UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – EESC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – SEM

ARTUR VALADARES DE FREITAS SANTOS

Estudo da melhoria de um utensílio de auxílio à alimentação para portadores da Doença de Parkinson com base na integração das metodologias QFD e TRIZ.

São Carlos

2015

ARTUR VALADARES DE FREITAS SANTOS

Estudo da melhoria de um utensílio de auxílio à alimentação para portadores da Doença de Parkinson com base na integração das metodologias QFD e TRIZ.

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto mecânico.

Orientadora: Profa. Dra. Zilda De Castro Silveira.

ESTE EXEMPLAR TRATA-SE DA
VERSÃO CORRIGIDA.
A VERSÃO ORIGINAL ENCONTRA-
SE DISPONÍVEL JUNTO AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECÂNICA DA EESC-USP.

São Carlos

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

S231e Santos, Artur Valadares de Freitas
Estudo da melhoria de um utensílio de auxílio à
alimentação para portadores da Doença de Parkinson com
base na integração das metodologias QFD e TRIZ. / Artur
Valadares de Freitas Santos; orientador Zilda de
Castro Silveira. São Carlos, 2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em
Projeto Mecânico -- Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo, 2015.

1. Metodologia de Projeto . 2. QFD. 3. TRIZ. 4.
Tecnologia Assistiva. 5. Doença de Parkinson. 6.
Manufatura Aditiva. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **ARTUR VALADARES DE FREITAS SANTOS**.

Título da dissertação: "Estudo da melhoria de um utensílio de auxílio à alimentação para portadores da Doença de Parkinson com base na integração das metodologias QFD e TRIZ".

Data da defesa: 04/12/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. **Zilda de Castro Silveira**
(Orientadora)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Acires Dias**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Aprovado

Dr. **Jorge Vicente Lopes da Silva**
(CTI Renato Archer)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Gherhardt Ribatski**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Enio e Cláudia e à minha irmã Amanda, pelo amor e apoio incondicionais. Ao amigo e irmão César, pelo suporte nos momentos difíceis. Ao mestre e amigo de todos os momentos, Jesus.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo o que tenho, sou e um dia virei a ser.

A Jesus, o amado mestre e amigo de todos os momentos.

Ao querido professor Eurípedes Barsanulfo, pelo apoio e pela inspiração.

Aos amados pais Enio e Cláudia e à doce irmã Amanda, pelo amor, carinho e compreensão incondicionais.

À amiga Gisele, pelo suporte e estímulo em momentos cruciais.

À querida orientadora, Profa. Dra. Zilda de Castro Silveira, pela oportunidade, pelos aprendizados e pela amizade construída ao longo deste trabalho.

Ao amigo Joaquim, pelas ideias e contribuições inestimáveis no desenrolar do projeto.

Aos amigos Gustavo, Frezzato e Ismael, pela amizade e pela convivência durante todo esse período.

À querida amiga Alessandra, pelo aprendizado e pelo trabalho em equipe no desenvolvimento do trabalho.

À EESC-USP, pelo suporte estrutural e por todos os recursos que possibilitaram a execução deste trabalho.

À CAPES, pelo financiamento por meio da bolsa de mestrado.

“A simplicidade é o último grau de sofisticação.”

Leonardo da Vinci

SANTOS, A. V. F. **Estudo da melhoria de um utensílio de auxílio à alimentação para portadores da Doença de Parkinson com base na integração das metodologias QFD e TRIZ.** 2015. 173 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

RESUMO

Esse trabalho apresenta o processo de melhoria de um utensílio de alimentação para indivíduos com algum grau de tremor nas mãos, por meio da integração das metodologias de projeto QFD e TRIZ, e da utilização da manufatura aditiva durante o projeto conceitual. O envelhecimento populacional e outras diversas situações que provocam a incapacidade temporária ou permanente de indivíduos, tanto em escala regional como mundial, geram uma demanda crescente de produtos na área de tecnologia assistiva. Esses produtos devem oferecer soluções de engenharia baseadas em tomadas de decisões realizadas com equipes multidisciplinares, com algum grau de personalização. Neste contexto, o uso das metodologias Casa da Qualidade – QFD e TRIZ podem auxiliar tanto o esforço multidisciplinar, quanto as tomadas de decisões técnicas ao longo das fases iniciais do desenvolvimento do projeto, promovendo possibilidades de inovações. O objetivo desse trabalho é apresentar o processo de integração entre o QFD e a TRIZ para se obter soluções parciais técnicas, com algum grau de inovação, e o protótipo funcional de um utensílio de alimentação para usuários portadores da Doença de Parkinson ou outras desordens neurológicas que afetem os movimentos das mãos e, por conseguinte, a tarefa de alimentação. As melhorias de projeto para o utensílio foram: um sistema essencialmente mecânico, que permite facilidade de uso e de reposição e manutenção de peças; uso de um fluido atóxico (água) para promover o balanceamento dos tremores provenientes das mãos; melhoria da área de contato manual, com maior conforto térmico e ergonômico para o usuário. O uso da manufatura aditiva, ainda na fase do projeto conceitual, permitiu a geração de um protótipo funcional para avaliações visuais e técnicas das soluções concebidas, reforçando a importância de seu uso no processo de desenvolvimento do projeto.

Palavras-chave: Metodologia de projeto; QFD; TRIZ; tecnologia assistiva; Doença de Parkinson; manufatura aditiva.

SANTOS, A. V. F. **Study of the improvement of an eating utensil to aid patients with Parkinson's disease based on the integration of QFD and TRIZ methodologies.** 2015. 173 p. Dissertation (Master's Degree) – São Carlos Engineering School, University of São Paulo, São Carlos, 2015.

ABSTRACT

This work presents the improvement process of an eating utensil for individuals with some degree of tremor in the hands, through the integration of the design methodologies QFD and TRIZ, and the use of additive manufacturing during the conceptual design. Population aging and other various situations that cause temporary or permanent disability of individuals, both regional and global scale, generate a growing demand for products in assistive technology. These products must offer engineering solutions based in decision-making held with multidisciplinary teams, with some degree of customization. In this context, the use of the methodologies House of Quality - QFD and TRIZ can help both the multidisciplinary effort, as the technical decisions taken during the early stages of design development, promoting innovation possibilities. The aim of this work is to present the process of integration between the QFD and TRIZ to obtain technical partial solutions, with some degree of innovation, and the functional prototype of an eating utensil for people with Parkinson's Disease or other neurological disorders that affects hand movements and, therefore, the task of feeding. The design enhancements to the utensil were: an essentially mechanical system, which allows ease of use and of replacement and maintenance of the parts; use of a nontoxic fluid (water) to promote the balance of the tremors from hands; improved hand contact area with greater thermal and ergonomic comfort to the user. The use of additive manufacturing, yet at the stage of conceptual design, allowed the generation of a functional prototype for visual and technical evaluations of the designed solutions, reinforcing the importance of its use in the design development process.

Keywords: Design methodology; QFD; TRIZ; assistive technology; Parkinson's disease; additive manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pirâmide populacional do Brasil em 2010 (a) e prospecto para 2050 (b). (UNITED NATIONS, 2015).....	29
Figura 2 – Fluxograma do trabalho.	33
Figura 3 – Processo de desenvolvimento de produto. Rozenfeld et al. (2006).	37
Figura 4 – Modelo de desenvolvimento de produtos industriais. Rodrigues et al. (2015).....	40
Figura 5 – Recorte da Matriz de Contradições estabelecida pela TRIZ. Adaptado de InnoSupport (s. d.).....	50
Figura 6 – Princípio geral de funcionamento da TRIZ.	51
Figura 7 – Desdobramentos de matrizes no QFD. Adaptado de Rodrigues et al. (2015).....	55
Figura 8 – Matriz da Casa da Qualidade e seus elementos. Back et al. (2008).....	56
Figura 9 – Exemplo de desdobramento da Casa da Qualidade. Rodrigues et al. (2015).....	58
Figura 10 – Procedimento de integração entre o QFD e a TRIZ. Adaptado de Chaoqun (2010).	61
Figura 11 – Estrutura do campo da tecnologia assistiva. Adaptado de Cook e Polgar (2007).....	63
Figura 12 – Áreas de aplicação da manufatura aditiva. Adaptado de Wohlers (2015).	69
Figura 13 – Ilustração esquemática do processo de FDM. Adaptado de Custompartnet (2008).	70
Figura 14 – Modelos comerciais de impressoras 3D, baseados na tecnologia FDM, de baixo custo e de aplicação industrial, respectivamente: (a) 3D Cloner DH® (3DCLONER, 2014). e (b) Stratasys Fortus 900mc® (STRATASYS, 2015).	71
Figura 15 – Patente US 5630276 A: Eating Utensil. Weinstein (1994).....	77

Figura 16 – Patente US 5592744 A: Eating utensil. Weinstein (1995).....	78
Figura 17 – Patente US 20100206885 A1: Eating Utensil. Bowden e Lucarotti (2009).	79
Figura 18 – Patente US 8308664 B2: Tremor stabilizing system for handheld devices. University of Michigan (2010).	80
Figura 19 – Patente US 8468700 B2: Eating devices which reduce tremors of the hand. Wilson (2010).....	81
Figura 20 – Colher adaptada em balanço (PACHELLI, 2014).	82
Figura 21 – Modelo comercial de talher <i>Covered Spoon</i> . Assistivetech (s. d.).	83
Figura 22 – Modelos de talheres com peso (170g) <i>Good Grips®</i> . MNSuprimentos (s. d.).....	84
Figura 23 – Modelo de talher com peso (227g) <i>Good Grips®</i> . MNSuprimentos (s. d.).	84
Figura 24 – Colher adaptada comercial <i>Steady Spoon™</i> . Phillips Mobility (s. d.). ...	85
Figura 25 – Colher adaptada comercial <i>Steady Spoon™</i> em duas posições distintas.	85
Figura 26 – Colher adaptada comercial <i>Lifeware™</i> . Lifeware (s. d.).	86
Figura 27 – Principais componentes da colher adaptada comercial <i>Lifeware™</i> . Adaptado de Lifeware (s. d.).....	87
Figura 28 – Fluxograma do projeto conceitual.....	89
Figura 29 – Matriz de relações entre os requisitos dos usuários e os parâmetros técnicos do QFD.	99
Figura 30 – Pesos absolutos e relativos dos requisitos dos usuários no QFD.	101
Figura 31 – Pesos absolutos e relativos dos parâmetros técnicos no QFD.....	102
Figura 32 – Matriz de correlações entre os parâmetros técnicos do QFD.	104
Figura 33 – Esboço dos possíveis modelos de utensílio.	115
Figura 34 – Esboço das possibilidades de fixação do talher.	115
Figura 35 – Esboço de possíveis mecanismos de fixação do talher.....	116

Figura 36 – Esboço mais detalhado de uma das primeiras versões do mecanismo de fixação do talher.	116
Figura 37 – Vista lateral do protótipo, com indicação de peças.	117
Figura 38 – Vista explodida do protótipo, com indicação de peças.	117
Figura 39 – Vista em perspectiva traseira do protótipo, com indicação de peças. ...	118
Figura 40 – Vista em perspectiva frontal do utensílio.	119
Figura 41 – Vista explodida do utensílio.	119
Figura 42 – Vista em perspectiva traseira do utensílio, ressaltando as cavidades internas.	120
Figura 43 – Impressora 3D Cloner DH® (SEM-EESC/USP).	121
Figura 44 – Peças produzidas em duas partes para posterior colagem: (a) cobertura ergonômica; (b) correia universal.	122
Figura 45 – Vista frontal do protótipo do utensílio, inteiramente fabricado via impressão 3D.	122
Figura 46 – Vista lateral do protótipo do utensílio, inteiramente fabricado via impressão 3D.	123
Figura 47 – Talher adaptado para o utensílio.	123
Figura 48 – Vista frontal do protótipo do utensílio, já com talher adaptado.	124
Figura 49 – Vista lateral do protótipo do utensílio, já com talher adaptado.	124
Figura 50 – Vista de cada uma das partes protótipo do utensílio.	124
Figura 51 – Matriz da Casa da Qualidade do QFD.	143
Figura 52 – Nível de importância do requisito “ser confortável”.	145
Figura 53 – Nível de importância do requisito “ser adaptável”.	145
Figura 54 – Nível de importância do requisito “ser de fácil limpeza”.	146
Figura 55 – Nível de importância do requisito “ser firme”.	146
Figura 56 – Nível de importância do requisito “não machucar o paciente”.	147

Figura 57 – Nível de importância do requisito “atender alimentos sólidos e líquidos”.	147
Figura 58 – Nível de importância do requisito “permitir mudança de utensílios”.....	148
Figura 59 – Nível de importância do requisito “ter baixo custo”.	148
Figura 60 – Nível de importância do requisito “compensar tremor”.	149
Figura 61 – Nível de importância do requisito “apresentar um design atrativo”.....	149
Figura 62 – Planilha no Excel de aplicação da TRIZ desenvolvida no Excel®.	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Lista de Princípios Inventivos estabelecidos pela TRIZ. Adaptado de Altshuller (1999).	48
Tabela 2 – Lista de Parâmetros de Engenharia estabelecidos pela TRIZ. Adaptado de Altshuller (1999).	49
Tabela 3 – Aplicações da manufatura aditiva ao longo do tempo. Adaptado de Royal Academy of Engineering (2013).	73
Tabela 4 – Resultados da análise das patentes.....	82
Tabela 5 – Requisitos dos usuários para o produto.	91
Tabela 6 – Nível de importância dos requisitos dos usuários.	93
Tabela 7 – Parâmetros técnicos do produto.....	94
Tabela 8 – PE's associados a cada parâmetro técnico do produto.....	98
Tabela 9 – Definição de melhoria para cada parâmetro técnico.	103
Tabela 10 – Peso relativo de cada correlação negativa.....	105
Tabela 11 – Definição da contradição técnica 1.....	107
Tabela 12 – Definição da contradição técnica 2.....	107
Tabela 13 – Definição da contradição técnica 3.....	107
Tabela 14 – Definição da contradição técnica 4.....	108
Tabela 15 – Definição da contradição técnica 5.....	108
Tabela 16 – Definição da contradição técnica 6.....	108
Tabela 17 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 1.....	109
Tabela 18 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 2.....	110
Tabela 19 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 3.....	110
Tabela 20 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 4.....	110
Tabela 21 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 5.....	111

Tabela 22 – Lista de PI’s indicados para a contradição técnica 6. 111

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
CQ	Casa da Qualidade
DP	Doença de Parkinson
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
HOQ	<i>House of Quality</i> (Casa da Qualidade)
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Desdobramento da Função Qualidade)
MA	Manufatura Aditiva
MC	Matriz de Contradições
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PE	Parâmetro de Engenharia
PI	Princípio Inventivo
PLA	Ácido Polilático
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SUS	Sistema Único de Saúde
TA	Tecnologia Assistiva
TRIZ	<i>Teorija Rezhenija Izobretatel'skisch Zadach</i> (Teoria da Solução Inventiva de Problemas)

LISTA DE SÍMBOLOS

PA_i^r	Peso absoluto do requisito do usuário i
PR_i^r	Peso relativo do requisito do usuário i
PA_i^p	Peso absoluto do parâmetro técnico i
PR_i^p	Peso relativo do parâmetro técnico i

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1. OBJETIVO	31
1.2. JUSTIFICATIVA.....	31
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	32
2. EMBASAMENTO TEÓRICO	35
2.1. METODOLOGIA DE PROJETO	35
2.2. INOVAÇÃO E CRIATIVIDADE	41
2.3. TRIZ.....	45
2.4. QFD	52
2.5. TECNOLOGIA ASSISTIVA.....	61
2.6. MANUFATURA ADITIVA	68
3. ESTUDO DE CASO	75
3.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	75
3.2. ESTADO DA TÉCNICA	76
3.2.1. Eating Utensil (US 5630276 A)	76
3.2.2. Eating utensil (US 5592744 A)	77
3.2.3. Eating Utensil (US 20100206885 A1).....	78
3.2.4. Tremor stabilizing system for handheld devices (US 8308664 B2)	79
3.2.5. Eating devices which reduce tremors of the hand (US 8468700 B2)	80
3.2.6. Comentários finais.....	81
3.3. MODELOS COMERCIAIS	82
3.3.1. Talher em balanço.....	82
3.3.2. Covered Spoon	83
3.3.3. Talheres com peso <i>Good Grips®</i>	84

3.3.4. Steady Spoon™	85
3.3.5. Liftware™	86
4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	89
4.1. REQUISITOS DOS USUÁRIOS.....	90
4.2. PARÂMETROS TÉCNICOS.....	94
4.3. ELABORAÇÃO DO QFD.....	98
4.4. CORRELAÇÕES NEGATIVAS NO QFD	102
4.5. DEFINIÇÃO DAS CONTRADIÇÕES.....	106
4.6. DESDOBRAMENTO DOS PRINCÍPIOS INVENTIVOS	109
5. GERAÇÃO DO PROTÓTIPO	115
6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
APÊNDICE A – MATRIZ QFD	143
APÊNDICE B – NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DOS REQUISITOS	145
APÊNDICE C – PLANILHA DE APLICAÇÃO DA TRIZ	151
ANEXO A – QUESTIONÁRIO SOBRE O UTENSÍLIO	153
ANEXO B – PRINCÍPIOS INVENTIVOS.....	155
ANEXO C – PARÂMETROS DE ENGENHARIA	163
ANEXO D – MATRIZ DE CONTRADIÇÕES.....	169

1. INTRODUÇÃO

Os avanços alcançados em algumas áreas da tecnologia proporcionados pelos investimentos de países de economia mais consolidada praticamente inviabilizam a competitividade brasileira em tempo adequado no mercado mundial. Por este motivo, há uma necessidade real e urgente que o Brasil encontre segmentos de mercado interno e mundial, que possam torná-lo competitivo e inovador.

Neste sentido, as áreas de pesquisa e desenvolvimento em tecnologia podem buscar nas técnicas de metodologia de projeto procedimentos sistemáticos que auxiliem nas tomadas de decisões técnicas e promovam uma redução no tempo de desenvolvimento de projeto, atribuindo-lhe qualidade e inovação, com redução de custos. O uso de técnicas e ferramentas da teoria e metodologia de projeto promove uma melhor comunicação entre os especialistas técnicos e permite a transferência de conhecimento com mais agilidade dentro e entre os grupos de trabalho, tanto em ambiente empresarial, quanto em meio acadêmico e tecnológico.

A fase do projeto conceitual corresponde à etapa de desenvolvimento do projeto que permite efetivamente a livre geração de ideias para soluções de contradições técnicas e, ao mesmo tempo, um desenvolvimento orientado pelos requisitos dos usuários. Em problemas de engenharia, o processo de geração de ideias envolve contradições técnicas e físicas, e resolvê-las sistematicamente pode conduzir a inovações tecnológicas e quebras de paradigmas.

Assim, a fase de projeto conceitual pode ser considerada uma das mais críticas no processo de projeto como um todo, uma vez que a maior parte do custo do produto é determinada nesta fase, além da definição do princípio de solução técnica, que influenciará significativamente as demais fases. Ainda nesta fase, são desenvolvidos também conceitos muito importantes para o projeto, como a aplicabilidade prática do produto e a obtenção de soluções inovadoras (MAYDA E BORKLU, 2014).

Dentre as metodologias já propostas para a inovação sistemática, a TRIZ vem se destacando nas últimas décadas, no que se refere à resolução de contradições

técnicas de maneira sistemática e eficiente. Por outro lado, a metodologia QFD, sobretudo com a ferramenta da Casa da Qualidade, tem alcançado também amplo destaque com seu enfoque na qualidade e na competitividade de mercado, fundamentalmente baseado no atendimento das expectativas e necessidades dos usuários.

A utilização das duas ferramentas de maneira integrada nos mais diversos tipos de aplicações técnicas tem sido cada vez mais frequente, tanto na indústria como no ambiente acadêmico. Dentre os trabalhos produzidos com essa proposta de integração podem ser citados:

Chaoqun (2010) apresenta uma proposta de integração entre o QFD e a TRIZ, delineando uma estruturação para este processo e ressaltando que essa integração pode facilitar significativamente a tarefa, muitas vezes complexa, de conversão das necessidades do usuário em requisitos de projeto.

Yeh, Huang e Yu (2011) utilizam uma metodologia baseada em quatro fases do QFD e na TRIZ em um estudo de caso relacionado ao desenvolvimento de um notebook.

Melgoza et al. (2012) adotam uma metodologia baseada na sinergia entre o QFD e a TRIZ para a solução de contradições físicas relacionadas à geometria e ao material no desenvolvimento de um *stent* traqueal.

Kim e Yoon (2012) aplicam as duas metodologias de maneira conjunta em casos de sistemas produto-serviço, com um estudo de caso relacionado a um serviço de aluguel de veículos como meio de verificação da validade e da viabilidade da proposta.

Xie, Tang e Shao (2012) propõem uma nova maneira de integração das metodologias por intermédio da utilização de algoritmos, com o intuito de se potencializar o processo de inovação no desenvolvimento de produtos. A viabilidade e a eficácia da metodologia são analisadas por meio de um estudo de caso envolvendo o desenvolvimento de um aparelho celular.

Melemez et al. (2013) utilizaram o QFD, mais especificamente a matriz da Casa da Qualidade, e a TRIZ de maneira conjunta no desenvolvimento de um trailer veicular.

Huang (2013) busca descrever um processo sistemático de integração entre a TRIZ e o QFD, com o objetivo de proporcionar uma maneira mais efetiva de criação de inovações tecnológicas para novos produtos.

Zhang, Li e Zhang (2013) desenvolvem um modelo de reforço mais eficiente para vedações elastoméricas hidráulicas, utilizando-se nesse processo de uma metodologia de integração QFD/TRIZ, em busca de soluções para os principais conflitos encontrados ao longo do processo de projeto.

Frizziero e Curbastro (2014), por sua vez, adotam ambas as ferramentas no desenvolvimento de um novo sistema de controle de pressão dos pneus de um kart, ressaltando as vantagens proporcionadas pela interação entre as metodologias neste processo.

Fan e Sheng (2014) propõem um modelo de integração QFD/TRIZ no desenvolvimento de máquinas-ferramenta CNC que permitiria ao projetista desenvolver soluções de sistema serviço-produto que melhor atendam às necessidades do usuário final. A eficácia do modelo foi avaliada por meio de um estudo de caso com uma máquina do tipo citado.

Zhang, Yang e Liu (2014) propõem o uso dessas metodologias juntamente com outras duas no projeto de produtos ergonômicos, em uma abordagem dividida em quatro etapas principais, cujo enfoque está na inovação e na avaliação dos resultados nos primeiros estágios do projeto. Um estudo de caso com um fogão de cozinha foi realizado para avaliar a aplicabilidade da abordagem.

Mayda and Borklu (2014) apresentam um modelo sistemático de projeto que potencialize a criação de conceitos inovadores a partir da incorporação da TRIZ e do QFD à fase de projeto conceitual do produto. A eficácia do modelo é avaliada por meio de um estudo de caso com um sistema simples de punção.

Wang et al. (2015) utilizam ambas as ferramentas em conjunto com a AHP em busca de incorporar um método de inovação sistemática ao projeto e desenvolvimento de processos. A metodologia é apresentada e validada por meio de um estudo de caso envolvendo um sistema de esmerilhamento.

Chen e Huang (2015) buscam aplicar a TRIZ e o QFD de maneira integrada nos estágios iniciais de desenvolvimento de produto, neste caso envolvendo um notebook, em busca não só de proporcionar soluções de melhoria ao produto, mas também de reduzir o custo de fabricação e o tempo de lançamento do mesmo.

No entanto, mais do que a ampliação da competitividade do Brasil no mercado internacional, faz-se também necessária a adoção de políticas e estratégias que promovam a inovação e a acessibilidade voltadas para o mercado interno, em especial para a população de um modo geral, como no caso das aplicações de engenharia voltadas para a área da saúde. Busca-se, desse modo, garantir que a engenharia esteja também cumprindo um de seus objetivos fundamentais, que é o de se colocar a serviço da sociedade, em especial das camadas com menor poder aquisitivo, por meio do desenvolvimento de produtos mais simples e baratos.

Dentre as áreas de pesquisa que envolvem engenharia e saúde, a tecnologia assistiva (TA) é uma das que vem crescendo cada vez mais em importância, por se tratar de um recurso de grande relevância na reabilitação funcional de indivíduos com deficiência e incapacidade temporária ou permanente, por meio da promoção de sua independência e autonomia. A pesquisa nesta área tem crescido significativamente, o que justifica a busca por estudos aplicados, especialmente aqueles vinculados à engenharia, visando maior conhecimento de indicação, prescrição e inovação deste recurso na reabilitação.

Um dos fatores que tem impulsionado esse crescimento é a tendência mundial de envelhecimento populacional e, conseqüentemente, o aumento da incidência de limitações funcionais e doenças crônicas, como a Doença de Parkinson (DP). Naturalmente, quanto mais idosa a população, maior a necessidade de cuidados e investimentos em tratamentos e dispositivos que possam proporcionar a esses indivíduos uma boa qualidade de vida.

A Figura 1 apresenta a pirâmide populacional brasileira em 2010 e um prospecto dessa pirâmide para 2050. Em 2000, no Brasil, foram identificadas 24,6 milhões de pessoas com algum tipo de incapacidade e mais de 16 milhões de idosos, com um crescimento anual de cerca de 65 mil indivíduos nesta faixa etária, a maioria deles com algum tipo de doença crônica e/ou limitação funcional (SANTANA, ELUI e ANDRADE, 2009).

Figura 1 – Pirâmide populacional do Brasil em 2010 (a) e prospecto para 2050 (b). (UNITED NATIONS, 2015).

A utilização, em conjunto, das metodologias TRIZ e QFD, com o objetivo de ampliar a análise funcional focada na inovação durante a fase do projeto conceitual, tanto para a melhoria de produtos existentes, quanto para o desenvolvimento de novos produtos, surge como uma proposta de pesquisa interessante nesta área. A realização de um estudo de caso como forma de aplicação direta da metodologia, especialmente no contexto da tecnologia assistiva, que demanda intrinsecamente soluções inovadoras e personalizadas para os usuários por ela atendidos, torna-se assim o foco deste trabalho.

Dentre alguns dos exemplos de aplicação do QFD e da TRIZ, de maneira integrada ou não, no campo da tecnologia assistiva, podem ser citados:

Kuen-Horng et al. (2008) adotaram o QFD no desenvolvimento de dispositivos móveis de tecnologia assistiva, neste caso uma cadeira de rodas, com um ganho significativo na qualidade do projeto. Os pesquisadores ressaltam que, embora muitos dispositivos sejam inovadores do ponto de vista de engenharia, são muitas vezes pouco utilizados do ponto de vista clínico por não atenderem aos requisitos dos usuários e dos profissionais da área de saúde. Segundo eles, ao se considerar os requisitos do usuário no início do projeto, torna-se mais fácil identificar e

solucionar os problemas e inconvenientes encontrados pelos usuários em dispositivos semelhantes desenvolvidos sem essa perspectiva.

Chang-Ming e Chi-Hao (2011) aplicaram o QFD e a TRIZ de maneira integrada em um estudo de caso relacionado à inovação no projeto de camas médicas, com o objetivo de acelerar o processo de desenvolvimento do produto e aumentar a competitividade de mercado. Os pesquisadores afirmam que a sinergia entre as duas metodologias tem se mostrado nos últimos tempos como um método inovador e com grande potencial de geração de soluções. Além disso, apontam reduções da ordem de até 40% no tempo de desenvolvimento do produto, tornando sua inserção no mercado mais rápida e ampliando sua competitividade.

Flores-Luna, Dorador-González e Espinosa-Bautista (2013) utilizaram ferramentas da metodologia TRIZ na análise de próteses de mão, em busca de oportunidades de inovação. Os pesquisadores esclarecem que a utilização do método reduz o tempo de pesquisa e melhora a compreensão do problema pela utilização de um processo sistemático de organização da informação.

Gao et al. (2015) propõem a utilização da TRIZ como ferramenta de inovação no projeto de equipamentos médicos. Ressaltam os pesquisadores que esta área de projeto cobre uma grande diversidade de domínios do conhecimento e que a aplicação de técnicas modernas de projeto e inovação, tal como a TRIZ, é uma necessidade urgente. Além disso, a competição entre as fabricantes deste tipo de equipamento faz da inovação no projeto um ponto chave para o sucesso da empresa.

Barbosa et al. (2015) utiliza o QFD no projeto conceitual de uma maca de banho para ambientes hospitalares, ressaltando a importância de se considerar aspectos como a ergonomia, a confiabilidade e a interface com os usuários no desenvolvimento de produtos médico-hospitalares e a considerável contribuição do QFD para este processo.

Assim, em conformidade com o que foi supracitado, este trabalho terá como foco a aplicação de maneira integrada do QFD e da TRIZ em um estudo de caso relacionado aos utensílios utilizados por pessoas portadoras da Doença de Parkinson ou de alguma outra desordem neurológica que comprometa os movimentos das mãos e, conseqüentemente, a tarefa cotidiana de alimentação.

Tendo em vista a realidade do envelhecimento populacional no Brasil e a consequente ampliação da ocorrência de desordens como a Doença de Parkinson ou similares nesta faixa etária, e levando-se em conta a proposta de se desenvolver um produto simples e barato, este trabalho assume uma importância significativa, com a possibilidade de beneficiar um número considerável de indivíduos, sobretudo aqueles de condição financeira mais limitada.

1.1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste na utilização, de maneira integrada, das metodologias QFD e TRIZ, com o auxílio da manufatura aditiva, em uma aplicação no campo da tecnologia assistiva. É proposto um estudo de melhoria que promova algum grau de inovação e a geração do protótipo funcional de um utensílio de alimentação, com custo reduzido. O utensílio é destinado a usuários portadores da Doença de Parkinson ou de outras desordens neurológicas que afetem a coordenação motora e os movimentos das mãos e, por conseguinte, a tarefa cotidiana de alimentação.

1.2. JUSTIFICATIVA

A necessidade de desenvolvimento de produtos com algum nível de personalização, principalmente nas áreas de órteses e próteses, bem como soluções para tecnologia assistiva, cria um segmento na engenharia para desenvolvimento de produtos, que deve ter uma abordagem multidisciplinar, incluindo profissionais da área da saúde. A escolha de se trabalhar com esta área de pesquisa se deve, principalmente, à necessidade do desenvolvimento de produtos personalizados, bem como à demanda crescente do mercado de trabalho neste setor.

A metodologia TRIZ se apresenta como uma técnica de busca de solução de problemas no campo da engenharia e ciências aplicadas. Por outro lado, o QFD apresenta-se como uma técnica que objetiva inserir as necessidades dos usuários já na fase de desenvolvimento de um produto. A interface e complementação destas duas técnicas pode compor uma metodologia de projeto capaz de lidar com problemas que envolvam aspectos multidisciplinares de uma forma sistemática e

com maior campo de buscas de soluções criativas, justamente as mais desejadas na área da tecnologia assistiva.

O desenvolvimento de dispositivos simples e de fácil interação com o usuário possibilita que pessoas com necessidades especiais façam suas atividades cotidianas, mantendo ou melhorando sua qualidade de vida, prevenindo acidentes e fornecendo segurança. Além disso, do ponto de vista econômico, provoca uma redução gastos com recursos de saúde, como por exemplo os gastos com acidentes ou com o desenvolvimento de novas lesões.

É importante ressaltar ainda que existem muitas possibilidades de melhorias de projeto neste tipo de aplicação, e que seria de grande valia se as novas soluções obtidas pudessem ser posteriormente estendidas para o SUS (Sistema Único de Saúde), a um preço significativamente mais baixo do que o dos produtos disponíveis no mercado. Cabe ressaltar que o governo federal tem investido, nos últimos anos, recursos significativos no programa “Viver sem Limite”, cujo objetivo é promover a inclusão de indivíduos com deficiência e/ou mobilidade reduzida.

Como este trabalho foi desenvolvido em âmbito acadêmico, nesse momento há um processo de depósito de propriedade industrial iniciado pela Universidade de São Paulo, que pode vir a promover a transferência de tecnologia junto a instituições públicas e empresas privadas do segmento de tecnologia assistiva.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Com o objetivo de facilitar a compreensão deste trabalho como um todo, foi elaborado o fluxograma da Figura 2, que apresenta as etapas principais do trabalho na ordem em que foram sendo realizadas, além de demarcar as fases principais de projeto desenvolvidas neste processo: informacional e conceitual.

Figura 2 – Fluxograma do trabalho.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados conceitos e ferramentas importantes para a compreensão do desenvolvimento do trabalho como um todo. Desse modo, inicia-se pela apresentação da área de metodologia de projeto, com uma breve introdução a respeito dos conceitos de inovação e criatividade. Posteriormente, são abordadas duas metodologias fundamentais para o trabalho, a TRIZ e o QFD. E, por fim, é feito um apanhado geral sobre o campo da tecnologia assistiva, na qual se encontra o foco de aplicação deste projeto, e sobre a manufatura aditiva, utilizada na geração do protótipo do utensílio.

2.1. METODOLOGIA DE PROJETO

Quando se fala de projeto ou de desenvolvimento de produtos é importante, antes de tudo, fazer uma breve consideração sobre as terminologias utilizadas. O termo *projeto* é geralmente empregado como o resultado da atividade de projetar. Por sua vez, os termos *processo de projeto* ou *projetar* são utilizados para denotar a atividade em si, enquanto o termo *processo de desenvolvimento de produto* (PDP) é usado para denotar a progressão do projeto (BACK et al., 2008).

Segundo Rodrigues et al. (2015), o projeto de engenharia pode ser entendido como

[...] um processo sistemático, no qual os engenheiros geram, avaliam e especificam estruturas e seus componentes para a construção de máquinas, equipamentos ou processos, cujas formas e/ou funções atendem requisitos técnicos e restrições estabelecidos, a partir das necessidades do usuário.

Rozenfeld et al. (2006), por sua vez, definem o PDP como

[...] um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um

produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo.

Para Back et al. (2008), o desenvolvimento de produto pode ser entendido “como todo processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda, a produção e o uso do produto”. Nesse mesmo contexto, um produto seria “um objeto concebido, produzido industrialmente com características e funções, comercializado e usado pelas pessoas ou organizações, de modo a atender seus desejos e necessidades”.

Se por um lado os produtos têm se tornado mais complexos, incorporando cada vez mais os avanços tecnológicos em seu desenvolvimento, por outro o ambiente de projeto também se tornou mais complexo, o que gerou novas necessidades no gerenciamento do processo. O contexto de globalização reserva ao futuro do desenvolvimento de produtos uma preocupação cada vez maior com questões ambientais e sociais relacionadas aos produtos desenvolvidos, e não apenas econômicas. Com esse aumento de complexidade, a utilização de métodos estruturados de projeto tornou-se praticamente uma necessidade (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Esse cenário de globalização e alta competitividade torna o desenvolvimento de produto uma atividade permanente, tanto na indústria como na pesquisa, buscando-se meios para a redução de tempos e custos de produtos cada vez mais complexos e interdisciplinares. Nesse sentido, a sistematização desse processo pode proporcionar grandes benefícios ao projeto, com a redução de falhas e uma maior interação entre a equipe de projeto e o usuário do produto (RODRIGUES et al., 2015).

Como ressaltam Pahl et al. (2007), esse procedimento precisa ser passível de ser planejado, otimizado e verificado, e, ao mesmo tempo, permitir uma certa flexibilidade aos projetistas. Para se atingir semelhante capacidade de desenvolvimento, no entanto, é imprescindível que os projetistas estejam muito bem fundamentados pelo conhecimento técnico e que os métodos de procedimento estejam bem sistematizados.

Buscando estruturar esse processo de desenvolvimento de produtos, Rozenfeld et al. (2006) propõem uma divisão, apresentada na Figura 3, em que são

definidos três macroprocessos principais: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento, cada qual com as suas próprias etapas, atividades e ferramentas. Estas, por sua vez, são caracterizadas pela entrega de um conjunto de resultados (*deliverables*), cuja avaliação permite a passagem para a etapa seguinte.

Figura 3 – Processo de desenvolvimento de produto. Rozenfeld et al. (2006).

De acordo com Romeiro Filho et al. (2010), cada uma das etapas apresentadas na Figura 3 é caracterizada pelos seguintes processos:

- **Planejamento estratégico:** determinação do portfólio da empresa, bem como dos mercados a serem atendidos e dos prazos de lançamento dos produtos;
- **Planejamento do projeto:** definição do escopo de projeto, da viabilidade técnico-econômica, dos recursos humanos a serem utilizados, dos prazos de execução, dos custos esperados e dos riscos implicados;
- **Projeto informacional:** elaboração das especificações de projeto, com o estabelecimento de valores meta para os parâmetros, a ampliação das informações sobre os usuários do produto e o detalhamento de seus requisitos;
- **Projeto conceitual:** transformação da linguagem verbal em linguagem geométrica, com a definição dos princípios de solução para as funções

e do arranjo esquemático das partes do produto, considerando-se sua ergonomia e estética;

- **Projeto detalhado:** descrição dos materiais, dimensionamento dos componentes, planejamento dos processos de fabricação, realização de testes e organização da documentação do produto;
- **Preparação do produto:** mobilização de recursos para a produção, preparação de dispositivos de fabricação, produção de um lote piloto, desenvolvimento de fornecedores e treinamento do pessoal;
- **Lançamento do produto:** além do lançamento do produto em si, também o desenvolvimento dos processos de comercialização, vendas, distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica;
- **Acompanhamento do produto/processo:** avaliação da satisfação dos clientes, monitoramento do desempenho e realização de uma auditoria do processo de desenvolvimento;
- **Descontinuação do produto:** análise e definição da descontinuidade do produto e planejamento do fim de sua produção. São também estabelecidos processos de logística reversa para recebimento do produto, além da realização de uma avaliação final do projeto e o seu encerramento.

Pahl et al. (2007), por sua vez, afirmam que é bastante comum e útil a divisão do processo de projeto nas seguintes fases principais:

I. Planejamento e esclarecimento da tarefa

A tarefa de desenvolvimento de produto é delineada pelo departamento de marketing ou por um departamento responsável pelo planejamento de produtos, e posteriormente transferida ao departamento de engenharia. A partir daí, faz-se necessário um processo de clareamento e de detalhamento da tarefa, antes de se iniciar o processo de desenvolvimento de produto propriamente dito.

O objetivo dessa etapa é basicamente o de coletar informações a respeito dos requisitos que devem ser atendidos pelo produto, bem como as restrições de projeto e sua importância. O resultado final desta etapa consiste em uma lista de requisitos que será utilizado nas etapas subsequentes do processo de projeto.

II. Projeto conceitual

Nesta etapa é definido o princípio de solução para o projeto, por intermédio de um processo de abstração do problema essencial, de definição de estruturas funcionais e da busca e posterior combinação de princípios que sejam viáveis para a solução do problema em questão. Entretanto, com o intuito de se ter uma melhor compreensão desse princípio de solução, torna-se necessária algumas vezes a geração de uma representação mais concreta do mesmo, por exemplo, por meio de uma escolha preliminar de materiais, da produção de um leiaute dimensional inicial e da consideração de possibilidades tecnológicas que possam vir a ser aplicadas.

O projeto conceitual é de tal forma importante para o processo de projeto, que um equívoco cometido nesta etapa pode comprometer seriamente as etapas seguintes, e a obtenção de uma solução duradoura e bem-sucedida é muito mais provável no caso de terem sido bem definidos os princípios de solução do que no caso de um detalhamento técnico excessivo.

III. Projeto preliminar

Nesta fase, partindo-se do conceito, os projetistas buscam determinar uma estrutura de construção para o sistema técnico, mantendo-se aliados com os critérios de ordem técnica e econômica a serem observados. Muitas vezes, é necessária a produção de diversos leiautes preliminares, com o objetivo de se averiguar as vantagens e desvantagens de cada opção. Por meio da combinação dos pontos fortes e da eliminação dos pontos fracos entre os diversos modelos, um leiaute final é obtido, o que propicia a análise de compatibilidade funcional, espacial e econômica do projeto. Só então deve-se passar para o detalhamento do projeto.

IV. Projeto detalhado

Nesta última etapa, são definidos todos os formulários, a disposição, as dimensões, os materiais, as definições de produção, os custos estimados, os desenhos técnicos e o estabelecimento das tolerâncias dimensionais e geométricas. Como resultado final, é gerada a especificação de todas as informações concernentes ao projeto por intermédio da denominada documentação de produção.

Rodrigues et al. (2015) também propõem um modelo para o desenvolvimento de produtos industriais, apresentado na Figura 4, ressaltando que este se trata de um processo constituído de várias etapas e tarefas com características iterativas, cujo desenvolvimento é marcado por interações com outras áreas de conhecimento da organização, como por exemplo, gerenciamento de projeto, marketing, suprimentos, qualidade, produção, pós-venda, manutenção centrada em confiabilidade e administração-financeira.

Figura 4 – Modelo de desenvolvimento de produtos industriais. Rodrigues et al. (2015).

Pelo que foi apresentado, torna-se mais clara a importância da utilização de um método definido de projeto que seja capaz de gerar boas soluções, tendo em vista a necessidade, no contexto atual, de um processo de desenvolvimento de produtos que seja eficiente e que esteja devidamente sintonizado com as necessidades dos usuários e com o tempo de mercado.

Além disso, ficam evidenciadas as vantagens significativas da adoção de uma metodologia capaz de gerar soluções inovadoras e criativas para os novos produtos, com um enfoque sobretudo nas primeiras etapas do processo de desenvolvimento, mais especificamente nas fases de projeto informacional e conceitual, dada a sua importância fundamental para todas as etapas seguintes e, consequentemente, para

o sucesso do projeto como um todo. No caso deste trabalho, o modelo adotado como referência é aquele apresentado na Figura 4.

2.2. INOVAÇÃO E CRIATIVIDADE

Após as considerações sobre metodologia de projeto e desenvolvimento de produtos, dois conceitos importantes a serem abordados são os conceitos de inovação e criatividade, uma vez que sua aplicação é um fator de grande relevância para o sucesso de um projeto ou de um novo produto.

Segundo Back et al. (2008), os novos produtos podem ser classificados em três categorias principais:

- variantes de produtos existentes: estão inseridas nesta categoria as extensões de linha, os produtos reposicionados em termos de seu uso e mercado, as novas formas e versões modificadas, e até mesmo as novas embalagens para produtos já existentes;
- inovativos: resultado de modificações realizadas em produtos já existentes, aumentado seu valor agregado. De maneira geral, quanto maior a inovação, maior o tempo e o esforço de desenvolvimento, bem como o custo de pesquisa;
- criativos: produtos de existência nova. Apresentam um longo tempo de desenvolvimento e elevados custos de pesquisa. A introdução deste tipo de produto no mercado pode ser de alto risco, mas ao mesmo tempo pode levar à geração de novos paradigmas e à potencialização de novos campos industriais.

O ato de inovar, de acordo com Romeiro Filho et al. (2010), pode ser entendido como “o cruzamento de respostas realizáveis para certas necessidades validadas por um mercado. A inovação depende da adoção do novo produto ou do novo processo por um conjunto de usuários que irão validar a mudança tecnológica”.

Nesse contexto, as inovações podem ser divididas em duas categorias principais: as incrementais e as radicais. As primeiras estão relacionadas a uma melhoria da qualidade de produtos e serviços para uma variedade de aplicações específicas. São feitas por meio de mudanças no produto ou processo, agregando

novas funções a produtos já existentes e gerando um aumento de eficiência técnica, de qualidade e produtividade, além de uma redução de custos. As segundas, por sua vez, ocorrem de maneira mais irregular, como resultado de um processo de P&D, e constituem a base para grandes melhorias em produtos já existentes. (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Para Ximenes (2011), o processo de inovação é sustentado pela capacidade de geração de ideias dos centros de pesquisa, sejam industriais ou acadêmicos, e de seus componentes. Especialmente na área tecnológica, o desenvolvimento de novos produtos, processos ou componentes, por meio da utilização de metodologias e técnicas sistematizadas, deve ser revertido para a sociedade na forma de conhecimentos e bens. Para que esse processo possa ser conduzido de maneira confiável, faz-se necessária uma boa fundamentação técnica do grupo de pesquisa, além, é claro, do desenvolvimento da capacidade criativa.

Esse processo, no entanto, não deve estar baseado apenas em acontecimentos adventícios, oriundos de momentos repentinos de inspiração ou do brilhantismo de determinados pesquisadores, mas sim em metodologias que tenham como meta um processo de inovação contínuo. No contexto atual, em que se vive um processo de aprimoramento tecnológico constante, o tempo em que se efetua um processo inovador pode representar, no âmbito industrial, um maior grau de incerteza no sucesso de um produto e um maior risco no investimento, enquanto no âmbito acadêmico pode representar a obsolescência de uma linha de pesquisa (XIMENES, 2011.)

A criatividade, por sua vez, pode ser definida como

(...) a habilidade dos membros da equipe de ter ideias novas e úteis para resolver o problema proposto ou de sugerir soluções para a concepção de um novo produto. Produtos, processos, soluções de problemas e ideias criativas devem possuir as seguintes qualidades: apresentar novidade, ser única; ser útil ou apreciada e simples (BACK et al., 2008).

Para Romeiro Filho et al. (2010) a criatividade é “a capacidade humana de desenvolver novas formas, incluindo ideias ou objetos, representações artísticas ou científicas, além da concepção de ações e de técnicas”. Essa capacidade pode ser

cultivada e ampliada, de maneira a se tornar um elemento essencial na busca de soluções inovadoras para os mais diversos produtos.

Nas ciências aplicadas, como é o caso da engenharia, a criatividade pode ser ainda entendida como a capacidade de resolução de problemas não-triviais, isto é, problemas em que nem a solução, nem os meios de obtê-la podem ser claramente delineados (SOUZA, 2001).

Apesar do reconhecimento da capacidade criativa como um dos elementos primordiais no desenvolvimento de produtos inovadores e competitivos, por muito tempo ela tem sido vista como uma característica inata, exclusiva de certas pessoas. Com o passar do tempo, porém, notou-se que essa capacidade poderia sim ser desenvolvida e aprimorada, possibilitando aos indivíduos capacitados para tal a obtenção de soluções criativas (BASSETTO, 2004).

Segundo Souza (2001), a discussão a respeito dos mecanismos que permeiam o processo de criatividade é antiga, e várias têm sido as abordagens desenvolvidas, algumas priorizando os aspectos sociais envolvidos, outras os aspectos psicológicos, e ainda outras que, mais recentemente, têm se focado nos aspectos cognitivos. É interessante notar que a evolução do conceito de criatividade está intimamente ligada ao próprio contexto de evolução histórica da humanidade e, portanto, de seus aspectos sociais, culturais e tecnológicos.

Wallas¹ (1926) apud Kneller (1978) propõe a divisão do processo criativo em quatro etapas principais: preparação, incubação, inspiração e verificação. Na primeira etapa, efetua-se o processo de coleta de informações, nas mais variadas fontes possíveis relacionadas ao problema a ser solucionado. Após um período sem resultados concretos efetivos na solução do problema, passa-se à segunda etapa, onde se iniciará de fato o esforço intelectual de criação. Chega-se, então, à terceira etapa, em que a ideia surge na mente como resultado do material analisado na primeira etapa em conjunção com o processo de criação efetuado pelo inconsciente. Por fim, atinge-se a derradeira etapa, em que a ideia ou solução gerada pelo processo criativo deve ser verificada, com o objetivo de garantir sua validade prática para o problema em questão.

¹ WALLAS, G. **The art of thought**. New York: Harcourt, Brace and Company, 1926.

Back (1983), por sua vez, adota uma divisão em seis etapas: preparação, esforço concentrado, afastamento, visão, seleção de ideias e revisão. Na primeira delas, é feita a elaboração do problema e são buscadas informações e habilidades a ele relacionadas. Na segunda, busca-se a geração de ideias em quantidade, sem ainda serem estabelecidas restrições quanto à viabilidade e ao domínio de conhecimento. Com a terceira etapa, intenta-se uma alteração do enfoque dado ao problema por meio de um afastamento temporário do mesmo. A quarta etapa é um complemento da terceira, uma vez que permite um novo olhar para o problema após um afastamento temporário, possibilitando assim que novas soluções sejam encontradas a partir de novas perspectivas. Na quinta etapa, é realizada a seleção de ideias, considerando-se os pontos fortes e fracos de cada uma. Por fim, na sexta etapa, busca-se generalizar as soluções encontradas e submetê-las a avaliações ante as restrições do problema.

Em suma, pode-se dizer que vários têm sido os métodos desenvolvidos com o intuito de amparar e facilitar os projetistas no processo de criação de soluções inovadoras. Em geral, as características pessoais são consideradas importantes no processo criativo, entretanto, o conhecimento dos métodos de apoio a esse processo, bem como a capacitação dos projetistas em relação a esses métodos, tornam a atividade criativa mais eficiente e produtiva (BASSETTO, 2004).

Os métodos de criatividade são geralmente classificados em dois grupos principais: os métodos intuitivos e os métodos sistemáticos. Os métodos intuitivos estão relacionados com a imaginação, a inspiração, em que uma ideia ou conceito de solução viável pode surgir inopinadamente, por exemplo, em uma conversa informal ou em um momento de reflexão distante do problema. Os métodos sistemáticos, por sua vez, propõem procedimentos que visam facilitar o processo de geração de ideias e conceitos como, por exemplo, a divisão do problema em partes menores, a utilização de analogias entre diferentes áreas do conhecimento, ou mesmo uma base de dados de soluções previamente obtidas para problemas comuns ou similares (BASSETTO, 2004).

Dentre os métodos sistemáticos de criatividade, a TRIZ se apresenta como um conjunto de ferramentas que visa facilitar o processo de estruturação, definição e avaliação de problemas e de possíveis soluções, ou seja, como uma metodologia que propõe uma abordagem sistemática do processo criativo. Como pode ser

integrada a outras ferramentas e devido à sua característica intrínseca de multidisciplinaridade, a TRIZ surge como uma ferramenta de grande potencial na contribuição do processo de criação e inovação no ambiente de projeto das mais diversas áreas do conhecimento técnico (XIMENES, 2011).

2.3. TRIZ

A TRIZ (acrônimo em russo para *Teorija Rezhenija Izobretatel'skisch Zadach*), traduzida para o português como Teoria da Solução Inventiva de Problemas, é uma metodologia que começou a ser desenvolvida na década de 40 por Genrich S. Altshuller, na antiga União Soviética, com o intuito de se buscar alternativas mais eficientes para o processo de solução criativa de problemas e inovação.

Na atualidade, a metodologia se espalhou por mais de 35 países, sendo ensinada em diversas universidades e aplicada por um grande número de organizações, que encontraram nela um excelente meio de estimular o desenvolvimento de novos produtos (ILEVBARE, PROBERT E PHAAL, 2013).

Para desenvolver a TRIZ, Altshuller e sua equipe pesquisaram mais de 200.000 patentes de diversas áreas, buscando fazer um levantamento dos problemas inventivos encontrados pelos inventores e os meios pelos quais foram solucionados. Como resultado deste estudo, Altshuller notou que muitos pesquisadores conseguiram solucionar as contradições entre os requisitos de projeto do problema por meio de uma solução inventiva. A partir daí, surgiu a teoria para solução inventiva de problemas (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Como esclarecem Back et al. (2008), um problema inventivo é aquele cuja solução faz surgir novos problemas. Por sua vez, as soluções podem ser consideradas inventivas quando “são resolvidos problemas com parâmetros conflitantes ou contraditórios com o objetivo de obter considerável avanço na solução”.

Nesse contexto, surge a ideia da contradição técnica ou *trade-off*, de grande importância para a compreensão da TRIZ. Segundo Rodrigues et al. (2015), a contradição “representa um conflito, um compromisso ou um paradoxo entre dois requisitos mutuamente excludentes, de uma mesma característica de um elemento

ou sistema”. As contradições de projeto podem ser entendidas então como “requisitos conflitantes, com relação a um mesmo sistema técnico, que podem ser técnicas ou físicas”.

Como exemplo, pode ser citado o seguinte caso: o aumento da potência do motor de um automóvel causa um aumento do consumo de combustível, de modo que durante o processo de desenvolvimento de produto, os engenheiros se deparam com uma contradição técnica a ser solucionada. Assim, os projetistas são levados a assumir compromissos entre as características do problema, neste caso a potência do motor e o consumo de combustível, e acabam não alcançando a solução ideal para o problema, isto é, um automóvel com maior potência e menor consumo. O que Altshuller percebeu em sua pesquisa é que a maioria dos pesquisadores conseguiu superar essas contradições por meio das chamadas soluções inventivas (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Dessa maneira, após uma extensa pesquisa nos bancos de patentes, Altshuller apud Mazur (1995) classificou as soluções nelas encontradas em cinco níveis distintos de inventividade:

1. Solução aparente: problemas de projeto frequentes, resolvidos com o auxílio de métodos bem conhecidos dentro de sua especialidade, sem necessidade de invenção. Correspondia a 32% das patentes pesquisadas.
2. Melhoria reduzida: pequenas melhorias de um sistema existente, por meio de métodos conhecidos dentro da indústria, com algum nível de compromisso. Cerca de 45% das patentes pesquisadas se enquadravam neste nível.
3. Melhoria significativa: melhorias fundamentais de sistemas existentes, utilizando-se de métodos de fora da própria indústria, com a resolução de contradições. Englobava em torno de 18% das patentes analisadas.
4. Novo conceito: novas soluções, usando novos princípios para desempenhar as funções do sistema. Mais encontradas nas ciências básicas que na área tecnológica. Envolvia 4% das patentes estudadas.
5. Descoberta: raras descobertas científicas ou invenção de um novo sistema. Compreendia apenas 1% das patentes.

A TRIZ pode então ser considerada como uma heurística obtida a partir da generalização ou agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de sistemas técnicos das mais diversas áreas, tendo como base os bancos de patentes (RODRIGUES et al., 2015). Essa própria definição ressalta um dos grandes benefícios da metodologia, que consiste na possibilidade de busca de soluções para um problema inventivo em outros campos do conhecimento que não aqueles habitualmente utilizados pela equipe de projeto.

A partir, então, da análise das soluções inventivas presentes nas patentes, Altshuller pôde notar que alguns princípios eram frequentemente utilizados na obtenção dessas soluções, aos quais ele denominou Princípios Inventivos (PI's). Esses princípios correspondem a um grupo de 40 orientações ou sugestões de procedimentos para a obtenção de soluções inventivas para um problema de projeto, e são apresentados na Tabela 1. É importante ressaltar que como os termos originais estão em russo, podem ser encontradas algumas diferenças nas traduções presentes na literatura. O Anexo B traz maiores detalhes sobre a definição de cada um desses princípios, inclusive com exemplos que ilustram sua aplicação. Scanlan (s. d.) também lista um bom número de aplicações práticas para cada um dos PI's.

Além disso, foi também constatado que as soluções encontradas nas patentes pesquisadas apresentavam modificações ou melhorias em conjuntos específicos de parâmetros, que foram denominados Parâmetros de Engenharia (PE's). Esses parâmetros correspondem a 39 grandezas genéricas envolvidas em problemas técnicos das mais diversas áreas, e são listados na Tabela 2. Mais uma vez, como os termos originais estão em russo, algumas diferenças podem ser encontradas nas traduções presentes na literatura. Maiores informações sobre a definição de cada um desses parâmetros são apresentadas no Anexo C.

Tabela 1– Lista de Princípios Inventivos estabelecidos pela TRIZ. Adaptado de Altshuller (1999).

40 Princípios Inventivos	
1. Segmentação ou fragmentação	2. Remoção ou extração
3. Qualidade localizada	4. Assimetria
5. Consolidação	6. Universalização
7. Aninhamento	8. Contrapeso
9. Compensação prévia	10. Ação prévia
11. Amortecimento prévio	12. Equipotencialidade
13. Inversão	14. Recurvação
15. Dinamização	16. Ação parcial ou excessiva
17. Transição para nova dimensão	18. Vibração mecânica
19. Ação periódica	20. Continuidade da ação útil
21. Aceleração	22. Transformação de prejuízo em lucro
23. Retroalimentação	24. Mediação
25. Autosserviço	26. Cópia
27. Uso e descarte	28. Substituição de meios mecânicos
29. Construção pneumática ou hidráulica	30. Uso de filmes finos e membranas flexíveis
31. Uso de materiais porosos	32. Mudança de cor
33. Homogeneização	34. Descarte e regeneração
35. Mudança de parâmetros e propriedades	36. Mudança de fase
37. Expansão térmica	38. Uso de oxidantes fortes
39. Uso de atmosferas inertes	40. Uso de materiais compostos

Tabela 2 – Lista de Parâmetros de Engenharia estabelecidos pela TRIZ. Adaptado de Altshuller (1999).

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

Dessa maneira, pode-se compreender que os PI's são propostas de solução inventiva para contradições técnicas definidas em termos de dois PE's conflitantes,

isto é, em que a melhoria de um parâmetro acarreta um prejuízo ao outro, e vice-versa. A TRIZ estabelece então a chamada Matriz de Contradições (MC), que se trata de uma matriz quadrada de dimensão 39x39, que apresenta, tanto em sua primeira linha como em sua primeira coluna, os 39 PE's, abarcando dessa maneira todas as possíveis contradições entre pares desses parâmetros.

Nas linhas da matriz, são colocados os PE's a serem melhorados, enquanto nas colunas são dispostos aqueles que, por consequência, sofrerão algum tipo de perda. Para cada uma dessas contradições técnicas, a MC sugere um grupo de PI's mais indicados para a obtenção de uma solução inventiva naquele caso, tendo como referência as soluções análogas adotadas por inventores em suas patentes. A Figura 5 apresenta um recorte da MC estabelecida pela TRIZ. A matriz completa pode ser encontrada no Anexo D.

		PE's							
		<div> <div>Resultado Indesejado(Conflito)</div> <div>Parâmetro a melhorar</div> </div>							
No		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Peso do objeto em movimento	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28	
2	Peso do objeto parado		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2
3	Comprimento do objeto em movimento	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35	
4	Comprimento do objeto parado		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14
5	Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4	
6	Área do objeto parado		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+		

Figura 5 – Recorte da Matriz de Contradições estabelecida pela TRIZ. Adaptado de InnoSupport (s. d.)

Uma vez compreendidos esses conceitos, pode-se enfim entender a metodologia de funcionamento da TRIZ. Como esclarece Romeiro Filho et al. (2010), são quatros os passos principais para sua aplicação:

1. **Identificar o problema de projeto:** entender o problema a ser solucionado e, principalmente, identificar os requisitos de projeto;

2. **Formular o problema sob a abordagem da TRIZ:** descrever o problema em termos de contradições de projeto. Neste caso, a utilização das correlações negativas do telhado do QFD pode ser de grande valia;
3. **Determinar os parâmetros de engenharia:** associar os requisitos de projeto em contradição aos parâmetros de engenharia da TRIZ, identificando aqueles que deverão ser melhorados e aqueles que sofrerão algum tipo de prejuízo;
4. **Buscar uma solução análoga e adaptá-la ao problema de projeto:** buscar uma solução análoga com a utilização da matriz de contradições e adaptá-la ao problema de projeto.

Desse modo, o princípio geral de funcionamento da TRIZ se dá pela transformação de um problema específico em um problema genérico, por meio da utilização dos 39 PE's. A partir daí, busca-se uma solução genérica análoga para o problema, com o auxílio da MC e dos 40 PI's estabelecidos pela metodologia. Por fim, essa solução genérica é adaptada ao problema específico em questão (CHAOQUN, 2010).

Em suma, pode-se dizer que a TRIZ descontextualiza o problema a ser solucionado, em busca de soluções análogas oriundas de contextos diversos, para posteriormente contextualizar a solução escolhida ao problema em análise. Esse processo pode ser melhor entendido com o auxílio do esquema da Figura 6.

Figura 6 – Princípio geral de funcionamento da TRIZ.

A partir do que foi visto, pode-se compreender melhor as premissas fundamentais da TRIZ, como apresentadas por Romeiro Filho et al. (2010):

1. Ser sistemática, apresentando os procedimentos passo a passo;
2. Ser um guia, sem restringir o espaço de busca da solução ideal;
3. Apresentar repetibilidade, confiabilidade e não depender de ferramentas psicológicas;
4. Permitir o acesso ao corpo de conhecimento inventivo;
5. Permitir adicionar ao corpo de conhecimento inventivo;
6. Ser familiar o bastante para os inventores.

Como se sabe, o processo de desenvolvimento de produtos é, em essência, um processo de solução de problemas, já que o próprio produto nada mais é do que uma solução para um problema apresentado pelo cliente. Várias são as abordagens que podem ser aplicadas neste processo de solução de problemas. No entanto, metodologias baseadas na solução de contradições, como é o caso da TRIZ, têm sido cada vez mais utilizadas, devido à sua praticidade, eficiência e custo reduzido perante as demais abordagens de maneira geral (CARVALHO, BACK e OGLIARI, 2005).

Cabe ressaltar, entretanto, como destacam Ilevbare, Probert e Phaal (2013), que a TRIZ não tem ainda um padrão bem definido e aceito para sua aplicação, e que sua compreensão e utilização demanda um esforço significativo, apresentando muitas vezes uma natureza enigmática. Seus benefícios, porém, não podem ser desprezados e são largamente aceitos. Uma organização que intente vencer suas barreiras de inovação e permanecer competitiva, deve considerar o investimento de recursos e tempo no entendimento desta metodologia e em sua aplicação às estratégias e processos organizacionais.

2.4. QFD

O QFD (*Quality Function Deployment*), ou Desdobramento da Função Qualidade, é uma das ferramentas voltadas para a garantia da qualidade de projeto, criada na década de 60 pelo japonês Yoji Akao, que tem como objetivo principal permitir que a equipe de desenvolvimento do produto incorpore as reais necessidades do cliente em seus projetos de melhoria. Trata-se de uma ferramenta

de planejamento, comunicação e desenvolvimento, que possibilita “ouvir” a voz do cliente e ordená-la de modo a facilitar a análise de suas necessidades.

Em seu trabalho, Akao (1990) ressalta que o processo de inovação tecnológico, aliado às mudanças das necessidades dos consumidores, tem levado as empresas à constatação de que o investimento no desenvolvimento de novos produtos é fundamental para que sejam bem-sucedidas em um mercado tão dinâmico e concorrido como o da atualidade.

O desdobramento da função qualidade tem, portanto, como objetivo principal, o auxílio ao processo de desenvolvimento de produtos, por meio de métodos e práticas que visam garantir a qualidade do produto em cada etapa de seu desenvolvimento. Com uma abordagem focada na satisfação do usuário, o QFD busca traduzir os requisitos dos usuários em requisitos técnicos e garantias de qualidade a serem observados e avaliados ao longo do processo de desenvolvimento (AKAO, 1990).

O QFD pode ser entendido como um mapa conceitual, cujo objetivo é o de permitir um planejamento interfuncional e comunicativo entre as áreas responsáveis pelo desenvolvimento de produto, como marketing, engenharia e fabricação. Trata-se de uma ferramenta que permite a tradução das vontades dos clientes, geralmente abstratas, em metas de projeto bem definidas, de característica quantitativa. Assim, o QFD seria uma ferramenta que busca assegurar a qualidade do produto ainda na fase de projeto, e sua implementação seria um marco na empresa, definindo uma mudança do controle de qualidade apenas no processo de fabricação para o controle de qualidade já na etapa de desenvolvimento de produto (FORCELLINI, 2002).

Podem ser destacadas ainda as seguintes contribuições do QFD: tornar efetivo o uso de métodos sistemáticos para o desenvolvimento de produtos; propiciar a solução de problemas pelo trabalho em equipe; tornar a atividade em grupo mais eficiente; e capacitar o grupo com ferramentas mais simples e práticas (BACK et al., 2008).

Cheng e Melo Filho (2010) classificam diferentes tipos de modelos conceituais do QFD, como por exemplo: *natureza do produto* (tangíveis e intangíveis); *tipo de*

interface do usuário (direto, indireto e híbrido); *tipo de especificação* (com ou sem especificações prévias); *grau de inovação* (novo paradigma; novo para a empresa; adição de uma nova linha, produto ou plataforma; reposicionamento de mercado; redução de custos); *tipo de processo de fabricação* (processos contínuos; processos discretos – montagem; fabricação; prestação de serviços e processos digitais: reprodução, download); *etapas do ciclo de desenvolvimento de novos produtos* (identificação das necessidades do cliente; desenvolvimento e teste de conceito; projeto básico; projeto detalhado do produto e preparação para a produção).

Na classificação citada, o tipo de produto deve apresentar um conjunto de características, de acordo com sua finalidade:

- Bens industriais (bens físicos, tangíveis): automóveis; aeronaves; processamento de derivados de petróleo e processamento de papéis, processamento de alimentos, e também uma subclassificação em bens de consumo (vestuário, eletrodomésticos, acessórios automotivos e utilidades de mesa);
- Serviços (intangíveis): serviços em geral (curso, educação, consultorias, área de saúde, restaurantes);
- Digitais (intangíveis): desenvolvimento de softwares e sites da rede Internet.

De maneira simplificada, pode-se dizer que o método se utiliza de uma ou mais matrizes para relacionar grupos distintos de informações. Nesse contexto, várias são as abordagens relacionadas à estruturação ou modelo conceitual de aplicação das matrizes do QFD. Uma das classificações mais citadas na literatura pertinente é o desdobramento de quatro matrizes principais, apresentadas na Figura 7, que podem ou não ser complementadas com matrizes auxiliares. A classificação apresentada por Cheng e Melo Filho (2010) tem como objetivo auxiliar no processo de escolha dessas matrizes.

Figura 7 – Desdobramentos de matrizes no QFD. Adaptado de Rodrigues et al. (2015).

Na matriz 1, também conhecida como casa da qualidade, ocorre o planejamento do produto, com a função principal de transformar as necessidades do cliente em especificações de desempenho, além da realização de uma análise da concorrência. Na matriz 2, ocorre o desdobramento das características de engenharia, por meio da tradução destas últimas para características de desempenho. Na matriz 3, ocorre o desdobramento das especificações de engenharia em características de qualidade do processo. Por fim, na matriz 4, são apresentadas as orientações para o processo operacional, a fim de se garantir a obtenção das metas estabelecidas nas demais matrizes (RODRIGUES et al., 2015).

A chamada Casa da Qualidade (CQ), ou *House of Quality* (HOQ), relaciona os requisitos dos clientes às características do produto e é a mais comum nas aplicações do QFD, sendo o ponto de partida para o desdobramento da qualidade no desenvolvimento do novo produto. É importante ressaltar que as características do produto, obtidas a partir da tradução da voz do cliente, devem ser preferencialmente grandezas mensuráveis, como lembram Romeiro Filho et al. (2010). A Figura 8 traz um esquema da matriz da Casa da Qualidade e de seus principais elementos.

Figura 8 – Matriz da Casa da Qualidade e seus elementos. Back et al. (2008).

No campo IV da Figura 8, comumente denominado matriz de relações ou de relacionamentos, é efetuada uma análise das relações existentes entre os requisitos dos usuários e as características de engenharia, estabelecendo-se, para cada uma dessas relações, indicadores que caracterizam sua intensidade. De acordo com Romeiro Filho et al. (2010), geralmente são utilizados indicadores derivados de uma escala exponencial, sendo eles: 9 (forte), 3 (média), 1 (fraca), 0 (inexistente ou desprezível).

Essa escala foi primeiro estabelecida por Clausing (1994). A principal razão para a utilização de uma escala não linear (geométrica) como essa se deve à sua tendência de enfatizar a relevância das características mais importantes. É também chamada de escala não compensatória, pois $1 + 3$ não podem compensar um 9 (CLAUSING, s. d.).

No campo VI, denominado matriz de correlações, e também conhecido como “telhado” da Casa da Qualidade, são estabelecidas as relações entre as características de engenharia, buscando definir o compromisso existente entre cada uma delas, isto é, como a alteração de uma influenciará na outra. De maneira geral, são quatro as possíveis relações utilizadas: fortemente negativa, negativa, positiva e fortemente positiva.

Maiores detalhes sobre a montagem destes e dos demais campos da matriz da Casa da Qualidade serão apresentados a partir da Seção 4.3 deste trabalho. No entanto, Clausing (1994) apud Rodrigues et al. (2015) estabelece as seguintes etapas principais para esse processo:

1. **Determinação dos requisitos técnicos:** tradução dos requisitos do cliente em requisitos técnicos;
2. **Desenvolvimento das expectativas do produto:** definição da função do produto, de suas características, dos custos envolvidos, do mercado alvo e da estratégia de venda;
3. **Determinação dos requisitos técnicos:** estabelecimento dos requisitos técnicos. Para cada requisito do usuário deve haver pelo menos um requisito técnico relacionado;
4. **Relacionamento da voz do cliente (requisitos dos clientes) com a voz da engenharia:** elaboração da matriz de relação entre os requisitos do cliente e os requisitos técnicos, atribuindo a essas relações um indicador do grau da relação. Geralmente, são utilizados os seguintes valores indicativos da relação: 9 (forte), 3 (média), 1 (fraca) e 0 (inexistente);
5. **Percepção do consumidor:** avaliação competitiva dos consumidores (*benchmarking*) e estabelecimento dos pesos para os requisitos dos usuários;
6. **Avaliação dos concorrentes:** avaliação dos concorrentes para o estabelecimento de metas de melhoria para o produto;
7. **Correlação dos requisitos de projeto:** estabelecimento das correlações entre os requisitos de projeto no telhado da matriz.

Geralmente, são utilizadas as seguintes correlações: forte negativa, negativa, positiva e forte positiva;

8. **Planejamento:** cálculo da importância dos requisitos dos usuários e dos requisitos de projeto;
9. **Determinação das metas de projeto:** definição das metas/objetivos da qualidade planejada (características de projeto) em relação à qualidade exigida (características do cliente).

A Figura 9 traz um exemplo do desdobramento da matriz da Casa da Qualidade para o caso de um escorredor de louça.

Figura 9 – Exemplo de desdobramento da Casa da Qualidade. Rodrigues et al. (2015).

Segundo Rodrigues et al. (2015), cada requisito do usuário deve ter uma relação forte com pelo menos um dos parâmetros técnicos do produto. Além disso, deve-se evitar a geração de uma matriz com um número excessivo de relações, uma vez que isso viria a dificultar a real identificação das necessidades do usuário.

Akao (1990) afirma que um erro comum é a utilização de itens demasiadamente técnicos no lado esquerdo da matriz, fruto de uma visão orientada para produção, quando é de suma importância para o bom funcionamento do método que a conversão do lado esquerdo da matriz para o topo seja efetivamente uma conversão que parte do contexto do usuário para o do engenheiro. Outro erro frequente consiste na criação de uma matriz excessivamente grande, quando a tarefa de priorização é uma das mais importantes dentro do QFD.

Como resultado final desta matriz são obtidos os pesos absolutos e relativos das características de qualidade do produto, que serão de grande valia para a tomada de decisões por parte da equipe de projeto sobre quais serão as características priorizadas no desenvolvimento do produto. É preciso frisar, entretanto, que essas decisões não devem ser pautadas apenas nestes valores, mas também na comparação do produto da empresa com os produtos concorrentes. Assim se estabelece a qualidade projetada, isto é, aquela que deverá ser adotada e perseguida no projeto (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Para Rodrigues et al. (2015), a utilização do método do QFD no desenvolvimento de novos produtos oferece as seguintes vantagens:

- Redução do ciclo de desenvolvimento do produto e lançamento de novos produtos em períodos mais reduzidos;
- Redução dos problemas com reprojeção e retrabalho, bem como facilitação dos processos de montagem e fabricação;
- Identificação das funções críticas do produto;
- Definição das exigências técnicas críticas e identificação dos componentes críticos;
- Melhoria da qualidade do produto;
- Aumento da satisfação do cliente;

- Promoção do trabalho em equipe, com uma visão mais sistêmica da organização;
- Permissão do acúmulo e registro de informações tecnológicas.

Forcellini (2002), por sua vez, lista vantagens semelhantes da utilização do QFD no desenvolvimento de produtos, porém com um caráter mais quantitativo em alguns casos:

- Redução do número de mudanças efetuadas no projeto na faixa de 30% a 50%;
- Ciclo total de projeto reduzido em torno de 30% a 50%;
- Custos iniciais de operação reduzidos na ordem de 20% a 60%;
- Redução de reclamações relacionadas à garantia do produto, da ordem de 50% ou mais;
- Planejamento mais estável da garantia de qualidade;
- Favorecimento do processo de comunicação entre os diferentes agentes atuantes no desenvolvimento do produto, em especial entre o marketing e a engenharia;
- Facilitação na compreensão das vontades e necessidades dos clientes, muitas vezes vagas e não mensuráveis, e tradução dessas em características técnicas e mensuráveis;
- Identificação das características mais relevantes para os atributos de qualidade;
- Possibilidade de identificação das características que deverão ser mais valorizadas no processo de projeto.

Por meio da utilização da metodologia QFD para a definição das contradições técnicas a serem solucionadas, facilita-se também o processo de utilização da TRIZ, uma vez que as contradições já estão praticamente determinadas, sendo necessária apenas uma tradução das contradições obtidas no telhado da Casa da Qualidade para contradições baseadas nos Parâmetros de Engenharia da TRIZ. Desse modo, torna-se possível ao projetista a utilização da Matriz de Contradições para a obtenção de Princípios Inventivos que possam vir a ser aplicados na solução dos problemas de projeto. É importante destacar ainda que, mesmo que representem dificuldades a serem solucionadas durante o projeto, as contradições podem ser

vistas também, em especial sob a ótica da TRIZ, como uma oportunidade de inovação (CARVALHO, BACK e OGLIARI, 2005).

Com esse mesmo objetivo de integração entre o QFD e a TRIZ, Chaoqun (2010) propõe um método sistemático que busca relacionar a matriz de correlações da Casa da Qualidade do QFD com a matriz de contradições da TRIZ. Com isso, torna-se possível a transformação das correlações negativas entre dois parâmetros técnicos do telhado da matriz do QFD em contradições técnicas estabelecidas entre dois PE's da TRIZ. Por meio desse processo, o projetista pode acessar as informações da TRIZ para solucionar as contradições técnicas de projeto, oriundas dos requisitos dos usuários e das características de qualidade do QFD. Esse procedimento pode ser melhor compreendido por meio do esquema da Figura 10.

Figura 10 – Procedimento de integração entre o QFD e a TRIZ. Adaptado de Chaoqun (2010).

2.5. TECNOLOGIA ASSISTIVA

A tecnologia assistiva pode ser definida como

[...] 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).

Por sua vez, um dispositivo de tecnologia assistiva é “qualquer item, peça de equipamento ou sistema de produto, que pode ser adquirido comercialmente, modificado ou customizado, e que é usado para aumentar, manter ou melhorar a capacidade funcional de indivíduos com deficiência” (USA, 1998, tradução nossa).

O decreto nº 3.298/99 define o uso do termo “ajudas técnicas” como elementos que compensam limitações funcionais de pessoas com deficiência (física, intelectual e/ou sensorial) visando ultrapassar os obstáculos em relação à mobilidade e a comunicação dessas pessoas, com perspectivas de inclusão social (BRASIL, 1999).

Do ponto de vista da metodologia de projeto, pode-se definir um dispositivo de tecnologia assistiva como um sistema mecânico ou mecatrônico que melhore, compense, substitua, aumente ou restaure alguma função fisiológica-física inabilitada.

Cook e Polgar (2007) propõem um esquema, apresentado na Figura 11, que representa a estrutura do campo da tecnologia assistiva na atualidade, ressaltando que este termo deve ser utilizado para se referir a uma ampla gama de dispositivos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas no intuito de atenuar as dificuldades e problemas enfrentados por pessoas com algum tipo de deficiência.

Figura 11 – Estrutura do campo da tecnologia assistiva. Adaptado de Cook e Polgar (2007).

Na ausência de um usuário final que irá se beneficiar da tecnologia assistiva ou na falta de um sistema de distribuição adequado que faça com que esta tecnologia possa de fato chegar até aqueles que dela necessitam, todos os componentes presentes na Figura 11 seriam ineficientes, e mesmo desnecessários. Esta a razão pela qual o consumidor e os serviços diretos a ele relacionados ocupam a posição central do esquema, embora não deixe de estar envolvido também em todos os demais aspectos da tecnologia assistiva relacionados na Figura 11 (COOK e POLGAR, 2007).

Ainda de acordo com Cook e Polgar (2007), os componentes apresentados no esquema da Figura 11 podem ser sumariamente definidos da seguinte maneira:

- **Serviços diretos:** neste componente é feita a identificação da necessidade do consumidor em relação à tecnologia assistiva, além das etapas seguintes de avaliação, recomendação e, por fim, implementação da tecnologia adequada;
- **Consumidor:** neste contexto, o consumidor é entendido primeiramente como o beneficiário da tecnologia assistiva, isto é, como o seu usuário final. Tendo isto em vista, todos os demais componentes da indústria

em questão devem estar direcionados para a figura do consumidor, suas necessidades e seus requisitos na utilização dos serviços e produtos fornecidos pela tecnologia assistiva. É importante, porém, que o consumidor não seja visto apenas como um destinatário dessa tecnologia, mas sim como um elemento ativo e participante dos demais componentes da indústria relacionada;

- **Pesquisa básica:** este componente é responsável pela geração de conhecimento no âmbito da tecnologia assistiva. Assim, por meio de pesquisas de fenômenos físicos e biológicos de interesse, busca-se a verificação de hipóteses e as respostas fundamentais para uma aplicação bem-sucedida da tecnologia assistiva. Os resultados deste tipo de pesquisa não são previamente conhecidos, apesar da proposição de hipóteses, mas são fundamentais para o projeto e desenvolvimento de novas tecnologias na área;
- **Pesquisa aplicada:** no contexto da tecnologia assistiva, a distinção entre a pesquisa básica e aplicada é algo mais clara do que nas demais áreas, e pode ser dividida em quatro categorias principais: (I) teste de desempenho de dispositivos sob condições de operação variadas; (II) desenvolvimento de novos dispositivos a partir de uma necessidade clínica, de uma constatação proveniente da pesquisa básica, ou de ambas; (III) pesquisa envolvendo a utilização de tecnologias assistivas por pessoas com deficiência; e (IV) pesquisas com o intuito de se desenvolver novas técnicas de avaliação e treinamento, ou novos materiais. A pesquisa aplicada pode ser realizada na universidade ou na indústria, e tem como objetivo a produção de um protótipo, que deverá ser avaliado e testado pelo consumidor;
- **Desenvolvimento de produto:** este componente está relacionado com o processo de projeto e engenharia que deve ser aplicado ao protótipo desenvolvido nas etapas anteriores para transformá-lo em um produto passível de ser fabricado, ainda que em pequena escala, e testado pelos possíveis usuários finais. Neste processo de teste do produto pelos usuários potenciais, são obtidas informações essenciais, tais como: (I) identificação do maior número possível de potenciais falhas

do produto; (II) geração da documentação do produto, como por exemplo o manual do usuário; e (III) identificação da população alvo da maneira mais precisa possível, por meio da avaliação por uma variedade de usuários com deficiência. É importante ressaltar que o desenvolvimento de produtos na indústria da tecnologia assistiva é, em geral, mais lento do que nas demais áreas, justamente pela característica de especificidade de cada novo produto;

- **Manufatura:** neste componente, por meio do estudo e da aplicação das técnicas de produção, o protótipo funcional de um dispositivo de tecnologia assistiva é transformado em um produto que pode ser produzido em maior escala. Vale destacar, no entanto, que o mercado da tecnologia assistiva é extremamente amplo, devido à enorme variedade de deficiências e seus respectivos efeitos, o que faz com que sejam raras as vezes em que um dispositivo possa atender a um grande número de usuários. Por este motivo, os volumes de produção são geralmente pequenos, o que ocasiona um aumento dos custos de produção e, por conseguinte, dos preços dos produtos;
- **Informação e encaminhamento:** este componente é o responsável por um fator de fundamental importância no contexto da tecnologia assistiva, tanto para o consumidor ou usuário final, como também para os fornecedores: a capacidade de se veicular ou de se obter informações relacionadas à tecnologia assistiva de maneira prática e confiável. Tendo em vista o contexto tecnológico atual, onde é possível a obtenção de uma vasta quantidade de informação de maneira tão fácil e rápida, torna-se muito importante a avaliação e o controle no que se refere à qualidade e à precisão dessa informação;
- **Educação e treinamento:** com o crescimento da indústria da tecnologia assistiva, cresceu também a gama de dispositivos e serviços destinados a indivíduos com algum tipo de deficiência. Tornou-se necessária, então, a capacitação de profissionais, oriundos tanto de áreas clínicas como técnicas, de modo a promover a distribuição e a utilização desses serviços e produtos de maneira adequada. Assim, é

cada vez maior o número de profissionais que adentram seus campos de atuação com algum tipo de treinamento ou capacitação prévio em tecnologia assistiva. Esse fato trará consigo consequências muito benéficas para esta área, como o aumento da eficácia das tecnologias e de seu impacto na vida dos usuários, além do desenvolvimento de produtos novos e inovadores.

Por outro lado, com relação às categorias de produtos relacionados à tecnologia assistiva, Bersch (2013) propõe a seguinte divisão:

1. Auxílios para a vida diária e vida prática: nesta categoria são inseridos materiais ou produtos que, de algum modo, favoreçam a autonomia e a independência do indivíduo em tarefas cotidianas e rotineiras, ou que facilitem o cuidado de pessoas que dependam de auxílio, em atividades como alimentar-se, vestir-se, tomar banho, entre outras necessidades pessoais básicas;
2. Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA): dispositivos e tecnologias destinados a atender indivíduos com ausência de fala ou escrita funcional, ou com algum tipo de defasagem entre a capacidade de expressão, por meio da fala ou da escrita, e a necessidade comunicativa;
3. Recursos de acessibilidade ao computador: consiste no conjunto de hardware e software desenvolvidos para tornar a utilização do computador mais acessível aos indivíduos que apresentem algum tipo de privação sensorial (visual e/ou auditiva), intelectual e motora;
4. Sistemas de controle ambiente: conjunto de dispositivos e tecnologias que permitem a pessoas com limitações motoras controlar remotamente, de maneira direta ou indireta, atividades como ligar/desligar luzes, televisores, ventiladores, som, abrir/fechar janelas e portas, acionar sistemas de segurança, entre outras. As chamadas casas inteligentes são um exemplo desse tipo de sistema, cujo objetivo principal é o de proporcionar uma maior independência no lar, além de auxiliar na educação, na proteção e no cuidado de pessoas que necessitam de cuidados especiais;
5. Projetos arquitetônicos para acessibilidade: consiste em projetos urbanísticos e de edificações que visem a garantia de acesso,

funcionalidade e mobilidade a todas as pessoas, independentemente de sua condição física e sensorial. Enquadram-se, portanto, nessa categoria, os projetos de adaptações estruturais ou mobiliárias como rampas, elevadores, adaptações em banheiros, entre outras;

6. Órteses e próteses: enquanto as próteses podem ser definidas como peças artificiais que têm como função substituir alguma parte ausente do corpo, as órteses são caracterizadas por terem a função de garantir um melhor posicionamento, estabilização ou funcionamento junto a um determinado segmento do corpo;
7. Adequação postural: a categoria da adequação postural está relacionada a projetos que tenham como objetivo a utilização de recursos que proporcionem posturas alinhadas, estáveis e confortáveis, com uma boa distribuição do peso corporal do paciente. O processo de adequação da postura é de fundamental importância para que o indivíduo possa apresentar um bom desempenho na execução de suas tarefas e funções;
8. Auxílios de mobilidade: nesta categoria podem ser inseridos instrumentos e dispositivos que tenham como intuito principal a facilitação da mobilidade do indivíduo como, por exemplo, muletas, andadores, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, entre outros;
9. Auxílios para qualificação da habilidade visual e recursos que ampliam a informação a pessoas com baixa visão ou cegas: enquadram-se nesta categoria as lentes, lupas manuais ou eletrônicas, material gráfico com texturas e relevos, mapas e gráficos táteis, entre outros;
10. Auxílios para pessoas com surdez ou com déficit auditivo: podem ser incluídos nesta categoria os aparelhos para surdez, os telefones com teclado-teletipo, celulares com mensagens e chamadas por vibração, os sistemas de legendas, livros e textos digitais em língua de sinais, entre outros;
11. Mobilidade em veículos: esta categoria é constituída por acessórios que possibilitem a uma pessoa com algum tipo de deficiência física dirigir um automóvel. Assim, podem ser contados na mesma os facilitadores de

embarque e desembarque como os elevadores, as rampas para cadeira de rodas, as adaptações internas do veículo, entre outros;

12. Esporte e lazer: categoria caracterizada por incluir recursos, dispositivos e instrumentos que objetivam favorecer a prática esportiva e as atividades de lazer por parte de indivíduos com algum tipo de deficiência.

A tecnologia assistiva é, portanto, um campo de grande importância na reabilitação funcional de indivíduos, uma vez que propicia meios de promoção da independência e da autonomia daqueles com algum tipo de deficiência e incapacidade temporária ou permanente. A pesquisa nesta área tem crescido significativamente, o que justifica a busca por estudos aplicados, especialmente aqueles vinculados à engenharia, visando maior conhecimento de indicação, prescrição e inovação deste campo no processo de reabilitação.

2.6. MANUFATURA ADITIVA

Pode-se destacar três principais meios de fabricação de produtos: a manufatura subtrativa, fundamentada na extração de material, como ocorre no processo de usinagem; a manufatura transformativa, cuja base é a transformação do material para a obtenção do produto final, como por exemplo o processo de conformação; e a manufatura aditiva (MA), na qual o produto é obtido por meio da adição de material, como no caso do processo de impressão 3D.

Dentre estes três meios, a utilização da manufatura aditiva para geração de peças nos mais variados segmentos produtivos e de serviços tem tido significativo crescimento nos últimos anos. As principais indústrias usuárias desta tecnologia são: aeroespacial, automotiva e processamento de plásticos, embora existam aplicações crescentes de MA para a geração de componentes personalizados, tais como próteses, joias e implantes dentários (WOHLERS, 2015). A Figura 12 relaciona as principais aplicações da MA na atualidade.

Figura 12 – Áreas de aplicação da manufatura aditiva. Adaptado de Wohlers (2015).

Segundo a norma ASTM F2792-12a, a manufatura aditiva pode ser definida como o “processo de união de materiais para produção de objetos a partir de dados de modelos 3D, usualmente camada sobre camada, em oposição às metodologias de manufatura subtrativa” (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2012, tradução nossa).

Os processos de MA podem ser classificados pelo tipo de matéria-prima e pela maneira de deposição para a geração do objeto. De acordo com Luo et al. (2002) e Gibson, Rosen e Stucker (2010), os principais processos (físicos e químicos) podem ser classificados de acordo com a natureza da matéria-prima da seguinte maneira:

- Materiais líquidos (resinas fotossensíveis: acrílicas e elastoméricas):
 - Laser UV ou laser de estado sólido (SLA);
 - Luz visível (DPS);
 - Máscara negativa (SGC);
 - Mix de processos – jato de resina e cura por UV (Objet 3D).
- Materiais sólidos (termoplásticos, madeira, papel, acrílico):
 - Extrusão por temperatura em bicos de diâmetros calibrados (FDM, MJM);
 - Folhas de material depositadas e cortadas por efeito de faca ou laser (LOM, StratoConception, PLT).

- Materiais em pó (cerâmico, plástico, metal, elastômero):
 - Sinterização (SLS, DMLS, ...);
 - Fusão (LENS, EBM, ...);
 - Aglutinação com material líquido (3DP).

No caso da tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*), utilizada neste trabalho, o objeto é construído por meio da deposição de um material extrudado. O cabeçote de extrusão movimenta-se nos eixos X e Y sobre uma mesa de construção que se desloca no eixo Z e recebe continuamente o material na forma de fio, aquecido até o ponto semilíquido ou pastoso. O próprio filamento é responsável por empurrar o restante do material através do bico de extrusão. Uma vez em contato com a superfície da peça, o material se solidifica, aderindo à camada anterior. A mesa então se desloca para a deposição da camada seguinte e o processo se repete até que a peça seja concluída. Dentre os materiais atualmente utilizados neste processo podem-se destacar: cera, poliéster, ABS, ABSi (material esterelizável), polifenilsulfona (PPSF), PLA e PC (VOLPATO et al., 2007).

A Figura 13 apresenta uma ilustração esquemática do processo de FDM.

Figura 13 – Ilustração esquemática do processo de FDM. Adaptado de Custompartnet (2008).

Como esclarecem Volpato et al. (2007), na tecnologia FDM é necessária a criação de estruturas que darão suporte à construção de partes da peça que se encontram em balanço, e por esse motivo não suficientemente ancoradas. Sem tais estruturas de suporte, não seria possível a construção da peça. O material de suporte pode ser inserido de duas maneiras diferentes, cada uma com sua respectiva maneira de remoção após o processo. Em um dos casos, o material de suporte é mais frágil que o da peça, facilitando a remoção manual ao final do processo. No outro caso, o material de suporte é removido por meio da imersão em solução líquida.

Na Figura 14, são apresentados alguns dos modelos comerciais de impressoras 3D que utilizam a tecnologia FDM.

Figura 14 – Modelos comerciais de impressoras 3D, baseados na tecnologia FDM, de baixo custo e de aplicação industrial, respectivamente: (a) 3D Cloner DH® (3DCLONER, 2014). e (b) Stratasys Fortus 900mc® (STRATASYS, 2015).

Dentre as vantagens do processo de FDM, Volpato et al. (2007) destacam:

- Permite a fabricação de peças que podem, em alguns casos, ser utilizadas em testes funcionais, apresentando uma boa resistência mecânica quando comparadas a peças obtidas pelo processo de injeção com o mesmo material;

- Não requer pós-cura dos materiais;
- Não utiliza laser;
- Pode ser utilizado em ambiente de escritório.

Por outro lado, como desvantagens, podem ser citadas:

- A precisão do processo não é muito alta;
- Necessita de suporte em regiões não conectadas;
- Necessita de pós-processamento para remoção de suportes. Algumas regiões pequenas e de difícil acesso podem dificultar bastante ou até impedir a remoção completa;
- A velocidade do processo é limitada pela taxa de fluxo do material no cabeçote de extrusão.

Por meio da impressão 3D, uma ideia pode se transformar diretamente em uma peça ou produto a partir de um arquivo no computador do projetista, saltando muitas das etapas convencionais de manufatura. Além disso, essa tecnologia proporciona uma redução significativa da quantidade de material desperdiçada no processo de manufatura e torna possível a criação de objetos difíceis ou mesmo impossíveis de serem produzidos com técnicas convencionais de manufatura. A técnica, no entanto, ainda apresenta algumas limitações que variam de acordo com a técnica de impressão, tais como: uma relativa baixa velocidade de produção, tamanho limitado dos objetos, detalhes ou resolução do objeto limitados, alto custo dos materiais utilizados, e, em alguns casos, resistência mecânica limitada dos objetos criados (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013).

Vislumbrando um futuro próximo, a MA possui características fundamentais para se transformar não somente em um meio de produção complementar às técnicas de remoção e transformação de material na indústria, mas também num meio de atender diretamente demandas específicas nas áreas de saúde, como a engenharia tecidual, a biomédica e a tecnologia assistiva, além da geração de bens de consumo. Dentre essas características podemos destacar a flexibilidade do processo e a capacidade de geração de estruturas com elevada complexidade, bem como a redução do tempo de desenvolvimento de projeto, do desperdício de matéria-prima e dos custos com ferramental.

Além disso, a perspectiva de melhoria dos processos de deposição de material e das próprias técnicas de impressão 3D, juntamente com a criação de novos e melhores materiais de engenharia apontam no sentido da produção de maneira rápida e eficiente de protótipos cada vez mais funcionais e com propriedades físico-químicas e mecânicas cada vez melhores. Com a redução dos custos das impressoras portáteis e com o crescimento dos projetos *open design*, há também uma grande tendência de crescimento na utilização da impressão 3D para a produção individual e personalizada dos mais diversos tipos de objetos.

A Tabela 3 apresenta a evolução das aplicações da MA ao longo do tempo e faz uma projeção das aplicações futuras da tecnologia.

Tabela 3 – Aplicações da manufatura aditiva ao longo do tempo. Adaptado de Royal Academy of Engineering (2013).

Linha do tempo de aplicações da MA	
1988-1994	prototipagem rápida
1994	moldagem rápida
1995	ferramental rápido
2001	MA para a indústria automotiva
2004	aeroespacial (polímeros)
2005	médica (guias e modelos de polímero)
2009	implantes médicos (metais)
2011	aeroespacial (metais)
2013-2016	nanomanufatura
2013-2017	arquitetura
2013-2018	implantes biomédicos
2013-2022	biomanufatura <i>in situ</i>
2013-2032	órgãos inteiros

3. ESTUDO DE CASO

No presente capítulo, é abordado de maneira mais detalhada o estudo de caso a ser analisado neste trabalho com vistas ao desenvolvimento de um novo conceito de produto. É feita uma breve apresentação do caso, seguida por uma análise do estado da técnica, em que são apresentadas patentes relacionadas ao estudo em questão. Por último, são exibidos modelos de produtos correlacionados já disponíveis comercialmente no mercado.

3.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O estudo de caso para desenvolvimento da metodologia proposta, cuja justificativa foi explicitada no item 1.2, será feito com um dispositivo de tecnologia assistiva que se caracteriza de um utensílio de alimentação adaptado para usuários com a Doença de Parkinson ou outra disfunção motora semelhante, classificado dentro da tecnologia assistiva como um dispositivo de auxílio à vida diária e prática, de acordo com a classificação de Bersch (2013).

Gonçalves, Alvarez e Arruda (2007) esclarecem que a Doença de Parkinson pode ser definida como um distúrbio neurológico progressivo, cujos efeitos podem ser constatados, principalmente, por meio de distúrbios motores, oriundos de uma redução da produção de dopamina pelo cérebro. Os sintomas principais da doença são: presença de tremor de repouso, sobretudo nas mãos; rigidez muscular; lentidão dos movimentos e dificuldade em iniciar movimentos voluntários; instabilidade postural e perda de reflexos posturais.

A doença se apresenta em ambos os sexos, com um desenvolvimento insidioso caracterizado pela dificuldade do próprio portador em reconhecer os sintomas iniciais. Afeta predominantemente pessoas idosas, na faixa que vai dos 50 aos 70 anos de idade, embora não seja rara sua manifestação precoce. Estima-se que no mundo inteiro o número de pessoas afetadas chegue a dez milhões, enquanto no Brasil este número estaria próximo dos trezentos mil indivíduos (GONÇALVES, ALVAREZ e ARRUDA, 2007).

Hoehn e Yahr (1967) estabelecem uma das escalas mais utilizadas para a identificação do estágio da DP em um indivíduo. Segundo os pesquisadores, podem ser definidos cinco estágios principais:

- Estágio 1: envolvimento unilateral apenas, usualmente com prejuízo funcional mínimo ou inexistente;
- Estágio 2: envolvimento bilateral ou mediano, sem prejuízo de balanço;
- Estágio 3: primeiro sinal de prejuízo aos reflexos de coordenação. Funcionalmente, o paciente está de alguma forma restrito em suas atividades, sendo possível que apresente algum potencial de trabalho de acordo com o tipo de tarefa. Os pacientes são fisicamente capazes de manter uma vida independente e sua incapacidade é branda ou moderada;
- Estágio 4: doença completamente desenvolvida e severamente incapacitante. O paciente ainda é capaz de andar e permanecer de pé sem auxílio, mas está notoriamente incapacitado;
- Estágio 5: confinamento à cama ou à cadeira de rodas a menos que auxiliado.

É prática comum e bem estabelecida, na área da terapia de reabilitação, a indicação de utensílios de alimentação mais pesados para pacientes portadores da DP ou outras desordens neurológicas, com o objetivo de proporcionar uma redução dos tremores e, dessa maneira, facilitar a tarefa de alimentação. No entanto, alguns estudos têm indicado que essa prática pode nem sempre ser eficaz, uma vez que propicia pouco ou nenhum ganho na redução de tremores para alguns pacientes, em especial para os portadores da DP em estágios mais leves (MA et al., 2009).

3.2. ESTADO DA TÉCNICA

A seguir, são apresentadas algumas das patentes encontradas que se relacionam com o estudo de caso em questão.

3.2.1. Eating Utensil (US 5630276 A)

Patente: United States Patent 5,630,276.

Inventor: Alex H. Weinstein.

Data de depósito: 16 ago. 1994.

(a)

FIG. 4C

FIG. 4D

FIG. 4E

(b)

Figura 15 – Patente US 5630276 A: Eating Utensil. Weinstein (1994).

Como se vê na Figura 15, a patente US 5630276 A propõe um utensílio que proporciona uma plataforma de retenção do alimento que se mantém em uma orientação angular relativamente estável durante o movimento de transferência do alimento do recipiente para a boca. Apenas um movimento rotacional em torno do eixo vertical é transmitido à plataforma pela mão. O isolamento do movimento rotacional do cabo em relação à plataforma é feito por meio de um mecanismo interno, enquanto a estabilidade angular da plataforma é conseguida com o auxílio de um contrapeso conectado a ela, que faz com que ela vá se ajustando ao longo do movimento. Segundo o inventor, o efeito estabilizador total do dispositivo acaba colaborando de maneira satisfatória no caso de indivíduos com algum tipo de tremor.

3.2.2. Eating utensil (US 5592744 A)

Patente: United States Patent 5,592,744.

Inventor: Alex H. Weinstein.

Data de depósito: 29 nov. 1995.

(a)

(b)

Figura 16 – Patente US 5592744 A: Eating utensil. Weinstein (1995).

Como se vê na Figura 16, a patente US 5592744 A é muito similar à anterior, US 5630276 A, apenas com algumas modificações no mecanismo interno do dispositivo, responsável pela estabilidade da plataforma do alimento e por conectar a mesma ao contrapeso.

3.2.3. Eating Utensil (US 20100206885 A1)

Patente: United States Patent Application 20100206885.

Inventores: James R. Bowden; Richard A. Lucarotti.

Data de prioridade: 19 fev. 2009.

Figura 17 – Patente US 20100206885 A1: Eating Utensil. Bowden e Lucarotti (2009).

Na Figura 17, podemos visualizar o utensílio proposto pela patente US 20100206885 A1, caracterizado por apresentar uma porção feita de material flexível, denominada bolsa, que proporciona uma boa retenção de diversos tipos de alimentos e permite a transferência do alimento para a boca com o auxílio da língua do usuário. Além disso, de acordo com os inventores, o material flexível colaboraria no processo de absorção de tremores de indivíduos com alguma disfunção motora, facilitando o processo de alimentação.

3.2.4. Tremor stabilizing system for handheld devices (US 8308664 B2)

Patente: United States Patent 8,308,664.

Inventores: Pathak et al.

Data de depósito: 3 mar. 2010.

Figura 18 – Patente US 8308664 B2: Tremor stabilizing system for handheld devices.
University of Michigan (2010).

A Figura 18 apresenta o dispositivo proposto pela patente US 8308664 B2, que se caracteriza por uma base para preensão da mão do usuário, um elemento de aperto fixado à base que permite a conexão de objetos à mesma, um sensor responsável por detectar os movimentos da base, um controlador conectado ao sensor, e por fim um atuador que opera no sentido de gerar um movimento no elemento de aperto de modo a contrabalancear o movimento da base e, assim, reduzir o efeito dos tremores da mão do usuário.

3.2.5. Eating devices which reduce tremors of the hand (US 8468700 B2)

Patente: United States Patent 8,468,700.

Inventor: Daniel Bruce Wilson.

Data de depósito: 7 jul. 2010.

Figura 19 – Patente US 8468700 B2: Eating devices which reduce tremors of the hand.
Wilson (2010).

Como pode ser visualizado na Figura 19, a patente US 8468700 B2 apresenta um dispositivo de alimentação composto de um cabo para agarre da mão, além de um utensílio alongado, cuja parte dianteira é adaptada para entrar em contato com a comida e a parte traseira é conectada ao cabo. Ambas as partes possuem um eixo longitudinal, sendo que o ângulo entre elas pode variar entre 70° e 110°. A patente propõe também que o dispositivo ocasiona uma redução sensível de tremores em pessoas com alguma desordem neuromuscular, devido à aplicação de pressão pela mão no ato de segurar o utensílio.

3.2.6. Comentários finais

Após a análise do estado da técnica e das características de cada uma das patentes, foi elaborada a Tabela 4, que apresenta a inspiração para este trabalho obtida a partir de cada uma das patentes, bem como a proposta de alteração em relação a cada uma delas.

Tabela 4 – Resultados da análise das patentes.

Patente	Inspiração para o projeto	Alteração para o projeto
US 5630276 A	Utilização de contrapeso	Sistema mais simples de giro do talher
US 5592744 A	Utilização de contrapeso	Sistema mais simples de giro do talher
US 20100206885 A1	Adaptação a diversos tipos de alimentos	Formato de talher mais fácil para transferência do alimento
US 8308664 B2	Talheres intercambiáveis	Sistema puramente mecânico
US 8468700 B2	Sistema rápido de troca de talheres	Preensão horizontal do utensílio

3.3. MODELOS COMERCIAIS

A seguir, são apresentados alguns modelos disponíveis comercialmente de talheres adaptados para portadores da DP e de outras disfunções motoras que ocasionem tremor nas mãos.

3.3.1. Talher em balanço

Figura 20 – Colher adaptada em balanço (PACHELLI, 2014).

Na Figura 20, é possível visualizar um talher em balanço, ou seja, que permite um movimento oscilatório da parte onde se encontra o alimento em relação à parte segurada pela mão do usuário. São geralmente mais leves que os talheres convencionais, sendo um dos modelos mais comuns dentre os indicados para indivíduos com algum tipo de tremor. O preço por unidade é de R\$ 79,00².

3.3.2. Covered Spoon

Figura 21 – Modelo comercial de talher *Covered Spoon*. Assistivetech (s. d.).

A Figura 21 exhibe o modelo de talher comercial denominado *Covered Spoon*. Trata-se de uma colher, composta de duas partes, que proporciona uma cobertura de cerca de dois terços de sua cavidade, evitando a perda excessiva de alimento no caso de usuários com tremores e outras disfunções motoras. É feita de plástico, ideal para alimentos menores e para líquidos, e de fácil limpeza. Não foram encontradas informações a respeito do preço do produto no Brasil, mas no exterior o preço informado é de US\$ 5,95³.

² CAVALCANTI, A. Informação oriunda da loja Hand Shop, obtida por meio de mensagem pessoal recebida por <arturvaladares@gmail.com> em 6 out. 2014.

³ MaxiAids.com. Disponível em: <<http://www.maxiaids.com/products/6804/Covered-spoon.html>>. Acesso em: 30 out. 2014.

3.3.3. Talheres com peso *Good Grips®*

(a)

(b)

Figura 22 – Modelos de talheres com peso (170g) *Good Grips®*. MNSuprimentos (s. d.).

Figura 23 – Modelo de talher com peso (227g) *Good Grips®*. MNSuprimentos (s. d.).

Na Figura 22(a) é possível visualizar alguns modelos de talheres com peso da marca *Good Grips®*, que devido ao seu maior peso, cerca de 170g, são indicados para pessoas portadoras da DP, com algum tipo de espasticidade ou com alguma limitação do controle manual. O cabo apresenta um material antiderrapante, e um formato especial do metal do talher permite dobrá-lo para melhor adaptação ao usuário, como se vê na Figura 22(b). Existe ainda um modelo mais pesado, exibido na Figura 23, com cerca de 227g, indicado para pessoas com maiores dificuldades motoras. No exterior, o preço informado é de US\$ 8,95⁴ por talher.

⁴ WrightStuff.biz. Disponível em: <<http://www.wrightstuff.biz/good-grips-eating-utensils.html>>. Acesso em: 30 out. 2014.

3.3.4. Steady Spoon™

Figura 24 – Colher adaptada comercial *Steady Spoon™*. Phillips Mobility (s. d.).

A Figura 24 apresenta o modelo de colher adaptada *Steady Spoon™*, que se trata de um produto comercial oriundo das patentes US 5630276 A e US 5592744 A, apresentadas nos itens 3.2.1 e 3.2.2, respectivamente. Na Figura 25, pode-se vislumbrar o mecanismo de funcionamento do dispositivo por meio das imagens do mesmo em duas posições distintas. O preço por unidade é de R\$ 240,00⁵.

(a)

(b)

Figura 25 – Colher adaptada comercial *Steady Spoon™* em duas posições distintas.

⁵ CAVALCANTI, A. Informação oriunda da loja Reatech, recebida por meio de comunicação pessoal em 6 out. 2014.

3.3.5. Liftware™

Figura 26 – Colher adaptada comercial *Liftware™*. Liftware (s. d.).

Na Figura 26, é apresentado o modelo de colher adaptada *Liftware™*, caracterizada por uma base que contém um dispositivo de fixação que permite o acoplamento de talheres ou objetos distintos. Além disso, possui um sistema eletrônico, alimentado por uma bateria recarregável, responsável por reduzir o tremor oriundo da mão do usuário, proporcionando uma redução de até 70%. Não foram encontradas informações a respeito do preço do produto no Brasil, no entanto, no exterior o preço informado é de US\$ 295,00⁶.

O dispositivo é, de certa forma, bem semelhante ao proposto pela patente US 8308664 B2, descrita no item 3.2.4, estando relacionado a um estudo apresentado por Pathak et al. (2014), que tem como autor principal um dos inventores da patente citada. A Figura 27 exhibe os principais componentes do dispositivo.

⁶ LIFT labs. Disponível em: <<http://store.liftlabsdesign.com/>>. Acesso em: 30 out. 2014.

Figura 27 – Principais componentes da colher adaptada comercial *Liftware™*. Adaptado de Liftware (s. d.).

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos utilizados e os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho. A divisão do capítulo foi feita de modo a destacar cada uma das etapas mais importantes do projeto conceitual, desde o início com a pesquisa dos requisitos dos usuários, passando pelo desenvolvimento do QFD e a integração com a TRIZ, pela aplicação desta última, e culminando com a definição e geração do protótipo. O fluxograma da Figura 28 apresenta o sequenciamento de cada uma dessas etapas, com suas respectivas atividades principais.

Figura 28 – Fluxograma do projeto conceitual.

Como este trabalho trata das fases iniciais de um projeto de engenharia aplicada à tecnologia assistiva, foi necessária uma equipe multidisciplinar para o desenvolvimento do protótipo funcional. Nesse caso, a equipe foi formada por engenheiros (o autor, a orientadora e colegas do grupo de pesquisa de engenharia) e também por profissionais da área de saúde, representados por terapeutas

ocupacionais. Sempre que houver uma referência neste trabalho à equipe de projeto, é a esta equipe que se está referindo.

4.1. REQUISITOS DOS USUÁRIOS

Como ponto de partida para o projeto, foram realizadas discussões com terapeutas ocupacionais, com o intuito de se estudar a viabilidade do desenvolvimento de um novo utensílio de alimentação para pessoas com a Doença de Parkinson ou outras desordens neurológicas que afetem a coordenação motora das mãos. Foram levantados aspectos práticos do cotidiano e do contexto social dos usuários que justificariam o estudo da melhoria de produtos existentes, em busca de um novo conceito que fosse mais acessível e atendesse de maneira mais efetiva às necessidades dos usuários em questão.

Além disso, foram debatidos conceitos e ideias iniciais em relação ao produto e também sobre o questionário que seria posteriormente veiculado aos possíveis usuários, com o objetivo de se obter os requisitos mais importantes para o projeto. Após as discussões prévias sobre a viabilidade do desenvolvimento do novo produto, definiu-se como metas primordiais do projeto a geração de um novo utensílio de alimentação com as seguintes características principais: adaptabilidade e baixo custo.

Durante o segundo semestre de 2014, o projeto foi associado a uma disciplina de graduação, SEM 5910 – Introdução à Metodologia de Projeto em Engenharia, do SEM-EESC/USP, na qual foram criados grupos de trabalho com o objetivo de aplicarem as técnicas de metodologia de projeto ao problema. O questionário utilizado neste trabalho com vistas à determinação dos principais requisitos dos usuários com relação ao novo produto foi elaborado por um desses grupos e pode ser visualizado no Anexo A.

Uma vez que são os profissionais da área de saúde, neste caso os terapeutas ocupacionais, aqueles responsáveis pela indicação de dispositivos de tecnologia assistiva deste tipo, de acordo com as necessidades e desejos do usuário, o questionário foi veiculado via Internet para terapeutas cujo campo de trabalho estivesse relacionado ao utensílio em questão.

O questionário foi respondido por um total de quinze profissionais, e a partir de uma análise das respostas pela equipe de projeto foi possível a definição dos dez requisitos principais para o produto, do ponto de vista do usuário. A lista desses requisitos é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Requisitos dos usuários para o produto.

Nº	Requisito do usuário
1	Ser confortável
2	Ser adaptável
3	Ser de fácil limpeza
4	Ser firme
5	Não machucar o usuário
6	Atender alimentos sólidos e líquidos
7	Permitir mudança de utensílios ⁷
8	Ter baixo custo
9	Compensar tremor
10	Apresentar design atrativo

Neste ponto, uma importante observação a ser feita está relacionada com o tamanho da amostragem utilizada, tendo em vista o objetivo do trabalho, que consiste na melhoria de um utensílio de alimentação para um determinado público alvo. É preciso destacar que não se pretendia com tal amostragem representar toda uma população de profissionais do ramo, e sim estabelecer para o projeto uma amostra com um enfoque qualitativo, definida como

[...] uma unidade de análise ou conjunto de pessoas, contextos, eventos ou fatos sobre o qual se coletam os dados sem que necessariamente seja representativo do universo (SAMPLERI, COLLADO e LUCIO, 2006).

⁷ Neste caso, o termo utensílio se refere a qualquer item que possa ser acoplado ao utensílio como um todo, isto é, qualquer tipo de talher ou mesmo outros objetos, como por exemplo uma escova dental.

Como esclarecem ainda Sampieri, Collado e Lucio (2006), “os estudos qualitativos não pretendem generalizar de maneira intrínseca os resultados para populações mais amplas, nem necessariamente obter amostras representativas (sob a lei da probabilidade)”.

Além do mais, uma das próprias características da tecnologia assistiva é o alto índice de customização de seus produtos, visto que, de maneira geral, os problemas a serem solucionados em cada caso têm um caráter bastante particular.

Em relação ao nível de importância de cada um dos requisitos dos usuários, foi novamente realizada uma pesquisa via Internet com os possíveis interessados do produto. Foi solicitada a atribuição de uma, dentre três possíveis notas, para cada um dos requisitos listados na Tabela 5.

As três diferentes notas eram: 1 (pouco relevante), 3 (relevante) e 9 (muito relevante), assim como é feito no QFD. Com o objetivo de destacar os requisitos mais importantes, estabeleceu-se que cada usuário poderia atribuir, no máximo, duas notas 9, enquanto a atribuição das demais era livre. A nota total de cada requisito foi dada, então, pelo somatório de todas as notas recebidas.

A pesquisa obteve um total de sete respostas que, após analisadas pela equipe de projeto, possibilitaram a definição dos níveis de importância de cada requisito para este projeto, tendo como base a nota total de cada um. Mais uma vez, em relação ao número de participantes, é importante que se ressalte o caráter qualitativo dessa análise, como explicitado anteriormente. As respostas obtidas podem ser visualizadas no Apêndice B.

Os dois requisitos com as maiores notas totais foram considerados muito relevantes para o projeto, enquanto os dois com as menores notas foram considerados pouco relevantes. Todos os demais requisitos foram considerados como relevantes, como se vê na Tabela 6.

Tabela 6 – Nível de importância dos requisitos dos usuários.

Requisito	Nota total	Nível de importância
Compensar tremor	51	Muito relevante
Ser adaptável	51	Muito relevante
Não machucar o paciente	44	Relevante
Atender alimentos sólidos e líquidos	39	Relevante
Ser confortável	39	Relevante
Ser firme	39	Relevante
Permitir mudança de utensílios ⁷	37	Relevante
Ser de fácil limpeza	33	Relevante
Ter baixo custo	25	Pouco relevante
Apresentar design atrativo	13	Pouco relevante

Cabe aqui uma importante observação. Apesar de ter obtido uma baixa pontuação na pesquisa realizada junto aos terapeutas ocupacionais, o requisito relacionado ao baixo custo do produto foi considerado, desde o início do projeto, como um diferencial do trabalho, tendo em vista os custos geralmente elevados dos produtos disponíveis no mercado. Além disso, vale frisar que as respostas da pesquisa não foram obtidas diretamente daqueles que possivelmente irão arcar com os custos do produto, isto é, os usuários, e sim daqueles que irão indicar a sua aquisição.

Por este motivo, a equipe de projeto decidiu em reunião considerar este requisito como sendo de grande relevância para o projeto, por meio do aumento do seu grau de importância para o usuário e da utilização de um argumento de venda mais elevado que o dos demais no processo de elaboração do QFD, o que será melhor esclarecido na Seção 4.3 que desenvolve esta questão.

4.2. PARÂMETROS TÉCNICOS

A partir então da lista de requisitos dos usuários, foi feita uma discussão entre a equipe de projetistas para estabelecimento dos parâmetros técnicos do produto a ser desenvolvido. Foram definidos ao todo dezesseis parâmetros técnicos, apresentados na Tabela 7. Vale destacar que a lista final dos parâmetros foi alterada pela equipe por três vezes, com vistas a uma melhor adequação dos mesmos aos requisitos dos usuários.

Tabela 7 – Parâmetros técnicos do produto.

Nº	Parâmetro técnico	Unidade
1	Força de preensão do usuário	N
2	Taxa de transferência de calor na interface	W/m ²
3	Tempo de preparo para uso	s
4	Número de graus de Parkinson contemplados	n
5	Número de peças	n
6	Capacidade do utensílio	m ³
7	Perda de alimento	%
8	Custo do utensílio	R\$
9	Resistência mecânica crítica	Pa
10	Número de arestas	n
11	Tempo de higienização	s
12	Tempo de alimentação	s
13	Redução de amplitude	%
14	Redução de frequência	%
15	Inércia	kg
16	Índice de compactação volumétrica	kg

É importante frisar que os parâmetros técnicos, conforme define o QFD, devem ser grandezas mensuráveis e a sua escolha é de fundamental importância para o desdobramento do QFD e também das etapas seguintes do processo de desenvolvimento, como por exemplo na obtenção das contradições técnicas a serem

utilizadas na TRIZ. A seguir, são apresentadas as definições de cada um dos parâmetros estabelecidos:

1. **Força de preensão do usuário:** força realizada pela mão do usuário para segurar o utensílio durante a tarefa de alimentação. É um parâmetro importante para se assegurar que a utilização do utensílio não seja cansativa, nem gere e/ou agrave algum tipo de lesão ao usuário;
2. **Taxa de transferência de calor na interface:** taxa de transferência de calor entre a mão do usuário e a superfície de contato do utensílio. Intrinsecamente relacionada à sensação térmica experimentada pelo usuário e, portanto, ao conforto proporcionado ao mesmo durante o uso do produto;
3. **Tempo de preparo para uso:** tempo gasto pelo usuário, preferencialmente sozinho, na preparação do utensílio para uso, englobando o tempo de qualquer atividade exigida para o bom funcionamento do produto. A praticidade e simplicidade do utensílio estão intimamente vinculadas a esse parâmetro;
4. **Número de graus de Parkinson contemplados:** dentre os vários estágios da DP, quantos são contemplados pelo utensílio, isto é, para quais deles o produto traz algum benefício no que se refere à tarefa de alimentação. A adaptabilidade do produto depende diretamente deste parâmetro;
5. **Número de peças:** o número total de peças do produto. Parâmetro associado ao custo de fabricação e à facilidade de uso e manutenção do utensílio;
6. **Capacidade do utensílio:** capacidade de transporte de alimento do utensílio. Importante parâmetro que influencia a eficiência, a facilidade e o conforto de uso do produto, além de estar relacionado com os tipos de alimentos que poderão ser manipulados pelo mesmo;
7. **Perda de alimento:** quantidade de alimento perdido em um ciclo de alimentação, isto é, durante o transporte do alimento do recipiente para a boca. Quanto maior este parâmetro, menos eficiente e mais

cansativo para o usuário se torna o processo de alimentação. Além disso, o aspecto psicológico está estreitamente relacionado a este parâmetro, já que quando este é muito significativo, acaba colaborando para o aumento da ansiedade do usuário e, conseqüentemente, dos tremores e da dificuldade de alimentação;

8. **Custo do utensílio:** custo final do produto. Importante parâmetro relacionado a um dos objetivos principais do projeto, que é geração de um produto de baixo custo e acessível ao usuário;
9. **Resistência mecânica crítica:** resistência mecânica na seção mais crítica do produto. Essencial para a prevenção de algum tipo de falha no produto e, possivelmente, algum dano ao usuário decorrente disso;
10. **Número de arestas:** quantidade de arestas no produto com o potencial de causar algum dano ao usuário, ou que facilitam o acúmulo de alimento e/ou sujeira. Fundamentalmente relacionado à facilidade de higienização do produto e à prevenção de acidentes durante a utilização;
11. **Tempo de higienização:** tempo total gasto pelo usuário para a higienização do produto, incluindo possivelmente a necessidade de desmontagem do produto para a limpeza. Parâmetro crucial para preservar a saúde e garantir a autonomia dos usuários com a DP;
12. **Tempo de alimentação:** tempo gasto pelo usuário no processo de alimentação, podendo ser considerado o tempo de um ciclo de alimentação ou o tempo total da tarefa. Determinante para o conforto e a facilidade de alimentação do usuário, bem como para a adaptabilidade do produto aos diferentes graus da DP;
13. **Redução de amplitude:** redução da amplitude máxima de movimento do recipiente com alimento em relação à mão do usuário. Fundamental para a eficiência global do produto e para o atendimento dos objetivos primordiais de projeto;
14. **Redução de frequência:** redução da frequência e velocidade de movimento do recipiente com alimento em relação à mão do usuário. Também fundamental para eficiência global do produto e para o atendimento dos objetivos de projeto;

15. **Inércia:** massa total do utensílio. É um parâmetro estreitamente vinculado à adaptabilidade do produto, uma vez que está relacionado com o amortecimento das vibrações oriundas dos tremores dos usuários. É prática corrente entre os terapeutas ocupacionais a indicação de utensílios mais pesados para pacientes com a DP. Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas na Seção 4.5;
16. **Índice de compactação volumétrica:** relação entre os volumes do produto montado e desmontado. Envolvido com a praticidade e facilidade de utilização do produto e também com a autonomia do usuário, uma vez que facilita o armazenamento e o transporte do utensílio.

Após o estabelecimento dos parâmetros técnicos, utilizados ao longo do projeto como elementos norteadores do processo de desenvolvimento do produto, foi realizada uma discussão com o objetivo de associar cada um destes parâmetros a um grupo de PE's com os quais estivesse mais relacionado. Para uma melhor compreensão dessas relações, recomenda-se a leitura, no Anexo C, das definições mais detalhadas de cada um dos PE's.

Essa associação visa facilitar o processo de transformação das correlações negativas entre os parâmetros técnicos presentes no QFD, em contradições técnicas a serem utilizadas na metodologia TRIZ para a obtenção de soluções criativas para o produto. Na Tabela 8, são listados os grupos de PE's, presentes na Tabela 2, associados a cada parâmetro técnico.

Tabela 8 – PE's associados a cada parâmetro técnico do produto.

Parâmetro técnico	PE's associados
Força de preensão do usuário	5, 10, 11, 12, 30
Taxa de transferência de calor na interface	5, 15, 17, 22, 31
Tempo de preparo para uso	12, 16, 20, 25, 31, 33, 36
Número de graus de Parkinson contemplados	33, 35, 39
Número de peças	33, 34, 35, 36 ,37, 39
Capacidade do utensílio	1, 7, 12, 23, 26
Perda de alimento	7, 9, 10, 23, 39
Custo do utensílio	26, 29, 31, 32, 34, 36, 38
Resistência mecânica crítica	5, 10, 11, 12, 14
Número de arestas	12, 29, 31, 34
Tempo de higienização	16, 20, 22, 25, 34
Tempo de alimentação	9, 15, 35, 39
Redução de amplitude	9, 13, 15, 22, 31, 37, 39, 39
Redução de frequência	9, 13, 15, 22, 31, 37, 38, 39
Inércia	1, 7, 19, 21, 33, 35
Índice de compactação volumétrica	7, 8, 33, 36

4.3. ELABORAÇÃO DO QFD

Uma vez estabelecidas as listas de requisitos dos usuários e de parâmetros técnicos do produto, tornou-se possível o preenchimento da matriz do QFD, por meio de um leiaute elaborado no Excel. Nela foram estabelecidas as relações entre os requisitos provenientes dos usuários e os parâmetros técnicos estabelecidos pela equipe de projeto. A matriz completa pode ser visualizada no Apêndice A.

Caso a equipe de projeto entendesse existir uma relação entre determinado requisito do usuário e determinado parâmetro técnico, essa relação era representada pela atribuição de um dentre três possíveis valores que denotavam o tipo de relação existente entre ambos. Para as relações fortes atribuiu-se o valor 9, para as médias foi designado o valor 3, enquanto para as fracas o valor 1. Nos casos em que a equipe julgou não existir uma relação, nenhum valor foi atribuído.

Este processo foi repetido por três vezes pela equipe de projeto, a fim de garantir um resultado final que pudesse evidenciar as principais relações requisito/parâmetro sem, contudo, criar um número excessivo de relações. O resultado final pode ser visualizado na Figura 29.

Coluna #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Unidade	N	W/m2	s	n	n	m3	%	R\$	Pa	n	s	s	%	%	kg	%
Requisitos do usuário \ Parâmetros técnicos	Força de prensão do usuário	Taxa de transferência de calor na interface	Tempo de preparo para uso	Número de graus de Parkinson contemplados	Número de peças	Capacidade do utensílio	Perda de alimento	Custo do utensílio	Resistência mecânica crítica	Número de arestas	Tempo de higienização	Tempo de alimentação	Redução de amplitude	Redução de frequência	Inércia	Índice de compactação volumétrica
Ser confortável	3	3	1	1		1	1			3		3	3	9	3	
Ser adaptável			3	9		1	1	1					3	3	3	
Ser de fácil limpeza					3	1		1	1	3	9					1
Ser firme	9		1	3		1	3		1				1	3	1	
Não machucar o paciente	1	1	1	1					1	9			1	3	1	1
Atender alimentos sólidos e líquidos		1		1	1	9	3	1			3	3	3	3	1	
Permitir mudança de utensílios				1	9	3	1	3	1		3	3	1	1	1	3
Ter baixo custo		3	1	1	1			9	3							3
Compensar tremor	3		3	3	1	1	1	3	1			3	3	9	3	
Apresentar design atrativo			3		1	1		1	1	1					1	9

Figura 29 – Matriz de relações entre os requisitos dos usuários e os parâmetros técnicos do QFD.

Outro ponto de grande importância no QFD é a obtenção dos pesos absolutos e relativos de cada requisito do usuário, que foram posteriormente utilizados no cálculo dos pesos absoluto e relativo de cada um dos parâmetros técnicos estabelecidos para o projeto. Estes, por sua vez, foram determinantes para a definição de quais as principais contradições técnicas a serem analisadas para o desenvolvimento do produto.

Segundo o QFD, o peso absoluto de cada requisito do usuário é obtido pela seguinte equação:

$$PA_i^r = \text{Grau de importância} \times \text{Índice de melhoria} \times \text{Argumento de venda} \quad (1)$$

Por sua vez, o peso relativo de cada requisito é dado por:

$$PR_i^r = \frac{PA_i^r}{\sum_j PA_j^r} \quad j \leq 10 \quad (2)$$

No QFD, o *grau de importância* de cada requisito é geralmente definido como um valor entre 1 e 5, que retrata o quão importante é para o usuário o requisito em questão, sendo 5 o valor de maior importância. Neste trabalho, os valores foram atribuídos tendo como base a Tabela 6, que apresenta o resultado por meio de um questionário submetido aos próprios terapeutas ocupacionais.

A equipe de projeto atribuiu o valor 5 para os dois requisitos classificados como muito relevantes na tabela, valores entre 2 e 4 para os requisitos relevantes, e o valor 1 para os poucos relevantes, com exceção do requisito “ter baixo custo”. Como explicado anteriormente, no final da Seção 4.1, esta exceção se deve ao fato de este requisito ter sido, desde o início, uma das metas primordiais do projeto.

O *Índice de melhoria* de cada requisito é calculado da seguinte maneira:

$$\text{Índice de melhoria} = \frac{\text{Objetivo de melhoria do requisito para o produto novo}}{\text{Avaliação do requisito pelos usuários para o produto antigo}} \quad (3)$$

Vale ressaltar que essa avaliação é também representada por um valor entre 1 e 5, obtido por meio de uma pesquisa junto aos usuários do produto. Como neste caso não há um produto anterior com as respectivas avaliações dos usuários sobre cada requisito, o índice foi considerado 1 para todos os casos, de modo a não influenciar a análise.

Por fim, o *argumento de venda* é um fator multiplicador utilizado no QFD que pode assumir três valores distintos: 1,5 para os requisitos especiais do produto e que caracterizam o seu diferencial; 1,2 para os requisitos mais valorizados pelos usuários; e 1 para os requisitos comuns.

Neste projeto, a equipe optou por definir os argumentos de venda 1,5 para o requisito “ter baixo custo”, como principal diferencial do produto, e 1,2 para o requisito “ser adaptável”, que também define uma das metas primordiais de projeto, isto é, o atendimento do maior número de pessoas possível.

Os resultados obtidos para os pesos absolutos e relativos dos requisitos podem ser visualizados na Figura 30.

	Importancia para o usuário	Objetivo de melhoria	Índice de melhoria	Argumento de venda	Peso absoluto	Peso relativo
Ser confortável	3	1	1	1	3	9%
Ser adaptável	5	1	1	1,2	6	18%
Ser de fácil limpeza	2	1	1	1	2	6%
Ser firme	3	1	1	1	3	9%
Não machucar o paciente	4	1	1	1	4	12%
Atender alimentos sólidos e líquidos	3	1	1	1	3	9%
Permitir mudança de utensílios	2	1	1	1	2	6%
Ter baixo custo	3	1	1	1,5	4,5	13%
Compensar tremor	5	1	1	1	5	15%
Apresentar design atrativo	1	1	1	1	1	3%

Figura 30 – Pesos absolutos e relativos dos requisitos dos usuários no QFD.

Após o cálculo dos pesos dos requisitos dos usuários torna-se possível o cálculo dos pesos, absolutos e relativos, dos parâmetros técnicos. O peso absoluto de cada parâmetro é obtido da seguinte maneira:

$$PA_i^p = 100 \times \sum_j Relação\ requisito_j / parâmetro_i \times PR_j^r \quad j \leq 10 \quad (4)$$

O peso relativo, por sua vez, é dado por:

$$PR_i^p = \frac{PA_i^p}{\sum_j PA_j^p} \quad j \leq 16 \quad (5)$$

É importante lembrar que a *relação requisito/parâmetro* no QFD é dada por um dentre três possíveis valores: 1, 3 e 9, como apresentado na Figura 29. Quando não há uma relação explícita entre o requisito e o parâmetro, adota-se o valor nulo.

O resultado final dos pesos absolutos e relativos de cada parâmetro técnico é apresentado na Figura 31.

	Força de preensão do usuário	Taxa de transferência de calor na interface	Tempo de preparo para uso	Número de graus de Parkinson contemplados	Número de peças	Capacidade do utensílio	Perda de alimento	Custo do utensílio	Resistência mecânica crítica	Número de arestas	Tempo de higienização	Tempo de alimentação	Redução de amplitude	Redução de frequência	Inércia	Índice de compactação volumétrica
Peso absoluto	164,18	88,06	150,75	282,09	111,94	158,21	101,49	219,40	91,04	155,22	98,51	116,42	179,10	364,18	164,18	102,99
Peso relativo	6%	3%	6%	11%	4%	6%	4%	9%	4%	6%	4%	5%	7%	14%	6%	4%
Diagrama de pesos relativos																

Figura 31 – Pesos absolutos e relativos dos parâmetros técnicos no QFD.

4.4. CORRELAÇÕES NEGATIVAS NO QFD

Durante a elaboração do QFD, foram determinadas também as correlações, positivas ou negativas, entre cada um dos parâmetros técnicos definidos para o produto. Se a equipe de projeto entendesse existir uma correlação entre dois parâmetros técnicos específicos, o sinal negativo era atribuído para as correlações inversas, isto é, em que o ganho em um parâmetro gera a perda no outro, enquanto às correlações diretas atribuía-se o sinal positivo.

É importante ressaltar que as correlações negativas obtidas no telhado do QFD são o ponto de partida para a obtenção das contradições técnicas a serem utilizadas na TRIZ. Desse modo, o estabelecimento destas correlações foi de grande importância para o desenrolar do projeto. Pôde-se constatar também que a definição dos parâmetros teve um papel primordial na facilitação desse processo, isto é, quanto mais claros os parâmetros, mais fácil o estabelecimento das correlações.

Outro aspecto fundamental a ser compreendido é o significado dos conceitos de melhoria e prejuízo de um parâmetro. Sem essa compreensão, torna-se muito difícil o preenchimento adequado da matriz de correlações. Não se deve confundir o aumento de um parâmetro com sua melhoria e, do mesmo modo, sua diminuição com um prejuízo, pois nem sempre é isto o que se passa.

A melhoria ou o prejuízo de um parâmetro estão fundamentalmente relacionados com os objetivos do projeto, de maneira que se uma transformação no parâmetro, seja de acréscimo ou de decréscimo, contribui positivamente para se

atingir os objetivos de projeto, então há uma melhoria no parâmetro. Caso contrário, o parâmetro em questão sofreu um prejuízo. A Tabela 9 apresenta a definição de melhoria para cada parâmetro técnico deste projeto.

Tabela 9 – Definição de melhoria para cada parâmetro técnico.

Parâmetro técnico	Definição de melhoria do parâmetro
Força de preensão do usuário	Diminuir a força de preensão do usuário e aumentar a força de atrito na região de manuseio
Taxa de transferência de calor na interface	Diminuir a condutividade na região de manuseio pelo usuário
Tempo de preparo para uso	Diminuir o tempo de preparo (sem auxílio de terceiros) do utensílio para uso
Número de graus de Parkinson contemplados	Aumentar o número de graus contemplados
Número de peças	Diminuir o número de peças do utensílio
Capacidade do utensílio	Aumentar a capacidade do utensílio
Perda de alimento	Diminuir a perda de alimento
Custo do utensílio	Diminuir o custo
Resistência mecânica crítica	Aumentar a resistência da seção crítica
Número de arestas	Diminuir o número de arestas do utensílio
Tempo de higienização	Diminuir o tempo total de higienização do utensílio
Tempo de alimentação	Diminuir o tempo total de alimentação com o utensílio
Redução de amplitude	Aumentar a redução de amplitude do movimento do utensílio
Redução de frequência	Aumentar a redução de frequência do movimento do utensílio
Inércia	Aumentar a inércia e/ou possibilitar uma variação da inércia
Índice de compactação volumétrica	Aumentar a compactação do utensílio quando desmontado

Uma vez que os conceitos de melhoria e prejuízo dos parâmetros foram bem compreendidos, torna-se possível o estabelecimento das correlações. Novamente, como no caso da matriz de relações, o processo foi repetido por três vezes para garantir um resultado final satisfatório, tanto no que se refere ao número de correlações estabelecidas como no levantamento das principais delas. A Figura 32 apresenta o resultado final deste processo.

Figura 32 – Matriz de correlações entre os parâmetros técnicos do QFD.

Como se vê na Figura 32, as correlações negativas estão em destaque, por serem justamente aquelas que mais interessam à equipe de projeto como ponto de partida para suas tomadas de decisão.

A fim de se trabalhar com mais objetividade em busca de novas soluções técnicas, foi estabelecido um critério de importância para as correlações negativas.

Foram somados os pesos relativos, apresentados na Figura 31, de cada um dos parâmetros envolvidos em uma correlação e, a partir daí, obteve-se um valor do peso relativo de cada correlação. Quanto maior este peso, mais importante aquela correlação para o projeto. O resultado final desse processo, contendo as seis correlações de maior importância, é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Peso relativo de cada correlação negativa.

Nº	Parâmetro técnico a ser melhorado	Parâmetro técnico a ser prejudicado	Peso relativo (%)
1	Tempo de preparo para uso	Número de graus de Parkinson contemplados	16,99
2	Número de graus de Parkinson contemplados	Tempo de alimentação	15,64
3	Custo do utensílio	Inércia	15,05
4	Número de arestas	Custo do utensílio	14,70
5	Inércia	Força de preensão do usuário	12,88
6	Custo do utensílio	Resistência mecânica crítica	12,18

A seguir, são mais bem detalhadas cada uma das correlações negativas listadas na Tabela 10, tendo como base as descrições de cada parâmetro, apresentadas na Seção 4.2, e as definições de melhoria destes, relacionadas na Tabela 9:

- Correlação 1: quanto menor o tempo de fixação do utensílio à mão do usuário (sem auxílio de terceiros), melhor a condição do primeiro parâmetro. Para os graus de Parkinson mais severos, no entanto, esse tempo tem um limite de redução, pelas próprias dificuldades motoras do usuário. Assim, uma melhoria no primeiro parâmetro esbarra num limite imposto pelo segundo, podendo inclusive prejudicar este último.
- Correlação 2: uma melhoria no primeiro parâmetro significa que o utensílio será capaz de atender também aos graus mais severos de

Parkinson, que por sua vez exigem mais tempo para completarem a refeição, estabelecendo assim um prejuízo ao segundo parâmetro.

- Correlação 3: a redução do custo total do utensílio gera uma melhoria no primeiro parâmetro. Isto, porém, gera uma limitação ao segundo parâmetro, uma vez que um aumento de massa, até um certo limite, ou um mecanismo que permita a variação desta, representa uma melhoria no segundo parâmetro. Surge assim a correlação negativa.
- Correlação 4: uma redução no número de arestas do produto significa uma melhoria no primeiro parâmetro. No entanto, essa redução aumenta os custos de fabricação do utensílio, gerando um prejuízo no segundo parâmetro.
- Correlação 5: até um certo limite, o aumento da inércia do utensílio representa uma melhoria no primeiro parâmetro. Este aumento, porém, gera um aumento na força de preensão do usuário e, portanto, um prejuízo no segundo parâmetro.
- Correlação 6: uma melhoria no primeiro parâmetro representa uma redução do custo total do produto. Isso, no entanto, significa, pelo menos em parte, a utilização de menos material ou de um material de menor qualidade e/ou resistência e, portanto, um prejuízo para o segundo parâmetro.

4.5. DEFINIÇÃO DAS CONTRADIÇÕES

Definidas as correlações negativas de maior importância, foi então realizado o processo de tradução destas correlações, apresentadas na Tabela 10, transformando-as em contradições técnicas entre os PE's estabelecidos pela TRIZ.

Tendo como base a Tabela 8, que relaciona os parâmetros técnicos de projeto com os PE's da TRIZ, foram escolhidos pela equipe de projeto, para cada parâmetro técnico, o PE ao qual se encontrava mais relacionado. É importante ressaltar que, como cada PE tem uma abrangência de relação significativa, por vezes um mesmo PE foi associado a diferentes parâmetros técnicos. Os resultados desse processo são apresentados da Tabela 10 à Tabela 16.

Tabela 11 – Definição da contradição técnica 1.

Contradição técnica 1			
	Parâmetro a ser melhorado		Parâmetro a ser prejudicado
Parâmetros técnicos	3 – Tempo de preparo para uso	x	4 – Número de graus de Parkinson contemplados
Parâmetros de Engenharia	33 – Usabilidade	x	35 – Adaptabilidade

Tabela 12 – Definição da contradição técnica 2.

Contradição técnica 2			
	Parâmetro a ser melhorado		Parâmetro a ser prejudicado
Parâmetros técnicos	4 – Número de graus de Parkinson contemplados	x	12 – Tempo de alimentação
Parâmetros de Engenharia	35 – Adaptabilidade	x	39 – Produtividade

Tabela 13 – Definição da contradição técnica 3.

Contradição técnica 3			
	Parâmetro a ser melhorado		Parâmetro a ser prejudicado
Parâmetros técnicos	8 – Custo do utensílio	x	15 – Inércia
Parâmetros de Engenharia	36 – Complexidade do objeto	x	35 – Adaptabilidade

Tabela 14 – Definição da contradição técnica 4.

Contradição técnica 4			
	Parâmetro a ser melhorado		Parâmetro a ser prejudicado
Parâmetros técnicos	10 – Número de arestas	x	8 – Custo do utensílio
Parâmetros de Engenharia	12 – Forma	x	29 – Precisão de fabricação

Tabela 15 – Definição da contradição técnica 5.

Contradição técnica 5			
	Parâmetro a ser melhorado		Parâmetro a ser prejudicado
Parâmetros técnicos	15 – Inércia	x	1 – Força de preensão do usuário
Parâmetros de Engenharia	35 – Adaptabilidade	x	10 – Força ou intensidade

Tabela 16 – Definição da contradição técnica 6.

Contradição técnica 6			
	Parâmetro a ser melhorado		Parâmetro a ser prejudicado
Parâmetros técnicos	8 – Custo do utensílio	x	9 – Resistência mecânica crítica
Parâmetros de Engenharia	32 – Manufaturabilidade	x	14 – Resistência

Cabe aqui um destaque de muita importância, que é a relevância da possibilidade de variação da massa total do dispositivo como recurso de versatilidade do produto, o que resultou na associação do parâmetro técnico “inércia” com o PE “adaptabilidade”. Isto foi assumido tendo como base recomendações

presentes na literatura específica sobre o tema, que indica a utilização de utensílios mais pesados em casos de tremor mais acentuado.

Pendleton e Schultz-Krohn (2013, p. 204) e Radomski e Latham (2008, p. 376) estabelecem indicações no sentido de utilização de talheres mais pesados. Por outro lado, Ma et al. (2009) apresentam indícios de que essa prática pode nem sempre ser efetiva, sobretudo nos casos de estágios mais leves da DP. Assim, a equipe de projeto entendeu que a possibilidade de variação da massa total do utensílio pode ser vista como um recurso de adaptabilidade, uma vez que permite atender um maior número de usuários de maneira satisfatória, a partir da adequação dessa massa ao nível de tremor apresentado pelo usuário.

4.6. DESDOBRAMENTO DOS PRINCÍPIOS INVENTIVOS

Estabelecidas as principais contradições técnicas do projeto, pode-se então obter, por meio da utilização da MC apresentada no Anexo D, um grupo de PI's indicados para a solução de cada contradição técnica, segundo a metodologia estabelecida pela TRIZ. Nas linhas da matriz deve-se buscar o PE a ser melhorado, enquanto nas colunas encontra-se o PE que sofrerá algum tipo de prejuízo. Para facilitar este processo, a MC foi inserida no banco de dados de uma planilha no Excel, apresentada no Apêndice C. Para cada contradição entre dois PE's, a planilha apresentava os PI's indicados pela MC para o caso em questão. Além disso, podiam ser visualizadas as definições de cada PE e cada PI envolvidos na contradição. Da Tabela 17 à Tabela 22 são apresentados os resultados dessa busca para cada contradição técnica.

Tabela 17 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 1.

Contradição técnica	PI's indicados
PE 33 – Usabilidade x PE 35 – Adaptabilidade	1 – Segmentação ou fragmentação 15 – Dinamização 35 – Ação parcial 34 – Descarte e regeneração

Tabela 18 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 2.

Contradição técnica	PI's indicados
PE 35 – Adaptabilidade x PE 39 – Produtividade	6 – Universalização 28 – Substituição de meios mecânicos 35 – Mudança de parâmetros e propriedades 37 – Expansão térmica

Tabela 19 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 3.

Contradição técnica	PI's indicados
PE 36 – Complexidade do objeto x PE 35 – Adaptabilidade	15 – Dinamização 28 – Substituição de meios mecânicos 29 – Construção pneumática ou hidráulica 37 – Expansão térmica

Tabela 20 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 4.

Contradição técnica	PI's indicados
PE 12 – Forma x PE 29 – Precisão de fabricação	30 – Uso de filmes e membranas flexíveis 32 – Mudança de cor 40 – Uso de materiais compostos

Tabela 21 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 5.

Contradição técnica	PI's indicados
PE 35 – Adaptabilidade x PE 10 – Força ou intensidade	15 – Dinamização 17 – Transição para nova dimensão 20 – Continuidade da ação útil

Tabela 22 – Lista de PI's indicados para a contradição técnica 6.

Contradição técnica	PI's indicados
PE 32 – Manufaturabilidade x PE 14 – Resistência	1 – Segmentação ou fragmentação 3 – Qualidade localizada 10 – Ação prévia 32 – Mudança de cor

Tendo como ponto de partida os PI's indicados para cada contradição, foi iniciado o processo de busca pelas soluções técnicas mais adequadas ao caso, por meio de discussões em equipe, de busca por analogias, e também pela análise de aplicações anteriores, sem perder de vista os requisitos dos usuários apresentados na Tabela 5.

É importante destacar que a equipe de projeto, considerando a proposta de melhoria em relação a utensílios já existentes, partiu do pressuposto de que o novo conceito de utensílio teria como partes fundamentais pelo menos um cabo e um talher, sem qualquer tipo de definição quanto às demais partes e à união entre elas.

Por se tratar muitas vezes de um conceito abstrato, o processo de interpretação de cada PI e de sua aplicação em uma situação específica é de grande importância para a obtenção de soluções adequadas. Nesse sentido, o estudo de outros casos onde a aplicação do método foi bem-sucedida pode ser de grande valia. Vale lembrar que o Anexo B traz descrições mais detalhadas de cada PI, com alguns exemplos ilustrativos para facilitar a compreensão de cada um.

São apresentadas a seguir as soluções técnicas encontrados pela equipe de projeto a partir dos PI's sugeridos pela TRIZ para cada contradição técnica. Mais uma vez, recomenda-se para um melhor entendimento do processo de obtenção dessas soluções a análise detalhada das definições apresentadas no Anexo B para cada PI utilizado nesse processo.

Para a contradição 1, dentre os PI's indicados na Tabela 17, foram trabalhados o PI 1 (segmentação ou fragmentação) e o PI 15 (dinamização). A partir do primeiro, chegou-se à ideia da criação de um produto com partes independentes, cujo acoplamento fosse feito por meio de engates rápidos ou *snapfits*. O segundo, por sua vez, conduziu a equipe de projeto à escolha de um utensílio que permitisse a utilização de diversos modelos de talheres comerciais adaptados. Além disso, com o intuito de permitir um movimento relativo entre o talher e o cabo, foi adotada uma articulação giratória entre ambos, como uma maneira de facilitar a troca de talheres e também como um meio simples de compensação dos tremores com o auxílio da gravidade.

Na contradição 2, foi escolhido, dentre os PI's indicados na Tabela 18, o de número 6 (universalização). A partir da sugestão deste princípio de se fazer com que um objeto execute múltiplas funções, a equipe decidiu tornar o cabo do utensílio, além da parte onde o usuário efetua a preensão, também em uma parte que possibilitasse a variação da massa total do conjunto e, portanto, um ajuste mais adequado da compensação dos tremores segundo o nível de tremor de cada usuário. Além disso, buscou-se também torná-lo uma parte mais efetiva no processo de fixação do utensílio à mão do usuário, funcionando como suporte para outras peças relacionadas a essa função, como uma cobertura ergonômica e uma correia ajustável.

No caso da contradição 3, dentre os PI's apresentados na Tabela 19, utilizou-se o PI 15 (dinamização), no sentido de reforçar a adaptabilidade do utensílio aos diversos níveis de tremores por meio da variação de massa total, como foi trabalhado na contradição 2. Também foi utilizado o PI 29 (construção pneumática ou hidráulica), que culminou, por parte da equipe, na adoção da água como elemento de variação da massa do utensílio, por meio do preenchimento de até quatro cavidades internas ao cabo.

Para a contradição 4, dentre os PI's apresentados na Tabela 20, foram utilizados os conceitos sugeridos pelo PI 30 (uso de filmes finos e membranas flexíveis), de onde surgiu a ideia da cobertura ergonômica feita de silicone ou outro material semelhante, e o PI 40 (utilização de materiais compostos), que definiu a fabricação do utensílio em materiais de plástico e silicone, com exceção do talher de metal. Dessa maneira, além de se evitar o risco de possíveis danos ao usuário durante a utilização do produto, este, em sua totalidade, é feito de materiais passíveis de serem reciclados e mesmo reutilizados.

Para a contradição 5, dentre os PI's apresentados na Tabela 21, foi utilizado o PI 17 (transição para nova dimensão), a partir do qual foi adotada uma nova dimensão na montagem do utensílio pela inserção de uma correia ajustável para fixação da mão do usuário. Em consonância com o primeiro, foi utilizado também o PI 15 (dinamização), que orienta o ajuste do produto para desempenho ótimo em cada situação, o que se consegue pela regulagem da correia. Proporciona-se, assim, um auxílio e uma maior segurança na preensão do usuário, mesmo com o aumento da massa do produto.

Por fim, no caso da contradição 6, dentre os PI's indicados na Tabela 22, foram utilizados os PI's 1 (segmentação ou fragmentação), 3 (qualidade localizada) e 10 (ação prévia). O primeiro deles inspirou a equipe a elaborar um produto que fosse formado por peças menores e mais simples, ao invés de um produto com menos peças, mas de geometria e fabricação mais complexas. Esta escolha abriu espaço para a aplicação do PI 3, em que se buscou adequar cada peça à sua função da melhor maneira possível, como por exemplo no caso do cabo e de suas cavidades internas. Por último, o PI 10 conduziu a equipe a uma organização prévia da estrutura do produto de modo a evitar inconvenientes na montagem e na utilização do mesmo.

É importante, mais uma vez, ressaltar que o processo de desdobramento dos PI's demanda uma equipe bem fundamentada em conceitos técnicos relacionados à área de projeto em questão, além de uma participação colaborativa na elaboração e no desenvolvimento das possíveis soluções técnicas. Nesse sentido, quanto mais bem definidos os parâmetros do QFD e as contradições técnicas, melhor será o resultado final, tendo como meta o atendimento dos requisitos dos usuários.

5. GERAÇÃO DO PROTÓTIPO

Após a obtenção das soluções técnicas viáveis a partir dos PI's, foram feitos os primeiros esboços do produto à mão. Foram várias as versões elaboradas e, a cada uma delas, a equipe de projeto buscou aprimorar a adequação do produto às soluções obtidas por intermédio da TRIZ e, conseqüentemente, aos requisitos dos usuários que iniciaram e nortearam todo o processo de desenvolvimento. Alguns dos esboços realizados são apresentados da Figura 33 à Figura 36.

Figura 33 – Esboço dos possíveis modelos de utensílio.

Figura 34 – Esboço das possibilidades de fixação do talher.

Figura 35 – Esboço de possíveis mecanismos de fixação do talher.

Figura 36 – Esboço mais detalhado de uma das primeiras versões do mecanismo de fixação do talher.

O processo de esboço à mão foi também acompanhado pelo desenho em CAD do utensílio, utilizando-se para isso o software SolidWorks® 2014. Novamente, foram várias as versões e alterações no produto ao longo do processo de projeto, até que se chegou à versão final do protótipo, cujos desenhos são apresentados da Figura 37 à Figura 39, com a indicação de cada uma das peças. Em todo esse processo, buscou-se levar em conta a ergonomia do utensílio, de modo a facilitar seu manuseio pelo usuário, evitar o deslizamento durante o uso, diminuir o risco de acidentes e tornar a atividade de alimentação a mais agradável possível.

Figura 37 – Vista lateral do protótipo, com indicação de peças.

Figura 38 – Vista explodida do protótipo, com indicação de peças.

Figura 39 – Vista em perspectiva traseira do protótipo, com indicação de peças.

Conforme ilustrado na Figura 37, o utensílio de alimentação é composto essencialmente por um cabo (1), em que é acoplado o talher adaptado (2) por meio de um sistema eixo-furo. Como meio de fixação do talher junto ao cabo, utiliza-se uma tampa frontal (3), que se prende ao cabo com o auxílio de um sistema *snapfit*, facilitando a remoção da mesma para a troca de talher. O cabo possui em seu interior quatro compartimentos ocos, que permitem a entrada de água, proporcionando a variação de massa do utensílio. A tampa traseira (4) é a responsável por fazer a vedação desses compartimentos, também por intermédio de um sistema *snapfit*. No cabo é também acoplada uma cobertura ergonômica (5), que se ajusta ao mesmo por meio de um sistema eixo-furo e que é fixada também com o auxílio da tampa traseira, por meio de duas abas presentes nesta última. As abas também estão presentes na tampa frontal, e em ambas as tampas têm a função de facilitar sua remoção. Por fim, na cobertura ergonômica é inserida a correia universal (6), cujo objetivo é a fixação do utensílio à mão do usuário.

Detalhando o utensílio, a Figura 38 mostra como cada peça se encaixa dentro do utensílio como um todo. O cabo é a peça principal que servirá de suporte para todas as demais. Nele é acoplado o talher e fixada a tampa frontal, cuja função é impedir o movimento longitudinal do talher. É encaixada então a cobertura ergonômica que se apoia, em sua parte frontal, em um ressalto no cabo. Por meio de duas alças presentes na cobertura é inserida então a correia universal, que possui um conjunto de furos em uma de suas extremidades, juntamente com um

pino na outra, para proporcionar um ajuste da pressão de fixação na mão do usuário. Por fim, é acoplada ao cabo a tampa traseira, que tem ao mesmo tempo a função de travar o movimento da cobertura ergonômica e vedar as cavidades internas do cabo, que por sua vez podem estar cheias ou não de água.

A Figura 39 evidencia a configuração interna do cabo, com suas quatro cavidades iguais que podem ou não ser preenchidas por água, permitindo assim cinco condições diferentes de massa total do utensílio, com uma variação máxima de cerca de 80 g (20 g por cavidade). Como se vê na figura, a tampa traseira é a responsável pela vedação destas cavidades.

Da Figura 40 à Figura 42, são exibidas imagens tridimensionais renderizadas do protótipo em várias perspectivas, obtidas com o auxílio do SolidWorks® 2014.

Figura 40 – Vista em perspectiva frontal do utensílio.

Figura 41 – Vista explodida do utensílio.

Figura 42 – Vista em perspectiva traseira do utensílio, ressaltando as cavidades internas.

O processo de escolha da melhor tecnologia de MA para a geração do protótipo do utensílio baseou-se em três premissas principais: utilização de uma impressora de baixo custo, facilidade de acesso e grau de personalização exigido pelo projeto. Como o departamento de Engenharia Mecânica da EESC-USP adquiriu em 2015 duas impressoras do modelo 3D Cloner DH®, apresentado na Figura 43, optou-se por utilizar a tecnologia disponível. Cabe ressaltar que o material utilizado sob a forma de filamento foi o ácido polilático (PLA), que forneceu um objeto com boas características mecânicas para um protótipo, além de ser um material biodegradável.

O uso de uma impressora 3D requer um estudo prévio relacionado às estratégias de deposição de material que influenciam na quantidade de material de suporte e também na dificuldade de sua remoção. A realização dessas ações de maneira planejada minimiza o desperdício de material e facilita o pós-processamento do objeto.

É importante ressaltar ainda que antes da impressão do protótipo em si, foi necessária a fabricação de algumas peças mais simples para a caracterização da precisão de fabricação da impressora utilizada, de maneira a assegurar as dimensões adequadas em cada peça do protótipo e, conseqüentemente, uma montagem satisfatória.

Figura 43 – Impressora 3D Cloner DH® (SEM-EESC/USP).

Outro aspecto que merece ser destacado é o fato de que, no produto final, o planejamento é de que nem todas as peças sejam feitas com o mesmo material (PLA). Como se trata de um protótipo, pequenas alterações foram feitas em algumas peças para se possibilitar a montagem e mesmo a funcionalidade deste, ainda que restrita. As tampas, por exemplo, tiveram seu mecanismo de fixação adaptado para funcionar com o auxílio de um adesivo reutilizável (*Blu-Tack™*) e a correia ajustável foi feita apenas para composição e ilustração da montagem, já que no produto final seria feita de silicone.

Além disso, devido ao volume de trabalho da impressora e a características inerentes ao processo de FDM, como a impressão do material de suporte para a peça que após o processo necessita ser removido manualmente, foram feitas algumas adaptações nas peças. O objetivo dessas adaptações era permitir a fabricação da peça, no caso em que suas dimensões excedessem o volume de trabalho da impressora, ou reduzir a quantidade de material de suporte utilizada e facilitar a sua remoção após a impressão. Como exemplo, pode ser citada a divisão de uma mesma peça em duas partes com a posterior união destas por meio de colagem, como pode ser visualizado nos casos das peças da Figura 44, apresentadas no próprio software da impressora.

Figura 44 – Peças produzidas em duas partes para posterior colagem: (a) cobertura ergonômica; (b) correia universal.

O primeiro protótipo do utensílio, fabricado inteiramente via impressão 3D (inclusive o talher), pode ser visualizado na Figura 45, em vista frontal, e na Figura 46, em vista lateral.

Figura 45 – Vista frontal do protótipo do utensílio, inteiramente fabricado via impressão 3D.

Figura 46 – Vista lateral do protótipo do utensílio, inteiramente fabricado via impressão 3D.

Concluída a impressão 3D do protótipo, buscou-se então a fabricação do talher a ser utilizado no utensílio. Como definido pela equipe de projeto, pode ser utilizado o talher que mais satisfaça o usuário, desde que passe por um processo de adaptação do cabo para encaixe no utensílio. Esse processo consiste basicamente na realização de uma dobra a 90° e de um furo, como pode ser visualizado na Figura 47, propiciando assim a articulação giratória.

Figura 47 – Talher adaptado para o utensílio.

O protótipo funcional do utensílio, com algumas modificações na correia ajustável, é então apresentado da Figura 48 à Figura 50, com o detalhe nesta última de cada uma de suas partes. Cabe frisar que as tampas foram fixadas ao utensílio com o auxílio do adesivo *Blu-Tack™*, como solução temporária.

Figura 48 – Vista frontal do protótipo do utensílio, já com talher adaptado.

Figura 49 – Vista lateral do protótipo do utensílio, já com talher adaptado.

Figura 50 – Vista de cada uma das partes protótipo do utensílio.

No trabalho não houve uma estimativa do custo total do protótipo gerado, uma vez que precisariam ser considerados diversos insumos e mão-de-obra, como os gastos com fabricação, projeto, recursos humanos, entre outros. A impressora, no entanto, fornece uma estimativa do custo relativo ao material depositado para cada peça, totalizando R\$ 24,00 para o utensílio como um todo.

O processo de geração do protótipo demonstrou que alguns requisitos mínimos são indicados para os projetistas, como por exemplo o conhecimento sobre técnicas de fabricação e de desenho, tanto à mão como em CAD. Um conhecimento prévio a respeito da MA e do mecanismo de funcionamento da impressora 3D a ser utilizada é também muito importante. Além disso, o desenvolvimento da capacidade de trabalho em equipes multidisciplinares é um fator bastante desejável.

Dentre as dificuldades principais enfrentadas neste processo, podem ser destacadas: a busca por uma consonância na comunicação entre profissionais de áreas tão distintas do conhecimento como a engenharia e a terapia ocupacional; o desenvolvimento de um sistema funcional, que fosse puramente mecânico e que pudesse ser fabricado de maneira simples via MA; a fabricação de determinadas peças por meio da impressão 3D, sobretudo no que se refere à remoção do material de suporte no pós-processamento.

Se por um lado as dificuldades enfrentadas trouxeram desafios à equipe de projeto, por outro proporcionaram o desenvolvimento de suas capacidades de projeto, em especial no caso de projetos multidisciplinares. As possibilidades que se abrem para o desenvolvimento de variantes de soluções e novos produtos são muitas e deverão ser aproveitadas, tendo como um dos objetivos a geração de patentes e conhecimentos de domínio público, além é claro de proporcionar produtos que atendam de maneira cada vez mais satisfatória as necessidades reais dos usuários.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O uso do QFD se mostrou de fundamental importância neste trabalho, pois proporcionou uma interação real entre os profissionais da área de saúde e os engenheiros de projeto. Alguns dos parâmetros técnicos obtidos a partir da lista de requisitos dos usuários não teriam sido contemplados caso não existisse essa interação, como por exemplo a importância da facilidade de limpeza do utensílio e o significado psicológico de um design mais adequado deste para o usuário.

O trabalho também demonstrou, na prática, que o uso da TRIZ demanda experiência e uma boa base técnica da equipe de projeto para ser bem-sucedido. Pôde-se notar que o processo de definição dos parâmetros técnicos do QFD tem uma grande importância para a subsequente transformação destes em PE's e, posteriormente, para a obtenção das contradições técnicas do problema e dos PI's a elas associados.

Verificou-se também que o desdobramento dos PI's da TRIZ e sua aplicação a um problema específico exigem da equipe de projeto todo um processo de discussões, busca por analogias e análise de aplicações anteriores. Como se trata muitas vezes de um conceito abstrato, foi possível reconhecer que o estudo de casos em que cada PI foi aplicado de maneira satisfatória é muito útil para a obtenção de bons resultados.

A integração entre o QFD e a TRIZ abre novos horizontes para os projetistas, especialmente nos estágios iniciais do desenvolvimento do produto, assegurando e facilitando uma relação mais efetiva e concreta entre os requisitos dos usuários e as características técnicas do produto final, possibilitando também uma maior interdisciplinaridade dos projetos de engenharia.

A metodologia de projeto, por sua vez, especialmente em seus estágios de projeto informacional e conceitual, se mostrou de grande valor para o desenvolvimento de produtos com um alto nível de customização, em que a inovação é de grande interesse, como ocorre no campo da tecnologia assistiva.

Uma grande aliada nesse processo foi a manufatura aditiva, que permitiu uma visualização física das soluções técnicas elaboradas e uma maior aproximação entre

o conceito e o protótipo do produto. Além disso, tecnologias como esta podem propiciar e favorecer a criação de projetos *open design* no campo da tecnologia assistiva, cuja característica marcante é justamente o alto nível de customização. É importante ressaltar, no entanto, que esse tipo de projeto deve ser realizado com o acompanhamento de profissionais especializados, uma vez que suas aplicações estão diretamente relacionadas à saúde do usuário.

Com relação ao protótipo do produto, podem ser destacadas algumas de suas principais características, responsáveis por garantir o atendimento dos requisitos dos usuários e dos objetivos de projeto de uma maneira geral:

- É constituído de um cabo cilíndrico, em que existe uma articulação giratória para acoplamento de talheres adaptados, e ao qual pode ser fixada uma cobertura ergonômica com correia universal (fixação ajustável) à mão do usuário;
- Proporciona uma variação de sua massa total por meio do preenchimento de até quatro cavidades internas ao cabo, utilizando-se para isso de um fluido;
- Utiliza um fluido de variação de massa com as seguintes características: atóxico, reutilizável e de fácil obtenção. Por esses motivos, foi escolhida a água;
- Permite o acoplamento de diferentes tipos de talheres comerciais adaptados;
- Apresenta um mecanismo essencialmente mecânico de compensação de tremores, sendo concebido para uma montagem rápida e simplificada de seus componentes;
- Proporciona uma higienização mais rápida e eficiente, além de maior facilidade para a reposição de componentes;
- Possibilita um maior índice de empacotamento e, portanto, um armazenamento e deslocamento mais facilitados;
- Permite o acoplamento de uma cobertura ergonômica, apresentando também como opção uma correia universal para fixação ajustável à mão do usuário;
- Tem os componentes fabricados com materiais que possibilitam a reciclagem e até mesmo o reuso;

- Permite manipulações de alimentos em estado sólido, líquido e pastoso;
- Proporciona uma compensação para diferentes tremores;
- Apresenta um custo reduzido de fabricação, o que pode possibilitar um preço de venda menor e maior acessibilidade aos usuários do SUS.

Por fim, como perspectivas para trabalhos futuros podem ser mencionadas:

- A realização de testes com usuários;
- O desenvolvimento de novos protótipos, a partir das possibilidades de melhoria observadas nos testes, inclusive com a possibilidade de desenvolvimento de um projeto *open design*;
- O desdobramento de outros princípios inventivos indicados pela TRIZ, em busca de novas oportunidades de inovação;
- Um estudo de adaptação do produto para fabricação em maior escala;
- A utilização de outras ferramentas de metodologia de projeto no desenvolvimento do produto, como por exemplo a AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DCLONER. 2014. Disponível em: <<http://www.3dcloner.com.br/produto/3d-cloner-dh>>. Acesso em: 20 out. 2015.

AKAO, Y. **Quality function deployment**: integrating customer requirements into product design. Translated by Glen H. Mazur. Introduction by Bob King. Portland: Productivity Press, 1990. 361 p.

ALTSHULLER, G. S. **The innovation algorithm**: TRIZ, systematic innovation and technical creativity. 1. ed. Translated and edited by Lev Shulyak and Steven Rodman. Worcester: Technical Innovation Center, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F2792-12a**: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. West Conshohocken, 2012. 3 p.

ASSISTIVETECH. National Public Website on Assistive Technology. [s. d.] Disponível em: <http://assistivetech.net/search/productDisplay.php?product_id=43369>. Acesso em: 13 jul. 2014.

BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos**: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008. 601 p.

BARBOSA, I. M.; TONUSSI, M. A.; FREITAS, M. S.; NORITOMI, P. Y.; SILVA, J. V. L.; SILVEIRA, Z. C. Estudo da viabilidade técnica e projeto conceitual de uma maca de banho para uso hospitalar. **GEINTEC - Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 5, n. 1, p. 1792-1808, 2015.

BASSETTO, E. L. **Proposta de metodologia para o ensino das fases de projeto informacional e projeto conceitual**. 2004. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. Apostila. 2013. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2014.

BRASIL. Decreto nº 3.298, de 10 de dezembro de 1999. Regulamenta a Lei nº 7.853, de 24 de outubro de 1989. Dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 dez. 1999. Seção 1, n. 243, p.10-15. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3298.htm>. Acesso em: 11 jul. 2013.

_____. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. **Tecnologia Assistiva**. Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

BOWDEN, J. R.; LUCAROTTI, R. A. **Eating Utensil**. US 20100206885 A1, 19 Feb. 2009. Disponível em: <<http://www.google.co.in/patents/US20100206885>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

CARVALHO, M. A. **TRIZ**. 2003. Disponível em: <<http://www.decarvalho.eng.br/triz.html>>. Acesso em: 13 mai. 2014.

CARVALHO, M.; BACK, N.; OGLIARI, A. TRIZ no desenvolvimento de Produto: encontrando e resolvendo contradições técnicas e físicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 5., 2005, Curitiba. **Anais eletrônicos...**

CHANG-MING, H., CHI-HAO, Y. The Synergy of QFD and TRIZ Design Practice – A Case Study for Medical Care Bed. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELLING, IDENTIFICATION AND CONTROL, 3., 2011, Shanghai, China. **Proceedings...**

CHAOQUN, D. Research on Application System of Integrating QFD and TRIZ. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATION & MANAGEMENT, 7., 2010, Wuhan University of Technology, China. **Proceedings...** São Paulo: PUC-SP, 2010. Disponível em: <http://www.pucsp.br/icim/ingles/proceedings/papers_2010.html>. Acesso em: 01 out. 2014.

CHEN, C. H.; HUANG, C. Y. The synergy of QFD and TRIZ for solving EMC problems in electrical products - A case study for the Notebook PC. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 32, n. 5, p. 311-330, 2015.

CHENG, L. C.; MELO FILHO, L. R. **QFD**: desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 539 p.

CLAUSING, D. **Total quality development**: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering. New York: ASME Press, 1994. 506 p.

_____. **Quality function deployment (QFD)**: listening to the voice of the customer. Lecture notes. MIT ESD.33 – Systems Engineering. [s. d.] Disponível em: <<http://www.gilb.com/dl145>>. Acesso em: 25 out. 2015.

COOK, A. M.; POLGAR, J. M. **Assistive Technologies**: Principles and Practice. 3rd ed. Maryland Heights: Mosby, 2008. 592 p.

CUSTOMPARTNET. 2008. Disponível em: <<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>>. Acesso em: 10 out. 2015.

FAN, H. T.; SHENG, Z. Q. Research on conceptual design of product service system oriented on CNC machine tools. **Advanced Materials Research**, v. 889, p. 1471-1480, 2014.

FLORES-LUNA, R. I., DORADOR-GONZÁLEZ, J. M., ESPINOSA-BAUTISTA, A. Prosthesis Analysis Based on TRIZ. **Key Engineering Materials**, v. 572, p. 135-138, 2013.

FORCELLINI, F. A. **Projeto de produtos**. Apostila. 2002. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAMOEAA/apostila-forcellini>>. Acesso em: 11 out. 2014.

FRIZZIERO, L.; CURBASTRO, F. R. Innovative methodologies in mechanical design: QFD vs TRIZ to develop an innovative pressure control system. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 9, n.6, p. 966-970, 2014.

GAO, C.; GUO, L.; GAO, F.; YANG, B. Innovation design of medical equipment based on TRIZ. **Technology and Health Care**, v. 23, n. s2, p. 269-276, 2015.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing**. New York: Springer, 2010.

GONÇALVES, L. H. T.; ALVAREZ, A. M.; ARRUDA, M. C. Pacientes portadores da doença de Parkinson: significado de suas vivências. **Acta Paul Enferm**, v. 20, n. 1, p. 62-68, 2007.

HOEHN, M. M.; YAHR, M. D. Parkinsonism: onset, progression and mortality. **Neurology**, v. 17, n. 5, p. 427-442, 1967.

HUANG, F. Technology Innovation and New Product Development Process integrating QFD and TRIZ. In: Suzhou-Silicon Valley-Beijing International Innovation Conference (SIIC), 2013. Suzhou, China. **Proceedings...**

ILEVBARE, I. M., PROBERT, D., PHAAL, R. A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. **Technovation**, v. 33, n. 2-3, p. 30-37, 2013.

INNOSUPPORT. Supporting Innovations in SME. [s. d.] Disponível em: <http://www.innosupport.net/fileadmin/Module_Medien/4_9Medien/4_9_4_2pt/step3.htm>. Acesso em: 5 jul. 2015.

KIM, Y.; YOON, B. Developing a process of concept generation for new product-service systems: a QFD and TRIZ-based approach. **Service Business**, v. 6, n. 3, p. 323-348, 2012.

KNELLER, G. F. **Arte e ciência da criatividade**. 17. ed. São Paulo: Ibrasa, 1978. 121 p.

LIFTWARE. [s. d.] Disponível em: <<http://store.liftware.com/collections/all/products/liftware-starter-kit>>. Acesso em: 28 out. 2015.

_____. [s. d.] Disponível em: <<http://www.liftware.com/how/>>. Acesso em: 28 out. 2015.

LUO, R. C.; TZOU, J. H.; HSIEH, C. Y.; CHOU, H. H. The development of a thermal extrusion based rapid prototyping mechatronics system. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY (IECON), 28., 2002. **IECON 02**, v. 3, p. 2237-2242, 2002.

MA, H. I.; HWANG, W. J.; TSAI, P. L.; HSU, Y. W. The effect of eating utensil weight on functional arm movement in people with Parkinson's disease: a controlled clinical trial. **Clinical Rehabilitation**, v. 23, n. 12, p. 1086-1092, 2009.

MAYDA, M.; BORKLU, H. R. Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD. **Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing**, Japan, v. 8, n. 3, p. 1-12, 2014.

MAZUR, G. **Theory of inventive problem solving (TRIZ)**. 1995. Disponível em: <<http://www.mazur.net/triz>>. Acesso em: 21 out. 2015.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Disruptive technologies:** advances that will transform life, business, and the global economy. 2013. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/insights%20and%20pubs/mgi/research/technology%20and%20innovation/disruptive%20technologies/mgi_disruptive_technologies_executive_summary_may2013.ashx>. Acesso em: 10 set. 2015.

MELEMEZ, K.; DI GIRONIMO, G.; ESPOSITO, G.; LANZOTTI, A. Concept design in virtual reality of a forestry trailer using a QFD-TRIZ based approach. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, v. 37, n. 6, p. 789-801, 2013.

MELGOZA, E. L.; SERENÓ, L.; ROSELL, A.; CIURANA, J. An integrated parameterized tool for designing a customized tracheal stent. **Computer-Aided Design**, v. 44, n. 12, p. 1173-1181, 2012.

MNSUPRIMENTOS. Importação, Exportação e Comércio de Suprimentos Terapêuticos e de Reabilitação. [s. d.] Disponível em: <<http://www.mnsuprimentos.com.br/menu/?p=750#18>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

PACHELLI, B. L. **Análise do desempenho ocupacional de pessoa com doença de Parkinson na tarefa de alimentação: colher convencional X colher adaptada.** 2014. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Terapia Ocupacional) – Departamento de Terapia Ocupacional, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2014.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Engineering design:** a systematic approach. 3rd ed. Translation by Gerhard Pahl et al. London: Springer, 2007. 617 p.

PATHAK, A.; REDMOND, J. A.; ALLEN, M.; CHOU, K. L. A noninvasive handheld assistive device to accommodate essential tremor: A pilot study. **Movement Disorders**, v. 29, n. 6, p. 838-842, 2014.

PENDLETON, H. M.; SCHULTZ-KROHN, W. **Pedretti's occupational therapy: practice skills for physical dysfunction**. 7th. ed. St. Louis: Mosby, 2013. 1328 p.

PHILLIPS MOBILITY. Making Life Easier. [s. d.] Disponível em: <<http://www.phillipsmobility.co.uk/steady-spoon-2980-p.asp>>. Acesso em: 28 out. 2015.

RADOMSKI, M. V.; LATHAM, C. A. T. **Occupational therapy for physical dysfunction**. 6th. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2008. 1536 p.

RODRIGUES, A. R.; SOUZA, A. F.; BRANDÃO, L. C.; SILVEIRA, Z. C.; BRAGHINI JÚNIOR, A. **Desenho técnico mecânico: projeto e fabricação no desenvolvimento de produtos industriais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 473 p.

ROMEIRO FILHO, E.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A. C.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, R. M. **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 408 p.

ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Additive manufacturing: opportunities and constraints**. 2013. Disponível em: <<http://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão do desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria de processos**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

SANTANA, C. S., ELUI V. M. C., ANDRADE, V. S. Reflections about learning and teaching assistive technology in Brazil. **Technology and Disability**, v. 21, n. 4, p. 143-148, 2009.

SAMPIERI, R.; COLLADO, C.; LUCIO, P. **Metodologia de Pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SCANLAN, J. P; **TRIZ 40 Design Principles**. School of Engineering Sciences, University of Southampton, Southampton, [s. d.]. 42 p. Disponível em: <<http://www.southampton.ac.uk/~jps7/Lecture%20notes/TRIZ%2040%20Principles.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

SOUZA, B. C. C. **Criatividade: uma arquitetura cognitiva**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

STRATASYS. 2015. Disponível em: < <http://www.stratasys.com/br/impressoras-3d/production-series/fortus-900mc>>. Acesso em: 20 out. 2015.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. **The 2015 Revision of World Population Prospects**. 2015. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/>>. Acesso em: 05 jul. 2015.

UNIVERSITY OF MICHIGAN. Anupam Pathak, Jonathan Luntz, Diann Brei, Tian Shen, Sarah Napier, Rajiv Ghosh, Sei Jin Park. **Tremor stabilizing system for handheld devices**. US 8308664 B2, 3 Mar. 2010. Disponível em: <<http://www.google.com.ar/patents/US8308664>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

USA. Public Law 105-394. Assistive Technology Act of 1998, 13 Nov. 1998. 105th Congress. **U.S. Government Publishing Office**, Washington, DC, 1998. S. 2432. Disponível em: <<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-105publ394/pdf/PLAW-105publ394.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2013.

VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. V.; PETRUSH, G.; CARVALHO, J.; SANTOS, J. R. L.; SILVA, J. V. L. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

WANG, C.; ZHAO, W.; WANG, J.; LI, X.; ZHANG, K.; GUO, X.; ZENG, J. The Optimizing Strategy of Systematic Process Innovation based on QFD TRIZ and AHP. **Applied Mathematics & Information Sciences**, v. 9, n. 3, p. 1593-1604, 2015.

WEINSTEIN, A. H. **Eating Utensil**. US 5630276, 16 Aug. 1994. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US5630276>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

_____. **Eating utensil**. US 5592744, 29 Nov. 1995. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US5592744>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

WILSON, D. B. **Eating devices which reduce tremors of the hand**. US 8468700 B2, 7 Jul. 2010. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US8468700>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

WOHLERS, T. (Coord.). **Wohlers Report 2015: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry**. Fort Collins: Wohlers Associates, 2015. 314 p.

XIE, J.; TANG, X.; SHAO, Y. Research on Integrated Innovation Design Method of TRIZ and QFD Based on the Consumer Demand Decision. **International Journal of Information Processing and Management (IJIPM)**, v. 3, n. 2, p. 14-24, 2012.

XIMENES, R. D. **Estudo e aplicação da metodologia TRIZ: desenvolvimento de um projeto conceitual para escolha de mancais para cabeçote de uma máquina de ultraprecisão**. 2011. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

YEH, C. H., HUANG, J. C. Y., YU, C. K. Integration of four-phase QFD and TRIZ in product R&D: a notebook case study. **Research in Engineering Design**, v. 22, n. 3, p. 125-141, 2011.

ZHANG, F. Y.; LI, T.; ZHANG, H. C. Study on the Efficiency-Reinforcement Design for Elastomeric Hydraulic Reciprocating Sealing Based on QFD/TRIZ. **Materials Science Forum**, v. 770, p. 312-315, 2013.

ZHANG, F.; YANG, M.; LIU, W. Using integrated quality function deployment and theory of innovation problem solving approach for ergonomic product design. **Computers & Industrial Engineering**, v. 76, n. 1, p. 60-74, 2014.

APÊNDICE A – MATRIZ QFD

Neste apêndice, é apresentada na Figura 51 a matriz da Casa da Qualidade do QFD elaborada pela equipe de projeto.

		<div> <p>Convenções</p> <hr/> <p>Correlações</p> <p>Positiva +</p> <p>Negativa -</p> <p>Não tem correlação</p> <hr/> <p>Relações</p> <p>Forte 9</p> <p>Média 3</p> <p>Fraca 1</p> </div>														
Coluna #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Unidade	N	W/m2	s	n	n	m3	%	R\$	Pa	n	s	s	%	%	kg	%
Parâmetros técnicos	Força de preensão do usuário	Taxa de transferência de calor na interface	Tempo de preparo para uso	Número de graus de Parkinson contemplados	Número de peças	Capacidade do utensílio	Perda de alimento	Custo do utensílio	Resistência mecânica crítica	Número de arestas	Tempo de higienização	Tempo de alimentação	Redução de amplitude	Redução de frequência	Inércia	Índice de compactação volumétrica
Requisitos do usuário																
Ser confortável	3	3	1	1		1	1			3		3	3	9	3	
Ser adaptável			3	9		1	1	1					3	3	3	
Ser de fácil limpeza					3	1		1	1	3	9					1
Ser firme	9		1	3		1	3		1				1	3	1	
Não machucar o paciente	1	1	1	1					1	9			1	3	1	1
Atender alimentos sólidos e líquidos		1		1	1	9	3	1			3	3	3	3	1	
Permitir mudança de utensílios				1	9	3	1	3	1		3	3	1	1	1	3
Ter baixo custo		3	1	1	1			9	3							3
Compensar tremor	3		3	3	1	1	1	3	1			3	3	9	3	
Apresentar design atrativo			3		1	1		1	1	1					1	9

Figura 51 – Matriz da Casa da Qualidade do QFD.

APÊNCIDE B – NÍVEL DE IMPORTÂNCIA DOS REQUISITOS

Neste apêndice, da Figura 52 à Figura 61, são apresentados os resultados da pesquisa realizada com os terapeutas ocupacionais a respeito do nível de importância de cada um dos requisitos do produto. A pesquisa contou com a participação de sete profissionais.

Ser confortável...

1 (pouco relevante)	0	0%
3 (relevante)	4	57%
9 (muito relevante)	3	43%

Figura 52 – Nível de importância do requisito “ser confortável”.

Ser adaptável...

1 (pouco relevante)	0	0%
3 (relevante)	2	29%
9 (muito relevante)	5	71%

Figura 53 – Nível de importância do requisito “ser adaptável”.

Ser de fácil limpeza...

1 (pouco relevante)	0	0%
3 (relevante)	5	71%
9 (muito relevante)	2	29%

Figura 54 – Nível de importância do requisito “ser de fácil limpeza”.

Ser firme...

1 (pouco relevante)	0	0%
3 (relevante)	4	57%
9 (muito relevante)	3	43%

Figura 55 – Nível de importância do requisito “ser firme”.

Não machucar o paciente...

1 (pouco relevante)	0	0%
3 (relevante)	3	43%
9 (muito relevante)	4	57%

Figura 56 – Nível de importância do requisito “não machucar o paciente”.

Atender alimentos sólidos e líquidos...

1 (pouco relevante)	0	0%
3 (relevante)	4	57%
9 (muito relevante)	3	43%

Figura 57 – Nível de importância do requisito “atender alimentos sólidos e líquidos”.

Permitir mudança de utensílios...

1 (pouco relevante)	1	14%
3 (relevante)	3	43%
9 (muito relevante)	3	43%

Figura 58 – Nível de importância do requisito “permitir mudança de utensílios”.

Ter baixo custo...

1 (pouco relevante)	1	14%
3 (relevante)	5	71%
9 (muito relevante)	1	14%

Figura 59 – Nível de importância do requisito “ter baixo custo”.

Compensar tremor...

1 (pouco relevante)	0	0%
3 (relevante)	2	29%
9 (muito relevante)	5	71%

Figura 60 – Nível de importância do requisito “compensar tremor”.

Apresentar um design atrativo...

1 (pouco relevante)	3	43%
3 (relevante)	4	57%
9 (muito relevante)	0	0%

Figura 61 – Nível de importância do requisito “apresentar um design atrativo”.

Figura 62 – Planilha no Excel de aplicação da TRIZ desenvolvida no Excel®.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO SOBRE O UTENSÍLIO

Neste anexo, é exibido o questionário relacionado ao utensílio de alimentação para portadores da Doença de Parkinson ou outras disfunções motoras, enviado, via Internet, aos profissionais da área de saúde. O questionário foi respondido por quinze profissionais.

Questionário

- 1.1) Higiene - O utensílio deve apresentar fácil higienização e esterilização?
- 1.2) Higiene - Qual o grau de importância da higiene?
- 2.1) Peso - O utensílio deve apresentar massa próxima do talher convencional?
- 2.2) Peso - Qual o grau de importância de que o utensílio apresente massa próxima ao do talher convencional?
- 3.1) Grau de tremor - Existem diferentes graus de tremor? Responda "sim" ou "não" e explique.
- 3.1) Grau de tremor - Qual a importância de considerar o grau de tremor?
- 4.1) Fixação - A fixação do utensílio na mão do usuário é importante?
- 4.2) Fixação - Qual a importância da fixação do utensílio na mão do usuário?
- 4.3) Fixação - Quais os tipos de fixação mais recomendados?
- 5) Geral - Qual é a maior dificuldade enfrentada pelas pessoas com tremor? A qual requisito listado acima está relacionada?
- 6) Considerações adicionais (sobre design, materiais, formas, texturas, características fundamentais, etc.).

ANEXO B – PRINCÍPIOS INVENTIVOS

Neste anexo, são apresentadas as definições dos 40 Princípios Inventivos estabelecidos pela TRIZ, segundo Romeiro Filho et al. (2010):

1. Segmentação: a. divida um objeto em partes independentes; b. faça uma seção no objeto; c. aumente o grau da segmentação do objeto. *Exemplos:* mobília modular, componentes modulares do computador; as mangueiras de jardim podem ser unidas para formar o comprimento desejado.

2. Extração: a. extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade indesejada do objeto; b. extraia somente a parte ou propriedade necessária. *Exemplo:* para afugentar os pássaros da proximidade de aeroportos pode ser empregado um aparelho de som para reproduzir o som dos pássaros. O som está separado dos pássaros.

3. Qualidade local: a. transição de uma estrutura homogênea do objeto ou fora do ambiente/ação para uma estrutura heterogênea; b. ter diferentes partes do objeto que desempenham diversas funções; c. arranje cada parte do objeto sob condições mais favoráveis para sua operação. *Exemplos:* para combater o pó nas minas de carvão, é aplicada uma névoa de água, em forma cônica, próximo às máquinas perfuratrizes e carregadeiras. Quanto menor o tamanho das gotas da névoa, maior a capacidade de combater a poeira; entretanto, sob essas condições, o trabalho dos mineiros torna-se difícil. Uma solução é desenvolver uma cortina de névoa grossa ao redor da névoa fina. Outro exemplo pode ser um lápis e uma borracha formando um único componente.

4. Assimetria: a. substitua uma forma simétrica por uma forma assimétrica; b. se um objeto já é assimétrico, aumente o grau de assimetria. *Exemplos:* projetar um lado do pneu do carro mais resistente que o outro, de modo a resistir ao impacto com o meio-fio. No processo de descarregamento de areia molhada de um caminhão, se for utilizado um funil simétrico tem-se um fluxo irregular de material. Por outro lado, se for utilizado um funil de forma assimétrica, tem-se um fluxo contínuo, portanto, melhor.

5. Combinando: a. combine, no espaço, objetos homogêneos ou objetos que se destinam a operações contíguas; b. combine, no tempo, operações homogêneas ou contíguas. *Exemplo:* o elemento de atuação de um escavador apresenta bocais especiais a vapor, para descongelar o solo congelado.

6. Universalidade: a. ter um objeto capaz de executar múltiplas funções, eliminando a necessidade de outros(s) objeto(s). *Exemplos:* sofá que se converte em uma cama. Minivan com assentos que ajustam para acomodar mais pessoas ou levar carga.

7. Alinhamento: a. conter um objeto dentro de outro que pode ser colocado dentro de um terceiro objeto; b. passe um objeto através da cavidade de um outro objeto. *Exemplos:* antena telescópica, cadeiras que empilham uma sobre as outras visando o armazenamento, lapiseira com grafite armazenado em seu interior.

8. Neutralizar peso (*Counterweight*): a. compense o peso de um objeto unindo-o a outro objeto que apresenta força de levantamento; b. compense o peso de um objeto por meio da interação com um ambiente, de modo que, dessa interação, sejam providas forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas. *Exemplos:* barcos com hidrofólios, aerofólio traseiro dos carros que causa aumento da pressão do carro sob o solo.

9. Contador de ação antecessor (*prior counter-action*): a. projete um contador-ação antecessor; b. se o objeto está (ou estará) sob tensão, planeje um efeito de antitensão antecessor. *Exemplos:* coluna de concreto reforçada. Estrutura reforçada de tubos que foram deformados, previamente, com o objetivo de criar um ângulo específico.

10. Ação antecessora: a. mantenha tudo ou parte da ação exigida com antecedência; b. organize os objetos, de modo que eles possam executar uma ação no momento oportuno e de uma posição conveniente. *Exemplos:* uma faca com uma lâmina especial, capaz de restabelecer o gume, assim que o mesmo estiver danificado. Aplicar, uniformemente, em garrafas, uma camada de borracha colada é difícil. Para facilitar esse processo pode ser empregada uma borracha em formato de fita.

11. Amortecer antecipadamente: a. Compense baixa confiabilidade do objeto por intermédio de medidas (*countermeasures*) antecipadas. *Exemplo:* as mercadorias de uma loja são magnetizadas para intimidar a ocorrência de furtos.

12. Equipotencialidade: a. altere as condições de funcionamento, de tal forma que um objeto não necessite ser elevado ou abaixado. *Exemplo:* o óleo do motor de um automóvel é mudado por trabalhadores que descem em uma cova, evitando o uso de equipamento para levantar o carro.

13. Inversão: a. em vez de implementar uma ação especificada do problema, implemente uma ação contrária (oposta); b. transforme uma parte imóvel do objeto em móvel e vice-versa. Ou, ainda, torne imóvel o ambiente externo; c. alterar a posição do objeto, isto é, da posição superior para a posição inferior. *Exemplo:* Processo de abrasão, em que os componentes são limpos por meio da sua própria vibração, em vez do movimento do abrasivo, propriamente dito.

14. Esfericidade: a. substitua as partes lineares e as superfícies planas por superfícies curvas; substitua as formas cúbicas por formas esféricas; b. use roletes cilíndricos e esferas; c. substitua um movimento linear por um movimento giratório; utilize o princípio da força centrífuga. *Exemplo:* *mouse* do computador, que utiliza roletes e esferas para transferir o movimento de dois eixos, linear, em movimento vetorial.

15. Dinamicidade: a. faça um objeto ou seu ambiente ajustar, automaticamente, visando otimizar o seu desempenho, em cada fase do seu ciclo de operação; b. divida o objeto em distintos componentes, que permitem movimento relativo, mudar de posição, entre si. c. se um objeto está imóvel, faça-o móvel ou intercambiável. *Exemplos:* uma lanterna com abertura flexível entre o seu corpo e a lâmpada.

16. Ação parcial ou exagerada: a. caso seja difícil desempenhar uma ação totalmente, faça isso gradativamente, simplificando o problema apresentado. *Exemplos:* um cilindro metálico é pintado imergindo-o em pintura, mas o excesso de pintura deve ser removido. Para isso, o cilindro é girado rapidamente. Para obter descarga uniforme de um pó metálico proveniente de um reservatório, dispõe-se de

um funil interno especial, o qual é enchido até a sua totalidade, a fim de prover o sistema de uma pressão quase constante e contínua.

17. Movendo para uma nova dimensão: a. remova problemas de objetos que se movem em linhas, movendo-se em um plano bidimensional; b. use montagem em vários estágios (n dimensões), em vez de um único estágio (unidimensional); c. incline o objeto ou vire o objeto de lado. *Exemplo:* uma estufa que possui refletor, côncavo, situado no lado norte da casa. Esse refletor pode ser empregado para melhorar a iluminação daquele lado da casa, refletindo luz do sol.

18. Vibração mecânica: a. faça um objeto oscilar; b. caso exista oscilação, aumente sua frequência, até mesmo a frequência ultrassônica; c. use a frequência ressonante; d. em vez de vibrações mecânicas, utilize vibrações piezoelétricas; e. use vibrações ultrassônicas juntamente com um campo eletromagnético. *Exemplos:* para remover o gesso do corpo sem causar ferimento à pele humana, a serra de mão convencional foi substituída por uma faca vibrando. O preenchimento do molde de fundição é realizado com movimentos vibratórios, a fim de melhorar o fluxo de material e as suas propriedades estruturais.

19. Ação periódica: a. substitua uma ação contínua por uma ação do tipo pulso (período único); b. se uma ação já é periódica, mude sua frequência; c. use pulsos entre impulsos para prover ação adicional. *Exemplos:* O *flash* de luminária de emergência, utilizada para indicar uma situação de advertência, tornando-a mais visível do que uma iluminação contínua.

20. Continuidade de uma ação útil: a. faça uma ação ser contínua, sem pausas, com todas as partes do objeto operando em capacidade máxima; b. remova movimentos intermediários ou inativos. *Exemplo:* uma broca com extremidades cortantes que permite cortar nas direções horária e anti-horária.

21. Tornar mais rápido (*rushing through*): a. execute as operações prejudiciais ou perigosas em velocidade muito alta. *Exemplo:* no processo de corte de tubos plásticos de paredes finas, a deformação desse tubo pode ser prevenida se, durante o processo, ocorrer a uma velocidade muito alta. Em outras palavras, deve-se cortar o tubo antes de o mesmo deformar.

22. Converter dano em benefício: a. utilize fatores ou efeitos ambientais prejudiciais para obter um efeito positivo; b. remova um fator prejudicial combinando

com o outro fator prejudicial; c. aumente as ações prejudiciais até que elas deixem de ser prejudiciais. *Exemplos:* a areia congela quando transportada por climas frios. Se aplicar à areia uma carga térmica fria (por exemplo, usando nitrogênio líquido), a camada de gelo formada torna-se frágil e, conseqüentemente, a situação é revertida. A corrente elétrica de alta frequência pode ser usada para aquecer uma placa metálica, entretanto, somente a camada exterior fica aquecida. Esse efeito, negativo, pode ser empregado no tratamento térmico da superfície da placa.

23. Realimentação: a. introduza realimentação; b. se a realimentação já existe, inverta o seu sentido. *Exemplos:* a pressão de água em um poço é mantida constante aliviando a pressão interna desse poço e acionando uma bomba hidráulica, caso a pressão seja muito baixa.

24. Mediador: a. use um objeto intermediário para transferir ou manter uma ação; b. temporariamente conecte um objeto a outro, que seja fácil de ser removido. *Exemplo:* para reduzir a perda de energia quando se aplica uma corrente elétrica sobre um metal líquido, são empregados eletrodos resfriados e um metal líquido, intermediário, com baixa temperatura de fusão.

25. Autosserviço: a. faça o objeto se autorreparar e mantenha as operações suplementares e de reparo; b. utilize material e energia perdida. *Exemplo:* para prevenir o desgaste de um equipamento de distribuição de material abrasivo, a superfície desse equipamento é fabricada de material abrasivo. No processo de soldagem elétrica, o eletrodo é avançado empregando um dispositivo especial. Para simplificar esse sistema, o eletrodo pode ser avançado empregando um solenóide controlado pela corrente de soldagem.

26. Copiando: a. use uma cópia de um objeto, simples e barata, em vez de um outro objeto, complexo, caro, frágil ou de inconveniente operação; b. substitua um objeto pela sua cópia ótica ou pela cópia de sua imagem. Uma escala pode ser emprega para reduzir ou aumentar a imagem; c. se as cópias visíveis são utilizadas, substitua-as por cópias infravermelhas ou ultravioleta. *Exemplo:* a altura de objetos altos pode ser determinada medindo suas sombras.

27. Objeto barato e descartável em vez de objeto caro e durável: a. substitua um objeto caro por um barato, deixando de lado suas propriedades (por exemplo, longevidade). *Exemplo:* fraldas descartáveis.

28. Substituição de um sistema mecânico: a. substitua um sistema mecânico por um sistema ótico, acústico ou olfático (odor); b. utilize um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interagir com o objeto; c. substitua campos: c.1. campos estacionários por campos móveis; c.2. campos estacionários por campos dinâmicos, no tempo; c.3. campos fortuitos por campos estruturados. d. use um campo juntamente com partículas ferromagnéticas. *Exemplo:* para aumentar a interação entre uma camada metálica que reveste um material termoplástico, é mantido um campo eletromagnético que, por sua vez, aplica força sobre o metal.

29. Construção pneumática ou hidráulica: a. substitua as partes sólidas do objeto por gás ou líquido. Pode ser utilizado ar ou água para inflar o objeto ou, ainda, ar ou dispositivos hidrostáticos. *Exemplos:* para aumentar a eficiência de uma chaminé industrial, tubo espiral com insufladores foi instalado ao longo da chaminé. Quando o ar flui pelos insufladores, cria-se uma camada de ar, que reduz o efeito de arraste e, conseqüentemente, o ar quente flui melhor. Para transportar produtos frágeis de modo seguro, esses produtos são envoltos em bolhas de ar ou materiais de espuma.

30. Membranas flexíveis ou filmes finos: a. substitua construções tradicionais por princípios que utilizam membranas flexíveis ou filmes finos; b. isole um objeto de seu ambiente usando membranas flexíveis ou filmes finos. *Exemplo:* para prevenir evaporação da água das folhas de planta é aplicado sobre as plantas um *spray* de polietileno. Depois de um tempo, o polietileno se solidifica e a planta tem o seu crescimento melhorado, uma vez que, através do filme formado, o oxigênio passa melhor.

31. Utilize material poroso: a. projete um objeto poroso ou adicione elementos porosos (insertos, coberturas etc.); b. se um objeto já é poroso, encha os poros, com antecedência, de alguma substância. *Exemplo:* para evitar o aquecimento de uma máquina, algumas partes dela podem ser preenchidas com material poroso embebido em líquido resfriado. Com a operação da máquina, esse líquido se evapora, provendo um resfriamento uniforme da máquina, a curto prazo.

32. Alteração da cor: a. altere a cor de um objeto ou dos seus ambientes; b. altere o grau de transparência de um objeto ou de um processo quando eles forem de difícil visualização; c. utilize elementos adicionais, coloridos, para visualizar objetos ou processos que são difíceis de visualizar; d. se tais elementos aditivos já são usados, empregue rastros ou elementos luminescentes. *Exemplos:* uma bandagem transparente que possibilita a visualização de uma ferida, a ser inspecionada, sem precisar remover essa bandagem. No processo de fundição do aço, uma cortina de água foi utilizada para proteger os trabalhadores dos raios infravermelhos; entretanto, essa cortina não bloqueava a luminosidade proveniente do aço derretido. Para bloquear a luz, foi adicionada à cortina de água uma coloração, criando um efeito de filtro e preservando a transparência da água.

33. Homogeneidade: a. projete os objetos que interagem entre si com material de mesma natureza ou com material que seja próximo em comportamento. *Exemplo:* a superfície de um equipamento que trabalha com grãos abrasivos é feita do mesmo material desses grãos, permitindo que haja uma contínua restauração da superfície do equipamento.

34. Rejeitando e regenerando partes: a. depois que a função do sistema foi desempenhada ou tornou-se inútil, rejeite ou modifique (por exemplo, descarte, dissolva, evapore) um componente desse sistema; b. restabeleça, imediatamente, qualquer componente do sistema que esteja danificado. *Exemplos:* as cápsulas de balas de fogo são descartadas depois que a arma é disparada. Os tanques de combustível do foguete são separados da cápsula depois de impulsionar esse foguete.

35. Transformação dos estados físicos e químicos de um objeto: a. altere o estado, a densidade, o grau de flexibilidade e a temperatura do sistema técnico. *Exemplo:* para aumentar o peso de um equipamento, mantendo o seu tamanho original, pode ser empregado material de maior densidade.

36. Transformação de fase: a implemente um efeito durante a transição de fase de uma substância. Por exemplo, durante o processo de mudança de volume, ocorre liberação ou absorção de calor. *Exemplo:* para controlar a expansão de tubos

guarnecidos com suportes, eles estão cheios de água e esfriaram a uma temperatura gelada.

37. Expansão térmica: a. use um material que expanda ou contraia com o calor; b. use vários materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica. *Exemplo:* para controlar a abertura das janelas de uma estufa são conectadas placas bimetálicas às janelas. A mudança de temperatura causa a expansão das placas e, conseqüentemente, a janela da estufa pode abrir ou fechar.

38. Utilize oxidantes fortes: a. substitua ar normal por ar enriquecido; b. substitua ar enriquecido por oxigênio; c. aplique no objeto, situado em ambiente normal ou com oxigênio, radiação ionizada; d. use oxigênio ionizado. *Exemplo:* para gerar mais calor com uma tocha, alimenta-se a mesma com oxigênio, em vez de ar atmosférico.

39. Ambiente inerte: a. substitua o ambiente normal por um ambiente inerte; b. mantenha o processo a vácuo. *Exemplo:* para prevenir que o algodão mantido no armazém pegue fogo, o mesmo é tratado com gás inerte enquanto está sendo transportado.

40. Materiais compostos: a. substitua um material homogêneo por um material composto. *Exemplo:* as asas de aeronaves militares são fabricadas com materiais que combinam plásticos e fibras de carbono; assim, obtém-se elevada resistência e baixo peso.

ANEXO C – PARÂMETROS DE ENGENHARIA

Neste anexo, são apresentadas as definições dos 39 Parâmetros de Engenharia estabelecidos pela TRIZ, de acordo com Romeiro Filho et al. (2010):

1. Peso do objeto móvel: A massa do objeto em movimento no campo gravitacional. A força que o corpo apresenta para se apoiar ou sustentar.

2. Peso do objeto estático: A massa do objeto parado no campo gravitacional. A força que o corpo apresenta para se apoiar ou sustentar.

3. Comprimento do objeto móvel: Qualquer dimensão linear, não necessariamente a maior, é considerada o comprimento do objeto em movimento.

4. Comprimento do objeto estático: Qualquer dimensão linear, não necessariamente a maior, é considerada o comprimento do objeto parado.

5. Área do objeto móvel: Uma característica geométrica representada pela parte de um plano fechado por linhas. A parte de uma superfície ocupada pelo objeto ou a medida da superfície, interna ou externa, de um objeto em movimento.

6. Área do objeto estático: Uma característica geométrica representada pela parte de um plano fechado por linhas. A parte de uma superfície ocupada pelo objeto ou a medida da superfície, interna ou externa, de um objeto parado.

7. Volume do objeto móvel: A medida cúbica do espaço ocupado pelo objeto em movimento. Por exemplo, comprimento x largura x altura de um objeto retangular, altura x área de um cilindro, entre outros.

8. Volume do objeto estático: A medida cúbica do espaço ocupado pelo objeto parado. Por exemplo, comprimento x largura x altura de um objeto retangular, altura x área de um cilindro, entre outros.

9. Velocidade: Corresponde à distância percorrida em função do tempo.

10. Força: Força medida da interação entre os sistemas. Na física newtoniana, $\text{força} = \text{massa} \times \text{aceleração}$. A força é qualquer interação que ocorre no sentido de alterar o estado de um objeto.

11. Tensão, pressão: Força por unidade de área. Também denominada tensão.

12. Forma: Os contornos externos do sistema, a aparência do sistema.

13. Estabilidade do objeto: Representa a integridade do sistema e a relação entre os componentes que formam o sistema. Uso, decomposição química e desmontagem do sistema contribuem no sentido de diminuir a estabilidade do sistema. No sentido crescente da entropia, diminui a estabilidade do sistema.

14. Resistência: Ponto até o qual o objeto pode resistir a mudar de estado. Por exemplo, resistência à frenagem.

15. Durabilidade do objeto móvel: O tempo em que o objeto pode executar a ação. O tempo de vida do objeto. O tempo de duração de uma ação até o momento em que ocorre uma falha do objeto. Também durabilidade.

16. Durabilidade do objeto estático: O tempo em que o objeto pode executar a ação. O tempo de vida do objeto. O tempo de duração de uma ação até o momento em que ocorre uma falha do objeto. Também durabilidade.

17. Temperatura: A condição térmica do sistema. Inclui outros parâmetros térmicos, como, por exemplo, a capacidade térmica, que determina a taxa de mudança de temperatura.

18. Brilho: Fluxo de luz por área de unidade. Pode ser também qualquer outra característica de iluminação do sistema, como, por exemplo, brilho, qualidade clara, entre outras.

19. Energia gasta pelo objeto móvel: A medida da energia gasta pelo sistema objeto para executar uma ação. Na mecânica clássica, a energia é dada pelo produto da força pela distância. Isso inclui a utilização da energia provida por supersistemas (como, por exemplo, energia elétrica ou calor). Também pode ser a energia exigida para fazer uma atividade particular.

20. Energia gasta pelo objeto estático: A medida da energia gasta pelo sistema objeto para executar uma ação. Na mecânica clássica, a energia é dada pelo produto da força pela distância. Isso inclui a utilização da energia provida por supersistemas (como, por exemplo, energia elétrica ou calor). Também pode ser a energia exigida para fazer uma atividade particular.

21. Potência: A taxa de tempo no qual uma ação é executada. A taxa de uso da energia.

22. Perda de energia: Corresponde ao uso de energia que não contribui para a realização de uma ação. Em muitos casos, para se reduzirem as perdas de energia é necessário empregar diferentes técnicas.

23. Perda de substância: Parcial ou completa, permanente ou temporária, corresponde à perda de alguns dos materiais, substâncias ou subsistemas do sistema.

24. Perda de informação: Parcial ou completa, permanente ou temporária, corresponde à perda ou aquisição de dados que ocorrem no sistema. Frequentemente, ocorre a inclusão de informações sensórias, como, por exemplo, aroma, textura, entre outras.

25. Perda de tempo: Tempo é a duração de uma atividade. Reduzindo as perdas de tempo, o tempo necessário para realizar uma atividade é minimizado. “Redução de tempo de ciclo” é uma expressão comumente empregada.

26. Quantidade de substância: Corresponde ao número ou quantidade de materiais das substâncias, das partes, dos subsistemas ou dos sistemas que podem ser alterados completa ou parcialmente, permanente ou temporariamente.

27. Confiabilidade: A habilidade do sistema em executar suas funções de maneira e em condições previsíveis.

28. Precisão de medida: A proximidade entre o valor especificado e o valor medido de uma propriedade do sistema. Reduzindo o erro de uma medida tem-se um aumento da precisão do sistema.

29. Precisão de manufatura: Corresponde às características e aos requisitos do sistema obtidos durante o processo de manufatura, em relação às características especificadas.

30. Fatores prejudiciais, externos, do objeto: A suscetibilidade do sistema em gerar, externamente, efeitos prejudiciais.

31. Efeitos colaterais da ação do objeto: Um efeito prejudicial é aquele que causa a redução da eficiência ou da qualidade do sistema. Esses efeitos prejudiciais são gerados pelo sistema como resultado da sua operação.

32. Manufaturabilidade: Refere-se ao grau de facilidade, conforto ou esforço despendido na fabricação do sistema.

33. Conveniência de uso: Simplicidade. Um sistema não é simples se a sua operação requer grande número de pessoas e processos, exigindo a utilização de ferramentas especiais. Os sistemas simples são preferidos aos complexos, pois é mais fácil executar as suas funções.

34. Reparabilidade: Refere-se às características de qualidade do sistema, tais como conveniência, conforto, simplicidade e tempo, necessárias para consertar as falhas ou defeitos do sistema.

35. Adaptabilidade ou versatilidade: Corresponde ao modo pelo qual o sistema responde, positivamente, a mudanças externas. Também se refere à capacidade do sistema de poder ser utilizado em diferentes modos e circunstâncias.

36. Complexidade do dispositivo: Corresponde ao número, à relação e à diversidade de componentes do sistema. O usuário pode ser um elemento do sistema, aumentando a sua complexidade. A dificuldade de controlar o sistema é uma medida de sua complexidade.

37. Complexidade de controle: A dificuldade de analisar (detectar, medir, controlar) o sistema pode ser avaliada considerando o custo, o tempo e as atividades para obter informações, diagnosticar e corrigir o sistema e, também, as relações entre os componentes do sistema.

38. Nível de automação: Até que ponto um sistema executa as suas funções sem necessitar da interface humana. O nível mais baixo de automação é aquele em que o sistema pode ser operado manualmente. Nos níveis intermediários de automação, os especialistas programam as ferramentas, observam como elas operam e interrompem ou reprogramam caso seja necessário. Nos níveis mais altos de automação, a máquina analisa o processo, desenvolve o programa e controla as suas operações.

39. Produtividade: Corresponde ao número de funções ou operações executadas por um sistema por unidade de tempo. O tempo para uma função ou operação unitária. A produção por unidade de tempo ou o custo por unidade de produção.

ANEXO D – MATRIZ DE CONTRADIÇÕES

Matriz de Contradições (continua) (CARVALHO, 2003).

		Parâmetros de engenharia piorados								Princípios inventivos		
		1	2	3	4	5	6	7	8	1		
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	-	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2	Segmentação ou fragmentação
	2	Peso do objeto parado	-	-	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	2	Remoção ou extração
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 8, 29, 34	-	-	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	3	Qualidade localizada
	4	Comprimento do objeto parado	-	35, 28, 40, 29	-	-	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	4	Assimetria
	5	Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	-	-	7, 14, 17, 4	-	5	Consolidação
	6	Área do objeto parado	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	-	-	-	6	Universalização
	7	Volume do objeto em movimento	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 35, 4	-	1, 7, 4, 17	-	-	-	7	Aninhamento
	8	Volume do objeto parado	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-	-	8	Contrapeso
	9	Velocidade	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	9	Compensação prévia
	10	Força	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 1	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	10	Ação prévia
	11	Tensão ou pressão	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 34	11	Amortecimento prévio
	12	Forma	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	12	Equipotencialidade
	13	Estabilidade da composição	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	13	Inversão
	14	Resistência	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	14	Recurvação
	15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	15	Dinamização
	16	Duração da ação do objeto parado	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	16	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	17	Transição para nova dimensão
	18	Brilho	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	-	19, 32, 26	-	2, 13, 10	-	18	Vibração mecânica
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	19	Ação periódica
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-	20	Continuidade da ação útil
	21	Potência	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37	-	19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	21	Aceleração
	22	Perda de energia	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	22	Transformação de prejuízo em lucro
	23	Perda de substância	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	23	Retroalimentação
	24	Perda de informação	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	24	Mediação
	25	Perda de tempo	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18	25	Auto-serviço
	26	Quantidade de substância	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18	-	15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29	-	26	Cópia
	27	Confiabilidade	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	27	Uso e descarte
	28	Precisão de medição	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6	-	28	Substituição de meios mecânicos
	29	Precisão de fabricação	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28, 2	25, 10, 35	29	Construção pneumática ou hidráulica
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22	-	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	31	Uso de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 4	13, 29, 1, 40	35	32	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12	-	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 31, 39	33	Homogeneização
	34	Mantenabilidade	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 32, 13	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34	Descarte e regeneração
	35	Adaptabilidade	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	-	35	Mudança de parâmetros e propriedades
	36	Complexidade do objeto	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	36	Mudança de fase
	37	Complexidade de controle	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	37	Expansão térmica
	38	Nível de automação	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 28, 17	23	17, 14, 13	-	35, 13, 16	-	38	Uso de oxidantes fortes
	39	Capacidade ou produtividade	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2	39	Uso de atmosferas inertes
	40										40	Uso de materiais compostos

Matriz de Contradições (continuação) (CARVALHO, 2003).

		Parâmetros de engenharia piorados										Princípios inventivos	
		9	10	11	12	13	14	15	16				
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	1	Segmentação ou fragmentação	
	2	Peso do objeto parado	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	2	Remoção ou extração	
	3	Comprimento do objeto em movimento	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	3	Qualidade localizada	
	4	Comprimento do objeto parado	-	28, 1	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 40, 35	4	Assimetria	
	5	Área do objeto em movimento	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	5	Consolidação	
	6	Área do objeto parado	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	6	Universalização	
	7	Volume do objeto em movimento	29, 4, 36, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	7	Aninhamento	
	8	Volume do objeto parado	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	8	Contrapeso	
	9	Velocidade	-	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	9	Compensação prévia	
	10	Força	13, 28, 15, 12	-	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-	10	Ação prévia	
	11	Tensão ou pressão	6, 35, 36	36, 35, 21	-	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-	11	Amortecimento prévio	
	12	Forma	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	-	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	-	12	Equipotencialidade	
	13	Estabilidade da composição	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	-	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	13	Inversão	
	14	Resistência	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	-	27, 3, 26	-	14	Recurvação	
	15	Duração da ação do objeto em movimento	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	-	-	15	Dinamização	
	16	Duração da ação do objeto parado	-	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	-	16	Ação parcial ou excessiva	
	17	Temperatura	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	17	Transição para nova dimensão	
	18	Brilho	10, 13, 19	26, 19, 6	-	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-	18	Vibração mecânica	
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19	Ação periódica	
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	36, 37	-	-	27, 4, 29, 18	35	-	-	20	Continuidade da ação útil	
	21	Potência	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	21	Aceleração	
	22	Perda de energia	16, 35, 38	36, 38	-	-	14, 2, 39, 6	26	-	-	22	Transformação de prejuízo em lucro	
	23	Perda de substância	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	23	Retroalimentação	
	24	Perda de informação	26, 32	-	-	-	-	-	10	10	24	Mediação	
	25	Perda de tempo	-	10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	25	Auto-serviço	
	26	Quantidade de substância	35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	26	Cópia	
	27	Confiabilidade	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	-	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	27	Uso e descarte	
	28	Precisão de medição	28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	28	Substituição de meios mecânicos	
	29	Precisão de fabricação	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40	-	29	Construção pneumática ou hidráulica	
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis	
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	31	Uso de materiais porosos	
	32	Manufaturabilidade	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	32	Mudança de cor	
	33	Conveniência de uso	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	33	Homogeneização	
	34	Mantenabilidade	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	1, 11, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	34	Descarte e regeneração	
	35	Adaptabilidade	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	35	Mudança de parâmetros e propriedades	
	36	Complexidade do objeto	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	-	36	Mudança de fase	
	37	Complexidade de controle	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 25, 39	25, 34, 6, 35	37	Expansão térmica	
	38	Nível de automação	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	-	38	Uso de oxidantes fortes	
	39	Capacidade ou produtividade	-	28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	39	Uso de atmosferas inertes	
	40										40	Uso de materiais compostos	

Matriz de Contradições (continuação) (CARVALHO, 2003).

		Parâmetros de engenharia piorados										Princípios inventivos	
		17	18	19	20	21	22	23	24			1	2
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35		1	Segmentação ou fragmentação
	2	Peso do objeto parado	28, 19, 32, 22	35, 19, 32	-	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35		2	Remoção ou extração
	3	Comprimento do objeto em movimento	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24		3	Qualidade localizada
	4	Comprimento do objeto parado	3, 35, 38, 18	3, 25	-	-	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26		4	Assimetria
	5	Área do objeto em movimento	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26		5	Consolidação
	6	Área do objeto parado	35, 39, 38	-	-	-	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16		6	Universalização
	7	Volume do objeto em movimento	34, 39, 10, 18	10, 13, 2	35	-	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22		7	Aninhamento
	8	Volume do objeto parado	35, 6, 4	-	-	-	30, 6	-	10, 39, 35, 34	-		8	Contrapeso
	9	Velocidade	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26		9	Compensação prévia
	10	Força	35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	-		10	Ação prévia
	11	Tensão ou pressão	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 37	-		11	Amortecimento prévio
	12	Forma	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	-	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	-		12	Equipotencialidade
	13	Estabilidade da composição	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	-		13	Inversão
	14	Resistência	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	-		14	Recurvação
	15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	-	19, 10, 35, 38	-	28, 27, 3, 18	10		15	Dinamização
	16	Duração da ação do objeto parado	19, 18, 36, 40	-	-	-	16	-	27, 16, 18, 38	10		16	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	-	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	-	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	-		17	Transição para nova dimensão
	18	Brilho	32, 35, 19	-	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6		18	Vibração mecânica
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	-	-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5	-		19	Ação periódica
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	19, 2, 35, 32	-	-	-	-	28, 27, 18, 31	-		20	Continuidade da ação útil
	21	Potência	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37	-	-	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19		21	Aceleração
	22	Perda de energia	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	-	-	3, 38	-	35, 27, 2, 37	19, 10		22	Transformação de prejuízo em lucro
	23	Perda de substância	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	-	-		23	Retroalimentação
	24	Perda de informação	-	19	-	-	10, 19	19, 10	-	-		24	Mediação
	25	Perda de tempo	35, 29, 21, 18	1, 19, 21, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32		25	Auto-serviço
	26	Quantidade de substância	3, 17, 39	-	34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35		26	Cópia
	27	Confiabilidade	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28		27	Uso e descarte
	28	Precisão de medição	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	-	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28	-		28	Substituição de meios mecânicos
	29	Precisão de fabricação	19, 26	3, 32	32, 2	-	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24	-		29	Construção pneumática ou hidráulica
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2		30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 22, 2	10, 1, 34	10, 21, 29		31	Uso de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16		32	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	26, 32, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	-	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22		33	Homogeneização
	34	Mantenabilidade	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	-	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	-		34	Descarte e regeneração
	35	Adaptabilidade	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	-	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13	-		35	Mudança de parâmetros e propriedades
	36	Complexidade do objeto	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	-	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29	-		36	Mudança de fase
	37	Complexidade de controle	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22		37	Expansão térmica
	38	Nível de automação	26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13	-	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33		38	Uso de oxidantes fortes
	39	Capacidade ou produtividade	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		39	Uso de atmosferas inertes
												40	Uso de materiais compostos

Matriz de Contradições (continuação) (CARVALHO, 2003).

		Parâmetros de engenharia piorados										Princípios inventivos										
		25	26	27	28	29	30	31	32													
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36											1	Segmentação ou fragmentação
	2	Peso do objeto parado	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9											2	Remoção ou extração
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17											3	Qualidade localizada
	4	Comprimento do objeto parado	30, 29, 14	-	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18	-	15, 17, 27											4	Assimetria
	5	Área do objeto em movimento	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24											5	Consolidação
	6	Área do objeto parado	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16											6	Universalização
	7	Volume do objeto em movimento	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40											7	Aninhamento
	8	Volume do objeto parado	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	-	35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35											8	Contrapeso
	9	Velocidade	-	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 32, 21	35, 13, 8, 1											9	Compensação prévia
	10	Força	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1											10	Ação prévia
	11	Tensão ou pressão	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16											11	Amortecimento prévio
	12	Forma	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28											12	Equipotencialidade
	13	Estabilidade da composição	35, 27	15, 32, 35	-	13	18	35, 23, 18, 30	35, 40, 27, 39	35, 19											13	Inversão
	14	Resistência	29, 3, 28, 10	29, 10, 28, 18	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32											14	Recurvação
	15	Duração da ação do objeto em movimento	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4											15	Dinamização
	16	Duração da ação do objeto parado	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24	-	17, 1, 40, 33	22	35, 10											16	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27											17	Transição para nova dimensão
	18	Brilho	19, 1, 26, 17	1, 19	-	11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26											18	Vibração mecânica
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32	-	1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30											19	Ação periódica
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	3, 35, 31	10, 36, 23	-	-	10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4											20	Continuidade da ação útil
	21	Potência	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34											21	Aceleração
	22	Perda de energia	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32	-	21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22	-											22	Transformação de prejuízo em lucro
	23	Perda de substância	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 29, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 10	10, 1, 34, 29	15, 34, 33											23	Retroalimentação
	24	Perda de informação	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23	-	-	22, 10, 1	10, 21, 22	32											24	Mediação
	25	Perda de tempo	-	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4											25	Auto-serviço
	26	Quantidade de substância	35, 38, 18316	-	18, 3, 28, 40	3, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27											26	Cópia
	27	Confiabilidade	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	-	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26	-											27	Uso e descarte
	28	Precisão de medição	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	-	-	28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18											28	Substituição de meios mecânicos
	29	Precisão de fabricação	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1	-	-	26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26	-											29	Construção pneumática ou hidráulica
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18	-	-	24, 35, 2											30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26	-	-	-											31	Uso de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24	-	1, 35, 12, 18	-	24, 2	-	-											32	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39	-	2, 5, 12											33	Homogeneização
	34	Mantenabilidade	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 102, 16	-	1, 35, 11, 10											34	Descarte e regeneração
	35	Adaptabilidade	35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	-	35, 11, 32, 31	-	1, 13, 31											35	Mudança de parâmetros e propriedades
	36	Complexidade do objeto	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13											36	Mudança de fase
	37	Complexidade de controle	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28	-	22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29											37	Expansão térmica
	38	Nível de automação	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13											38	Uso de oxidantes fortes
	39	Capacidade ou produtividade	-	35, 38	1, 35, 10, 38	34, 28	1, 10, 18, 10	32, 1, 13, 24	22, 35, 18, 39	35, 22, 2, 24											39	Uso de atmosferas inertes
	40																				40	Uso de materiais compostos

Matriz de Contradições (conclusão) (CARVALHO, 2003).

		Parâmetros de engenharia piorados							Princípios inventivos		
		33	34	35	36	37	38	39			
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37	1	Segmentação ou fragmentação
	2	Peso do objeto parado	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35	2	Remoção ou extração
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29	3	Qualidade localizada
	4	Comprimento do objeto parado	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	-	30, 14, 7, 26	4	Assimetria
	5	Área do objeto em movimento	15, 17, 1316	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2	5	Consolidação
	6	Área do objeto parado	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7	6	Universalização
	7	Volume do objeto em movimento	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34	7	Aninhamento
	8	Volume do objeto parado	-	1	-	1, 31	2, 17, 26	-	35, 37, 10, 2	8	Contrapeso
	9	Velocidade	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	-	9	Compensação prévia
	10	Força	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37	10	Ação prévia
	11	Tensão ou pressão	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37	11	Amortecimento prévio
	12	Forma	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10	12	Equipotencialidade
	13	Estabilidade da composição	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3	13	Inversão
	14	Resistência	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14	14	Recurvação
	15	Duração da ação do objeto em movimento	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19	15	Dinamização
	16	Duração da ação do objeto parado	1	1	2	-	25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38	16	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	23, 2, 19, 16	15, 28, 35	17	Transição para nova dimensão
	18	Brilho	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16	18	Vibração mecânica
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35	19	Ação periódica
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	-	-	-	19, 35, 16, 25	-	1, 6	20	Continuidade da ação útil
	21	Potência	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34	21	Aceleração
	22	Perda de energia	35, 32, 1	2, 19	-	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35	22	Transformação de prejuízo em lucro
	23	Perda de substância	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23	23	Retroalimentação
	24	Perda de informação	27, 22	-	-	-	35, 33	35	13, 23, 15	24	Mediação
	25	Perda de tempo	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	-	25	Auto-serviço
	26	Quantidade de substância	35, 29, 10, 25	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27	26	Cópia
	27	Confiabilidade	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38	27	Uso e descarte
	28	Precisão de medição	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32	28	Substituição de meios mecânicos
	29	Precisão de fabricação	1, 32, 35, 23	25, 10	-	26, 2, 18	-	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39	29	Construção pneumática ou hidráulica
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	-	-	-	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39	31	Uso de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 28, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28	32	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	-	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 25, 12, 17	-	1, 34, 12, 3	15, 1, 28	33	Homogeneização
	34	Mantenabilidade	1, 12, 26, 15	-	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	-	34, 35, 7, 13	1, 32, 10	34	Descarte e regeneração
	35	Adaptabilidade	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	-	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37	35	Mudança de parâmetros e propriedades
	36	Complexidade do objeto	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	-	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28	36	Mudança de fase
	37	Complexidade de controle	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	-	34, 21	35, 18	37	Expansão térmica
	38	Nível de automação	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	-	5, 12, 35, 26	38	Uso de oxidantes fortes
	39	Capacidade ou produtividade	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	-	39	Uso de atmosferas inertes
										40	Uso de materiais compostos