

**MARTA GOMES FRANCISCO**

**MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

**DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
E SISTEMAS  
PUCPR**

**CURITIBA 2020**

**MARTA GOMES FRANCISCO**

**MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA*  
ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE  
PRODUTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna.

Co-orientador: Prof. Dr. Osiris Canciglieri Jr.

**CURITIBA 2020**

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Pamela Travassos de Freitas – CRB 9/1960

F819m  
2020 Francisco, Marta Gomes  
Modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto / Marta Gomes Francisco ; orientador, Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna ; coorientador, Osiris Canciglieri Jr. – 2020.  
117 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020  
Bibliografia: f. 99-106

1. Administração de produtos. 2. Controle de processo. 3. Integração social.  
4. Natação para pessoas com deficiência. 5. Produtos novos. 6. Processos de fabricação. 7. Projeto de produto. I. Sant'Anna, Ângelo Márcio Oliveira.  
II. Canciglieri Jr., Osiris. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná.  
Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. IV. Título.

CDD 20. ed. – 670

## TERMO DE APROVAÇÃO

# Marta Gomes Francisco

### MODELO DE REFERÊNCIA DESIGN FOR SIX SIGMA ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora no Curso de Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



---

Presidente da Banca  
Prof. Dr. Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna  
(Orientador)



---

Prof. Dr. Osiris Canciglieri Junior  
(Coorientador)



---

Prof. Dr. Roberto Zanetti Freire  
Membro Interno - PPGEPS/PUCPR



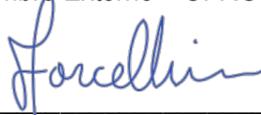
---

Prof. Dr. Anderson Luis Szejka  
Membro Interno - PPGEPS/PUCPR



---

Profª. Dra. Márcia Elisa Soares Echeveste  
Membro Externo – UFRGS



---

Prof. Dr. Fernando Antonio Forcellini  
Membro Externo – UFSC

Curitiba, 20 de novembro de 2020.



“Dedico este trabalho a minha mãe Tereza (in  
memoriam) que me mostrou que estudar é o primeiro  
passo para transformação de nossas vidas”

## **AGRADECIMENTOS**

Gratidão infinita a Deus pela certeza da presença em todos os momentos de minha vida. Meus sinceros agradecimentos aos meus orientadores: ao professor Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna por ter acreditado na minha determinação em estudar, e assim ter me auxiliado na iniciação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da PUCPR e ao professor Osíris Canciglieri Junior pela presença constante, conselhos e amizade. E sobretudo aos orientadores agradeço por todas as recomendações importantes, orientações e apoio que muito engrandeceram na realização deste trabalho.

Agradeço a meu marido Nico e minha filha Yasmin por todo o apoio essencial e colaboração para realização e conclusão deste trabalho.

Agradeço a meus pais Damazio e Tereza por terem me concedido a vida e ensinado os valores imprescindíveis para um ser humano.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da PUCPR que contribuíram para a formação do meu conhecimento para realização deste trabalho, bem como agradeço a secretária Denise da Mata Medeiros por não medir esforços no atendimento as demandas burocráticas.

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da PUCPR pelo apoio financeiro e a Associação Dar a Mão representada pela professora Maria Lúcia Miyake Okumura pela oportunidade de realizar minha pesquisa de Doutorado.

Agradeço aos membros da Comissão Examinadora que disponibilizaram parte de seu precioso tempo na avaliação do meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,  
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não  
sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não  
sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

## RESUMO

O processo de desenvolvimento de produto constitui um procedimento sistemático com integração de diferentes processos e pessoas em uma organização, com objetivo de compreender e transformar as necessidades do mercado em um produto que seja capaz de atender as expectativas do consumidor. Todo processo de desenvolvimento do produto deve estar pautado no menor custo e tempo com atendimento a qualidade do produto e processo de produção com mínimo de falha. Para auxiliar as organizações no processo de desenvolvimento de produto várias abordagens de modelos de referências são apresentadas na literatura com a finalidade de auxiliar as organizações e profissionais. Dentre as abordagens, destacamos a metodologia *Design For Six Sigma* (DFSS) que apresenta princípios focados no atendimento as expectativas e necessidades dos consumidores no desenvolvimento de produto, processos e serviços, baseada principalmente na utilização de ferramentas estatísticas. A metodologia *Design For Six Sigma* apresenta diversos métodos que buscam estabelecer um mecanismo para assegurar a consistência das informações através da transição de fases durante o desenvolvimento de produto. No entanto, há diversos métodos na literatura com o propósito de desenvolver novos produtos, entretanto, estes não apresentam um mecanismo sistemático que englobe desde o início do processo de desenvolvimento até ao término com a descontinuidade do produto no mercado. Sendo assim, esta tese apresenta um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, para manufatura de bens de consumo duráveis com uma estrutura passível de aplicação no atendimento as expectativas das organizações. Neste contexto, esta tese está fundamentada numa base construtiva de integração dos princípios da metodologia *Design For Six Sigma* a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, pensado para apresentar uma estrutura sistemática passível de aplicação, dinâmica e pragmática com sugestões de ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas a serem aplicadas no desenvolvimento do produto. Este modelo de referência foi avaliado por um grupo de especialistas em Desenvolvimento de Produto & Projetos atuantes em empresas de pequeno a grande porte em diferentes segmentos industriais da região de Curitiba, bem como, foi aplicado no desenvolvimento de um dispositivo protético para auxiliar portadores de agenesia de mão no aprendizado e prática da natação. O dispositivo protético desenvolvido, pretende contribuir de modo significativo para estimular o portador de agenesia de mão na atividade física, representando uma das portas de entrada para inclusão social, proporcionando melhor qualidade de vida física e emocional do indivíduo portador da deficiência.

**Palavras-chave:** *Design For Six Sigma, Processo de Desenvolvimento de Produto, Tecnologia Assistiva, Dispositivo protético, inclusão social e natação.*

## ABSTRACT

The product development process is a systematic procedure with the integration of different processes and people in an organization, in order to understand and transform the needs of the market into a product that is capable of meeting consumer expectations. The entire product development process must be based on the lowest cost and time in meeting product quality and the production process with minimum failure. To assist organizations in the product development process, several approaches of reference models are presented in the literature in order to assist organizations and professionals. Among the approaches, we highlight the *Design For Six Sigma* (DFSS) methodology that presents concepts focused on meeting the expectations and needs of consumers in the development of products, processes and services, based mainly on the use of statistical tools. The *Design For Six Sigma* methodology presents several methods that seek to establish a mechanism to ensure the consistency of information through the transition of phases during product development. However, there are several methods in the literature with the purpose of developing new products, however, these do not have a systematic mechanism that encompasses from the beginning of the development process to the end with the discontinuity of the product on the market. Therefore, this thesis presents a reference model *Design For Six Sigma* oriented to the product development process, for the manufacture of durable consumer goods with a structure that can be applied to meet the expectations of organizations. In this context, this thesis is based on a constructive basis of integrating the concepts of the methodology *Design For Six Sigma* to a reference model for the product development process, designed to present a systematic structure that can be applied, dynamic and pragmatic with suggestions of engineering tools and statistical techniques to be applied in product development. This reference model was evaluated by a group of specialists in Product Development & Projects working in small to large companies in different industrial segments in the region of Curitiba, as well as, applied in the development of a prosthetic device to help hand agenesis patients in learning to swim and practice the activity. The prosthetic device developed intends to contribute significantly to stimulate the hand agenesis patient in physical activity, representing one of the entry points for social inclusion, providing a better quality of physical and emotional life for the individual with the disability.

**Key words:** Design For Six Sigma, Product Development Process, Assistive Technology, Prosthetic Device, Social Inclusion and Swimming.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
1 Introdução .....	1
1.1 Objetivo geral .....	3
1.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Justificativa e contribuição .....	4
1.4 Descrição dos estudos e procedimentos.....	5
1.5 Metodologia da pesquisa.....	8
1.6 Delimitação da pesquisa .....	10
1.7 Estrutura da Tese.....	10
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	11
2.1 Artigo 1 .....	12
2.3 Artigo 2 .....	44
2.4 Artigo 3.....	70
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	95
3.1 Síntese dos resultados .....	95
3.2 Conclusão .....	97
3.3 Direcionamentos para pesquisas futuras .....	98
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	99
Anexo A.....	107
Anexo B.....	117

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento de produto desempenha um importante papel no sucesso de qualquer organização empresarial. O intuito do processo de desenvolvimento de produto é transformar uma oportunidade de mercado em um produto disponível para venda, por meio de etapas e atividades sequenciais com a finalidade de conceber, projetar e comercializar um produto (ULRICH et al., 2009; KRISHNAN e ULRICH, 2001 e CHAUHAN et al, 2018).

De acordo com Sánchez e Priest (2001), a chave para o sucesso do desenvolvimento do produto consiste em conhecer as necessidades do cliente, e fornecer um produto ou serviço que atenda essas necessidades a um custo competitivo, prevalecendo a identificação das necessidades atuais e futuras, desenvolvendo requisitos do produto, determinando a melhor concepção e abordagem tecnológica. Ainda, Welo e Ringen (2018) citam que o processo de desenvolvimento de produto é uma atividade coletiva ou sistemática que uma empresa aplica para converter sua tecnologia e ideias em linhas de produtos que atendem às necessidades dos clientes e os objetivos estratégicos da empresa.

Demandas crescentes para redução do tempo de desenvolvimento de produto, bem como ganhos substanciais em funcionalidade, qualidade, redução de custos e confiabilidade são desafios evidenciados nas organizações mundiais. Na busca pelo atendimento a estas demandas, as organizações são sustentadas por metodologias e modelos de sequenciamento para desenvolvimento de produto com ferramentas e técnicas de apoio para atingir seus objetivos. Pereira (2014) comenta que se observa na literatura diversas abordagens para o processo de desenvolvimento de produto, cada qual com suas características e particularidades conforme o tipo de empresa ou produto, destacando abordagens como Engenharia Simultânea, Stage-gate, desenvolvimento integrado de produto e negócio baseado em produto. Dentre estas abordagens enfatiza-se o processo de desenvolvimento integrado de produto caracterizado por ampliar os conceitos da Engenharia Simultânea, partindo para uma proposta que consiste na extensão do trabalho em equipe a todas as áreas envolvidas no desenvolvimento de produto, sem limitar estas funções a área da engenharia (EL MARGHANI, 2011 e PEREIRA, 2014). Destaca-se não somente o processo integrado de desenvolvimento de produto, mas também a metodologia *Design For Six Sigma* como uma abordagem dinâmica que busca direcionar o desenvolvimento de produto de maneira robusta e assertiva, com redução de custo, ganho na qualidade do produto e principalmente satisfação do consumidor e competitividade para a organização.

*Design For Six Sigma* é uma abordagem para o desenvolvimento de produto, processos e serviços com foco nas expectativas e necessidades dos consumidores, em simultâneo, busca reduzir os custos de qualidade, envolvendo a aplicação de ferramentas estatísticas para prever e melhorar a qualidade antes de construir protótipos. *Design For Six Sigma* tem o potencial de eliminar etapas ou processos que não agregam valor ao projeto de um produto ou serviço, reduzindo custos de materiais, custos de mão de obra e custos gerais (SHAHIN, 2008).

Para Crevelling (2003) o *Design For Six Sigma* incorpora ferramentas e técnicas aplicadas durante todo o ciclo de desenvolvimento, capazes de avaliar o desempenho do processo de desenvolvimento de produto alinhado com as metas da organização e estratégias do mercado. Yang e Cai (2009) enfatizam que *Design For Six Sigma* é uma metodologia capaz de otimizar parâmetros e tolerâncias no desenvolvimento de produto de modo a atingir uma performance de qualidade, robustez e confiabilidade ao produto. A metodologia *Design For Six Sigma* apresenta vários métodos na literatura com esta finalidade, cujos objetivos são atingidos por meio das estruturas sequenciais denominadas de fases para o desenvolvimento de um produto. Assim como existem diversos métodos *Design For Six Sigma*, está disponível na literatura várias propostas de modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produto. Este trabalho apresenta a integração dos princípios da metodologia *Design For Six Sigma* ao Processo de Desenvolvimento de Produto para a construção de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. A construção deste modelo de referência partiu da identificação das lacunas existentes nos diversos métodos DFSS analisados na literatura através de uma revisão sistemática, que permitiu o delineamento da borda do conhecimento das fases e as atividades que integram os diferentes métodos DFSS. O modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto proposto foi avaliado por um grupo de especialistas na área de Projeto & Desenvolvimento de Produto, atuantes em diferentes segmentos industriais da região de Curitiba em organizações de porte pequeno, médio e grande, cujo propósito foi de averiguar a sintonia do modelo com as práticas de desenvolvimento de produto em diferentes empresas de manufatura de bens de consumo duráveis.

Na sequência deste estudo, o modelo de referência foi aplicado no desenvolvimento de um produto assistivo - dispositivo protético para auxiliar, um portador de agenesia de mão para o aprendizado e prática da atividade esportiva da natação. O dispositivo protético foi parametrizado em três diferentes tamanhos, buscando atender os dimensionais da mão humana. O produto desenvolvido encontra-se em pedido de patente junto ao Instituto Nacional da

Propriedade Industrial – INPI sob o processo número 102020019058-0 e registro BR 10 2020 019058-0.

Um mapa conceitual é apresentado na Figura 1, demonstrando de maneira estruturada a relação entre os artigos que compõem a tese com seus respectivos objetivos, delimitações e contribuições. Na seção 1.4 deste capítulo, estes artigos serão apresentados com maiores detalhes.

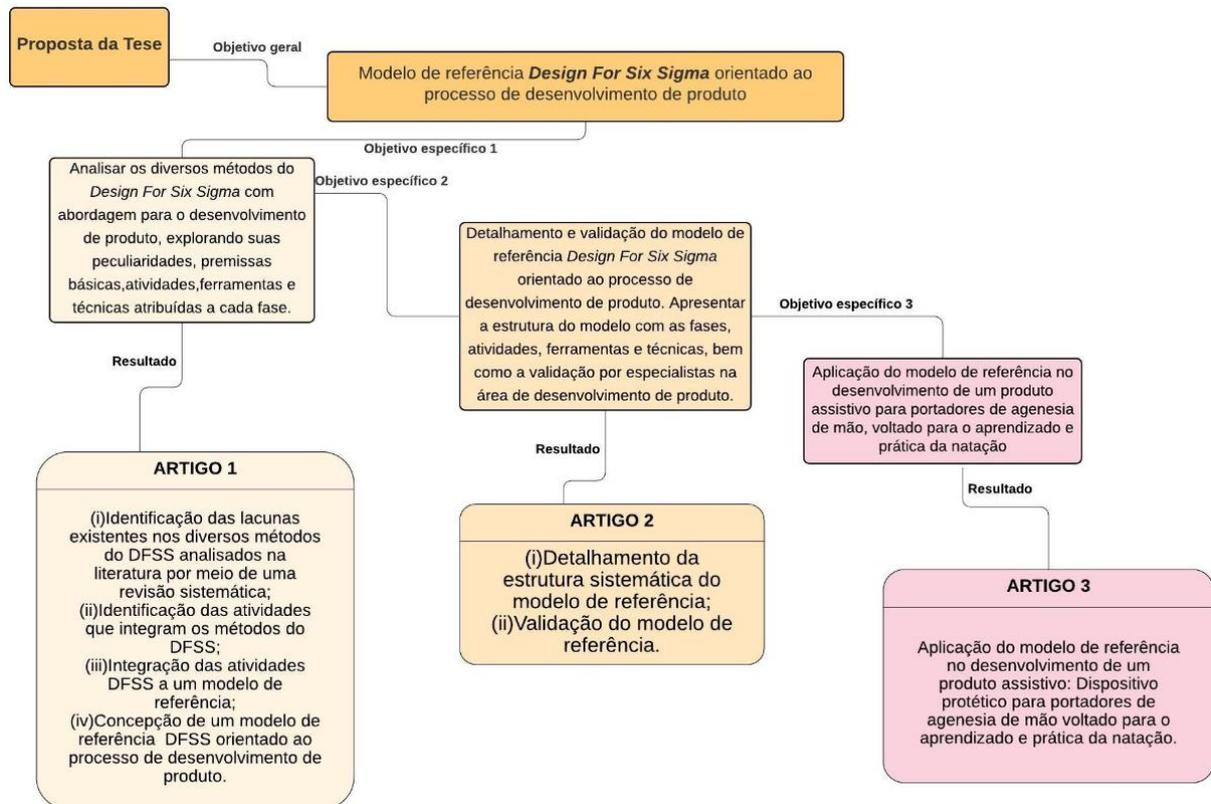


Figura 1. Mapa conceitual da tese que apresenta as relações entre os objetivos e resultados esperados dos estudos propostos.

## 1.1 Objetivo geral

O objetivo desta tese é a construção de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, resultado de uma investigação na literatura dos métodos *Design For Six Sigma* para conhecimento da borda do conhecimento sobre o tema, e a integração destes conhecimentos a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, bem como a validação do modelo proposto.

## 1.2 Objetivos específicos

Os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- (i) Analisar os diversos métodos *Design For Six Sigma* com abordagem para o desenvolvimento de produto, explorando suas peculiaridades, premissas básicas, atividades, ferramentas e técnicas atribuídas a cada fase.
- (ii) Detalhamento e validação do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. Apresentar a estrutura do modelo com as fases, atividades, ferramentas e técnicas, bem como a validação por especialistas na área de desenvolvimento de produto.
- (iii) Aplicação do modelo de referência no desenvolvimento de um produto assistivo para portadores de agenesia de mão, voltado para o aprendizado e prática da natação.

## 1.3 Justificativa e Contribuição

O Processo de desenvolvimento de produto está fundamentado numa sequência de etapas para a realização do produto, desde a etapa de geração de ideias até a sua produção e lançamento no mercado. As decisões tomadas durante o processo de desenvolvimento têm impacto na qualidade e custo do produto, visto que erros não solucionados precocemente, resultam em necessidades de alterações mais dispendiosas no futuro (JAHANZAIB et al., 2013; BLUE e LAUNSBY, 2003; CHAO e ISHIL, 2005). Logo, os passos e decisões nas atividades durante o desenvolvimento de um novo produto, são cruciais para o sucesso ou fracasso. No entanto, os riscos e as incertezas durante este processo podem ser minimizados com o uso de métodos sistemáticos com abordagem abrangente de ferramentas e técnicas em cada fase do processo de desenvolvimento.

Desta forma, busca-se com esta tese de doutorado integrar os princípios da metodologia *Design For Six Sigma* a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, agregando as atividades que compõem as fases dos métodos *Design For Six Sigma* com as atividades de um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, com uma estrutura sistemática que visa a incorporação das fases desde o início do desenvolvimento até a descontinuidade do produto. A construção do modelo apresentado está pautado na identificação das lacunas observadas nas análises dos diferentes métodos *Design For Six Sigma* com as atividades, ferramentas e técnicas aplicadas com a finalidade de desenvolver novos produtos. Fundamentado na borda do conhecimento dos métodos *Design For Six Sigma* e por meio da incorporação a um modelo de referência para o

processo de desenvolvimento de produto, foi possível a construção de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto.

A partir da construção deste modelo de referência através da linha teórica da investigação e a necessidade da aplicação, este trabalho considerou a oportunidade de atuação no desenvolvimento de um produto na área de Tecnologia Assistiva. A Tecnologia Assistiva (TA) é definida como um conjunto de recursos e serviços que proporcionam ou ampliam as habilidades funcionais de pessoa com deficiência com uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas encontrados pelos portadores de deficiência promovendo vida independente e inclusão (HUSSEY e COOK, 1995; BERSCH, 2017). Por entender, que um indivíduo portador de deficiência enfrenta dois principais desafios: (i) aprender ou reaprender a viver com a “anormalidade” e (ii) enfrentar as barreiras impostas pela sociedade, esta tese também almeja contribuir com uma nova perspectiva que auxilia no processo de inclusão social para o portador de agenesia de mão.

Logo, com o viés da aplicação do modelo para o desenvolvimento de um produto assistivo, que facilite a inclusão de portador de agenesia de mão a uma atividade física, a qual proporcionará estímulo e melhora na qualidade de vida física e emocional, constitui um papel importante de inclusão social. Vargas (2011) enfatiza que o esporte inclusivo é caminho eficiente de estímulo à prática da autoestima, autoexpressão e autoconfiança, por representar uma das portas de entrada na sociedade.

Com este embasamento teórico justifica-se o tema desta tese de doutorado e os objetivos da pesquisa. Sendo considerado relevante o estudo apresentado nesta tese em termos da abordagem para a construção do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, bem como sua aplicação no desenvolvimento de um produto assistivo. Sendo assim, esta tese busca contribuir com um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto de bens duráveis baseado nos princípios da metodologia *Design For Six Sigma* e no desenvolvimento de um produto assistivo, cujo propósito é auxiliar o portador de agenesia de mão no processo de aprendizagem da natação.

#### **1.4 Descrição dos estudos e procedimentos**

Na Tabela 1 é apresentada uma síntese com os objetivos específicos propostos nesta tese, com as respectivas questões de pesquisas, os procedimentos aplicados, métodos de pesquisa aplicados e os resultados alcançados. Para cada objetivo específico buscou-se como resultado um artigo científico.

Tabela 1 – Síntese de cada objetivo específico proposto nesta tese.

Objetivo específico	Questão da pesquisa	Procedimento aplicado	Método de pesquisa	Resultado
Analisar os diversos métodos <i>Design For Six Sigma</i> e os estudos científicos com abordagem para o desenvolvimento de produto, explorando suas peculiaridades, premissas básicas, atividades, ferramentas e técnicas atribuídas a cada fase. Permitindo, através da linha teórica da investigação, a construção de um modelo de referência <i>Design For Six Sigma</i> orientado ao processo de desenvolvimento de produto.	Q1: qual o estado da arte em relação aos métodos <i>Design For Six Sigma</i> retratados nas pesquisas recentes voltadas para o desenvolvimento de produto?	1. Análise de conteúdo e contribuições referentes aos métodos DFSS aplicados no desenvolvimento de produto. 2. Integrar as atividades sintetizadas pela borda do conhecimento dos métodos DFSS a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto.	Pesquisa de caráter qualitativo e exploratório	Artigo 1
Detalhamento do modelo de referência <i>Design For Six Sigma</i> orientado ao processo de desenvolvimento de produto. Demonstração da estrutura do modelo com as fases, atividades, ferramentas e técnicas, bem como a validação do modelo por especialistas na área de desenvolvimento de produto.	Q2: quais conteúdos e/ou práticas devem compor um modelo de referência <i>Design For Six Sigma</i> orientado ao processo de desenvolvimento de produto ?	Delineamento da estrutura sistemática do modelo de referência <i>Design For Six Sigma</i> orientado ao processo de desenvolvimento de produto.	Pesquisa de caráter qualitativo e exploratório	Artigo 2
Aplicação do modelo de referência, com o desenvolvimento de um produto assistivo para portadores de agenesia de mão voltado para o aprendizado e prática da natação.	Q3: qual a possibilidade de implementação do modelo de referência na área de tecnologia assistiva?	Observação da oportunidade de desenvolvimento de um dispositivo protético de baixo custo para portador de agenesia de mão, capaz de inserir o indivíduo em uma atividade física	Pesquisa de caráter exploratório e aplicada	Artigo 3

- O artigo 1 - *Design For Six Sigma* integrado ao modelo de referência de desenvolvimento de produto através da revisão sistemática - apresenta a primeira publicação, na qual um estudo sistemático de revisão de literatura sobre a metodologia *Design For Six Sigma* aplicada ao processo de desenvolvimento de produto foi

realizada. A revisão sistemática iniciou com uma pesquisa em diferentes bases de dados (*Scopus*, base de pesquisa Capes e *Web of Science*). Desta forma, nesta publicação o leitor poderá entender toda a base de pesquisa que nortearam a proposta do modelo de referência idealizado. Os resultados desta revisão sistemática demonstraram que existe uma lacuna na literatura em relação à metodologia *Design For Six Sigma* representados pelos diversos acrônimos. Partindo desta observação, foi possível identificar e correlacionar os variados métodos da metodologia *Design For Six Sigma* e sintetizar em 11 atividades principais. Como a metodologia *Design For Six Sigma* quando aplicada ao desenvolvimento de produto não contempla uma estrutura sistemática que possa incorporar todas as fases para o processo de desenvolvimento de produto, neste artigo foi proposto a integração das 11 atividades identificadas na metodologia *Design For Six Sigma* a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto. A construção do modelo de referência está fundamentada na incorporação das atividades de um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto com as 11 atividades identificadas e sintetizadas no estudo dos métodos *Design For Six Sigma*, com vistas à estruturação de um modelo capaz de englobar todas as macrofases de uma estrutura sistemática para o processo de desenvolvimento de produto. Logo, este estudo de revisão sistemática da literatura sobre o tema *Design For Six Sigma* para o desenvolvimento de produto, sustenta o desenvolvimento do estudo posterior.

- O artigo 2 – *Design For Six Sigma*: Detalhamento e validação do modelo de referência orientado ao processo de desenvolvimento de produto - neste estudo um detalhamento do estado da arte do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto é apresentado. Sendo assim, a estrutura do modelo com os objetivos das fases e estágios do modelo, as atividades, ferramentas e técnicas a serem aplicadas em cada estágio são explicadas, bem como uma proposta de fluxo de informação/comunicação entre as pessoas que compõem o processo de desenvolvimento de produto. Ademais, o artigo apresenta resultados da validação do modelo de referência, analisado por um grupo constituído por cinco profissionais com experiência na área de projetos e desenvolvimento de produtos e atuantes em empresas de diferentes segmentos industriais na região de Curitiba. Os resultados deste estudo sustentou o alcance do terceiro objetivo específico, com a validação do modelo de referência aplicado no desenvolvimento de um produto assistivo.
- O artigo 3 - Modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de

desenvolvimento de produto: Desenvolvimento de um dispositivo protético para natação - Este artigo teve por objetivo aplicar o modelo de referência no desenvolvimento de um produto assistivo. O produto desenvolvido trata-se de um dispositivo protético para auxiliar, um portador de agenesia de mão no aprendizado da natação e prática desta atividade física. Este produto assistivo visa facilitar a inclusão de portadores de agenesia de mão em uma atividade física, de modo a, prover melhor qualidade de vida física e emocional ao portador desta deficiência. Para o desenvolvimento preliminar do conceito do produto assistivo, foram aplicadas ferramentas e técnicas estatísticas, as quais foram fundamentais para o resultado do produto. Este desenvolvimento de produto possibilitou o pedido de patente ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI sob o processo número 102020019058-0 e registro BR 10 2020 019058-0. O dispositivo protético está em processo de liberação de uso para Associação Dar a Mão, a qual atende portadores de agenesia de membro superior.

### **1.5 Metodologia da Pesquisa**

A metodologia corresponde a um conjunto de procedimentos a ser utilizado na obtenção do conhecimento. Quando aplicada, examina e avalia os métodos e as técnicas de pesquisas, bem como a geração ou verificação de novos métodos que conduzam à captação e ao processamento de informações com vistas à resolução de problemas de investigação. A metodologia garante a legitimidade científica do saber obtido (BARROS e LEHFEL, 2007). Uma pesquisa pode ter uma abordagem qualitativa ou quantitativa, sendo quantitativa quando considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números as opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de técnicas estatísticas (análise descritiva, análise de regressão, análise multivariada, etc.). Sendo qualitativa quando 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. Quanto aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória ou explicativa. Sendo exploratória quando objetiva orientar e formular hipótese. São estabelecidos critérios, métodos e técnicas para a exploração do conteúdo; visa à descoberta, o achado ou a explicação daqueles que não eram aceitos e evidentes. A pesquisa explicativa registra os fatos, analisa-os, interpreta-os e identifica suas causas. Visa ampliar generalizações, definir leis amplas, estruturar e definir modelos teóricos e reunir hipótese em uma visão mais unitária (GIL, 1991).

Do ponto de vista de métodos científicos, pode-se classificar como dedutivo, indutivo e hipotético-dedutivo. O método dedutivo parte da matemática e de suas regras de evidência, análise, síntese e enumeração. Esse método parte do geral e, a seguir, desce para o particular. O protótipo do raciocínio dedutivo é o silogismo, que, a partir de duas proposições chamadas premissas, retira uma terceira chamada conclusão. O método Indutivo parte do princípio que o conhecimento científico é o único caminho seguro para a verdade dos fatos. O conhecimento é fundamentado exclusivamente na experiência, sem considerar os princípios preestabelecidos. O conhecimento científico, tem por finalidade servir o homem e dar-lhe poder sobre a natureza. O método hipotético-dedutivo pode ser explicado a partir do seguinte esquema: problema – hipóteses – dedução de consequências observadas – tentativa de falseamento – corroboração quando os conhecimentos disponíveis sobre um determinado assunto são insuficientes para explicar um fenômeno, surge o problema. Para tentar explicar o problema, são formuladas hipóteses; destas deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas. Falsear significa tentar tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses (GIL, 1999). Quanto a sua natureza, a pesquisa pode-se classificar como básica ou aplicada. A pesquisa básica, objetiva gerar conhecimentos novos para avanço da ciência sem aplicação prática prevista. A pesquisa aplicada, objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigido à solução de problemas específicos (GIL, 1994).

A estratégia proposta a ser aplicada neste estudo contempla uma pesquisa qualitativa, exploratória e aplicada. Qualitativa, pois, objetiva compreender as fases de todos os métodos DFSS existentes para obter a expertise necessária para interpretar as características envolvidas no contexto do objeto de estudo. É exploratória, pois, busca a construção de um modelo de referência passível de aplicação e que busca considerar as características e os vários aspectos no processo de desenvolvimento de produto. É de natureza aplicada, pois, aborda estudos cuja finalidade é identificar os fatores que determinam ou que contribuem na aplicação dos métodos DFSS no processo de desenvolvimento de produto, bem como a aplicação do modelo de referência para o desenvolvimento de um novo produto. Com procedimento técnico, a elaboração desta proposta consistiu em uma pesquisa bibliográfica abrangente do tema em questão, buscando identificar em todas as fontes disponíveis as publicações relacionadas ao tema de pesquisa. De acordo com Sampaio e Mancini (2009), uma pesquisa bibliográfica é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados à literatura sobre determinado tema, seguindo métodos explícitos e sistematizados de busca, integrando as informações de um conjunto de estudos realizados separadamente sobre um tema.

## 1.6 Delimitação da pesquisa

Este trabalho priorizou o estudo da metodologia *Design For Six Sigma* aplicada ao desenvolvimento de produto no segmento da manufatura, com a construção de um modelo de referência para atender o desenvolvimento de produto de bens de consumo duráveis. A princípio o modelo não contempla a aplicação na área de serviços, sendo esta uma abordagem que apresenta um potencial de exploração.

## 1.7 Estrutura da Tese

Em meio ao contexto de desenvolvimento de produto, esta tese buscou identificar uma oportunidade de desenvolver um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto partindo de uma análise sistemática da literatura da metodologia *Design For Six Sigma*. A partir da identificação de lacunas entre as atividades desempenhadas pelos diferentes métodos *Design For Six Sigma* aplicado ao desenvolvimento de produto, uma integração destas atividades com um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, permitiu a concepção do modelo de referência apresentado nesta tese, bem como uma posterior validação por especialistas na área de projeto e desenvolvimento de produto, e validação por meio do desenvolvimento de um produto assistivo para facilitar a inclusão do portador de agenesia de mão no aprendizado da natação. Esta tese está estruturada em 3 capítulos, os quais estão organizados da seguinte forma:

O **CAPÍTULO 1**, apresenta uma explanação do tema abordado nesse trabalho, o objetivo, objetivos específicos, justificativa e contribuição acadêmica, descrição dos estudos e procedimentos, metodologia de pesquisa aplicada, delimitação da pesquisa e estrutura da tese.

O **CAPÍTULO 2**, apresenta os resultados dos objetivos específicos no formato de artigos 1, 2 e 3. Estes estudos abordam: (i) revisão sistemática da literatura e construção de modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto orientado ao *Design For Six Sigma*, (ii) detalhamento da estrutura do modelo de referência e validação por profissionais experientes e atuantes em empresas na área de projetos e desenvolvimento de produto, e (iii) aplicação do modelo de referência pela aplicação no desenvolvimento de um produto na área de Tecnologia Assistiva.

O **CAPÍTULO 3**, apresenta uma síntese dos resultados, conclusão e direcionamentos para pesquisas futuras.

## CAPÍTULO 2

Esta tese identificou através de uma revisão sistemática uma oportunidade de contribuição acadêmica de propor um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao Processo de Desenvolvimento de Produto construído a partir de uma linha teórica de investigação do tema. Após a concepção do modelo de referência, um grupo de especialistas contribuíram com a validação da estrutura do modelo. Na sequência uma aplicação com o desenvolvimento de um produto assistivo, tendo como público alvo os portadores de agenesia de mão.

Logo, este capítulo apresenta os resultados dos desdobramentos dos três objetivos específicos, apresentados na forma de artigos 1,2 e 3:

- a) ARTIGO 1 — Revisão sistemática sobre os métodos *Design For Six Sigma* aplicado no desenvolvimento de produto, bem como proposta do modelo de referência com suas respectivas fases para o Processo de Desenvolvimento de Produto;
- b) ARTIGO 2 — Detalhamento da estrutura do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao Processo de Desenvolvimento de Produto com as atividades, ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas sugeridas em cada fase, bem como a validação por um grupo de especialistas;
- c) ARTIGO 3 — Aplicação do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao Processo de Desenvolvimento de Produto no desenvolvimento de um produto assistivo – dispositivo protético para auxiliar o portador de agenesia de mão no aprendizado da natação.

## 2.1 - ARTIGO 1

# ***DESIGN FOR SIX SIGMA INTEGRADO AO MODELO DE REFERÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO ATRAVÉS DA REVISÃO SISTEMÁTICA***

**Status:** Publicado no *International Journal of Lean Six Sigma* (ISSN: 2040-4174).

**DOI (Digital Object Identifier):** 10.1108/IJLSS-05-2019-0052

(<https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2019-0052>).

**Impact Factor (Journal Citation Ranking):** 2.511

**SJR (Scimago Journal Ranking):** 0.814.

**Status:** International Conference: Product Lifecycle Management Enabling Smart X - *17th Product Lifecycle Management International Conference*, Springer, 2020. P. 347-356.

## ***Design For Six Sigma* integrado ao modelo de referência de desenvolvimento de produto através da revisão sistemática**

### **Resumo**

A proposta deste artigo é apresentar um estudo referente aos métodos *Design For Six Sigma* aplicados ao processo de desenvolvimento de produto de bens de consumo duráveis e identificar oportunidade de pesquisa sobre o tema, propondo uma integração do *Design For Six Sigma* a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto. Desta forma, por meio da análise dos referenciais teóricos identificados nas bases de dados científicas, este trabalho visa apresentar um modelo de referência *Design For six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. Foram pesquisadas as literaturas compreendidas no período de 2000 a 2019, considerando as publicações revisadas por pares sobre o tema *Design For Six Sigma* aplicado no desenvolvimento de produto, assim como as ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas abordadas. Através das palavras-chave definidas pelos acrônimos dos principais métodos DFSS existentes (DMADOV, IDOV, ICOV, DMEDI, DDOV, PIDOV, DMADV, DMADIC, DCCDI, IDDOV, CDOV e DCOV), artigos referentes à metodologia *Design For Six Sigma versus* desenvolvimento de produto e artigos com a palavra-chave *Design For Six Sigma* ou o acrônimo DFSS, aplicando expressão booleana na condução das buscas pelas evidências científicas no Portal de periódicos Capes, incluindo as bases de dados: *Emerald Insight* (Emerald), *Scopus* (Elsevier), *Science Direct*, *SpringerLink*, *Taylor & Francis*, *Scielo* (*Web of Science*), *Wiley Online Library*, *Web of Science* (Clarivate Analytics) e outros. Foram obtidos por meio das buscas, 269 artigos relativos ao tema DFSS, dos quais 18 artigos foram selecionados para nortear a construção desta pesquisa. Nesta revisão sistemática sobre *Design For Six Sigma* é apresentada a eficácia da metodologia para o desenvolvimento de produto e como está difundida nas literaturas científicas por meio de uma diversidade de métodos. Este estudo apresenta uma revisão da literatura que direcionou para a construção e proposição de um modelo de referência *Design For Six Sigma* voltado ao processo de desenvolvimento de produtos, o qual tem por finalidade contemplar todas as fases do desenvolvimento, desde o início até a descontinuidade do produto no mercado, de modo a incorporar os princípios *Six Sigma* no processo de desenvolvimento contribuindo com a eliminação de possíveis falhas durante o projeto de um novo produto direcionando para redução de custos e melhoria da qualidade do produto e processo.

**Palavras-chave:** *Design For Six Sigma*, PDP, modelos de referência para desenvolvimento de produto, métodos *Design For Six Sigma*, técnicas de desenvolvimento de produto, processo de desenvolvimento de produto e manufatura, DFSS.

## 1 INTRODUÇÃO

Desenvolver novos produtos em menor tempo possível, com preço competitivo, qualidade, atendendo a dinâmica do mercado consumidor e oscilações econômicas é um grande desafio para o mundo dos negócios. Portanto, melhorar continuamente é uma importante estratégia de negócios para muitas organizações, incluindo indústrias, organizações financeiras, serviços de saúde, organizações públicas e também terceiro setor. O desenvolvimento de uma estratégia de melhoria da qualidade ou melhoria contínua é um fator-chave para o sucesso ao longo prazo das organizações modernas (ANTONY et al., 2016). Conseguir identificar potenciais de expansão no mercado e alinhar estratégias para alcançar as expectativas do consumidor com menor custo de manufatura, são objetivos do processo de desenvolvimento de produto.

Desenvolvimento de produto consiste em conhecer as necessidades do consumidor com um produto ou serviço que atenda suas expectativas, a um custo competitivo, identificando as necessidades atuais e futuras com a melhor concepção e abordagem tecnológica (SÁNCHEZ e PRIEST, 2001). Neste contexto, a aplicação de um modelo de referência PDP estabelece um caminho estruturado que permite o alcance desse objetivo pelas organizações.

Segundo os autores Jahanzaib et al., 2013 “processo de desenvolvimento de produto inicia com a geração de ideia, sendo um processo, sequencial que inclui passos ou estágios para a realização, produção e lançamento. O projeto do produto é uma parte importante neste processo, pois as decisões tomadas têm maior impacto na qualidade e no custo do produto. Se falhas não forem detectadas precocemente no processo, mudanças mais dispendiosas são necessárias posteriormente no processo de desenvolvimento do produto. Portanto, é necessário integrar os conceitos de qualidade na fase do projeto do produto, para evitar erros e alterações tardias no processo de desenvolvimento do produto”. De acordo com Pereira (2014), desenvolvimento de produto é um processo que apresenta complexidades em sua gestão devido as diversas interações com as áreas, atividades na organização e pelo volume de informações manuseadas durante o projeto de desenvolvimento.

Estudos apontam uma forte correlação entre desenvolvimento de novos produtos e competitividade empresarial, deixando de ser uma escolha tática para ser uma estratégia indispensável para as organizações. Reduzir o ciclo de desenvolvimento de produto, melhorar a qualidade do produto enquanto reduz o custo, responder prontamente às demandas do consumidor, tornaram-se por muito tempo os pré-requisitos para a indústria de manufatura manter a competitividade. No entanto, o aumento da eficiência da produção, por si só, não pode

garantir a operação sustentável da organização em um mercado consumidor com rápidas mudanças. Logo, a implementação de etapas bem estruturadas no processo de desenvolvimento de produto torna a estratégia menos suscetível a falhas, sendo um fator-chave para o sucesso do produto. (KESSLER e CHAKRABARTI, 1996; NIJSSEN e FRAMBACH, 2000; GRIFFIN, 1997; OZER e CHEN, 2006 e JOU et al., 2010).

*Design For Six Sigma* visa melhorar o desempenho do processo de desenvolvimento de produto, direcionando o foco dos esforços para os aspectos essenciais de forma sistemática desde início do projeto de desenvolvimento, com o principal propósito de aumentar a satisfação do cliente (HASENKAMP e OLME, 2008). *Design For Six Sigma* é parte importante de uma estratégia global de melhoria contínua, permitindo que as organizações mantenham e aprimorem uma vantagem competitiva. *Design For Six Sigma* aplicado no desenvolvimento de novos produtos deve abranger todo o processo, desde a aprovação formal dos requisitos do produto até a sua efetiva entrega (JENAB et al., 2018).

Na literatura estão disponíveis diversos métodos DFSS - *Design For Six Sigma*, os quais são aplicados como meio estruturado para auxiliar no desenvolvimento de produto. Embora apresentem fases com algumas terminologias diferentes, todos os métodos estão direcionados para o mesmo objetivo, ou seja: agregar valor ao produto por meio do atendimento às necessidades reais dos consumidores e pela inovação. O uso de ferramentas e técnicas estatísticas e de engenharia aplicada nas fases contribuem para o sucesso de um projeto. Neste contexto, uma revisão da literatura sobre a abordagem da aplicação da metodologia DFSS no desenvolvimento de produtos para manufatura de bens duráveis, constitui a base para o principal objetivo deste estudo, a qual resume com a construção e proposição de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. Este artigo está estruturado da seguinte forma: Na seção 2 uma revisão da literatura e motivação com a contextualização dos princípios e aplicações do DFSS e modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto. Na seção 3, descrição da metodologia da pesquisa, a seção 4 descreve o processo de construção do modelo de referência proposto e a seção 5 apresenta a estrutura do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, finalizando a seção 6 com a conclusão.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA E MOTIVAÇÃO

### 2.2 *Design For Six Sigma* e Desenvolvimento de Produto

De acordo com Morgan e Liker (2008), um sistema de desenvolvimento de produto é uma competência central fundamental para o sucesso de qualquer companhia voltada para o consumidor, tornando um diferenciador estratégico mais importante que a capacidade de produção. Desta forma, no processo de desenvolvimento do projeto de um produto, a metodologia *Design For Six Sigma* pode ajudar a desenvolver produtos com parâmetro e tolerâncias otimizadas, para alcançar a qualidade, robustez e confiabilidade do produto (YANG e CAI, 2009).

Como descrito por Creveling (2013) *Design For Six Sigma* é uma metodologia de prevenção de problemas a partir de uma perspectiva de gestão, construída sobre um portfólio integrado e equilibrado de ferramentas estatísticas com foco no desempenho  $6\sigma$  e melhores práticas que são implantadas nas fases de um processo de desenvolvimento de produtos. Fornecendo resultados qualitativos e quantitativos que são resumidos em Scorecards no contexto de gerenciamento de parâmetro crítico contra um conjunto claro de requisitos do produto com base na voz do cliente. Creveling (2013) também argumenta que DFSS integra três principais elementos táticos para ajudar a atingir os objetivos de negócios das organizações: redução de custo, alta qualidade e redução no tempo de desenvolvimento de produtos. A aplicação da metodologia *Design For Six Sigma* oferece um caminho para criar e desenvolver o projeto do produto, e também de desenvolver todo o processo envolvido, permitindo eliminar ou reduzir defeitos antes da produção em larga escala (ASAD et al., 2006).

Hasenkamp (2010) acrescenta que *Design For Six Sigma* fornece uma orientação estruturada bem como sugestões sobre implementação de ferramentas e técnicas para desenvolvimento de produto. Segundo (ERICSSON et al., 2015) citados por Awad e Shanshal, (2017) *Design For Six Sigma* permite uma concentração de esforços em um projeto sistemático visando o desempenho  $6\sigma$ . Apesar do consenso dos pesquisadores da importância da metodologia DFSS para o desenvolvimento de produto, Hasenkamp (2010) argumenta que há uma variedade de métodos DFSS publicados na literatura, sugerindo que não há uma estrutura sistemática bem estabelecida, compreendida e documentada, implicando em dificuldades na implementação da metodologia pelas organizações, que podem gerar enganos na aplicação, em termos de onde e como iniciar e continuar os esforços de maneira sistemática.

Para a aplicação da metodologia DFSS no desenvolvimento de produto, os métodos frequentemente mais aplicados são DMADV (*Define, Measure, Analyse, Design e Verify*) e IDOV (*Identify, Design, Optimise e Validate*). Sendo o método DMADV frequentemente descrito na literatura como uma aproximação ao método DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) (SOKOVIC et al., 2010 e SHAHIN, 2008). A Tabela 1 sintetiza os métodos DFSS e suas fases observados nas literaturas.

Tabela 1 - Métodos DFSS

MÉTODOS DFSS	FASES
DMADIC	<i>Define, Measure, Analyse, Design, Implement, Control</i>
DMADOV	<i>Define, Measure, Analyse, Design, Optimize, Verify</i>
DDOV	<i>Define, Design, Optimize, Validate</i>
ICOV	<i>Identify, Characterize, Optimize, Validate</i>
DMEDI	<i>Define, Measure, Explore, Develop, Implement</i>
DCCDI	<i>Define, Customer, Concept, Design, Implement</i>
I <sup>2</sup> DOV	<i>Invention and Innovation, Develop, Optimize, Verify</i>
PIDOV	<i>Plan, Identify, Design, Optimize, Validate</i>
IDDOV	<i>Identify, Define, Develop, Optimize, Verify &amp; Validate</i>
DIDES	<i>Define, Initiate, Design, Execute, Sustain</i>
CDOV	<i>Concept development, Design development, Optimization, Verify, Certification</i>
DCOV	<i>Define, Characterize, Optimize, Verify</i>
IDEAS	<i>Identify, Design, Evaluate, Assure, Scale-up</i>

Segundo os autores Watson e Deyong (2010), os diferentes métodos aplicados no DFSS dependerão do negócio organizacional, e que para a aplicação de um método lógico específico é necessário compreender os requisitos do projeto do produto para os vários tipos de negócios. Independente da estrutura do método aplicado ao *Design for Six Sigma*, os esforços concentram-se nos mesmos objetivos, como: i) Manter o desempenho nos limites aceitáveis, consistentes e confiáveis; ii) Reduzir a variação do desempenho e aumentar a robustez do processo. A aplicação da metodologia *Design For Six Sigma* no processo de desenvolvimento de produto tem apresentado êxitos, pois permite assegurar que o produto desenvolvido esteja convergente com as especificações dos clientes, buscando garantir a confiabilidade no desenvolvimento do produto, através da redução ou eliminação das vulnerabilidades

operacionais e aumento da robustez do produto com o emprego de técnicas e ferramentas apropriadas.

De acordo com Aligula e Sim (2017) a aplicação do método DMADV no processo de desenvolvimento de um dispositivo optoeletrônico (unidade transmissora conectável) usado para transmissão de dados, permitiu o desenvolvimento de um produto melhor em comparação a um existente, com vantagens superiores como velocidade de transmissão dos dados e redução de perda no processo. Neste trabalho os autores utilizaram diferentes ferramentas nas etapas do método DMADV com o objetivo de atender aos principais requisitos do projeto integrando as ferramentas de CAD, SIPOC, FMEA, MSA, DOE e CEP nas fases do método. Os autores concluíram que a aplicação do método DMADV melhorou significativamente o desenvolvimento do produto conduzindo para uma redução da taxa de refugo, melhoria do produto e processo. Segundo os autores Suresh et al. (2016) a aplicação da metodologia DFSS por meio do método IDOV proporcionou melhorias no processo de desenvolvimento de um selo automotivo. A técnica *Quality Function Deployment* (QFD) identificou os requisitos dos clientes e os requisitos técnicos do produto, para a seleção dos parâmetros a serem controlados no projeto do produto. As ferramentas *Design Failure Mode and Effects Analysis* (DFMEA) e análise de valores foram aplicadas para identificar os modos de falhas previsíveis e o planejamento para sua eliminação, identificação de funções importantes do sistema e o custo associado a essas funções. Também, os autores aplicaram ferramentas estatísticas para estabelecimento de parâmetros de acordo com os padrões da indústria.

Os autores Wang et al. (2016), aplicaram os conceitos DFSS por meio do método DMADV para o processo de desenvolvimento de um multiplexador digital de acesso de linha de assinante. Este produto geralmente está localizado em centrais telefônicas, sendo usado para conectar múltiplas “interfaces” DSL do cliente a um canal de comunicação digital de alta velocidade. A técnica QFD foi aplicada para identificação dos requisitos do produto e tradução das necessidades dos clientes. Outras ferramentas foram incorporadas no estudo como *Initial Ideal Result (IFR)*, *Resources*, *contradiction matrix*, *Identify Function Modeling (IFM)*, método *Pugh*, *DFMEA*, análise de *Kano*, *DOE – Design Of Experiment* e a Teoria da resolução de problemas inventivos (*TRIZ - theory of inventive problem-solving*). Os autores concluíram que DFSS mostrou-se eficaz para o desenvolvimento de novos produtos. A abordagem deste estudo contribuiu com a incorporação de novas ferramentas que mostraram eficácia nesta pesquisa, porém o estudo limita-se com a aplicação das etapas do método DMADV, sem abordar uma estrutura sistemática para o processo de desenvolvimento de produto.

Os autores Cheng et al. (2014), aplicaram os conceitos DFSS pelo método DMADV no desenvolvimento de um tijolo de alta resistência curado sem sinterização. Este produto foi produzido com uma mistura de sedimentos de reservatório de hidroelétrica, resíduos de alvenaria da indústria da construção civil, cimento e aditivos para cura. Os autores citam que *Design For Six Sigma* é uma metodologia de gerenciamento para melhorar sistematicamente o processo de desenvolvimento de produto, porém não dispõe de um passo a passo para este processo. Neste trabalho os autores seguem as etapas do método DFSS-DMADV com a aplicação de ferramentas de desenvolvimento e análise, mas não citam modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto.

Observa-se que os conceitos da metodologia DFSS ainda não são bem compreendidos no processo de desenvolvimento de produto. Muitas vezes, a sua aplicação é confundida com a metodologia *Six Sigma* pela estrutura denominada DMAIC. Além disso, a metodologia DFSS apresenta diversidades de métodos, que são às vezes aplicados para melhoria de processo, divergindo do propósito de contribuir no desenvolvimento de produto.

Nesta revisão da literatura, observou-se que a metodologia DFSS aplicada no desenvolvimento de produto está concentrada na aplicação de algum método DFSS, sem integrar um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto. Algumas literaturas apresentaram a proposição de uma nova estrutura para o desenvolvimento de produto baseado em um método DFSS. Dentre as literaturas, pode-se destacar a proposta apresentada pelos autores Awad e Shanshal (2017), que propuseram um modelo híbrido denominado Kaizen-DFSS aplicado no processo de melhoria de um motor a diesel com o propósito de reduzir o consumo de óleo. O modelo híbrido proposto integra o método DFSS-DCOV a quatro eventos kaizen: i) Escopo do negócio; ii) Definição e Caracterização; iii) Otimização e Verificação; iv) Finalização e Documentação. No evento Escopo do negócio é realizado o escopo do projeto do produto, e também uma análise dos principais recursos necessários para execução. O escopo do projeto, objetivos e recursos devem ser definidos e documentados. O evento Definição e Caracterização uma equipe deve ser consolidada para avaliação dos recursos disponíveis, definição de modos de falhas, identificação de função resposta, avaliação do sistema de medição aplicado para assegurar confiabilidade na função resposta. No evento, otimização e verificação, etapa em que uma análise do processo é executada por meio da aplicação de técnicas de *Design of Experiment* – DOE e simulação, se necessário para avaliação e otimização de fatores do processo selecionados para estudo. E por último, o evento de Finalização e Documentação, onde é realizada uma revisão detalhada do projeto e verificação

dos resultados do projeto. Através da identificação dos fatores resposta identificados no processo, o modelo proposto adaptado ao método DCOV foi seguido com aplicação de técnicas estatísticas como análise do sistema de medição, planejamento de experimento, análise de sensibilidade e superfície de resposta. Estas ferramentas possibilitaram a identificação dos fatores que mais afetam o consumo de óleo em um novo motor. Segundo os autores, a combinação DFSS e Kaizen mostrou-se eficiente e eficaz propiciando a redução em 55% do consumo de óleo. Porém, o estudo está focado na melhoria de um produto existente, sem aplicação de ferramentas de desenvolvimento de produto e aplicação de um modelo de referência.

Dando sequência, os autores Natarajan et al., (2013) propuseram um modelo para infundir qualidade e confiabilidade em novos produtos por meio dos conceitos *Six Sigma* e processo de desenvolvimento de produto. O modelo denominado QUARNEWSS integra a metodologia *Six Sigma* DMAIC com as quatro etapas para o desenvolvimento do produto proposto pelos autores Hart e Baker (1994), identificadas como inicialização, conceitualização, prototipagem e avaliação. A estrutura conceitual do modelo QUARNEWSS (QUA – padrão de qualidade, R – confiabilidade, NEW – padrão para novos produtos e SS padrão *Six Sigma*), proposta pelos autores foi aplicada em uma indústria de manufatura de produtos para tratamento de ar comprimido. As fases do modelo QUARNEWSS consistiram na aplicação de ferramentas e técnicas comumente utilizadas na melhoria da qualidade e confiabilidade no processo de desenvolvimento do produto, como QFD, FMEA, controle estatístico de processo e modelo CAD.

Seguindo com uma proposta de integração dos conceitos DFSS por meio do método IDDOV e as técnicas de desenvolvimento de produto, os autores Hasenkamp e Olme (2008) apresentaram um novo modelo PDP constituído de 4 fases principais, conforme a seguir: i) Técnica de viabilidade; ii) Projeto e verificação; iii) Validação; e iv) Transferência/Entrega. O modelo proposto foi aplicado em um estudo de caso em uma indústria fabricante de rolamentos e vedações. As fases principais do modelo são constituídas de 8 estágios com sugestão de aplicação de ferramentas de desenvolvimento de produto e estatísticas como QFD, modelo Kano, DFMEA, matrix *Pugh*, DOE, função de transferência, *P-diagram*, método Taguchi, simulação, ANOVA e *Design For X*. Os autores mencionaram que DFSS não é bem entendido e consistente como a metodologia *Six Sigma*, carecendo de um melhor entendimento para integração no processo de desenvolvimento de produto. No entanto, os autores não citam a possibilidade de integração dos conceitos DFSS com um modelo de referência de

desenvolvimento de produto. O modelo proposto pelos autores foi orientado pelo método IDDOV.

Em outro estudo, os autores Frizziero et al., (2018), ilustraram o processo de desenvolvimento de um ventilador multifuncional (lâmpada, difusor de aroma e ventilador) com características inovadoras, aplicando a metodologia DFSS seguindo as fases do método DMADV. Os autores identificaram as expectativas do consumidor acerca do produto, traduzindo-as para requisitos do produto, projeto conceitual, simulação e manufatura. Durante o processo diversas ferramentas e técnicas foram aplicadas para o desenvolvimento do produto que foi realizado por uma impressora 3D.

Logo, a motivação que permeou a condução da captação do conhecimento sobre o tema de pesquisa, pode ser sumarizado na seguinte questão: Como integrar um modelo de referência de desenvolvimento de produto com os princípios dos métodos DFSS que atenda a dinâmica das organizações e as expectativas do consumidor? Avançando para a compreensão das necessidades apresentadas na linha teórica de investigação, esta pesquisa fundamentou a construção de uma proposta de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto.

### **2.3 Modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produto**

O processo de desenvolvimento de produto foi definido por Rozenfeld et al. (2006) como “um processo de negócio [onde] desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais se busca, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, se chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção para que a manufatura seja capaz de produzi-lo e de acompanhá-lo após seu lançamento. Assim, irão se realizar as eventuais mudanças necessárias nessas especificações, planejar a descontinuidade do produto no mercado e incorporar, no processo de desenvolvimento, as lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto.”

Para Kaminski (2000), PDP é um conjunto de atividades que visa transformar as necessidades explícitas ou implícitas do mercado em produtos e serviços economicamente viáveis. No estudo de Pereira (2014), foi identificado diferentes abordagens ou modelos de referência para o Processo de Desenvolvimento de Produto, com características e princípios próprios, definidos conforme a característica da empresa e/ou produto. Rozenfeld et al. (2006), definem modelo de referência como estrutura para descrever o processo de desenvolvimento do produto, sendo uma referência para que as organizações e profissionais envolvidos possam

desenvolver produtos segundo um ponto de vista comum, facilitando a comunicação e integração entre os profissionais e as áreas envolvidas.

Neste contexto, Pereira (2014), sintetizou os modelos de referência PDP e suas terminologias de modo a permitir uma comparação e identificação das diferenças entre eles. Esta análise possibilitou um consenso e uma estrutura de modelo denominada MOP&D desenvolvida para atender aos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento definidos pela ANEEL. A Figura 1, ilustra uma parte do estudo abrangente sobre os modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produto, disponíveis na literatura. Estes modelos de referência foram sumarizados em 14 etapas distintas, permitindo uma análise detalhada das lacunas existentes. Sendo assim, Pereira (2014) propôs o modelo PDP-MOP&D, cuja estrutura está dividida em 3 macrofases: Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento. As macrofases são desmembradas em seis fases: Iniciação, Planejamento, Projetação, Implementação, Produção e Manutenção, com 14 etapas distintas distribuídas ao longo das fases do modelo. A Figura 1 apresenta alguns dos modelos PDP estudados por Pereira (2014), com as lacunas observadas pelo autor e também o modelo PDP-MOP&D proposto.

Macrofases	Fases	Etapas	AUTORES												
			Kaminski (2000)	Cooper (2001)	Stuart Pug (2002)	Prodiip(2003)	Pahl et al (2005)	Crawford & Benedito(2006)	Rozenfeld et al (2006)	Modelo Toyota	Modelo MOP&D Pereira (2014)				
Pré-desenvolvimento	Inicialização	1	Identificação da necessidade	Descoberta						Identificar e selecionar oportunidades			Declaração da Demanda		
	Planejamento	2	Estudo de viabilidade	Definir escopo e mercado	Especificação do projeto do produto					Geração de conceitos (necessidades)	planejamento estratégico	planejamento estratégico	Definição de Escopo		
		3				Planejamento do produto				Avaliação dos conceitos	Planejamento do produto	Planejamento do produto	Planejamento do Produto		
Desenvolvimento	Projetação	4				Projeto informacional					Projeto informacional	Projeto informacional	Estudo de Princípios		
		5	Projeto básico	Definir a especificação	Projeto conceitual	Projeto conceitual	Definição da concepção				Projeto conceitual	Projeto de hardware e software	Projeto conceitual		
		6				Projeto preliminar	Anteprojeto e detalhamento						Projeto Preliminar		
		7		Desenvolver o produto	Projeto detalhado	Projeto detalhado					Projeto detalhado		Projeto detalhado		
	Implementação	8	Projeto Executivo	Testar e validar produto							Desenvolvimento	Avaliação dos componentes		Refinamento do Produto	
		9	Planejamento da produção				Preparação para produção					Preparação para produção		Projeto do Processo de Manufatura	
		10	Execução	Implementar produção/marketing		Manufatura		Seleção					Produção piloto	Manufatura e Acabamento do produto	
			11											Plano de Marketing	
	Pós-desenvolvimento	Produção	12				Lançamento do produto				Lançamento do produto	Lançamento do produto		Lançamento do produto	
		Manutenção	13		Revisão pós lançamento			Validação				Acompanhamento do produto	Produção		Revisões após o lançamento
			14									Descontinuar o produto			Descontinuar o produto

Figura 1 - Modelos de referência para PDP (PEREIRA, 2014).

Desenvolver novos produtos em menor tempo possível, com preço competitivo e satisfação do consumidor requer uma sistemática de desenvolvimento dinâmica e aplicável que possa contemplar as expectativas da organização e do consumidor com custo reduzido. Sendo assim, os modelos de referências descritos requerem uma compreensão e uma adequação pela

organização para serem aplicados, visto que nem todas as fases necessariamente precisam ser aplicadas, as quais podem apresentar uma certa dificuldade de interação com o usuário na definição da fase/etapa identificada como essencial para o projeto específico.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Foi realizada uma busca preliminar das publicações sobre *Design For Six Sigma*, a partir de uma questão inicial, a saber: Algum método DFSS integra nas fases do desenvolvimento de produto um modelo de referência PDP? De modo a buscar evidências científicas para a resposta da questão preliminar formulada, foi estabelecido uma pesquisa por meio das palavras-chave *Design For Six Sigma* e DFSS nas bases de dados sem aplicação de filtros. Este processo inicial de investigação retornou 549 publicações. Desta forma, os artigos pesquisados ampliaram a lista de palavras-chave para a busca de evidências científicas nas bases de dados, assim como uma definição de uma estratégia de pesquisa. Segundo (TRANFIELD et al., 2003) uma estratégia de pesquisa deve ser relatada em detalhe suficiente para garantir que a pesquisa possa ser replicada, permitindo a extração de uma lista de artigos em que a revisão será baseada. Para esta revisão sistemática a estratégia de pesquisa realizada, seguem cinco passos, que estão representados na Figura 2. O primeiro passo para a investigação do referencial teórico foi a definição do mecanismo de filtro da pesquisa com as palavras-chaves exatas e expressão booleana conforme apresentado na Tabela 2. A busca pelas evidências científicas foram conduzidas no Portal de periódicos Capes, mantida pela Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, a qual contém 476 bases de dados, incluindo *Emerald Insight* (Emerald), *Scopus* (Elsevier), *Science Direct*, *SpringerLink*, *Taylor & Francis*, *Scielo* (*Web of Science*), *Wiley Online Library*, *Web of Science* (*Clarivate Analytics*) e outras. No passo seguinte, foram considerados os artigos publicados na língua inglesa, artigos revisados por pares e compreendidos entre o período de 2000 a 2019.

Tabela 2 - Relação das palavras-chave e período de publicação dos artigos.

Palavras-chaves	Período de publicação
<i>Design For Six Sigma</i> “e” DFSS	2000 a 2018
DMADV “e’ <i>Design For Six Sigma</i> /DFSS	2002 a 2016
<i>Design For Six Sigma</i> “e’ product Development	2002 a 2016
<i>Design For Six Sigma</i> “e’ Quality Function Deployment	2000 a 2016
IDOV “e’ <i>Design For Six Sigma</i> /DFSS	2004 a 2016
DMEDI “e’ <i>Design For Six Sigma</i> /DFSS	2003 a 2014

DCOV “e’ Design For Six Sigma /DFSS	2003 a 2014
DMADOV “e’ Design For Six Sigma /DFSS	2006 a 2014
IDDOV “e’ Design For Six Sigma /DFSS	2010 a 2016
ICOV “e’ Design For Six Sigma /DFSS	2007 a 2015
DCCDI “e’ Design For Six Sigma /DFSS	2007 a 2010
CDOV “e’ Design For Six Sigma /DFSS	2010
DMADIC “e’ Design For Six Sigma /DFSS	2010
PIDOV “e’ Design For Six Sigma /DFSS	Sem publicação
DDOV “e’ Design For Six Sigma /DFSS	Sem publicação

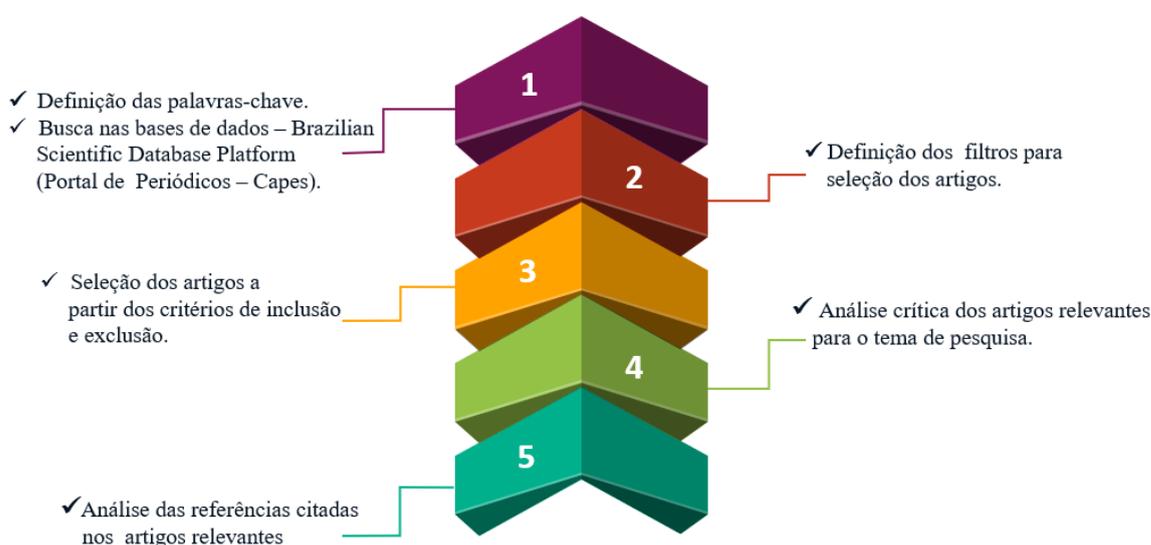


Figura 2 - Representação dos passos da estratégia de pesquisa.

Seguindo com a estratégia de pesquisa, o segundo passo resultou, após a aplicação dos filtros de pesquisa, um achado de 269 artigos. No terceiro passo, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão aplicados na análise destes artigos. Neste passo, foram selecionados os artigos que apresentaram uma contribuição clara da aplicação do DFSS no desenvolvimento de produto e discussão das técnicas e ferramentas utilizadas durante as fases. A Tabela 3 apresenta os critérios de inclusão e exclusão aplicados na pesquisa.

Tabela 3 - Critério de inclusão e exclusão aplicado na pesquisa

Critério de inclusão	Critério de Exclusão
Artigos diretamente correlatos aos métodos DFSS e processos de desenvolvimento de produto ou melhoria de um existente no segmento de serviços e bens duráveis, que discutam a utilização de ferramentas e técnicas;	Artigos duplicados nas bases de dados;
Artigos escritos no idioma inglês; Revisados por pares;	Artigos sem texto completo; Artigos informativos e conceituais sobre o tema DFSS;
Artigos compreendidos no período de 2000 a 2019.	Artigos que não estejam na língua inglesa;  Artigos não alinhados com o tema de pesquisa.

Os artigos foram avaliados por meio dos *abstracts* e selecionados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Essa avaliação resultou uma seleção 64 artigos, os quais apresentaram aderência a questão da pesquisa apresentada na seção 2. Uma análise crítica destes artigos foi realizada, de acordo com o quarto passo da estratégia de pesquisa, apresentado na Figura 2, para identificação das literaturas relevantes. Dentre os 64 artigos, 62,5% representaram estudos direcionados ao segmento de manufatura de bens de consumo duráveis, e os demais 37,5% representaram estudos direcionados para o segmento de serviços. Na Figura 3, é possível observar os resultados obtidos após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

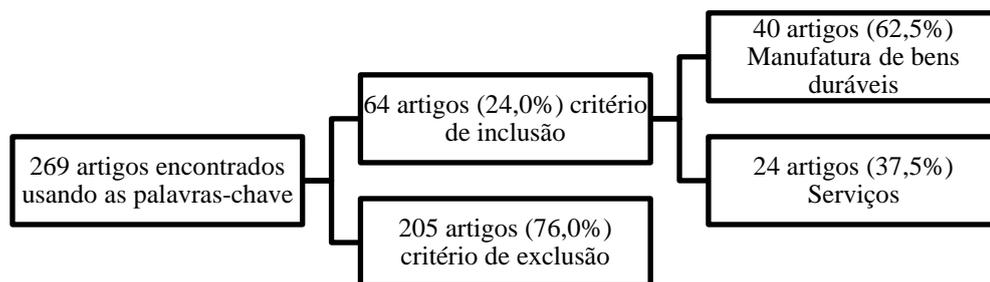


Figura 3 - Fluxograma dos resultados da estratégia de pesquisa.

Desta seleção, foi possível observar que a indústria automotiva destaca-se com a aplicação da metodologia *Design For Six Sigma* com foco no desenvolvimento de produto. Para o setor de serviços, observa-se, mesmo que de forma incipiente uma tendência de

aplicação dos conceitos *Six Sigma* na área da saúde e educação. Na educação os estudos recentes aplicaram os conceitos *Lean Six Sigma* no setor de Ensino Superior, de modo a aprimorar os processos que integram um sistema educacional para melhor gerenciamento das atividades que englobam a formação acadêmica do indivíduo. Observa-se que existe pouca informação em torno da aplicação detalhada do *Six Sigma* em uma Instituição de Ensino Superior, porém tem-se apresentado como uma área emergente de desenvolvimento acadêmico. A aplicação do *Lean Six Sigma* na Instituição de Ensino Superior está envolta com diversos desafios, visto que no segmento da educação existem vários atributos na cadeia de valor que vão além da visão de negócio, onde se pode pagar e obter o conhecimento. Lidar com a aplicação do LSS no domínio do ensino e aprendizagem, compreender o conceito de cliente e suas vozes em uma HEI são desafios a serem vencidos (SUNDER e JIJU, 2018; THOMAS et al., 2017; ANTONY, 2015; SVENSSON, 2015).

Devido à singularidade dos serviços de ensino superior, em comparação com outros setores de serviços, o *Lean Six Sigma* precisa ser observado não apenas como uma prática de qualidade de serviço, mas como uma mudança abrangente de paradigma nas Instituições de Ensino Superior, transformando as formas de trabalhar em vários processos acadêmicos e administrativos. As literaturas evidenciaram que muitas organizações de Ensino Superior falharam em suas próprias práticas de qualidade por falta de clareza na definição e compreensão dos clientes (SUNDER e MAHALINGAM, 2017; SUNDER, 2016).

Yeung (2014) em seu estudo sugeriu uma estrutura baseada no conceito DFSS para ser aplicada em projeto curricular em uma Instituição de ensino superior. O modelo específico denominado DLDDC é composto pelas fases: *Determine, Link, Define, Design, e Communicate*. O modelo DLDDC enfatiza a importância do desenvolvimento de um projeto curricular contemporâneo com envolvimento constante dos docentes e estudantes na avaliação e validação do processo de ensino e aprendizado.

Sunder e Antony (2018) sugeriram uma estrutura conceitual de implantação do *Lean Six Sigma* nas Instituições de ensino superior, de forma a auxiliar na implementação destes conceitos nas Instituições de Ensino Superior para torná-las mais eficientes frente aos desafios da competitividade, globalização da educação, tecnologia e fator financeiro. A estrutura é composta por seis etapas: a) Estabelecer uma necessidade através da liderança; b) Desenvolvimento de uma estratégia; c) educar com habilidades adequadas; d) formação de equipes; e) Identificação e início dos projetos de *Lean Six Sigma* e f) Revisão e encerramento. O modelo visa promover uma solução estruturada dos problemas e uma aprendizagem baseada

em atividades práticas, simultânea ao conhecimento teórico.

Embora, este artigo esteja direcionado para a metodologia DFSS no segmento de manufatura de bens de consumo duráveis, observa-se pela Figura 4 que os conceitos da metodologia *Six Sigma* apresentam uma aplicação adicional em diferentes segmentos de serviços.

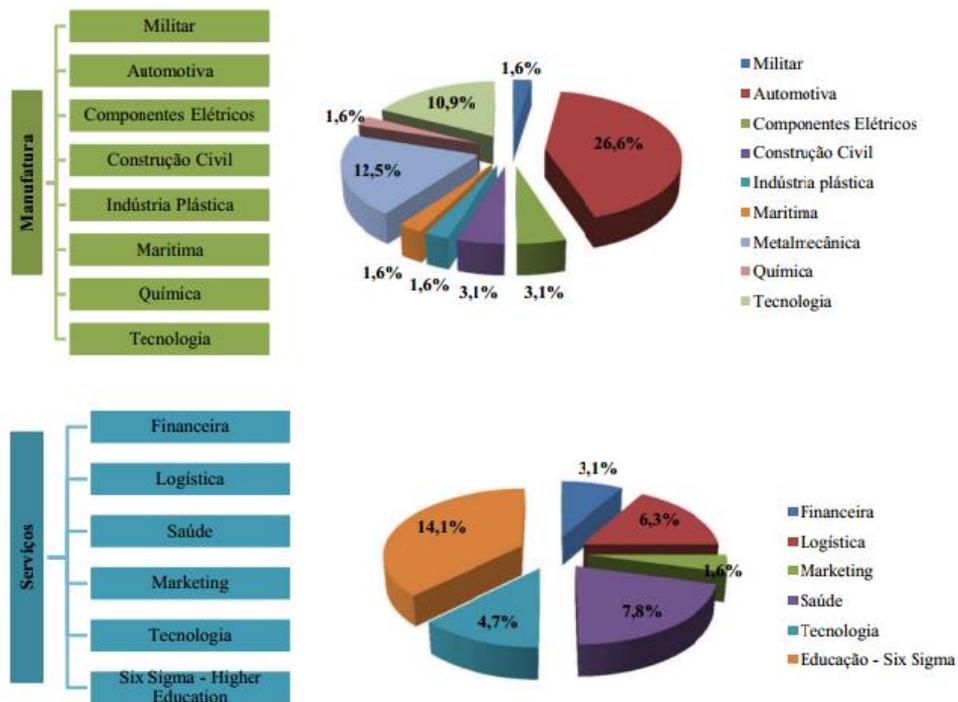


Figura 4 - Distribuição das publicações por segmento e área de aplicação.

Após a análise e avaliação dos 64 artigos previamente selecionados, buscou-se identificar as literaturas que apresentaram completa adesão ao tema proposto e norteadoras para a concepção de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. Desta forma, 18 artigos foram selecionados para esta finalidade, os quais abordaram exclusivamente a aplicação de um método DFSS para o desenvolvimento de produto de bens de consumo duráveis ou apresentaram uma proposição baseada na metodologia DFSS. Nesta análise, de acordo com a Figura 5, observou-se que as proposições de novas estruturas DFSS voltada para o desenvolvimento de produto representou 38,9% do total analisado e os demais artigos realizaram uma aplicação direta de um método DFSS, sendo que os métodos DFSS-DMADV e DFSS-DCOV corresponderam a 22,2% e 16,7% respectivamente, os métodos IDOV e ICOV corresponderam a 11,1% cada um.

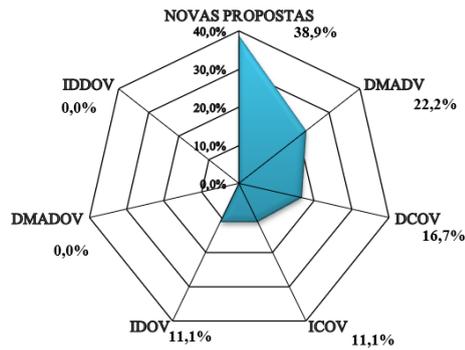
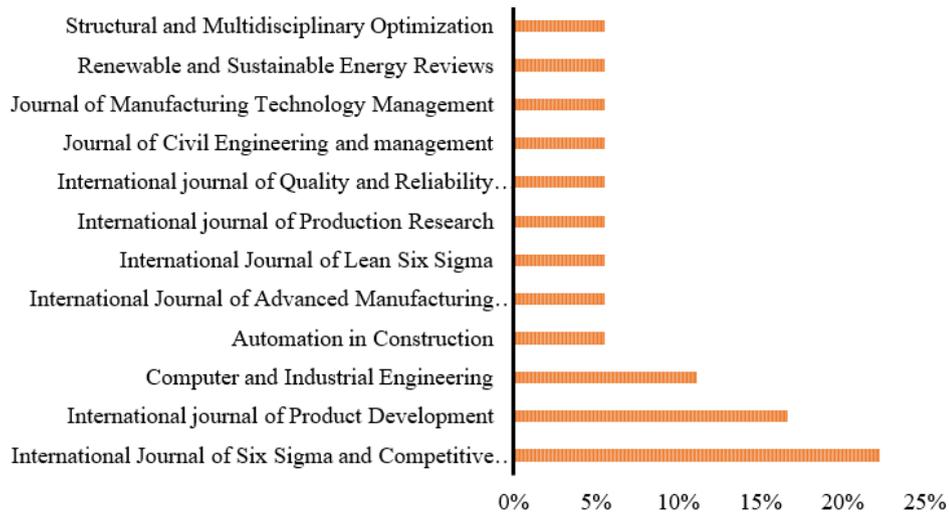
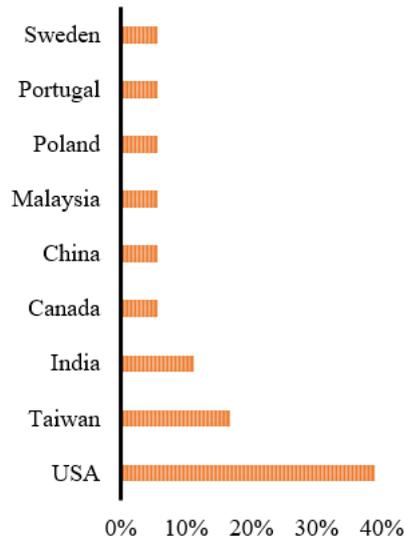


Figura 5 - Distribuição dos métodos DFSS na literatura.

Além da análise da aplicação dos métodos DFSS ou a proposição de nova estrutura para o desenvolvimento, foi possível identificar nos 18 artigos as principais técnicas e ferramentas aplicadas em cada uma das fases dos métodos DFSS. Sendo assim, foi observado que 77,7% aplicaram alguma técnica de desenvolvimento de produto como QFD - *Quality Function Deployment*, VOC - *Voice of Customer*, AD - *Axiomatic Design* e modelo Kano. A aplicação de técnicas estatísticas correspondeu a 72,2% dos artigos. A Figura 6 (a) e (b) sumariza os Journals de publicação e nacionalidade dos artigos selecionados. A Figura 7 sumariza as principais ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas aplicadas nas fases dos métodos DFSS pelos autores dos 18 artigos norteadores. Nota-se pelo referencial teórico selecionado que CAE- *Computer Aided Engineering*, QFD- *Quality Function Deployment* e QFD-VOC- *Voice of Customer* techniques, foram mais citadas por seus autores.



(a) Distribuição dos artigos por Journals



(b) Distribuição dos artigos por Nacionalidade

Figura 6 - Distribuição de artigos em termos de Journals de publicação e Nacionalidade.

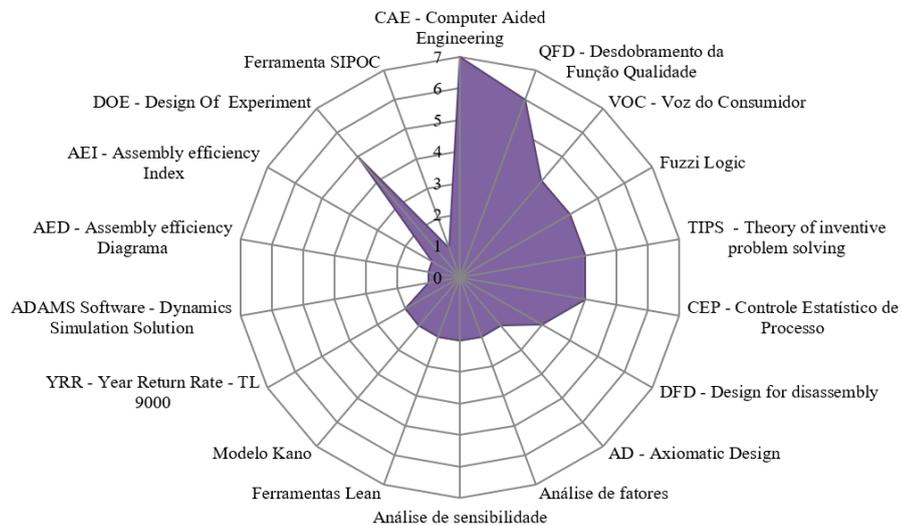


Figura 7 - Distribuição das técnicas aplicadas.

Visando melhor compreensão dos diversos métodos DFSS, a Figura 8 apresenta uma organização dos métodos com as respectivas terminologias das fases. Esta organização permite uma análise global de todos os métodos DFSS verificados nas literaturas, sendo possível observar que algumas destas fases se repetem entre os métodos e que nenhum dos métodos apresentam na estrutura das fases uma sistematização detalhada que contemple o processo de

desenvolvimento de produto do início até a sua descontinuidade no mercado. A Figura 9 apresenta as principais ferramentas aplicadas nas fases dos métodos DFSS revisados na literatura.

MÉTODOS DFSS	FASES DOS MÉTODOS DFSS																								
	Define	Plan	Identify	Measure	Evaluate	Design	Analyse	Assure	Scale-up	Invention	Innovation	Optimize	Explore	Develop	Verify	Characterize	Concept	Initiate	Execute	Sustain	Validate	Implement	Costumer	Control	
<b>DMADIC</b>																									
<b>DMADOV</b>																									
<b>DDOV</b>																									
<b>ICOV</b>																									
<b>DMEDI</b>																									
<b>DCCDI</b>																									
<b>I<sup>2</sup>DOV</b>																									
<b>PIDOV</b>																									
<b>IDDOV</b>																									
<b>DIDES</b>																									
<b>CDOV</b>																									
<b>DCOV</b>																									
<b>IDEAS</b>																									
<b>DMADV</b>																									
<b>IDOV</b>																									

Figura 8 - Fases dos Métodos *Design For Six Sigma*.

Ferramentas/Técnicas	FASES DOS MÉTODOS DFSS																								
	Define	Plan	Identify	Measure	Evaluate	Design	Analyse	Assure	Scale-up	Invention	Innovation	Optimize	Explore	Develop	Verify	Characterize	Concept	Initiate	Execute	Sustain	Validate	Implement	Customer	Control	
AD - Axiomatic Design																									
ADAMS Software - Dynamics Simulation Solution																									
AED - Assembly efficiency Diagrama																									
Analytic Hierarchy Process																									
Analytical reliability and robustness																									
Brainstorming																									
CAE - Computer Aided Engineering																									
Design for X																									
DFMEA - Design Failure Modes and Effects Analysis																									
DOE - Design Of Experiment																									
Factor Analysis																									
Finite Element Method																									
FMEA - Failure Modes and Effects Analysis																									
Kano Model																									
Lean Tools																									
Measurement analysis system (MSA)																									
Monte Carlo Simulation																									
Multiobjective optimisation																									
Parameter Design																									
Pugh Concept																									
QFD - Quality Function Deployment																									
Sensitivity Analysis																									
SIPOC tool																									
SPC - Statistical Process Control																									
Taguchi Robust Design																									
Tolerance Design																									
TRIZ Acronym TIPS - Theory of inventive problem																									
Regression																									
Response Surface Methods																									
Verification plan and report																									
VSM - Value Steam Mapping																									

Figura 9 - Ferramentas aplicadas nas fases dos métodos DFSS.

Por este estudo de revisão, as referências citadas nos artigos foram analisadas, com vistas a identificar os principais pesquisadores que abordam a metodologia DFSS no desenvolvimento de produto através do número de citações, sendo este, o quinto passo da estratégia de pesquisa. Sendo assim, foram considerados importantes nesta análise os autores com frequência igual ou superior a 5 citações. A Tabela 4 apresenta a distribuição da frequência das citações dos autores nos 18 artigos selecionados, a qual resultou na identificação dos autores: Antony, J., Creveling, C.M. e Gu, L. como sendo os autores mais referenciados nos estudos de aplicação DFSS no processo de desenvolvimento de produto

Tabela 4 - Distribuição das frequências de citação dos autores

	Total de citações	Total de citações por autor	Percentual do total de citações
Antony, J.	9	6	0,62%
Creveling, C.M.	5	5	0,51%
Gu, L.	6	5	0,51%
Autor com 4 citações (6 autores)	27	24	2,46%
Autores com 3 citações (18 autores)	61	54	5,54%
Autores com 2 citações (63 autores)	140	126	12,92%
Autores com 1 citação (755 autores)	813	755	77,44%
<b>TOTAL</b>	<b>1061</b>	<b>975</b>	<b>100,00%</b>

Todos os 18 artigos selecionados e sumarizados na Tabela 5 foram analisados na íntegra, buscando o entendimento da aplicação dos princípios DFSS no desenvolvimento de produto para o segmento da manufatura entre o período de 2000 a 2019. No entanto, foram identificadas delimitações e contribuições nos 18 artigos, as quais podem ser observadas. Um ponto de observação relevante para esta revisão, foi a ausência de uma integração dos princípios *Design For Six Sigma* com os conceitos dos modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produto de bens duráveis, mesmo nos artigos que propuseram uma estrutura para o desenvolvimento de produto orientado pela metodologia DFSS.

Tabela 5 - Delimitações e contribuições dos artigos selecionados.

<u>Autores</u>	<u>Ano</u>	<u>Título</u>	<u>Delimitações</u>	<u>Contribuições</u>
Awad, M.I., and Shanshal, Y. A.	2017	Utilizing Kaizen process and DFSS methodology for new product development	Proposição de uma integração do método DCOV e eventos Kaizen para a composição de uma metodologia híbrida. A proposta não sistematiza o processo de desenvolvimento de produto desde a inicialização e descontinuidade do produto, não considera as atividades, tarefas, estágios e decisões que envolvem o projeto de desenvolvimento de um novo produto ou serviço, ou melhoria de um já existente integrado a um modelo de referência PDP.	Nova proposta - Apresenta a aplicação de técnicas e ferramentas estatísticas que mostraram eficiência e eficácia para o processo de melhoria do produto existente.
Aligula, G.K., Kok, C.K. and Sim, H.K.	2017	Driving quality in product development in a Malaysian optoelectronic firm	Aplicação do método DMADV para o desenvolvimento de produto, porém não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	A aplicação do método DMADV melhorou significativamente o desenvolvimento do produto conduzindo para uma redução da taxa de refugo, melhoria do produto e processo.
Suresh, K.M., Asokan, P. and Vinodh, S.	2016	Application of <i>Design For Six Sigma</i> methodology to an automotive component	Aplicação do método IDOV para desenvolvimento de produto, porém não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	Aplicação de técnicas estatísticas e de desenvolvimento de produto e em diferentes etapas do projeto.
Wang, F.K., Yeh, C.T. and Chu, T.P.	2016	Using the <i>Design For Six Sigma</i> approach with TRIZ for new product development	Aplicação do método DMADV para desenvolvimento de produto, porém não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	A metodologia DFSS mostrou-se eficaz para desenvolvimento de novos produtos. Os autores contribuíram com a aplicação de ferramentas diferenciadas que mostraram eficácia na pesquisa.
Ferreira, I. et al.	2014	A multidisciplinary framework to support the design of injection mold tools	Proposição de uma estrutura avançada com abordagem do método IDOV para o processo de desenvolvimento de ferramentas de moldagem. A proposta não apresenta sistematização para o processo de desenvolvimento de produto.	New proposal - Combinação de técnicas e ferramentas diferenciadas para análise das necessidades dos clientes e otimização para padronização de uma sistemática específica e quantitativa de desenvolvimento de um ferramental.
Cheng, Y.L. et al.	2014	Innovative reservoir sediments reuse and design for sustainability of the hydroelectric power plants	Aplicação do método DMADV para desenvolvimento de produto, porém não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	DFSS é uma metodologia de gerenciamento para melhorar sistematicamente o processo de desenvolvimento de produto, porém os autores citam que não há um passo a passo para este processo.

Natarajan, M. et al.	2013	Quality and reliability in new product development a case study in compressed air treatment products manufacturing company.	A proposta busca uma sistematização para o processo de desenvolvimento de produto integrado aos conceitos <i>Six Sigma</i> contemplando as fases de inicialização até prototipagem. A proposta não considera etapas seguintes para o processo de desenvolvimento até a descontinuidade do produto.	Nova proposta - A integração sistematizada dos conceitos <i>Six Sigma</i> e um modelo PDP contribuem para melhoria da qualidade e confiabilidade do produto.
Koziołek, S. and Derlukiewicz, D.	2012	Method of assessing the quality of the design process of construction equipment with the use of DFSS ( <i>Design For Six Sigma</i> )	Aplicação do método ICOV para desenvolvimento de produto, porém não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	Nova proposta - O procedimento aplicado permitiu a avaliação da qualidade do projeto e do processo de construção de equipamento, contribuindo na prevenção de defeitos potenciais.
Tchidi, M.F.,He, Z. and Li, Y. B.	2012	Process and quality improvement using Six Sigma in construction industry	Aplicação combinada do método DMAIC e DCOV em diferentes fases para o processo de desenvolvimento em uma indústria da construção. No entanto, os procedimentos não consideram uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	Os autores contribuem com uma visão que parte do fornecedor ao cliente abordando melhoria do processo e produto.
Baril, C.,Yacout, S. and Clément, B.	2011	<i>Design For Six Sigma</i> through collaborative multiobjective optimization	A metodologia proposta segue o método IDOV, sem considerar uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	Os autores contribuíram com uma nova perspectiva de estágios para o processo de desenvolvimento de produto com aplicação de técnica de modelagem matemática para tomada de decisão.
Jou, Y.T. et al.	2010	A study on the improvements of new product development procedure an performance application of <i>Design For Six Sigma</i> in a semi-conductor equipment manufacturer	Os autores propuseram a implementação de um modelo para avaliar e melhorar o desempenho das fases de desenvolvimento de produto por meio do método DMADV. No entanto, não foi considerado nos procedimentos uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	Nova proposta - A proposta concentra-se na construção de etapas sistematizadas para auxiliar a identificar, analisar e melhorar o processo de desenvolvimento de produto.
Chakravorty, S.S. and Franza, R. M.	2009	The implementation of <i>Design For Six Sigma</i> : A development experience	O processo de desenvolvimento de um produto para a indústria de equipamentos de mobilidade para deficientes físicos seguiu o método DMADV, porém não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	Os autores entenderam que a aplicação DFSS para o processo de desenvolvimento de produto é mais adequado para um produto já existente, pois neste caso é mais fácil para o cliente entender a sua necessidade e contribuir para melhoria do mesmo.
Awad, M.I. et al.	2009	Track roller and idler design improvement using DFSS	A aplicação foi baseada no método ICOV, no entanto não há uma sistematização no processo de desenvolvimento de produto desde a inicialização e descontinuidade do produto. O procedimento não considera um modelo de referência PDP.	A pesquisa apresenta as técnicas estatísticas como fundamentais para o processo de desenvolvimento de produto.

Hasenkamp, T. and Olme, A.	2008	Introducing <i>Design For Six Sigma</i> at SKF	Proposição de uma estrutura com abordagem do método IDDOV para o processo de desenvolvimento. A proposta apresentou uma sistematização para o processo de desenvolvimento de produto, desde a inicialização ao encerramento. No entanto, a proposta não integra um modelo de referência PDP.	Nova proposta - Aplicação de técnicas e ferramentas em cada fase para desenvolvimento de produto. Os autores mencionaram que DFSS não é bem entendido e consistente, carecendo de um melhor entendimento para integração no processo de desenvolvimento de produto.
Li, Y. et al.	2006	CAE-Based <i>Six Sigma</i> robust optimization for deep- drawing process of sheet metal	A proposta foi baseada no método DMADOV combinando técnica de simulação numérica e projeto robusto para o processo de desenvolvimento de conformação de chapa metálica. O método não sistematiza o processo de desenvolvimento de produto desde a inicialização e descontinuidade do produto, não considera as atividades, tarefas, estágios e decisões que envolvem o projeto de desenvolvimento de um novo produto ou serviço, ou melhoria de um já existente.	Nova proposta - Os autores contribuíram com a proposta de integração do <i>Design For Six Sigma</i> , confiabilidade e projeto robusto para a otimização do processo de conformação.
Gerhorst, F. et al.	2006	<i>Design For Six Sigma</i> in product development at Ford Motor Company in a case study on robust exhaust manifold design	A aplicação foi baseada no método DCOV combinando técnica de simulação hipercubo latino e técnica de meta-modelagem de função de transferência com Krigagem estocástica gaussiana. No entanto, não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	A pesquisa apresentou as técnicas e ferramentas aplicadas durante o estudo.
Erlandson, P. W.	2006	DFSS for shift quality using full-vehicle ADAMS model	O estudo aplicou o método DCOV para desenvolvimento de produto, porém não considera uma sistemática de desenvolvimento de um modelo de referência PDP.	A pesquisa aplicou técnicas de análise estatística e software de modelagem de engenharia automotiva.
Hu, M. and Pieprzak, J.	2005	Using axiomatic design to improve conceptual design robustness in <i>Design For Six Sigma</i> (DFSS) methodology	Neste estudo foi aplicado o método DCOV ao processo de desenvolvimento de um ajustador hidráulico automotivo. No entanto, o processo segue as fases do método, sem considerar a integração de um modelo de referência de desenvolvimento de produto.	Os autores contribuíram com a aplicação da ferramenta <i>axiomatic design</i> para a transformação das necessidades dos clientes em requisitos funcionais,

## **4 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

No contexto de desenvolvimento de produto, os métodos DFSS foram sintetizados em 11 atividades distintas que descrevem os objetivos das fases permitindo análise de comparação e identificação de lacunas entre os métodos DFSS. Dentre as atividades identificadas, observou-se que os métodos DFSS analisados nas literaturas não apresentam em sua estrutura uma conotação direta para considerar no processo de desenvolvimento o contexto de melhoria de um produto existente, sendo assim, buscou-se um enfoque específico para esta atividade. Esta análise permitiu uma observação das necessidades na linha teórica de investigação sobre os métodos DFSS, corroborando com a proposta de incorporar em um único modelo de referência, os benefícios da metodologia *Design For Six Sigma* e uma estrutura sistemática para o processo de desenvolvimento de produto.

Neste contexto, as 11 atividades identificadas nos métodos DFSS conduziram para uma correlação construtiva do referencial teórico dos métodos *Design For Six Sigma* e das carências observadas durante a análise e avaliação dos 18 artigos norteadores deste estudo. Logo, esta análise permitiu uma integração das 14 atividades propostas no modelo MOP&D para o processo de desenvolvimento de produto, apresentado na Figura 1, seção 2, com as 11 atividades das fases dos métodos DFSS delineadas na Figura 10. Esse direcionamento, possibilitou um consenso para a construção do modelo de referência *Design For Six Sigma*, em que foram integradas diversas atividades propostas no modelo de referência MOP&D, as quais não estão contempladas nos métodos DFSS para o desenvolvimento de produto. A Figura 11, apresenta as atividades que são contempladas pelos métodos DFSS nas atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto MOP&D, a área hachurada, trata-se de atividades não contempladas.

ATIVIDADES / OBJETIVOS DAS FASES DOS MÉTODOS DFSS		MÉTODOS DFSS														
		DMADIC	DMADOV	DDOV	ICOV	DMEDI	DCCDI	I <sup>2</sup> DOV	PIDOV	IDDOV	DIDES	CDOV	DCOV	IDEAS	DMADV	IDOV
Definir/identificar/planejar o projeto do produto, os objetivos e as restrições.	1	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Geração de novas ideias - criação de algo novo - Definir projeto de inovação	2							✓								
Melhorar produto existente	3															
Identificar/mensurar as necessidades dos consumidores e traduzi-las em requisitos funcionais do produto	4	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
Ideia conceitual do produto, seleção e escolha.	5		✓		✓		✓					✓			✓	
Projeto/desenvolvimento/execução do produto	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Projeto/desenvolvimento do conceitos do processo	7									✓						
Otimizar o projeto do produto e do processo	8		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓			✓
Avaliação do produto no processo de produção no atendimento as especificações definidas	9		✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓	
Avaliação do desempenho do processo para identificar melhores práticas e correção de erros na produção	10															
Manter o controle do produto no processo para o atendimento as especificações definidas.	11	✓												✓		

Figura 10 - Atividades dos métodos DFSS

INTEGRAÇÃO DAS ATIVIDADES/OBJETIVOS DOS MÉTODOS DFSS COM AS ATIVIDADES DO MODELO MOP&D (Pereira (2014))		MÉTODOS DFSS														
		DMADIC	DMADOV	DDOV	ICOV	DMEDI	DCCDI	I <sup>2</sup> DOV	PIDOV	IDDOV	DIDES	CDOV	DCOV	IDEAS	DMADV	IDOV
Declaração da Demanda	1	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Definição de Escopo	2	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Planejamento do Produto	3															
Estudo de Princípios	4															
Projeto conceitual	5		✓		✓		✓					✓			✓	
Projeto Preliminar	6															
Projeto detalhado	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Refinamento do Produto	8		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓			✓
Projeto do Processo de Manufatura	9									✓						
Manufatura e Acabamento do produto	10		✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓	
Plano de Marketing	11															
Lançamento do produto	12															
Revisões após o lançamento	13															
Descontinuar o produto	14															

Figura 11 - Atividades dos métodos DFSS contemplados no modelo de referência MOP&D

Portanto, a construção da proposta do modelo de referência DFSS- PDP foram baseadas nos seguintes pilares:

- a) Conhecer os métodos DFSS existentes na literatura, com a identificação dos principais conceitos e aplicação para o desenvolvimento de produto;
- b) Conhecer as recentes propostas dos modelos/estruturas para o desenvolvimento de produto orientado pela metodologia DFSS na linha teórica de investigação;
- c) Conhecer os modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produto na linha teórica de investigação;
- d) Identificar possíveis lacunas nos métodos DFSS e integrar a um modelo de referência PDP;
- e) Construção de um modelo de referência DFSS-PDP com base na linha teórica da investigação.

Por fim, o modelo de referência DFSS-PDP proposto visa integrar os princípios da metodologia DFSS, focando nas carências observadas nos métodos e propor uma fusão com o modelo de referência para o processo de desenvolvimento integrado de produto orientado para projetos de pesquisa e desenvolvimento proposto por (PEREIRA, 2014). Os conceitos foram alinhados de forma a conceber um modelo de referência que assegure em toda a extensão do processo de desenvolvimento do produto, o melhor desempenho da qualidade do projeto, por meio da otimização e prevenção de ocorrência de problemas no processo de produção em escala.

## **5 MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

O modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto está voltado para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis, sendo dividido em 3 macrofases: Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento. As macros-fases foram subdivididas em 5 fases, sendo estas: Planejamento, Projetação, Implementação, Industrialização e Monitoramento. As fases foram desdobradas em 8 estágios, sendo estes: percepção da demanda, escopo do produto, caracterização do produto, otimização, planejamento do processo de produção, pré-produção, produção e comercialização, e acompanhamento do produto no mercado consumidor. A Figura 12 sintetiza o modelo de referência e na sequência o objetivo principal de cada uma das fases do modelo proposto, são sumarizadas para melhor compreensão do leitor.

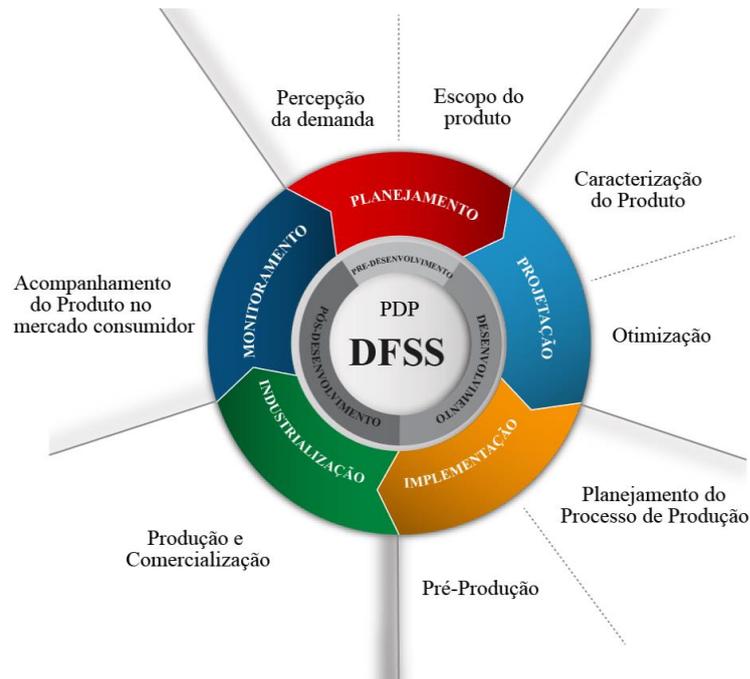


Figura 12 - Modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto

**Fase Planejamento:** Esta fase é composta pelos estágios de Percepção da demanda e Escopo do projeto do produto e propõe assegurar o conhecimento da voz do consumidor buscando alinhar com as expectativas do negócio, por meio da sintonia do setor de Marketing com as observações de tendência do mercado, e concorrentes do nicho de mercado. Em um segundo momento, objetiva analisar a demanda do mercado consumidor com geração de ideias/alternativas de negócios viáveis, seleção da proposta do projeto a ser desenvolvido e definição das métricas de acompanhamento do projeto.

**Fase Projetação:** Fase composta pelos estágios de Caracterização do produto e Otimização. Busca Identificar os requisitos do produto a ser projetado, conceito do produto, adequação das estruturas necessárias para o desenvolvimento, e de forma simultânea, análise e planejamento da estrutura de produção necessária para o atendimento à demanda. Análise e acompanhamento do desenvolvimento do protótipo para implementação de melhorias no projeto e minimização das falhas para homologação do projeto.

**Fase Implementação:** Composta pelos estágios de Planejamento do processo de produção e Pré-produção. Propõe a efetivação do desenvolvimento do processo de produção visando a estruturação da cadeia de suprimentos, adequação de maquinários, produção de lote piloto, análise e otimização para homologação do processo.

**Fase Industrialização:** Esta fase é composta por apenas um estágio, denominado Produção e Comercialização, que busca o processamento do produto em escala de produção com acompanhamento dos indicadores de desempenho para identificação de pontos críticos. Efetivo lançamento do produto no mercado com as definições de estratégias de vendas, distribuição e assistência pós-vendas.

**Monitoramento:** Esta fase é composta por apenas um estágio denominado de Acompanhamento do produto no mercado consumidor, e visa uma observação e avaliação contínua do produto no mercado quanto ao quantitativo de vendas, monitoramento da tendência do mercado e o acompanhamento da concorrência.

O modelo de desenvolvimento de produto orientado ao *Design For Six Sigma* descrito, concentra-se numa abordagem integradora das atividades que compõem os estágios de cada uma das fases. Permitindo interação entre as equipes de diferentes áreas e funções da organização, com atividades sendo executadas paralelamente, de forma a proporcionar uma redução do tempo e custo, e melhoria da qualidade do produto e processo. O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto proposto visa estruturar um roteiro aplicável com a sinergia dos princípios da metodologia *Design For Six Sigma* e um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, para implementação nas organizações de manufatura de bens de consumo duráveis. O modelo proposto permite um acompanhamento em toda a extensão do processo de desenvolvimento do produto, com foco na eliminação de possíveis defeitos ou erros no projeto do produto e no processo de produção. Buscando concentrar esforços na redução da variabilidade, otimização do produto e processo, redução de custos e principalmente que atenda a expectativa do consumidor e da organização.

## 6 CONCLUSÃO

*Design For Six Sigma* é uma das abordagens aplicadas com êxito no desenvolvimento de produto, com o propósito de assegurar que o produto esteja convergente com as especificações dos clientes. Buscando garantir a confiabilidade no desenvolvimento do produto, através da redução ou eliminação das vulnerabilidades operacionais e aumento da robustez do produto com o emprego de técnicas e ferramentas apropriadas.

Nesta revisão da literatura referente a aplicação dos métodos *Design For Six Sigma* no desenvolvimento de produto, observou-se que os conceitos do DFSS são algumas vezes implementados para melhoria de processo, sendo que a essência da metodologia DFSS é para a aplicação no desenvolvimento de produto. De acordo com Watson e Deyong (2010) os conceitos *Six Sigma* difundidos pela Motorola *University Design For Manufacturing*, cuja aplicação está voltada para melhoria de processos, existe um procedimento bem estabelecido e consolidado na literatura a saber, *Define–Measure–Analyze–Improve–Control procedure* (DMAIC). Por outro lado, a metodologia *Design For Six Sigma* possui diversos métodos, que são às vezes aplicadas para melhoria de processos, divergindo do propósito de desenvolvimento de produto. Toda a metodologia da pesquisa da revisão da literatura conduziu para o entendimento de que os métodos DFSS aplicados no desenvolvimento de produto possuem fases com propósitos similares, as quais foram sintetizadas em 11 atividades, onde foi possível melhor observar as lacunas existentes nos métodos DFSS. Em paralelo, partindo do estudo apresentado por Pereira (2014) sobre os modelos de referência para desenvolvimento de novos produtos e o modelo MO&P idealizado pelo autor, o qual foi detalhado em 14 atividades, buscou-se alinhar as atividades realizadas pelos métodos DFSS com as atividades do modelo de referência PDP estruturado por Pereira (2014), e construir uma proposta de um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto embasado nos princípios da metodologia *Design For Six Sigma*, o qual busca englobar todas as etapas do processo de desenvolvimento de produto.

Esta revisão também identificou as principais literaturas pertinentes ao tema e as referências importantes para propiciar o suporte na pesquisa sobre DFSS aplicado ao desenvolvimento de produto de bens de consumo duráveis. Os artigos foram classificados, seguindo um critério de relevância e aderência ao tema proposto, os quais foram analisados criticamente resultando 18 publicações com relativo impacto, os quais apresentaram aplicação de um método DFSS existente ou a proposição de uma estrutura aplicada ao desenvolvimento de produto. Estas literaturas, foram fundamentais para o processo de entendimento das atividades executadas em cada fase dos métodos DFSS, as quais impulsionaram para a

compreensão e detalhamento das 11 atividades descritas para os métodos DFSS estudados. Todo referencial teórico desta revisão buscou identificar os potenciais de contribuições e limitações de cada estudo, observando as ferramentas e técnicas de desenvolvimento de produto e estatística aplicada, e a eficácia da aplicação no processo. Este estudo permitiu a construção de uma estrutura para o processo de desenvolvimento de produto alinhado com os princípios da metodologia DFSS e com a estrutura sistemática de um modelo de referência com uma abordagem conceitual para aplicação no processo de desenvolvimento de produto de bens duráveis pela organização.

Esta revisão também revelou que há uma limitação no entendimento da aplicação dos conceitos DFSS no desenvolvimento de produto, e que estes princípios não estão integrados a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, sendo assim, a investigação do tema evidenciou uma carência na padronização de um método DFSS integrado a um modelo de referência. Neste contexto, a construção do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado para o processo de desenvolvimento de produto, sustentada pela análise do referencial teórico, constitui uma oportunidade de contribuição acadêmica. A proposta do modelo de referência é que seja passível de aplicação e capaz de atender as necessidades das organizações com a eficácia e eficiência exigida nas organizações. Este artigo, identificou e analisou as principais literaturas sobre *Design For Six Sigma*, bem como as fases dos métodos, atividades, ferramentas e técnicas aplicadas, sintetizando o aprendizado da metodologia *Design For Six Sigma* em 11 atividades, as quais foram integradas a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto. A partir da estruturação sistemática do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, o passo seguinte foi a validação do modelo de referência por um grupo de especialistas, em seguida, uma validação do modelo de referência com a proposta de aplicação no desenvolvimento de um produto assistivo.

## 2.2 ARTIGO 2

# ***DESIGN FOR SIX SIGMA: DETALHAMENTO E VALIDAÇÃO DE UM MODELO DE REFERÊNCIA ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO***

***Status:*** Submetido ao *Journal of Industrial and Production Engineering* (ISSN: 2168-1023).  
***Impact Factor (Journal Citation Ranking):*** 1.960  
***SJR (Scimago Journal Ranking):*** 0.810

## ***DESIGN FOR SIX SIGMA: Detalhamento e validação de um modelo de referência orientado ao processo de desenvolvimento de produto***

### **RESUMO**

Este artigo propõe o detalhamento da estrutura sistemática de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, bem como a apresentação dos resultados da validação, a qual foi aplicada a um grupo de especialistas em processo de desenvolvimento de produto de diferentes segmentos industriais. O detalhamento do modelo de referência deste trabalho, visa apresentar ao leitor uma estrutura que incorpore todas as fases do processo de desenvolvimento do produto desde o início até a descontinuidade do produto no mercado, bem como apresentar um fluxo de comunicação e interação das atividades com todos os envolvidos em uma organização. Além disso, o modelo de referência busca facilitar a compreensão das fases importantes para o desenvolvimento do produto, bem como sugerir as organizações uma estrutura com uma abordagem de melhoria e otimização do produto e processo antes do processo de produção, por meio dos princípios da metodologia *Design For Six Sigma*. O conteúdo do modelo de referência *Design For Six Sigma* está resumido neste artigo e os resultados da validação pelo grupo de especialistas sugerem a aplicabilidade do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto para organizações de manufatura de bens de consumo duráveis.

**Palavras-chave:** *Design For Six Sigma*, DFSS, modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, técnicas de desenvolvimento de produto.

## 1 INTRODUÇÃO

A volatilidade do mercado e as rápidas mudanças tecnológicas resultantes da transformação do ambiente de negócio direciona as organizações a procurar continuamente novos produtos ou a inovar produtos existentes. A introdução de um novo produto requer não apenas uma boa compreensão das necessidades dos clientes, mas também, uma análise das variáveis tecnológicas, financeiras e de tempo (MARUSZEWSKA, 2015). Face à grande importância do desenvolvimento de um produto no momento certo e que desperte interesse por parte do mercado, torna-se necessário um procedimento para desenvolvimento de boas soluções. Este procedimento deve ser flexível e, em simultâneo, capaz de ser planejado, otimizado e verificado (PAHL et al., 2007).

O processo de desenvolvimento de produto envolve uma cadeia de atividades e etapas que são delineadas com o único objetivo de atender as expectativas do mercado consumidor. Desenvolvimento de novos produtos representa uma importante estratégia gerencial capaz de contribuir para o sucesso organizacional frente a pressão competitiva do mercado. Para Clark e Fujimoto (1991) o processo de desenvolvimento de produto é o processo a partir do qual dados e oportunidades de mercado são transformados em informações de valor para a produção de um produto com fins comerciais. Segundo Pugh (1991) processo de desenvolvimento de produto é uma atividade sistemática necessária desde a identificação das necessidades dos usuários até a venda de produtos capazes de satisfazer estas expectativas – uma atividade que engloba produto, processos, pessoas e organização. Para Rozenfeld et al. (2006) o processo de desenvolvimento de produto constitui um conjunto de atividades por meio das quais se busca, a partir das necessidades do mercado, das possibilidades e restrições tecnológicas, assim como estratégicas competitivas, conduzir para as especificações de projeto de um produto, processo de produção, lançamento do produto e acompanhamento do produto até a descontinuidade no mercado.

Desenvolvimento de produto não é uma atividade simples e requer a integração de processos e pessoas dentro de uma organização empenhadas e alinhadas com um objetivo em comum. Para tanto, diversas propostas de abordagens de modelos de referências para o processo de desenvolvimento de produto em diferentes áreas de conhecimento, são estudadas e apresentadas nas literaturas. Um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto pode ser genérico ou específico para a organização, auxiliando as organizações e seus profissionais a desenvolver produtos segundo um ponto de vista comum, facilitando a comunicação e integração entre os profissionais e setores envolvidos. Pereira (2014) apresentou um modelo de referência integrado para projetos de pesquisas e desenvolvimento de produto

(MOP&D), estruturado em 6 fases, sendo estas: Iniciação, Planejamento, Projetação, Implementação, Produção e Manutenção.

O processo de desenvolvimento de produto é o ponto de conexão entre a organização e o mercado consumidor e identificar a melhor estratégia a ser seguida nesta interface é crucial para a organização. Dentre as diversas estratégias para gestão do desenvolvimento de produto, destacamos o *Design For Six Sigma* (DFSS), no qual o alicerce desta abordagem é a aplicação de ferramentas de engenharia e estatísticas utilizadas adequadamente nas fases do desenvolvimento do produto. *Design For Six Sigma* aplica os princípios do *Six Sigma* para o desenvolvimento de novos produtos, enfatizando a robustez do projeto do produto e processo de forma que funcionem bem em circunstâncias não ideais, reduzindo a complexidade dos produtos e processos, reduzindo a probabilidade de falhas, levantamento de erros e problemas possíveis de ocorrer na fase de projeto e delinear mecanismos de prevenção. Para o DFSS o princípio fundamental não é exclusivamente a tecnologia, mas é impulsionado pelo que as partes interessadas consideram ser valor, iniciando por um processo de tradução disciplinado da voz do consumidor para requisitos funcionais que são traduzidos em requisitos técnicos e estes são traduzidos em especificação do produto e configurações do processo. O DFSS, enfatiza a prevenção sobre a melhoria e considera que as decisões tomadas nas fases iniciais de concepção e engenharia podem afetar as atividades subsequentes para construção e entrega do produto (CHAKRAVORTY e FRANZA, 2009; ROZENFELD., et al., 2006; DE MAST et al., 2011).

Creveling et al. (2003) citam que a metodologia DFSS é orientada por um conjunto integrado e equilibrado de ferramentas e técnicas de engenharia que são implementadas nas fases de um processo de desenvolvimento de produto integrando três principais elementos táticos para atingir as metas de redução de custo, qualidade e menor tempo no desenvolvimento do produto: 1) Processo de desenvolvimento de produto claro e flexível; 2) Portfólio equilibrado de ferramentas de desenvolvimento e projeto de produto e 3) Uso disciplinado de métodos de gerenciamento de projetos.

Francisco, Canciglieri Junior e Sant'Anna (2019) apresentam uma revisão da literatura sobre os diversos métodos DFSS que são aplicados para o desenvolvimento de produto, com fases que compreendem a identificação da oportunidade do mercado, transformação em especificação técnica e produção. Os métodos DFSS estão mais direcionados para as atividades de engenharia durante concepção de um novo produto, ao passo que um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto busca contemplar todas as fases, etapas e atividade na concepção de um novo produto.

O emprego do DFSS resulta em um aprofundamento da orientação da empresa para as expectativas do mercado e para o alcance da qualidade desde a concepção e o projeto do produto. Também permite a capacitação das organizações para a aplicação de metodologias e ferramentas de maior sofisticação, eficiência e eficácia durante o planejamento da qualidade, visando alcançar, para os novos produtos: metas de aumento da confiabilidade, redução do prazo de lançamento, introdução de novas tecnologias e redução de custos. *Design For Six Sigma* procura melhorar o desempenho do processo de desenvolvimento de produto, direcionando o foco dos esforços para os aspectos essenciais de forma sistemática desde início do projeto de desenvolvimento, com o principal propósito de aumentar a satisfação do cliente.

A pesquisa relatada neste artigo é oriunda de uma revisão da literatura realizada pelos autores em (FRANCISCO, CANGIOLIERI JUNIOR e SANT'ANNA, 2019) onde foram analisadas pesquisas referentes ao DFSS aplicados ao desenvolvimento de produtos, bem como proposição de modelo de desenvolvimento de produto fundamentado nos princípios dos métodos DFSS existentes. Após estudo sistemático destes artigos e observações de lacunas nas aplicações dos métodos DFSS no desenvolvimento de produtos, foi possível estruturar uma integração destes princípios com um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, e assim respaldar a construção de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. Este modelo de referência foi proposto para explorar todas as fases do processo de desenvolvimento de produto, consolidada pela literatura científica e organização empresarial, assim como os métodos DFSS e técnicas adotadas ao desenvolvimento de produto. Ao término deste estudo, uma validação do modelo foi realizada com envolvimento de especialistas em desenvolvimento de produto, onde foi verificada a viabilidade de aplicação do modelo no processo de desenvolvimento de produto de bens de consumo duráveis.

## 2 BACKGROUND

Para alcançar níveis *Six Sigma* de qualidade no chão de fábrica e produzir consistentemente produtos de alta qualidade a um custo mínimo, as empresas devem se atentar desde o início do projeto do produto e também do processo que irá produzi-lo. Logo, melhorar produto no desenvolvimento é quase sempre mais fácil e barato que tentar fazer melhorias após a produção. Para evitar problemas futuros o *Design For Six Sigma* é definitivamente uma abordagem mais proativa em comparação a metodologia DMAIC (SLEEPER, 2006). *Design For Six Sigma* é uma abordagem sistemática para melhorar drasticamente o produto projetado em valor, qualidade, confiabilidade e custo para o cliente.

Para muitas empresas, desenvolver produto é o processo mais importante, comparado com outros, tais como processo de produção, compras e transação financeira. O processo de desenvolvimento de produtos é geralmente um processo tecnicamente mais sofisticado, dispendioso e demorado (YANG e EL-HAIK, 2003). Desenvolver novos produtos é a maneira mais clara de tornar-se competitivo no mercado, e constitui uma atividade que envolve a maioria dos grupos organizacionais e pessoas em uma empresa quanto a parte técnica, assim como marketing, compra, fabricação, qualidade e financeiro. O resultado dessas atividades é de extrema importância para as organizações considerando fatores interligados como velocidade no desenvolvimento do novo produto e gestão da qualidade. DFSS é um conceito de qualidade desenvolvido para melhorar os processos de desenvolvimento de produto, sistematizando o processo desde a ideia inicial até a versão final do produto, exigindo a aplicação de ferramentas específicas. Um produto desenvolvido com eficiência, consome menos recursos durante a produção, economizando energia, reduzindo poluição e gerando menos resíduos para descarte, contribuindo para a sociedade e o meio ambiente (SLEEPER, 2006; HUBER e LAUNSBY, 2002; ERICSSON et al., 2015; SUN e ZHAO, 2010).

*Design For Six Sigma* otimiza o projeto do produto para atingir desempenho 6  $\sigma$  com a integração das características da metodologia *Six Sigma* no início do desenvolvimento de novos produtos, criando produtos e processos – (i) eficientes em recursos; (ii) capazes de atingir rendimentos muito elevados, independentemente da complexidade e do volume; (iii) robustos para a variabilidade do processo; (v) altamente ligados às demandas do cliente, com a aplicação de um conjunto disciplinado de ferramentas. O poder do DFSS está na organização das ferramentas em uma estratégia coerente e alinhada com o processo de desenvolvimento de novos produtos, não nas ferramentas individuais. A aplicação estruturada das ferramentas permite uma taxa muito maior de sucesso quando comparado às abordagens atuais, viabilizando desenvolver rapidamente produtos que atendam aos requisitos do cliente e reduzindo o tempo de lançamento no mercado (BRUE e LAUNSBY, 2003; HARRY e SCHROEDER, 2000; CHUNG e HSU, 2010 e MADER, 2002).

Yeh et al. (2010) listaram 26 ferramentas ou técnicas importantes e mais apropriadas para a utilização nos processos de desenvolvimento de produtos. Dentre estas, cita o DFSS como uma técnica eficaz, no entanto, pouco utilizada pelas organizações, sugerindo que as empresas sejam mais proativas no uso do DFSS. Os autores, Yeh et al. (2010) também observaram que existe muita fraqueza no processo de desenvolvimento de produto pelas organizações, tal como ação insuficiente para aquisição dos requisitos dos clientes. Entende-se que as ferramentas e técnicas não são amplamente utilizadas pelas empresas devido as seguintes

razões: (i) dificuldades no entendimento de quais etapas do processo de desenvolvimento de produto certas ferramentas e técnicas podem ser aplicadas de forma adequada e eficaz; (ii) desconhecimento pelas empresas da eficácia da aplicação de várias ferramentas e técnicas durante o processo de desenvolvimento de produto e (iii) ausência de domínio dos engenheiros e técnicos de Pesquisa & Desenvolvimento com a aplicação de certas ferramentas e técnicas do PDP.

Neste contexto, a finalidade deste artigo é detalhar um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, com o propósito de integrar as atividades de um modelo de referência PDP com os princípios do *Design For Six Sigma*. Por conseguinte, propor um modelo de referência construído com o propósito de promover robustez, eficiência e qualidade durante o projeto do produto e processo compreendendo desde o início até a descontinuidade do produto no mercado.

### **3 RESULTADOS**

Os resultados oriundos da integração dos princípios da metodologia *Design For Six Sigma* a um modelo de referência para o PDP, serão apresentados a seguir, com a descrição do conteúdo da estrutura, bem como a validação do modelo de referência pelos especialistas em desenvolvimento de produto de diferentes segmentos industriais.

#### **3.1 Construção do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto**

Baseada na revisão sistemática conduzida por Francisco, Canciglieri Junior e Sant'anna (2019), observou-se uma oportunidade de construção de um modelo DFSS-PDP motivada pelas lacunas de pesquisa referente a aplicação dos métodos DFSS para desenvolvimento de produto. Desta forma, o referencial teórico pesquisado pelos autores promoveu a fusão dos princípios DFSS a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto. Com a integração do modelo de referência MOP&D (PEREIRA, 2014) e DFSS foi possível a compreensão das necessidades apresentadas na linha teórica de investigação e conduzir ao alinhamento dos conceitos e construir um modelo *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. O modelo de referência ilustrado pela Figura 1 está direcionado para organizações de manufatura de bens de consumo duráveis, sendo composto pelas macro-fases de Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento. As quais, estão subdivididas em 5 fases, sendo: (I) Planejamento; (II) Projetação; (III) Implementação; (IV) Industrialização e (V) Monitoramento. Nas fases do modelo de referência proposto ocorre o desdobramento em estágios, sendo: (i) percepção da

demanda; (ii) escopo do produto; (iii) caracterização do produto; (iv) otimização; (v) planejamento do processo de produção; (vi) pré-produção; (vii) produção e comercialização e finalizando no estágio (viii) acompanhamento do produto no mercado consumidor. Uma breve síntese de cada fase também está descrita na Figura 1, bem como na sequência do artigo uma explicação detalhada do conteúdo das fases do modelo de referência.

### 3.2 Pré-desenvolvimento

Esta macro-fase é constituída pela fase de **Planejamento**, que é desdobrada em dois estágios: **Percepção da demanda e Escopo do produto**. O estágio de **Percepção da demanda** pretende identificar e obter informações da demanda do mercado consumidor sob a percepção da voz do consumidor e voz do negócio. Busca oportunidade de inovação e melhoria do produto no nicho de negócio da organização, estratégia de mercado, de produto e tecnologia. Visa uma estratégia competitiva para a empresa, observando as tendências do mercado consumidor quanto às necessidades e expectativas.

Desta observação, a idealização de alternativas para atendimento das necessidades e expectativas do mercado consumidor deve ser analisada, considerando diversos aspectos que podem ou não tornar a alternativa/proposta viável para a organização. Deste conjunto de alternativas/propostas, diante de uma análise de critérios de seleção é definido o projeto a ser desenvolvido. Os conceitos de produto elencados pela equipe são analisados de acordo com a viabilidade econômica e técnica da organização, funcionalidade, aceitação pelo mercado consumidor, concorrência do mercado, tempo de vida do produto e retorno do investimento. Ao término do estágio uma avaliação de desempenho deve ser realizada e documentada com os objetivos e metas que inicialmente foram definidas quanto a custo/benefício, efetividade, voz do negócio, satisfação do consumidor e sustentabilidade do projeto selecionado. O estágio de **Escopo do produto** é caracterizado por receber as informações e decisões do estágio anterior, com o propósito de traduzir as necessidades do consumidor em requisitos técnicos do produto.

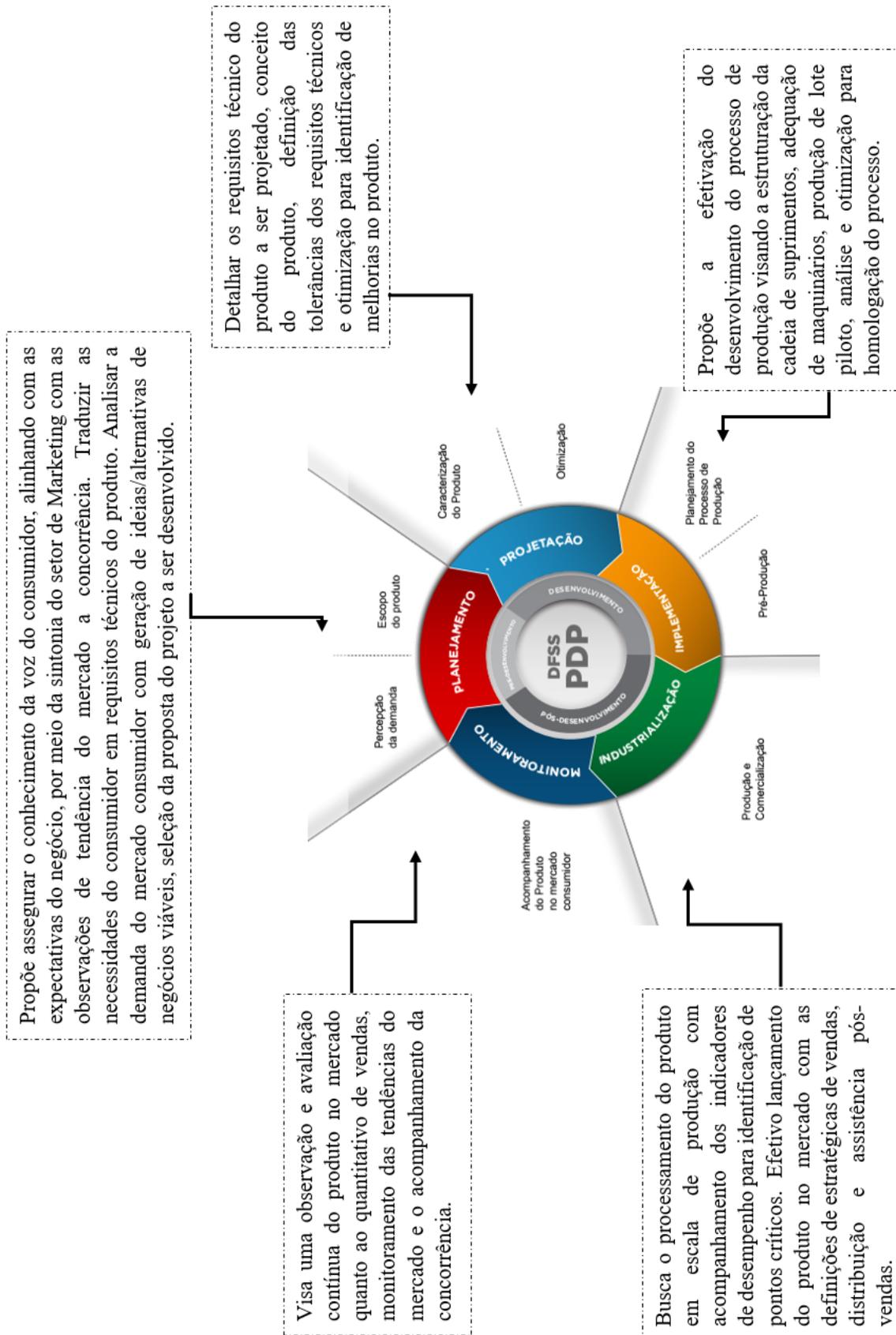


Figura 1 - Estrutura do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto.

Busca-se identificar os parâmetros técnicos de acordo com as expectativas do consumidor para a elaboração do conceito do produto. Com a definição de um esboço do conceito físico real do produto com os componentes necessários e a tecnologia a ser aplicada, começam a incorporar o projeto do produto, assim como a necessidade de análise dos recursos necessários para a concepção do produto manufaturado, com avaliação das máquinas, equipamentos, ferramental, fornecedores de componentes e matéria-prima que estarão envolvidos no processo de fabricação, fluxo do processo fabril quanto a materiais, pessoas, produto e toda a logística interna e externa envolvida no processo, além da definição de estratégias para inserção e acompanhamento do produto no mercado consumidor. Ao término de cada fase uma documentação detalhada deve ser gerada para registros das ocorrências e aprendizado do processo de desenvolvimento. Nas Figuras 2(a) e 2(b), observa-se o sequenciamento das atividades desenvolvidas pela equipe multifuncional do processo de desenvolvimento do produto durante a fase de Planejamento do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao desenvolvimento de produto.

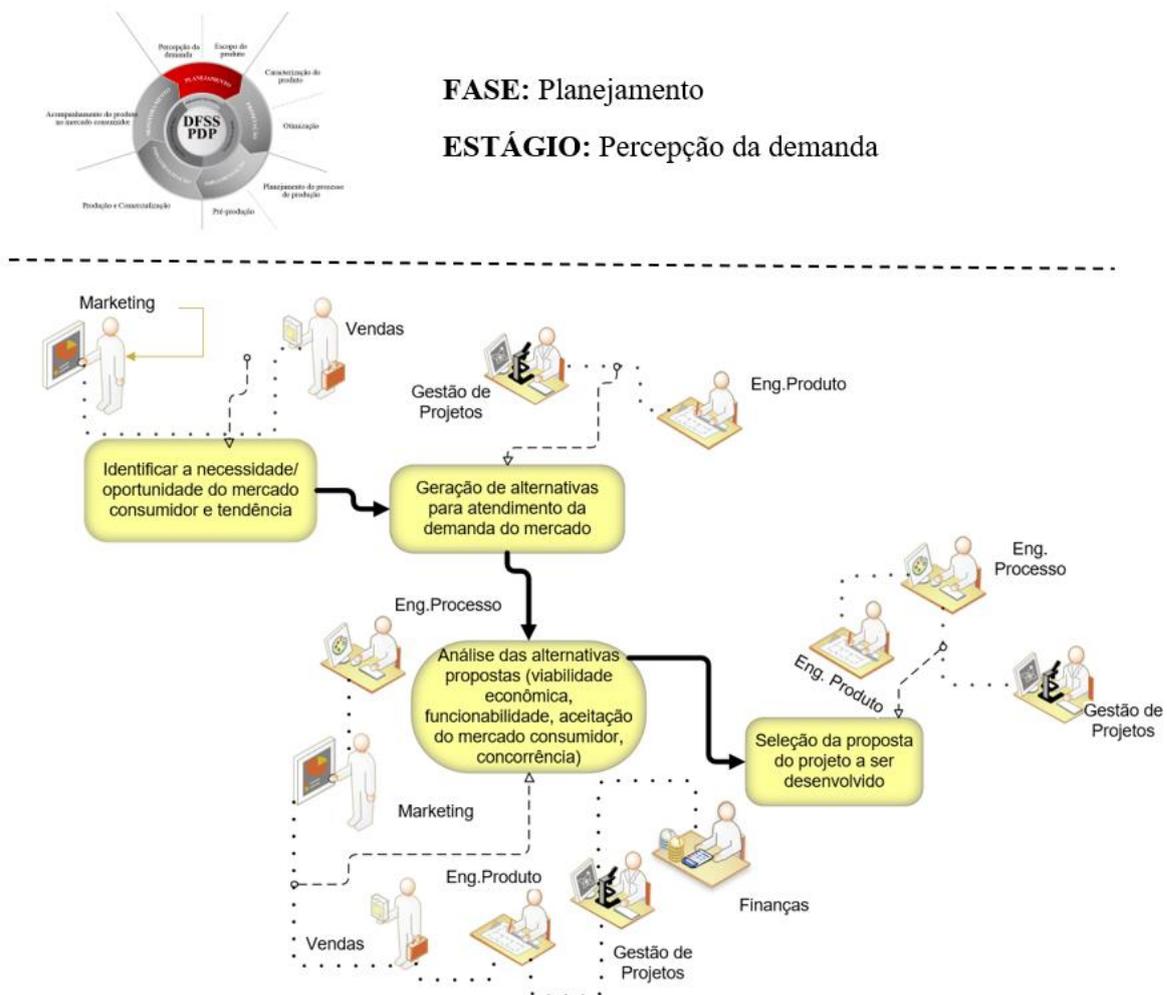


Figura 2(a)- Fluxo de atividades na fase Planejamento – estágio Percepção da demanda



## FASE: Planejamento

### ESTÁGIO: Escopo do produto

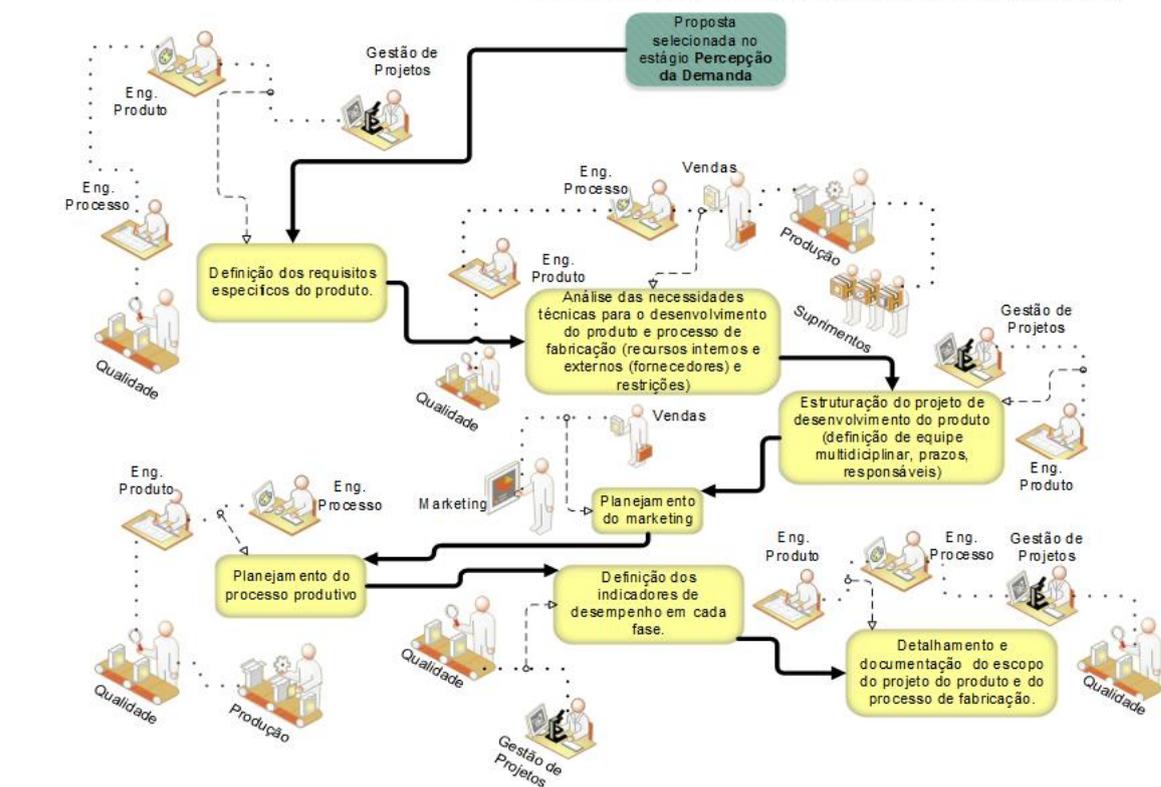


Figura 2(b)- Fluxo de atividades na fase Planejamento – estágio Escopo do produto

### 3.3 Desenvolvimento

A macro-fase de desenvolvimento é constituída pelas fases **Projetação e Implementação**.

A fase de **Projetação** inicia com o estágio de **Caracterização do produto**, no qual as informações preliminares concebidas e ratificadas na fase anterior, são traduzidas em requisitos técnicos, e em requisitos funcionais do produto, visando conceber o conceito real do produto e seus detalhes com auxílio de software para a modelagem e simulação do produto e seus componentes, buscando atender às restrições quanto aos custos e investimentos estabelecidos na fase de Planejamento. O produto modelado nas características requeridas, deverá estabelecer toda a estrutura funcional com as tecnologias envolvidas, níveis hierárquicos do produto, se necessário, identificação dos itens críticos da estrutura do produto, identificação de característica crítica da qualidade e identificação de riscos potenciais. Na sequência no estágio

de **Otimização** busca-se a definição das tolerâncias dos requisitos técnicos de especificação mensuráveis do produto, além dos ajustes nos requisitos técnicos do produto que podem viabilizar maior competitividade no mercado consumidor. O conhecimento dos parâmetros técnicos mensuráveis do produto e a compreensão dos efeitos sobre o desempenho final, por meio da análise das mudanças propositalmente nas variáveis de entrada do produto para verificação das alterações correspondentes nas variáveis respostas, permite estimar um limite de tolerância plausível para a característica crítica avaliada. Espera-se assim, que os riscos na produção do lote piloto seja reduzido, propiciando o desenvolvimento de um produto com desempenho adequado dentro das características funcionais estabelecidas. O sequenciamento das atividades desempenhadas na fase **Projeção** está representado nas Figuras 3(a) e 3(b).

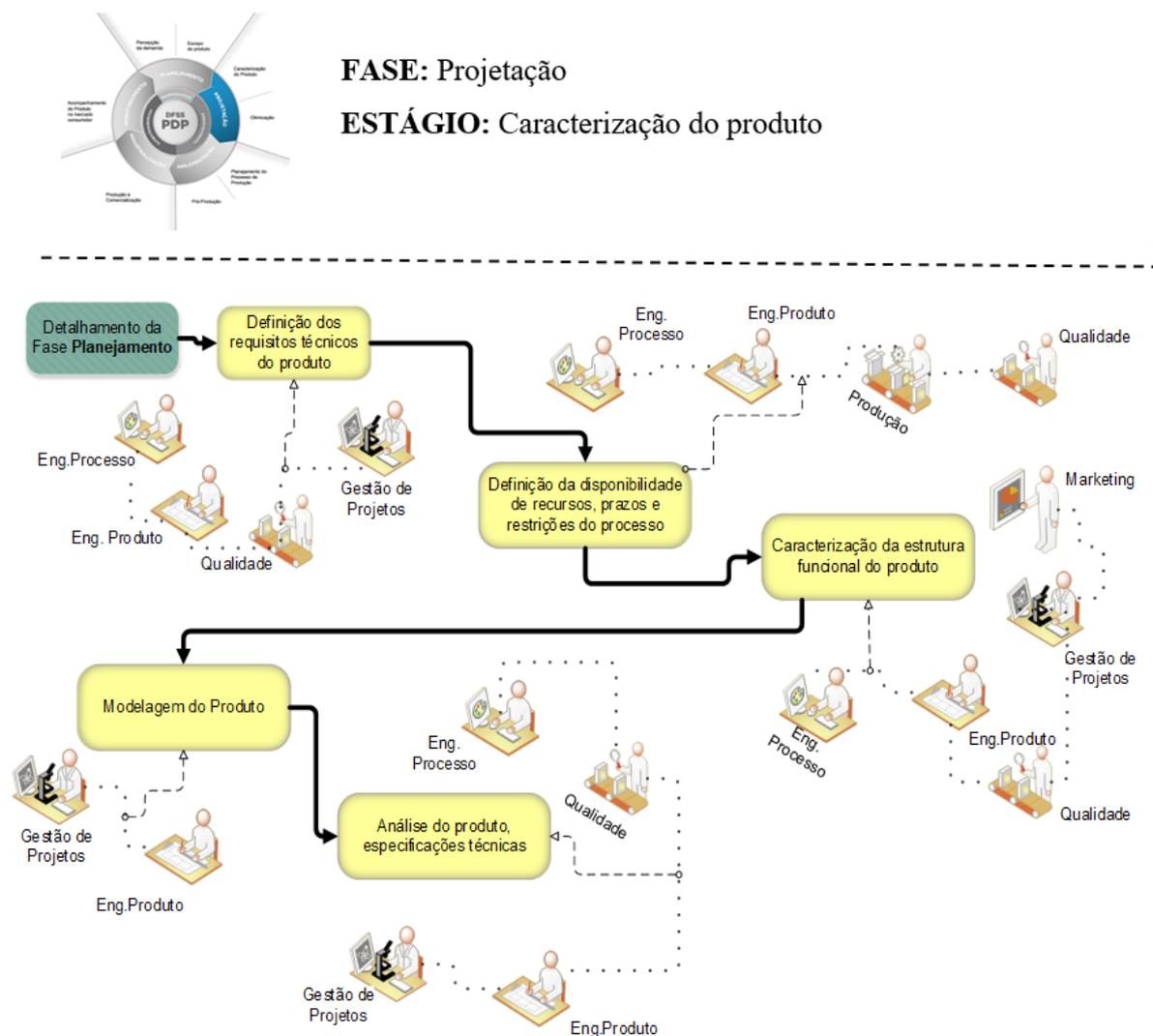


Figura 3(a)- Fluxo de atividades na fase Projeção – estágio Caracterização do produto

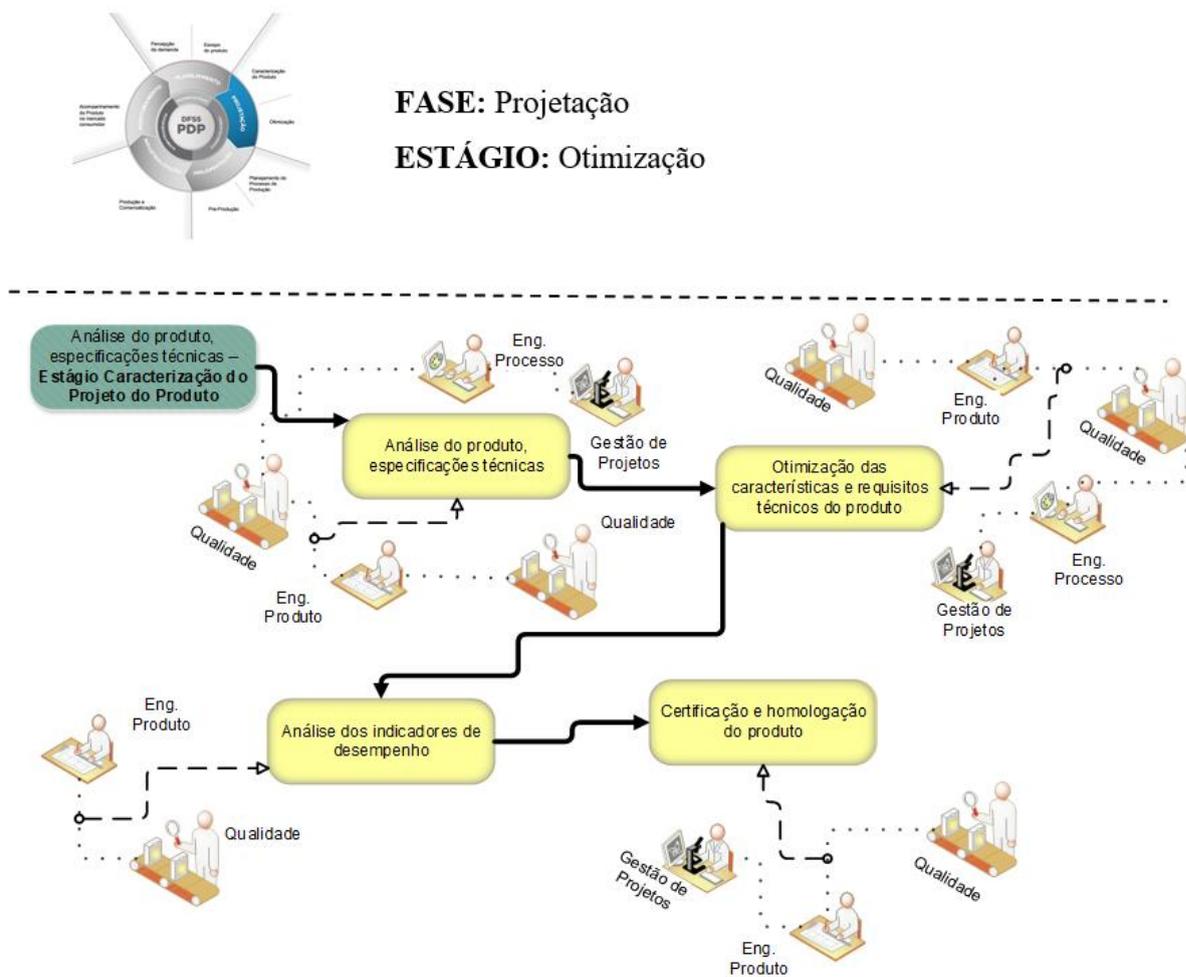


Figura 3(b)- Fluxo de atividades na fase Projetoção – estágio Otimização

A fase de implementação é caracterizada pelo desdobramento nos estágios de **Planejamento do Processo de Produção e Pré-Produção**. Durante o estágio de **Planejamento do Processo de Produção**, busca-se atuar na execução do planejamento do processo de fabricação, conforme requisitos delineados para o produto na fase de planejamento no estágio de Escopo do produto. Inicia-se o desenvolvimento do processo de produção com a identificação dos itens que compõem o produto, que serão produzidos pela organização ou adquiridos por terceiros, além de especificar as tolerâncias necessárias para o ferramental e maquinário envolvido no processo de produção, mediante as tolerâncias do produto que foram estabelecidas na fase anterior, desenvolvimento de fornecedores para os componentes terceirizados, e também para preparação e construção do recurso fabril necessário para produção de componentes e montagem do produto final. Entende-se por recurso fabril todo ferramental, máquinas, dispositivos, especificação de matéria-prima necessária e seus fornecedores, preparação do espaço fabril para alocação de máquinas e equipamentos, fluxo de materiais e produtos, estações de trabalho, colaboradores envolvidos no processo de

transformação, capacidade de produção, estudo do layout fabril, ergonomia no processo de produção, manutenção do processo produtivo, tecnologia a ser implementada no processo e desenvolvimento de fornecedores de matérias-primas e insumos a serem aplicados na transformação do produto. Na sequência um planejamento do lote de produção piloto, bem como a documentação e formulários de registro para análise e validação do processo. Considerando a aprovação para início da fabricação do lote piloto, inicia-se o estágio de **Pré-Produção**, o qual se caracteriza efetivamente pela produção, otimização e homologação do processo fabril. Portanto, seguindo com a programação da produção do lote piloto estabelecida no estágio anterior, a equipe multifuncional deve iniciar a produção do lote experimental registrando todos os detalhes do processo. Neste estágio todos os ensaios e testes estabelecidos para averiguação da qualidade do produto e atendimento as especificações são realizados para análise e validação, compreendendo desde o recebimento de produtos/componentes e matéria-prima adquiridos para o processo de transformação, quanto para avaliação do processo de manufatura. A ocorrência de problemas ou necessidade de melhoria durante este estágio é totalmente permissível, portanto, a equipe multifuncional deverá atentar para estas possibilidades com a implementação de otimização no processo de produção. A finalização deste estágio está atrelada no alcance dos indicadores de desempenho estabelecidos para avaliação do processo de produção do lote piloto para efetivar a homologação do processo. Toda a documentação e registro envolvidos neste estágio devem ser detalhados para possibilitar um possível resgate das informações do processo de preparação da linha de produção e fabricação do lote piloto do produto, e também ser aplicado como fonte de aprendizado para desenvolvimento de outros produtos. O sequenciamento das atividades desempenhadas na fase Implementação está representado nas Figuras 4(a) e 4(b).



**FASE: Implementação**  
**ESTÁGIO: Planejamento do processo de produção**

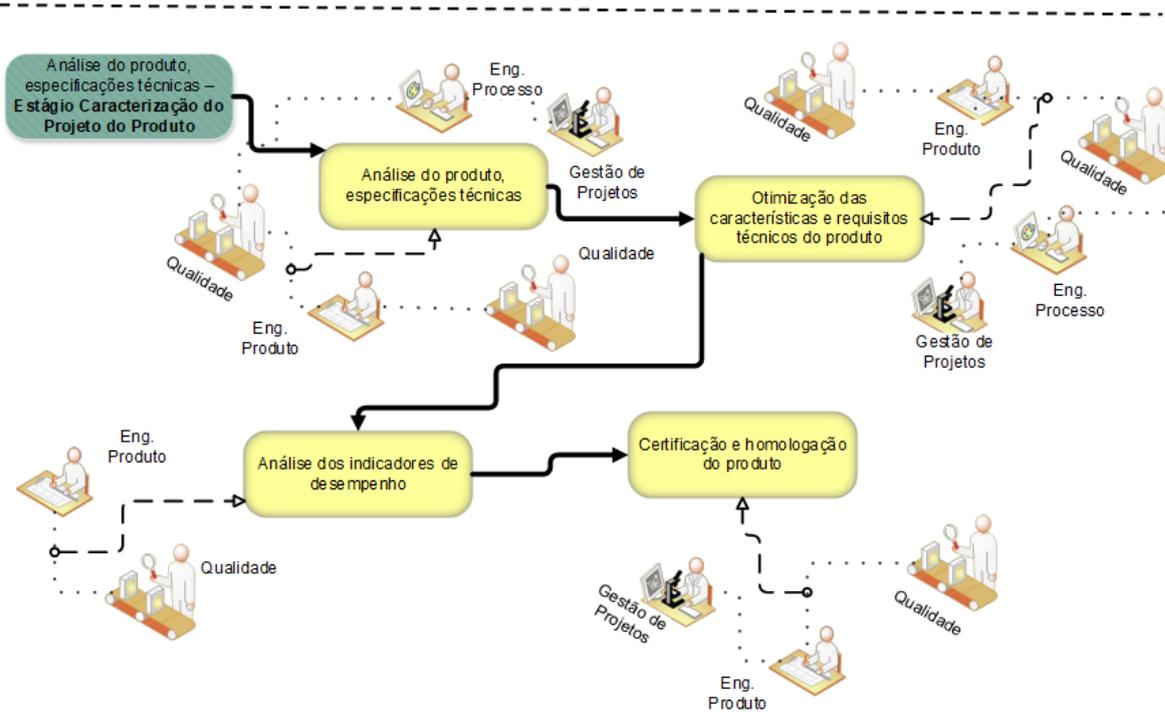


Figura 4(a)- Fluxo de atividades na fase Implementação – estágio Planejamento do processo de produção

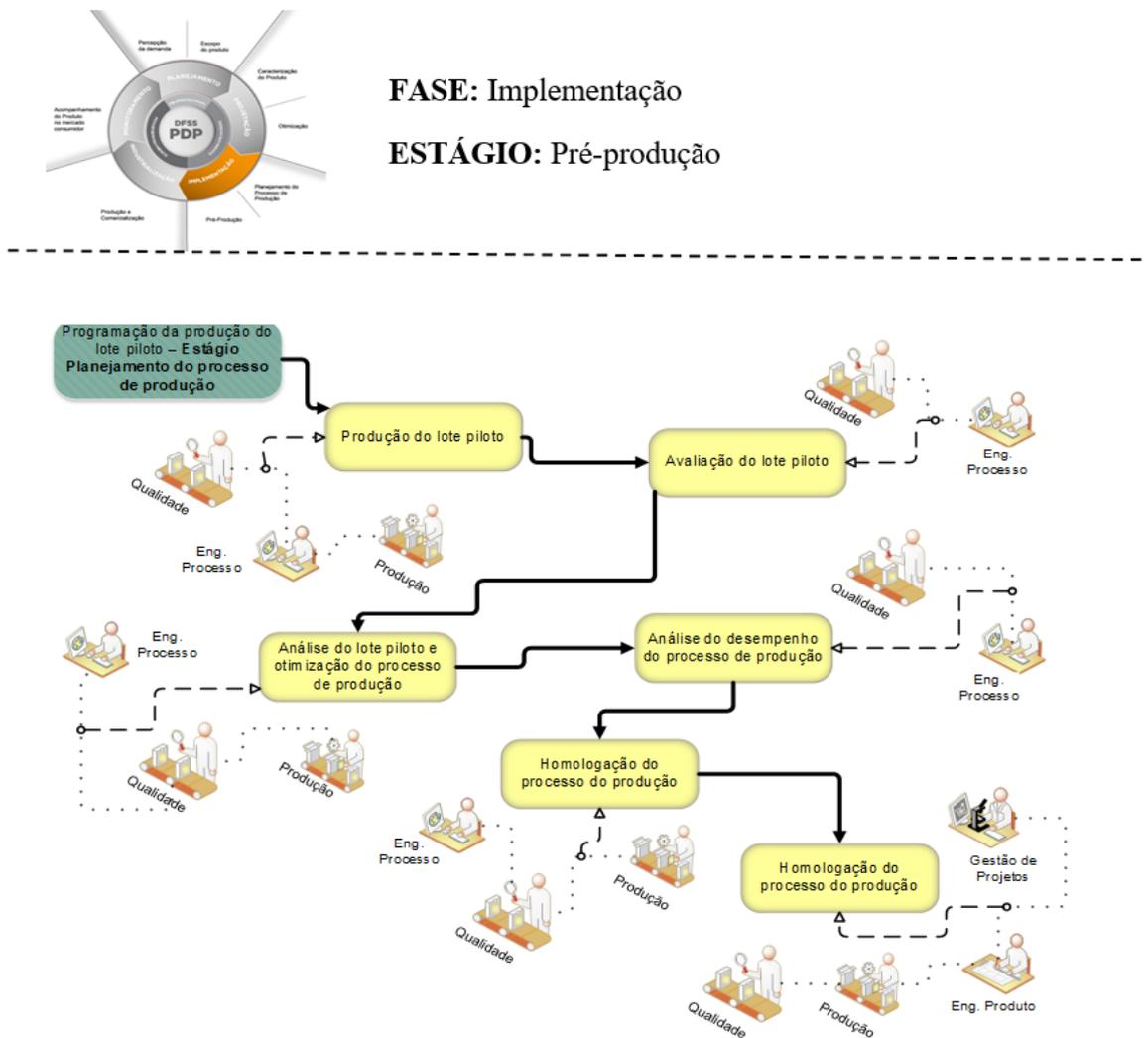


Figura 4(b)- Fluxo de atividades na fase Implementação – estágio Pré-produção

### 3.4 Pós-desenvolvimento

Na macrofase de pós-desenvolvimento todos os esforços desempenhados no processo de desenvolvimento do produto podem ser dissolvidos, e que a continuidade será conduzida por uma equipe específica responsável pelo acompanhamento sistemático do produto no mercado consumidor e do processo de produção. A macrofase de pós-desenvolvimento foi subdividida em duas fases distintas, a saber: **Industrialização** e **Monitoramento**.

A fase de **industrialização** está sintetizada por um único estágio, **Produção e Comercialização**, onde ocorre o lançamento do produto no mercado e todo o processo estruturado para vendas, distribuição do produto, atendimento ao consumidor e avaliação do processo de produção quanto aos aspectos técnicos, econômico, ambiental, assim como avaliação da cadeia de suprimento, os quais são importantes para atingimento das métricas

estabelecidas. Neste momento do processo de desenvolvimento do produto, é conhecido o público alvo, precificação e o conceito do produto a ser entregue ao mercado consumidor. Então, a equipe composta por vendas e marketing deve estar alinhada num planejamento estratégico de marketing para apresentar para o público alvo os valores e diferenciais do produto ao consumidor final.

Nesta etapa, é também importante o desenvolvimento do conceito da embalagem do produto, e como será apresentado ao público, caso o produto demande uma preocupação com esta característica de apresentação. Seguindo na direção das estratégias de marketing para o lançamento do produto, a equipe também deve alinhar as estratégias de vendas, buscando o alcance dos resultados estimados durante a fase de planejamento e as perspectivas de faturamento e retorno do investimento. A equipe deve direcionar esforços e planejar seus parceiros no processo de vendas como distribuidores, representantes comerciais, assistência técnica e serviço de atendimento ao consumidor. Para isso, deve-se preocupar com a documentação comercial, na qual deve apresentar os conceitos, valores e especificação do produto. Além, disso um treinamento adequado deve ser conduzido com os envolvidos no processo de comercialização do produto. Assim, o processo de produção em larga escala para atender a demanda deve ser acompanhado pela equipe, sem poupar esforços para monitorar a fabricação, preocupando-se com atendimento das especificações do processo e do produto para atendimento ao consumidor, monitoramento da entrega no prazo estabelecido junto aos parceiros logísticos da organização, monitoramento dos fornecedores da cadeia de suprimento, ou seja, proporcionar uma integração adequada da cadeia de suprimentos e monitorar parâmetros como estoque de matéria-prima e/ou componentes, transporte, custos, tempo de entrega, e outras variáveis pertinentes a gestão da cadeia de suprimentos, que possam garantir a satisfação do consumidor. O sequenciamento das atividades desempenhadas na fase Industrialização está representado na Figura 5.

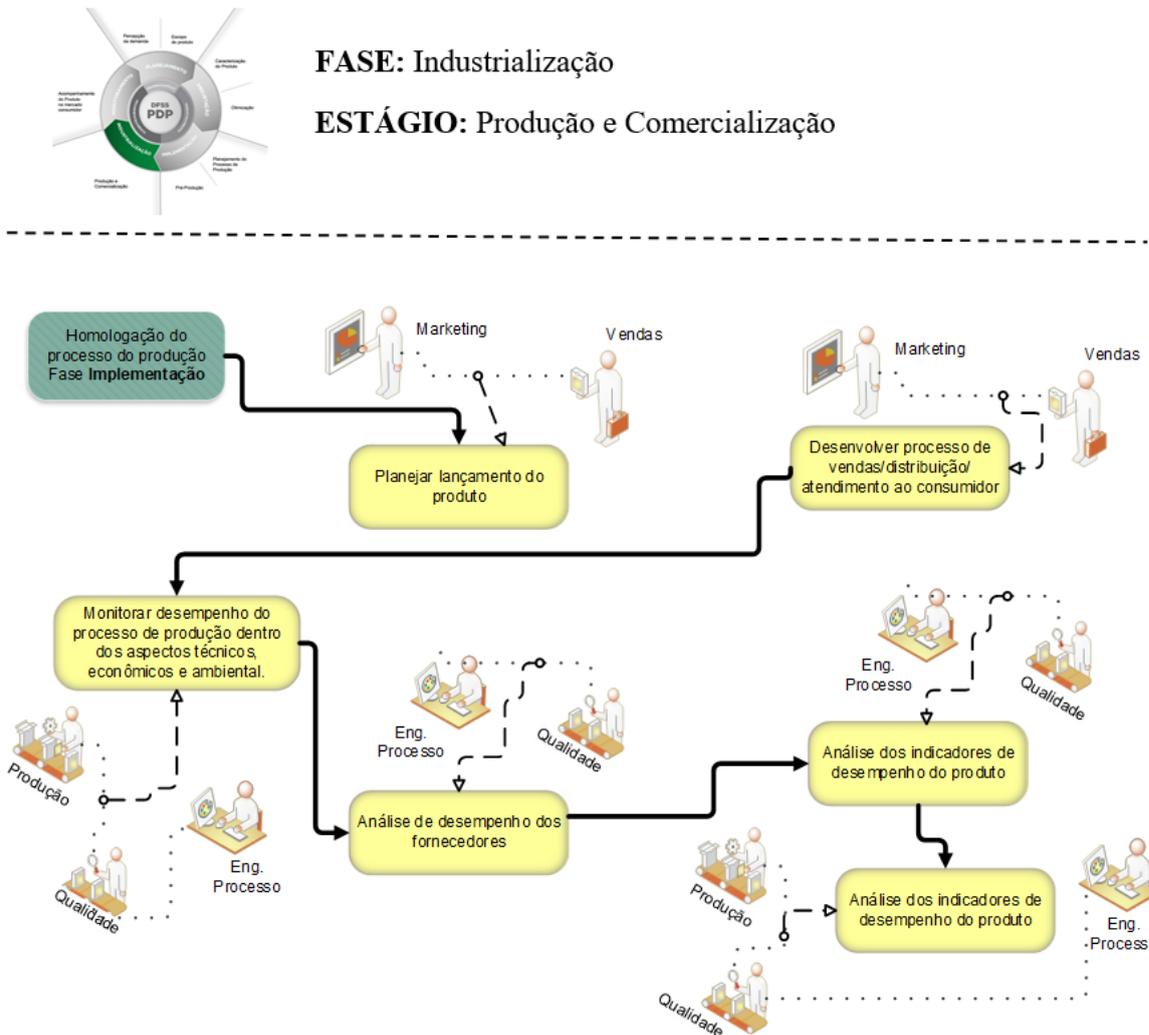


Figura 5- Fluxo de atividades na fase Industrialização – estágio Produção e Comercialização

A fase de monitoramento, sintetizada em um único estágio denominada **Acompanhamento do produto no mercado consumidor**, é caracterizada pelo acompanhamento sistemático e estruturado das informações provenientes do mercado consumidor, e as de origem interna da organização. A avaliação contínua destas informações é realizada quanto ao atendimento aos requisitos funcionais do produto, identificação de problemas relacionados ao produto, avaliação dos fornecedores dos itens críticos da cadeia de suprimentos, análise dos indicadores de desempenho, avaliação do projeto, documentação e registro das informações geradas durante o processo. E por fim, avaliação contínua da demanda do produto para delineamento das estratégias de descontinuidade do produto no mercado, registro e documentação das lições aprendidas que servirão como referência para desenvolvimentos futuros.

O encerramento do processo de desenvolvimento do produto vem acompanhado com

registros e documentações de todos os relatórios, indicadores, decisões e estratégias desempenhadas no processo. Um acompanhamento contínuo do mercado para identificação de preferências do consumidor, observância do produto ofertado pelo concorrente quanto as novas tendências, volume de vendas, previsão de demanda, preço e outras alternâncias no mercado que podem ser significativas para um direcionamento da descontinuidade do produto. Na Figura 6, observa-se o sequenciamento das atividades desenvolvidas pela equipe multifuncional do processo de desenvolvimento do produto durante a macro-fase de pós-desenvolvimento no modelo de referência para o desenvolvimento de produto orientado ao *Design For Six Sigma*.

O modelo de desenvolvimento de produto orientado ao *Design For Six Sigma* descrito, visa uma abordagem integradora das atividades que compõem os estágios de cada uma das fases. A integração das atividades com diferentes áreas da organização permite um processo de desenvolvimento integrado, com atividades sendo executadas paralelamente, de forma a proporcionar uma redução do tempo e custo, forte interação entre as equipes de diferentes funções e melhoria da qualidade do produto e processo.

Segundo Echeveste (2003) uma abordagem de desenvolvimento de produto integrado abrange uma integração entre áreas e procedimentos entre equipes, com objetivo de desenvolver produto (marketing, engenharia, finanças, compras, manufatura, etc). O conceito de engenharia simultânea considera o paralelismo da execução das atividades desempenhadas por equipes de diferentes funções para o processo de desenvolvimento de produto. Compreende-se por engenharia simultânea como uma abordagem sistemática que considera todo o ciclo de vida do produto, desde a concepção até a disposição aplicado para uma filosofia de cooperação multifuncional no projeto de engenharia, de modo a criar produtos que sejam melhores, mais baratos e introduzidos no mercado mais rapidamente (SPRAGUE et al., 1991; SMITH, 1997 e PRASAD et al., 1998). A Figura 7, ilustra a integração das atividades propostas pelo modelo DFSS-PDP por meio das diversas áreas da organização.



**FASE:** Monitoramento

**ESTÁGIO:** Acompanhamento do produto no mercado consumidor

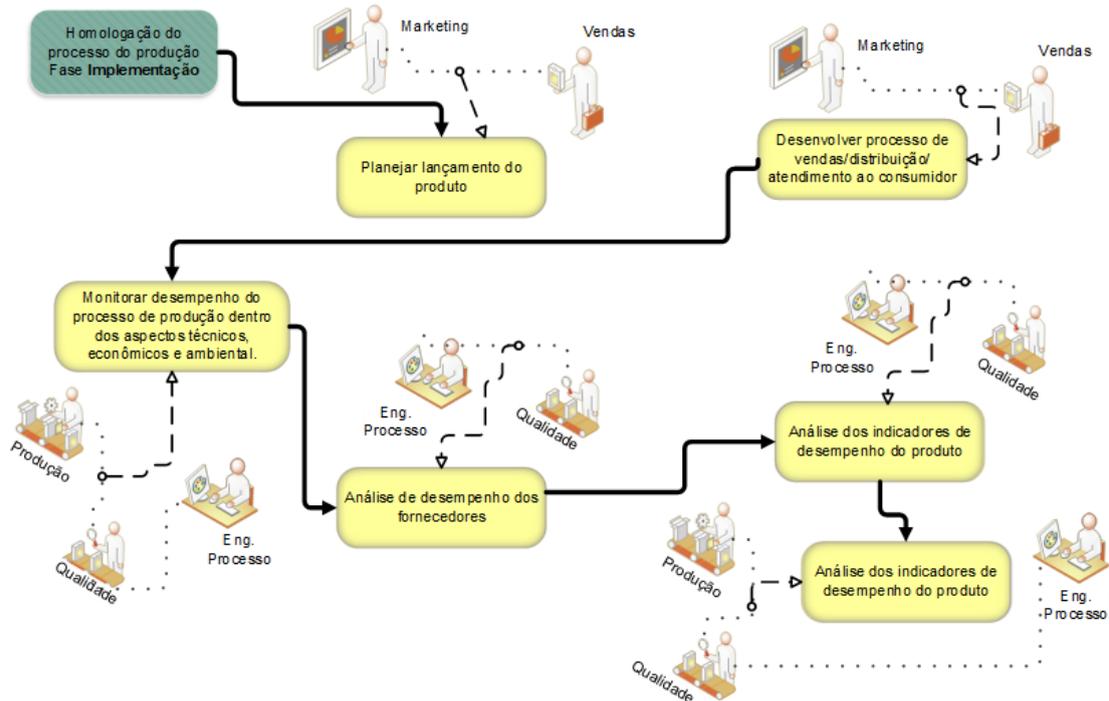


Figura 6- Fluxo de atividades na fase Monitoramento – estágio Acompanhamento do produto no mercado consumidor

MODELO DE REFERÊNCIA <i>DESIGN FOR SIX SIGMA</i> ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO								
MACRO-FASE	PRÉ-DESENVOLVIMENTO		DESENVOLVIMENTO				PÓS-DESENVOLVIMENTO	
FASES	PLANEJAMENTO		PROJETAÇÃO		IMPLEMENTAÇÃO		INDUSTRIALIZAÇÃO	MONITORAMENTO
ESTÁGIOS DA FASE	1	2	3	4	5	6	7	8
	Percepção da demanda	Escopo do produto	Caracterização do produto	Otimização	Planejamento do processo de produção	Pré-produção	Produção e comercialização	Acompanhamento do produto no mercado consumidor
ÁREAS DA ORGANIZAÇÃO	MARKETING							
	GESTÃO DE PROJETOS							
	ENGENHARIA DE PRODUTO							
	ENGENHARIA DE PROCESSO							
					PRODUÇÃO			
	QUALIDADE							
	FINANCEIRO							
					SUPRIMENTOS			
COMERCIAL								

Figura 7 – Representação geral da interação entre equipes multidisciplinares de uma organização durante o processo de desenvolvimento do produto.

#### 4 VALIDAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, passou pela validação por um grupo de cinco especialistas constituído por profissionais atuantes na área de projeto e desenvolvimento de produto em empresas da região de Curitiba. Um avaliador especialista, consiste no indivíduo com profundo conhecimento de um assunto, seja por experiência de atuação na área em questão ou por especialização acadêmica. No que se refere a quantidade de especialistas que devem ser consultados, não está estabelecido uma regra quanto ao número mínimo e máximo, sendo possível um pequeno grupo ou um grupo numeroso, a depender do problema a ser investigado e da população passível de ser consultada (FERNANDES, 2013; EL MARGHANI, 2011; BONETTI, 2009 e SANTOS, 2005). O enfoque da validação do modelo de referência, foi obter uma percepção destes especialistas sob diferentes perspectivas organizacionais para conhecer a factibilidade do modelo de referência. Nas Figuras 8(a), 8(b), 8(c) e 8(d) pode-se observar as informações dos avaliadores consultados.

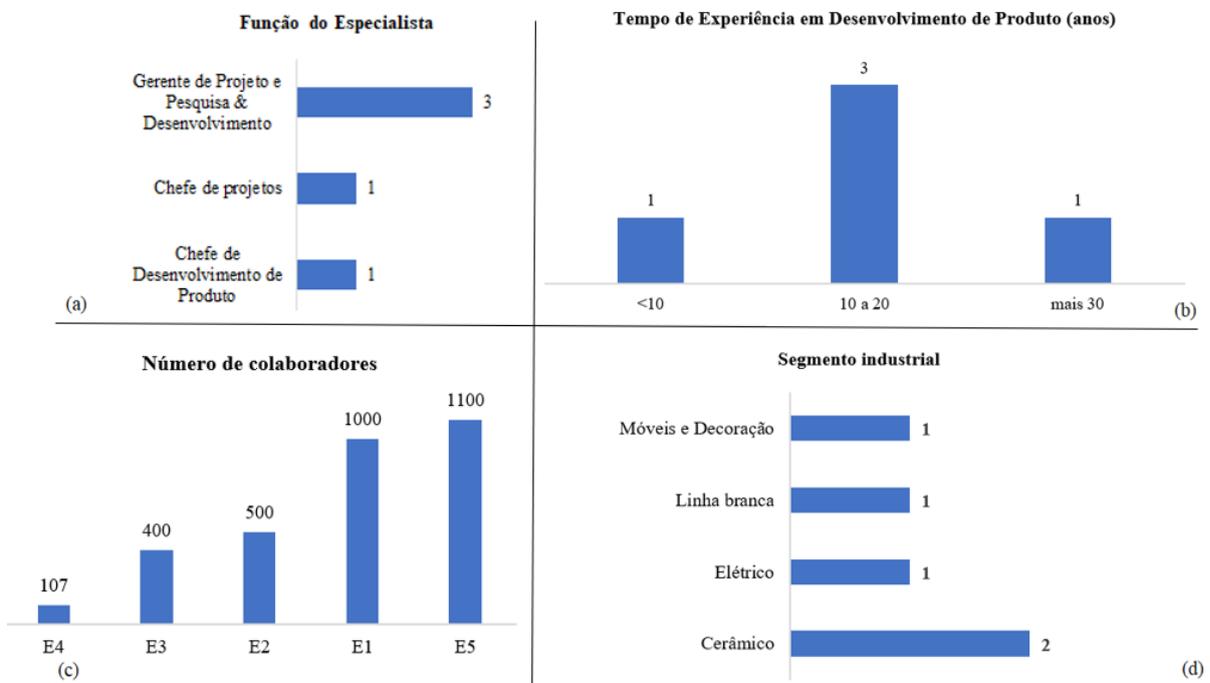


Figura 8 – Informações dos avaliadores consultados.

O material com a descrição do modelo de referência e as questões a serem avaliadas iniciaram pela exposição explicativa do modelo, apresentando a cada especialista uma síntese da fundamentação teórica que engloba os princípios da metodologia *Design For Six Sigma*, para compreensão da estrutura do modelo, e na sequência foram entregues para serem respondidas no prazo necessário. As questões envolvidas na avaliação buscaram averiguar o entendimento dos especialistas quanto a estrutura das fases do modelo, atividades desempenhadas pelas fases, bem como aplicabilidade das ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas sugeridas. As opções de respostas das questões seguiram o critério da escala Likert de cinco pontos. Este tipo de escala propicia a associação de variáveis nominais a valores numéricos inteiros que variam de 1 a 5 com uma representatividade qualitativa. O questionário, permitiu aos especialistas escolherem entre as opções de respostas, a saber: sem importância; pouco importante; importante; muito importante e essencialmente importante, para examinar as atividades propostas em cada fase do modelo. Além disso, questões específicas e abrangentes do modelo foram avaliadas de acordo com os parâmetros da escala likert, a saber: não atende; atende pouco; atende parcialmente; atende quase totalmente e atende totalmente. Os resultados deste questionário, podem ser observados na Tabela 1, onde são apresentadas as questões mais abrangentes e específicas do modelo de referências e na Tabela 2, são apresentadas as questões relativas às atividades, ferramenta de engenharia e técnicas estatísticas propostas em cada fase do modelo de referência. As ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas sugeridas nas fases do modelo de referência, também foram avaliadas com as atividades e estão apresentadas na Figura 9.

Tabela 1 – Questões específicas e abrangentes do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao Processo de Desenvolvimento de Produto.

Questões específicas e abrangente do modelo de referência orientado ao <i>Design For Six Sigma</i>		Especialistas				
		Não atende	Atende pouco	Atende parcialmente	Atende quase totalmente	Atende totalmente
Q1	Como você avalia as fases do modelo proposto e as técnicas e ferramentas sugeridas?			20%	60%	20%
Q2	Quanto ao conteúdo estrutural do modelo (fases, técnicas e ferramentas sugeridas), você considera que o modelo engloba os principais aspectos organizacionais relacionados ao processo de desenvolvimento de produto?				80%	20%
Q3	Quanto a aplicabilidade do modelo proposto, como você avalia.			20%	60%	20%
Q4	Como você avalia a descrição das fases do modelo proposto.			20%	40%	40%
Q5	As ferramentas e técnicas propostas nas fases do modelo são adequadas e plausíveis de aplicação?			20%	40%	40%
Q6	Como você avalia a estrutura gráfica de apresentação do modelo proposto?				40%	60%

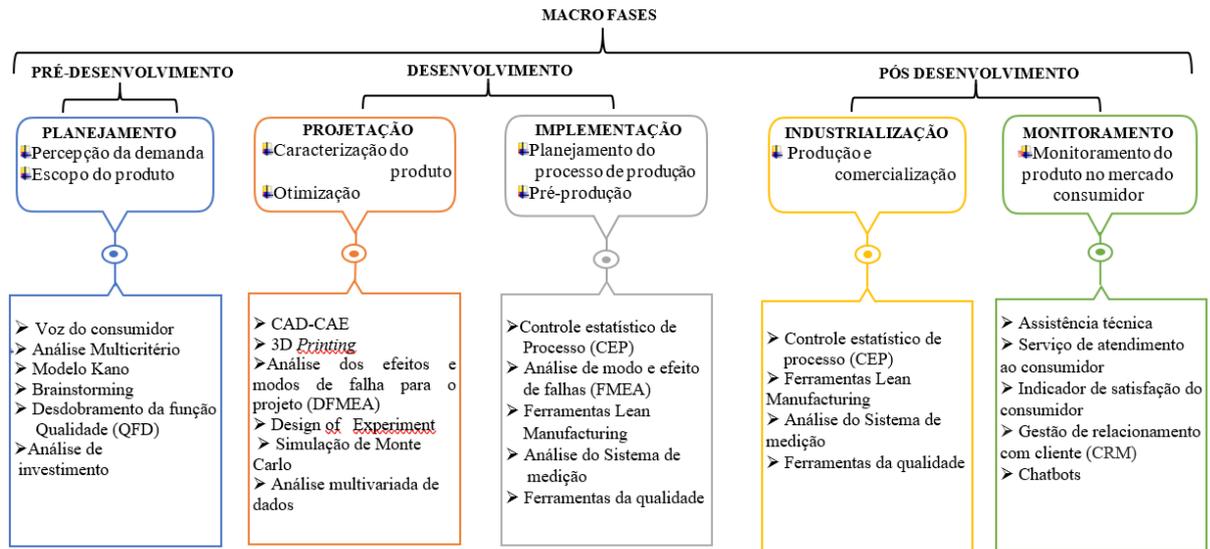


Figura 9 – Ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas propostas em cada fase do modelo de referência

Tabela 2 – Atividades dos estágios do modelo de referência DFSS-PDP

ATIVIDADES DOS ESTÁGIOS DO MODELO DE REFERÊNCIA			ESPECIALISTAS						
			Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante		
PRÉ-DESENVOLVIMENTO	PLANEJAMENTO	PERCEÇÃO DA DEMANDA	Identificar a necessidade/opportunidade do mercado consumidor e tendência.					100%	
			Geração de alternativas para atendimento da demanda do mercado.				60%	40%	
			Análise das alternativas propostas (viabilidade econômica, funcionabilidade, aceitação do mercado consumidor, concorrência)				60%	40%	
			Seleção da proposta do projeto a ser desenvolvido.				20%	80%	
		ESCOPO DO PROJETO	Definição dos requisitos específicos do produto.				40%	60%	
			Análise das necessidades técnicas para o desenvolvimento do produto e processo de fabricação (recursos internos e externos (fornecedores) e restrições)				20%	80%	
			Estruturação do projeto de desenvolvimento do produto (definição de equipe multidisciplinar, prazos, responsáveis)				40%	60%	
			Planejamento do marketing				40%	60%	
	Planejamento do processo produtivo						100%		
	Definição dos indicadores de desempenho em cada fase.				40%		60%		
	Detalhamento e documentação do escopo do projeto do produto e do processo de fabricação.								
	DESENVOLVIMENTO	PROJETÇÃO	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO	Definição dos requisitos técnicos do produto				40%	60%
				Definição da disponibilidade de recursos, prazo e restrições do processo.			20%	40%	40%
				Caracterização do produto			20%	20%	60%
Estabelecimento da estrutura funcional do produto						40%	20%	40%	
Modelagem do produto						20%	40%	40%	
Análise do produto, especificações técnicas							40%	60%	
OTIMIZAÇÃO			Análise e definição das tolerâncias do produto			20%		80%	
			Otimização das características e requisitos técnicos do produto.			20%	20%	60%	
			Análise dos indicadores de desempenho				80%	20%	
			Certificação/homologação do produto				20%	80%	
IMPLEMENTAÇÃO		PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO	Desenvolver processo de produção			20%		80%	
			Homologar fornecedores/parceiros			40%	20%	40%	
			Análise dos indicadores de desempenho				80%	20%	
			Preparação/construção do ferramental (máquinas/equipamentos e dispositivos)			20%		80%	
			Programação da produção do lote piloto			20%	20%	60%	
		PRÉ-PRODUÇÃO	Produção do lote piloto				40%	60%	
			Avaliação do lote piloto			20%		80%	
			Análise do processo de produção do lote piloto			20%	20%	60%	
			Otimização do processo de produção				20%	80%	
			Análise de desempenho do processo de produção			40%	20%	40%	
Homologação do processo de produção					40%		60%		
Documentação do processo de produção					40%		60%		
PÓS-DESENVOLVIMENTO	INDUSTRIALIZAÇÃO	PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO	Planejar lançamento do produto				40%	60%	
			Desenvolver processo de vendas/distribuição/atendimento ao cliente				20%	80%	
			Monitorar desempenho do processo de produção (técnico, econômico, ambiental)			20%	40%	40%	
			Análise de desempenho do fornecedores/parceiros			40%	20%	40%	
			Análise dos indicadores de desempenho			20%	60%	20%	
			Documentar as decisões e registrar as lições aprendidas				40%	60%	
	MONITORAMENTO	ACOMPANHAMENTO DO PRODUTO NO MERCADO	Avaliação da satisfação do mercado consumidor				20%	80%	
			Acompanhar desempenho do produto no mercado (técnica, econômica e atendimento ao consumidor)			20%	40%	40%	
			Auditoria e validação do projeto			40%	20%	40%	
			Análise de modificação para melhoria			40%		60%	
			Análise de desempenho de vendas			20%	40%	40%	
			Documentação das decisões e registro das lições aprendidas				40%	60%	
			Descontinuidade do produto no mercado			20%		80%	

## 5 DISCUSSÃO

Para a validação pelos especialistas dos conceitos e estruturação do modelo de referência proposto, foram apresentadas 6 questões objetivas, abrangentes e específicas, conforme Tabela 1. Para estas questões, se observa que o modelo de referência foi considerado como adequado para aplicação no processo de desenvolvimento de produto para bens de consumo duráveis. Nota-se que 80% dos especialistas citam que o modelo de referência atende quase que totalmente quanto a englobar os principais aspectos que envolvem o processo de desenvolvimento de produto. Quanto a aplicabilidade, 60% dos especialistas citam que o modelo de referência atende quase totalmente. Para os demais especialistas, 20% avaliaram respectivamente como atende parcialmente e atende totalmente. Para 40% dos especialistas respectivamente, avaliaram que as ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas propostas, atendem quase totalmente ou atendem totalmente, sendo 20% dos especialistas consideraram como atendimento parcial. Ademais, para 60% dos especialistas a representação gráfica do modelo de referência atende totalmente as expectativas dos avaliadores. No que refere a validação das atividades das fases, ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas sugeridas, os especialistas julgaram este quesito seguindo um grau de importância de aplicação. Nesta etapa da validação, foi constatado que 65% das atividades avaliadas, de um total de 46 atividades, foram consideradas pelos especialistas como essencialmente importante para o processo de desenvolvimento de produto, sendo que 11% foram consideradas muito importante e as demais foram consideradas como importantes ou obtiveram resultados equivalentes na validação. Estes resultados estão dispostos na Tabela 2. Por fim, os resultados apontam que o modelo de referência teve um parecer favorável, com uma abordagem que atende aos interesses para o processo de desenvolvimento de produto de bens de consumo duráveis.

## 6 CONCLUSÃO

Este artigo detalhou a estrutura do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, o qual visa atender o segmento de manufatura de bens de consumo duráveis desde o início do desenvolvimento até a descontinuidade do produto no mercado. Para a validação deste modelo de referência, um grupo constituído por profissionais na área de projetos e desenvolvimento de produto que possuem ampla experiência na área e atuam em empresas na região de Curitiba, puderam contribuir com a visão de aplicação prática do modelo de referência proposto. De acordo com os resultados da validação pelos especialistas, verifica-se que o modelo de referência pode estabelecer uma diretriz positiva para auxiliar as organizações no processo de desenvolvimento de produto, de

maneira a compreender todas as fases de forma adequada e eficiente, assegurando as características do produto pretendido pelo mercado, considerando fatores primordiais para competitividade das organizações como tempo, custo, qualidade e robustez desde o início do desenvolvimento do produto até a descontinuidade no mercado. Como sugestão de trabalhos futuros pretende-se aplicar as fases do modelo de referência no desenvolvimento de um produto de bens de consumo duráveis.

## 2.3 ARTIGO 3

# MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PROTÉTICO PARA NATAÇÃO

**Status:** Submetido ao *Journal of Cleaner Production* (ISSN: 0959-6526).  
**Impact Factor (Journal Citation Ranking):** 7.246  
**SJR (Scimago Journal Ranking):** 1.886

## **Modelo de referência *DESIGN FOR SIX SIGMA* orientado ao processo de desenvolvimento de produto: desenvolvimento de um dispositivo protético para natação**

### **RESUMO**

Um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto objetiva delinear um procedimento sistemático de execução de atividades para implementação de novos produtos, de acordo com a compreensão da oportunidade do mercado em um menor tempo de desenvolvimento, custo e atendendo a qualidade requerida. Este artigo apresenta a aplicação de um modelo de referência *Design For Six Sigma* (DFSS) orientado ao processo de desenvolvimento de produto (PDP) para desenvolver um dispositivo protético de auxílio ao portador de agenesia de mão para o aprendizado da atividade física da natação. O desenvolvimento do dispositivo protético foi implementado baseado nas fases do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo desenvolvimento de produto: (i) planejamento; (ii) projeção; (iii) implementação; (iv) industrialização e (v) monitoramento. Estas fases contemplam aplicação de ferramentas de desenvolvimento de produto e técnicas estatísticas sugeridas pelo modelo. Os resultados obtidos evidenciam que o modelo de referência possui uma aderência significativa com as práticas e conceitos dos processos de desenvolvimento de produtos com o diferencial de mesclar os princípios da metodologia *Design For Six Sigma*. Desta forma, o modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, demonstrou contribuir com a finalidade de ser um modelo passível de aplicação no desenvolvimento de bens de consumo duráveis, com uma estrutura sistemática que visa considerar as fases do processo de desenvolvimento de produto, com a aplicação de ferramentas e técnicas estatísticas para a determinação dos parâmetros dimensionais do dispositivo protético, bem como a definição dos intervalos de tolerâncias para uma possível fabricação em escala industrial.

**Palavras-chave:** *Design For Six Sigma*, Processo de Desenvolvimento de Produto, Análise Multivariada de Dados, Simulação de Monte Carlo, Agenesia de mão e Tecnologia Assistiva.

## 1 INTRODUÇÃO

Várias pessoas ao redor do mundo são portadoras de alguma deficiência. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) relata que 6,7% da população no Brasil apresenta deficiência física, visual ou intelectual. Ser portador de uma deficiência constitui um desafio duplo, o primeiro de aprender ou reaprender a viver com a “anormalidade”, o segundo enfrentar as barreiras impostas pela sociedade.

Baseado nestes dois desafios para um portador de deficiência física, a tecnologia assistiva e a manufatura aditiva se tornaram grandes aliadas, auxiliando portadores de deficiência a terem novas perspectivas por meio do desenvolvimento de dispositivos protéticos adequados as características e necessidades do indivíduo a um custo mais acessível, contribuído para proporcionar acessibilidade e dignidade ao deficiente. A tecnologia assistiva é definida como um conjunto de recursos e serviços que proporcionam ou ampliam as habilidades funcionais de pessoa com deficiência com uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas encontrados pelos portadores de deficiência promovendo vida independente e inclusão (COOK e HUSSEY, 1995; BERSCH, 2017).

De acordo com Araujo (2017), o portador de deficiência é mais suscetível a problemas de saúde secundários como depressão, ansiedade, obesidade, dor, fadiga, contraturas e deformidades, infecções do trato urinário e respiratório, sendo a atividade física muito importante para sua reabilitação e prevenção. A natação é um esporte versátil para essa população, sendo recomendado para tratamento de uma lesão aguda ou para promoção da saúde e do esporte de alto rendimento. Porém, a participação do portador de deficiência na natação é limitada por um conjunto multifatorial que inclui aspectos pessoais e ambientais. Vargas (2011) enfatiza que o esporte inclusivo é caminho eficiente de estímulo à prática da autoestima, autoexpressão e autoconfiança, por representar uma das portas de entrada na sociedade, melhorando a qualidade de vida e a saúde física e emocional do indivíduo.

Este artigo propõe a aplicação do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo desenvolvimento de produto para desenvolver um dispositivo protético para auxiliar um portador de agenesia de mão no aprendizado da natação e prática desta atividade física. Para o desenvolvimento deste dispositivo assistivo, foram executadas as fases dos modelos de referência: (i) planejamento e (ii) projeção, com seus respectivos estágios. As fases: (iii) implementação, (iv) industrialização e (v) monitoramento não foram aplicadas neste desenvolvimento por estarem diretamente ligadas a fabricação e comercialização do produto. Foram aplicadas ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas no desenvolvimento do

dispositivo protético que auxiliaram para a concepção e otimização do novo produto. O resultado deste estudo possibilitou o pedido de patente ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI sob o processo número 102020019058-0 e registro BR 10 2020 019058-0. O dispositivo protético está em processo de liberação de uso para Associação Dar a Mão, a qual atende portadores de agenesia de membro superior.

## **2 BACKGROUND**

O processo de desenvolvimento de novos produtos torna-se real a partir de uma necessidade observada no mercado. Neste sentido, este artigo aplicou o modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo desenvolvimento de produto no desenvolvimento de um dispositivo protético, que tem por objetivo auxiliar no processo de aprendizagem de uma modalidade esportiva – a natação. Este dispositivo protético visa proporcionar ao aprendiz com a deficiência de agenesia de mão maior segurança e rapidez no aprendizado da natação ou usar o dispositivo para atividade física regular. Ressaltando, que o dispositivo protético desenvolvido não possui a finalidade de uso em competição esportiva. Neste contexto, esta seção está fundamentada em proporcionar ao leitor melhor compreensão do tema agenesia e dos assuntos correlatos.

### **2.1 Agenesia de membro superior**

O portador de deficiência física pode se beneficiar do uso de dispositivos protéticos no desenvolvimento de tarefas diárias, além de obter benefícios psicológicos. No entanto, a maioria dos dispositivos protéticos são caros, complexos e inacessíveis para aqueles que possuem poucos recursos. Um dispositivo protético deve ser fácil e intuitivo, além de ser apropriado para as tarefas diárias que um usuário deve executar. Casos de agenesia de membro superior podem ser de ordem traumática decorrente de acidentes de trânsito e acidentes de trabalho – neste último ocorre amputação de dedos, mão e braço. Em crianças os casos mais comuns são por má formação congênita e por tumores. Em adultos de meia-idade a agenesia de membro superior acontece por traumas diretos ou acidentes e infecções crônicas, na população idosa as maiores causas de amputações ocorrem por diabetes com gangrena (SILVA e VILAGRA, 2015; OKUMURA, 2017).

Camargo (2008) cita que a deficiência física de membro superior é classificada de acordo com a medicina por meio do nível de amputação representado pela localização. A Figura 1 apresenta os diversos níveis de amputação.

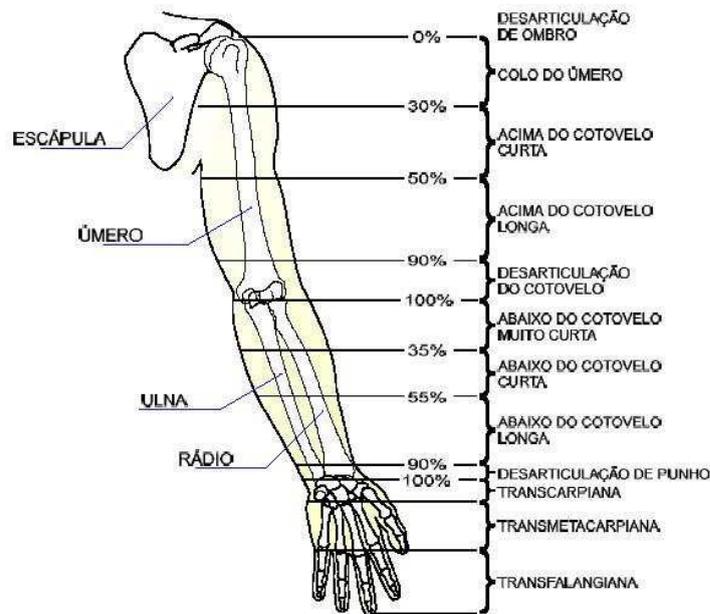


Figura 1 – Níveis de amputação

Independente da origem da agenesia, o uso de um dispositivo protético possibilita maior autonomia no desempenho das atividades rotineiras e melhora a autoestima do indivíduo portador da deficiência. Especificamente este artigo, será direcionado no desenvolvimento de um dispositivo protético para a atividade esportiva da natação para um indivíduo com agenesia no nível de desarticulação de punho, apresentada na Figura 1.

## 2.2 Tecnologia assistiva versus Inclusão social

A tecnologia assistiva surgiu com a engenharia de reabilitação a partir da necessidade de melhorar as próteses e órteses de militares deficientes na década de 40 (STORY et al.,1998). A tecnologia assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL, 2009). De acordo com Bersch (2017), tecnologia assistiva também pode ser definida como todo arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e consequentemente promover vida independente e inclusão. A tecnologia assistiva aplica os avanços tecnológicos e o conhecimento técnico de profissionais de diferentes áreas que se interagem para restabelecer a função humana ou potencializar as habilidades das pessoas com deficiência, que estende no âmbito de fabricação, uso de equipamentos, de recursos ou de estratégias (BRASIL, 2009; BERSCH, 2017).

Assim, a aplicação da tecnologia assistiva auxilia a pessoa com deficiência que necessita desempenhar tarefas em diferentes espaços na sua vida cotidiana tanto de autocuidados como atividades profissionais. Os produtos assistivos são qualquer produto incluindo dispositivos, equipamentos, instrumentos e *softwares*, especialmente produzidos ou geralmente disponíveis, usado por pessoas com deficiência para compensar, proteger, apoiar, treinar, substituir funções corporais/aliviar ou neutralizar a deficiência, incapacidade ou desvantagem de um indivíduo, permitindo ao usuário alcançar a sua autonomia e participar mais ativamente na sociedade. Logo o convívio do usuário de dispositivo assistivo entre pessoas com e sem deficiência se torna mais frequente, favorecendo a diversidade humana e inclusão social (ISO 9999:2016; OKUMURA, 2017).

### **2.3 Inclusão social versus esporte**

A deficiência física é uma temática que conquistou nos últimos anos, notoriedade e importância pela sociedade, mas ainda carece de entendimento e aceitação pois, ainda há preconceito e discriminação pela simples utilização do termo (HAIACHI, 2017). Diversas pessoas passam a ter contato com o universo da deficiência quando ocorre uma aproximação direta ou indireta com um portador. A inclusão social do portador de deficiência através do esporte permite ao indivíduo a entender os próprios limites físicos e a buscar motivação para superação. O esporte proporciona um desenvolvimento nos aspectos físicos, psicológicos e sociais ao indivíduo, sendo potencializado para os portadores de deficiência, pois significa uma oportunidade de mudança (HAIACHI, 2017; LABRONICI et al., 2000; LEVERMORE, 2008).

A prática da atividade física proporciona melhoras significativas na qualidade de vida e saúde de um indivíduo com deficiência, tendo um papel importante na redução de ocorrências de problemas de saúde secundários à deficiência como sintomas de ansiedade e depressão, bem como o aumento do bem-estar geral da pessoa com deficiência (NAHAS, 2006; COOPER et al., 1999; DURSTINE et al., 2000; HELLER et al., 2004; LUI e HUI, 2009; VIEIRA, 2018).

Segundo Vieira (2018), o portador de deficiência enfrenta vários obstáculos para a realização de uma atividade física e pessoas com deficiência apresentam um nível de envolvimento inferior quando comparado com pessoas sem deficiência. Sendo os empecilhos para prática da atividade física e esporte pelo portador de deficiência de ordem multifatoriais, abrangendo os aspectos pessoais, ambientais e psicológicos. Melo e Lopes (2002) e Cardoso (2011) citam que a prática de atividade física permite a portador de deficiência testar seus limites e potencialidade, prevenindo enfermidades secundárias e promovendo integração social.

A natação é uma atividade física composta por um conjunto de habilidades motoras

que busca proporcionar ao indivíduo o deslocamento de forma autônoma, independente, segura e prazerosa no meio líquido. O aprendizado da natação requer inicialmente uma familiaridade com o meio líquido, desenvolvimento do domínio do equilíbrio, da flutuação, respiração correta e propulsão. A prática da natação pode ter por finalidade competitiva ou melhora do condicionamento físico bem como uma forma de relaxamento (PALMER, 1990; GALLAHUE e OZMUN, 2005; DIAS, 2011).

A atividade física da natação propicia ao portador de deficiência benefícios como redução da espasticidade, melhora da circulação sanguínea, manutenção ou aumento da amplitude de movimento das articulações, reeducação e estimulação dos músculos paralisados, desenvolvimento da coordenação motora, melhora do equilíbrio e postura corporal (TOLOI, 2005; SKINNER e THOMSON, 1985; DIAS, 2011). Neste contexto, o desenvolvimento de um dispositivo protético para auxiliar no aprendizado da natação, busca romper os obstáculos enfrentados pelo portador de agenesia de mão, proporcionando ao indivíduo uma oportunidade de integração em uma atividade física.

## **2.4 Manufatura Aditiva**

O sucesso de uma organização de fins lucrativos está atrelado a sua capacidade em identificar as necessidades do mercado consumidor e desenvolver produtos que possam atendê-lo. A crescente concorrência no mundo dos negócios e complexidade dos produtos leva as organizações a encontrar novos caminhos no processo de desenvolvimento de produto, principalmente com o objetivo de reduzir tempo envolvido no desenvolvimento, aumento da qualidade e a competitividade no mercado de negócio. Dentre as atividades envolvidas no PDP, a utilização de protótipo físico tornou-se parte importante deste processo, pois ajuda a reduzir possibilidade de falhas, melhorar a qualidade do produto e facilita o processo de comunicação entre as pessoas envolvidas no desenvolvimento do produto. O surgimento de novas tecnologias tem contribuído neste processo de desenvolvimento de produto, sendo a manufatura aditiva ou impressão 3D um elemento chave na etapa do projeto do produto. A manufatura aditiva é um processo que se caracteriza pela adição de materiais por meio de sucessivas camadas a partir de um modelo CAD do objeto a ser fabricado, englobando tecnologias de Prototipagem Rápida, Ferramental Rápido e Manufatura Rápida (GIBSON et al., 2010; CHUA et al., 2003). O emprego da manufatura aditiva é um dos pilares da indústria 4.0 e vários segmentos industriais tem sido beneficiados com o aprimoramento desta tecnologia, como a indústria automotiva, aeronáutica e também na área da saúde. No segmento da saúde a manufatura aditiva tem sido aplicada na produção de implantes personalizados e produtos

médicos, bem como na produção de órteses (DODZIUK, 2016; DESHAIES, 2005). As órteses são um exemplo de produtos assistivos, os quais são dispositivos externos ao corpo que estão disponíveis no mercado ou fabricados especialmente para o indivíduo portador de deficiência capaz de oferecer apoio, prevenir, compensar, controlar, atenuar ou neutralizar deficiências e limitações nas atividades. (EDELSTEIN e BRUCKNER, 2006; PUDLES e DEFINO, 2014; ARCE e FOGGIATTO, 2017).

## **2.5 Processo de desenvolvimento de produto**

O processo de desenvolvimento de produto constitui uma atividade complexa, na qual envolve diversos interesses e habilidades com o objetivo de atender as expectativas do consumidor. Sendo assim, o processo de desenvolvimento de produto requer pesquisa, planejamento cuidadoso, controle detalhado e uso de métodos sistemáticos com abordagem interdisciplinar de várias áreas. Essa abordagem interdisciplinar permite o fortalecimento do fluxo de informação entre as pessoas oriundas de diferentes áreas de conhecimento (BACK et al., 2008; BAXTER, 2001; CUNHA, 2008 e OKUMURA, 2012).

Desenvolver produto abrange a criação de produto com características novas ou diferentes que ofereçam benefícios adicionais ao cliente, este processo está fundamentado num procedimento colaborativo entre projeto, produção e suporte, cujo conceito é a filosofia de engenharia simultânea. Esta abordagem sistemática para o desenvolvimento do produto busca induzir a participação de várias equipes em uma organização nas atividades de maneira constante e simultânea, a partir das fases iniciais, considerando todos os elementos do ciclo de vida do produto, incluindo aqueles encontrados durante a fase de fabricação, distribuição e uso do produto (ULRICH e EPPINGER, 2003; CLEETUS, 1992 e FRANCALANZA et al., 2018).

## **2.6 Design For Six Sigma**

A estrutura da metodologia *Design For Six Sigma* está direcionada para o desenvolvimento de produto, no qual consiste em métodos com fases que são avaliados ao final de cada etapa para averiguação da robustez antes que o projeto siga adiante. O DFSS permite desenvolver produtos com níveis de desempenho do *Six Sigma* na produção com custos e riscos previsíveis, além fornecer meios para acelerar a inovação (TENNANT, 2002 e GREMYR, 2005). *Design For Six Sigma* apresenta diversos métodos na literatura como citado por (FRANCISCO, CANCIGLIERI JUNIOR E SANT'ANNA, 2020), no entanto, todos os métodos com objetivo em comum que consistem em desenvolver um produto robusto e atendendo as necessidades e satisfação do consumidor.

Cudney e Furterer (2012) citam que *Design For Six Sigma* é uma compilação de vários

métodos e um conjunto de ferramentas integrado para projetar e desenvolver produtos e serviços que incluem três importantes aspectos que devem ser equilibrados sem comprometer a satisfação do consumidor: (i) maximizar o lucro; (ii) minimizar o tempo e (iii) minimizar o custo. Hasenkamp e Olme (2008) destacam que *Design For Six Sigma* direciona os esforços para os aspectos essenciais de forma sistemática desde o início do desenvolvimento do produto. Antony (2002) cita que *Design For Six Sigma* permite a introdução de novos produtos, processos e serviços de maneira mais eficiente, confiável e capaz de atender as expectativas e exigências dos clientes, eliminando etapas ou processos que não agregam valor ao projeto do produto ou serviço, com aplicação de ferramentas estatísticas para prever e melhorar a qualidade antes da construção de protótipos.

A aplicação de ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas eficazes é um dos pilares da metodologia *Design For Six Sigma* para melhoria do desempenho no desenvolvimento de novos produtos, permitindo que a organização atenda às expectativas do consumidor e que podem ser produzidos em níveis de qualidade *Six Sigma*. Alguns exemplos de ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas aplicadas nas diferentes fases dos métodos *Design For Six Sigma*: *Quality Function Deployment (QFD)*, *Benchmarking*, *Brainstorming*, *Robust design*, *Design of experiment (DOE)*, *Theory of inventive problem solving (TRIZ)*, *Failure mode and effect analysis (FMEA)*, *Simulation*, *Tolerance design*, Controle Estatístico de Processo (CEP), dentre outras.

Neste estudo, um procedimento sistemático baseado na sinergia dos métodos *Design For Six Sigma* a um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto, sustentado pela sugestão de aplicação de diferentes ferramentas de engenharia técnicas estatísticas – Modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto – será implementado no desenvolvimento de um produto assistivo (Francisco, Canciglieri Junior e Sant’Anna, 2019).

### **3 MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

O modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto é constituído pelas macro-fases de Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento. As quais estão subdivididas em 5 fases, sendo: (I) Planejamento; (II) Projetação; (III) Implementação; (IV) Industrialização e (V) Monitoramento. Nas fases do modelo de referência proposto ocorre o desdobramento em estágios, sendo: (i) percepção da demanda; (ii) escopo do produto; (iii) caracterização do produto; (iv) otimização;

(v) planejamento do processo de produção; (vi) pré-produção; (vii) produção; (viii) comercialização e finalizando no estágio de (viii) acompanhamento do produto no mercado consumidor. A Figura 2 e Tabela 1 apresentam respectivamente a estrutura gráfica do modelo de referência e uma síntese dos objetivos das fases, bem como as sugestões de ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas.

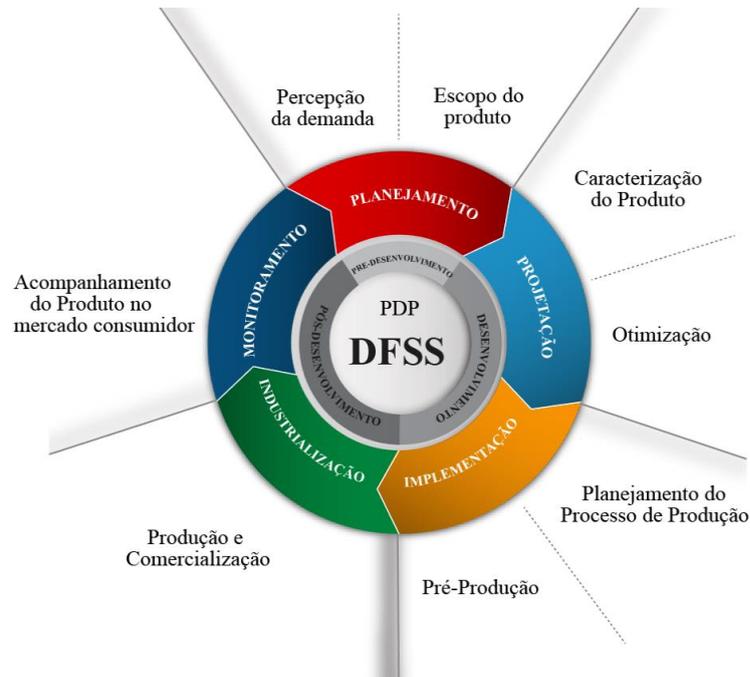


Figura 2 - Modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto

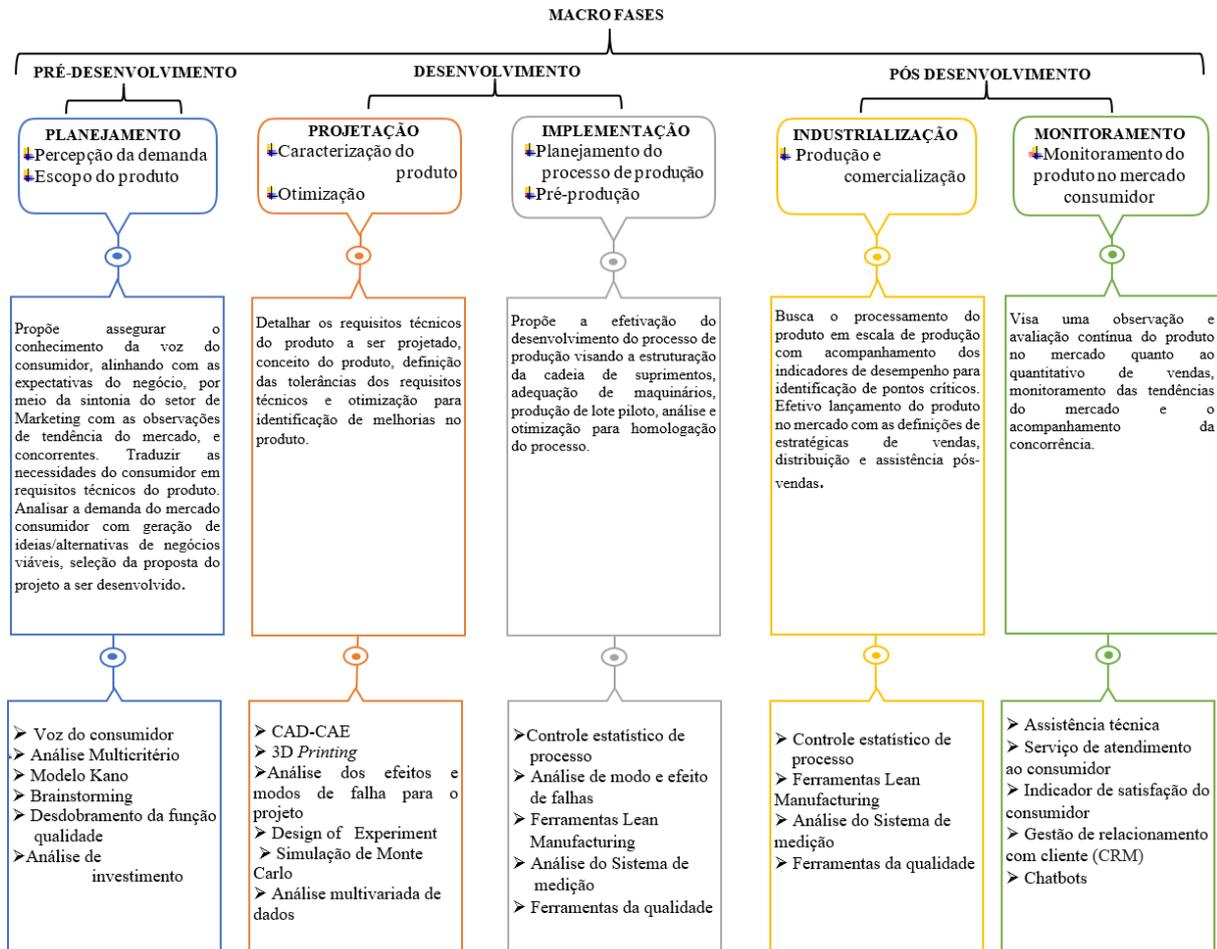


Tabela 1 - Fases do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto, ferramentas de engenharia e técnicas estatística sugeridas.

Neste contexto, o presente estudo visa implementar o modelo de referência *Design For Six Sigma* no desenvolvimento de um produto assistivo direcionado para portador de agenesia de mão, especificamente na altura do punho. O dispositivo protético proposto visa auxiliar no aprendizado das técnicas da natação como treinamento da pernada e respiração, além de permitir maior equilíbrio e esforço igualitário dos membros superiores do usuário.

#### 4 APLICAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA

O desenvolvimento do dispositivo protético para natação, seguiu as fases de Planejamento e Projetação com seus respectivos desdobramentos em estágios, desde a percepção da demanda até a otimização, as quais serão detalhadas a seguir.

## 4.1 Planejamento

### 4.1.1 Percepção da demanda e Escopo do produto

O desenvolvimento do produto assistivo partiu da necessidade da implementação do modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. Mediante a dificuldade de aplicação do modelo em uma unidade fabril, pensou-se na implementação na área da tecnologia assistiva, especificamente com a Associação Dar a Mão. Esta associação foi criada com o objetivo principal de doar apoio na concessão de dispositivos protéticos sem custo a crianças, adolescentes ou indivíduos que nasceram com Agenesia de Membros (deficiência física), afetados pela Síndrome da Brida Amniótica, Simbraquidactilia ou outras síndromes/doenças raras, ou que sofreram amputações (OKUMURA, 2017). Partindo dessa necessidade de atendimento a este público alvo bem como no aspecto de inclusão social, foi conduzido o processo de geração de ideias para o atendimento deste público, direcionando o desenvolvimento do produto assistivo para inclusão através da prática esportiva. Desta forma, surgiu a proposta de implementação do modelo de referência no desenvolvimento de um dispositivo protético com a finalidade de auxiliar o portador de agenesia de mão no aprendizado da modalidade esportiva individual – a natação. A Figura 2, sintetiza os passos realizados na fase de Planejamento do modelo de referência aplicada no desenvolvimento do dispositivo protético.

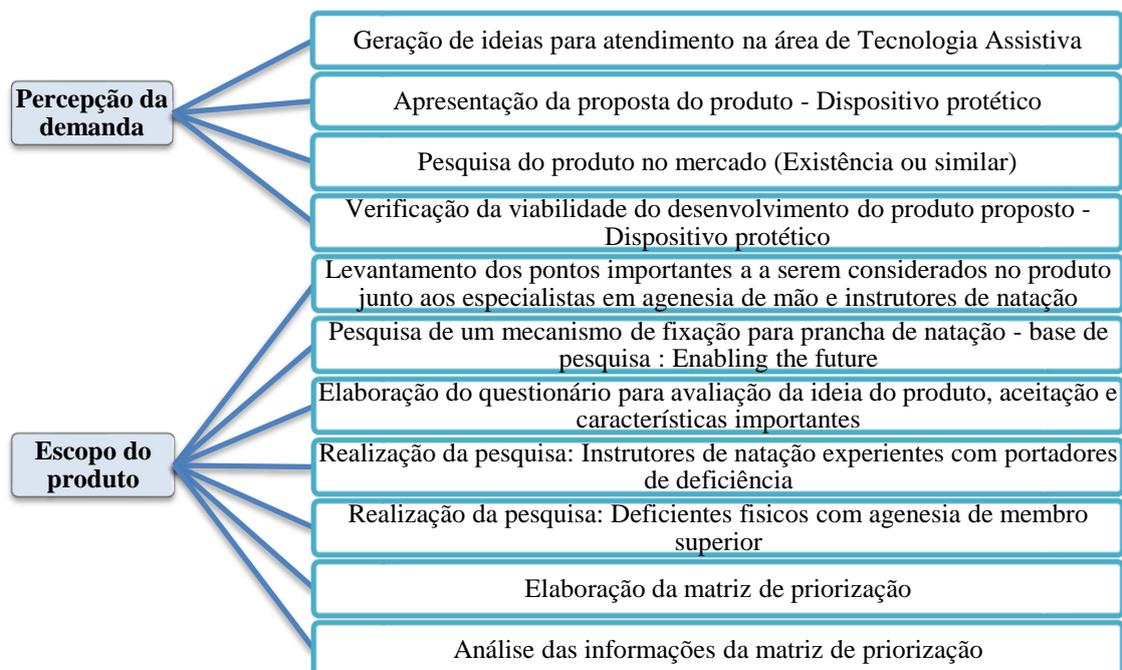


Figura 2 - Sequência das atividades desenvolvidas na fase de Planejamento do modelo de referência DFSS-PDP.

Segundo Rese et al. (2015), a exploração do conhecimento das necessidades e problemas dos usuários e clientes são as principais fontes para geração de ideias inovadoras. Método e instrumentos de *Voice-of-Customer* (VOC) são geralmente fáceis de usar e úteis para reunir as necessidades e expectativas dos clientes. Diversificados mecanismos VOC são relatados pelos autores (RESE et al., 2015; BARCZAK et al., 2009; COOPER e DREHER, 2010; CREUSEN et al., 2013 e MARKHAM e LEE, 2013) com a finalidade de entender e explorar estes conhecimentos. Para o desenvolvimento do dispositivo protético para natação, o instrumento aplicado para entender às necessidades do usuário, foi por um questionário de pesquisa direcionado para o usuário final do produto, como portadores de agenesia de mão e professores de natação com experiência com aprendiz portadores de deficiência física. A técnica de *brainstorming* também foi aplicada junto aos especialistas em agenesia para melhor compreensão das necessidades do usuário do dispositivo protético idealizado. A partir da exploração do conhecimento, foi possível a aplicação da ferramenta matriz de priorização para avaliação dos requisitos avaliados como importantes pelos entrevistados. A matriz de priorização auxilia na tomada de decisão ao definir, com critérios, o nível de importância das características do produto. No entanto, nesta análise não foi possível um estudo mais amplo para comparação entre o produto desenvolvido e um concorrente, como usado no método QFD. A técnica *Quality Function Deployment* (QFD) busca ouvir a voz do cliente e organizá-la de forma a facilitar a análise de suas necessidades, as quais são transformadas em requisitos ou características para um produto na forma de especificação técnica (AKAO, 1996). Para o presente estudo, somente a ferramenta matriz de priorização foi aplicada com o intuito de identificar características importantes para o usuário referente ao dispositivo protético proposto. A Figura 3, apresenta uma matriz de prioridade aplicada neste estudo. Como base no resultado obtido pela matriz, foram trabalhadas as características, largura, comprimento e espessura, as quais também influenciam em outra característica importante como o peso do dispositivo protético.

Qualidade Exigida		Funcionalidade							Dimensão			Qualidade Planejada			
		Tipo de garra	Tipo de presilha	Tipo de material	Rugosidade	Espessura da parede	Largura	Comprimento	Índice de melhoria	Argumento de venda	Peso absoluto	Peso relativo			
Itens da Voz do Cliente		Importância para o cliente													
Quão importante é para você que a órtese proposta possa ser exposta a luz solar ?		5	0	0	9	3	1	0	0	1	1	5	0,09		
Quão importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água salina (água do mar por exemplo)?		3	0	0	9	3	1	0	0	1	1	3	0,05		
Quão importante é para você que a superfície de contato da órtese com outro objeto seja rugosa?		5	0	0	9	9	3	0	0	1	1	5	0,09		
Quão importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água clorada?		5	0	0	9	3	1	0	0	1	1	5	0,09		
Quão importante é o preço deste produto para você?		4	3	3	9	1	9	9	9	1	1	4	0,07		
Quão importante é para você o peso da órtese?		4	3	3	3	3	9	9	9	1	1	4	0,07		
Quão importante é para você o tamanho do palmar da órtese?		5	0	0	0	1	3	9	9	1	1	5	0,09		
Agilidade no aprendizado		5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	5	0,09		
Segurança e estabilidade durante o uso.		5	9	9	3	9	3	3	3	1	1	5	0,09		
Durabilidade.		5	3	3	9	1	3	3	3	1	1	5	0,09		
Inclusão na atividade física.		5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	0,09		
Facilidade na colocação e uso		5	9	9	0	0	3	9	9	1	1	5	0,09		
												56			
<b>QUALIDADE PLANEJADA</b>															
Peso absoluto			2,39	2,39	5,00	2,95	3,04	3,61	3,61						
Peso relativo			10,4%	10,4%	21,8%	12,8%	13,2%	15,7%	15,7%						

Características do dispositivo protético para natação	%
Tipo de material	21,8%
Largura	15,7%
Comprimento	15,7%
Espessura da parede	13,2%
Rugosidade	12,8%
Tipo de garra	10,4%
Tipo de presilha	10,4%

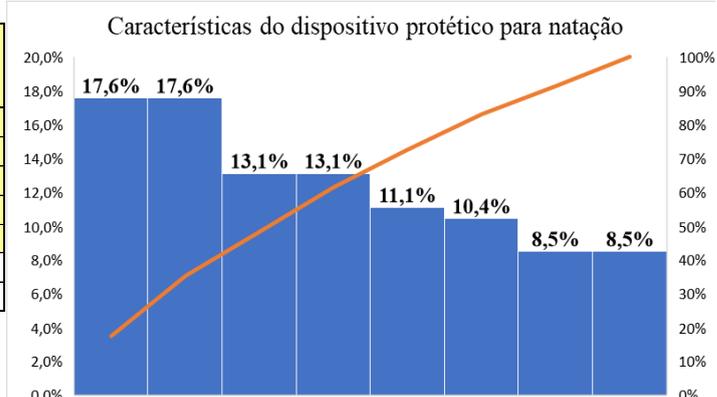


Figura 3 – Matriz de priorização aplicada na fase de Planejamento

## 4.2 Projetação

### 4.2.1 Caracterização do produto

Na concepção do produto, buscou-se a identificação das principais funções do produto a ser desenvolvido por meio da análise de produtos similares existentes. Nesta pesquisa, foi possível observar a existência de prótese de perna para pessoas adultas para realização da prática da natação. A partir da identificação de características relevantes observadas na prótese de perna e que poderiam ser implementadas na concepção do dispositivo protético deste estudo, foi possível por meio da junção de algumas características para criar o conceito do dispositivo protético para membro superior.

Na sequência da criação do conceito do produto, foram utilizados os *softwares* 3DS Max<sup>®</sup> e Solidworks<sup>®</sup>. O passo inicial consistiu na criação do componente acoplado ao coto do deficiente com um conceito de encaixe simples para posterior acoplamento ao palmar. Nesta etapa, foi utilizado um modelo virtual genérico de um braço escaneado para auxiliar no processo de modelagem da geometria do coto. Nas Figuras 4(a), 4(b) e 4(c), são apresentadas as seqüências dos passos realizados para alcançar a proposta final para a moldagem do acoplamento do coto.

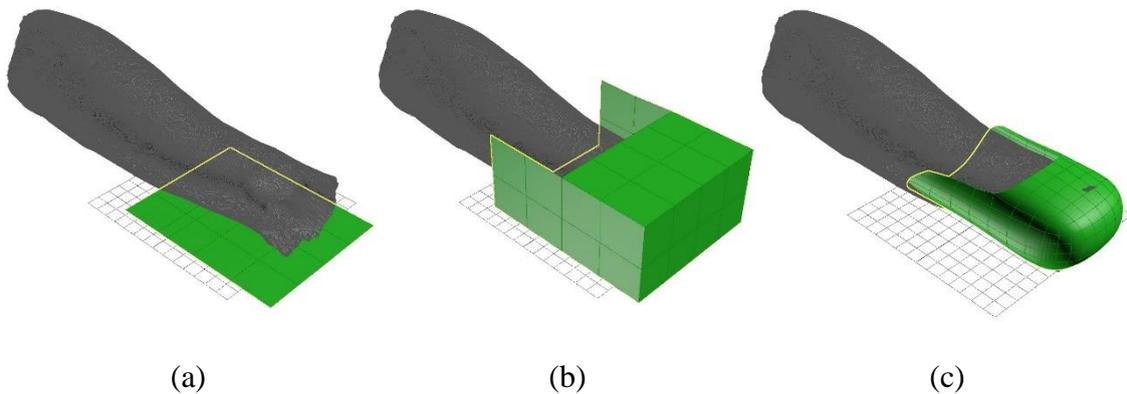


Figura 4 - Modelagem do acoplamento do coto no programa 3DS Max<sup>®</sup>.

Em seguida, foi modelado o palmar do produto através de um esboço manual que deu origem a uma superfície com o perfil do desenho que foi conformada de modo a alcançar o conceito final do palmar. Nas Figuras 5(a) até 5(f) são apresentados os passos sequenciais do processo de modelagem do palmar.

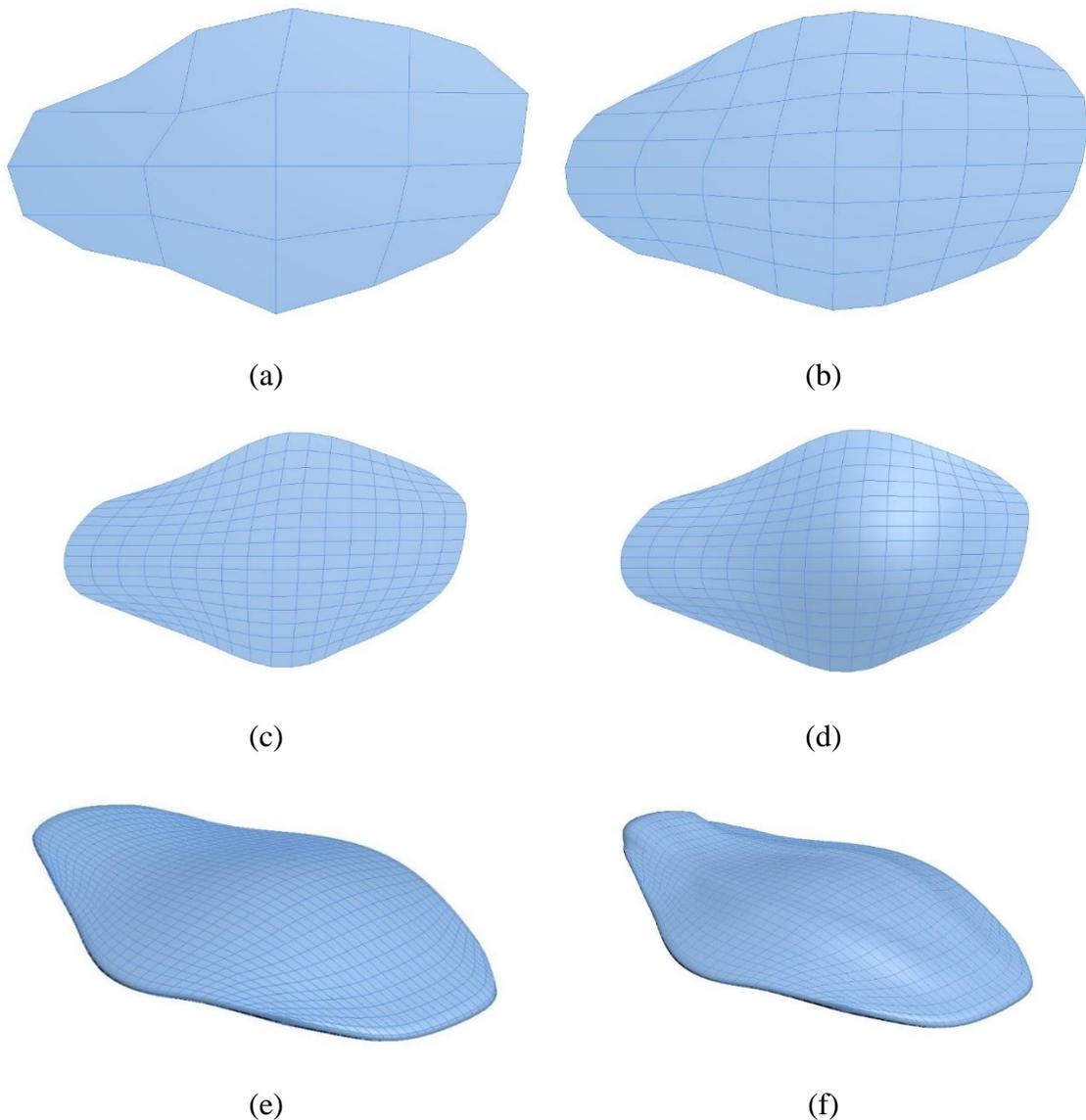


Figura 5 - Concepção criada para a prótese para ensino de natação.

Após a finalização da modelagem das geometrias não paramétricas do componente coto e palmar do dispositivo, os desenhos foram exportados para o Solidworks® e editados. Na sequência do desenvolvimento do conceito do produto, foi criado um mecanismo de encaixe que suporta os esforços a serem aplicados ao palmar do produto. Desta forma, foram criados um encaixe do tipo macho na peça de acoplamento ao coto e um encaixe do tipo fêmea no palmar. As Figuras 6 (a) e 6 (b) apresentam os componentes coto e palmar desenvolvidos para o dispositivo protético para natação, bem como os encaixe tipo macho e fêmea. Na Figura 7 é possível uma melhor compreensão do mecanismo de encaixe do dispositivo protético.

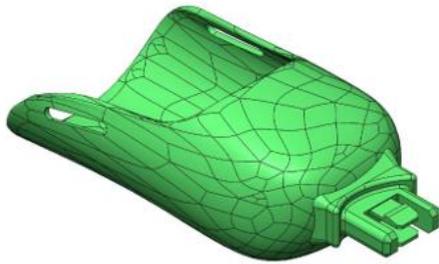


Figura 6(a) - Componente coto com encaixe do tipo macho

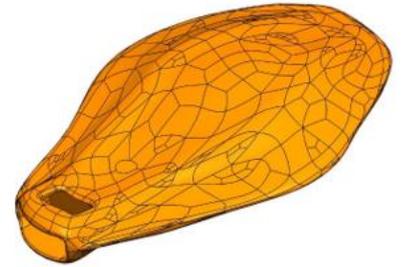


Figura 6(b) - Componente palmar com encaixe do tipo fêmea

A geometria retangular do encaixe foi escolhida para evitar que haja rotação entre os componentes de acoplamento do coto e o palmar.

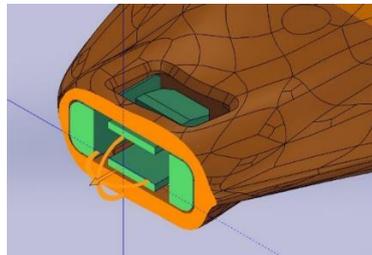


Figura 7 – Mecanismo de encaixe do tipo macho e fêmea para acoplamento dos componentes coto e palmar

Um terceiro componente foi projetado para acoplamento na região interna do palmar. Este componente que tem por finalidade reproduzir o conceito do polegar de uma mão humana, para permitir que o usuário consiga segurar uma prancha de natação por meio do mecanismo de pressão. A Figura 8 ilustra o polegar a ser acoplado no palmar.



Figura 8 – Polegar

A Figura 9 apresenta o componente palmar e polegar acoplado. Este conjunto permitirá ao usuário a fixação da prancha de natação para possibilitar o processo de aprendizado e treinamento dos movimentos de pernada e respiração. A Figura 10 apresenta o dispositivo protético montado em diferentes posições com todos os componentes do produto desenvolvido.

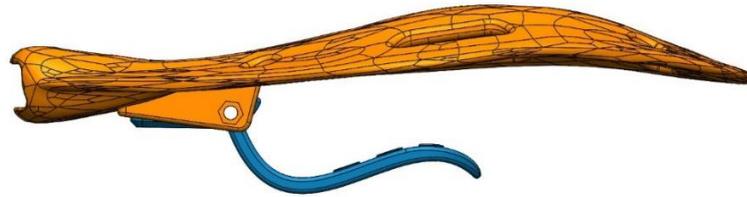


Figura 9 - Conjunto acoplado - palmar e polegar

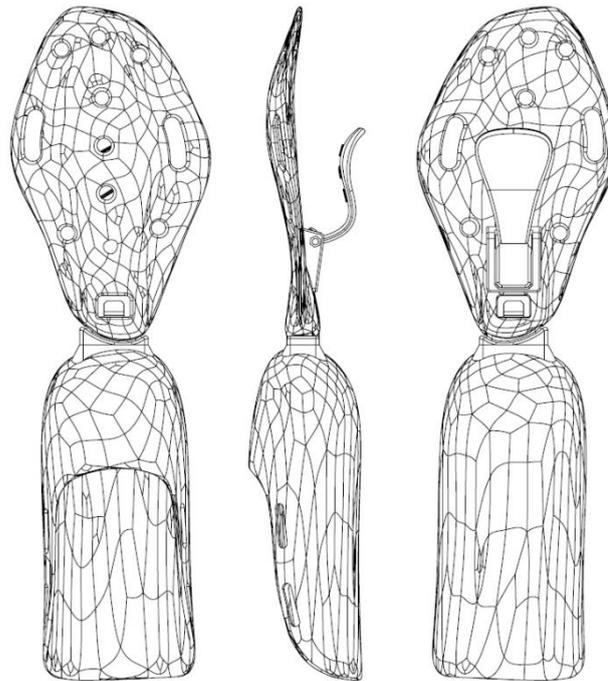


Figura 10 - Dispositivo protético montado

#### 4.2.2 Otimização

Após execução das atividades do estágio de caracterização do produto, temos o estágio de otimização, o qual consiste em determinar as especificações para parametrização dimensional do dispositivo protético nos tamanhos, pequeno (P), médio (M) e grande (G). Foram aplicadas as técnicas estatísticas de Simulação de Monte Carlo, análise multivariada de dados e intervalo de tolerância com o auxílio do *software* Minitab®. Inicialmente, foi estabelecido um intervalo de medidas para as características importantes para a parametrização dos dimensionais, P, M e G. Foram consideradas as variáveis: altura e largura do palmar, circunferência do punho e comprimento do antebraço, tendo como base as medidas da mão humana. Além destas variáveis, foi estabelecido um intervalo de medida para espessura do palmar do dispositivo protético, baseada na espessura dos palmares de natação existentes no mercado, cuja espessura é de 3 mm.

A Figura 11, ilustra as variáveis que foram consideradas para análise da parametrização dimensional do palmar do dispositivo protético representado no braço e na mão

humana. A Tabela 2, apresenta os intervalos de medidas estabelecidos para a aplicação da simulação. Com base nestes intervalos a técnica de Simulação de Monte Carlo foi aplicada para geração de 5.000 iterações de cada variável de estudo.

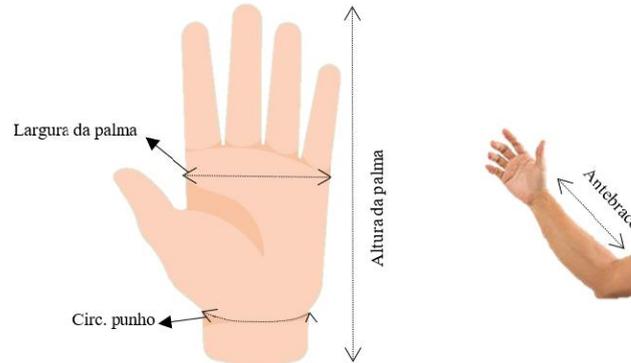


Figura 11 – Ilustração das variáveis para parametrização dimensional do dispositivo Protético representada no corpo humano.

	Intervalos de estudo para parametrização dimensional					
	Pequeno		Médio		Grande	
	PEI	PES	PEI	PES	PEI	PES
Largura_Palmar	6,5	9,0	9,1	13,0	13,1	18,0
Altura_Palmar	11,0	15,0	15,1	18,0	18,1	21,0
Espessura	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5
Circunferência punho	11,0	13,0	13,1	17,0	17,1	21,0
Comprimento do coto	14,0	17,0	17,1	22,0	22,1	26,0
Medidas em cm						

\* PEI: Ponto externo inferior

\* PES: Ponto externo superior

Tabela 2 - Intervalo de medida referencial para análise da parametrização dimensional do Dispositivo.

#### 4.2.2.1 Simulação de Monte Carlo e Análise multivariada de dados

Após definição dos intervalos de análise para parametrização das medidas do dispositivo protético, foi aplicado o método de Monte Carlo para simulação de 5000 iterações. Foi selecionado a distribuição contínua uniforme para iteração dos dados, por ser uma distribuição que modela um intervalo de valores igualmente prováveis. Na sequência uma análise de clusters foi aplicada para agrupar observações em subconjuntos. Para a aplicação da

técnica multivariada de dados, foi aplicado o algoritmo K-médias. Este algoritmo é considerado na literatura como o mais popular e mais simples entre os algoritmos particionados, além de convergir com poucas iterações para uma configuração estável. O algoritmo K-means é uma heurística de agrupamento não hierárquico que busca minimizar a distância dos elementos a um conjunto de K centro, dado por  $\chi = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  de maneira iterativa. Sendo a distância entre um ponto  $p_i$  e um conjunto de clusters, dada por  $d(p_i, \chi)$ , sendo definida como a distância do ponto ao centro mais próximo. A função a ser minimizada é dada por:

$$d(P, \chi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(p_i, \chi)^2 \quad (1)$$

O método das k-médias é composto por 3 etapas: (i) partição arbitrária dos itens em k grupos iniciais; (ii) realocação de cada item no grupo com distância média do centroide mais próxima, em geral, é usada a distância Euclidiana. Ocorre o recálculo do centroide para o grupo que recebeu a nova observação e para o grupo que perdeu alguma observação; (iii) repetição da etapa (ii) até que não haja nenhuma observação a ser realocada. A distância média é uma medida Euclidiana calculada pela equação a seguir:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

Onde:  $x_i$  e  $y_i$  são variáveis dos itens e  $d$  a distância euclidiana.

Neste estudo foi selecionado uma partição final com 8 clusters (cluster  $k=8$ ). A Tabela 3(a) apresenta os resultados da análise de clusters com as 8 partições obtidas. A Tabela 3(b) apresenta os resultados das variáveis de estudo para cada cluster, destacando o cluster 6, o qual foi selecionado para a parametrização do dispositivo no tamanho P. Do mesmo modo, as Tabelas 4(a) e 4(b) apresentam os resultados para a parametrização do tamanho M e as Tabelas 5(a) e 5(b) para a parametrização do tamanho G do dispositivo protético. As informações das Tabelas 3(a), 4(a) e 5(a) mostram o número de clusters na primeira coluna, sendo que a cada cluster está associado uma combinação das variáveis de estudo que podem ser um tamanho. A segunda coluna apresenta o número de observações que estão neste aglomerado de dados. As colunas seguintes explicam a soma de quadrados de cada cluster, a distância média das observações a partir do centroide e por fim a distância máxima de uma única observação em relação ao centroide. O objetivo é extrair o centroide com maior homogeneidade, sendo observada pela variabilidade da distância média do centroide e soma de quadrados dos clusters.

Sendo assim, foram selecionados os clusters mais adequados, seguindo os seguintes critérios: (i) homogeneidade, (ii) número de observações e (iii) medida do centroide mais adequada na expectativa de parâmetro para o objetivo proposto. Os resultados obtidos para o centroide do cluster para as parametrizações de medidas P, M e G para o dispositivo protético obtido pela análise multivariada de dados pelo método K-means, são destacados nas Tabelas 3(b), 4(b) e 5(b). Todos resultados foram obtidos pelo *software* Minitab®,

### a) Parametrização dimensional do dispositivo: Tamanho P

Tabela 3(a) - Análise de cluster para o tamanho P

Partição Final				
	Número de observações	Dentro da soma de quadrados do Cluster	Distância média do centróide	Distância máxima do centróide
Cluster 1	622	585,530	0,942	1,542
Cluster 2	689	676,395	0,959	1,610
Cluster 3	618	615,147	0,964	1,628
Cluster 4	669	688,678	0,983	1,582
Cluster 5	541	517,606	0,948	1,478
<b>Cluster 6</b>	<b>612</b>	<b>573,720</b>	<b>0,938</b>	<b>1,522</b>
Cluster 7	593	565,094	0,944	1,618
Cluster 8	656	655,362	0,966	1,608

Tabela 3(b) - Centroides da análise de cluster para o tamanho P

Centróides do grupo									
Variável	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	<b>Cluster 6</b>	Cluster 7	Cluster 8	Centróide global
Largura_palmar	8,3441	8,3562	8,4004	7,1338	7,1469	<b>8,3888</b>	7,1189		
Altura_palmar	14,0923	12,1709	13,8911	12,1068	11,7745	<b>11,8250</b>	14,1815	7,1003	7,7582
Espessura	0,4025	0,3988	0,3968	0,4044	0,3996	<b>0,4015</b>	0,3995	13,8081	12,9820
Circ.Punho	11,9820	12,0090	12,0248	12,0820	11,9681	<b>11,9831</b>	11,9483	0,3961	0,3999
Comp.Antebraco	16,2740	16,3208	14,7192	14,7886	16,2614	<b>14,7754</b>	14,7938	12,0813	12,0121

### b) Parametrização dimensional do dispositivo: Tamanho M

Tabela 4(a) - Análise de cluster para o tamanho M

Partição Final				
	Número de observações	Dentro da soma de quadrados do Cluster	Distância média do centróide	Distância máxima do centróide
Cluster 1	610	1118,953	1,312	2,164
Cluster 2	565	1049,667	1,324	2,226
Cluster 3	622	1156,605	1,320	2,166
Cluster 4	652	1205,831	1,321	2,076
Cluster 5	638	1183,084	1,319	2,290
<b>Cluster 6</b>	<b>655</b>	<b>1187,520</b>	<b>1,302</b>	<b>2,079</b>
Cluster 7	615	1156,851	1,326	2,148
Cluster 8	643	1207,061	1,328	2,235

Tabela 4(b) - Centroides da análise de cluster para o tamanho M

Centróides do grupo									
Variável	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluster 8	Centróide global
Largura palmar	12,1036	10,0533	11,9356	11,9645	10,1672	<b>10,0094</b>	9,9386	12,0244	11,0350
Altura palmar	16,4207	16,4984	16,7257	16,5405	16,6034	<b>16,4936</b>	16,5637	16,6146	16,5584
Espessura	0,4016	0,4016	0,4033	0,3997	0,3993	<b>0,4027</b>	0,4018	0,4009	0,4014
Circ.punho	14,0671	16,0863	15,9720	14,0525	14,0636	<b>14,1455</b>	15,9957	16,0402	15,0311
Alt. antebraço	20,6898	18,1434	20,8191	18,2871	20,8681	<b>18,3497</b>	20,5590	18,3649	19,5060

### c) Parametrização dimensional do dispositivo: Tamanho G

Tabela 5(a) - Análise de cluster para o tamanho G

Partição Final				
	Número de observações	Dentro da soma de quadrados do Cluster	Distância média do centróide	Distância máxima do centróide
Cluster 1	490	740,255	1,188	2,064
Cluster 2	719	1216,831	1,255	2,371
Cluster 3	640	1050,793	1,238	2,269
Cluster 4	801	1626,622	1,368	2,446
Cluster 5	500	733,258	1,171	1,938
Cluster 6	684	1199,446	1,284	2,183
Cluster 7	561	885,242	1,220	1,931
<b>Cluster 8</b>	<b>605</b>	<b>949,272</b>	<b>1,211</b>	<b>1,971</b>

Tabela 5(b) - Centroides da análise de cluster para o tamanho G

Centróides do grupo									
Variável	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluster 8	Centróide global
Largura palmar	17,2126	16,6957	14,4944	16,8740	13,8446	14,4155	15,6808	<b>14,3014</b>	15,4925
Altura palmar	19,3054	19,3501	19,3212	19,3109	19,2825	19,2687	19,3302	<b>19,3471</b>	19,3153
Espessura	0,4001	0,4032	0,3955	0,4008	0,4009	0,4029	0,4018	<b>0,4057</b>	0,4014
Circ.Punho	18,1237	18,4016	20,1349	20,2423	18,2091	20,0087	18,4066	<b>18,0210</b>	19,0462
Comp.Antebraço	24,9583	22,8846	25,0703	24,0701	25,0581	23,0335	24,9285	<b>23,0886</b>	24,0492

Após seleção dos clusters de parametrização dimensional P, M e G, as observações de cada cluster foram extraídas para uma posterior análise do intervalo de tolerância não-paramétrico. Para o estudo do intervalo de tolerância foi estabelecido um percentual de população no intervalo e um intervalo de confiança de 95% no software Minitab®. Na Tabela 6 são apresentados os resultados dos intervalos de tolerância obtidos para a parametrização no tamanho P, M, G do dispositivo protético, onde N representa o tamanho da amostra extraída do cluster selecionado.

Tabela 6 - Resultados dos intervalos de tolerância

<b>Tamanho P</b>				<b>Tamanho M</b>			
<b>Método</b>				<b>Método</b>			
Nível de confiança		95%		Nível de confiança		95%	
Percentual da população no intervalo		95%		Percentual da população no intervalo		95%	
<b>Estatísticas</b>				<b>Estatísticas</b>			
Variável	N	Média	DesvPad	Variável	N	Média	DesvPad
Largura_palmar	613	8,389	0,367	Largura_palmar	656	10,010	0,533
Altura_palmar	613	11,826	0,520	Altura_palmar	656	16,495	0,827
Espessura	613	0,401	0,058	Espessura	656	0,403	0,058
Circ.Punho	613	11,982	0,572	Circ_punho	656	14,145	0,578
Comp.Antebraco	613	14,777	0,452	Alt_antebraço	656	18,348	0,714
<b>Intervalo de 95% de Tolerância</b>				<b>Intervalo de 95% de Tolerância</b>			
Variável		Método	Confiança	Variável		Método	Confiança
		Não-paramétrico	Atingida			Não-paramétrico	Atingida
Largura_palmar		(7,681; 8,986)	96,06%	Largura_palmar		(9,087; 10,942)	95,75%
Altura_palmar		(11,035; 12,790)	96,06%	Altura_palmar		(15,158; 17,943)	95,75%
Espessura		(0,306; 0,498)	96,06%	Espessura		(0,304; 0,498)	95,75%
Circ.Punho		(11,020; 12,947)	96,06%	Circ_punho		(13,150; 15,101)	95,75%
Comp.Antebraco		(14,027; 15,587)	96,06%	Alt_antebraço		(17,147; 19,546)	95,75%

<b>Tamanho G</b>			
<b>Método</b>			
Nível de confiança		95%	
Percentual da população no intervalo		95%	
<b>Estatísticas</b>			
Variável	N	Média	DesvPad
Largura_palmar	605	14,301	0,697
Altura_palmar	605	19,347	0,698
Espessura	605	0,406	0,058
Circ.Punho	605	18,021	0,552
Comp.Antebraco	605	23,089	0,540
<b>Intervalo de 95% de Tolerância</b>			
Variável		Método	Confiança
		Não-paramétrico	Atingida
Largura_palmar		(13,094; 15,530)	95,43%
Altura_palmar		(18,142; 20,467)	95,43%
Espessura		(0,305; 0,497)	95,43%
Circ.Punho		(17,147; 18,987)	95,43%
Comp.Antebraco		(22,156; 24,060)	95,43%

(\*) N é o número de observações extraídas do cluster para cada parametrização

A Tabela 7 sumariza os resultados obtidos para parametrização do dimensional P, M e G do dispositivo protético, após aplicação das técnicas de Simulação de Monte Carlo e Análise multivariada de dados.

Tabela 7 - Especificação dimensional do dispositivo para os tamanhos P, M e G.

	Pequeno			Médio			Grande		
	Nominal	LI	LS	Nominal	LI	LS	Nominal	LI	LS
Largura_palmar	8,4	7,7	9,0	10,0	9,1	10,9	14,3	13,1	15,5
Altura_palmar	11,8	11,0	12,8	16,5	15,2	17,9	19,3	18,1	20,5
Espessura	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5
Circ.Punho	12,0	11,0	12,9	14,1	13,2	15,1	18,0	17,1	19,0
Comp.Antebraço	14,8	14,0	15,6	18,3	17,1	19,5	23,1	22,2	24,1

\* LI = Limite de tolerância inferior

\* LS = Limite de tolerância superior

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo apresenta a aplicação de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto para desenvolver um dispositivo protético de auxílio ao portador de agenesia de mão para o aprendizado de uma modalidade esportiva - natação. Para o desenvolvimento deste produto assistivo, foram aplicadas as fases de Planejamento e Projetação, nas quais estão compreendidos desde o estágio de percepção da demanda até o estágio de otimização, que integram ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas, utilizadas para a gestão dos requisitos do produto assistivo.

A finalidade do dispositivo protético apresentado é proporcionar um auxílio no processo de aprendizado da natação para pessoas com agenesia de mão, permitindo que o aprendiz desta modalidade, consiga segurar a prancha para auxiliar no aprendizado na técnica de pernada e respiração, bem como autonomia e redução do tempo de aprendizado do indivíduo, além da facilidade do ensino da natação pelo professor. Apesar de existir no mercado externo uma prótese para pessoa com agenesia de membro superior, este produto não possui um sistema que permite o indivíduo segurar um acessório de natação, como a prancha.

Este dispositivo além de auxiliar no processo de aprendizado na natação, também permite que o indivíduo possa fazer uso regular nesta atividade física de modo a melhorar a qualidade técnica da braçada e resistência muscular. Para a pessoa com agenesia de mão o uso regular do dispositivo na atividade física permitirá um equilíbrio no desenvolvimento muscular, no caso de agenesia unilateral. Em suma, o dispositivo protético contribuirá para melhoria do

desempenho do usuário na atividade física, bem como no bem-estar físico e emocional do indivíduo. A experiência na aplicação do modelo de referência no desenvolvimento de um produto inexistente direcionado a Tecnologia Assistiva tem um significado importante de reconhecimento da atividade esportiva como canal de inclusão social, permitindo ao deficiente de agenesia de mão a redução da barreira de acessibilidade na atividade física da natação. O resultado deste estudo possibilitou o pedido de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI sob o processo número 102020019058-0 e registro BR 10 2020 019058-0.

## CAPÍTULO 3

### 3.1. Síntese dos resultados

O trabalho de pesquisa documentado nesta tese propôs e desenvolveu uma estrutura sistemática seguindo os princípios da metodologia *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto. O processo de construção para o modelo de referência permitiu a realização de uma extensa revisão sistemática sobre os vários métodos *Design For Six Sigma*, ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas geralmente aplicadas nas diferentes fases dos métodos. Ademais, foi possível validar e aplicar o modelo proposto no desenvolvimento de um novo produto assistivo. O capítulo 2 deste trabalho apresentou os resultados da pesquisa quanto aos objetivos específicos delineados. Desta forma, temos que:

- a) **Artigo 1** - Através da revisão sistemática da literatura, foi possível explorar o campo de conhecimento referente aos métodos *Design For Six Sigma* com foco de aplicação no desenvolvimento de produto de bens duráveis, bem como entender as propostas de novos modelos para o desenvolvimento de produto alinhado com a metodologia DFSS. A partir deste estudo, foi possível identificar lacunas dentre as diversas fases dos métodos DFSS e relacioná-las com os principais objetivos das fases dos métodos DFSS. Assim sendo, o estudo proporcionou o conhecimento da oportunidade de incorporação da sistemática do processo de desenvolvimento de produto geralmente, evidenciada nos modelos de referências PDP que abrangem todo o ciclo de desenvolvimento do produto aos princípios do *Design For Six Sigma*. Desta forma, o estudo permitiu a integração das atividades identificadas nos métodos DFSS a um modelo de referência PDP. Com este estudo, também foi possível agrupar os autores mais citados quando o tema abordado é o *Design For Six Sigma*, sendo constatado os autores Antony, J; Crevelin, C.M e Gu, L., destacando Antony, J. como o autor mais evidenciado. Também foi possível a observação dos principais meios de publicação em *Design For Six Sigma*, bem como ferramentas de engenharia e técnicas de estatísticas mais aplicadas nas fases dos métodos DFSS. Logo, a revisão sistemática proporcionou a base construtiva para a concepção de um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto nos princípios do DFSS, capaz de englobar desde a geração de ideias até a descontinuidade do produto no mercado com uma estrutura passível de aplicação pelas organizações. Este estudo foi publicado no *International Journal of Lean Six Sigma* (<https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2019-0052>) e também apresentado na *17th Product Lifecycle Management International Conference* (2020).

- b) **Artigo 2-** Conduzir um detalhamento e validação do modelo de referência apresentando o fluxo de informações e interação entre as diversas áreas em uma organização envolvida no propósito de desenvolvimento de um novo produto. Ademais uma validação do modelo proposto foi conduzida através de um questionário, o qual foi respondido por cinco especialistas na área de desenvolvimento de produto e projetos em organizações de diferentes segmentos e tamanho fabril. Por esta validação, foi possível compreender a capacidade do modelo proposto em atender adequadamente as fases no processo de desenvolvimento de produto baseado nas premissas dos princípios do *Design For Six Sigma*. Este estudo foi submetido ao *Journal of Industrial and Production Engineering*.
- c) **Artigo 3** - O modelo de referência foi aplicado no desenvolvimento de um produto assistivo, com a utilização de algumas das ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas propostas pelos modelos. O produto assistivo consistiu em um dispositivo protético para auxiliar portador de agenesia de mão no aprendizado da natação, de modo a oferecer ao usuário maior rapidez no aprendizado da técnica de pernada e respiração. Além disso, este produto apresenta um viés de inclusão social, o qual constitui um papel importante na área acadêmica. Para o desenvolvimento do produto assistivo um questionário para conhecer as expectativas do usuário (grupo constituído por 10 participante, sendo estes 4 instrutores de natação e 7 portadores da deficiência física abordada) quanto ao produto proposto foi conduzido junto aos portadores de deficiência física e instrutores de natação com experiência neste público. Informações e contatos de portadores de agenesia de mão, bem como instrutores de natação para deficientes para realização da pesquisa do dispositivo protético, foram obtidos nas seguintes instituições: Associação Dar a Mão, Instituto Reagir de Paradesporto, Associação dos deficientes físicos de Campo Largo, CEMAE – Centro Municipal de Atendimento Especializado - Campo Largo, Sociedade Thalia e principalmente no evento Circuito Loterias Caixa de Atletismo, Natação e Halterofilismo - Regional Rio-Sul – 2019. A partir desta análise foi possível direcionar para as características importantes do produto, concepção e otimização do dispositivo protético proposto. O resultado deste estudo possibilitou o pedido de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI sob o processo número 102020019058-0 e registro BR 10 2020 019058-0. Este artigo foi submetido ao *Journal of Cleaner Production*.

### 3.2 Conclusão

O principal objetivo desta tese foi a construção de um modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto direcionado para a manufatura de bens duráveis. Integrando em sua estrutura sistemática o desenvolvimento do produto desde o início até a descontinuidade, sendo propostas atividades nas fases do modelo de referência com aplicação de diferentes ferramentas estatísticas para analisar parâmetros críticos do produto. O modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto visa contribuir com o processo de desenvolvimento de produto de modo alinhado com as metas da organização e estratégia de mercado com a incorporação de ferramentas e técnica capazes de avaliar o desempenho do processo de desenvolvimento de produto. A representação da estrutura tem por finalidade ser simples com uma sistemática pragmática, de forma a auxiliar na robustez, qualidade, redução de tempo e custo no desenvolvimento.

O conceito do modelo de referência foi delineado através de um levantamento bibliográfico abrangente e consistente sobre os métodos *Design For Six Sigma*, suas fases, ferramentas de engenharia e técnicas estatísticas frequentemente aplicadas. Esta revisão bibliográfica permitiu a identificação de lacunas nos métodos *Design For Six Sigma* que proporcionou o entendimento das limitações da metodologia quanto a aplicação no desenvolvimento de produto. Sustentando a integração das atividades identificadas nos métodos DFSS com as atividades que constitui um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto. O modelo de referência idealizado foi previamente avaliado por um grupo de cinco especialistas em projeto e desenvolvimento de produto, e por fim validado com a implementação através do desenvolvimento de um produto assistivo. A aplicação do modelo de referência foi delimitada até a fase de *Projetação*, pois, as demais fases estão diretamente relacionadas a um processo produtivo em escala, o qual se encontra indisponível de execução no momento.

Desta forma, esta tese deixa como contribuição um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto orientado ao *Design For Six Sigma*, o qual foi aplicado para desenvolver um dispositivo protético para auxiliar, portadores de agenesia de mão no aprendizado da natação e prática da atividade. O dispositivo protético para o aprendizado da natação tem um papel de grande relevância quanto ao aspecto de inclusão social, por proporcionar maior facilidade para o portador de agenesia de mão no ingresso nesta atividade física. O dispositivo protético visa também auxiliar o instrutor de natação no ensino das técnicas de pernada e respiração, visto que neste momento do aprendizado o instrutor necessita entrar

na piscina para apoiar o aprendiz para que possa aprender e treinar os corretos movimentos com as pernas, assim como incentivar a capacidade de flutuação e consciência da horizontalidade corporal. O dispositivo protético visa contribuir de modo significativo para estimular o portador de agenesia de mão na atividade física, representando uma das portas de entrada para inclusão social, proporcionando melhor qualidade de vida física e emocional do indivíduo portador da deficiência. Ademais, foi solicitado o depósito de patente do dispositivo protético para natação, bem como está em processo de liberação de uso da patente pela Associação Dar a Mão (sem fins lucrativos), a qual atende portadores de agenesia de membro superior.

### **3.3 Direcionamentos para pesquisas futuras**

- i) Conduzir teste de uso do dispositivo protético para natação;
- ii) Analisar os materiais para fabricação do dispositivo;
- iii) Aplicar outro estudo para parametrização dimensional do dispositivo protético por meio da geração de dados aleatórios seguindo uma distribuição normal, e posterior análise de significância dos resultados obtidos;
- iv) Conduzir um estudo de pesquisa e levantamento de dados referente a diferentes tamanhos de mãos (adulto e infantil) para melhor adequação e parametrização do dispositivo protético;
- v) Desenvolver componente “polegar” com formato diferente para possibilitar o uso do dispositivo protético para atividade de lazer;
- vi) Desenvolver um estudo da influência do dispositivo protético na coordenação do nado.

## REFERÊNCIAS

- AKAO, Y. Introdução ao desdobramento da qualidade, Trad. por Zelinda Tomie Fujikawa e Seiichiro Takahashi, Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, Fundação Cristiano Ottoni, 1996.
- ALIGULA, G. K., KOK, C. K. e SIM, H. K. Driving quality in product development in a Malaysian optoelectronic firm. *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol.8, pp. 482–498, 2017.
- ANTONY, J. *Design For Six Sigma: a breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage*, Work Study, Vol. 51 No. 1, pp. 6–8, 2002.
- ANTONY, J., SNEE, R. e HOERL, R. *Lean Six Sigma: Yesterday, Today and Tomorrow*. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol. 34 No. 7, pp.1073-1093, 2016.
- ARAÚJO, A.C.S., Título: Análise dos Facilitadores e das Barreiras para a Prática de Natação pela Pessoa com Deficiência Física. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde FCE-UnB - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- ARCE, R.P. e FOGGIATTO, J.A. Modelagem De Órteses Para Fabricação Por Manufatura Aditiva. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 9º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2017.
- ASAD, U., CHUAN, T.K. e CHAKRABARTY, A. Comparative study of DFSS in product and service innovation. *Proceedings Asian, Network for Quality Congress 2006 Singapore*, ANQ, Singapore, 2006.
- AWAD, M. I., EWING, A., SEDLAK, G., YI, T. e SHANSHAL, Y. Track roller and idler design improvement using DFSS. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, Vol. 5, pp.29, 2009.
- AWAD, M.I. e SHANSHAL, Y. A. Utilizing Kaizen process and DFSS methodology for new product development. *International Journal of Quality and Reliability Management*. Vol. 34, pp.378–394, 2017.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A. e SILVA, J.C. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri, SP: Manole, 2008.
- BARCZAK, G., GRIFFIN, A. e KAHN, K.B., Perspective: trends and drivers of success in NPD practices: results of the 2003 PDMA best practices study, *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 26, No. 1, pp.3–23, 2009.
- BARIL, C., YACOUT, S. e CLÉMENT, B. *Design for Six Sigma* through collaborative multiobjective optimization. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 60, pp. 43, 2011.
- BARROS, A.J.S. e LEHFELD, N.A.S. Fundamentos de Metodologia científica, Ed. Pearson Education, São Paulo, 2007.
- BAXTER, M. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 2.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2001.
- BERSCH, R. Tecnologia Assistiva, Disponível em: <[http://www.assistiva.com.br/Introducao\\_Tecnologia\\_Assistiva.pdf](http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf)>. Acesso em: 30 abril 2020.
- BONETTI, L.V. Dados de garantia e análise qualitativa de especialistas como base para estudo de confiabilidade no setor de máquinas agrícolas. 2009. Dissertação (Mestrado – Programa de

- Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de concentração em Qualidade) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. Tecnologia Assistiva. – Brasília: CORDE, 138 p, 2009.
- BRUE, G. e LAUNSBY, R.G. *Design for Six Sigma*, McGraw-Hill Companies, New York, 2003.
- CAMARGO, D. R. Desenvolvimento do protótipo de uma prótese antropomórfica para membros superiores. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- CARDOSO, V.D. Níveis de atividade física em dois modelos de aulas de Educação Física, Rev. Bras. Ciência. Esporte, Florianópolis, Vol. 33 No. 2, pp. 529–539, 2011.
- CHAKRAVORTY, S. S. e FRANZA, R. M. The implementation of *Design for Six Sigma*: a development experience. *International Journal of Product Development*. Vol. 9, pp. 329, 2009.
- CHAO, L.P., TUMER, I. e ISHII, K. Design Process Error Proofing: benchmarking the NASA development life-cycle, *Aerospace Conference, IEEE*, pp. 4327-4338, 2005.
- CHAUHAN, A.S., NEPAL, B., SONI, G. e RATHORE, A.P.S. Examining the State of Risk Management Research in New Product Development Process, *EMJ - Engineering Management Journal*, Taylor & Francis, Vol. 30 No. 2, p. 85–97, 2018.
- CHENG, Y.L., WEE, H.M., CHEN, P.S., KUO, Y.Y. e CHEN, G.J. Innovative reservoir sediments reuse and design for sustainability of the hydroelectric power plants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.36, pp. 212–219, 2014.
- CHUA, C.K., LEONG, K.F. e LIM, C.S. *Rapid Prototyping: Principles and Applications*, 2ed., World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2003.
- CHUNG, Y.C. e 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*. Vol. 21 No. 6, pp. 603–616, 2010.
- CLARK, K.B. e FUJIMOTO, T. *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*. Harvard Business School Press, Boston, 1991.
- CLEETUS, K. J. Definition of Concurrent Engineering. Concurrent Engineering Research Center, West Virginia University, Morgantown, 1992.
- COOK, A.M. e HUSSEY, S. M. *Assistive Technologies: Principles and Practices*. St. Louis, Missouri, 1995.
- COOPER, R.A. et al. Research on physical activity and health among people with disabilities: a consensus statement. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 36, n. 2, p. 142-154, 1999.
- COOPER, R.G. e DREHER, A., Voice-of-customer methods: what is the best source of new product ideas, *Marketing Management*, Vol. 19, No. 1, pp.38–48, 2010.
- CREUSEN, M., HULTINK, E.J. e ELING, K., Choice of consumer research methods in the front end of new product development, *International Journal of Market Research*, Vol. 55, No. 1, pp.81–104, 2013.

- CREVELING, C. M., SLUTSKY, J., ANTIS, D. e SLUTSKY, J. L. *Design for Six Sigma in Technology and Product Development*. 1st ed. edited by Prentice Hall PTR, Saraiva, New Jersey, USA, 2003.
- CUDNEY, E.A. e FURTERER, S.L., *Design for Six Sigma in Product and Service Development*, CRC Press - Taylor & Francis Group, Taylor & Francis, New York, 2012.
- CUNHA, G.D. A Evolução dos Modos de Gestão do Desenvolvimento de Produtos, *Produto & Produção*, Vol. 9 No. 2, pp. 71–90, 2008.
- DE MAST, J., DIEPSTRATEN, G. e DOES, R.J.M.M. Quality quandaries: *Design For Six Sigma*: Method and application. *Quality Engineering*. Vol. 23 No. 2, pp. 204–211, 2011.
- DESHAIES, L.D. Órtese de Membro Superior. In: Trombly, C.A.; Radomski, M.V. *Terapia Ocupacional Para Disfunções Físicas*. 5. Ed. São Paulo: Santos, cap. 14. p. 313-349. 2005.
- DIAS, N.F. *Natação Adaptada: Análise da Função Pulmonar de Pessoas com Deficiência*, UNESP – Universidade Estadual Paulista, 2011.
- DODZIUK, H. Applications of 3D printing in healthcare, *Polish Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, Vol. 13 No. 3, pp. 283–293, 2016.
- DURSTINE, J. L. et al. Physical activity for the chronically ill and disabled. *Sports Medicine*, v. 30, n. 3, p. 207-219, 2000.
- ECHEVESTE, M.E.S. *Uma Abordagem Para Estruturação e Controle Do Processo de Desenvolvimento de Produtos*, (doctorate Thesis), Industrial Engineering Graduate Programa at Federal University of Rio Grande do Sul, 2003.
- EDELSTEIN, J.E. e BRUCKNER, J. *Órteses: Abordagem Clínica*, 1ªed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2006.
- EL MARGHANI, V. G. R. *Modelo de processo de design*. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2011.
- ERICSSON, E., GINGNELL, L. e LILLIESKÖLD, J. Implementing *Design for Six Sigma* in large Swedish product developing organisations – an interview study. *Total Quality Management and Business Excellence*. Vol. 26, pp. 648–660, 2015.
- ERLANDSON, P. W. DFSS for shift quality using full-vehicle ADAMS model. *International Journal of Product Development*. Vol. 3, Nos. 3/4 , pp.337-348, 2006.
- FERNANDES, P. T. *Método de desenvolvimento integrado de produto orientado para a sustentabilidade*. 2013. Dissertação de mestrado (Programa de PósGraduação em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2013.
- FERREIRA, I., CABRAL, J. A., SARAIVA, P. e OLIVEIRA, M. C. A multidisciplinary framework to support the design of injection mold tools. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Vol.49, pp. 501–521, 2014.
- FRANCALANZA, E., BORG, J., VELLA, P., FARRUGIA, P. e CONSTANTINESCU, C., An ‘Industry 4.0’ digital model fostering integrated product development, *IEEE 9th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies*, Vol.1, pp. 95–99, 2018.
- FRANCISCO, M.G., CANGIOLIERI JÚNIOR, O. e SANT’ANNA, Â.M.O. *Design For Six Sigma* integrated product development reference model through systematic

review, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 11 No. 4, pp. 767-795, 2020.[doi.org/10.1108/IJLSS-05-2019-0052](https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2019-0052).

FRIZZIERO, L., DONNICI, G., DHAIMINI, K., LIVERANI, A e CALIGIANA, G. Advanced Design Applied to an Original Multi-Purpose Ventilator Achievable by Additive Manufacturing. *Applied Sciences*. Vol.8, pp.2635, 2018.

G. PAHL e W. BEITZ, *Engineering design: A systematic approach*. 2nd ed. Springer Press. Darmstadt, Germany, 1988.

GALLAHUE, D. L e OZMUN, J. C. *Desenvolvimento Motor: Bebês, Crianças e Adultos*. 3 ed. São Paulo. Phorte, 2005.

GERHORST, F., GROMPING, U., LLOYD-THOMAS, D. e 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*. Vol. 3, pp. 278, 2006.

GIBSON, I., ROSEN, D.W. e STUCKER, B. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer, 2010.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 3st ed. Editora Atlas. São Paulo, SP, Brasil, 1991.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 5st ed. Atlas. São Paulo, SP, Brasil, 1999.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 4st ed. Atlas. São Paulo, SP, Brasil, 1994.

GIL, A.C. *Métodos e técnicas de pesquisa sociais*, organizado por Atlas, 4ª., São Paulo. 1994.

GREMYR, I., Exploring *Design For Six Sigma* from the viewpoint of robust Design Methodology, *Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, Vol. 1, No.3, pp 295-305,2005.

GRIFFIN, A. *Drivers of NPD success: the PDMA report*. Chicago, IL: Product Development and Management Association, PDMA, 1997.

HAIACHI, M.C. *O Curso De Vida Do Atleta Com Deficiência: A Deficiência e o Esporte Como Eventos Marcantes*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Educação Física, Fisioterapia e dança. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano. 2017.

HARRY, M.J. e SCHROEDER, R., *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. Doubleday. Nova Yorque, EUA. 2010.

HASENKAMP, T. e OLME, A. Introducing *Design For Six Sigma* at SKF. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. Vol. 4, pp. 172–189, 2008.

HASENKAMP, T. *Engineering Design For Six Sigma -a systematic approach*. *Quality and Reliability Engineering International*. Vol. 26, pp. 317-324, 2010.

HELLER, T., HSIEH, K. e RIMMER, J.H. Attitudinal and psychosocial outcomes of a fitness and health education program on adults with down syndrome. *American journal of mental retardation: AJMR*, v. 109, n. 2, p. 175-185, 2004.

HU, M. e 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*. Vol. 1, pp. 245–262, 2005.

- HUBER, C. e LAUNSBY, R. Straight talk on DFSS. *Six Sigma Forum Magazine*, pp. 20–25, 2002.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>, acesso em 25 abril 2020.
- International Standard, ISO 9999:2016. Assistive products for persons with disability — Classification and terminology. 6<sup>o</sup>ed., Switzerland, p. 1. 2020.
- JAHANZAIB, M., ATHAR MASOOD, S., JAMIL, U. e AKHTAR, K. Product design variables optimization using *Design For Six Sigma* (DFSS) approach. *Life Science Journal*. Vol. 10 No. 1, pp. 57–63, 2013.
- JENAB, K., WU, C. e MOSLEHPOUR, S. *Design For Six Sigma: A review*. *Management Science Letters*, Vol. 8, No. 1, pp. 1–18, 2018.
- JOU, Y.T., CHEN, C., HWANG, C., LIN, W. e HUANG, S. A study on the improvements of new product development procedure performance-an application of *Design For Six Sigma* in a semi-conductor equipment manufacturer. *International Journal of Production Research*. Vol. 48, pp. 5573–5591, 2010.
- KAMINSKI, P. C. Desenvolvimento produtos com planejamento, criatividade e qualidade. 3st ed. LTC. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.
- KESSLER, E.H. e CHAKRABARTI, A.K., Innovation speed: a conceptual model of context, antecedents, and outcomes, *Academy of Management Review*, Vol. 21 (4), pp.1143–1191,1996.
- KOZIOŁEK, S. e DERLUKIEWICZ, D. Method of assessing the quality of the design process of construction equipment with the use of DFSS (*Design For Six Sigma*). *Automation in Construction*. Vol. 22, pp. 223–232, 2012.
- KRISHNAN, V. e ULRICH, K.T. Product development decisions: A review of the literature, *Management Science*, Vol. 47 No. 1, p. 1–21, 2001.
- LABRONICI, R.H.D.D., CUNHA, M.C.B., OLIVEIRA, A.S.B. e GABBAI, A.A., Esporte como fator de integração do deficiente físico na sociedade, *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, Vol. 58 No. 4, pp. 1092–1099, 2000.
- LEVERMORE, R. Sport: A new engine of development? *Progress in Development Studies*, Vol. 8 No. 2, pp. 183–190, 2008.
- LI, Y. Q., CUI, Z. S., RUAN, X. Y. e ZHANG, D. J. CAE-Based *six sigma* robust optimization for deep- drawing process of sheet metal. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30, pp. 631–637, 2006.
- LUI, K. C. e HUI, S.S.C. Participation in and adherence to Physical Activity in People with Physical Disability. *Hong kong Physiotherapy Journal*, v. 27, n. 1, p. 30-38, 2009.
- MADER, D.P. *Design For Six Sigma. Quality Progress*, July, pp. 82–85, 2002.
- MARKHAM, S.K. e LEE, H., Product Development and Management Association’s 2012 comparative performance assessment study, *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 30, No. 3, pp.408–429, 2013.
- MARUSZEWSKA, E. Applicability of activity based costing in new product development processes. *Management Systems in Production Engineering*. Vol. 1 No. 17, pp. 35–39, 2015.

- MELO, A. C. R. e LÓPEZ, R. F. A. O Esporte Adaptado. *Revista Digital*, Buenos Aires, v.8, n.51, jul. 2002.
- MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. 5 a ed. Arizona State University. John Wiley and Sons, 2001.
- MORGAN, J. M. e LIKER, J. K. Sistema Toyota de desenvolvimento de produto: Integrando pessoas, processo e tecnologia. Bookman. Porto Alegre, RGS, Brasil, 2008.
- NAHAS, M. V. Atividade Física, Saúde e Qualidade de Vida: conceitos e sugestões para um estilo de vida ativo. 4. ed., Londrina: Midiograf, 2006.
- NATARAJAN, M., SENTHIL, V., DEVADASAN, S. R., MOHAN, N. V. e SIVARAM, N. M. Quality and reliability in new product development a case study in compressed air treatment products manufacturing company. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 24, pp.1143–1162, 2013.
- NIJSSEN, E.J. e FRAMBACH, R.T. Determinants of the adoption of new product development tools by industrial firms. *Industrial Marketing Management*. Vol. 29 (2), pp.121–131, 2000.
- OKUMURA, M.L.M. A Engenharia Simultânea Aplicada Ao Projeto De Desenvolvimento Integrado De Produtos Inclusivos: Uma, Pontifícia Universidade Católica Do Paraná Escola Politécnica Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção E Sistemas – PPGEPS, 2012.
- OKUMURA, M.L.M. Modelo conceitual de Projeto Orientado para Tecnologia Assistiva - MPOTA, Escola Politécnica Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2017.
- OLIVEIRA, L.M.V., DANTAS, L.M., CARVALHO, D.D.C., MACIEL, R.S. e PAULA, V.T., Aplicação do QFD como uma ferramenta de planejamento da qualidade: estudo de caso na prestação de serviço de uma concessionária, *ENEGEP*, No. 1996, p. 13. 2010.
- OZER, M. e CHEN, Z. Do the best new product development practices of US companies matter in Hong Kong?. *Industrial Marketing Management*. Vol.35 (3), pp. 279–292, 2006.
- PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J. e GROTE, K.H. Engineering Design: A Systematic Approach, *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer Science & Business Media, 2007.
- PALMER, M. L. A ciência do ensino da natação. São Paulo: Manole, 1990.
- PEREIRA, J. A., Modelo de desenvolvimento integrado de produto orientado para projeto P&D do setor elétrico brasileiro. Escola Politécnica Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2014.
- PRASAD, B., WANG, F. e DENG, J. A concurrent workflow management process for integrated product development. *Journal of Engineering Design*, Vol. 9 No. 2, 1998.
- PUDLES, E. e DEFINO, H.L.A., Órteses de Coluna Vertebral: conceitos básicos, Artmed Ltda., Porto Alegre, RS, Brasil, 424 p.2014.
- PUGH, S. Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. 1. ed., Harlow: Addison-Wesley, 1991.
- RESE, A., SÄNN, A. e HOMFELDT, F., Customer integration and voice-of-customer methods in the German automotive industry, *International Journal Automotive Technology and Management*, Vol. 15, No. 1, pp.1–19, 2015.

- ROZENFELD, H. et al. *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a Melhoria do Processo*. 1st ed. Saraiva. São Paulo, SP, Brasil, 2006.
- SAMPAIO, RF e MANCINI, MC. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physiotherapy*. Vol.11, pp.83-89, 2009.
- SÁNCHEZ, J.M. e PRIEST, J.W., *Product development and design for manufacturing*, 2ª Ed., 2001.
- SANTOS, A.; VIDOTTO, L. S. e GIUBLIN, C. R. A utilização do método Delphi em pesquisas na área da gestão da Construção. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 51-59, abr./jun. 2005. ISSN 1415-8876.
- SHAHIN, A. *Design For Six Sigma (DFSS): Lessons learned from world-class companies*. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. Vol. 4, pp. 48–59, 2008.
- SILVA, S.M. e VILAGRA, J.M., Perfil dos pacientes com amputação de membro superiores atendidos no Centro de Reabilitação FAG. *Fiep Bulletin*, edição especial. v.85, 2015.
- SKINNER, T. S. e THOMSON, A. M. *Duffield: exercícios na água*. 3 ed. São Paulo: Manole, 1985.
- SLEEPER, A. *Design For Six Sigma Statistics: 59 Tools for Diagnosing and Solving Problems in DFSS Initiatives*. McGraw-Hill, Vol. 66, 2006.
- SMITH, R.P. The historical roots of concurrent engineering fundamentals. *IEEE Transactions on Engineering Management*. Vol. 44 No. 1, pp. 67–78, 1997.
- SOKOVIC, M., PAVLETIC, D. e PIPAN, K. K. Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 43, pp.476–483, 2010.
- SPRAGUE, R.A., SINGH, K.J. e WOOD, R.T. Concurrent Engineering in product Development. *IEEE Design & Tet of Computers*. pp. 6–13, 1991.
- STORY, M. F., MUELLER, J.L.e MACE, R.L., *The Universal Design File Designing For People Of All Ages & Abilities*, North C.,1998.
- SUN, H. e ZHAO, Y. The empirical relationship between quality management and the speed of new product development. *Total Quality Management and Business Excellence*. Vol. 21 No. 4, pp. 351–361, 2010.
- SUNDER, V.M. Constructs of quality in Higher Education services. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 65, issue 8, 2016.
- SUNDER, V.M. e MAHALINGAM, S. An empirical investigation of implementing Lean Six Sigma in Higher Education Institutions. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2017.
- SUNDER, V.M., e ANTONY, J. A Conceptual Lean Six Sigma framework for Quality Excellence in Higher Education Institutions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2018.
- SURESH, K. M., ASOKAN, P. e VINODH, S. Application of *Design For Six Sigma* methodology to an automotive component. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. Vol. 10, pp.1, 2016.
- SVENSSON, C., et al. A Lean Six Sigma program in higher education. *International Journal*

- of Quality & Reliability Management. Vol. 32, pp. 951-969, 2015.
- TCHIDI, M. F., HE, Z. e LI, Y. B. Process and quality improvement using Six Sigma in construction industry. *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol. 18, pp.158, 2012.
- TENNANT, G., *Design For Six Sigma*, Launching Products and Services without Failure, Gower, Hampshire, 2002.
- THOMAS, A., et al. Implementing Lean Six Sigma into curriculum design and delivery – a case study in higher education. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 66, pp. 577-597, 2017.
- TOLOI, G. Atividades Aquáticas Adaptadas. In: Mauerberg-Decastro, E. (Org.). *Atividade Física: adaptada*. Ribeirão Preto: Tecmedd, p. 327-360, 2005.
- TRANFIELD, D., et al. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*. Vol. 14, pp. 207-222, 2003.
- ULRICH, K. T., EPPINGER, S. D. e GOYAL, A. *Product Design and Development*. 4<sup>th</sup> SIE, New Delhi, India. Tata McGraw-Hill Education, 2009.
- VARGAS, L.S. *Pessoas com deficiência e esporte adaptado: a questão da inclusão e da inserção social*, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2011.
- VIEIRA, M.C., *A natação para a pessoa com deficiência: oferecimento e envolvimento de programas em Campinas e região*, Conexões, Vol. 16 No. 2, pp. 199–212, 2018.
- WANG, F.K., YEH, C.T. e CHU, T.P. Using the *Design For Six Sigma* approach with TRIZ for new product development. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 98, pp.522, 2016.
- WATSON, G. H. e DEYONG, C. F. *Design For Six Sigma: caveat emptor*. *International Journal of Lean Six Sigma*. Vol. 1, pp. 66–84, 2010.
- WELO, T. e RINGEN, G. Investigating Organizational Knowledge Transformation Capabilities in Integrated Manufacturing and Product Development Companies, *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., Vol. 70, p. 150–155, 2018.
- WERKEMA, C. *Design For Six Sigma Ferramentas básicas usadas nas etapas D e M do DMADV*, Werkema Editora Belo Horizonte. Vol.2, 300p, 2005.
- YANG, K. e CAI, X. The integration of DFSS, lean product development and lean knowledge management. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. Vol. 5, No. 1, pp.75–99, 2009.
- YANG, K. e EL-HAIK, B.S. *Design For Six Sigma - A Roadmap for Product Development*. 2<sup>a</sup>Ed. McGraw Hill, London, 2003.
- YEH, T.M., PAI, F.Y. e YANG, C.C. Performance improvement in new product development with effective tools and techniques adoption for high-tech industries. *Quality & Quantity*. Vol. 44 No. 1, pp. 131–152, 2010.
- YEUNG, S.M.C. Integrate DLDDC into DFSS for reducing variations in programme delivery. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. Vol. 8, Nos. 3/4, pp.203–226, 2014.

## ANEXO A

### DFSS - PDP

#### *Modelo de Referência Design For Six Sigma Orientado ao Processo de Desenvolvimento de Produto*

*Este documento apresenta a composição estrutural do modelo de referência Design For Six Sigma (DFSS) orientado ao Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) para aplicação no segmento de manufatura de bens duráveis. Em anexo, segue um questionário com o objetivo de avaliar a estrutura para o modelo DFSS-PDP pelos especialistas. As respostas serão utilizadas para validação deste modelo, etapa é essencial para os passos seguintes deste estudo.*

### INTRODUÇÃO

Desenvolver novos produtos em menor tempo possível, com preço competitivo, qualidade, atendendo a dinâmica do mercado consumidor e oscilações econômicas tem sido um grande desafio para o mundo dos negócios. Conseguir identificar potenciais de expansão no mercado e alinhar estratégias para alcançar as expectativas do consumidor com menor custo de manufatura, são objetivos do PDP - processo de desenvolvimento de produto. Neste contexto, a aplicação de um modelo PDP estabelece um caminho estruturado que permite o alcance desse objetivo pelas organizações. Um procedimento eficaz de desenvolvimento de um novo produto pode atender as demandas de qualidade do produto, tempo de entrega e limitações de custos de uma corporação. No processo de desenvolvimento de produto é necessário integrar conceitos de qualidade para evitar erros no projeto do produto e alterações posteriores, permitindo redução do tempo de desenvolvimento, custo e melhoria da qualidade do produto. Desta forma, desenvolver novos produtos constitui um processo de difícil assimilação por causa da complexidade de sua gestão, da interação com as diversas áreas e atividades dentro da organização e também do número de informações que são manipuladas durante o projeto de desenvolvimento. Neste contexto, um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto com abordagem dos conceitos *Six Sigma*, pode contribuir para a estratégia de desenvolvimento de produto robusto pelas organizações [1;2;3].

O *Seis Sigma* é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que visa aumentar a lucratividade das empresas através da otimização de produtos e processos, com o consequente incremento da satisfação de consumidores. A metodologia *Seis Sigma* surgiu na década de 80, na Motorola, a ferramenta six sigma fornece ferramentas às organizações para melhorar a capacidade de seus processos de negócios. O foco do programa seis sigma está na

redução da variabilidade nas principais características de qualidade do produto, ao nível no qual falhas e defeitos são bem controlados, mantendo o requisito da qualidade dentro dos limites do processo  $\pm 6\sigma$ , cerca de 3,4 defeitos por milhão (3,4 ppm). A aplicação desta metodologia foi difundida pelo método DMAIC que significa *define, measure, analyse, improve e control* (ou em português: definir, medir, analisar, melhorar e controlar).

*Design for Six Sigma* (DFSS) é uma extensão do Seis Sigma para o projeto de novos produtos (bens ou serviços), surgiu na General Electric (GE) no final da década de 90. O DFSS pode ser definido como uma abordagem metodológica sistemática, caracterizada pela utilização conjunta de métodos estatísticos e de engenharia, que, quando adequadamente empregada, permite que a empresa lance no mercado o produto certo, no prazo mais curto possível e com custos mínimos. O método para a implantação do DFSS, utilizado inicialmente pela GE e posteriormente difundido para outras empresas, é denominado DMADV que significa *Define, Measure, Analyse, Design, Optimize, Verify* (ou em português: Definir, Medir, Analisar, Projetar/Desenhar, Otimizar, Verificar).

O emprego do DFSS resulta em um aprofundamento da orientação da empresa para as expectativas do mercado e para o alcance da qualidade desde a concepção e o projeto do produto. Também permite a capacitação das organizações para a aplicação de metodologias e ferramentas de maior sofisticação, eficiência e eficácia durante o planejamento da qualidade, visando alcançar, para os novos produtos: metas de aumento da confiabilidade, redução do prazo de lançamento, introdução de novas tecnologias e redução de custos. A aplicação dos conceitos *Design For Six Sigma* no processo de desenvolvimento de produto constitui uma abordagem bem-sucedida para aplicação em projetos de novos produtos. *Design For Six Sigma* tem como objetivo melhorar o desempenho do processo de desenvolvimento de produto, direcionando o foco dos esforços para os aspectos essenciais de forma sistemática desde início do projeto de desenvolvimento, com o principal propósito de aumentar a satisfação do cliente. na literatura estão disponíveis diversos métodos DFSS - *Design For Six Sigma*, os quais, tem sido aplicado como meio estruturado para auxiliar no processo de desenvolvimento de produto, embora apresentem fases diferentes, todos estão direcionados para o mesmo objetivo, ou seja: agregar valor ao produto por meio do atendimento às necessidades reais dos consumidores e pela inovação. O uso de ferramentas e técnicas estatísticas e de engenharia utilizadas nas fases contribuem para o sucesso de um projeto. neste contexto, esta pesquisa acadêmica visa a proposição de um processo de desenvolvimento de produto orientado para *Design For Six Sigma* para o processo de desenvolvimento de bens duráveis, e que seja robusto no atendimento as expectativas reais nos processos de negócios quanto à aplicabilidade no processo de

desenvolvimento de produto [4;5].

## DESCRIÇÃO DO MODELO DFSS-PDP

O modelo DFSS-PDP aqui apresentado, está voltado para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis, sendo dividido em 3 macrofases, as quais, Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento. As macros-fases foram subdivididas em 5 fases, sendo estas, Planejamento, Projetação, Implementação, Industrialização e Monitoramento. As fases foram desdobradas em 8 estágios, sendo estes, percepção da demanda, escopo do projeto do produto, caracterização do produto, otimização, planejamento do processo de produção, pré-produção, produção e Comercialização e por fim acompanhamento do produto no mercado consumidor. A Figura 1, sintetiza o modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto.

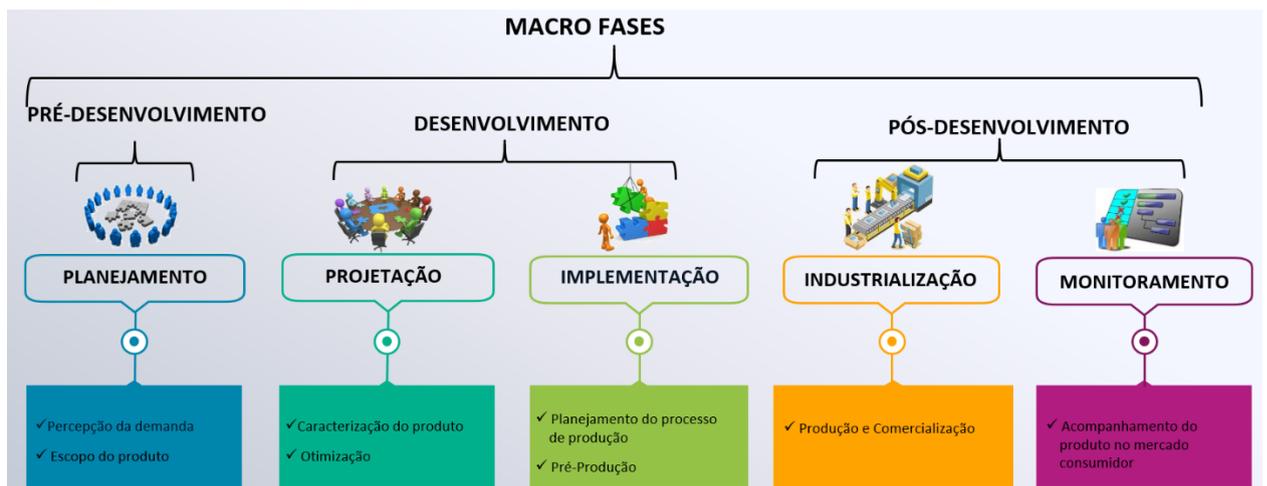


FIGURA 1 - Apresentação sintetizada do modelo DFSS-PDP

A seguir, o objetivo principal de cada uma das fases do modelo de referência proposto, são sumarizados para melhor compreensão do leitor.

**FASE PLANEJAMENTO:** Esta fase é composta pelos estágios de Percepção da demanda e Escopo do projeto do produto e propõe assegurar o conhecimento da voz do consumidor buscando alinhar com as expectativas do negócio, por meio da sintonia do setor de Marketing com as observações de tendência do mercado, e concorrentes do nicho de mercado. Em um segundo momento, objetiva analisar a demanda do mercado consumidor com geração de ideias/alternativas de negócios viáveis, seleção da proposta do projeto a ser desenvolvido e definição das métricas de acompanhamento do projeto.

**FASE PROJETAÇÃO:** Fase composta pelos estágios de *Caracterização do produto e Otimização*. Busca Identificar os requisitos do produto a ser projetado, conceito do produto, a

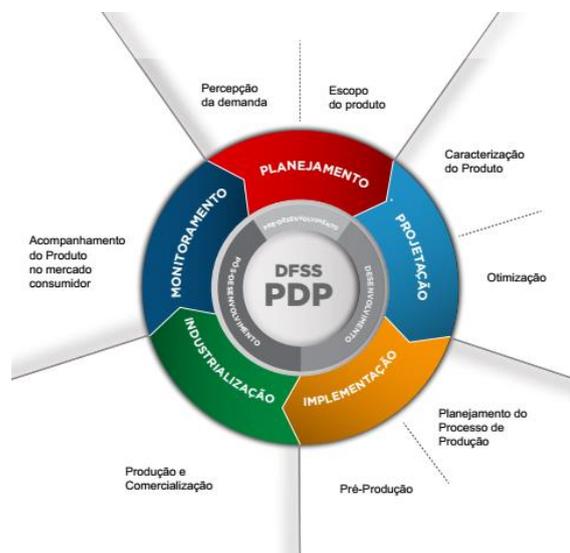
adequação das estruturas necessárias para o desenvolvimento, e de forma simultânea, análise e planejamento da estrutura de produção necessária para o atendimento à demanda. Análise e acompanhamento do desenvolvimento do protótipo para implementação de melhorias no projeto e minização das falhas para homologação do projeto.

**FASE IMPLEMENTAÇÃO:** Composta pelos estágios de *Planejamento do processo de produção e Pré-produção*. Propõe a efetivação do desenvolvimento do processo de produção visando a estruturação da cadeia de suprimentos, adequação de maquinários, produção de lote piloto, análise e otimização para homologação do processo.

**FASE INDUSTRIALIZAÇÃO:** Esta fase é composta por apenas um estágio, denominado *Produção e Comercialização*, busca o processamento do produto em escala de produção com acompanhamento do indicadores de desempenho para identificação de pontos críticos. Efetivo lançamento do produto no mercado com as definições de estratégias de vendas, distribuição e assistência pós-vendas.

**MONITORAMENTO:** Esta fase é composta por apenas um estágio denominado de *Acompanhamento do produto no mercado consumidor*, visa uma observação e avaliação contínua do produto no mercado quanto ao quantitativo de vendas, monitoramento da tendências do mercado e o acompanhamento da concorrência.

O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto proposto visa estruturar uma sistemática para o processo de desenvolvimento de produto com a sinergia dos princípios do DFSS a um modelo de referência PDP, que seja possível de implementação nas organizações de manufatura de bens de consumo duráveis. A Figura 2, ilustra a estrutura do modelo de referência.



**FIGURA 2** – Modelo de referência *Design For Six Sigma* orientado ao processo de desenvolvimento de produto.

A Figura 3, apresenta as possíveis ferramentas e técnicas de engenharia a serem aplicadas em cada fase e estágio do modelo proposto.

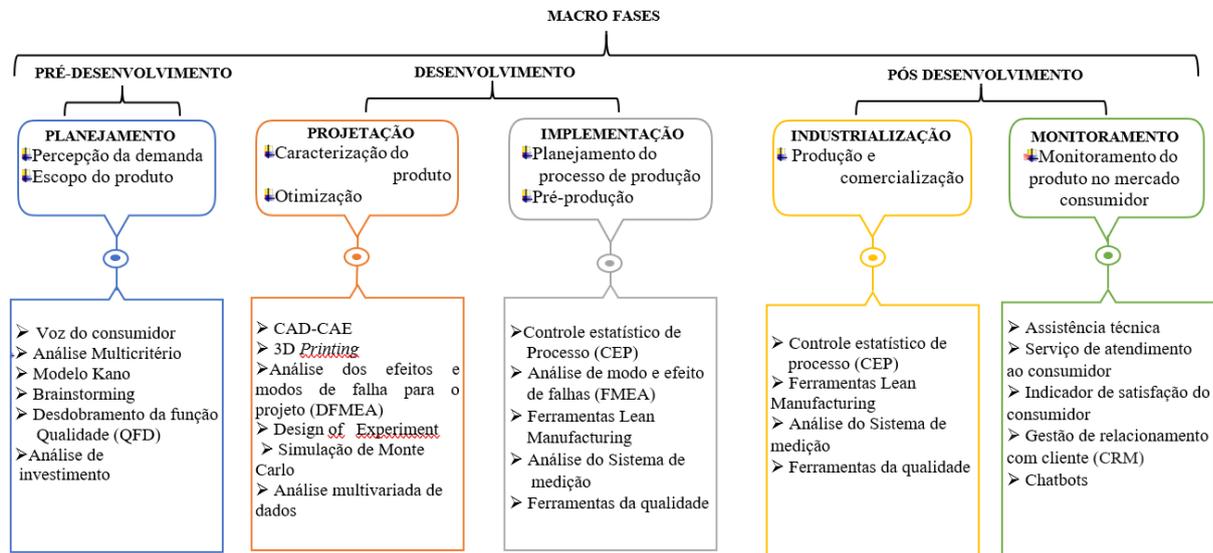


Figura 3 – Ferramentas e técnicas para aplicação no modelo DFSS-PDP

## QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* ORIENTADO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

### PERFIL DO AVALIADOR

Função:

- Gerente de projeto P&D       Professor       Pesquisador em P&D  
 Gestor de programa P&D       Consultor       Outros. Especificar:

Tempo de experiência na área de desenvolvimento de produto:

- 0 a 5 anos       5 a 10 anos       10 a 20 anos       20 a 30 anos       mais  
de 30 anos

Grau de formação:

- Graduação       Especialização       Mestrado       Doutorado       Pós-doutorado

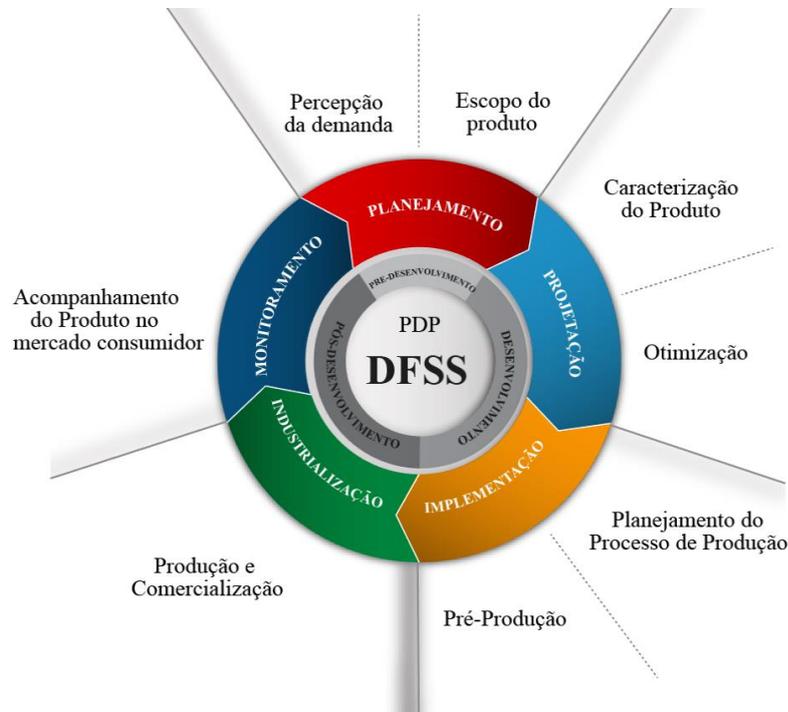
**Segmento industrial:**

- Metal mecânico       Alimentos       Elétrico  
 Cerâmico       Químico       Móveis e decoração  
 Outro. Especificar: \_\_\_\_\_

**Número de colaboradores na empresa:** \_\_\_\_\_

**Observação:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## **Modelo de Referência Design For Six Sigma Orientado ao Processo de Desenvolvimento de Produto**



### **AVALIAÇÃO DO MODELO**

**1 -** Como você avalia as fases do modelo proposto e as técnicas e ferramentas sugeridas?

Não atende    Pouco    Parcialmente    Quase totalmente    Totalmente

**2 -** Quanto ao conteúdo estrutural do modelo (fases, técnicas e ferramentas sugeridas), você considera que o modelo engloba os principais aspectos organizacionais relacionados ao processo de desenvolvimento de produto?

Não atende    Pouco    Parcialmente    Quase totalmente    Totalmente

**3 -** Quanto a aplicabilidade do modelo proposto, como você avalia.

Não atende    Pouco    Parcialmente    Quase totalmente    Totalmente

**4 -** Como você avalia a descrição das fases do modelo proposto.

Não atende    Pouco    Parcialmente    Quase totalmente    Totalmente

**5 -** As ferramentas e técnicas propostas nas fases do modelo são adequadas e plausíveis de aplicação?

Não atende    Pouco    Parcialmente    Quase totalmente    Totalmente

**6 -** Como você avalia a estrutura gráfica de apresentação do modelo proposto?

Não atende    Pouco    Parcialmente    Quase totalmente    Totalmente

7 – A seguir, as atividades propostas ao longo de cada fase do modelo proposto serão apresentadas. Avalie o grau de importância da realização da atividade para o desenvolvimento de produto.

## 1.0 MACRO FASE: PRÉ-DESENVOLVIMENTO

### 1.1 FASE : PLANEJAMENTO

#### 1.1.1 PERCEPÇÃO DA DEMANDA

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante
Identificar a necessidade/opportunidade do mercado consumidor e tendência.	<input type="radio"/>				
Geração de alternativas para atendimento da demanda do mercado.	<input type="radio"/>				
Análise das alternativas propostas (viabilidade econômica, funcionalidade, aceitação do mercado consumidor, concorrência)	<input type="radio"/>				
Seleção da proposta do projeto a ser desenvolvido.	<input type="radio"/>				

## 1.0 MACRO FASE: PRÉ-DESENVOLVIMENTO

### 1.1 FASE : PLANEJAMENTO

#### 1.1.2 ESCOPO DO PRODUTO

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante	Não sabe/ Não opina
Definição dos requisitos específicos do produto.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Análise das necessidades técnicas para o desenvolvimento do produto e processo de fabricação (recursos internos e externos (fornecedores) e restrições)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Estruturação do projeto de desenvolvimento do produto (definição de equipe multidisciplinar, prazos, responsáveis)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Planejamento do marketing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Planejamento do processo produtivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Definição dos indicadores de desempenho em cada fase.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Detalhamento e documentação do escopo do projeto do produto e do processo de fabricação.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				

## 2.0 MACRO FASE: DESENVOLVIMENTO

### 2.1 FASE : PROJETAÇÃO

#### 2.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante
Definição dos requisitos técnicos do produto	<input type="radio"/>				
Definição da disponibilidade de recursos, prazo e restrições do processo.	<input type="radio"/>				
Caracterização do produto	<input type="radio"/>				
Estabelecimento da estrutura funcional do produto	<input type="radio"/>				
Modelagem do produto	<input type="radio"/>				
Análise do produto, especificações técnicas	<input type="radio"/>				

## 2.0 MACRO FASE: DESENVOLVIMENTO

### 2.1 FASE : PROJETAÇÃO

#### 2.1.2 OTIMIZAÇÃO

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante
Análise e definição das tolerâncias do produto	<input type="radio"/>				
Otimização das características e requisitos técnicos do produto.	<input type="radio"/>				
Análise dos indicadores de desempenho	<input type="radio"/>				
certificação/homologação do produto	<input type="radio"/>				

## 2.0 MACRO FASE: DESENVOLVIMENTO

### 2.2 FASE : IMPLEMENTAÇÃO

#### 2.2.1 PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante
Desenvolver processo de produção	<input type="radio"/>				
Homologar fornecedores/parceiros	<input type="radio"/>				
Análise dos indicadores de desempenho	<input type="radio"/>				
Preparação/construção do ferramental (máquinas/equipamentos e dispositivos)	<input type="radio"/>				
Programação da produção do lote piloto	<input type="radio"/>				

## 2.0 MACRO FASE: DESENVOLVIMENTO

### 2.2 FASE : IMPLEMENTAÇÃO

#### 2.2.2 PRÉ-PRODUÇÃO

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante
Produção do lote piloto	<input type="radio"/>				
Avaliação do lote piloto	<input type="radio"/>				
Análise do processo de produção do lote piloto	<input type="radio"/>				
Otimização do processo de produção	<input type="radio"/>				
Análise de desempenho do processo de produção	<input type="radio"/>				
Homologação do processo de produção	<input type="radio"/>				
Documentação do processo de produção	<input type="radio"/>				

## 3.0 MACRO FASE: PÓS-DESENVOLVIMENTO

### 3.1 FASE : INDUSTRIALIZAÇÃO

#### 3.1.1 PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante
Planejar lançamento do produto	<input type="radio"/>				
Desenvolver processo de vendas/distribuição/atendimento ao cliente	<input type="radio"/>				
Monitorar desempenho do processo de produção (técnico, econômico, ambiental)	<input type="radio"/>				
Análise de desempenho do fornecedores/parceiros	<input type="radio"/>				
Análise dos indicadores de desempenho	<input type="radio"/>				
Documentar as decisões e registrar as lições aprendidas	<input type="radio"/>				

### 3.0 MACRO FASE: PÓS DESENVOLVIMENTO

#### 3.2 FASE : CONTROLE

##### 3.2.1 MONITORAMENTO DO PRODUTO

ATIVIDADES	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Essencialmente importante
Avaliação da satisfação do mercado consumidor	<input type="radio"/>				
Acompanhar desempenho do produto no mercado (técnica, econômica e atendimento ao consumidor)	<input type="radio"/>				
Auditoria e validação do projeto	<input type="radio"/>				
Análise de modificação para melhoria	<input type="radio"/>				
Análise de desempenho de vendas	<input type="radio"/>				
documentação das decisões e registro das lições aprendidas	<input type="radio"/>				
Descontinuidade do produto no mercado	<input type="radio"/>				

Comentários:

---



---



---



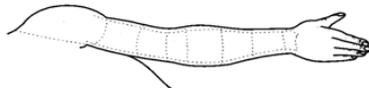
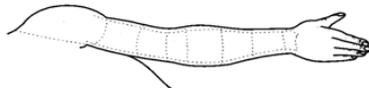
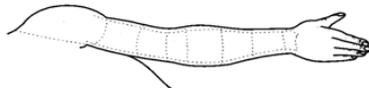
---

### REFERÊNCIA

1. JAHANZAIB, M., ATHAR MASOOD, S. & JAMIL, U.AKHTAR, K. Product design variables optimization using *Design For Six Sigma* (DFSS) approach. *Life Science Journal* 10, 57–63 (2013).
2. JOU, Y., CHEN, C., HWANG, C., LIN, W. & HUANG, S. A study on the improvements of new product development procedure performance-an application of *Design For Six Sigma* in a semi-conductor equipment manufacturer. *International Journal of Production Research* 48, 5573–5591 (2010).
3. MONTGOMERY, D.C., *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. 4. Ed. LTC, 2004.
4. PEREIRA, J. A., *Modelo de desenvolvimento integrado de produto orientado para projeto P&D do setor elétrico brasileiro*. Escola Politécnica Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2014.
5. WERKEMA, C., *Design For Six Sigma Ferramentas básicas usadas nas etapas D e M do DMADV*. Werkema Editora Belo Horizonte (2005).

## ANEXO B

Nome: ..... Instituição: .....

<b>Questionário para identificação das necessidades do consumidor</b> <b>PRODUTO: ÓRTESE PARA AUXILIAR NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM DA NATAÇÃO - AGENESIA DO MEMBRO SUPERIOR</b>																																																																																							
<b>Página 1</b>	<p style="text-align: center;"><b>Questionário para identificação das necessidades do consumidor</b> <b>PRODUTO: ÓRTESE PARA AUXILIAR NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM DA NATAÇÃO - AGENESIA DO MEMBRO SUPERIOR</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <p><b>(1) Nesta pesquisa sobre a órtese para natação, você se enquadra em qual grupo a seguir?</b></p> <p>Usuário final ( )</p> <p>Professor de natação ( )</p> <p>Obs: Sendo professor, desconsidere as questões 4 a 6</p> <p><b>(5) Qual a finalidade do uso do produto?</b></p> <p>Ensino da natação ( )            Aprendizado ( )            Aprendizado e atividade esportiva ( )            Lazer e atividade esportiva ( )</p> </td> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <p><b>(2) A respeito do produto, você entende que será útil para sua atividade? Dê a sua opinião.</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Sem importância</td> <td>Pouco importante</td> <td>Razoavelmente importante</td> <td>Importante</td> <td>Muito importante</td> </tr> </table> <p>Justifique a sua resposta: .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>(6) Na figura ao lado indique através de um risco o seu tipo de agenesia do membro superior.</b></p>  </td> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <p><b>(3) A respeito da órtese proposta, você tem conhecimento da existência deste produto no mercado ou algo parecido?</b></p> <p>Sim ( ) Não ( )</p> <p>Se, sim, qual? .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>COMENTÁRIOS:</b> .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> </td> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <p><b>(4) Se voce e usuário final, assinale a natureza da agenesia do membro superior.</b></p> <p>Acidente Sim ( ) Não ( )</p> <p>Doença Sim ( ) Não ( )</p> <p>Congênita (Desde o nascimento) Sim ( ) Não ( )</p> <p>Se o motivo for acidente ou doença, com qual idade ocorreu? .....</p> </td> </tr> </table>	<p><b>(1) Nesta pesquisa sobre a órtese para natação, você se enquadra em qual grupo a seguir?</b></p> <p>Usuário final ( )</p> <p>Professor de natação ( )</p> <p>Obs: Sendo professor, desconsidere as questões 4 a 6</p> <p><b>(5) Qual a finalidade do uso do produto?</b></p> <p>Ensino da natação ( )            Aprendizado ( )            Aprendizado e atividade esportiva ( )            Lazer e atividade esportiva ( )</p>	<p><b>(2) A respeito do produto, você entende que será útil para sua atividade? Dê a sua opinião.</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Sem importância</td> <td>Pouco importante</td> <td>Razoavelmente importante</td> <td>Importante</td> <td>Muito importante</td> </tr> </table> <p>Justifique a sua resposta: .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>(6) Na figura ao lado indique através de um risco o seu tipo de agenesia do membro superior.</b></p> 	Sem importância	Pouco importante	Razoavelmente importante	Importante	Muito importante	<p><b>(3) A respeito da órtese proposta, você tem conhecimento da existência deste produto no mercado ou algo parecido?</b></p> <p>Sim ( ) Não ( )</p> <p>Se, sim, qual? .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>COMENTÁRIOS:</b> .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p><b>(4) Se voce e usuário final, assinale a natureza da agenesia do membro superior.</b></p> <p>Acidente Sim ( ) Não ( )</p> <p>Doença Sim ( ) Não ( )</p> <p>Congênita (Desde o nascimento) Sim ( ) Não ( )</p> <p>Se o motivo for acidente ou doença, com qual idade ocorreu? .....</p>																																																																													
<p><b>(1) Nesta pesquisa sobre a órtese para natação, você se enquadra em qual grupo a seguir?</b></p> <p>Usuário final ( )</p> <p>Professor de natação ( )</p> <p>Obs: Sendo professor, desconsidere as questões 4 a 6</p> <p><b>(5) Qual a finalidade do uso do produto?</b></p> <p>Ensino da natação ( )            Aprendizado ( )            Aprendizado e atividade esportiva ( )            Lazer e atividade esportiva ( )</p>	<p><b>(2) A respeito do produto, você entende que será útil para sua atividade? Dê a sua opinião.</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Sem importância</td> <td>Pouco importante</td> <td>Razoavelmente importante</td> <td>Importante</td> <td>Muito importante</td> </tr> </table> <p>Justifique a sua resposta: .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>(6) Na figura ao lado indique através de um risco o seu tipo de agenesia do membro superior.</b></p> 	Sem importância	Pouco importante	Razoavelmente importante	Importante	Muito importante	<p><b>(3) A respeito da órtese proposta, você tem conhecimento da existência deste produto no mercado ou algo parecido?</b></p> <p>Sim ( ) Não ( )</p> <p>Se, sim, qual? .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>COMENTÁRIOS:</b> .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p><b>(4) Se voce e usuário final, assinale a natureza da agenesia do membro superior.</b></p> <p>Acidente Sim ( ) Não ( )</p> <p>Doença Sim ( ) Não ( )</p> <p>Congênita (Desde o nascimento) Sim ( ) Não ( )</p> <p>Se o motivo for acidente ou doença, com qual idade ocorreu? .....</p>																																																																															
Sem importância	Pouco importante	Razoavelmente importante	Importante	Muito importante																																																																																			
<b>Página 2</b>	<p style="text-align: center;"><b>Questionário para identificação das necessidades do consumidor</b> <b>PRODUTO: ÓRTESE PARA AUXILIAR NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM DA NATAÇÃO - AGENESIA DO MEMBRO SUPERIOR</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">PI</th> <th style="text-align: center;">RI</th> <th style="text-align: center;">I</th> <th style="text-align: center;">MI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7 - Quanto importante é para você que a órtese proposta possa ser exposta a luz solar?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água salina (água do mar por exemplo)?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>9 - Quanto importante é para você que a superfície de contato da órtese com outro objeto seja rugosa?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>10 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água clorada?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>11 - Quanto importante é o preço deste produto para você?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>12 - Quanto importante é para você o peso da órtese?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>13 - Quanto importante é para você o tamanho do palmar da órtese?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">           SI – Sem Importância      RI – Razoavelmente importante            PI – Parcialmente importante      I – Importante            MI – Muito importante         </p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><b>14 – Por favor, classifique em ordem de importância o que você espera que a órtese proposta possa lhe proporcionar.</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">PI</th> <th style="text-align: center;">RI</th> <th style="text-align: center;">I</th> <th style="text-align: center;">MI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agilidade no aprendizado.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Segurança e estabilidade durante o uso.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Durabilidade.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Inclusão na atividade física.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Facilidade na colocação e uso.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>15 – Considerando a necessidade de manter a órtese presa ao coto, qual sistema de fixação que você julga mais conveniente e confortável?</b></p> <p>a) Presilha em velcro ( )      b) Presilha com fivela ( )</p> <p>c) Outro tipo de presilha (Justifique a sua resposta):</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> </td> </tr> </table>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">PI</th> <th style="text-align: center;">RI</th> <th style="text-align: center;">I</th> <th style="text-align: center;">MI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7 - Quanto importante é para você que a órtese proposta possa ser exposta a luz solar?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água salina (água do mar por exemplo)?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>9 - Quanto importante é para você que a superfície de contato da órtese com outro objeto seja rugosa?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>10 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água clorada?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>11 - Quanto importante é o preço deste produto para você?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>12 - Quanto importante é para você o peso da órtese?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>13 - Quanto importante é para você o tamanho do palmar da órtese?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">           SI – Sem Importância      RI – Razoavelmente importante            PI – Parcialmente importante      I – Importante            MI – Muito importante         </p>		SI	PI	RI	I	MI	7 - Quanto importante é para você que a órtese proposta possa ser exposta a luz solar?						8 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água salina (água do mar por exemplo)?						9 - Quanto importante é para você que a superfície de contato da órtese com outro objeto seja rugosa?						10 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água clorada?						11 - Quanto importante é o preço deste produto para você?						12 - Quanto importante é para você o peso da órtese?						13 - Quanto importante é para você o tamanho do palmar da órtese?						<p><b>14 – Por favor, classifique em ordem de importância o que você espera que a órtese proposta possa lhe proporcionar.</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">PI</th> <th style="text-align: center;">RI</th> <th style="text-align: center;">I</th> <th style="text-align: center;">MI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agilidade no aprendizado.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Segurança e estabilidade durante o uso.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Durabilidade.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Inclusão na atividade física.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Facilidade na colocação e uso.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>15 – Considerando a necessidade de manter a órtese presa ao coto, qual sistema de fixação que você julga mais conveniente e confortável?</b></p> <p>a) Presilha em velcro ( )      b) Presilha com fivela ( )</p> <p>c) Outro tipo de presilha (Justifique a sua resposta):</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		SI	PI	RI	I	MI	Agilidade no aprendizado.						Segurança e estabilidade durante o uso.						Durabilidade.						Inclusão na atividade física.						Facilidade na colocação e uso.					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">PI</th> <th style="text-align: center;">RI</th> <th style="text-align: center;">I</th> <th style="text-align: center;">MI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7 - Quanto importante é para você que a órtese proposta possa ser exposta a luz solar?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água salina (água do mar por exemplo)?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>9 - Quanto importante é para você que a superfície de contato da órtese com outro objeto seja rugosa?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>10 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água clorada?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>11 - Quanto importante é o preço deste produto para você?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>12 - Quanto importante é para você o peso da órtese?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>13 - Quanto importante é para você o tamanho do palmar da órtese?</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">           SI – Sem Importância      RI – Razoavelmente importante            PI – Parcialmente importante      I – Importante            MI – Muito importante         </p>		SI	PI	RI	I	MI	7 - Quanto importante é para você que a órtese proposta possa ser exposta a luz solar?						8 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água salina (água do mar por exemplo)?						9 - Quanto importante é para você que a superfície de contato da órtese com outro objeto seja rugosa?						10 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água clorada?						11 - Quanto importante é o preço deste produto para você?						12 - Quanto importante é para você o peso da órtese?						13 - Quanto importante é para você o tamanho do palmar da órtese?						<p><b>14 – Por favor, classifique em ordem de importância o que você espera que a órtese proposta possa lhe proporcionar.</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">PI</th> <th style="text-align: center;">RI</th> <th style="text-align: center;">I</th> <th style="text-align: center;">MI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agilidade no aprendizado.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Segurança e estabilidade durante o uso.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Durabilidade.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Inclusão na atividade física.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Facilidade na colocação e uso.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>15 – Considerando a necessidade de manter a órtese presa ao coto, qual sistema de fixação que você julga mais conveniente e confortável?</b></p> <p>a) Presilha em velcro ( )      b) Presilha com fivela ( )</p> <p>c) Outro tipo de presilha (Justifique a sua resposta):</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		SI	PI	RI	I	MI	Agilidade no aprendizado.						Segurança e estabilidade durante o uso.						Durabilidade.						Inclusão na atividade física.						Facilidade na colocação e uso.							
	SI	PI	RI	I	MI																																																																																		
7 - Quanto importante é para você que a órtese proposta possa ser exposta a luz solar?																																																																																							
8 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água salina (água do mar por exemplo)?																																																																																							
9 - Quanto importante é para você que a superfície de contato da órtese com outro objeto seja rugosa?																																																																																							
10 - Quanto importante é para você que a órtese possa ser exposta a um ambiente de água clorada?																																																																																							
11 - Quanto importante é o preço deste produto para você?																																																																																							
12 - Quanto importante é para você o peso da órtese?																																																																																							
13 - Quanto importante é para você o tamanho do palmar da órtese?																																																																																							
	SI	PI	RI	I	MI																																																																																		
Agilidade no aprendizado.																																																																																							
Segurança e estabilidade durante o uso.																																																																																							
Durabilidade.																																																																																							
Inclusão na atividade física.																																																																																							
Facilidade na colocação e uso.																																																																																							