation between design for Six Sigma implementation activity levels, new product development strategies and new product development performance in Taiwan's high-tech manufacturers*	S	*Manufacturing industry*	IDOV	N
96	Lucas, AG; Primus, K; Kovach, JV;	*Rethinking behavioral health processes by using design for six sigma*	s	*Healthcare*	DMADV	QuI

	Fredendall, LD					
97	Lee, SW; Kwon, OJ	*Robust airfoil shape optimization using Design for Six Sigma*	cs	*Aircraft industry*	N	QuI
98	Jugulum, R; Kamarthi, S; Zeid, I; Samuel, P	*Robust design of a radiofrequency identification system using Design for Six Sigma approach*	cs	*Manufacturing industry*	DMADV	QuI
99	Meng, X; Wang, S; Qiu, J; Zhang, Q; Zhu, JG; Guo, Y; Liu, D	*Robust multilevel optimization of PMSM using Design for Six Sigma*	t	*Manufacturing industry*	DMADV	QuI
100	Liu, X; Wang, S; Qiu, J; Zhu, JG; Guo, Y; Lin, ZW	*Robust optimization in HTS cable based on Design for Six Sigma*	cs	*Manufacturing industry*	N	QuI
101	Chang, CM; Su, CT	*Service process design and/or redesign by fusing the powers of Design for Six Sigma and Lean*	cs	*Software development*	DMADV, DMADOV, IDOV, ICOV, DMEDI, DCCDI	QuI
102	Patterson, A; Bonissone, P; Pavese, M	*Six Sigma applied throughout the lifecycle of an automated decision system*	cs	*Automation*	IEBD	QuI
103	Goh, TN	*Six Sigma in industry: Some observations after twenty-five years*	L	*General Business*	N	N
104	Johnson, A	*Six Sigma in R&D*	C	*General Business*	N	QuI
105	Manikandan, G; Kannan, SM; Jayabalan, V	*Six Sigma inspired sampling plan design to minimise sample size for inspection*	T	*General Business*	PIDOV	QuI
106	Goh, TN	*Six triumphs and six tragedies of six sigma*	L	*General Business*	N	QuI, CoS
107	Kovach, J; Cho, BR	*Solving multiresponse optimization problems using quality function-based robust design*	T	*Manufacturing industry*	N	QuI, CoS, ReE
108	Smith, LR; Phadke, MS	*Some thoughts about problem solving in a DMAIC framework*	C	*Manufacturing industry*	N	QuI, CoS
109	Ferryanto, L	*Structuring a design for Six Sigma project: Paper helicopter robust and optimal design*	CS	*Teaching*	DCOV	N
110	Lei, G; Wang, T; Zhu, J; Guo, Y; Wang, S	*System-Level Design Optimization Method for Electrical Drive Systems - Robust Approach*	M	*Manufacturing industry*	N	QuI

111	He, Y; Tangb, X; Changa, W	*Technical decomposition approach of critical to quality characteristics for Product Design for Six Sigma*	M	*Automotive industry*	IDOV	QuI
112	Kovach, J; Stringfellow, P; Turner, J; Cho, BR	*The house of competitiveness: The marriage of agile manufacturing, design for six sigma, and lean manufacturing with quality considerations*	M	*General Business*	IADDME	QuI
113	Chakravorty, SS; Franza, RM	*The implementation of Design for Six Sigma: A development experience*	M	*Manufacturing industry*	IDOV, DMADV	N
114	Yang, K; Cai, X	*The integration of DFSS, lean product development and lean knowledge management*	L	*Manufacturing industry*	IDOV, DMADV	QuI, ReE
115	Gremyr, I; Gustavsson, S; Gideberg, A	*The medication process - A design for Six Sigma Project*	CS	*Healthcare*	DMADV	QuI
116	Rafique, SMSBM	*The use of Design for Six Sigma (DFSS) methodology in product design*	CS	*Manufacturing industry*	DMADV	QuI
117	Grant, D; Mergen, AE	*Towards The Use of Six Sigma In Software Development*	T	*Software development*	DMADV	QuI
118	Awad, MI; Ewing, A; Sedlak, G; Yi, T; Shanshal, Y	*Track roller and idler design improvement using DFS*	CS	*Manufacturing industry*	DCOV	QuI, CoS
119	Awad, MI; Ewing, A; Sedlak, G; Yi, T; Shanshal, Y	*Using axiomatic design to improve conceptual design robustness in Design for Six Sigma (DFSS) methodol*	T	*Manufacturing industry*	I2DOV, CDOV, IDDOV, DCOV, DMADV	QuI
120	Wang, FK; Yeh, CT; Chu, TP	*Using the design for Six Sigma approach with TRIZ for new product development*	CS	*Manufacturing industry*	IDDOV, IDOV, DMADV	QuI, ReE

APENDICE C – DFSS: ANÁLISE QUANTITATIVA

As publicações a respeito de *DFSS* surgiram nas bases de dados *WOS* e *Scopus* a partir dos anos 2000. O gráfico abaixo mostra uma visão geral dos artigos publicados em revistas e conferências a cada ano.

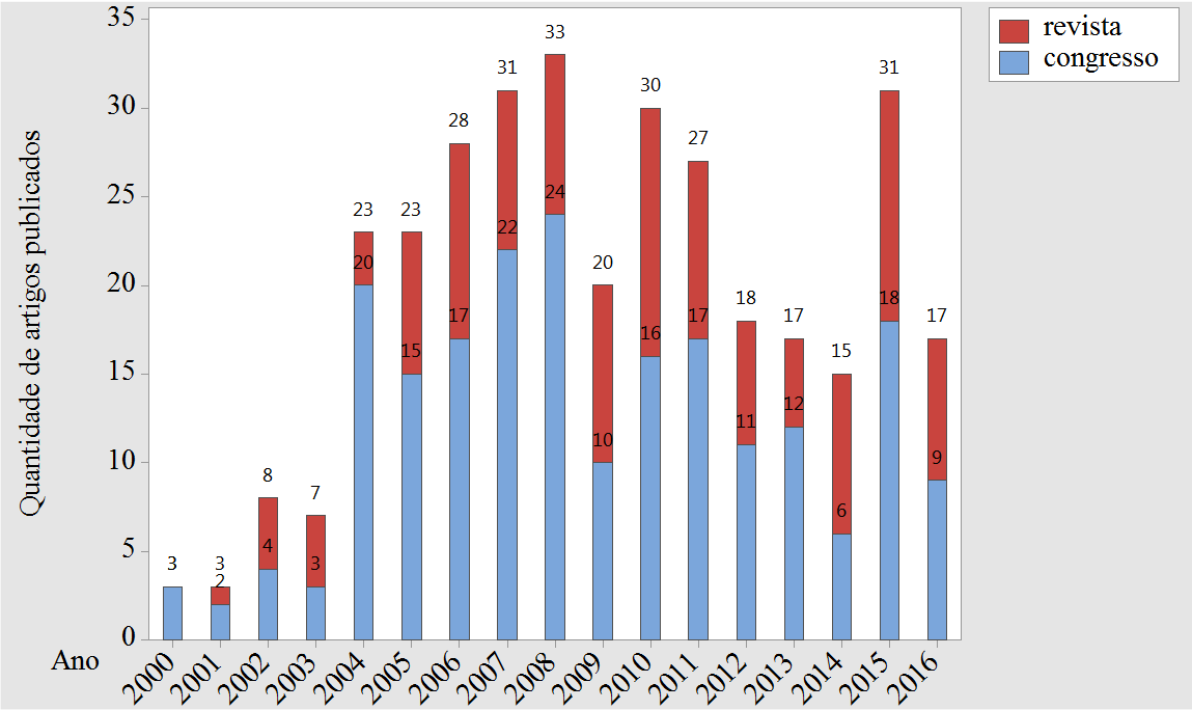


Gráfico C1- Número de artigos publicados em revistas ou congressos em cada ano

Os valores mostrados na parte superior das barras mostram a quantidade de artigos publicados a cada ano, os valores inferiores mostram quantos destes artigos foram publicados em congressos. A quantidade de artigos publicados em revista pode ser calculada pela subtração dos valores. Dentre os 125 artigos sobre DFSS publicados em revistas, 120 foram acessados integralmente e classificados com relação à abordagem utilizada na pesquisa. O gráfico abaixo mostra o resultado dessa classificação.

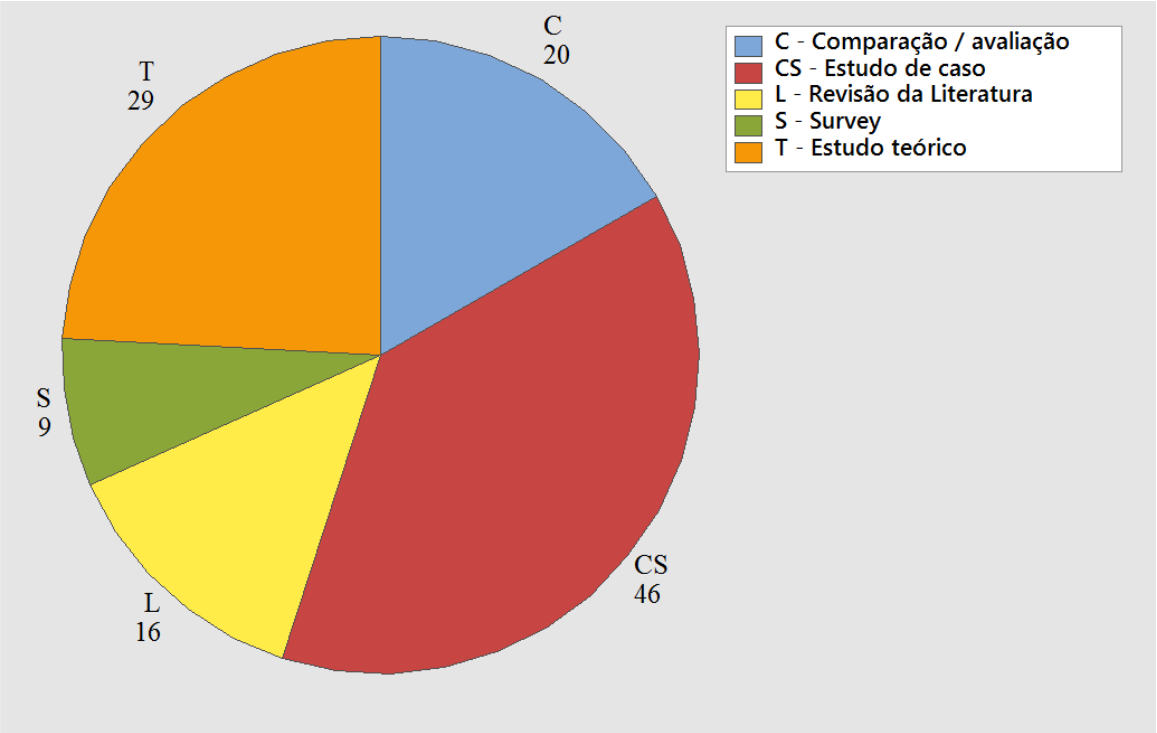


Gráfico C2 - Classificação dos artigos quanto à abordagem da pesquisa

O DFSS tem sido aplicado com sucesso em diversas áreas tais como finanças, saúde, educação, revenda e construção (AZIS e OSADA, 2011). O gráfico abaixo mostra as áreas de implementação do DFSS nos 120 artigos analisados em detalhes.

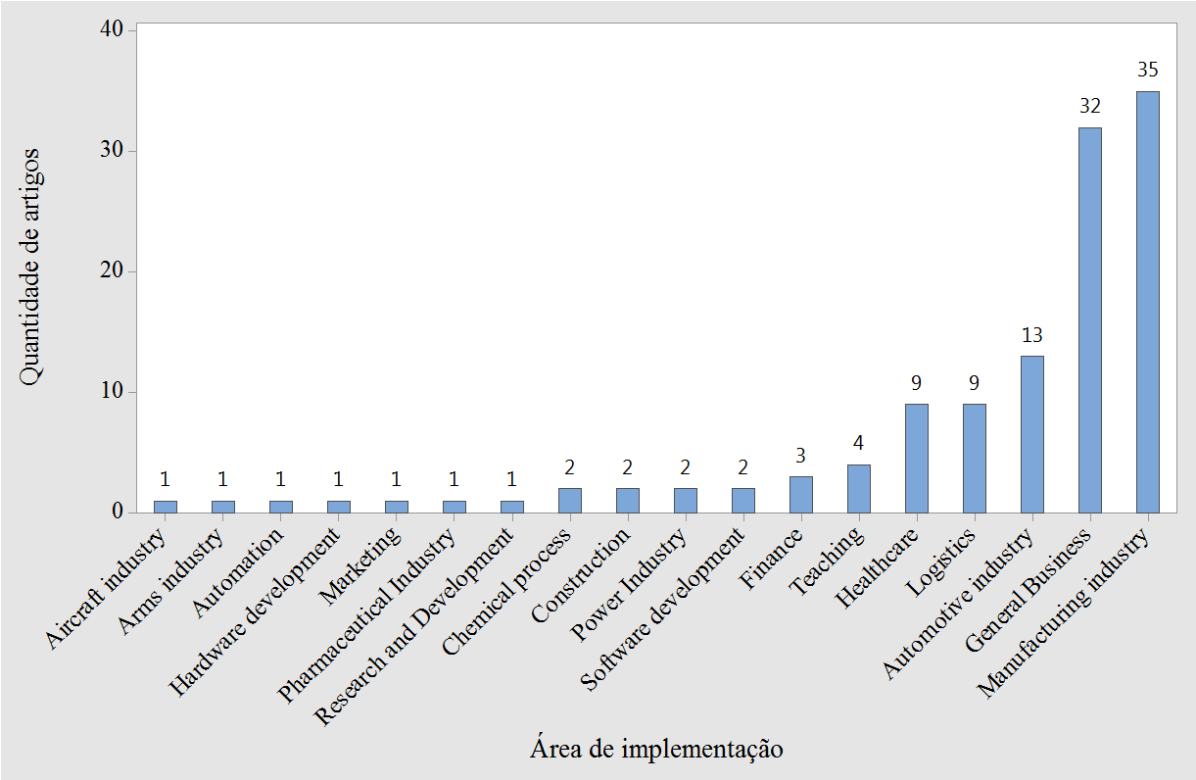


Gráfico C1 - Áreas de implementação do DFSS descritas na literatura

Hariharan (2013) classifica os projetos SS em três tipos: melhoria da qualidade (do inglês, *quality improvement*), redução de custos (do inglês, *cost of savings*), ou aumento do lucro (do inglês, *revenue enhancement*). Kovach e Cho (2008) afirmam que o objetivo atual do DFSS é aumentar o lucro de uma organização a partir do desenvolvimento de um planejamento superior para o produto.

Alguns dos artigos citaram no texto o nome das empresas onde as iniciativas DFSS foram ou têm sido implementadas, confirmando toda essa diversidade de áreas de atuação apontadas na literatura, são elas:

- AGCO – Equipamentos agrícolas (ECHEVESTE et al., 2016);
- Allied Signal (AMER et al., 2010a; AMER et al., 2010b; LEE e CHANG, 2010; CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009; AMER et al., 2007);
- American Express® (AZIS e OSADA, 2011);
- Bank of America (AZIS e OSADA, 2011);
- Bosch Group (CARVALHO et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2015);
- Caterpillar Financial Services Corporation (AZIS e OSADA, 2011);
- Chang Gung Medical Center (WANG et al., 2014);
- Cooley Dickinson Hospital (KAPLAN et al., 2009);
- Delphi Automotive (WANG et al., 2014; CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009; CHUNG et al., 2008; SHAHIN, 2008);
- Dow Chemical (CHUNG et al., 2008; SHAHIN, 2008);
- Ford Motor Company (CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009; SHAHIN, 2008; FERRYANTO, 2007; ERLANDSON, 2006; GERHORST et al., 2006; KALAMDANI e KHALAF, 2006; HU e PIEPRZAK, 2005);
- General Electric (GE) (GREMYR et al., 2012; MENG et al., 2011; AMER et al., 2010a; AMER et al., 2010b; LEE e CHANG, 2010 CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009; GRANT e MERGEN, 2009; CHUNG et al., 2008; LIU et al., 2008; SHAHIN, 2008; AMER et al., 2007; CRONEMYR, 2007; PATTERSON et al., 2005; HOERL, 2004; AKSIT et al., 2002; ANTONY e CORONADO, 2002; TREICHLER et al., 2002);
- GE Financial Services (AZIS e OSADA, 2011);
- GE Healthcare (AZIS e OSADA, 2013);
- General Motors (PYLE e LIKER, 2014; CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009);

- Heartland Health (AZIS e OSADA, 2013);
- Honeywell (AMER et al., 2010a; AMER et al., 2010b; LEE e CHANG, 2010; AMER et al., 2007; GRAVES, 2003);
- Mark & Spencer Money (AZIS e OSADA, 2011);
- Motorola (AMER et al., 2010a; AMER et al., 2010b; LEE e CHANG, 2010; HAHIN, 2008; AMER et al., 2007; GREMYR, 2005);
- NCR Corporation (CHUNG et al., 2008; SHAHIN, 2008);
- Nuovo Pignone (BONGINI et al., 2001);
- Pendleton Group (TREICHLER et al., 2002);
- Quest Diagnostics (AZIS e OSADA, 2013);
- Raytheon (QURESHI e ASHRAF, 2011; CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009);
- Samsung (YANG e CAI, 2009; PARK e GIL, 2006);
- Samsung SDI (SHAHIN, 2008);
- Seagate (AMER et al., 2010a; AMER et al., 2010b; LEE e CHANG, 2010; AMER et al., 2007);
- Sharp Healthcare (AZIS e OSADA, 2013);
- Siemens (CRONEMYR, 2007);
- SKF (HASENKAMP e ÖLME, 2008);
- Tenneco (CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009);
- The University of Miami (JOHNSON et al., 2006);
- Virtua Health (AZIS e OSADA, 2013);
- WABCO Freios Brasil (ECHEVESTE et al., 2016);
- W.R. Grace (CHUNG e HSU, 2010; CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009; CHUNG et al., 2008; SHAHIN, 2008).

Os 120 artigos sobre *DFSS* acessados integralmente foram também classificados tendo por base essa classificação dos tipos de projetos SS. Dos 120 artigos, a maioria (59) considera os projetos DFSS como projetos para melhoria da qualidade (QuI) do produto, processo ou serviço. Os outros artigos foram classificados como aumento do lucro (ReE), redução de custos (CoS), ou ainda de uma combinação dos três tipos e quando não citado o objetivo foi classificado com (n), conforme mostra o gráfico 4.

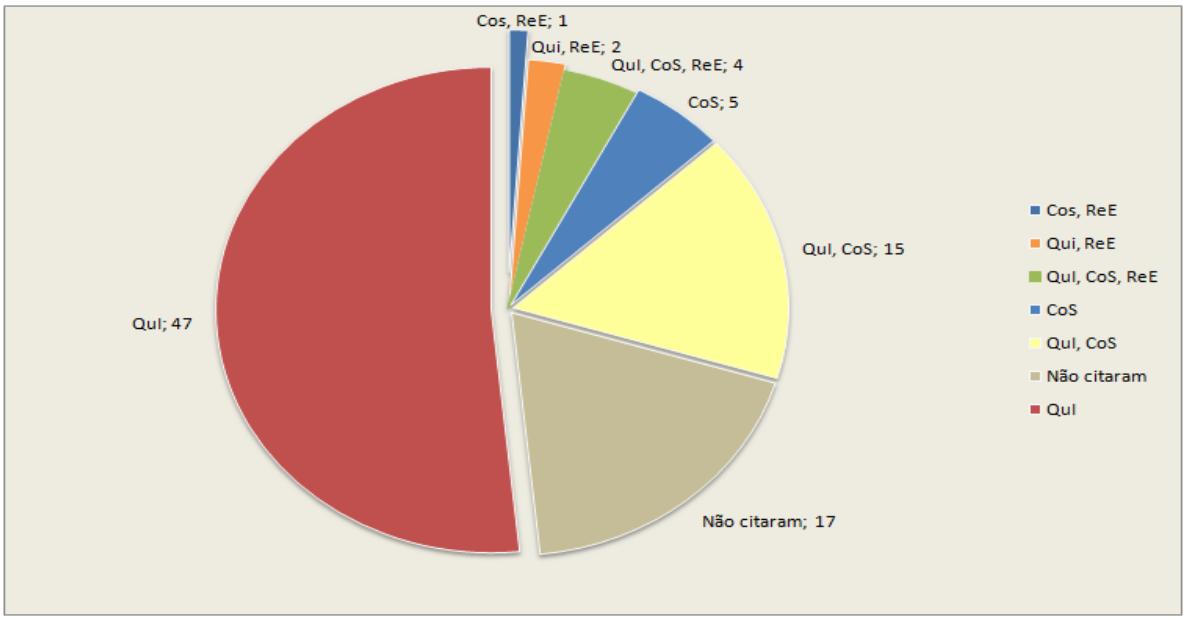


Gráfico C2 - Classificação do objetivo do projeto *DFSS*

Na revisão da literatura realizada para este trabalho, diferentes roteiros foram descritos, citados ou seguidos nas implementações e, ainda, nenhum padrão foi encontrado. Houveram 52 menções ao DMADV, mas dado a enorme variedade de roteiros, e a quantidade de artigos que sequer citou um roteiro dado por "n" (31 artigos), é válido afirmar que não existe um roteiro padrão. O gráfico A5 apresenta estes roteiros.

Apesar das organizações considerarem o *DFSS* como uma ferramenta poderosa, elas não conseguem encontrar um método padrão e muitas vezes necessitam de uma empresa de consultoria a qual faz uma revisão dos produtos e processos e então recomendam o roteiro mais adequado. Outras empresas que tem um forte entusiasmo de desenvolver e aplicar a sua própria metodologia *DFSS* faz *"benchmark"* com outras organizações e criam seus próprios roteiros os quais são desdobrados internamente (SODERBORG, 2010).

Watson e DeYong (2010) discutiram em seu trabalho a variedade de roteiros *DFSS* implementados nos últimos 10 anos e concluíram que não havia consenso sobre um padrão a ser adotado. Enquanto SS é amplamente conhecido pelo acrônimo *DMAIC* (do inglês, *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, *Control*), o *DFSS* não tem um roteiro, uma metodologia, uma abordagem ou um acrônimo padrão bem definido a ser seguido (AZIS e OSADA, 2013; HASENKAMP, 2010; SHAHIN, 2008; GREMYR, 2005; KOVACH et al., 2005; MADER, 2003; ANTONY e CORONADO, 2002).

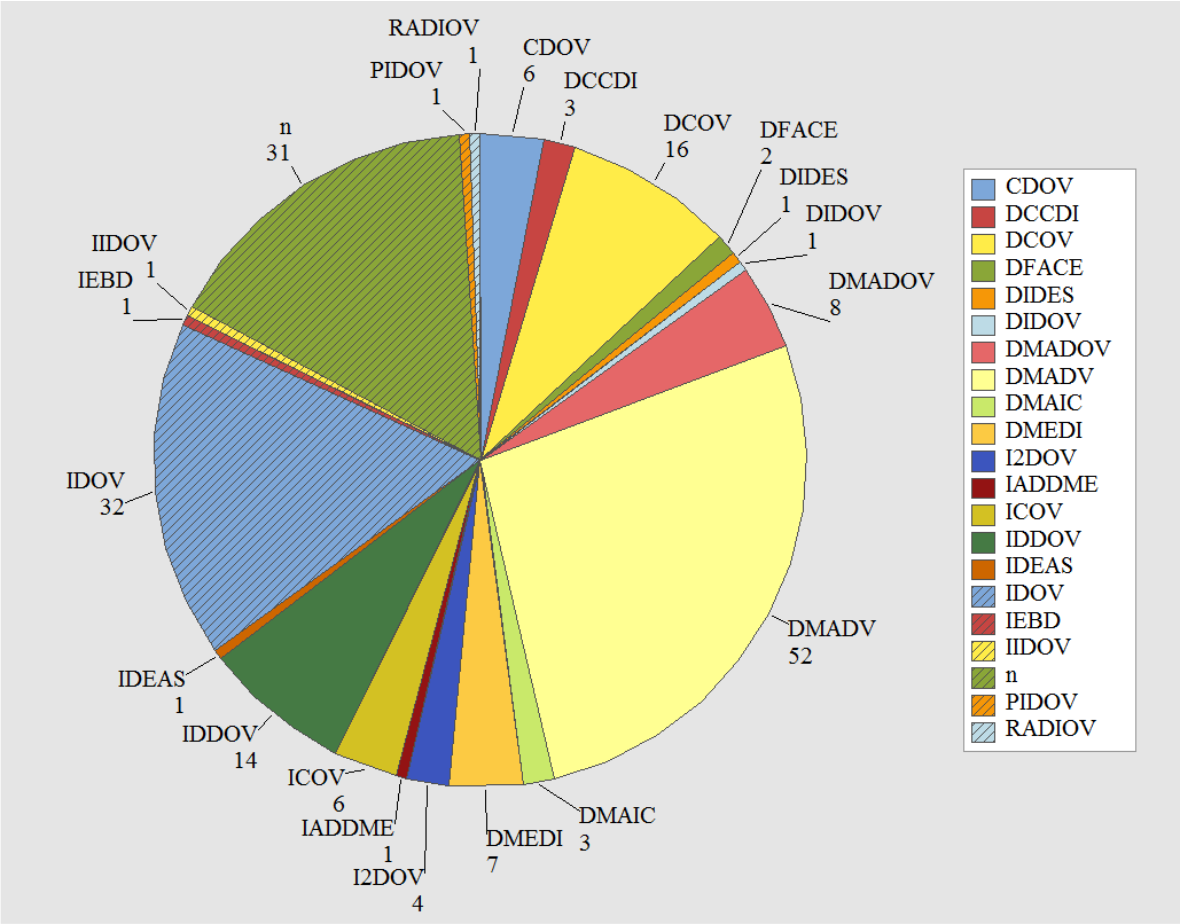


Gráfico C3 - Roteiros citados nos artigos

O DFSS apresenta uma grande quantidade de roteiros, sendo os principais:

- DMADV: *define, measure, analyze, design, verify;*
- IDOV: *identify, design, optimize, validate;*
- DCOV: *define, characterize, optimize, verify;*
- IDDOV: *identify, define, develop, optimize, verify;*
- DMADOV: *define, measure, analyze, design, optimize, verify;*
- DMEDI: *define, measure, explore, design, implement;*
- CDOV: *concept, design, optimize, verify;*
- ICOV: *identify, characterize, optimize, verify;*
- I2DOV: *invention and innovation, develop, optimize, verify;*

Esta diversidade acontece, pois, cada organização cria ou adota o roteiro DFSS que tem maior alinhamento com seu processo de desenvolvimento de produtos e ambiente organizacional. Além disso, compartilham das mesmas estratégias e ferramentas para promover um objetivo comum: criar uma cultura de desenvolvimento de produtos orientada pelos dados (SHAHIN, 2008).

Apesar desta diversidade, todos os roteiros existentes podem ser resumidos como integrações sistemáticas de ferramentas, métodos, processos e membros da equipe voltados para o desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos (AZIS e OSADA, 2011). Uma das principais contribuições do método é oferecer uma abordagem estruturada, um passo a passo para o desenvolvimento, tornando-o mais processual e trazendo assim um aumento da disciplina, foco e melhora na comunicação (AZIS e OSADA, 2013; RAFIQUE, 2013; NEAGU e HOERL, 2005)

APENDICE D – ROTEIRO DFSS UTILIZADO PELA EMPRESA ESTUDADA

Esta secção do trabalho apresenta em detalhes o roteiro DFSS utilizado pela empresa estudada. O roteiro é um algoritmo que utiliza ferramentas para o correto desdobramento das necessidades dos clientes, especificação, definição e otimização do produto, apresenta um balanço adequado entre a disciplina e ambiente criativo para o desenvolvimento, objetivando auxiliar o processo de forma simples e com grande agregação de valor. De acordo com Azis e Osada (2013), um roteiro claro e sistemático para o DFSS ajuda a superar as dificuldades na implementação e isso diminui a percepção errada e a resistência, ao mesmo tempo em que aumenta a eficácia da comunicação entre os membros da equipe. O roteiro utilizado na empresa estudada possui as seguintes fases:

- I (Identificar);
- D (Definir);
- D (Desenvolver);
- O (Otimizar);
- V (Verificar).

Apesar da diferença nos nomes das abordagens que as organizações têm adotado, estas compartilham das mesmas estratégias e ferramentas para promover um objetivo comum: criar uma cultura de desenvolvimento de produtos orientada pelos dados (SHAHIN 2008).

O roteiro utilizado possui dois objetivos principais, o primeiro é selecionar o conceito correto, o qual atende as necessidades dos clientes, o segundo é garantir que o conceito selecionado seja desenvolvido da forma correta. A Figura 3 apresenta o roteiro escolhido e suas etapas.

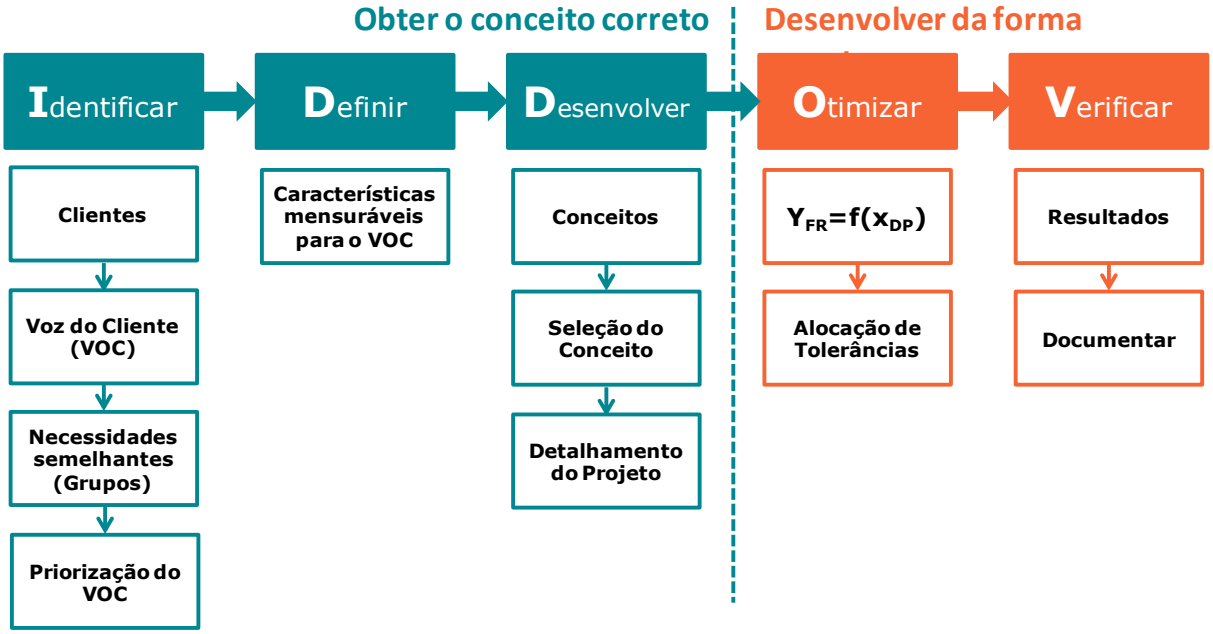


Figura D1 - Roteiro simplificado para DFSS

O roteiro faz uso de etapas e momentos de verificação das entregas. Uma "etapa" representa um conjunto de atividades de projeto e usualmente tem como fronteira os "pontos de verificação".

A seguir será detalhada cada uma destas etapas.

Etapa identificar

O objetivo desta fase é identificar e priorizar as necessidades dos clientes externos e internos e procurar promover o correto entendimento dos desejos e necessidades para guiar o adequadamente o time do projeto durante o processo de desenvolvimento. O entendimento das reais necessidades ajuda o time a desenvolver soluções mais adequadas ao problema, reduz o número de modificações tardias e retrabalhos, aumentando assim as chances de sucesso do projeto. A fase de identificar pode ser subdividida em quatro etapas:

- Identificas os clientes;
- Identificar a voz do cliente;
- Identificar grupos de afinidade;
- Priorizar as necessidades.

Identificar os clientes

Clientes são todos os envolvidos diretamente ou indiretamente no uso, manutenção, transporte, fabricação e projeto do produto, os quais a diferentes perspectivas podem ajudar no entendimento das necessidades. Estes diversos pontos de vistas devem ser "ouvidos" para

garantir um entendimento global das necessidades relacionadas ao produto, sem pontos de vistas enviesados por uma única área.

Deve-se garantir uma boa representatividade de clientes externos internos e do negócio com um todo. A escolha dos clientes externos para serem ouvidos, deve ser de clientes existentes e novos. O envolvimento dos clientes externos ajuda no entendimento de quais são as principais características que agregam valor ao produto. Como clientes internos podem-se citar áreas como as envolvidas com o processo de projeto, fabricação, montagem e transporte do produto. Elas ajudam a entender requisitos específicos e restrições dos processos internos. Muito destes conhecimentos são acumulados pela experiência ao longo dos anos e são essenciais para a criação de produtos vencedores.

A identificação das necessidades do negócio, trazidas principalmente pelas áreas de planejamento estratégico e marketing ajuda no entendimento de como o novo produto se alinha às realidades do mercado e oferece um valor superior quando comparado com a concorrência. Outras fontes de identificação de necessidades são os produtos dos competidores, tendências de mercado, leis e regulamentações. Enfim, existe uma grande quantidade de clientes que podem ser envolvidos, o importante é identificar os principais e organizar uma lista para o levantamento de informações. O quadro abaixo mostra um exemplo para organizar os clientes que serão envolvidos no processo de desenvolvimento.

Quadro D1 - Identificação dos clientes

Projeto: Nome do Projeto	
Cliente	**Responsável**
Cliente A	Resp. A
Cliente B	Resp. B
...	...
Cliente n	Resp. n

Identificar a voz do cliente (VOC)

O levantamento das necessidades dos clientes, chamado também de Voz do Cliente (*VOC*) pode ser realizado por meio de observações de uso em campo, imersão no cliente, pesquisas de satisfação, questionários, análise dos competidores, projeções, análise de tendências, pesquisas acadêmica, estudos especializados, normas e entrevistas presenciais. Independentemente do método utilizado, o objetivo é capturar os desejos e necessidades dos clientes. Por sua praticidade e como forma de mostrar ao cliente o seu envolvimento, as

entrevistas são bastante utilizadas. Elas podem ser realizadas individualmente ou em grupos de pessoas que representam a área que se tem interesse em melhor conhecer as necessidades.

Uma característica comum ao *VOC* obtido por entrevistas é que geralmente este não é objetivo, direto e claro. Geralmente o cliente se expressa de forma difusa, vaga e ambígua nem sempre conseguido deixar claro o que necessita. Muitas vezes ao invés de esclarecer a necessidade, indicam uma solução para o problema, isto acontece, pois conseguem falar mais facilmente sobre "coisas" e características que já viram. Cabe ao responsável pela entrevista procurar interpretar qual a real necessidade que está por traz da solução oferecida e reconhecer a diferença entre o significado "literal" e o "pretendido". O *VOC* pode ser expresso num espectro que vai desde uma especificação limitada onde a solução e produto já estão definidos até outra onde o cliente consegue deixar claro suas necessidades e deixa a solução a cargo do responsável pelo desenvolvimento. O importante é conseguir capturar qual a real necessidade para que se possa escolher a solução mais adequada.

As necessidades dos clientes (*VOCs*) podem ser organizadas utilizando-se uma um modelo igual ao apresentado pelo quadro abaixo.

Quadro D2 – VOC (Voz do Cliente)

Projeto: Câmara sucção alta eficiência	
Cliente	**Necessidade**
Cliente 1	$VOC_{1.1}$
	$VOC_{1.2}$
	:
	$VOC_{1.p}$
...	
Cliente n	$VOC_{n.1}$
	$VOC_{n.2}$
	:
	$VOC_{n.p}$

Identificar grupos de necessidades semelhantes: Afinidades

Muitas vezes uma mesma necessidade poder aparecer com formas diferentes de escrita de *VOC*, por isto *VOCs* que têm a mesma necessidade raiz, podem ser organizados num mesmo grupo. Para isto pode-se fazer uso do diagrama de afinidades, que é uma ferramenta que reúne uma grande quantidade de dados verbais obtidos nas entrevistas numa forma organizada em grupos que possuem um relacionamento natural, que traduzem a mesma necessidade.

Cada um dos *VOC*s é discutido para entender qual a real necessidade e organizados em grupos de afinidade, nos quais é dado um nome que descreva claramente a necessidade, função a ser cumprida. Deve-se procurar pelo significado e intenção por trás das declarações

dos clientes, tomando o cuidado de separar as necessidades, requisitos de solução. Estas devem ser utilizadas para posterior geração de conceitos.

A atividade de criação de grupos afins deve ser realizada em grupo para reduzir o risco de agrupamentos incorretos e para garantir o alinhamento de entendimento do time. É recomendável validar com os clientes os grupos que foram criados, para verificar se não ouve distorção das necessidades inicialmente solicitadas. A formação de grupos com necessidades distintas ajuda no entendimento das necessidades, permitindo assim dar foco nas áreas importantes para o desenvolvimento. O quadro abaixo apresenta um modelo pra o grupo de afinidades.

Quadro D3 - Diagrama de afinidades

Grupo de afinidade 1:
VOC 1
VOC 6
Grupo de afinidade 2:
VOC 2
VOC 4
VOC5
..
...
...
Grupo de afinidade n:
VOC n1
VOC n2

Priorizar o *VOC*

Um dos fatores importantes do *DFSS* é o foco em características importantes do desenvolvimento. Devem-se gastar recursos do time de projeto em itens que sejam novos, únicos, difíceis e que tenham grande valorização pelo cliente. Características, que já foram validadas em versões anteriores do produto ou que já tem grande domínio de como executar não são o alvo de escolha para utilização do DFSS. Porém características que são novas e difíceis de serem executadas devem receber o foco da atenção e é onde as ferramentas do DFSS podem trazer maior ajuda.

Para ajudar a priorização o roteiro faz uso da classificação segundo o modelo do professor Noriaki Kano, onde cada grupo de VOC pode ser classificado em uma das três das seguintes categorias de características:

- Características Básicas também chamadas de fatores de “insatisfação”. Estas geralmente não são especificadas pelos clientes, uma vez que eles assumem que naturalmente elas estarão presentes. Fazem parte da qualidade esperada, se presentes causam satisfação nem insatisfação do cliente, porém se ausentes deixam-no extremamente insatisfeitos;

- Características de Desempenho também conhecidas como fatores de “satisfação”. Elas são especificadas pelo cliente, geralmente possuem um comportamento linear de quanto maior melhor, ou quanto menor melhor. Quando existentes deixam o cliente satisfeito e quando ausentes deixam-no insatisfeito. Representam a qualidade unidirecional;
- Características Surpreendentes, chamados de fatores de “encantamento”. Estas não são requisitadas em geral são desconhecidas pelo cliente. Quando presentes deixam o cliente extremamente satisfeito, quando ausentes não são percebidas.

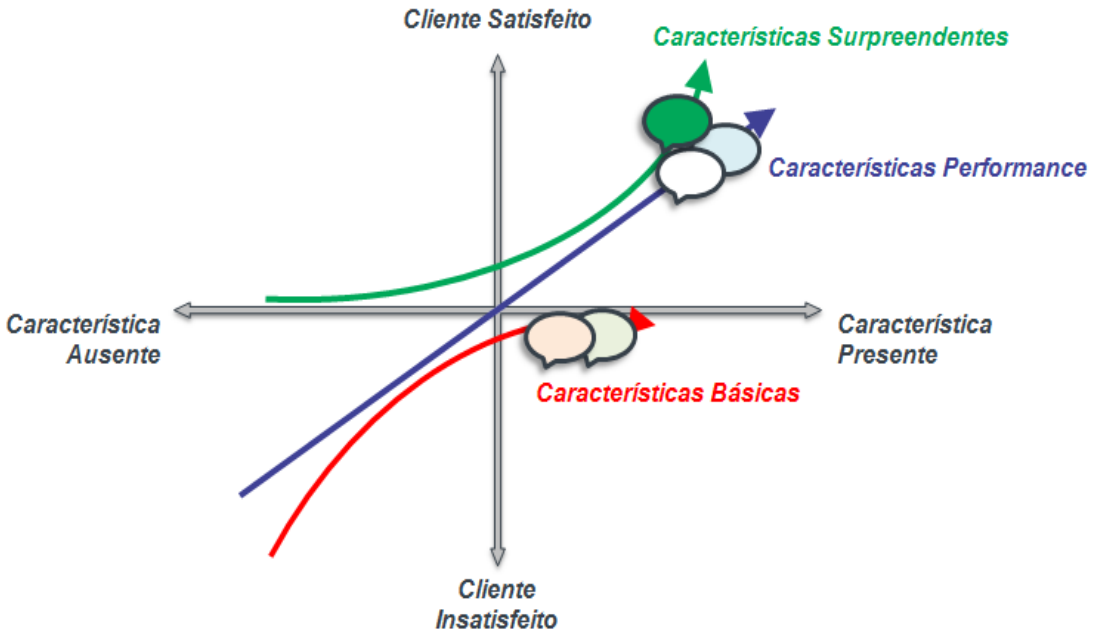


Figura D2- Modelo de Kano

Os grupos de VOCs afins podem ser classificados utilizando o modelo sugerido pelo quadro D3.

Quadro D3 - Classificação das características (Kano)

Modelo de Kano – Classificação das Características		
Básicas	**Desempenho**	**Surpreendentes**

Após esta primeira classificação pode-se realizar uma priorização dos itens para que se conheça o peso que será dado para cada uma das características. No intuito de dar foco ao desenvolvimento apenas às características de desempenho serão classificadas. Entende-se que as características básicas já são dominadas e utilizadas anteriormente e as que o foco para as surpreendentes será dado após o atendimento das características básicas e de desempenho.

Uma das maneiras mais simples de criar uma priorização é através da comparação aos pares, onde cada grupo de afinidade é comparado um ao outro e no final é realizada uma contagem da frequência de cada grupo. O quadro D4 mostra um exemplo de comparação aos pares.

Quadro D4 - Comparação ao pares

Comparação aos pares		**G1: Grupo de afinidades de VOCs 1**	**:**	**G_n: Grupo de afinidades de VOCs n**
		A	:	C
G1: Grupo de afinidades de VOCs 1	A			
:	:			
G_n: Grupo de afinidades de VOCs n	C			
		A	:	C

VOC	**Peso**	**%**
G1: Grupo de afinidades de VOCs 1		X,X %
:		:
G_n: Grupo de afinidades de VOCs n		Z,Z %

Etapa Definir

O objetivo desta fase é traduzir as necessidades dos clientes (*VOC*) que muitas vezes podem ser subjetivas, em características objetivas e mensuráveis chamadas de requisitos funcionais (RFs), que ajudam a direcionar o desenvolvimento do produto verificando e medindo constantemente se o que foi pedido pelo cliente está sendo atendido. Tornar o pedido subjetivo (*VOC*) em objetivo (RF) não é uma tarefa muito simples, a seguir são apresentados alguns métodos para ajudar nesta tradução. Esta fase pode ser subdividida em duas etapas principais: Análise Funcional e definir relação entre *VOC*s e RFs (casa da qualidade 1).

Análise funcional

A análise funcional é uma etapa muito importante do método e ajuda a transformar o *VOC* em característica objetivas e mensuráveis e para maior compreensão das necessidades, funções e soluções oferecidas pelo produto, à elaboração de um mapa de domínios ajuda na organização. A análise funcional cria quais são os RFs do projeto, ou seja, cria o domínio funcional, baseando-se na etapa anterior que coletou, interpretou e compilou as necessidades dos clientes. A figura D2 apresenta os domínios existentes durante o desenvolvimento como segue abaixo:

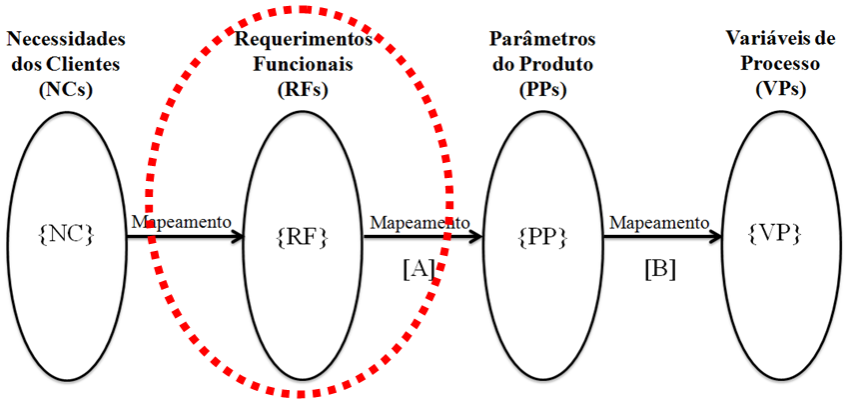


Figura D2 - Domínios do desenvolvimento

Durante a etapa de definição dos RFs, não se deve ter definida nenhuma solução de produto, estas serão desenvolvidas na próxima etapa. Os RFs neste momento devem ser neutros de qualquer solução de produto e a análise funcional é uma abordagem proativa que procura desdobrar de forma objetiva o VOC e estabelecer uma relação de causa-efeito. Existem várias maneiras de se elaborar uma análise funcional. A figura D3 abaixo mostra um exemplo de análise funcional de um saca-rolha.

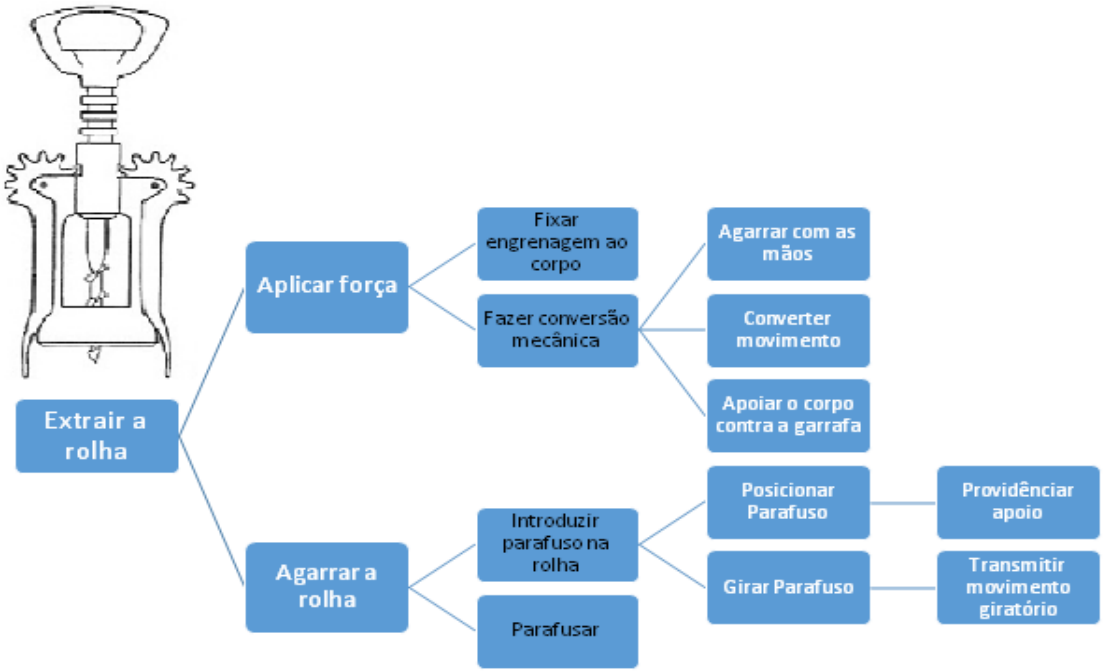


Figura D3 - Análise funcional saca-rolha

Relação entre a voz do cliente (*VOC*) e requisitos funcionais (RFs).

O objetivo desta etapa é relacionar o *VOC* com os RFs. Isto pode ser realizado utilizando-se a matriz conhecida como Casa da Qualidade 1 do método de Desdobramento da Função Qualidade, mais conhecido pelo acrônimo inglês *QFD (Quality Functional Deployment*). O *QFD* foi proposto inicialmente no Japão nos anos 1960 e foi introduzido nos Estados Unidos, apenas na década de 80 e 90. Desde então este método vem sendo amplamente utilizado em todo o mundo e a proposta deste trabalho foi adaptá-lo às exigências de projetos baseados em *DFSS*, que é um método para garantir um projeto de produto de qualidade, ajudando no processo de desdobramento das necessidades dos clientes para dentro do processo de desenvolvimento.

Existem diversos modelos para implementação do *QFD* e o modelo das quatro fases que, segundo Kovach e Cho (2008), é o mais simples e provavelmente o mais conhecido. O modelo foi proposto pela *American Supplier Institute (ASI*) e está ilustrado na Figura 7.

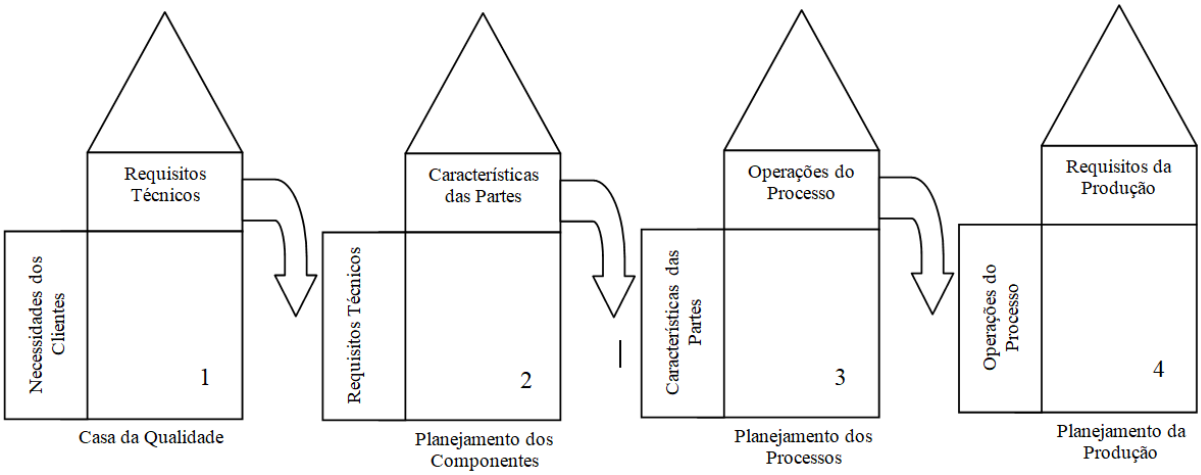


Figura D4- Modelo das quatro fases para o QFD

Fonte: Adaptado de Kovach e Cho (2008), Chan e Wu (2002)

A primeira matriz do *QFD* corresponde ao planejamento do produto e recebe o nome de Casa da Qualidade 1, também conhecida pelo acrônimo inglês *HoQ1* (*House of Quality 1*).

Inicialmente realiza-se uma análise qualitativa do relacionamento entre os *VOC*s e RFs onde: (9) representa um relacionamento forte, (3) médio e (1) fraco. O Quadro D5 mostra um exemplo da matriz da casa da qualidade 1.

Quadro D5 - Casa da Qualidade 1

Relacionamento: 9 = Forte 3 = Médio 1 = Fraco 0 = Nenhum **Voz do Cliente (VOCs)**		**Requisitos Funcionais (RFs)**				
	Importância (%)	RF1:	RF2:	..	..	RFn:
VOC 1	0,33					
:	:					
VOC n	0,33					
	Peso Relativo	**6%**	**%**	**6%**	**2%**	**2%**
	Unidade de medida					

Quanto maior for a relação entre o RF e o *VOC*s, maior será seu peso relativo, evidenciando assim sua importância. Estes pesos serão utilizados nos processos de seleção de

conceitos e otimização. Segundo Pugh (1991) o entendimento e tradução dos requisitos são muito importantes no processo de desenvolvimento de produtos. Porém projetos grandes e complexos podem ter um grande número de RFs tornando o gerenciamento difícil por isto é importante sempre priorizar. Preferencialmente deve-se utilizar o *QFD* para desdobrar requisitos que sejam novos, únicos e difíceis de serem atendidos.

Etapa Desenvolver

A fase desenvolver tem como objetivo gerar e selecionar conceitos que atendam as necessidades dos clientes. Os RFs definidos na fase anterior serão utilizados para guiar a geração dos conceitos, na fase divergente e também como critérios para a seleção do conceito na fase convergente. A fase Desenvolver pode ser sub-dividida em duas etapas principais: Gerar conceitos e Selecionar conceitos.

Desenvolver conceitos

Uma ferramenta que traz grande auxílio na fase de geração e principalmente na fase de seleção de conceitos é a matriz de conceitos, também chamada de matriz Pugh em homenagem ao seu idealizador Dr. Stuart Pugh (1991), que criou o método de convergência controlada como processo de seleção de conceitos. A convergência controlada é um processo interativo de seleção de soluções que permite alternar pensamentos convergentes e divergentes, ou seja, o método alterna-se entre atividades de geração e seleção de conceitos (EL-HAIK, B., e K. YANG, 1999).

A matriz permite a avaliação de conceitos contra os RFs e outros critérios selecionados pelo time de projeto. Ela fornece estrutura e controle para o processo de análise, geração e avaliação de soluções. Os conceitos são dispostos nas colunas da matriz, de forma visual com desenhos, rascunhos e explicações enquanto os RFs são dispostos nas linhas. A figura D6 mostra o exemplo de uma matriz Pugh utilizada para a seleção de conceitos de projetores.

PUGH MATRIX						
Requirementos Funcionais		**Referência**	**Conceito 1**	**Conceito 2**	**Conceito 4**	**Conceito 5**
Prover imagem com brilho	*0,18*					
Tamanho da imagem ajustável	*0,18*					
Minimizar Peso	*0,15*					
Minimizar Distorção	*0,15*					
Minimizar Tamanho (C x L x A)	*0,14*					
Ajuste Rápido	*0,11*					
Maximizar Confiabilidade	*0,09*					
Semelhante (S)			*0*	*0*	*0*	*0*
Positivos (+)			*0*	*0*	*0*	*0*
Negativos (-)			*0*	*0*	*0*	*0*
Pontuação Final (Considerando os pesos)			*0,0000*	*0,0000*	*0,0000*	*0,0000*

Figura D6 – Matriz Pugh

A matriz Pugh ajuda explicar porque o conceito mais adequado as necessidades do cliente são selecionadas e por que certas soluções não são adequadas e devem ser descartadas. Os conceitos devem ser detalhados com clareza suficiente para assegurar a consistência de entendimento de todos os membros da equipe. Todos os conceitos devem ser apresentados com o mesmo nível de detalhes. As alternativas devem ser nomeadas e numeradas para uma rápida referência. Depois que as linhas com os RFs são organizadas, requisitos estes que são da fase anterior do roteiro DFSS, diferentes conceitos alternativos são gerados.

Os conceitos representam a tradução física das funções definidas no domínio funcional. Alternativas são geradas pelas atividades de análise e síntese. Síntese neste contexto significa selecionar uma estrutura viável onde a função é fisicamente mapeada em diferentes conceitos. Técnicas úteis no processo de geração e síntese de ideias incluem: Analogia, *brainstorming*, combinação e evolução.

Selecionar conceito

O método de convergência controlada faz a comparação de cada solução alternativa contra os dados do conceito referência. A avaliação de uma única solução sem esta ser comparada critérios (RFs) e a uma referência (conceito conhecido) é um processo mais subjetivo do que objetivo. Portanto o método desencoraja a promoção de ideias baseadas apenas em opiniões promovendo assim uma maior objetividade.

O método de convergência previne características adversas e elimina conceitos ruins, facilitando assim o surgimento de novos conceitos. Isto faz com que a melhor solução seja aquela que melhor atende as restrições e requisitos do cliente, que estão em definidas em forma de especificações. Nesta etapa o time de projeto realiza a convergência do melhor

conceito em passos iterativos. A seguinte sequência pode ser utilizada para facilitar a convergência para o conceito correto:

- Listar nas linhas da matriz Pugh os RFs e restrições que vieram da fase anterior. Estes critérios devem ser mensuráveis e definidos com um entendimento comum a todos os membros do time;
- Listar os conceitos gerados nas colunas da matriz;
- Escolher um conceito referência contra o qual todos os outros conceitos serão comparados. Avaliar os conceitos contra os critérios (RFs e restrições), utilizando um sistema um sistema tradicional de avaliação de mais (+) e menos (-);
- Comparar cada conceito contra a referência para cada um dos critérios, pontuando com (+) quando o conceito alternativo é melhor que a referência para dado critério, (-) quando o conceito é pior que a referência e (0) quando é igual;
- Após a pontuação de todos os critérios, pode-se criar a classificação final multiplicando cada pontuação pelo peso do critério, realizando a soma de produtos da matriz. Estas pontuações não devem ser tratadas como absolutas, mas como um guia. Alguns conceitos irão exibir pontos fortes, vantagens enquanto outros irão demonstrar deficiências;
- Selecionar o conceito ou conceitos que apresentaram maior pontuação, para que possam ser detalhados e continuar no processo de seleção.

Detalhar o conceito selecionado.

Após a seleção do conceito, um rápido detalhamento por meio de desenhos e esboços ajuda a ter um melhor entendimento do conceito selecionado e das relações causa-efeito dos RFs e parâmetros do produto (PPs), para que se possa fazer uma adequada análise de riscos e também extrair o máximo potencial do conceito para o atendimento das necessidades dos clientes.

Nesta etapa faz-se o uso da casa 2 do *QFD*, onde os RFs são organizados nas linhas enquanto cada PP é o organizado nas colunas. A estrutura provê meios de rastrear a cadeia de efeitos para modificações do projeto uma vez que estas se propagam através do produto e o processo inicia-se com o desdobramento dos principais RFs. A matriz possibilita a identificação de deficiências de acoplamento que trazem vulnerabilidades ao projeto, conforme salientado pelo método de projeto axiomático (EL-HAIK, B., e K. YANG, 1999).

Analisar os riscos do conceito selecionado

Uma atividade importante no desenvolvimento de produtos e processos é a análise de potenciais riscos do que pode dar errado. A ideia é identificar antecipadamente potenciais riscos de falha para que se possam tomar medidas preventivas e deixar o produto livre de tais problemas. Para isto o roteiro DFSS faz uso de um método de análise de falhas amplamente conhecido, o *FMEA* (*Failure Mode and Effect Analysis*) análise do efeito e modo de falha, que pode ser descrito como um conjunto de ações que tem a intenção de:

- Reconhecer e avaliar potenciais falhas do produto e seus efeitos;
- Identificar ações as quais podem eliminar ou reduzir a chance de potenciais falhas ocorrerem;
- Documentar o processo.

O *FMEA* ajuda o time a melhorar o projeto de produto e processos perguntando "O que pode dar errado?" e "De onde vem a variação?". Produto e processos são revisados para prevenir a ocorrência de falhas e reduzir a variação. O time de projeto deve estudar e entender completamente a estrutura física do produto e etapas do processo. Este estudo deve incluir experiências com garantia de campo, funções do produto, desenhos, especificações e etapas do processo. O time deve modificar produto e processos para prevenir que as falhas ocorram, para isto deve ter estratégias de desenvolvimento para lidar com diferentes situações de re-projeto do processo para redução de variação, e mecanismos a prova de falhas no produto e processos. Os esforços para antecipação dos modos de falha e fontes de variação são iterativos. Estas ações continuam à medida que o time se empenha para novas melhorias no produto e processos.

O uso de *FMEA* deve ser iniciado logo na fase de conceitos para analisar os sistemas e subsistemas nos estágios iniciais de conceito e projeto. O foco é nos potenciais modos de falhas associados como as funções do sistema causados pelo projeto. O FMEA de produto, mais conhecido pelo acrônimo inglês *DFMEA (Design FMEA*) é utilizado par analisar o produto antes que ele seja liberado para a produção. No roteiro *DFSS*, o *DFMEA* sempre dever completado antes da construção do protótipo. O ponto inicial do *DMEA* são os requisitos funcionais, como saída do processo tem-se uma lista das ações para prevenir as causas ou detectar os modos de falhas e um histórico das ações tomadas e atividades futuras.

O *FMEA* de processos, conhecido como *PFMEA (Process FMEA*) é utilizado para analisar os processos de manufatura, montagem ou outros processos. O *FMEA* é um processo iterativo que promove uma abordagem de sistema e engenharia simultânea. As falhas mais proeminentes são relacionadas aos RFs. Uma vez que os componentes, subsistemas e sistemas

possuem seus próprios RFs, o desenvolvimento do *FMEA* deve ser realizado em conjunto com o detalhamento da estrutura. O uso do FMEA pode ser facilmente conectado ao uso do *QFD* especialmente as casas da qualidade 2 e 3, que detalham produto e processos respectivamente.

Etapa Otimizar

O objetivo da etapa de otimização é minimizar a variação da função transferência por meio da exposição das funções do produto à fontes representativas de variação, os fatores de ruído. A função transferência em forma de modelo matemático ou analítico é desenvolvida para a predição da combinação ótima dos parâmetros de produto e/ou variáveis de processo para o atendimento das metas definidas. Esta atividade possibilita a avaliação simultânea de vários parâmetros de produto e variáveis de processo.

A otimização pode ser realizada analiticamente ou empiricamente. Em ambos os casos envolve uma forma sistemática de antecipação de fontes de fatores de ruído para o produto e processo. Esta abordagem tem como objetivo tirar proveito das vantagens de custo e qualidade, que existem por prevenir problemas durante os estágios iniciais do desenvolvimento de produto e processos. Existem diversos métodos e algoritmos de otimização, sendo uma área de conhecimento com uma vasta bibliografia e contínuas publicações. Os projetos desenvolvidos na empresa estudada utilizam diferentes métodos de otimização, porem os mais utilizados são o planejamento de experimentos mais conhecido pelo acrônimo inglês de DOE (Design of Experiments) e o método de superfície de resposta, mas conhecido pelo acrônimo inglês *RSM (Response Surface Methodology*).

O principal objetivo do *DOE* é encontrar a relação causa-efeito entre os fatores de entrada e saída de determinado processo. A figura 9 abaixo ilustra um diagrama de processo típico de uma análise de *DOE*. Em qualquer estudo de *DOE*, deliberadamente são realizadas modificações nos fatores de entrada e observa-se o seu efeito nas variáveis de saída. Os dados obtidos no experimento serão utilizados para cria modelos relacionando a saída (y) com os fatores do experimento (x_s). Matematicamente o que está se tentando encontrar é o seguinte relacionamento funcional:

$$\boldsymbol{y = f(x_1, x_2, \dots, x_{n1}) + \varepsilon}$$

Onde ε é o erro experimental ou variação experimental. A existência de ε significa que talvez não exista um relacionamento funcional exato entre y e ($x_1, x_2,\dots, x_n$). Isto ocorre, pois: (1) Fatores não controlados ($x_1, x_2,\dots, x_n$) irão influenciar a resposta y, mas não foram levados

em conta na equação 3.x; (2) Existem erros experimentais e de medição tanto em *y* como em ($x_1, x_2,..., x_n$) no experimento

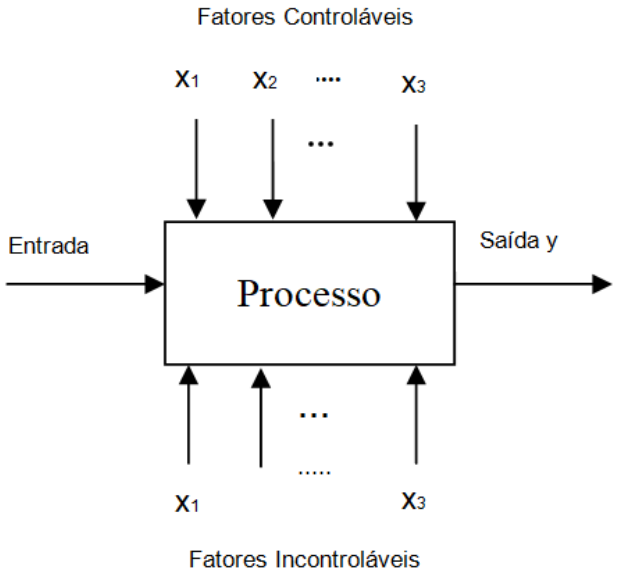


Figura D7 - Mapa de Processo

Um estudo *DOE* possui os seguintes passos para sua realização:

- Passo 1 – Definição do projeto: Nesta etapa procura-se identificar qual o objetivo e escopo do projeto;
- Passo 2 – Seleção das variáveis de resposta (y): Nesta etapa é necessário selecionar a(s) variável (eis) de resposta *y*. Idealmente a resposta deve ser uma variável mensurável contínua, o que deixa a análise muito mais fácil e significativa. Também deve ser uma variável fácil de medir;
- Passo 3 – Escolha dos fatores e níveis: Na verdade os passos 2 e 3 podem ser realizados simultaneamente. É desejável identificar todos os fatores importantes que podem trazer influência significativa à variável de resposta.

  Existem duas categorias de fatores os contínuos e os discretos. Cada fator tem no mínimo dois níveis que são alterados em cada rodada experimental. Se não existe possibilidade de variar o fator de nível, ele deixa de ser uma variável e passa a ser um fator fixo no experimento.

  O número de possíveis ajustes dos fatores é chamado de níveis. Para fatores contínuos a amplitude da faixa que o fator será ajustado (níveis) é muito importante. Se a faixa é muito pequena, pode se perder muitas informações úteis, porém se a faixa é muito grande, valores extremos podem tornar algumas rodadas experimentais inviáveis.

Para fatores discretos o número de níveis geralmente é igual ao número de possibilidade de escolhas. A escolha do número de níveis dos fatores também depende de considerações de tempo e custos.

Quanto mais níveis os fatores do experimento possuem mais informações serão extraídas do experimento, mas isto exigirá mais rodadas experimentais, levando a um maior custo e tempo para a conclusão do experimento;

- Passo 4 – Seleção do projeto experimental: O tipo de projeto experimental que será selecionado dependerá do número de fatores, número de níveis dos fatores e o número total de experimentos que podem ser realizados de forma financeiramente viável.

  A maioria dos experimentos industriais envolve dois ou mais fatores. Nestes casos uma categoria de projeto experimental bastante utilizado são os projetos fatoriais. Estes podem ser completos quando todas as combinações são realizadas ou fracionadas quando apenas parte das combinações é realizada. O número de experimento é dado por 2^n, onde n é o número de fatores;
- Passo 5 – Realização do experimento: Durante a execução do experimento alguns cuidados devem ser tomados para garantir a confiança na análise, os principais são:
  - Verificar o desempenho dos instrumentos de medição;
  - Verificar se todas as combinações experimentais podem ser executadas;
  - Evitar modificações não planejadas, isto pode trazer ruídos ao experimento;
  - Anotar tudo o que acontece durante o experimento, isto pode ajudar a explicar alguns dados durante a análise;
  - Preservar todos os dados do experimento;
  - Observar alterações bruscas do processo durante o experimento.
- Passo 6 – Análise dos dados: Para a análise são utilizados métodos estatísticos. Pela análise dos dados experimentais é possível obter os seguintes resultados:
  - Identificação dos efeitos e interações significativas e não significativas:

  Por meio do uso da análise de variância é possível identificar quais são os fatores significantes e insignificantes, pois nem todos os fatores têm o mesmo efeito no resultado. Quando um fator tem o nível alterado se o seu impacto na resposta é relativamente pequeno quando comparado com a variação inerente ao experimento devido aos fatores incontroláveis ou erros experimentais, então este fator pode ser insignificante. Por outro lado, quando o fator tem um grande impacto na resposta, este pode ser considerado como um fator significante. Algumas vezes dois ou mais fatores podem interagir.

Nestes casos o efeito na resposta pode ser complexo de ser analisado. Existem ainda situações onde nenhum dos fatores experimentais aparece como significativo, nestes casos o experimento é inconclusivo.

Estas situações podem indicar que fatores importantes para o processo, fenômeno ficaram de fora do experimento;

- Classificação da importância relativa do efeito dos fatores e interações. A análise de variância (*ANOVA*) ajuda a identificar a importância relativa de cada fator por meio de uma pontuação numérica;
- Modelo matemático empírico da resposta versus os fatores. Uma das principais contribuições do *DOE* dentro do roteiro DFSS é que ele ajuda a prover um modelo matemático relacionando a resposta (y) com os fatores experimentais (xs). O modelo matemático pode ser linear ou polinomial mais as interações. A análise dos dados do *DOE* podem ainda fornecer gráficos das relações entre fatores experimentais e resposta, na forma de gráficos dos efeitos principais e interações.
- Identificação do melhor ajuste de nível dos fatores para o desempenho ótimo da(s) resposta(s). Por meio do uso do modelo matemático que relaciona resposta (y) com os fatores (xs), é possível identificar o melhor ajuste dos fatores experimentais que irão atingir o melhor resultado possível para a resposta;

- Passo 7 – Conclusões e recomendações: Uma vez que a análise dos dados é concluída, é possível se obter conclusões práticas sobre o projeto. Se a análise dos dados fornecerem informações suficientes é possível recomendar algumas alterações no processo para a melhoria de seu desempenho. Algumas vezes a análise dos dados não consegue fornecer informação suficiente. Neste caso é necessária a realização de mais experimentos. Após o termino das análises é necessário verificar se as conclusões são válidas, estes são chamados experimentos de confirmação.

  A interpretação e conclusões do experimento podem incluir o ajuste ótimo dos fatores para atender as metas de resultados. Mesmo que o ajuste ótimo esteja dentro do planejamento experimental e já tenha sido executado, é recomendado realizar novamente o experimento para se ter a confirmação de que nada mudou e que os resultados estão próximos dos valores previstos.

  Na verdade, devem-se realizar mais do que um teste para a verificação do ajuste ótimo, um mínimo de três testes deve ser realizado. Se os experimentos de

confirmação não produzirem os resultados esperados então é necessário: (1) verificar se alguma coisa mudou desde a coleta de dados inicial; (2) verificar se foram realizados os ajustes corretos dos níveis no teste de confirmação; (3) revisitar o modelo para verificar o ajuste ótimo; (4) verificar o correto valor previsto para o experimento de confirmação. Se após verificar estes quatro itens nenhuma resposta for encontrada, pode ser que o modelo não consegue prever muito bem a região de ajuste ótimo. Entretanto com certeza algum aprendizado foi obtido com o experimento e este deve ser utilizado para a execução de um próximo experimento.

Além do *DOE*, outro método bastante utilizado é o método de superfície de resposta (*RSM*), que na essência é uma técnica de *DOE* mais especializada que pode ser utilizada para detalhar e otimizar funções transferência de projetos DFSS. Este é um método amplamente utilizado na fase de otimização do roteiro DFSS. O método combina a utilização de métodos estatísticos e de otimização que são usados para modelar e otimizar projetos. Geralmente nos novos desenvolvimentos o entendimento das relações causa-efeito entre a resposta (y) e os fatores de controle (x_s) não são bem conhecidos nos estágios iniciais. Neste estágio os principais requisitos (y_1, y_2,…, y_n) são conhecidos e uma grande quantidade de fatores (x_1, x_2,…, x_n), porém a exata função transferência ente y_s e x_s é desconhecida. É de fundamental importância encontrar funções de transferência exatas entre os RFs e o PPs, tornar a relação causa-efeito entre eles bem entendida para que seja possível encontrar ajustes ótimos dos fatores controláveis (x_s) para assim atender os resultados desejados (y_s). Quando o número de variáveis x_1, x_2,…, x_n é muito grande, encontrar funções transferência precisa, é muito difícil e requer bastante trabalho. É desejável começar com experimentos de varredura, os quais geralmente possuem uma baixa resolução e são do tipo fatorial fracionado de dois níveis. A proposta dos experimentos de varredura é encontrar conjunto de variáveis importantes. Para a condução de um bom estudo de *RSM* recomendam-se os seguintes passos (YANG K., e EL-HAIK B., 2003):

- Passo 1 – Experimento de varredura: Depois do experimento de varredura um número menor de variáveis importantes é identificado para próximos estudos;
- Passo 2 – Determinar se a solução ótima está localizada dentro da região de estudo. O método de superfície de resposta irá primeiramente determinar se a região experimental contém o ponto ótimo. Se sim pula-se para o passo 4, caso contrário é executado o passo 3;
- Passo 3 – Busca pela região que contém o ponto de ótimo: O RSM utiliza o método de pesquisa para encontrar a região que contém a solução ótima, se esta região é

identificada, passa-se para o passo 4;

- Passo 4 – Planejar e conduzir o experimento de superfície de resposta: Para isto é necessário coletar dados para estabelecer um modelo empírico não linear, geralmente um modelo de segunda ordem. O *RSM* aumentará o planejamento experimental incluindo mais pontos. Com a adição de mais pontos experimentais e mais dados, um modelo empírico não linear será ajustado;
- Passo 5 – Identificar a solução ótima: Métodos de otimização serão aplicados para identificar a solução ótima.

Outra etapa importante dentro da etapa de otimização do roteiro de DFSS é a alocação de tolerância que tem como objetivo obter uma otimização melhor do que a foi conseguida por meio da otimização de parâmetros além do detalhamento da função de transferência para obter um produto compatível com *Six Sigma* de capabilidade. Nesta etapa o time de projeto determina a variação permitida nos parâmetros de produto (PPs) e variáveis de processos (VPs), estreitando tolerâncias e melhorando apenas onde é necessário para atender as metas do RFs. Onde é possível, as tolerâncias podem ser relaxadas. O objetivo do projeto de tolerâncias é definir tolerâncias para as peças, montagens ou processos identificados nas estruturas de produto e processos com base na variação total tolerável para os RFs, a influência de diversas fontes de variação no todo e as relações de compromisso entre custo e benefícios.

O projeto de tolerâncias pode ser conduzido analiticamente com base em funções transferências validadas e obtidas empiricamente ou via teste. Em ambos os casos as entradas para esta etapa são duas: (1) o time do projeto deve ter um bom entendimento dos requisitos de produto e processos e (2) sua tradução em especificações de produto e processos usando o *QFD*. A alocação de tolerâncias dentro da abordagem *DFSS* busca inicialmente utilizar tolerâncias tão amplas quanto possível para as considerações de custos e depois otimizar os RFs através de uma combinação ótima de PPs e VPs. Depois disso, é necessário identificar quais RFs relacionados ao cliente que não foram atendidos por meio de métodos de otimização dos parâmetros de produto e, geralmente é necessário o estreitamento de tolerâncias, melhorias de materiais e outros PPs para atender as metas dos RFs.

A aplicação sistemática do princípio e ferramentas do DFSS, como por exemplo, o QFD permite a identificação dos requisitos sensíveis aos clientes e o desenvolvimento de metas para estas características, que atendam as expectativas dos mesmos. É vital que estas características sejam desdobradas e rastreadas até os níveis mais inferiores da estrutura e que metas e tolerâncias adequadas sejam desenvolvidas. Por definição tolerância é o desvio

permitido de um padrão ou valor especificado. Tolerância possui diferentes significados nos diferentes estágios do desenvolvimento de produto e a figura D8 ilustra as tolerâncias nos diferentes domínios do processo de desenvolvimento.

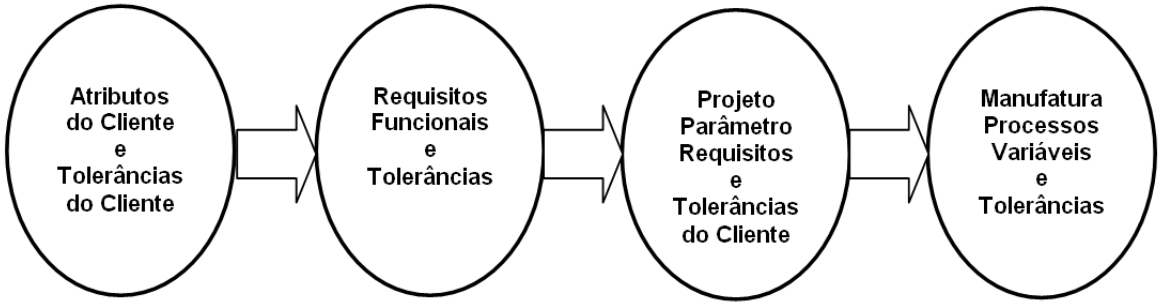


Figura D8 - Processo de Desenvolvimento de Tolerância

Para um produto ou serviço os clientes geralmente possuem requisitos explícitos ou implícitos e faixas permitidas de variação, chamadas de tolerância do cliente. No próximo estágio os requisitos dos clientes e respectivas tolerâncias são mapeados no projeto de requisitos e tolerâncias funcionais. Para um projeto atender os seus RFs e respectivas tolerâncias, os PPs devem ser ajustados nos corretos valores nominais e suas variações devem estar dentro das tolerâncias dos PPs.

O desenvolvimento das tolerâncias dos RFs é um dos passos mais importantes, pois estas traduzem as necessidades verbais e ambíguas de tolerância em tolerâncias claras e quantitativas. Esta etapa envolve o uso de análise funcional, estrutura física, analise dos atributos dos clientes, e competidores. A utilização da casa 2 do QFD é uma ferramenta bastante útil para a tradução dos requisitos dos clientes em RFs e especificações. Entretanto a maior parte do trabalho no projeto de tolerâncias envolve a determinação das tolerâncias dos PPs e VPs, uma vez que as tolerâncias dos RFs já foram determinadas.

Se o produto é complexo, com estruturas de produto e processo extremamente acopladas, o projeto de tolerâncias deve ser um processo de múltiplos estágios. Primeiro as tolerâncias dos RFs são determinadas, depois as tolerâncias dos sistemas e subsistema, após isso as tolerâncias dos componentes com base nas tolerâncias dos sistemas e subsistema. Finalmente as tolerâncias das VPs são determinadas respeitando as tolerâncias dos componentes. Existem três principais preocupações no projeto de tolerâncias:

- Gerenciar a variabilidade;
- Atender os requisitos funcionais de maneira satisfatória;
- Manter baixos os custos do produto.

Do ponto de vista econômico os RFs devem ser atendidos com o mínimo de variação. Minimizando a variação das funções, certamente maximizará a satisfação do cliente e também reduzirá o retrabalho, custos de garantia e custos de pós-venda, por outro lado também é desejável que as tolerâncias do PPs e VPs sejam definidas em grandes intervalos, pois isto torna a manufatura mais simples e barata. O projeto de tolerâncias procura minimizar a variação dos RFs e ao mesmo tempo cuida para não "apertar" demais as tolerâncias do PPs e VPs. No processo de alocação de tolerâncias o custo é um fator muito importante.

Etapa Verificar

A última etapa do roteiro DFSS é utilizada para verificar se o produto e processos otimizados desempenham de forma consistente as especificações definidas pelos clientes. No desenvolvimento de produto esta etapa incluiu três atividades principais que são:

- Validação do produto;
- Validação do processo de manufatura;
- Validação da produção.

Na verificação do produto os seguintes aspectos devem ser validados:

- Validação do desempenho funcional: Esta atividade verifica se o produto consegue entregar todos os requisitos funcionais;
- Validação dos requisitos do ambiente de operação: Esta verifica se o produto consegue entregar suas funções sob diversas condições ambientais, tais como altas e baixas temperaturas, vibrações e impactos, umidade, sal e poeira;
- Validação dos requisitos de confiabilidade: Esta verifica se o produto consegue desempenhar suas funções num extenso período de uso. Muitos produtos são projetados para funcionarem num longo período de tempo. Esta verificação deve incluir a validação do tempo útil de vida e validação da degradação do produto;
- Validação dos requisitos de uso: Esta verifica se o produto consegue entregar suas funções sob várias condições de uso, sendo algumas delas condições abusivas de uso;
- Validação dos requisitos de segurança: Esta verifica se o produto consegue atender os requisitos de segurança;
- Validação de interface e compatibilidade: Verifica se o produto, subsistema ou componente conseguem trabalhar com outros produtos e se são compatíveis;
- Validação dos requisitos de facilidade de manutenção: Esta verifica se quando são necessários trabalhos de manutenção estes podem ser executados de forma

conveniente. Verifica o tempo entre manutenções e tempo de manutenção corretiva e preventiva.

Nem todos os produtos precisam realizar todas estas validações. Para diferentes produtos, os requisitos de validação e a relativa importância de cada tipo de atividade de validação podem variar um pouco. Uma análise do que precisa ser validado deve ser realizada para criar uma lista de verificação adequada ao produto em desenvolvimento.

Já o propósito do processo de validação da manufatura é verificar se os processos de manufatura conseguem produzir o produto que atenda as especificações com um adequado nível de capacidade de processo. A validação do processo de manufatura inclui pelo menos as seguintes atividades:

- Validação das especificações do produto: Tem como objetivo verificar se o processo de manufatura consegue produzir o produto que satisfaz as especificações pretendidas;
- Validação da capacidade de processo: Esta tem como objetivo verificar se o processo de manufatura consegue produzir o produto com um nível satisfatório de capacidade de processo.

O objetivo da validação da produção é confirmar que a produção em massa consegue entregar produtos acabados com baixo custo, alto nível de produção e nível de qualidade Seis Sigma. A validação da produção inclui as seguintes atividades:

- Validação da capacidade do processo: Esta verifica se a capacidade de processo ainda pode ser atingida na produção em massa;
- Validação da produtividade do processo: Tem como objetivo verificar se o processo de produção em massa consegue produzir os produtos em quantidade e produtividade suficientes, com um baixo nível de paradas e interrupções;
- Validação dos custos de produção: Tem como objetivo verificar se a produção em massa consegue produzir os produtos finais com o custo pretendido.

Dentro do roteiro do *DFSS* a validação do produto começa bem antes do estágio final do desenvolvimento, pois a validação do produto apenas no estágio final pode causar muitos problemas, como re-projetos caros, e atrasos na entrega do projeto. Nos estágios iniciais do desenvolvimento, modelos de simulação, protótipos iniciais, testes de bancadas entre outros podem ser utilizados para a validação do conceito. Algumas atividades podem ser realizadas para este processo de validação:

- Passo 1 – Validações nos estágios iniciais: Esta etapa começa na fase de geração de conceitos e se estende para o projeto todo, modelos de simulação computacional e/ou protótipos preliminares podem ser utilizados.

  Um modelo de simulação poder ser utilizado na validação do desempenho de requisito funcional ou de segurança. Métodos de projeto robusto podem utilizar modelos de simulação ou protótipos em conjunto com a simulação da ação de fatores de ruído, que podem ser utilizados para validação do ambiente de operação, ambiente de uso, e validação dos requisitos de confiabilidade, pois a variação na operação, uso e ambiente e efeitos de degradação podem ser modelados como fatores de ruído. Para projetos destrutivos a validação nos estágios iniciais é muito importante, pois os novos conceitos nunca foram testados anteriormente;
- Passo 2 – Conduzir revisões de projeto e análise dos requisitos de produto;
- Passo 3 – Construir um ou diversos protótipos preliminares;
- Passo 4 – Realizar testes de verificação de produto nos protótipos: Esta é uma etapa muito importante para a validação do produto. Os testes precisam ser cuidadosamente planejados para cobrir todos os aspectos de validação do produto, assim como a validação do desempenho funcional e validação dos requisitos de confiabilidade. Em produtos complexos estes testes podem ser divididos em testes de componentes, subsistemas e sistemas;
- Passo 5 – Avaliar e verificar o desempenho dos protótipos: O objetivo desta atividade é analisar os resultados dos testes de verificação do produto e avaliar o desempenho contra metas. Se os protótipos apresentarem desempenho satisfatório, passa-se para o passo 7 e caso contrário para o passo 6;
- Passo 6 – Resolver os problemas de desempenho e construir mais protótipos para teste: nesta etapa os problemas devem ser resolvidos e novos protótipos devem ser construídos e testados. Numa situação ideal, este passo não deveria existir, porém na vida prática muitas vezes ele é necessário.

  Atividades iniciais tais como projeto de parâmetros de produto, simulações, protótipos preliminares, irão reduzir a necessidade de que esta fase de correção dure muito tempo. Depois desta etapa deve-se retornar ao passo 3 para a realização dos testes;
- Passo 7 – Aprovação do produto.

Outra validação importante é a da capacidade dos processos de manufatura, que é responsável desde a instalação dos equipamentos até produção de um número significativo de produção de protótipos que podem ser disponibilizados para venda. Estes são produzidos em condições semelhantes à produção em massa. A validação dos processos de manufatura é realizada para verificar se os processos estão produzindo produtos que atendem o que é desejado para o produto. Uma avaliação do produto final por parte dos clientes e dos responsáveis da produção promove informações para verificar se o produto está atendo o que foi projetado. De forma similar a validação do produto, atividades de validação nos estágios iniciais ajudaram a reduzir o processo de desenvolvimento. Para a validação do processo de manufatura recomendam-se os seguintes passos (YANG K., e EL-HAIK B., 2003):

- Passo 1 – Validações nos estágios iniciais: Esta etapa deve ter começar no início do desenvolvimento dos processos de manufatura. A utilização de abordagem de projeto para manufatura e montagem e engenharia simultânea ajudam muito este processo;
- Passo 2 – Validar os requisitos de processos: Este passo consiste em compilar uma lista de verificação dos requisitos necessários para os processos de manufatura desempenhar suas funções sob as condições de manufatura em massa. Esta lista de requisitos é a base para o plano de validação de processos;
- Passo 3 – Instalar máquinas e treinar os operadores;
- Passo 4 – Conduzir os testes de validação dos processos;
- Passo 5 – Melhorar os processos;
- Passo 6 – Se preparar para o lançamento do produto.

As atividades de validação da produção incluem: o lançamento do produto, início da produção e confirmação final da produção em massa. Uma validação adequada da produção deve assegurar as funções, custos e níveis de qualidade Seis Sigma. A implementação de processos robustos, planejamento para lançamento e treinamento adequado para os funcionários estão entre os fatores mais importantes que permitiram um lançamento tranquilo e ritmo adequado de produção. Os seguintes passos são típicos de um procedimento de validação da produção em massa:

- Passo 1 – Validações nos estágios iniciais: Validação da produção nos estágios iniciais também é uma atividade importante. O uso de programas de simulação de produção pode ajudar a analisar os fluxos e pontos de gargalos da produção e são muito úteis para a melhoria das instalações das linhas de produção. Modelagem da variação é uma abordagem utilizada para simular os efeitos da variação dos parâmetros de manufatura

na variação do sistema de produção. Pode ser utilizado para simular o processo de montagem e prever a capacidade do processo e os principais fatores que contribuem para sua variação;

- Passo 2 – Desenvolver e suportar um plano para lançamento do produto: Este passo inclui o desenvolvimento:
  - Plano de suporte da engenharia de manufatura e manutenção e equipes de apoio;
  - Plano de suporte da engenharia de produto e equipe de apoio;
  - Estratégia de lançamento do produto e início de produção;
  - Plano de modificações de engenharia e solução de problemas do lançamento.
- Passo 3 – Desenvolver um plano de lançamento de marketing;
- Passo 4 - Desenvolver um plano de serviços de pós-venda e suporte;
- Passo 5 - Conduzir a avaliação da capacidade dos processos e confirmação da produção em massa;
- Passo 6 - Melhoria contínua do produto e processos num ritmo mais rápido que os competidores

ANEXO A – EXEMPLO DE PROJETO DFSS: DESENVOLVIMENTO DA CÂMARA DE SUCÇÃO

Para exemplificar a aplicação do roteiro proposto será apresentado um projeto real e tal projeto foi desenvolvido pelo departamento de pesquisa e desenvolvido da empresa onde foi realizado o estudo de caso. A ideia é mostrar a aplicação num ambiente real de desenvolvimento de projetos, mostrando as potencialidades e limitações do método proposto.

Trata-se do desenvolvimento de um componente utilizado em compressores do segmento doméstico. Por motivos de confidencialidade detalhes mais aprofundados sobre o produto serão omitidos em alguns pontos, porém sem nenhum prejuízo para a apresentação da aplicação do roteiro, principal foco deste capítulo.

Etapa identificar

O mercado de refrigeração vem demandando equipamentos de alta eficiência energética. Isto acontece, pois, as regulamentações energéticas estão cada vez mais rígidas. O refrigerador doméstico apresenta esta demanda de eficiência principalmente nos mercados japoneses, europeus e indianos. No refrigerador doméstico o subsistema quem tem a maior contribuição de gasto energético é o compressor, consome cerca de 90% da energia de todo o sistema (SARIOGLU K., et al 2011), por isto é constantemente demanda par a melhoria de eficiência. A Figura 11 mostra a o esquemático de um refrigerador.

Vários estudos já foram realizados visando o aumento da eficiência do compressor, sabe-se que os fatores que mais afetam a eficiência são: o superaquecimento do fluído refrigerante na linha de sucção, volume morto, dinâmica das válvulas, vazamento na folga pistão cilindro e transferência de calor no cilindro (SARIOGLU K., et al 2011). O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento da câmara de sucção que é um componente que faz parte do sistema de sucção do compressor. O correto dimensionamento deste componente é essencial para o aumento de eficiência do compressor. A câmara de sucção deve ter um garantir a mínima troca de temperatura do fluído refrigerante com o interior compressor, para assim evitar o aumento de temperatura do fluído refrigerante e com isto aumente a potência necessária para a compressão do mesmo. Outra característica importante é a queda de pressão que deve ser a menor possível. A figura A1 mostra um compressor em corte e a localização da câmara de sucção.

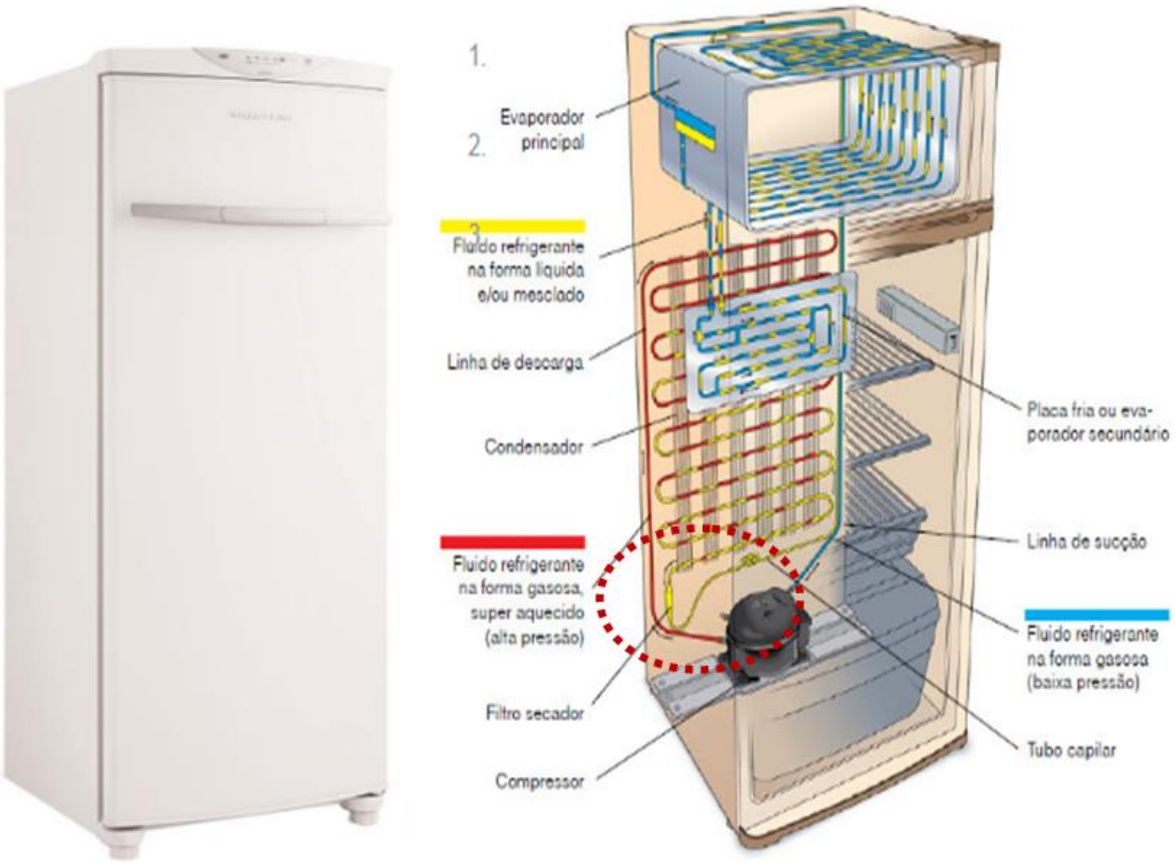


Figura A1 - Esquema de um refrigerador doméstico

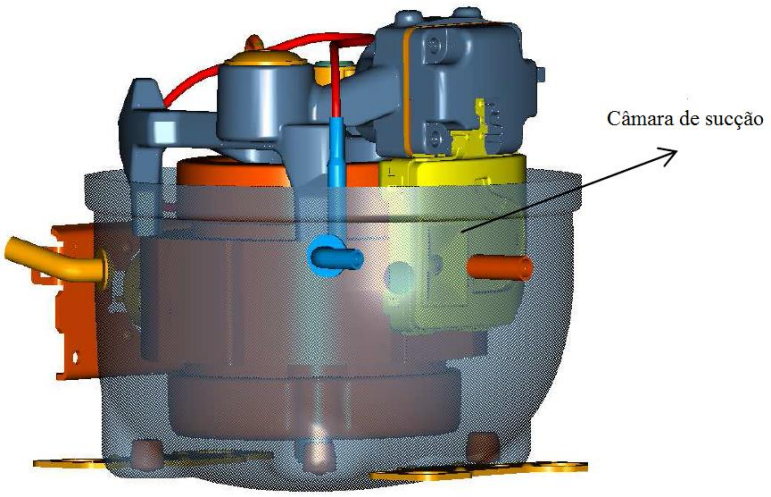


Figura 3 - Localização da câmara de sucção dentro do compressor

A eficiência não é a única característica afetada por este componente, o ruído também é fortemente influência pela câmara e baixo ruído é uma característica bastante importante, especialmente para refrigeração doméstica. Existe, portanto uma forte relação de compromisso entre o aumento de eficiência e ruído, exigindo que o desenvolvimento da

câmara de sucção seja otimizado para atender bem estes dois requisitos. Para garantir o atendimento destes objetivos decidiu-se utilizar o roteiro DFSS para o desenvolvimento deste componente.

Identificar os clientes

No início do desenvolvimento da câmara de sucção foram ouvidos vários clientes, principalmente os internos. Especialistas das áreas de acústica, termodinâmica e estrutural trouxeram requisitos que ajudaram no entendimento das necessidades exigidas pelo componente. O especialista de produto trouxe requisitos do produto e do mercado, cuidando para que as decisões tomadas estivessem alinhadas com as expectativas dos clientes externos, principalmente as decisões de eficiência, ruído e capacidade do compressor. O líder do projeto trouxe requisitos relacionados a custos e prazos de desenvolvimento, cuidando para que estes estivem alinhados com as necessidades do negócio. O envolvimento de todos estes clientes (áreas de conhecimento) foi importante para garantir que diferentes pontos de vista fossem considerados durante o desenvolvimento. O quadro 9 abaixo mostra todos os envolvidos no desenvolvimento da câmara de sucção.

Quadro A1 - Lista de clientes da câmara de sucção

Projeto: Desenvolvimento câmara de sucção	
Cliente	**Responsável**
Acústica	Especialista acústica
Termodinâmica	Especialista termodinâmica
Estrutural	Especialista estrutural
Produto	Especialista produto
Líder do projeto	Líder do projeto

Identificar a voz do cliente (VOC)

A obtenção do VOC foi realizada por meio de reuniões presenciais com os especialistas das áreas selecionadas na etapa anterior. Durante as reuniões foram levantadas as necessidades e discutidas para garantir o correto entendimento. O resumo destas reuniões é apresentado pela Tabela A1:

Tabela A1 - VOC - câmara de sucção

Projeto: Câmara sucção de alta eficiência	
Cliente	**Necessidade**
Termodinâmica	Elevada eficiência térmica
	Minimizar perda de carga

	Boa interação dinâmica entre o sistema de descarga e válvula.
	Sistema que apresente boa resposta dinâmica
	Características isolantes térmica
	Não esquentar refrigerante e motor
	Boa separação e purga de óleo
	Ajudar a controlar movimento da válvula de sucção
	Boa vedação com a tampa do cilindro
	Alinhamento com o passador de sucção
Acústica	Evitar ressonância da pulsação do gás com região de forte resposta da carcaça do compressor
	Transmitir pouca vibração para a carcaça do compressor
	Baixo nível de pulsação de sucção
	Evitar frequências de funcionamento e primeiros harmônicos
	Não tenha conector
	Evitar que a câmara seja um radiador de ruído.
	Grande atenuação acústica
Estrutural	Frequência de ressonância fora do range de operação
	Fácil montagem e interação com a tampa do cilindro
	Resistência ao transporte do compressor
	Resistência a pressão interna do gás.
	Não pode escoar a altas temperaturas (creep)
	Encaixe robusto
	Robustez para absorver variações do processo de montagem
	Geometria fácil de ser fabricada, reduzindo custos e retrocessos
	Afastar a câmara da tomada
	Mais espaço disponível para a câmara
	Aumentar a proximidade entre bocal e passador
	Confeccionar a câmara em uma peça única
Produto	Otimização da câmara para a condição de operação
	Volumes dispostos de maneira a minimizar a variação de capacidade
	Fácil construção do produto
	Aumento de 5% de eficiência em relação a plataforma base
	Manter os níveis atuais de ruído
	Fornecer propostas de redução de custo para versões anteriores
Líder projeto	Não agregar alta complexidade na solução.
	Aumento de eficiência
	Desempenho acústico pelo menos comparável ao produto atual
	Atingir metas de custo

Identificar grupos de necessidades semelhantes: Afinidades

Nesta etapa do roteiro as informações dos *VOC*s da câmara de sucção obtidas na etapa anterior foram analisadas e agrupadas por afinidades. Foram criados cinco grupos de afinidades que são apresentados na tabela A2 abaixo.

Tabela A3 - Grupos de afinidade - câmara de sucção

G1: Maximizar desempenho acústico
Evitar ressonância da pulsação do gás com região de forte resposta da carcaça do compressor
Transmitir pouca vibração para a carcaça do compressor
Baixo nível de pulsação de sucção
Evitar frequências de funcionamento e primeiros harmônicos
Não tenha conector
Evitar que a câmara seja um radiador de ruído
Grande atenuação acústica

Otimização da câmara para a condição de operação
Manter os níveis atuais de ruído
Manter os níveis atuais de ruído
G2: Maximizar Eficiência
Elevada eficiência térmica
Características isolantes térmica
Não esquentar refrigerante e motor
Boa vedação com a tampa do cilindro
Alinhamento com o passador de sucção
Otimização da câmara para a condição de operação
Volumes dispostos de maneira a minimizar a variação de capacidade
Aumento de eficiência
Aumentar a proximidade entre bocal e passador
Minimizar perda de carga
Boa interação dinâmica entre o sistema de descarga e válvula.
Sistema que apresente boa resposta dinâmica
Ajudar a controlar movimento da válvula de sucção
Aumento de 5% de eficiência em relação à plataforma base
G3: Maximizar Confiabilidade/Robustez
Frequência de ressonância fora do range de operação
Resistência ao transporte do compressor
Resistência a pressão interna do gás.
Não pode escoar altas temperaturas (creep)
Robustez para absorver variações do processo de montagem
Afastar a câmara da tomada
Mais espaço disponível para a câmara
Boa separação e purga de óleo
Encaixe robusto
G4: Reduzir Custos
Confeccionar a câmara em uma peça única
Fácil construção do produto
Fornecer propostas de redução de custo para versões anteriores
Fornecer propostas de redução de custo para versões anteriores
Atingir metas de custo
Geometria fácil de ser fabricada, reduzindo custos e reprocessos
Fácil montagem e interação com a tampa do cilindro

Priorizar o *VOC*

Para dar foco ao desenvolvimento, será realizada uma priorização as características que receberão maior atenção do time de projeto. Foi realizada uma primeira classificação utilizando-se o modelo de Kano, a tabela 3 abaixo mostra como ficou a classificação.

Tabela A4 - Classificação das características (Kano)

Modelo de Kano – Classificação das Características		
Básicas	**Desempenho**	**Surpreendentes**
G3:Maximizar Confiabilidade/Robustez	G1: Maximizar desempenho acústico	

	G2: Maximizar Eficiência	

Esta classificação ajudou a entender quais eram os grupos de necessidades que deveriam ter maior foco, estes foram: G1-Maximizar desempenho acústico, G2-Maximizar eficiência Para o atendimento do grupo 3 (G3-Maximizar confiabilidade/robustez), serão utilizados os procedimentos padrões de desenvolvimento, principalmente pelo que a matéria prima da câmara, polímero, não será alterado. O grupo 4 (G4- Reduzir Custos) será tratado como uma restrição, ou seja, a câmara de sucção deverá ser projetada dentro do objetivo de custo para este componente.

Para criar uma priorização para as características de desempenho, utilizou-se a comparação aos pares (tabela 4). As comparações foram realizadas pelo líder do projeto para garantir uma visão do todos e alinhamento com as necessidades do cliente e do negócio.

Tabela A5 – Comparação aos pares

Comparação aos pares		G1: Max. desempenho acústico	G2: Maximizar Eficiência
		A	B
G1: Maximizar desempenho acústico	A		B
G2: Maximizar Eficiência	B	B	
		A	B
		0	2

A priorização mostrou que o foco deve ser dado à maximização da eficiência e depois para o desempenho acústico, para isto foram definidos os seguintes pesos:

- 75% - Maximizar eficiência;

- 25%- Maximizar desempenho acústico.

Desta forma o principal objetivo do desenvolvimento da câmara de sucção é aumentar a eficiência do compressor sem ultrapassar os limites de ruído especificados.

Etapa definir

O objetivo desta etapa é deixar cada vez mais específica as necessidades para a câmara de sucção, para isto será realizada uma análise funcional para cada grupo priorizado na etapa anterior.

Análise funcional

A primeira análise funcional foi para o desdobramento do aumento de eficiência, também conhecido pelo acrônimo inglês de COP (*Coeficient of Performance*) que é dado pela seguinte relação:

$$COP = \frac{CAP}{CONS}$$

Onde, CAP= Capacidade do compressor em Watts e

CONS= Consumo do compresso em Watts

Para aumentar à eficiência a capacidade (CAP) deve ser maximizada enquanto o consumo (CONS) deve ser minimizado. Para maximizar a capacidade deve-se ter uma boa densidade do gás na câmara de sucção para isto é importante que se reduza a temperatura do gás, sendo assim deve buscar:

- RF1: Minimizar a temperatura do fluído na entrada da câmara de sucção (°C);
- RF2: Minimizar temperatura do fluído na saída da câmara (entrada da válvula de sucção) (°C).

Além disso, deve-se buscar por uma boa eficiência volumétrica evitando refluxos e buscando por movimentos adequados das válvulas de sucção e descarga, isto pode ser verificado por meio de duas medidas de eficiência:

- RF3: Maximizar o COP_{PV};
- RF4: Maximizar o $COP_{eff.}$

Para se ter uma boa eficiência além de maximizar a capacidade tem que se reduzir o consumo. No escopo de desenvolvimento da câmara de sucção isto pode ser traduzido em minimizar a perda de carga dentro da câmara, o que por sua vez pode ser desdobrado em:

- RF5: Minimizar a perda de carga na sucção (W);

- RF6: Minimizar a perda de carga na descarga (W);
- RF7: Minimizar a perdas fixas (W).

A figura A3 mostra VOC maximizar COP desdobrado em RFs.

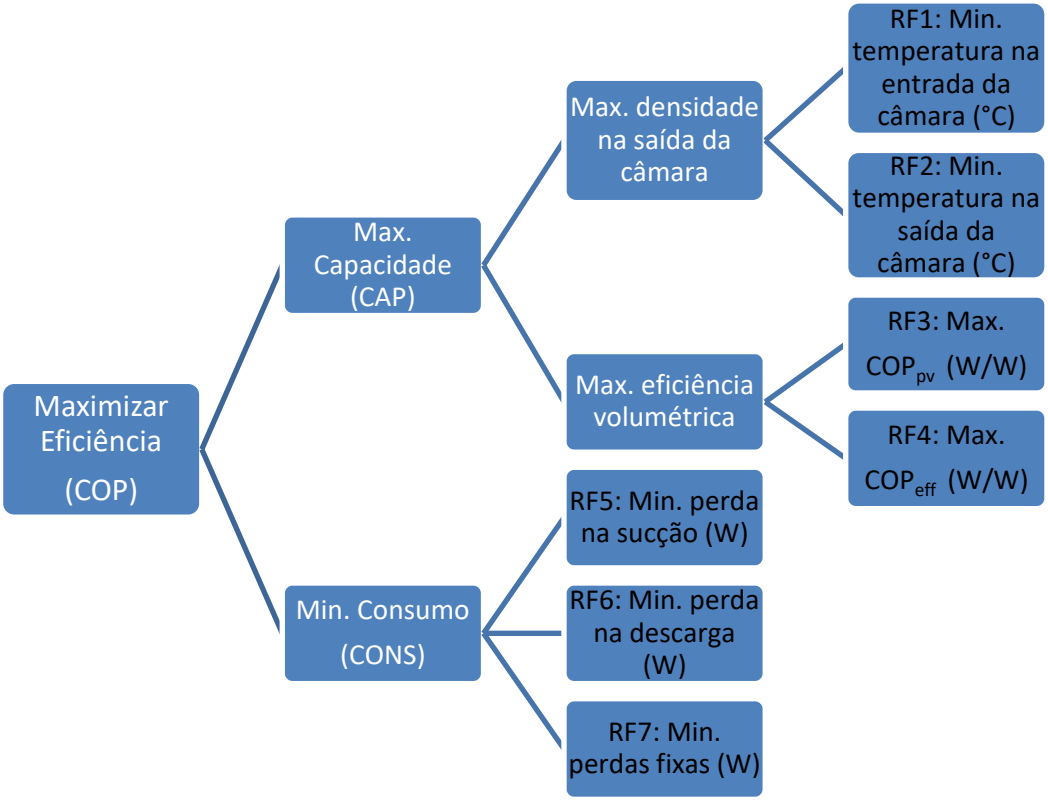


Figura 4 - RFs para minimizar consumo

A segunda função a ser desdobrada é sobre a maximização do desempenho acústico da câmara de sucção. Para obtenção do desempenho acústico desejado deve-se reduzir a potência de entrada da câmara, causada principalmente pelo impacto da válvula de sucção e pulsação do fluxo de gás e reduzir a pressão irradiada pela câmara de sucção que acontece pelo bocal de saída da câmara, sendo assim pode-se escrever os seguintes requisitos funcionais:

- RF8: Minimizar a potência de entrada acústica (entrada da válvula de sucção) (W);
- RF9: Minimizar a pressão de saída acústica (bocal da câmara) (Pa).

Deve-se buscar também pela redução da pressão gerada na carcaça, esta pode ser dividida em diferentes faixas de Frequência, desta forma pode-se desdobrar os seguintes RFs:

- RF10: Minimizar pressão na carcaça na faixa de Frequência entre 600 e 800 Hz (Pa);
- RF11: Minimizar pressão na carcaça na faixa de Frequência maior que 1.000 e menor que 3.000 Hz (Pa);
- RF12: Minimizar pressão na carcaça para Frequências maiores que 3.000Hz (Pa).

A figura A4 mostra VOC maximizar o desempenho acústico, desdobrado em RFs.

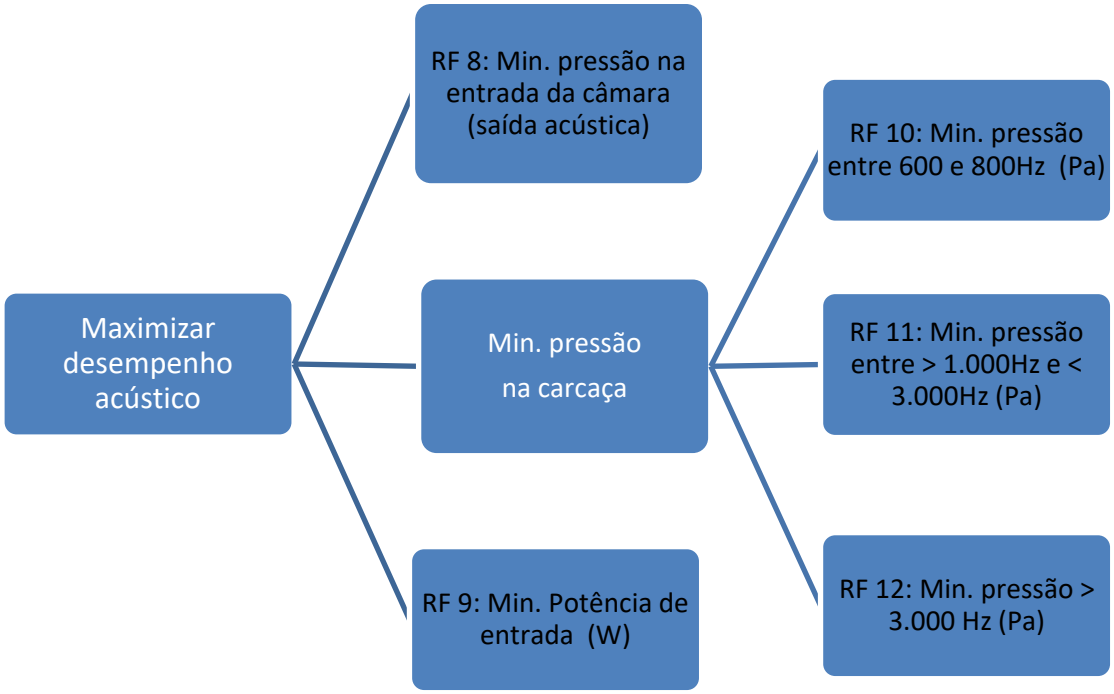


Figura 5 – RFs para minimizar o desempenho acústico

A análise funcional ajudou o time entender mais detalhadamente quais as funções que precisam ser atendidas. Isto ajudou a dar foco à equipe de desenvolvimento.

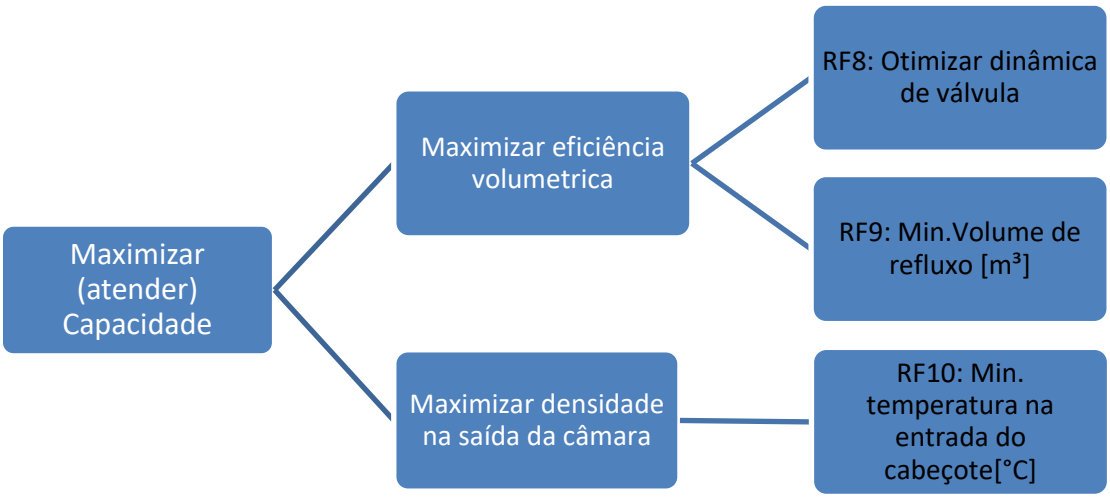


Figura 6 – RFs para maximizar (atender) capacidade.

A análise funcional ajudou o time a analisar as funções que a câmara de sucção precisa cumprir e isto proporcionou foco à equipe.

Relação entre VOCs e RFs

Esta etapa irá relacionar os VOCs e respectivos pesos, com os RFs desdobrados na etapa anterior. A tabela A5 mostra a casa da qualidade 1 do QFD com os relacionamentos entre VOC e RFs.

Tabela A6 - Casa da qualidade 1 (Caso prático)

		Requerimentos Funcionais (RFs)										
Voz do Cliente VOC	**Importância (%)**	RF1: Reduzir perda de carga na câmara de sucção	RF2: Reduzir perda de carga na válvula de sucção	RF3: Max. Perda de transmissão (600-1000Hz)	RF4: Max. volume da câmara de sucção	RF5: Max. Perda de transmissão> 1000Hz (dB)	RF6: Max. qtd de volumes	RF 7: Min. Potência de entrada (W)	FR8: Otimizar dinâmica de válvula	FR9: Min.Volume deslocado de refluxo [m³]	RF10: Min. tempeatura na saída do muffler [°C]	**Verificação de relacionamentos**
Minimizar Consumo	55,7	9	3									9
Maximizar desempenho acústico	33,3			9	3	9	3	9				9
Minimizar Consumo	10,0								3	3	9	9
		501,3	**167,1**	**299,7**	**99,9**	**299,7**	**99,9**	**299,7**	**30**	**30**	**90**	**1917**
Peso Relativo		**26%**	**9%**	**16%**	**5%**	**16%**	**5%**	**16%**	**2%**	**2%**	**5%**	
Unidade de medida		W	W	dB		dB		W		m³	°C	

O peso dos relacionamentos (9, 3, 1 ou 0) foi realizado com os especialistas das áreas de acústica, termodinâmica e produto. Com isto através da soma de produtos entre o peso dos relacionamentos e peso dos VOCs, obteve-se aos seguintes pesos para cada um dos RFs, conforme apresentado na tabela A6.

Tabela A7 - RFs com seus respectivos pesos

Requisito Funcional (RF)	Peso (%)
RF1: Min. a temperatura do fluído na entrada da câmara de sucção	14%
RF2: Min. temperatura do fluído na saída da câmara (entrada da válvula de sucção)	14%
RF3: Maximizar o COPpv	14%
RF4: Maximizar o COPeff	5%
RF5: Min. perda de carga na sucção	14%
RF6: Min. perda de carga na descarga	14%
RF7: Min. a perdas fixas	5%
RF8: Min. a potência de entrada acústica (entrada da válvula de sucção)	5%
RF9: Min. a pressão de saída acústica (bocal da câmara)	5%
RF10: Min. pressão na carcaça na faixa de Frequência entre 600 e 800 Hz	5%
RF11: Min. pressão na carcaça na faixa de Frequência maior que 1.000 e menor que 3.000 Hz	5%
RF12: Min. pressão na carcaça para Frequências maiores que 3.000Hz	2%

Etapa Desenvolver

A fase de Desenvolver tem como objetivo gerar e selecionar conceitos que atendam as necessidades dos clientes. Os requisitos funcionais (RFs) definidos na fase anterior foram utilizados como guias para a geração e seleção dos conceitos de câmara de sucção. As etapas a seguir apresentam os conceitos gerados e as análises para seleção.

Desenvolver conceitos

Nesta seção do trabalho será apresentado o conceito referência que já era utilizado em versões anteriores de compressor e os conceitos gerados pelo time multifuncional de especialistas de acústica, termodinâmica, produto e processos.

- Conceitos referência:

A câmara de sucção utilizada como referência é utilizada em versões de compressores anteriores, de menor eficiência. Ela tem a seguinte configuração:

  - Comprimento do tubo 1 = 42 mm
  - Secção do tubo 1 = retangular
  - Geometria do bocal de entrada do gás = retangular
  - Defletores = não possui
  - Barreiras acústicas = não possui

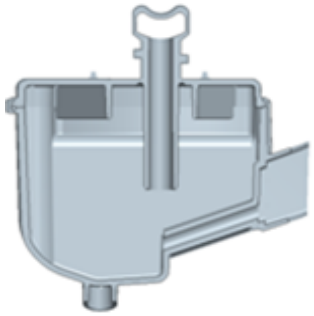


Figura 7 - Conceito de câmara referência

- Conceito 1: Aumento do comprimento do tubo 1

A principal modificação apresentada por este conceito é em relação ao comprimento do tubo 1, que foi aumentado para 68mm, o que muda a dinâmica de funcionamento da válvula de sucção. O propósito é aumentar a sustentação da válvula e com isto permitir um melhor enchimento do cilindro. A figura A7 mostra a alteração do comprimento do tubo 1.

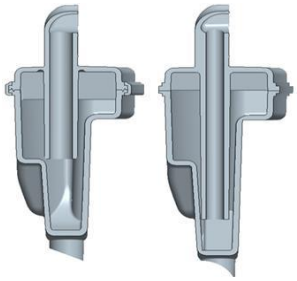


Figura 8 - Aumento do comprimento do tubo 1

- Conceito 2: Aumento da área de secção do tubo 1 - oblongo

A modificação proposta pelo conceito 2 é em relação a secção inferior do tubo 1, o conceito proposto tem uma secção oblonga, que tem como objetivo diminuir a perda de carga na câmara de sucção e com isto melhorar a eficiência. As demais configurações ficam iguais ao conceito 1. A figura A8 mostra as secções referência e proposta.

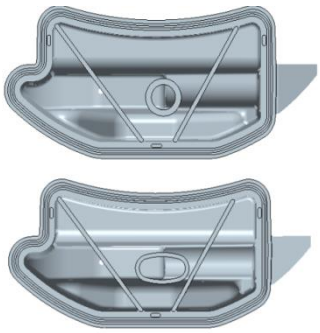


Figura 9 – Conceito a – Secção com tubo 1 oblongo

- Conceito 3: Aumento da área de secção do tubo 1 - retangular

Tem proposta semelhante ao conceito 2 que é diminuir a perda de carga dentro da câmara. Neste conceito a secção proposta foi de a geometria retangular.

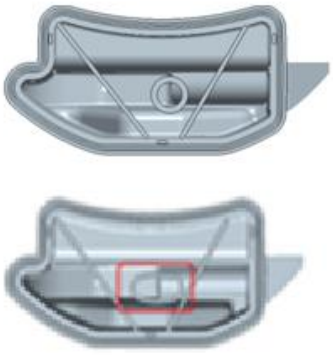


Figura 10 – Conceito 3 – Secção com tubo 1 retangular

- Conceito 4: Modificação da geometria do bocal – Aberto

A modificação proposta pelo conceito 4 é no bocal de entrada da câmara. Visando a redução da temperatura que o gás entra na câmara foi proposta uma configuração de bocal

aberta. As demais configurações da câmara ficam iguais ao conceito 1. A figura A10 mostra a geometria do bocal aberto.

Figura A10 – Conceito 4 – bocal aberto

- Conceito 5: Modificação da geometria do bocal – Côncavo

A modificação proposta pelo conceito 5 é semelhante ao do conceito 4, alterando apenas a geometria do bocal para côncavo.

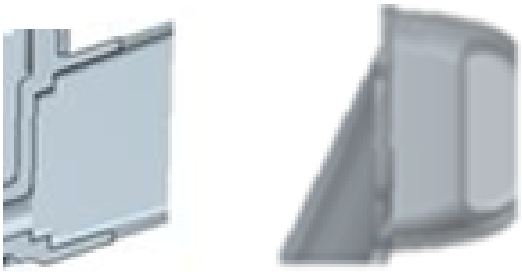


Figura 111 - Conceito 5 – Bocal côncavo

- Conceito 6: Inserção de defletores de fluxo de gás

A principal modificação proposta neste conceito foi a utilização de defletores do fluxo de gás que tem como objetivo conduzir os gases diretamente para o cilindro impedindo que ele circule toda a câmara de sucção e troque calor com a mesma. As demais configurações ficaram semelhantes ao conceito 1. A figura A12 mostra a posição do defletor.

Figura 12 – Conceito 6 – Defletores de fluxo

- Conceito 7: Inserção de barreiras acústica.

Esta proposta traz o conceito de barreiras acústicas que tem como objetivo criar volumes acústicos, porém sem ter restrições de passagem do gás e assim aumentando a

perda de carga. Ela permite emular volumes sem aumentar a perda de carga no interior da câmara de sucção. A figura A13 mostra a posição dos defletores.

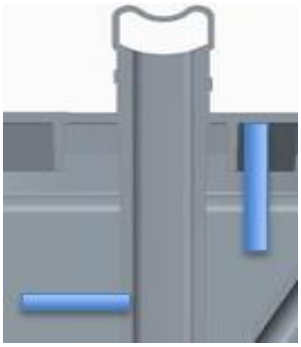


Figura 13 - Conceito 7 – Barreiras acústicas

- Conceito 8: Aumento do volume do corpo

Este conceito traz como proposta aumentar o tamanho do corpo, permitindo assim uma melhor atenuação acústica em todas as faixas de Frequência. A figura A14 mostra o conceito. As demais características permaneceram iguais ao conceito 1.

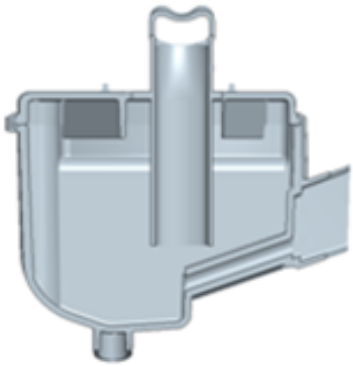


Figura 14 - Conceito A14 – Aumento do volume do corpo

Selecionar conceitos

Os conceitos de câmaras gerados na etapa anterior foram organizados numa matriz de decisão (matriz Pugh), onde os conceitos ficam dispostos nas colunas e os critérios mensuráveis (requisitos funcionais) ficam dispostos nas linhas. Cada um dos conceitos propostos foi comparado contra o conceito câmara de sucção utilizando na plataforma de produto referência. Primeiramente realizou-se uma análise qualitativa e posteriormente uma análise quantitativa. A figura A15 mostra a matriz Pugh com os conceitos.

Matriz de Decisão (Pugh)

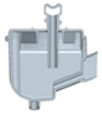
MATRIZ PUGH (Qualitative)										
Requisitos Funcionais	Peso (%)	**Referência** **Comp. T1=** xx mm **Secção T1=** retangular **Geometria bocal =** retangular **Defletores=** não possui **Barreiras acústicas =** não possui	**Conceito 1** Aumentar o tamanho do T1 p/ 68mm mantendo as demais características igual ao conceito referência	**Conceito 2** Alterar a secção do tubo1 para oblongo, mantendo as emais características igual ao conceito 1.	**Conceito 3** Alterar a secção do tubo1 para retângular, mantendo as emais características igual ao conceito 1.	**Conceito 4** Alterar a geometria do bocal de retângular para aberto, mantendo as demais características igual ao conceito 1.	**Conceito 5** Alterar a geometria do bocal de retângular para côncavo, mantendo as demais características igual ao conceito 1.	**Conceito 6** Utilzar defletor próximo ao tubo 1, mantendo as demais características igual ao conceito 1.	**Conceito 7** Uso de barreiras acústicas horizontal e vertical, defletor proximo ao T1, secção T1 oblongo, comprimento T1=68mm	**Conceito 8** Aumentar o volume do corpo e demais características igual ao conceito 1.
RF1: Min. a temperatura do fluído na entrada da câmara de sucção										
RF2: Min. temperatura do fluído na saída da câmara (entrada da válvula de sucção)										
RF3: Maximizar o COPpv										
RF4: Maximizar o COPeff										
RF5: Min. perda de carga na sucção										
RF6: Min. perda de carga na descarga										
RF7: Min. a perdas fixas										
RF8: Min. a potência de entrada acústica (entrada da válvula de sucção)										
da câmara)										
RF10: Min. pressão na carcaça na faixa de freqüência entre 600 e 800 Hz										
RF11: Min. pressão na carcaça na faixa de freqüência maior que 1.000 e menor que 3.000										
RF12: Min. pressão na carcaça para freqüências maiores que 3.000Hz										
Igual a Ref. (0)										
Melhor que a Ref. (+1)										
Pior que a Ref.(-1)										
Sem informação suficiente (?)										
PONTUAÇÃO FINAL (CONSIDERANDO OS PESOS DOS RFs)			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Figura 15 – Matriz de Seleção de Conceitos Pugh – caso prático

- Avaliação Qualitativa:

Inicialmente foi realizada uma análise qualitativa dos conceitos junto com os especialistas das áreas. Cada conceito foi analisado procurando responder cada um dos RFs. Na avaliação qualitativa cada conceito é pontuado em relação a referência, com a seguinte classificação:

- 0: quando o conceito tem desempenho no dado RF semelhante a referência;
- + 1: quando o conceito tem desempenho no dado RF superior a referência;
- - 1: quando o conceito tem desempenho no dado RF inferior a referência.

A matriz de decisão (matriz Pugh) permite uma visualização geral de todos os pontos fracos (-) e fortes (+) de cada conceito, evitando assim decisões focadas no desempenho de um único RF. Outra vantagem da matriz Pugh é a criação de conceitos híbridos que permite combinar pontos fortes de cada conceito. Foram criados mais dois conceitos (conceito 9 e 10) combinando as características fortes dos conceitos anteriores. Ficando eles com as seguintes configurações:

- Conceito 9: Conceito híbrido 1
    - Comprimento do tubo 1 = 65mm
    - Secção do tubo 1= oblongo
    - Geometria do bocal = Aberta
    - Defletor de fluxo = afastada do tubo 1 (8mm)
    - Barreiras acústicas = Vertical e horizontal
    - Volume do corpo = 661k mm3
- Conceito 10: Conceito híbrido 2
    - Comprimento do tubo 1 = 68mm
    - Secção do tubo 1= retangular
    - Geometria do bocal = côncavo
    - Defletor de fluxo = próximo ao tubo 1 (6mm)
    - Barreiras acústicas = Vertical e horizontal
    - Volume do corpo = 635k mm3

A análise qualitativa tem uma resolução limitada ao responder a diferença entre conceitos, quando estes ficam muito próximos entre si a análise qualitativa não consegue diferenciá-los, exigindo a análises mais detalhadas (análises quantitativas). Estas podem ser realizadas através de protótipos funcionais, ou preferencialmente através de análises numéricas e simulações, as quais fornecem valores para a tomada de decisão.

Matriz de Decisão (Pugh)

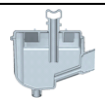
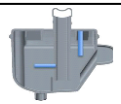
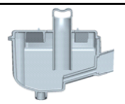
MATRIZ PUGH (Qualitative)												
Requisitos Funcionais	Peso (%)	**Referência** **Comp. T1=** xx mm **Secção T1=** retangular **Geometria bocal =** retangular **Defletores=** não possui **Barreiras acústicas =** não possui	**Conceito 1** Aumentar o tamanho do T1 p/ 68mm mantendo as demais características igual ao conceito referência	**Conceito 2** Alterar a secção do tubo1 para oblongo, mantendo as emais características igual ao conceito 1.	**Conceito 3** Alterar a secção do tubo1 para retângular, mantendo as emais características igual ao conceito 1.	**Conceito 4** Alterar a geometria do bocal de retângular para aberto, mantendo as demais características igual ao conceito 1.	**Conceito 5** Alterar a geometria do bocal de retângular para côncavo, mantendo as demais características igual ao conceito 1.	**Conceito 6** Utilzar defletor próximo ao tubo 1, mantendo as demais características igual ao conceito 1.	**Conceito 7** Uso de barreiras acústicas horizontal e vertical, defletor proximo ao T1, secção T1 oblongo, comprimento T1=68mm	**Conceito 8** Aumentar o volume do corpo e demais características igual ao conceito 1.	**Conceito 9** HIBRIDO 1 Geometria do bocal aberta, Defletor de fluxo próximo T1=68mm secção T1= Oblongo Barreiras acústicas= vertical e horizontal Volume do corpo= 661k	**Conceito 10** HIBRIDO 2 Geometria do bocal côncavo Defletor de fluxo distante T1=68mm secção T1= retângular Barreiras acústicas= vertical e horizontal Volume do corpo= 635k
RF1: Min. a temperatura do fluído na entrada da câmara de sucção	14%		0	0	0	1	1	1	0	0	1	1
RF2: Min. temperatura do fluído na saída da câmara (entrada da válvula de sucção)	14%		0	0	0	0	0	+	0	0	1	1
RF3: Maximizar o COPpv	14%		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
RF4: Maximizar o COPeff	5%		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
RF5: Min. perda de carga na sucção	14%		0	1	1	0	0	+	+	+	+	+
RF6: Min. perda de carga na descarga	14%		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RF7: Min. a perdas fixas	5%		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RF8: Min. a potência de entrada acústica (entrada da válvula de sucção)	5%		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
RF9: Min. a pressão de saída acústica (bocal da câmara)	5%		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
RF10: Min. pressão na carcaça na faixa de freqüência entre 600 e 800 Hz	5%		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
RF11: Min. pressão na carcaça na faixa de freqüência maior que 1.000 e menor que 3.000 Hz	5%		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
RF12: Min. pressão na carcaça para freqüências maiores que 3.000Hz	2%		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Igual a Ref. (0)			*8*	*7*	*7*	*7*	*7*	*5*	*4*	*4*	*2*	*2*
Melhor que a Ref. (+1)			*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*2*	*1*	*1*	*1*	*1*
Pior que a Ref.(-1)			*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
Sem informação suficiente (?)			*4*	*4*	*4*	*4*	*4*	*6*	*5*	*5*	*5*	*5*
PONTUAÇÃO FINAL (CONSIDERANDO OS PESOS DOS RFs)			*0,0000*	*0,1406*	*0,1406*	*0,1406*	*0,1406*	*0,1406*	*0,1094*	*0,1094*	*0,3906*	*0,3906*

Figura 16 - Matriz de seleção de conceitos Pugh, após análise qualitativa

- Avaliação Quantitativa:

Para alguns conceitos novos é difícil prever qualitativamente qual o impacto que ele irá gerar para determinados RFs, para estes casos foi necessário realizar análises quantitativas. Estas análises foram realizadas principalmente por simulações. Para a análise do impacto do comprimento do tubo 1 na eficiência do ciclo de compressão (RF3: Maximizar COPpv), utilizou-se um código de simulação de compressores originalmente desenvolvido por Ussyk (1984), o qual avalia todos os principais parâmetros relativos a operação do compressor. O código leva em consideração o deslocamento do pistão em função do tempo, o processo termodinâmico dentro do cilindro, o fluxo do fluído através das válvulas, dinâmica das válvulas, vazamentos pela folga pistão-cilindro, pulsação do gás dentro da câmara de sucção, eficiência, potência e ponto de carga do motor, simulações de mancais, simulações térmicas e termodinâmicas do refrigerante, além de propriedades termo físicas. Diversos parâmetros são calculados durante o ciclo de compressão, tais como: pressão instantânea em diversos instantes da compressão, taxa do fluxo de massa, dinâmica das válvulas, perdas de energia e massa, capacidade de refrigeração, consumo de energia, eficiência, etc.

As equações diferenciais associadas aos códigos de simulação do compressor são resolvidas via métodos numéricos Runge-Kutta de quarta ordem. Propriedades termodinâmicas podem ser avaliadas utilizando-se quatro equações diferentes: gazes perfeitos, Martin-Hou, Carnahan-Starling-DeSantis e Bennedict-Webb-Rubin modificado. O deslocamento de válvulas é modelado por superposição modal ou por um único grau de liberdade de um modelo massa-mola, enquanto que o fluxo de massa através delas é obtido em referência a um fluxo isentrópico unidirecional. Em ambos os casos o fluxo efetivo e as áreas de força precisam ser medidos previamente. O atrito de válvula é incluso de acordo com o modelo analítico proposto por Khalifa e Liu (1998). A pulsação do gás é modelada acusticamente considerando as câmaras como, ressonadores de Helmotz. Mancais são modelados através da teoria de mancais e opcionalmente um valor fixo pode ser definido para as perdas mecânicas.

Finalmente, o processo termodinâmico para o gás dentro do cilindro, poder ser avaliado tanto por um modelo polientrópico quanto pela primeira lei da termodinâmica. As temperaturas internas do compressor são informadas ao programa de simulação. Isto é realizado por meio de uma interface com um segundo código de simulação, o qual avalia a temperatura em oito volumes de controle por meio do balanço de energia e utilizando alguns programas de simulação de compressor como saída. Os volumes de controle considerados são: temperatura do refrigerante na câmara de sucção, paredes do cilindro, refrigerante na

câmara de descarga, refrigerante na descarga, ambiente interno e carcaça do compressor, motor elétrico e mancais. As equações de balanço de volumes de controle são resolvidas iterativamente e simultaneamente uma vez que elas dependem de todos os fluxos de massa do compressor.

Foram simulados diferentes comprimentos para o tubo 1, conforme mostra a figura A17. Para cada condição experimental simulada foi obtido um gráfico de pressão versus volume, conforme apresentado na figura A18, possibilitando calcular o COPpv.

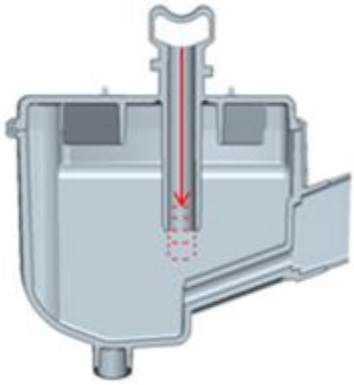


Figura A17 - Variação do comprimento do tubo 1

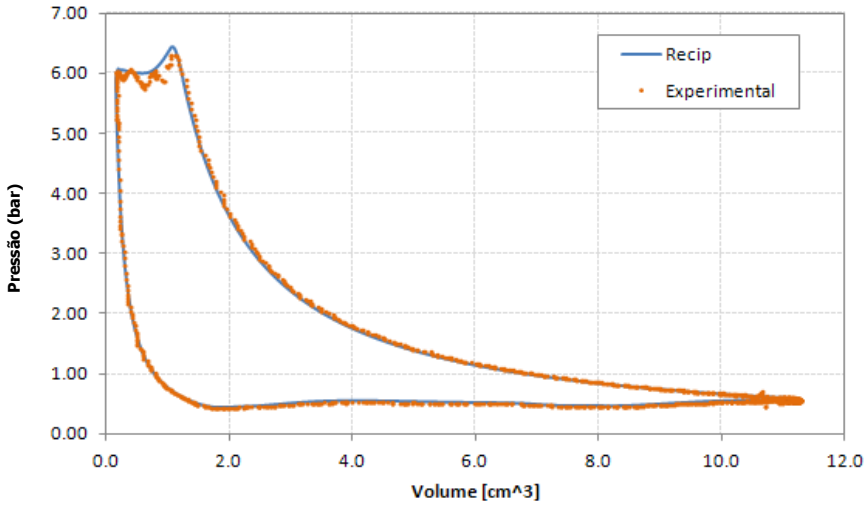


Gráfico A18 - Gráfico - Pressão x Volume

Com as informações desde gráfico é possível calcular a eficiência do processo de compressão, também comumente chamado por COPpv que vem do acrônimo inglês de Coeficient of Performance (Coeficiente de desempenho) e pv (pressure volume). Este coeficiente de desempenho é dado pela seguinte equação:

$$COP_{pv} = \frac{CAP}{CONS}$$

Onde: CAP= Capacidade do compressor em Watts;

CONS = Energia consumida no processo de compressão, medida em Watts.

Para cada comprimento do tubo 1 foi calculado sua eficiência de compressão chamado de COPPV, o qual leva em consideração apenas a energia utilizada no processo de compressão, desconsiderando a eficiência mecânica e do motor elétrico. Cada COPpv(n) foi subtraído do COPpv do compressor referência dando origem ao um delta COPpv, conforme apresentado na tabela A7 abaixo.

Tabela A8 - ΔCOP_{pv} para diferentes comprimentos de tubo 1

# Simulação	Comprimento tubo 1 (mm)	ΔCOP_{pv} (%)	Obs.
1	36	0,36	Válvula sucção sem sustentação
2	42	0,18	
3	55	- 0,07	
4	58	0,12	
5	68	0,53	Maior potencial
6	100	0,44	Não cabe dentro da câmara
7	130	- 0,23	

Uma vez alterado o comprimento do tubo 1, este pode influenciar no desempenho acústico, estes é um dos maiores esforços durante o desenvolvimento da câmara de sucção conseguir uma solução de compromisso ideal entre ruído e eficiência. É necessário e conduzir o fluído refrigerante para a entrada da sucção com o mínimo aumento de temperatura e perda de pressão e também atenuar o ruído gerado pela válvula de sucção.

A fim de esclarecer o fenômeno acústico foram realizadas algumas simulações numéricas. Modelos de elementos de limites, mais conhecido pelo acrônimo inglês BEM (Boundary Element Method), foram criados para cada configuração de comprimento de tubo e o método de elemento de limites direto foi utilizado para resolver as equações.

O método de elementos limites é obtido unindo-se dois componentes: a formulação do problema como uma equação integral de limites e o método de elementos finitos, mais conhecido pelo acrônimo em inglês FEM (Finite Element Method), da solução numérica. O BEM consiste na aplicação de um caso particular do método de elementos finitos para à uma formulação de equação integral limite de um dado problema. O BEM/FEM foi utilizado para predizer o desempenho acústico das câmaras de sucção com comprimento de tubo 1 alterado, conforme apresentado pelo gráfico A7.

Foi utilizado o software ANSYS para simular a câmara de compressão. O modelo de elemento finito foi construído sem interação fluído-estrutura. Nesta analise somente a

cavidade acústica foi modelada. As condições de limite aplicadas foram pressão na entrada, admitância e impedância na saída.

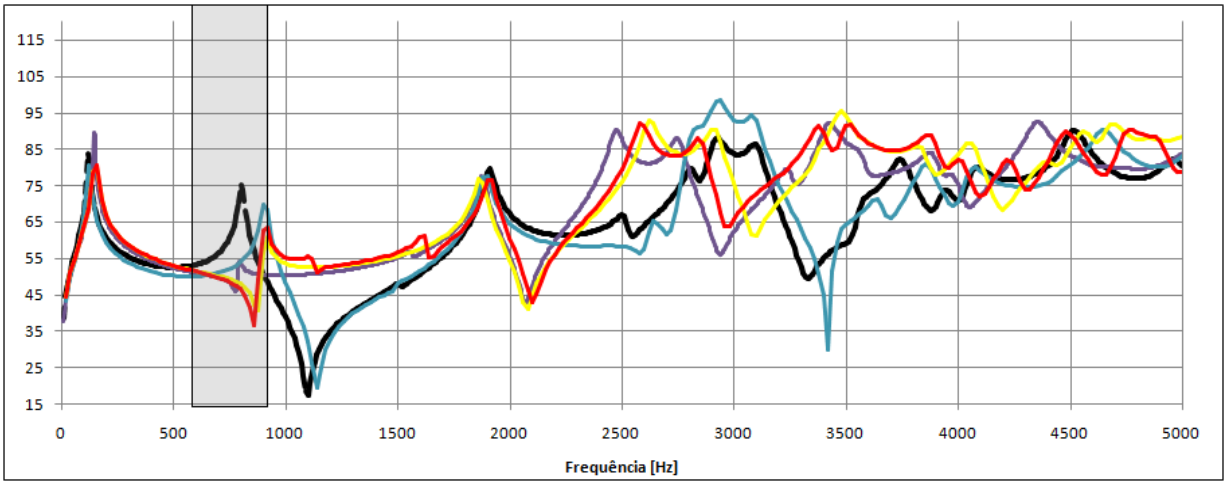


Gráfico A4 - Análise acústica de elementos finitos

Outro método numérico utilizado para as análises quantitativas foi a de dinâmica de fluídos, mais conhecido pelo acrônimo inglês CFD (Computacional Fluid Dynamics), que tem como objetivo principal prever o fluxo de fluído e transferência de calor envolvido em um projeto específico, permitindo a análise detalhada de componentes com menores custos e mais rápido que métodos experimentais (PEREIRA, E.L., et al., 2008).

O modelo computacional foi desenvolvido com um código CFD comercial baseado na metodologia de volumes finitos. O domínio da solução inclui a geometria da câmara de sucção, que devido a sua complexidade foi inicialmente gerada no software CAD e depois importada a um pré-processador para gerar a grade computacional.

Foram utilizados elementos de grade tetraédricos. As pressões de evaporação e condensação foram estabelecidas como condições de limite. Foi adotado condições de fluxo turbulento e as paredes da câmara de sucção foram consideradas como adiabáticas. Foi realizada esta simplificação, pois não existiam dados confiáveis disponíveis para as condições de transferência de calor das superfícies externas da câmara.

A temperatura de entrada da câmara foi definida com o valor medido no interior da câmara. A temperatura utilizada nas paredes da câmara de compressão foi obtida a partir do código de simulação de compressores originalmente desenvolvido por Ussyk (1984), já descrito anteriormente.

Utilizando-se uma modelagem em 3D é possível verificar a influência da geometria, por exemplo, na temperatura de entrada do gás, com isto foi possível avaliar a influência de diferentes bocais da câmara de sucção na temperatura do gás na entrada da câmara de compressão. Foram realizadas simulações para as geometrias aberta e côncavo e comparado

com a câmara referência que tem o bocal retangular, com isto foi possível estabelecer a diferença de temperatura entre a referência e as propostas, conforme apresentado pela figura A18. O melhor resultado obtido foi com a geometria côncava que apresentou uma redução de temperatura de aproximadamente 0,8 °C.

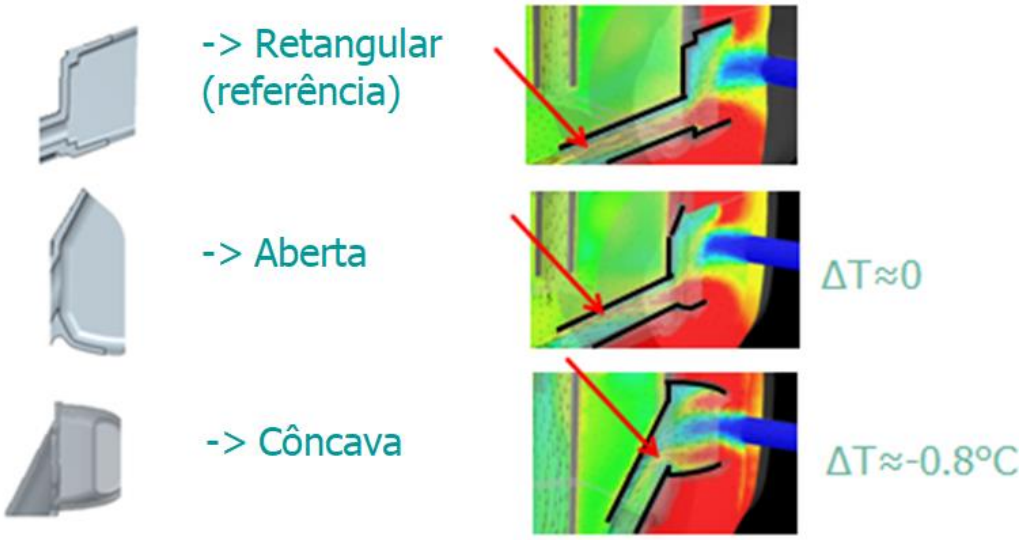


Figura 17 - Delta temperatura para diferentes geometrias de bocal

As análises quantitativas possibilitaram responder qual o impacto dos novos conceitos a diferentes RFs. Permitindo completar a pontuação da matriz Pugh e a seleção do conceito que melhor atende os VOCs. Após a análise quantitativa o conceito selecionado foi o conceito número 9.

Detalhar o conceito selecionado

Após a seleção do conceito foi realizado um rápido detalhamento da câmara de sucção selecionada, comparando-a com a câmara referência e indicando os principais pontos de alteração, a figura 4.20 mostra este detalhamento e as principais alterações.

Analisar riscos do conceito

Após o detalhamento do conceito foi realizada uma análise de potências falhas que poderiam ocorrer com este novo conceito. A tabela A8 mostra um extrato da análise FMEA.

Tabela A9 - Análise FMEA câmara de sucção

Item / Função	Requisito	Potencial modo de falha	Potencial efeito	Severidade	Possivel causa da falha	Controles atuais para prevenção	Ocorrência da Causa da Falha	Controles atuais para detecção	Detecção	Severidade x Ocorrência	RPN
Componente/Sistema											
Câmara de sucção / Função de atenuar a transmissão de ruído e succionar o fluído refrigerante para a válvula de sucção	1. Não tocar a carcaça durante as partidas e funcionamento	1. Camâra toca a carcaça	Câmara quebrar	8	Camara de sucção muito proxima a carcaça devido aumento de volume	Análise dimensional	4	Teste de "Shaker"	5	82	80
					Bocal próximo a caracaça	Análise dimensional	2	Teste de "Shaker" Teste de ruído	5	82	80

Foi dada ênfase aos pontos de modificação da câmara, como o exemplo mostrado no extrato do FMEA da figura A19 que mostra a preocupação do toque da câmara com a carcaça devido o aumento do tamanho do corpo da câmara e modificações na geometria do bocal.

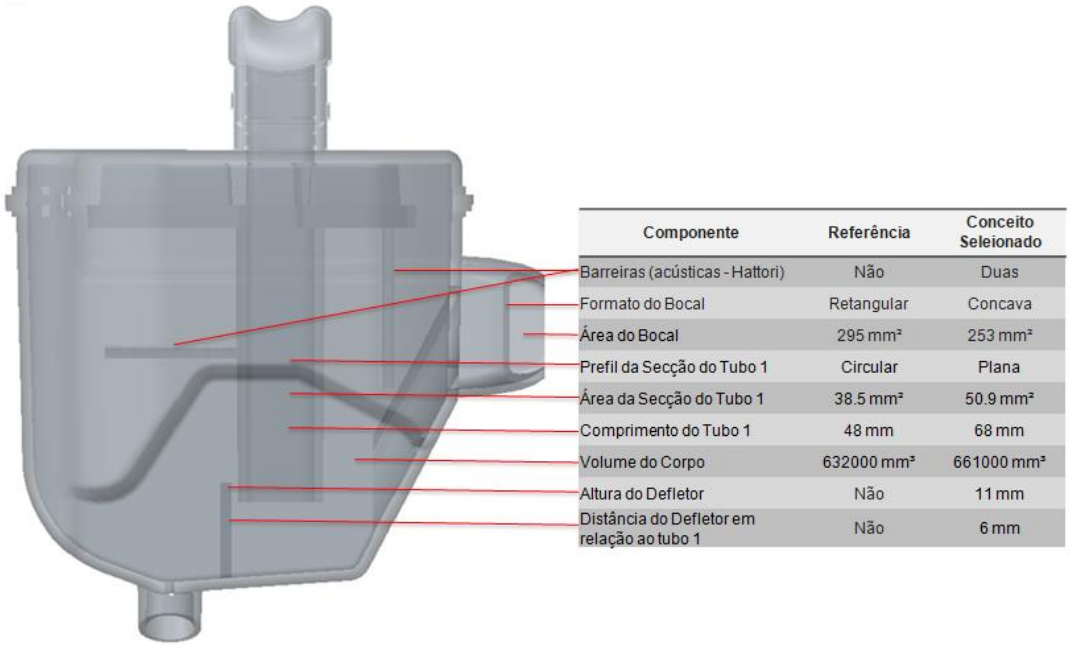


Figura 18 - Detalhamento do conceito selecionado

Etapa Otimizar

Após o detalhamento e análise de risco do conceito selecionado, alguns PPs e RFs foram otimizados. Os primeiros PPs otimizados foram os relacionados ao defletor de fluxo. Havia dúvida de qual a melhor posição do defletor se próxima ou mais distante do tubo 1, qual a altura ideal e perfil de melhor desempenho. Para a obtenção da configuração ótima foi realizado um planejamento de experimento fatorial completo, também conhecido pelo seu acrônimo inglês *DOE (Design of Experiments*). Neste experimento foram consideradas três características geométricas do defletor (perfil, altura e posição) conforme mostra a figura A20, resultando num total de oito experimentos (23=8).

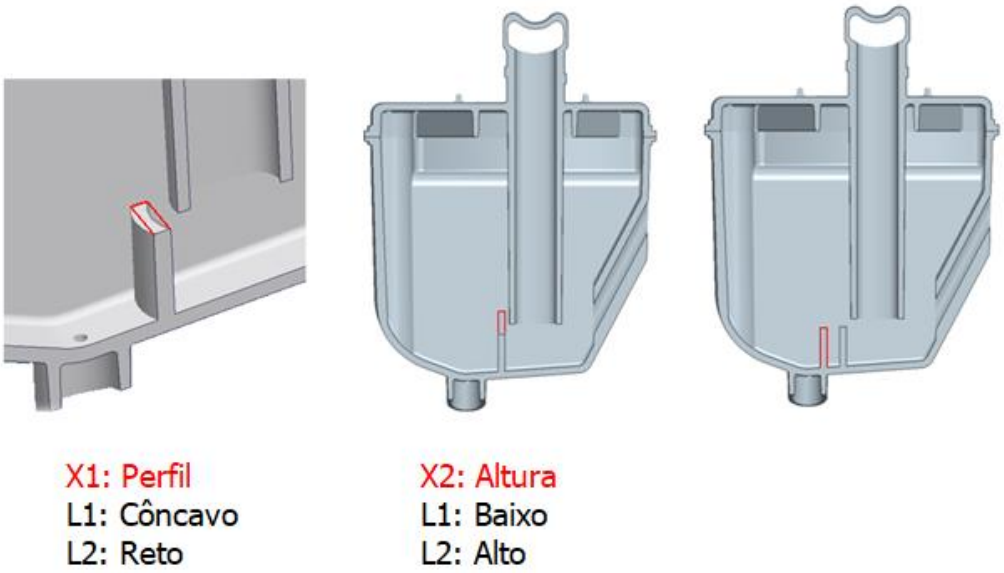


Figura 19 - Níveis dos parâmetros de produto do defletor

Cada configuração foi modelada e analisada via CFD, obtendo-se os valores de temperatura na saída da câmara (RF2: Minimizar temperatura na saída da câmara). A tabela A9 mostra os resultados para cada rodada experimental.

Tabela A10 - Características do defletor x temperatura de saída da câmara

# Exp.	Perfil	Altura (mm)	Posição (mm) *Distância tubo1	Temperatura na saída (°C)
1	Reto	8	6	51.7
2	Reto	8	8	51.8
3	Reto	11	6	51.6
4	Reto	11	8	51.7
5	Côncavo	8	6	51.8
6	Côncavo	8	8	51.8
7	Côncavo	11	6	51.8
8	Côncavo	11	8	51.8

Os resultados forma analisados com a ajuda do software estatístico Minitab. A tabela 10 e os gráficos 8 e 9 mostram a tabela de ANOVA, gráfico de Pareto e gráfico dos fatores principais respectivamente.

Tabela A11 – ANOVA – otimização RF2

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	5	0,052500	0,010500	16,80	0,057
Linear	3	0,036250	0,012083	19,33	0,050
Perfil	1	0,020000	0,020000	32,00	0,030
Altura (mm)	1	0,011250	0,011250	18,00	0,051
Dist. Tubo1	1	0,005000	0,005000	8,00	0,106
Interações de 2 fatores	2	0,016250	0,008125	13,00	0,071
Perfil*Altura (mm)	1	0,005000	0,005000	8,00	0,106
Perfil*Dist. Tubo1	1	0,011250	0,011250	18,00	0,051
Erro	2	0,001250	0,000625		
Total	7	0,053750			

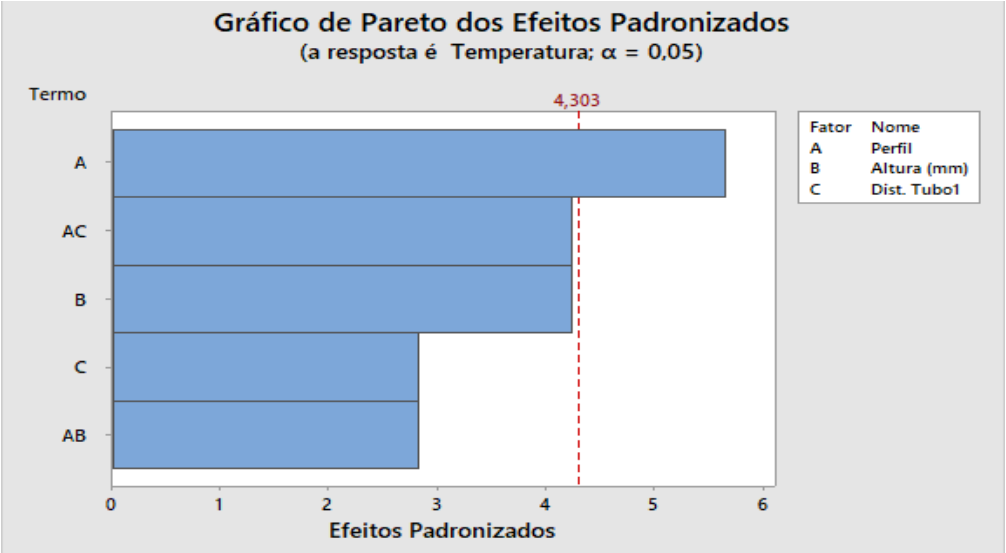


Gráfico A5 - Pareto dos efeitos padronizados – otimização RF2

]

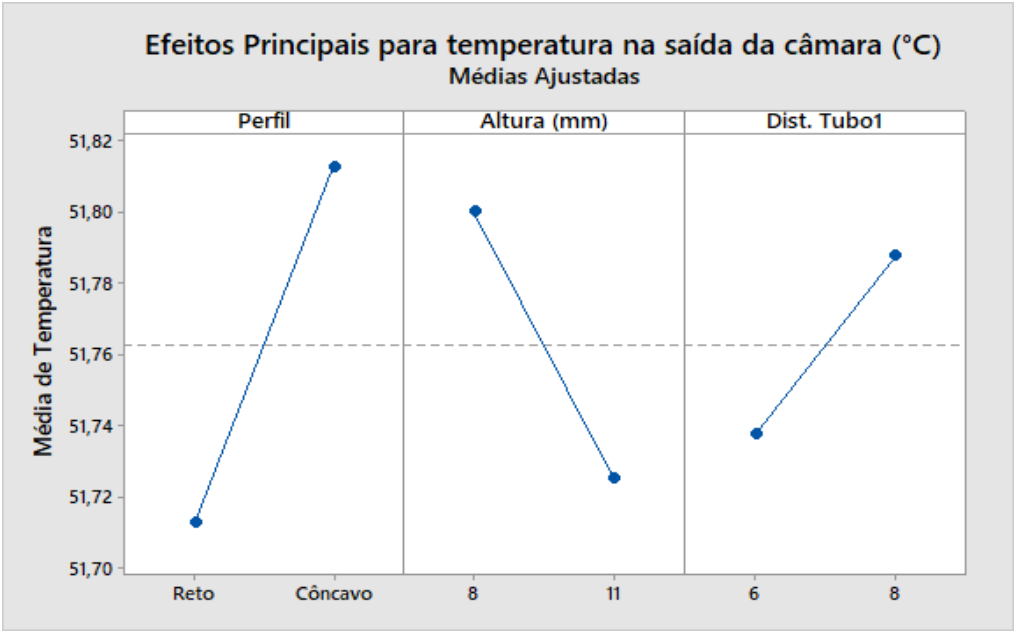
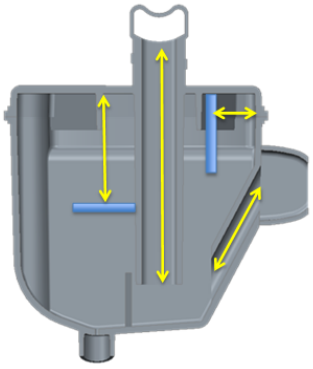


Gráfico A6 – Efeitos principais de temperatura de saída da câmara – otimização RF2

Como pode ser observado no gráfico de Pareto o perfil do defletor é o fator mais influente no RF2, sendo o perfil cônico o melhor. A altura foi ajustada para 11mm e a distância do tubo 1 para 6mm. Estes ajustes permitiram uma redução de aproximadamente 0,7°C quando comparado com o conceito referência, melhorando a densidade do fluído refrigerante e garantindo assim uma melhora na eficiência do compressor.

Além dos parâmetros de produto do defletor, outros PPs como o comprimento dos tubos 1 e 2, distâncias da barreira horizontal em relação ao topo da câmara e distância da barreira vertical em relação ao tubo 1 foram otimizados, desta vez com foco no desempenho acústico. Estes PPs são apresentados na figura A21.



Fatores	Nível (-)	Nível (+)
Distância da barreira vertical (mm)	13	21
Distância da barreira horizontal (mm)	8	13
Comprimento tubo 2 (mm)	25	30
Comprimento tubo 1 (mm)	64	68

Figura 20 - PPs da câmara de sucção que influenciam o desempenho acústico

Os RFs relacionados ao desempenho acústico são:

- RF10: Min. pressão na carcaça na faixa de Frequência entre 600 e 800 Hz;
- RF11: Min. pressão na carcaça na faixa de Frequência maior que 1.000 e menor que 3.000 Hz;
- RF12: Min. pressão na carcaça para Frequências maiores que 3.000Hz S.

Para a definição da configuração ótima destes PPs foi planejado um experimento fatorial completo, resultado num total de dezesseis rodadas experimentais (2^4=16). Cada configuração foi modelada e simulada via FEM, e foram medida a pressão na carcaça em diferentes faixas de Frequências (Y_1: 630 Hz, Y_2: 800 Hz, Y_3: 1000 Hz, Y_4: 1250 Hz, Y_5: 1600 Hz, Y_6: 2000 Hz, Y_7: 3150 Hz, Y_8: 4000 Hz). Os resultados para cada rodada experimental nas diversas Frequências é apresentado na tabela A11.

Tabela A12 - Características do defletor x temperatura de saída da câmara

xp.	Posição Barreira vertical (mm)	Posição Barreira horizontal (mm)	Comp. Tubo 2(mm)	Comp. Tubo 1 (mm)	Pressão na carcaça (bar)							
					Y_1 630Hz	Y_2 800Hz	Y_3 1000Hz	Y_4 1250Hz	Y_5 1600Hz	Y_6 2000Hz	Y_7 3150Hz	Y_8 3150Hz
1	13	8	25	64	126,66	105,51	106,03	111,01	122,12	128,11	128,33	126,59
2	21	8	25	64	128,95	100,73	108,71	114,94	116,65	128,68	128,47	125,72
3	13	13	25	64	128,98	103,43	104,90	111,05	122,35	133,56	124,93	126,83
4	21	13	25	64	127,58	101,45	108,05	116,10	112,93	134,19	124,47	126,99
5	13	8	30	64	122,46	104,28	106,31	111,78	122,65	127,91	130,53	132,24
6	21	8	30	64	123,07	108,59	109,28	116,21	116,01	128,08	130,58	131,84
7	13	13	30	64	123,22	105,59	106,38	112,72	123,11	134,19	126,44	132,96
8	21	13	30	64	124,98	109,09	109,02	116,96	113,25	134,62	126,03	132,89
9	13	8	25	68	128,94	97,87	105,83	111,39	126,51	131,58	128,18	131,51
10	21	8	25	68	127,58	103,65	108,90	114,73	126,02	131,66	128,31	131,03
11	13	13	25	68	130,56	101,34	107,97	115,35	126,67	136,95	126,73	134,12
12	21	13	25	68	127,68	103,95	108,35	116,16	115,71	134,38	123,67	130,76
13	13	8	30	68	127,70	103,97	108,36	116,19	115,73	134,40	123,70	130,76
14	21	8	30	68	120,86	109,55	109,97	116,38	124,16	131,45	130,57	134,54
15	13	13	30	68	123,26	107,86	107,06	115,08	123,06	134,63	126,58	136,93
16	21	13	30	68	121,39	110,19	109,86	116,13	116,90	134,89	126,04	136,00

Os dados foram analisados no software estatístico Minitab conforme seguem abaixo:

- Análise de Y_1 Frequência de 630 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A12) e Gráfico de Pareto (gráfico A10):

Tabela A13 - ANOVA e Regressão da resposta Y1- 630Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	5	122,637	24,5274	12,08	0,001
Linear	4	106,214	26,5535	13,08	0,001
Barreira Hor.	1	5,869	5,8685	2,89	0,120
Barreira Ver.	1	0,128	0,1278	0,06	0,807
Comp. T1	1	99,950	99,9500	49,22	0,000
Comp. T2	1	0,268	0,2678	0,13	0,724
Interações de 2 fatores	1	16,423	16,4228	8,09	0,017
Barreira Hor.*Comp. T2	1	16,423	16,4228	8,09	0,017
Erro	10	20,305	2,0305		
Total	15	142,942			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
1,42496	85,79%	78,69%	63,63%

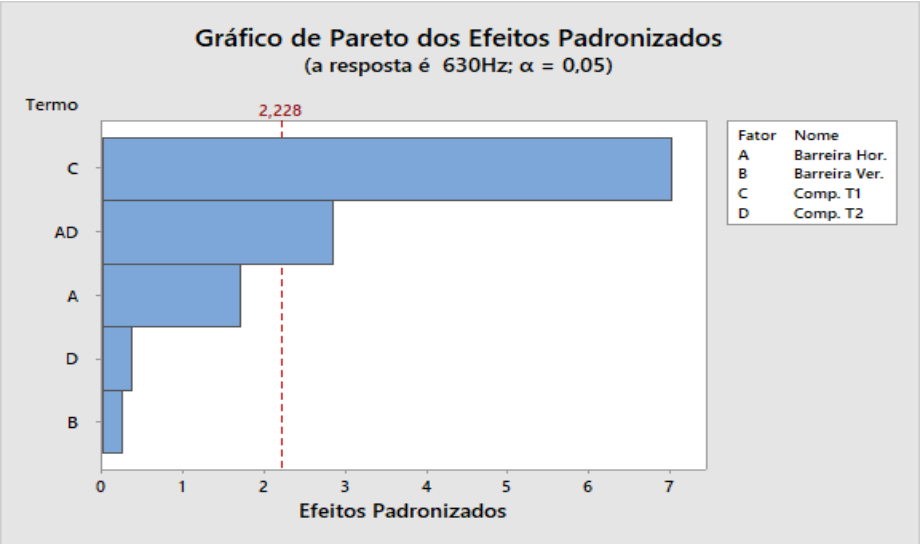


Gráfico A7 - Pareto dos efeitos padronizados de Y1- 630Hz – Otimização RF10-12

- Análise de Y_2 Frequência de 800 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A13) e Gráfico de Pareto (gráfico 11):

Tabela A14 - ANOVA e Regressão da resposta Y2 - 800Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	6	156,586	26,098	7,59	0,004
Linear	4	129,643	32,411	9,42	0,003
Barreira Hor.	1	18,814	18,814	5,47	0,044
Barreira Ver.	1	4,785	4,785	1,39	0,268
Comp. T1	1	106,039	106,039	30,84	0,000
Comp. T2	1	0,005	0,005	0,00	0,970
Interações de 2 fatores	2	26,943	13,472	3,92	0,060
Barreira Hor.*Comp. T1	1	12,408	12,408	3,61	0,090
Barreira Hor.*Comp. T2	1	14,535	14,535	4,23	0,070
Erro	9	30,950	3,439		
Total	15	187,536			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
1,85442	83,50%	72,49%	47,84%

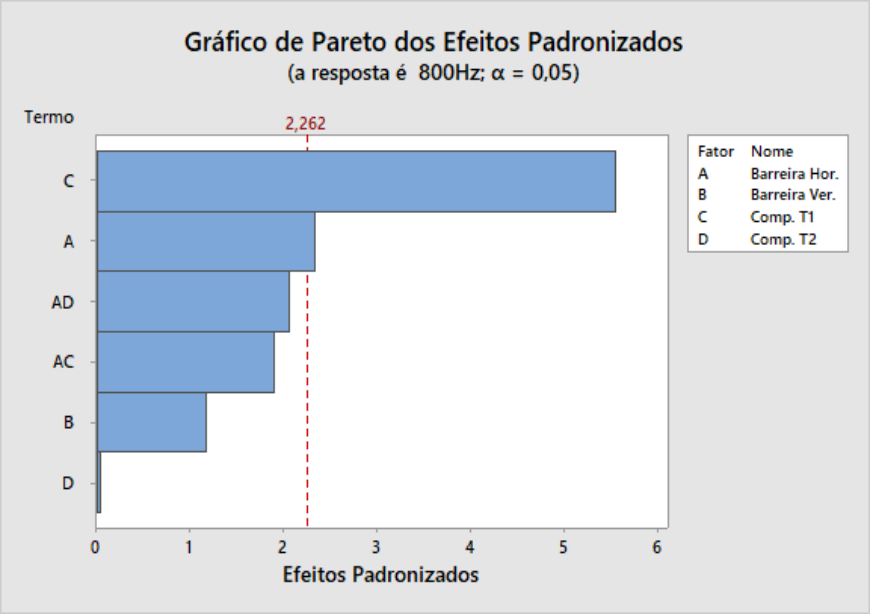


Gráfico A8 - Pareto dos efeitos padronizados de Y2- 800Hz – Otimização RF10-12

- Análise de Y_3 Frequência de 1.000 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela 14) e Gráfico de Pareto (gráfico 12):

Tabela A15 - ANOVA e Regressão da resposta Y3- 1000Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	4	30,6278	7,6569	17,00	0,000
Linear	4	30,6278	7,6569	17,00	0,000
Barreira Hor.	1	23,2806	23,2806	51,68	0,000
Barreira Ver.	1	0,2025	0,2025	0,45	0,516
Comp. T1	1	3,5156	3,5156	7,80	0,017
Comp. T2	1	3,6290	3,6290	8,06	0,016
Erro	11	4,9550	0,4505		
Total	15	35,5828			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,671159	86,07%	81,01%	70,54%

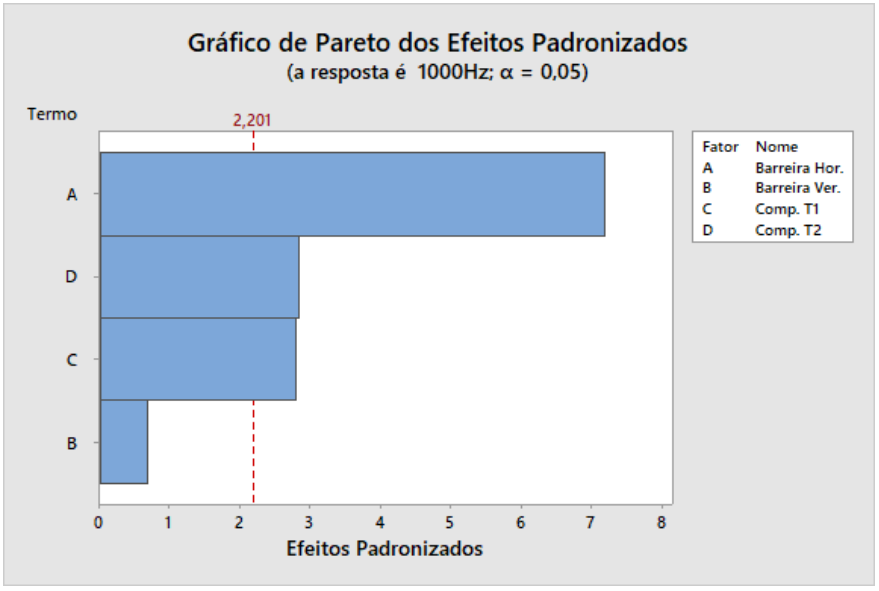


Gráfico 9 - Pareto dos efeitos padronizados de Y3- 1000Hz – Otimização RF10-12

- Análise de Y_4 Frequência de 1.250 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A15) e Gráfico de Pareto (gráfico A13):

Tabela A16 - ANOVA e Regressão da resposta Y4- 1250Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	6	62,272	10,3787	13,96	0,000
Linear	4	50,428	12,6071	16,96	0,000
Barreira Hor.	1	33,178	33,1776	44,62	0,000
Barreira Ver.	1	2,993	2,9929	4,03	0,076
Comp. T1	1	7,182	7,1824	9,66	0,013
Comp. T2	1	7,076	7,0756	9,52	0,013
Interações de 2 fatores	2	11,843	5,9217	7,96	0,010
Barreira Hor.*Comp. T2	1	9,394	9,3942	12,63	0,006
Barreira Ver.*Comp. T1	1	2,449	2,4492	3,29	0,103
Erro	9	6,692	0,7435		
Total	15	68,964			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,862273	90,30%	83,83%	69,33%

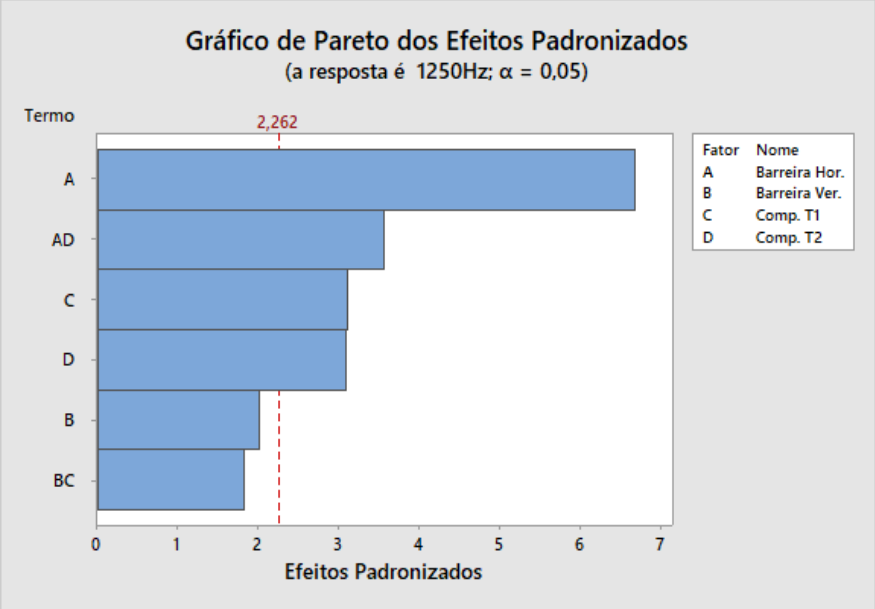


Gráfico A10 - Pareto dos efeitos padronizados de Y4- 1250Hz – Otimização RF10.

- Análise de Y_5 Frequência de 1.600 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A16) e Gráfico de Pareto (gráfico A14):

Tabela 17 - ANOVA e Regressão da resposta Y5- 1600Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	7	284,08	40,583	5,37	0,015
Linear	4	172,27	43,067	5,70	0,018
Barreira Hor.	1	102,87	102,870	13,62	0,006
Barreira Ver.	1	15,74	15,741	2,08	0,187
Comp. T1	1	12,41	12,408	1,64	0,236
Comp. T2	1	41,25	41,249	5,46	0,048
Interações de 2 fatores	3	111,81	37,271	4,93	0,032
Barreira Hor.*Barreira Ver.	1	64,92	64,923	8,60	0,019
Barreira Hor.*Comp. T2	1	30,83	30,830	4,08	0,078
Comp. T1*Comp. T2	1	16,06	16,060	2,13	0,183
Erro	8	60,43	7,554		
Total	15	344,51			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
2,74838	82,46%	67,11%	29,84%

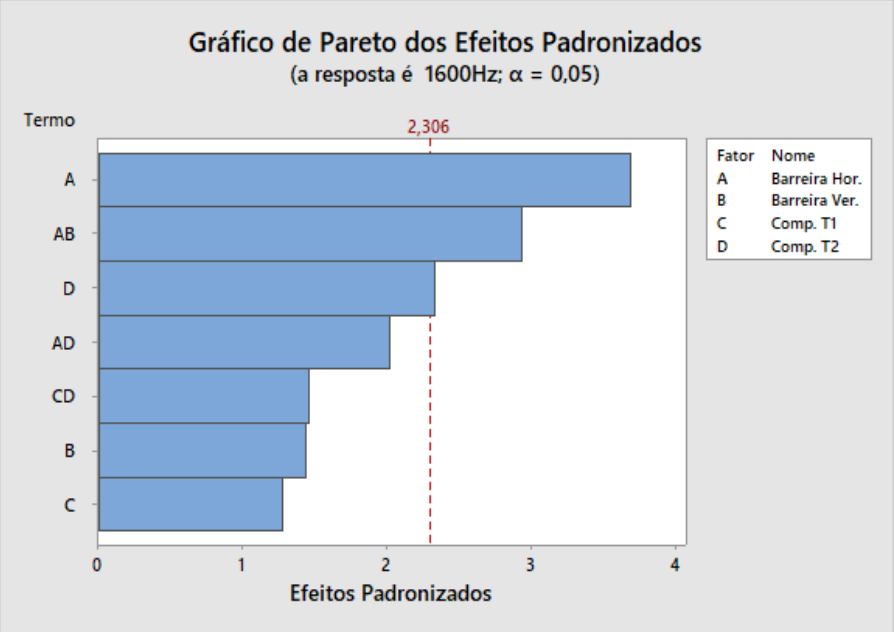


Gráfico A11 - Pareto dos efeitos padronizados de Y5- 1600Hz – Otimização RF10-12

- Análise de Y_6 Frequência de 2.000 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A17) e Gráfico de Pareto (gráfico A15):

Tabela A18 - ANOVA e Regressão da resposta Y6- 2000Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	6	118,325	19,7208	24,34	0,000
Linear	4	106,250	26,5625	32,78	0,000
Barreira Hor.	1	0,714	0,7140	0,88	0,372
Barreira Ver.	1	78,943	78,9432	97,43	0,000
Comp. T1	1	0,070	0,0702	0,09	0,775
Comp. T2	1	26,522	26,5225	32,73	0,000
Interações de 2 fatores	2	12,075	6,0375	7,45	0,012
Barreira Hor.*Comp. T2	1	3,045	3,0450	3,76	0,084
Barreira Ver.*Comp. T2	1	9,030	9,0300	11,14	0,009
Erro	9	7,292	0,8102		
Total	15	125,617			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,900134	94,19%	90,32%	81,65%

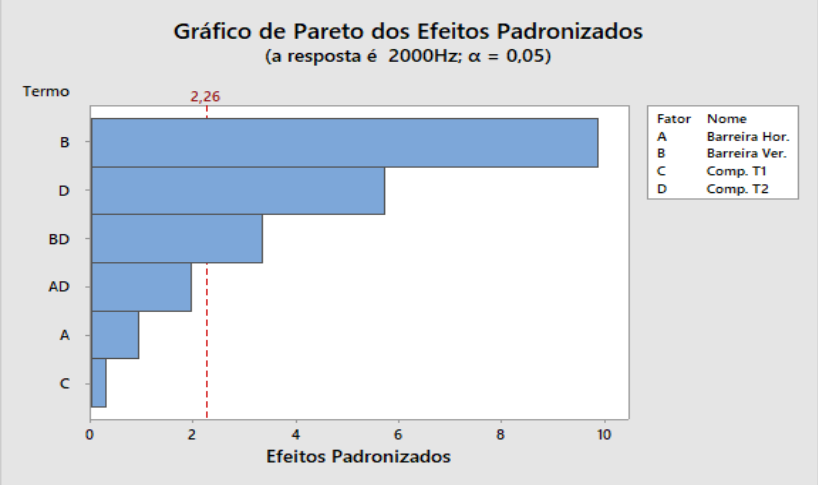


Gráfico 12 - Pareto dos efeitos padronizados de Y6- 2000Hz – Otimização RF10-12

- Análise de Y_7 Frequência de 2.500 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A18) e Gráfico de Pareto (gráfico A16):

Tabela A19 - ANOVA e Regressão da resposta Y7- 2.500Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	5	49,9567	9,9913	3,33	0,050
Linear	4	41,4595	10,3649	3,45	0,051
Barreira Hor.	1	0,4624	0,4624	0,15	0,703
Barreira Ver.	1	35,3430	35,3430	11,76	0,006
Comp. T1	1	3,4040	3,4040	1,13	0,312
Comp. T2	1	2,2500	2,2500	0,75	0,407
Interações de 2 fatores	1	8,4972	8,4972	2,83	0,124
Barreira Hor.*Barreira Ver.	1	8,4972	8,4972	2,83	0,124
Erro	10	30,0418	3,0042		
Total	15	79,9985			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
1,73326	62,45%	43,67%	3,86%

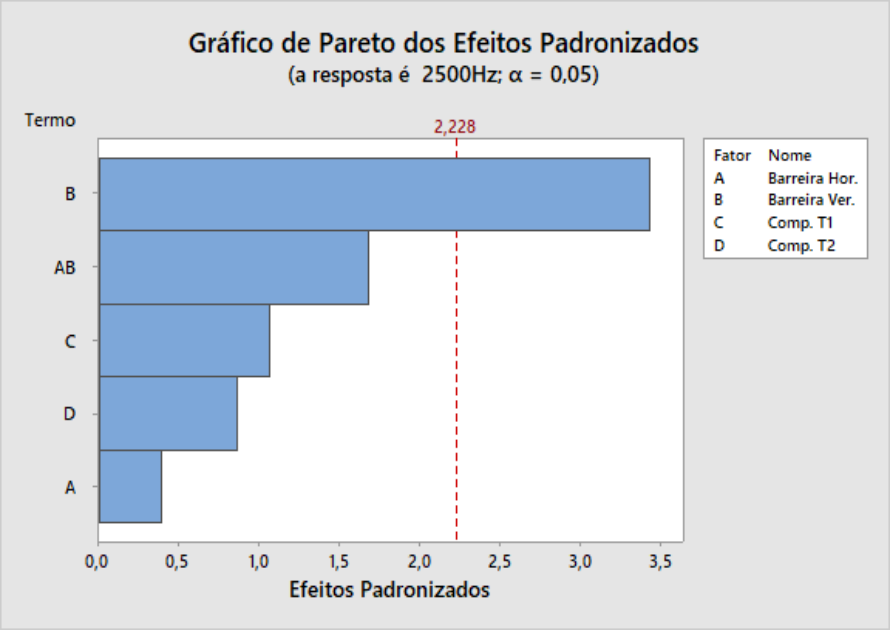


Gráfico A13 - Pareto dos efeitos padronizados de Y7- 2.500Hz – Otimização RF10-12

- Análise de Y_8 Frequência de 3.150 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A19) e Gráfico de Pareto (gráfico A17):

Tabela A20 - ANOVA e Regressão da resposta Y8- 3150Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	5	151,402	30,2804	15,28	0,000
Linear	4	140,856	35,2139	17,77	0,000
Barreira Hor.	1	0,294	0,2943	0,15	0,708
Barreira Ver.	1	10,973	10,9727	5,54	0,040
Comp. T1	1	74,866	74,8658	37,77	0,000
Comp. T2	1	54,723	54,7230	27,61	0,000
Interações de 2 fatores	1	10,546	10,5463	5,32	0,044
Comp. T1*Comp. T2	1	10,546	10,5463	5,32	0,044
Erro	10	19,820	1,9820		
Total	15	171,222			

-

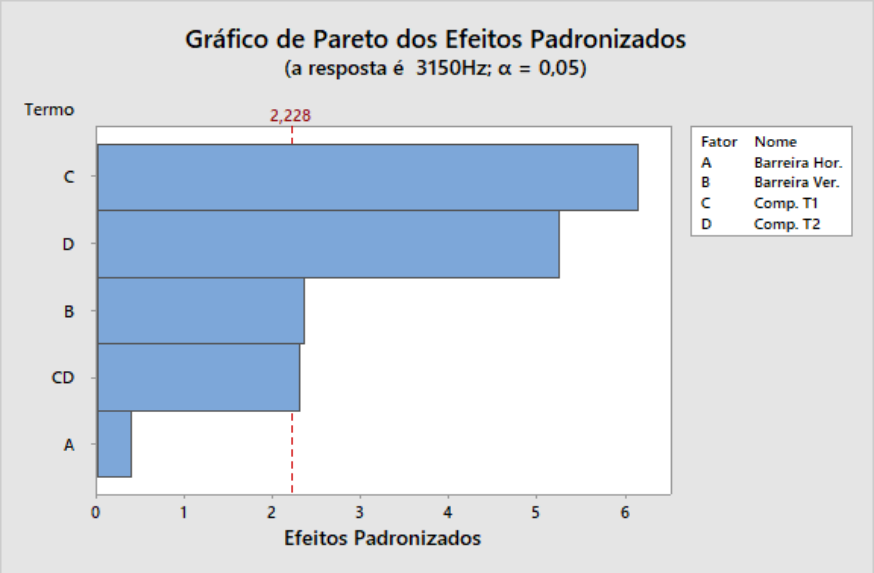


Gráfico A14 - Pareto dos efeitos padronizados de Y8- 3150Hz – Otimização RF10-12

- Análise de Y_9 Frequência de 4000 Hz conforme realizado na tabela ANOVA (tabela A20) e Gráfico de Pareto (gráfico A18):

Tabela A21 - ANOVA e Regressão da resposta Y9- 4000Hz – Otimização RF10-12

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	7	165,479	23,640	15,24	0,000
Linear	4	152,890	38,222	24,65	0,000
Barreira Hor.	1	1,762	1,762	1,14	0,318
Barreira Ver.	1	11,306	11,306	7,29	0,027
Comp. T1	1	93,751	93,751	60,45	0,000
Comp. T2	1	46,070	46,070	29,71	0,001
Interações de 2 fatores	3	12,589	4,196	2,71	0,116
Barreira Hor.*Barreira Ver.	1	4,569	4,569	2,95	0,124
Barreira Hor.*Comp. T1	1	4,050	4,050	2,61	0,145
Comp. T1*Comp. T2	1	3,970	3,970	2,56	0,148
Erro	8	12,407	1,551		
Total	15	177,885			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
1,24532	93,03%	86,92%	72,10%

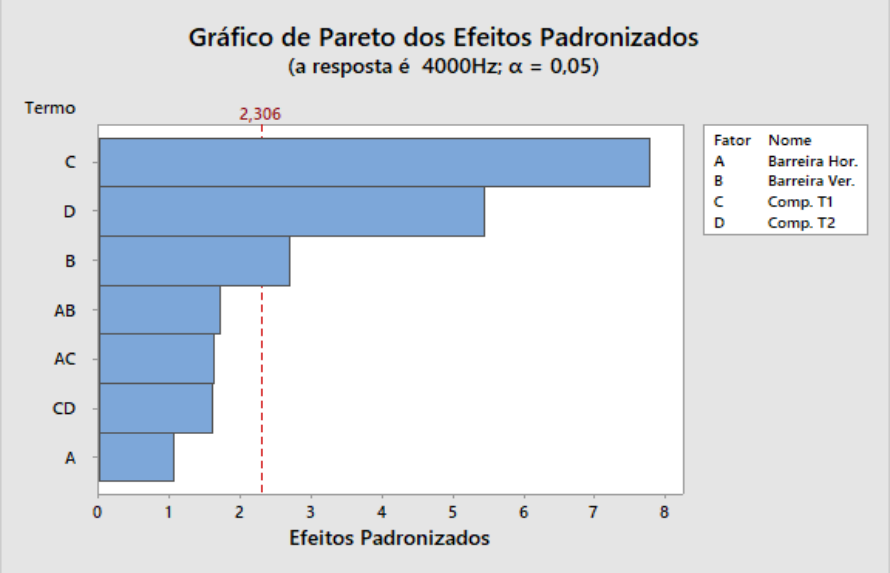


Gráfico A18 - Pareto dos efeitos padronizados de Y9- 4000Hz – Otimização RF10-12

Porém atingir o ponto de ótimo de cada resposta, cada faixa de Frequência, os ajustes dos PPs eram diferentes, sendo em muitas vezes em níveis opostos. Para encontrar a melhor configuração dos PPs utilizou-se otimizador de respostas do software Minitab, o *Response Optmizer*.

Para o processo de otimização foram definidos os seguintes pesos e importâncias por faixa de Frequência, conforme mostra a tabela A21:

Tabela 22 - Características do defletor x temperatura de saída da câmara

Resposta	Peso	Importância
Y1 – 630 Hz	0,2	1
Y2 – 800 Hz	0,2	0,8
Y3 – 1000 Hz	0,2	0,5
Y4 – 1250 Hz	0,2	0,5
Y5 – 1600 Hz	0,2	0,5
Y6 – 2000 Hz	0,2	0,8
Y7 – 2500 Hz	0,2	0,8
Y8 – 3150 Hz	0,2	0,8
Y9 – 4000 Hz	0,2	0,5

Os resultados da otimização são mostrados no gráfico A19 e na tabela A22.

Tabela A23 - Resultados da otimização dos RF10-12

Solução

Solução	Barreira Hor.	Barreira Ver.	Comp. T1	Comp. T2	4000Hz Ajuste	3150Hz Ajuste	2500Hz Ajuste	2000Hz Ajuste	1600Hz Ajuste
1	13	8	25,4040	64	126,434	126,321	127,673	127,914	121,433

Solução	1250Hz Ajuste	1000Hz Ajuste	800Hz Ajuste	630Hz Ajuste	Desirability Composta
1	110,318	105,848	102,736	127,336	0,907403

Predição de Múltiplas Respostas

Variável	Configuração
Barreira Hor.	13
Barreira Ver.	8
Comp. T1	25,404
Comp. T2	64

Resposta	Ajuste	EP do Ajustado	IC de 95%	IP de 95%
4000Hz	126,434	0,830	(124,520; 128,348)	(122,983; 129,885)
3150Hz	126,321	0,818	(124,497; 128,144)	(122,693; 129,949)
2500Hz	127,67	1,03	(125,37; 129,98)	(123,18; 132,17)
2000Hz	127,914	0,583	(126,597; 129,232)	(125,489; 130,340)
1600Hz	121,43	1,87	(117,12; 125,75)	(113,77; 129,10)
1250Hz	110,318	0,546	(109,084; 111,552)	(108,009; 112,626)
1000Hz	105,848	0,364	(105,047; 106,649)	(104,168; 107,529)
800Hz	102,74	1,17	(100,08; 105,39)	(97,77; 107,70)
630Hz	127,336	0,851	(125,441; 129,232)	(123,638; 131,034)

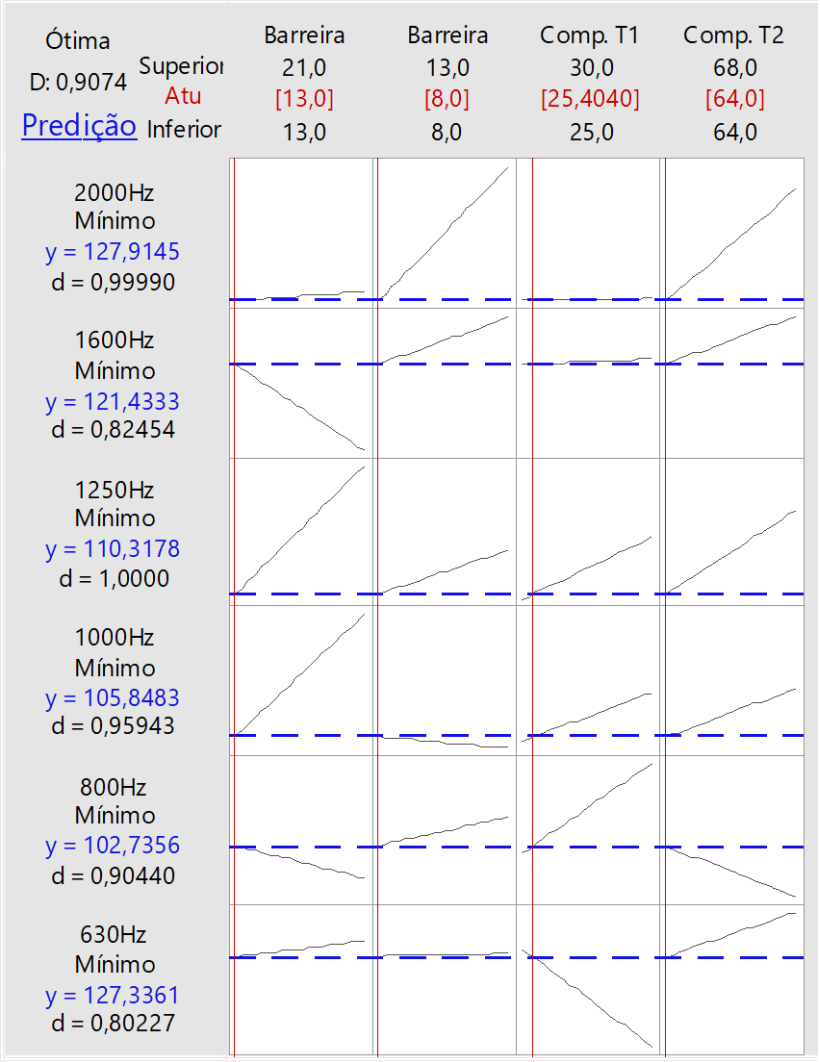


Gráfico A15 - Gráfico do ajuste dos PPs após otimização - RF10-12

O otimizador sugeriu as seguintes configurações para os PPs:

- Barreira Horizontal 13mm
- Barreira Vertical 8 mm
- Comprimento do tubo 1 = 64 mm
- Comprimento do tubo 2 = 25,4 mm

Com estes ajustes a câmara conseguira obter o máximo desempenho acústico.

Etapa Verificar

A última do roteiro DFSS é reservada a verificação dos resultados. Esta é realizada com protótipos funcionais construídos na configuração final definia após a otimização. O primeiro conjunto de RFs validado é referente a eficiência (COP), a figura A22 mostra os RFs que foram verificados experimentalmente.

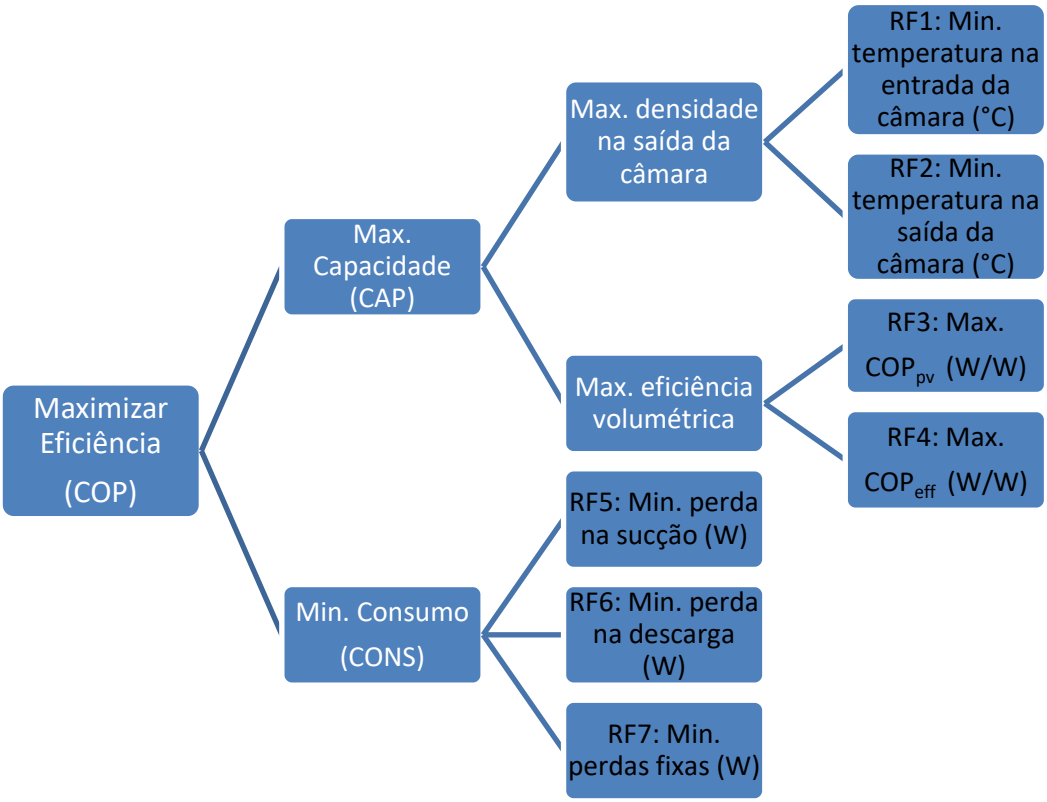


Figura 21 – RFs de eficiência avaliados experimentalmente

Para verificar o desempenho da câmara de sucção desenvolvida os compressores foram instrumentados e medidos em calorímetro. O calorímetro é um equipamento desenvolvido para realizar medições específicas para compressores, com ele é possível obter medidas como: consumo de energia, fluxo de massa, movimento de válvulas, temperatura e pressões do fluído refrigerante em diferentes partes do compressor. Uma representação esquemática do calorímetro é mostrada na figura A23.

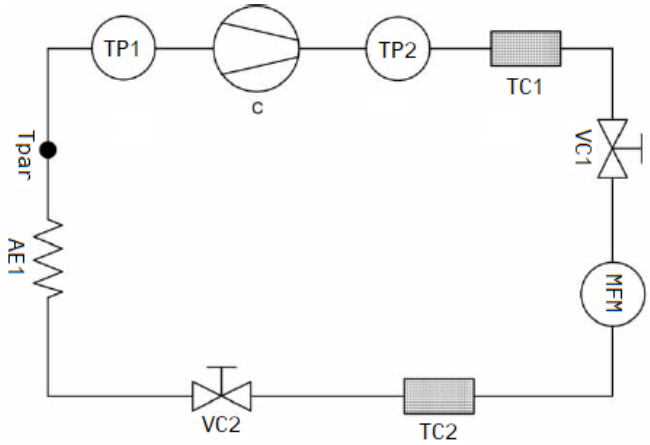


Figura 22 - Representação esquemática de um calorímetro

O equipamento é composto por linhas de alimentação de fluído, válvulas de controle (VC), medidores de fluxo de massa (MFM), trocadores de calor (TC), um termopar (TPar) e transdutores de pressão (TP).O calorímetro é projetado de forma que o fluído refrigerante posse passar pelos estados indicados no diagrama pressão-entalpia da figura A24.

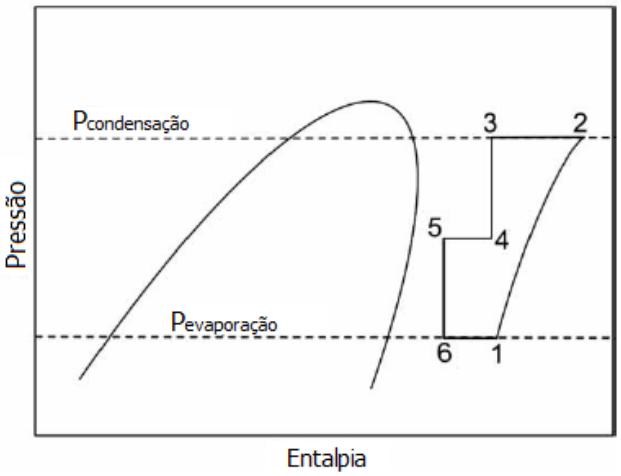


Figura A24 - Diagrama pressão-entalpia

De acordo com esta configuração o refrigerante entra no compressor (c) da figura, no ponto 1 da figura 34, então é comprimido até o ponto 2. Depois, após ser resfriado pelo trocador de calor (TC1) vai para o ponto, o refrigerante é restringido adiabaticamente para um nível intermediário de pressão (ponto 4), por meio da válvula de controle (VC1), na qual o fluxo de massa é obtido com um medidor de fluxo de massa (MFM).

O refrigerante é resfriado novamente com um trocador de calor (TC2) até o ponto 5 e restringido via válvula de controle (VC2) até a pressão de evaporação (ponto 6). Finalmente com a ajuda de um aquecedor elétrico (AE1) e um termopar (Tpar), a temperatura da linha de sucção do compressor é ajustada para a condição desejada de superaquecido (ponto 1), completando a operação.

Por meio do ajuste da carga de refrigerante no sistema e o ajuste das válvulas de controle, trocadores de calor e aquecedores, as condições termodinâmicas dos pontos 1 e 2 são ajustadas para qualquer condição de teste. A principal vantagem desde ajuste experimental é que o compressor pode ser analisado sem qualquer referência a um sistema de refrigeração específico.

Além da preparação do calorímetro o compressor precisa se preparado para se obter as medições necessárias, esta preparação é chamada de instrumentação. Nela transdutores de pressão piezelétricos são instalados nas câmaras de sucção e descarga e dentro do cilindro. Para correlacionar as medições de pressão com o ângulo de manivela um sensor de bobina é

montado no bloco para coletar o sinal emitido por um imã fixado no eixo. A posição instantânea é calculada levando em consideração as características do mecanismo do compressor analisado. Pequenos sensores de bobina também são montados no assento da placa de válvula para medir a abertura de válvula de acordo com a posição do eixo.

As medições de pressão e ângulo de posição do eixo são coletadas numa taxa de 60 kHz, o que permite: (1) uma correta caracterização da variação de pressão na câmara de compressão e câmaras de sucção e descarga; (2) acuracidade da posição do pistão ao longo de seu movimento; (3) adequada resolução de tempo o que permite a avaliação do consumo.

Os resultados do compressor instrumentado são apresentados na tabela A24. O gráfico A20 mostra em detalhes a área da sucção do diagrama Pressão x Deslocamento. É possível verificar que o aumento da eficiência ou também nomeado com o acrônimo inglês COP aumentou devido à redução da temperatura de sucção e redução das perdas da sucção.

Tabela A24 - Resultados do compressor instrumentado

Requisitos funcionais (RFs)	Condição 1			Condição 2			Condição 3		
	Ref.	Prop.	Var %	Ref.	Prop.	Var %	Ref.	Prop.	Var %
Perdas sucção [W]	3,69	2,69	-27,1%	3,72	2,59	-30,4%	3,34	2,58	-22,8%
Trabalho PV [W]	76,96	74,93	-2,6%	86,85	83,52	-3,8%	80,83	76,98	-4,8%
Trabalho Ef. [W]	69,46	68,44	-1,5%	80,22	78,09	-2,7%	75,10	72,07	-4,0%
Capacidade [W]	192,58	192,96	0,2%	191,76	188,23	-1,8%	139,75	135,56	-3,0%
Consumo [W]	90,36	88,49	-2,1%	100,68	96,89	-3,8%	93,83	90,02	-4,1%
COP	2,13	2,18	2,3%	1,90	1,94	2,0%	1,49	1,51	1,1%
COP_{PV}	2,50	2,58	2,9%	2,21	2,25	2,1%	1,73	1,76	1,9%
COP_{EF}	2,77	2,82	1,7%	2,39	2,41	0,8%	1,86	1,88	1,1%
Temp. saída câmara [°C]	52,7	47,4		56,0	51,2		58,9	54,4	

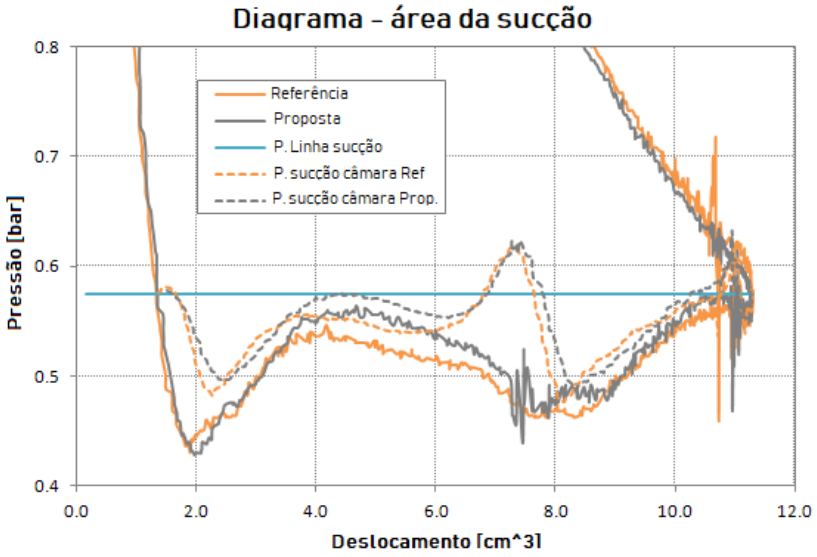


Gráfico A16 - Diagrama pressão x deslocamento

Além do compressor instrumentado que foi permitido medir em detalhes os RFs que afetam a eficiência (COP), compressores com carcaça fechada, iguais aos que vão para campo, foram medidos no calorímetro. Para se obter uma confiança estatística dos resultados

foi planejado um teste pareado comparando compressores utilizando câmara referência e a proposta.

Para o cálculo da quantidade de protótipos a serem testados foi considerado o seguinte desvio padrão: 0,015, o gráfico A21 mostra o poder do teste e quantidade de amostras.

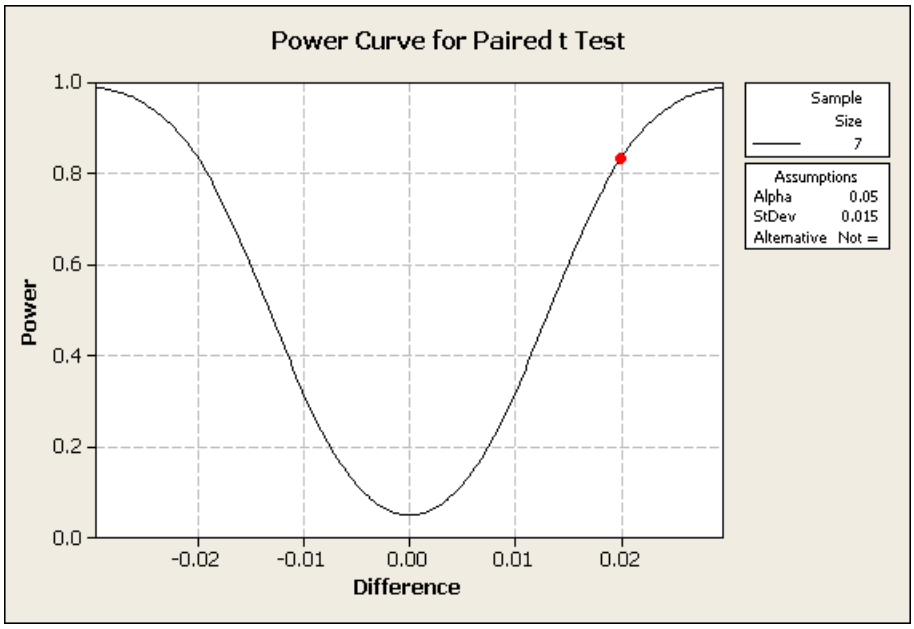


Gráfico 17 - Planejamento teste pareado

O total de testes para um poder de teste de 80% é de sete amostras. Porém para reduzir a influência da variabilidade das medições foram realizadas três repetições para cada um dos protótipos. Isto ajuda a diluir os erros de medição do calorímetro uma vez que se trata de uma medição dinâmica que sofre a influência de diversas variáveis.

Como condições de teste foram utilizadas as seguintes temperaturas: -28°C de evaporação e 40°C de condensação. Foram prototipadas as câmaras propostas e adquiridas câmaras na configuração referência. A figura A25 mostra as câmaras testadas. Já o resultado de todos os testes é apresentado na tabela A24.

Figura A25 - Câmaras de sucção referência e propostas

Tabela A25 - Resultados teste Pareado

#	Câmara	Primeira medição				Segunda medição				Terceira medição				Média	Dev. Pad
		CAP	CONS	COP	Dif (%)	CAP	CONS	COP	Dif (%)	CAP	CONS	COP	Dif (%)		
1	Ref	78.6	39.1	2.013	1.17%	79.0	39.7	1.991	1.85%	78.6	39.9	1.972	3.43%	2.15%	1.16%
	Prop	80.3	39.4	2.036		81.0	39.9	2.028		80.4	39.4	2.040			
2	Ref	82.0	40.5	2.024	1.86%	80.2	39.8	2.018	0.87%	81.3	40.1	2.029	1.68%	1.47%	0.53%
	Prop	83.3	40.4	2.061		79.3	38.9	2.036		82.2	39.9	2.063			
3	Ref	77.7	39.6	1.961	2.18%	79.9	40.2	1.986	1.23%	78.9	40.2	1.966	0.67%	1.36%	0.76%
	Prop	78.9	39.4	2.003		79.8	39.7	2.011		79.4	40.1	1.979			
4	Ref	80.4	40.4	1.989	2.66%	81.5	40.5	2.012	0.67%	81.2	39.8	2.038	0.97%	1.43%	1.07%
	Prop	79.2	38.8	2.042		80.1	39.5	2.026		81.8	39.7	2.058			
5	Ref	81.6	41.0	1.990	1,49%	80.9	40.9	1.977		81.5	40.9	1.990			
	Prop	81.3	40.2	2.020		80,2	39,4	2,03		81,1	39,8	2.04			
6	Ref	80.9	39.6	2.046	1.50%	80.9	39.5	2.046	0.51%	80.3	39.2	2.046	0.59%	0.87%	0.55%
	Prop	80.3	38.7	2.076		79.4	38.6	2.056		80.3	39.0	2.058			
7	Ref	80.7	39.5	2.043	0.72%	80.0	39.5	2.026	1.43%	80.0	39.5	2.024	0.62%	0.92%	0.44%
	Prop	81.2	39.4	2.058		81.8	39.8	2.055		82.5	40.5	2.037			

Os dados foram analisados com a ajuda do software estatístico Minitab. O teste pareado mostrou que as amostragens são diferentes e que o COP dos compressores utilizando a câmara proposta é melhor. Pode-se concluir que houve um aumento de eficiência. A tabela A25 e o gráfico A22 mostram o resultado do teste e gráfico de Box-plot da diferença.

Tabela A26 - Resultado do teste Pareado para COP ref. e proposta

Paired T-Test and CI: COP_R, COP_P

Paired T for COP_R - COP_P

	N	Mean	StDev	SE Mean
COP_R	19	2.01150	0.02823	0.00648
COP_P	19	2.03902	0.02412	0.00553
Difference	19	-0.02752	0.01535	0.00352

95% upper bound for mean difference: -0.02141
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -7.81 P-Value = 0.000

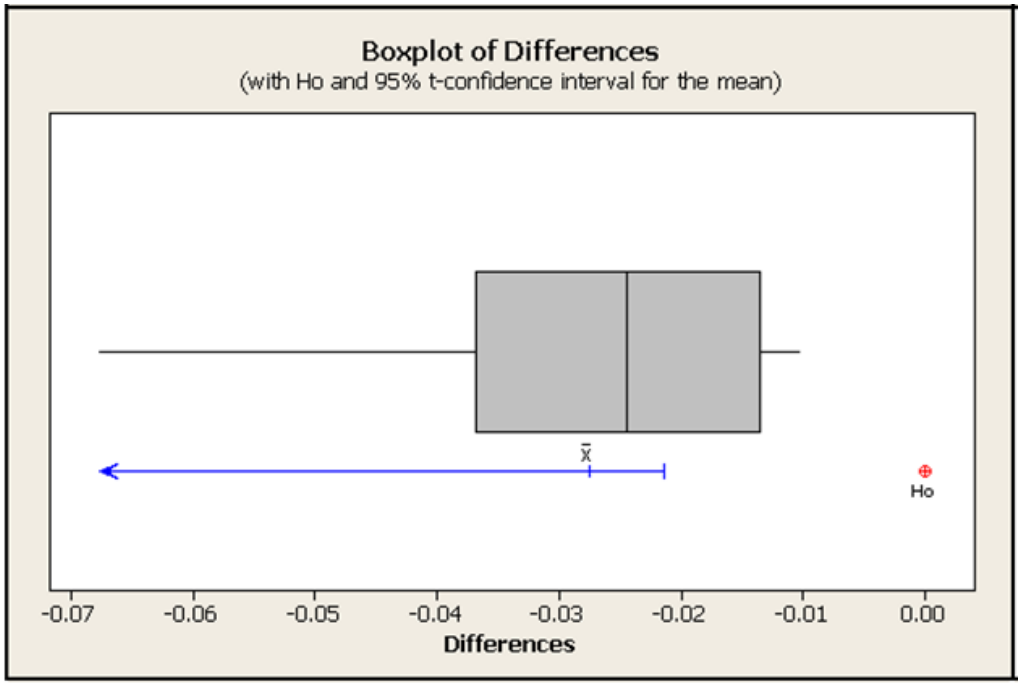


Gráfico A18 - Resultado do teste Pareado para COP ref. e proposta

Além dos testes de eficiência foram realizados testes para a verificação final do desempenho acústico. Foram realizados testes com 10 compressores, que foram testados com a câmara referência e a proposta. Os testes formam realizados nas seguintes condições de temperaturas:

- Evaporação (-23,3) e condensação (54,4) – Condição Ashare
- Evaporação (-25) e condensação (40) – Condição Sistema

- Evaporação (-25) e condensação (55) – Condição CECOMAF
- Evaporação (-10) e condensação (45) – Condição Extrema

Os gráficos A23 a A26 mostram os resultados dos testes acústicos para cada uma destas condições:

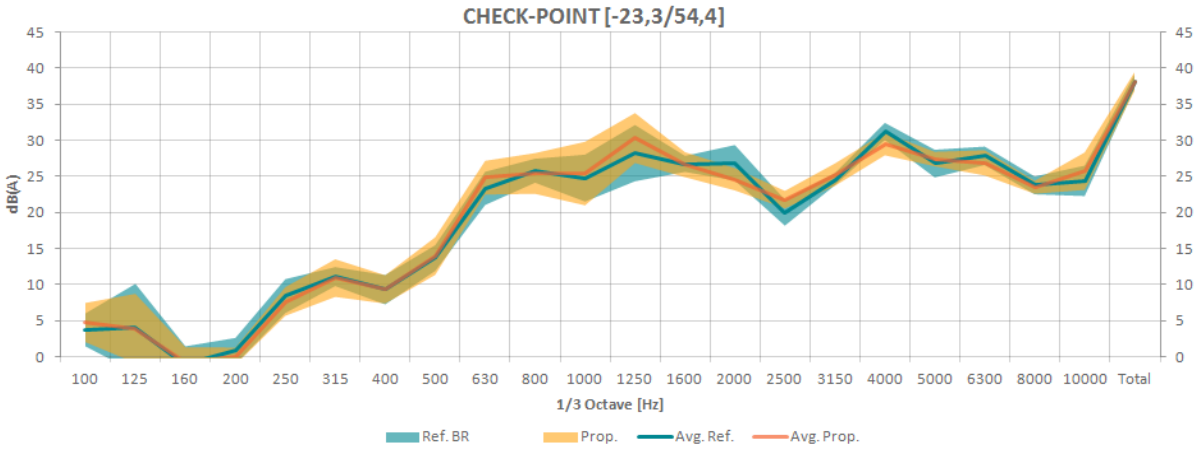


Gráfico A19 - Resultado teste acústico câmara Ref e proposta na condição check-point

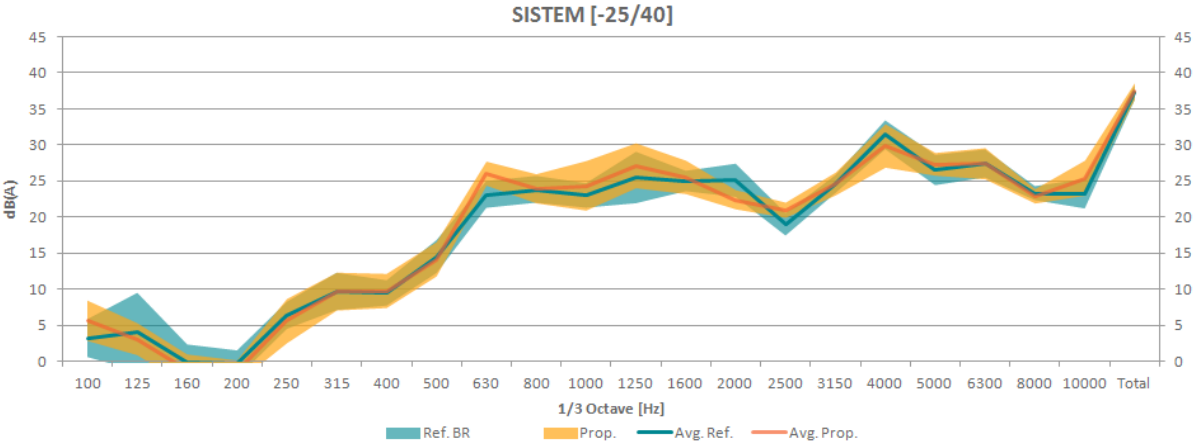


Gráfico A20 - Resultado teste acústico câmara Ref e proposta na condição de sistema

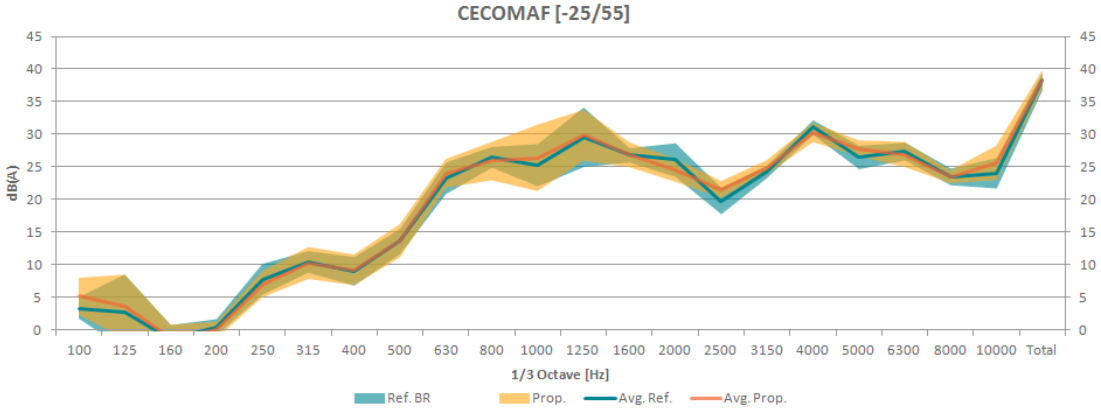


Gráfico 21 - Resultado teste acústico câmara Ref e proposta na condição CECOMAF

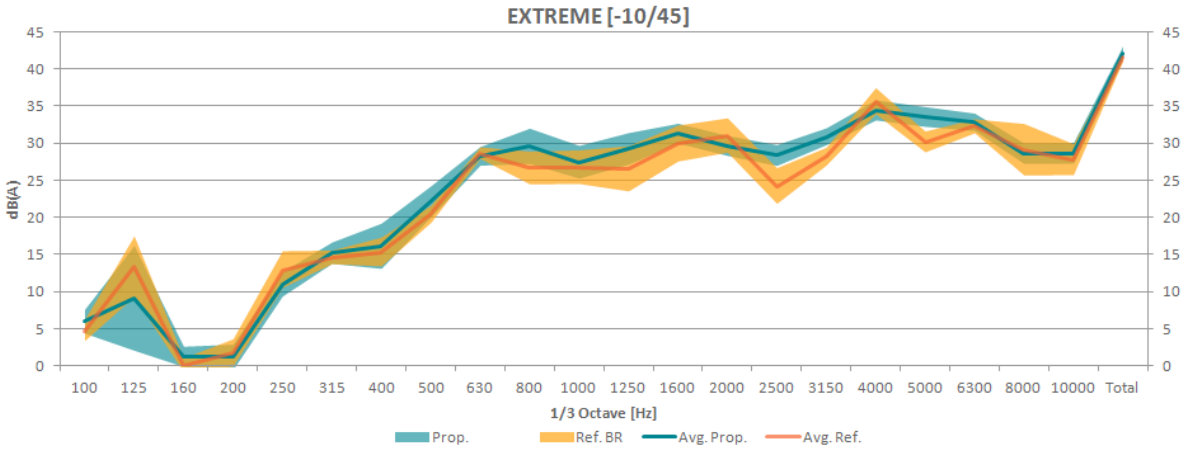


Gráfico 22 - Resultado teste acústico da câmara Ref e proposta em condição extrema

Os resultados não apresentaram diferenças significativas. Desta maneira a câmara proposta atingiu seus principais objetivos, aumentar a eficiência sem trazer prejuízo ao ruído. Desta forma pode-se fazer a verificação de todos os RFs, a tabela 26 mostra esta verificação:

Tabela 27 - Verificação final dos RFs

Requisito Funcional (RF)	Peso (%)	Atendido?
RF1: Min. a temperatura do fluído na entrada da câmara de sucção	14%	Sim
RF2: Min. temperatura do fluído na saída da câmara (entrada da válvula de sucção)	14%	Sim
RF3: Maximizar o COPpv	14%	Sim
RF4: Maximizar o COPeff	5%	Sim
RF5: Min. perda de carga na sucção	14%	Sim
RF6: Min. perda de carga na descarga	14%	Sim
RF7: Min. a perdas fixas	5%	Sim
RF8: Min. a potência de entrada acústica (entrada da válvula de sucção)	5%	Sim
RF9: Min. a pressão de saída acústica (bocal da câmara)	5%	Sim
RF10: Min. pressão na carcaça na faixa de Frequência entre 600 e 800 Hz	5%	Sim
RF11: Min. pressão na carcaça na faixa de Frequência maior que 1.000 e menor que 3.000 Hz	5%	Sim
RF12: Min. pressão na carcaça para Frequências maiores que 3.000Hz	2%	Sim