**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ROBERT DIAS XIMENES

Estudo e aplicação da metodologia TRIZ: Desenvolvimento de um projeto conceitual para escolha de mancais para cabeçote de uma máquina de ultraprecisão.

São Carlos

2011

ROBERT DIAS XIMENES

Estudo e aplicação da metodologia TRIZ: Desenvolvimento de um projeto conceitual para escolha de mancais para cabeçote de uma máquina de ultraprecisão.

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

Área de Concentração: Projeto mecânico.
Engenharia Mecânica.

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Alberto Fortulan

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

São Carlos

2011

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Catálogo da Publicação
Serviço de Documentação da EESC-USP
Universidade de São Paulo**

Ximenes, Robert Dias

Estudo e aplicação da metodologia TRIZ: Desenvolvimento de um projeto conceitual para escolha de mancais para cabeçote de uma máquina de ultraprecisão / R. D. Ximenes. – ed. rev. --São Carlos, 2011.

183 f.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Metodologia de projeto 2.Criatividade 3.Solução de problemas I.Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Tecnólogo ROBERT DIAS XIMENES.

Dissertação defendida e julgada em 22/06/2011 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **CARLOS ALBERTO FORTULAN** – (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof.^a Dr.^a **ZILDA DE CASTRO SILVEIRA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Associado **GILBERTO FRANCISCO MARTHA DE SOUZA**
(Escola Politécnica/USP)

APROVADO

Prof. Associado **MARCELO AREIAS TRINDADE**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica

Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Aos meus pais e a minha filha Aline Monteiro
Ximenes, com amor, pela compreensão,
carinho, dedicação e amizade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta conquista.

Agradeço ao Prof. Dr. Carlos Alberto Fortulan, pela oportunidade oferecida, orientação e dedicação para condução desse trabalho.

Agradeço à Prof^a. Dra. Zilda de Castro Silveira, que nos anos de convivência, muito contribuiu para o meu crescimento científico com suas sugestões e apoio.

Agradeço ao pessoal do Laboratório de Tribologia e Compósitos – LTC pela colaboração.

Agradeço à Secretaria de Pós-Graduação, assessorada pela Sra. Ana Paula.

Agradeço ao aluno de Pós-Graduação da EESC, Sr. Luis Antonio Oliveira Araújo, pela contribuição e parceria;

Agradeço à EESC-USP em especial aos funcionários da biblioteca central e pós-graduação, pela oportunidade e assistência.

“Cada invenção é um caminho através do impossível. Geralmente, impossível significa apenas o impossível para os meios existentes. O inventor tem que encontrar um novo conceito, e então o impossível torna-se possível”

Genrikh S. Altshuller

RESUMO

XIMENES, R. D. **Desenvolvimento de um projeto conceitual de um conjunto de mancais para aplicação em spindle de máquina de ultraprecisão – Uma abordagem sistêmica da criatividade para solução de problemas inventivos utilizando TRIZ.** 2011. 183 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

Este trabalho aborda o estudo e aplicação das ferramentas da metodologia *TRIZ* (Teoria da Resolução de Problemas Inventivos) aplicada na fase do projeto conceitual, no qual é desenvolvido um estudo de caso para escolha dos mancais, para cabeçotes de máquinas de corte do tipo “*Dicing Saw*”. A metodologia *TRIZ* é direcionada para busca de idéias, através de uma abordagem sistemática da criatividade para a solução de problemas inventivos, consiste no reconhecimento da similaridade de um problema de projeto específico com um problema análogo, o qual tem uma solução conhecida no universo das patentes. É demonstrada a importância da capacidade de inovação como vantagem competitiva dentro do cenário atual, e como a *TRIZ* se apresenta como ferramenta sistêmica de suporte à criatividade inserida na fase de projeto conceitual, dentro do processo de desenvolvimento de produto. É desenvolvido um estudo de caso, no qual a *TRIZ* conduz à escolha sistemática de tipos de mancais apropriados, para eixos-árvore de alta velocidade para uma máquina denominada “*Dicing Saw*”. O resultado da aplicação da *TRIZ*, dada as restrições operacionais foi a escolha de mancais aerostáticos porosos não-metálicos, os quais em conjunto com trabalhos na área de dinâmica de rotores foram manufaturados. A decisão pelo cabeçote com mancais aerostáticos porosos cerâmicos pode minimizar a influência de elevadas amplitudes de vibração durante usinagens sob alta rotação. Dessa forma, é possível concluir que, a metodologia *TRIZ* é uma ferramenta que permite a identificação de forma rápida e sistêmica os conceitos utilizados para solucionar problemas semelhantes direcionam a busca de soluções criativas para os problemas inventivos, intensifica a capacidade produtiva do engenheiro projetista, ampliando as alternativas, para encontrar melhores soluções, que podem resultar em um menor tempo, para lançamento de novos produtos, bem como melhorar desempenhos funcionais.

Palavras-chave: *TRIZ*, inovação, metodologia de projeto, criatividade, máquina de ultraprecisão.

ABSTRACT

XIMENES, R. D. Development of a conceptual design of a set of bearings for application of ultra-precision machine spindle – A systemic approach creativity to solve problems by using TRIZ. 2011. 150f. Master's Dissertation – School of Engineering of São Carlos, University of Sao Paulo, 2011.

This work treats of study and application of the tools of methodology TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) applied to conceptual design where it is developed a case study to choice of pair of bearings more adequate for Dicing Saw machines. The TRIZ methodology leads the idea searches through systematic approach of creativity to solution of inventive problems where is recognized the common behavior of a specific problem with similar problem using patents database. It is demonstrated the importance of the innovation capacity as competitive advantage considering the current scenario and as the TRIZ technique acts as systematic tool to support for creativity and decision making during the conceptual design into product development process. So, it is developed a case study where the TRIZ lead the systematic selection of bearings for spindles of Dicing Saw machines or ultraprecision machines. The results of this study considering the operational constraints it was choice of aerostatic no-metallic porous bearings which were manufacturing to posterior study of dynamic behavior. The decision on spindle using ceramic aerostatic porous bearings can minimize the influence of high amplitudes of vibrations during the manufacturing on different operational ranges. Therefore it is possible to conclude that TRIZ is a technique or procedure that allows the fast and efficient identification of the physical and technical concepts to solution of the similar problems that directed creative alternatives when it is necessary new conceptual approaches, moreover to stimulate the productive capacity of the design engineer lead the search of the better solutions relating better functional solutions, less costs and small time to market.

Keywords: TRIZ, innovation, design methodology, creativity, ultra-precision machines.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo de ciclo de vida do produto em espiral (ROZENFELD, et. al., 2006)...	31
Figura 2.2 – Processo de desenvolvimento do produto (ROZENFELD, et. al., 2006).....	36
Figura 2.3 – Fases do Desenvolvimento de Produtos (BACK e FORCELLINI, 2003).....	37
Figura 2.4 – Ciclo de vida do consumidor ao consumidor (BLANCHARD e FABRYCKY, 1990 <i>apud</i> BACK e FORCELLINI, 2003).....	38
Figura 2.5 – Pirâmide das Necessidades humanas de Maslow (ROZENFELD, et. al., 2006).....	43
Figura 2.6 – Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto. (BLANCHARD e FABRYCKY, 1990 <i>apud</i> BACK e FORCELLINI, 2003).....	45
Figura 2.7 – Princípio geral de TRIZ (OLIVEIRA, 2008).....	52
Figura 2.8 – Fluxograma para aplicação da metodologia TRIZ.....	56
Figura 2.9 – Ciclo de uma patente (TECPAR, 2008).....	57
Figura 2.10 – Inércia Psicológica (IDEATION INTERNATIONAL, 2008).....	60
Figura 2.11 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006).....	75
Figura 2.12 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006).....	76
Figura 2.13 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006).....	77
Figura 2.14 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006).....	77
Figura 2.15 – Método das janelas múltiplas (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).....	80
Figura 2.16 – Método DTC - Dimensão, Tempo e Custo (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).....	82
Figura 2.17 – Curva-S para demonstrar a evolução do sistema (ORLOFF, 2006).....	83
Figura 2.18 - Adoção de inovação (ROGERS, 2003).....	84
Figura 2.19 – Descontinuidade da máquina fotográfica de filme sensível (BARROS,2000).	85
Figura 2.20 – Modelo básico de Su-C (tríade) (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).....	90
Figura 2.21 – Vista do programa TechOptimizer Pro (2009).....	99
Figura 2.22 – Tendências do projeto de máquinas-ferramentas (STOETERAU, 2004).....	100
Figura 2.23 – Constituintes de máquinas-ferramentas (STOETERAU, 2004).....	102
Figura 2.24 – Tendências das máquinas de precisão. (TANIGUCHI, 1983 <i>apud</i> STOETERAU, 2004).....	103
Figura 2.25 – “Dicing Saw” cortando wafer de silício (Disponível em: < http://www.loadpoint.co.uk/ > Acessado em:18 jun. 2009).....	106
Figura 2.26 – “Spindle” com acoplamento integrado (Disponível em: < http://transconn.com/ > Acessado em: 18 jun. 2009).....	108
Figura 2.27 – Velocidades máximas de spindles em diferentes aplicações (Disponível em: < http://www.westwind-airbearings.com/airBearing/highSpeed.html > Acessado em:18 jun. 2009).....	109

Figura 2.28 – Vista geral de um High Speed Spindle (Disponível em: < http://www.westwind-airbearings.com > Acessado em: 18 jun. 2009).....	110
Figura 2.29 – “Blade” disco diamantado (Disponível em: < http://www.disco.co.jp/eg/products/blade/index.html > Acessado em: 18 jun. 2009).....	112
Figura 2.30 – Sistemas de fixação da ferramenta (DISCO CO. Operation Manual, 2007).....	114
Figura 2.31 – Classificação dos mancais quanto à sustentação. (STOETERAU, 2004).....	119
Figura 3.1 – Estrutura mínima de um sistema técnico.....	122
Figura 3.2 – Spindle com mancal de elementos girantes (ARAUJO, 2009).....	122
Figura 3.3 – Produção de lascas e propagação das trincas (ARAUJO, 2009).....	123
Figura 3.4 – Dicing LTC (ARAUJO, 2009).....	124
Figura 3.5 – Casa da qualidade - QFD.....	127
Figura 3.6 – Árvore Funcional.....	130
Figura 3.7 – Extrato da Matriz da Contradição.....	134
Figura 3.8 – Extrato da Matriz da Contradição.....	136
Figura 3.9 – Extrato da Matriz da Contradição.....	137
Figura 3.10 – Mancal de elemento girante (STOETERAU, 2004).....	138
Figura 3.11 – Análise Substância-campo.....	140
Figura 4.1 – Microscopia por Varredura de Imagem – MEV.....	148
Figura 4.2 – Resultado da porosimetria por intrusão de mercúrio (SILVEIRA, 2006).....	149
Figura 4.3 – Projeto do mancal aerostático com bucha de cerâmica porosa (SILVEIRA, 2009).....	142
Figura 4.4 – Prototipo do mancal.....	150
Figura 4.5 – Prototipo obtido.....	150
Figura 4.6 – Prototipo inicial.....	151
Figura 4.7 – Close do mancal montado.....	151

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Metodologias de desenvolvimento de produtos e de Projeto (Adaptado de MARIBONDO, 2000); CHAGAS, 2004 e JUNG, 2009).....	39
Quadro 2 - Funções dos hemisférios do cérebro (adaptado de HALLAWELL, 2007).....	49
Quadro 3 - Níveis de inventividade (MAZUR,1998).....	62
Quadro 4 - Tipos de contradições (adaptado de SAVRANSKY, 1998 <i>apud</i> CARVALHO, 1999).....	68
Quadro 5 – Contradições técnicas e físicas (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).....	69
Quadro 6 – Classes das 76 Soluções Padrão (TERNINKO, DOMB E MILLER, 2000).....	89
Quadro 7 – Necessidades dos clientes de mancais para Spindle da mini Dicing Saw.....	125
Quadro 8 – Características técnicas (requisitos da qualidade) para mancais de Spindle....	126
Quadro 9 – Critério de avaliação qualitativa.....	144
Quadro 10 – Características técnicas com grau de importância para mancais de Spindle.	145
Quadro 11 – Matriz de avaliação das soluções conceituais.....	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

76SP - 76 Soluções Padrão.

ARIZ - Algoritmo para solução inventiva de problemas

ASME- American Society of Mechanical Engineers

BE - Banco de Efeitos

CF - Contradição Física.

CT - Contradição Técnica.

DTC - Operador Dimensão, Tempo e Custo.

FAST - Function Analysis System Technique.

MP - Mini-problema

PDL - Product Development Lifecycle

PE - Parâmetro de Engenharia.

PET - Padrões da Evolução Tecnológica.

PI - Princípio Inventivo.

PPP - Técnica das Pequenas Pessoas Perspicazes.

QCI - Questionário de Circunstância Inovadora.

RFI - Resultado Final Ideal.

SI - Solução Ideal.

SP - Soluções Padrão.

Su-C - Modelo Substância-Campo.

TIPS - Theory of Inventive Problem Solving.

ST - Sistema Técnico

TO - Tempo de Operação.

TRIZ - Theory of Inventive Problem Solving

Triznik - Praticante da TRIZ

VDI - Verein Deutscher Ingenieure

ZO - Zona de Operação.

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Motivação	26
1.2 Objetivos	27
1.3 Metodologia de pesquisa proposta	27
1.4 Limitações do trabalho	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Metodologia de Projeto	29
2.1.1 Contexto histórico e classificações da atividade de projeto	32
2.1.2 Delineação da atividade de projeto e desenvolvimento do produto	36
2.1.3.1 Projeto Informacional	41
2.1.3.2 Projeto Conceitual	44
2.2 Criatividade	46
2.2.1 O processo criativo	46
2.2.2 Criatividade orientada	49
2.3 Fundamentos da metodologia TRIZ	52
2.3.1 Breve histórico da metodologia TRIZ	54
2.3.2 Definições de Patente	57
2.3.3 Problemas inventivos	60
2.3.4 Inércia psicológica	61
2.3.5 Níveis de inovação	62
2.3.6 Idealidade	65
2.3.7 Resultado final ideal	67
2.3.8 Contradição	68
2.3.9 Os 39 Parâmetros de Engenharia (PE)	72
2.3.10 Os 40 princípios inventivos (PI)	73
2.3.12 – Quatro princípios da separação	80
2.3.13 Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos	84
2.3.14 – 76 Soluções padrão	90
2.3.15 – Análise Sustância-Campo (Su-C)	91
2.3.16 – ARIZ - Algoritmo para solução de problemas inventivos	94
2.3.17 – Método de modelagem pelas Pequenas Pessoas Perspicazes (PPP)	98
2.3.18 – Recursos inventivos	99
2.3.19 – Banco de Efeitos (BE)	100
2.4 Máquinas-Ferramentas	102
2.4 Maquinas-Ferramentas de Ultraprecisão	105
2.4.1 Dicing saw machine (maquina de fatiamento de substrato)	109
2.4.2 Eixo-árvore	111
2.4.3 Eixo-árvore de alta velocidade	113
2.4.4 Componentes principais de um eixo-arvore	114
2.4.5 Discos Abrasivos (ferramenta de corte)	115
2.4.6 Sistema de acoplamento (fixação da ferramenta no eixo)	117

2.4.7 Acionamento	118
2.4.8 Transmissão.....	120
2.4.9 Refrigeração.....	121
2.4.10 Mancais	122
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	125
3.1 – Introdução.....	125
3.2 – Definição do problema.....	126
3.2.1 Projeto Informacional.....	128
3.3 – Ferramentas da metodologia TRIZ	131
3.3.1 – Análise do problema.....	132
3.3.1.1 Descrever o problema atual.....	133
3.3.1.2 – Matriz da Contradição.....	137
3.3.1.3 Definir os elementos conflitantes.....	142
3.3.1.4 Construir um esquema gráfico do problema	143
3.3.1.5 Selecionar um modelo gráfico para análise posterior.....	144
3.3.1.6 Intensificar o conflito.....	144
3.3.1.7 Descrever o modelo do problema	145
3.3.1.8 Aplicar as 76 Soluções Padrão (Standards)	145
3.3.2 Soluções conceituais encontradas.....	147
3.3.3 Escolha da solução conceitual mais viável.....	148
4 RESULTADOS	151
5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	156
5.1 – Conclusões.....	156
5.2 – Sugestões para futuros trabalhos.....	158
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159
Apêndice A - Questionário da situação inovadora - I.S.Q.....	169

1 INTRODUÇÃO

A capacidade humana para concepção e geração de idéias no processo de desenvolvimento de projetos voltado para produtos, processos ou equipamentos é uma tarefa árdua e sistemática, que compreende um leque de conhecimentos sólidos multidisciplinares provenientes da engenharia (desenho técnico, mecanismos, mecânica dos sólidos, elementos de máquinas, dinâmica e vibrações, materiais, métodos computacionais, entre outras), das ciências puras e de experiências adquiridas anteriormente.

A força motriz da inovação de produtos e componentes, em centros de pesquisa acadêmicos e industriais é a sua capacidade de gerar idéias. No campo industrial o uso de metodologias de projeto, que promovam a inovação implica na satisfação do cliente ou usuário final com um produto comercialmente bem sucedido e conseqüentemente a geração de lucros.

Nos centros de pesquisa universitários e industriais, principalmente na área tecnológica, a utilização de metodologias e técnicas sistemáticas no desenvolvimento de projetos deve resultar em novos componentes, produtos e processos patenteáveis (para assegurar sua origem) revertidos como conhecimento e bens para a sociedade. Em ambos ambientes, grupos de pesquisa e de desenvolvimento devem possuir sólida fundamentação técnica e criatividade, para conduzir um processo de inovação confiável.

Na área industrial, a capacidade de transformar rapidamente uma idéia criativa em um produto inovador é uma vantagem competitiva tecnológica, e não pode ser relegada ao casuísmo. Centros de pesquisa e universidades que lidam com “produtos” necessitam de processos de inovação constantes e não devem depender exclusivamente de lampejos de brilhantismos de seus pesquisadores. Dentro deste enfoque e dada à evolução crescente de novas tecnologias, o processo de desenvolvimento de projetos, representando pelo projeto de engenharia, necessita de novas metodologias que abordem os problemas do tipo “inventivo”, tendo como meta um processo contínuo de inovação. O tempo gasto com o

desenvolvimento de um componente, produto, processo ou equipamento é um fator crítico: para as empresas, quanto maior o tempo para a introdução do produto no mercado, maior é o grau de incerteza, aumentando o risco de investimento; para as universidades e centros de pesquisa pode significar a obsolescência da linha de pesquisa.

1.1 Motivação

A preocupação com os mercados mundiais alterou a forma de desenvolver novos produtos, promovendo assim a revisão por parte das empresas do processo de desenvolvimento de produtos. Com o intuito de cativar o cliente e mantê-lo fiel a uma marca, o processo de desenvolvimento de produto deve ter a sua avaliação intensificada de forma a atender as expectativas do cliente e agregar valor ao produto. Na área industrial a pressão dos mercados globalizados por produtos inovadores, produzidos com excelência de qualidade, com bom desempenho, voltado para as tendências atuais, acrescenta um alto grau de complexidade e tecnologia na atividade de desenvolvimento de produtos.

A falta de uma metodologia sistêmica para solução de problemas inventivos, cria no processo de desenvolvimento de produtos uma dependência direta do campo de conhecimento do engenheiro/projetista e/ou do seu “talento pessoal”. Outro fato é a relação “tempo x novas idéias”, que não apresenta uma relação linear. A necessidade crescente de aumentar a capacidade inventiva, tanto das indústrias e corporações que estão inseridas em um mercado competitivo globalizado, quanto dos centros de tecnologia e universidades, que almejam obter patentes de suas pesquisas, resultando assim em ambos os casos, em produtos factíveis com um período de desenvolvimento reduzido.

A aplicação de uma metodologia sistêmica para solução de problemas inventivos facilita o desenvolvimento de novos produtos, restringindo o campo de busca da solução e reduzindo o tempo de desenvolvimento de projeto.

Entende-se por metodologia, um procedimento planejado com indicações de conduta no desenvolvimento e no projeto técnico, baseada em um conjunto de disciplinas técnicas da engenharia, bem como conhecimentos da psicologia cognitiva e de experiências anteriores (PAHL e BEITZ, 2004).

Na metodologia TRIZ, a solução dos problemas é orientada pelos objetivos a serem alcançados, levando-se em conta as contradições e as condicionantes restritivas prefixadas (APTE, 2006). A metodologia TRIZ orienta a análise de sistemas técnicos e sua possível projeção futura, guiando o engenheiro/projetista, para o um “*Resultado Final Ideal*”. Esse procedimento mostra as tendências tecnológicas que seguem ou não, convergindo o pensamento criativo de forma rápida e precisa (KIATAKE, 2004). Neste sentido, a utilização desta metodologia em áreas estratégicas, como a nanotecnologia, para o desenvolvimento de componentes e equipamentos é altamente indicada.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar a metodologia TRIZ como uma ferramenta poderosa para emergir conceitos para a solução de problemas inventivos para isto o trabalho foi abordado em dois grupos principais:

- A apresentação das ferramentas da metodologia TRIZ, voltadas para resolução de problemas inventivos aplicadas no desenvolvimento de um projeto conceitual;
- A aplicação destas ferramentas a um estudo de caso, desenvolvendo um projeto conceitual de mancais para um eixo-árvore de alta velocidade (*High Speed Spindle*).

1.3 Metodologia de pesquisa proposta

Aplica-se ao presente estudo o método qualitativo de natureza exploratória, utilizando estudo de caso, na busca de evidenciar as diversas interações a que estão submetidos os objetos de estudo.

Segundo Sampsom (1991) pesquisa qualitativa é mais utilizada em situações em que o fenômeno a ser observado ou o processo que se deseja conhecer, possui determinado aspecto psicológico complexo. Alguns problemas de pesquisa requerem uma abordagem mais flexível, e nestas circunstâncias a aplicação de técnicas qualitativas são mais recomendadas.

Para Köche (2002) a pesquisa exploratória é utilizada no processo de investigação do problema para descrever ou caracterizar a natureza do fenômeno e as características que serão estudadas, esclarecendo os conceitos e idéias, tornando os estudos posteriores mais precisos.

Com o intuito de validar a aplicabilidade da metodologia TRIZ no desenvolvimento de um conceito, desenvolveu-se um estudo de caso, um projeto de produto e, em sua fase conceitual foi aplicado à metodologia.

O conceito do produto desenvolvido e avaliado foi um sistema de mancais para um eixo-árvore de alta velocidade (*High Speed Spindle*) para uma “*Dicing Saw*”, a máquina supracitada tem como objetivo o corte de amostras de material cerâmico para o LTC - Laboratório de Tribologia e Compósitos – SEM - EESC - USP.

1.4 Limitações do trabalho

Devido à complexidade e a quantidade de ferramentas disponíveis dentro da metodologia, o presente trabalho trata de algumas ferramentas e não abarca a totalidade das aplicações possíveis. Este estudo constitui um início do que poderá ser uma série de trabalhos, mais específicos, abordando as diferentes ferramentas da metodologia TRIZ, aplicada aos diferentes níveis de solução dos problemas inventivos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, quatro itens serão abordados: Metodologia de projeto, Criatividade, Teoria da Resolução de Problemas Inventivos (TRIZ) e Máquinas de precisão.

2.1 Metodologia de Projeto

Nenhuma empresa inserida no mercado competitivo atual pode parar de lançar novos produtos, a atividade de desenvolvimento de produtos é uma constante, que envolve conceber, desenvolver e comercializar.

Ainda devem ser consideradas algumas tendências mundiais que se consolidam na atualidade, como a valorização da autenticidade de produtos; maior nível de informação dos consumidores com os produtos adquiridos; demanda por inovação e praticidade (facilitadores das tarefas comuns); e responsabilidade e consciência sócio-ambiental, colaborando ainda com estas tendências deve-se levar em conta a atualização das legislações nacionais, Norma Regulamentadora nº 12 (Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego – NR 12 que se aplica ao projeto e utilização de máquinas e equipamentos) e a promulgação da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010.

A atividade de desenvolver produtos ou de projetar é uma das principais atividades dentro deste contexto e, sofre influências de fatores tecnológicos, econômicos, financeiros, ambientais e humanos (fatores culturais, sociais e políticos).

Segundo Back e Forcellini (2003) a atividade de *projeto* esta inserida dentro de um processo mais abrangente denominado de processo de *desenvolvimento do produto*, que é parte integrante do *ciclo de vida* do produto. O *ciclo de vida* de um produto pode ser dividido em fases: a avaliação das necessidades, análise (descrição e especificação), planejamento

do produto (avaliação técnica e de mercado), projeto (concepção preliminar e detalhada), produção, testes, implantação (lançamento e acompanhamento), uso e fim da vida útil do produto (descarte, reciclagem e destruição). A atividade de projeto é um processo de transformação de múltiplas etapas consecutivas, que evolui da identificação das necessidades e das expectativas dos clientes e de como estas poderão ser satisfeitas, passa pela concepção de um conceito tecnicamente exeqüível, até alcançar a completa especificação de um produto comercialmente viável.

Asimow (1968) define *projeto* como “uma atividade orientada para atender as necessidades humanas, principalmente aquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos da nossa cultura.”

Para Kaminski (2000) o processo de desenvolvimento do produto é um conjunto de atividades envolvendo a empresa como um todo, tendo como objetivo transformar as necessidades de mercado em produtos ou serviços economicamente viáveis.

Para Ulrich e Eppinger (2004) o processo de desenvolvimento do produto é definido como a seqüência de etapas ou atividades (físicas ou intelectuais) que a organização utiliza para conceber, projetar e comercializar o produto.

Entende-se como metodologia de projeto o estudo de um procedimento planejado com indicações claras de conduta a serem observadas no desenvolvimento do projeto de um sistema técnico (PAHL e BEITZ, 2004).

Na definição de Pugh (1995) o processo completo de desenvolvimento do produto é uma atividade sistemática, que reuni toda a cadeia produtiva, se inicia com a identificação do mercado e das necessidades do consumidor e finaliza com a venda de produtos capazes de satisfazer tais necessidades.

Em síntese, projeto é um processo que converte uma necessidade, expressa como um conceito abstrato de *função positiva principal* que determina a finalidade do conceito, em um produto (sistema, dispositivo, serviço ou processo) que satisfaz essa necessidade, já o desenvolvimento do produto é um conceito mais abrangente compreende além dos

aspectos de projeto os aspectos de planejamento ao longo do ciclo de vida do produto, figura 2.1.

Figura 2.1 – Modelo de ciclo de vida do produto em espiral (ROZENFELD, et. al., 2006).

O desenvolvimento de produto pode ainda ser definido como um processo multidisciplinar de solução de problemas. Os problemas são barreiras que se interpõem entre o estado inicial, indesejado, e o estado final, desejado (CARVALHO, 1999).

As soluções inovadoras buscam erradicar obstáculos e tendem a levar o produto para um resultado próximo do ideal. Para se obter uma solução inovadora os problemas devem ser solucionados, sobre parâmetros críticos de projeto, principalmente aqueles que apresentam contradições. A busca de erradicar ou reduzir a contradição pode conduzir à descoberta da solução do problema. É fundamental, para se obter uma solução inovadora evitar os caminhos, que permeiam as soluções convencionais de compromissos (*trade-off*) que buscam, normalmente, compatibilizar os parâmetros contraditórios (CARVALHO, 1999).

As atividades de "projeto" e "desenvolvimento do produto" são processos complexos que requerem do engenheiro/projetista o exercício da criatividade, bem como o bom senso

para aplicar um vasto leque de competências, metodologias e conhecimentos técnicos na busca da solução, o produto final.

2.1.1 Contexto histórico e classificações da atividade de projeto

A atividade de projeto tem sido realizada durante séculos pelo homem, mas não existe um trabalho que formalize esta atividade de uma forma universal, assim diversos grupos de trabalho sediados em diferentes centros de excelência espalhados pelo mundo abordam o tema de maneira dispares. As primeiras tentativas de criar um formalismo unificado sobre o tema foram feitas em meados do século XX, diante da complexidade crescente do processo de desenvolvimento de produtos (FORTULAN, 2008). Deste então a atividade de projeto é um assunto de debate entre diferentes escolas de pensamento.

Existe uma ampla variedade de metodologias de projeto e um grande número de modelos estudados, alguns são muito breves, com apenas três fases distintas (análise, síntese e avaliação), enquanto outros são decompostos em diferentes sub-tarefas, fases e atividades, a serem realizadas pela equipe de desenvolvimento de produto, todos com a proposta de aumentar a qualidade dos produtos, reduzindo os custos e o tempo de desenvolvimento do produto, diferenciando-se quanto à ênfase dada por cada autor a uma determinada etapa do processo ou ao seu grau de detalhamento ou, ainda o tipo de produto a que se destina.

A abordagem científica da atividade de projeto e desenvolvimento de produto, sua organização e métodos começaram a ser estudadas e interpretadas a partir dos anos 50, com grande influência da segunda guerra mundial que ditou o ritmo do progresso tecnológico (FORTULAN, 2008).

A primeira manifestação conjunta sobre o tema de metodologia de projeto foi *The Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications*, conferência realizada no *Imperial College*, de Londres,

em 1962, o evento foi organizado por John Christopher Jones e Peter Slann. A conferência foi restrita aos delegados escolhidos em diferentes ocupações ligadas em comum pelo interesse em algum aspecto da atividade de projeto. Os delegados foram convidados a discutir *design* como uma atividade e trocar conhecimentos sobre o processo de concepção de engenharia, desenho industrial e artes gráficas, buscando assim, quebrar as barreiras entre os diferentes interesses e, dando a oportunidade de compartilhar um novo ponto de vista sobre o trabalho criativo de projeto (PAGE, 1966).

Durante os anos 60 surgiram várias obras que abordaram o tema, dando início assim, a primeira geração da metodologia de projetos. Estas primeiras metodologias, em sua maioria, abordavam o tema de maneira isolada, voltada para áreas de conhecimento específico, baseada na aplicação sistemática e racional de métodos científicos (FORTULAN, 2008).

A primeira obra orientada para a atividade de projeto de engenharia foi a *Introduction to Design: Fundamentals of Engineering Design* de Asimow (1962), a seguir vieram outras obras tais como *Introduction to Engineering Design* de Woodson (1966), *Engineering Product Design* de Cain (1969), *Konstruktionslehre für den Maschinen, Geräte und Apparatebau* de Koller (1976), *Methodisches Konstruieren* de Rodenacker (1976), *Konstruktionslehre* de Pahl e Beitz (1977), a maioria destas publicações foram baseadas em pesquisas desenvolvidas por diversos centros de excelência que descreveram a prática de projeto (BACK, 2007).

No início dos anos 80 com a necessidade de adaptação ao mercado consumidor globalizado, mais exigente, barreiras funcionais tradicionais foram quebradas e a metodologia de projeto começou a focar na tarefa de desenvolvimento de produto como um todo, situando o cliente como parceiro na criação do produto (FORTULAN, 2008). Surgiu a necessidade de uma metodologia projeto que fizesse uma abordagem mais abrangente, delineasse o ciclo de vida do produto - PDL (*Product Development Lifecycle*), demonstrando as fases significativas da atividade de desenvolvimento do produto desde a identificação da

necessidade do consumidor, passando pela concepção da idéia, fabricação e lançamento do produto. (GUMUS, 2005).

Surgiu assim, a segunda geração da metodologia de projetos com obras com uma visão mais abrangente do desenvolvimento do produto, tais como *Systems engineering and analysis* de Blanchard e Fabrycky (1981), *Total design: integrad methods for sudcessful product engineering* de Pugh (1991) , *The Mechanical Design Process* de Ullman (1992), *Total quality development: a step-by-step guide to worl-class cocurrent engineering* de Clausing (1993), *Product Design: Fundamentals and Methods* de Rozenburg e Eekels (1995), *Product Design and Development* de Ulrich (1995), entre outras (BACK, 2007).

As normas VDI (*Verein Deutscher Ingenieure*) 2222 – *Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte* (1977) e 2221 – *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte* (1985), elaboradas para orientar o fluxo de trabalho no processo de projeto na engenharia mecânica, levando-se em conta os fundamentos da engenharia de sistemas, procedimento sistemático e processo geral de solução, fazem uma síntese da filosofia da escola alemã de projeto (BACK, 2007).

Em 1985 a ASME publica o relatório *Goals and Priorities for Research on Design Theory and Methodology* onde foi constatada que grande parte da perda de competitividade dos produtos fabricados nos Estados Unidos frente aos produtos fabricados no Japão e Alemanha, naquele período, era devido à baixa qualidade de projeto de seus produtos, reflexo da pouca ênfase dada a abordagem metodológica de projeto, tanto na educação quanto na pesquisa. Em 1986 a ASME publica na revista *Mechanical EGINEERING* o artigo *Design theory and methodology: a new discipline* que traz recomendações e diretrizes para o ensino e pesquisa na área (BACK e FORCELLINI, 2003).

Cross (1989), em seu livro *Engineering Design Methods*, apresenta vários exemplos de modelos de projeto sistemático e sugere que os modelos sejam classificados em dois grupos: descritivos e prescritivos.

Os modelos descritivos de desenvolvimento de produtos “descrevem” experiências anteriores de como os produtos são desenvolvidos. O conceito de solução é identificado nos

primeiros estágios do processo, passando então por um processo de análise, avaliação, refinamento e desenvolvimento. Quando a análise aponta que a solução inicial não atende as restrições e especificações do produto, um novo conceito é gerado e o ciclo recomeça. Como este é um processo heurístico que se utiliza de experiências prévias, de diretrizes gerais e se baseia no empirismo da prática de projeto para direcionar os projetistas, este caminho nem sempre garante o sucesso do processo (CROSS, 1989).

Os modelos prescritivos de desenvolvimento de produtos “prescrevem” como os produtos *deveriam ser desenvolvidos*, é um modelo linear apresentado na forma de fluxogramas que mostram a seqüência das atividades de projeto que permite identificar as fases do processo de projeto e estabelece guias para o desenvolvimento de cada uma delas, este modelo é aceito pela maioria dos pesquisadores, tais como: Hubka (1984), Pahl e Beitz (1988), Pugh (1990) entre outros, além das normas alemã, VDI 2221, e inglesa, BS 7000. (SANTOS, 2007).

Yoshikawa (1989) classifica os diferentes modelos de projeto em três grupos principais: a escola semântica, a escola sintática e a escola historicista.

A escola semântica tem como proposta central o fluxo de energia, matéria ou sinal e de que todo sistema técnico pode ser representado pela transformação destes fluxos, desde a entrada até a saída. A diferença entre as entradas e as saídas é chamada de funcionalidade, que podem ser decompostas e transformadas é uma seqüência de funções mais simples e sub-funções até serem mapeadas como um fenômeno físico em particular que realiza a transformação desejada. Com a identificação do efeito físico pode-se consultar um catálogo para reproduzir o princípio da solução e gerar uma solução técnica inovadora.

A escola sintática tem seu foco voltado para os aspectos de procedimento e não para o aspecto do projeto em si. Assim, busca-se abstrair a dinâmica ou aspectos temporais da atividade de projeto, determinando limites para cada passo do trabalho e associando saídas de informações ao final de cada etapa. Os pesquisadores que adotam esta abordagem reúnem o aspecto metodológico de projeto e o aspecto funcional do produto.

Na escola historicista a ênfase recai sobre a importância da disponibilidade de todo conhecimento histórico sobre determinado assunto em estudo durante o processo de desenvolvimento das soluções. A idéia central é de que as habilidades de desenvolver projetos não podem ser adquiridas de forma eficiente por métodos teóricos, mas sim pela experiência (DUFOR, 1996).

A estas escolas, anteriormente descritas, Yoshikawa (1989) acrescenta mais duas escolas: a escola psicológica, voltada para os aspectos da criatividade e a escola filosófica que se preocupa com os aspectos do pensamento humano durante a atividade de projeto (DUFOR, 1996).

2.1.2 Delineação da atividade de projeto e desenvolvimento do produto

A atividade de Projeto e o Processo de Desenvolvimento de Produtos, Figura 2.2, é um grande desafio para as empresas cuja sobrevivência, muitas vezes, depende da capacidade de oferecer novos produtos com custos e prazos de desenvolvimento reduzidos.

Figura 2.2 – Processo de desenvolvimento do produto (ROZENFELD, et. al., 2006).

O projeto como tarefa consiste em gerar idéias e descrever uma estrutura que possua as características e/ou as funções desejadas; O projeto como processo consiste em uma oportunidade de mercado de transformar as necessidades dos clientes, os requisitos do produto e as limitações tecnológicas em uma descrição de uma estrutura que satisfaça estas necessidades, resultando em um produto comercialmente viável (PAHL e BEITZ, 2004).

O processo de Desenvolvimento de Produtos, no qual a atividade de projeto esta inserido, pode ser representado em fases e etapas, sucessivas ou concorrentes, Figura 2.3, que visam estabelecer fluxogramas das atividades e planos procedurais, a partir da identificação da necessidade e oportunidade de mercado ocorre transformações sucessivas em cada fase até finalizar com o projeto do produto, a produção e o acompanhamento do produto até seu descarte (BACK e FORCELLINI, 2003).

Figura 2.3 – Fases do Desenvolvimento de Produtos (BACK e FORCELLINI, 2003).

Na busca de melhorar o desenvolvimento de produtos as empresas adotam metodologias capazes de organizar o conjunto de informações relacionadas a cada etapa do

ciclo de vida do produto, como apresentado na Figura 2.4, tornando o processo mais rápido e eficaz.

Consumidor	Identificação da necessidade	"Faltas" ou "Desejos" por sistemas (as deficiências ou problemas se tornam evidentes através de resultados básicos de pesquisa).
Produtor	Função de planejamento	Análise de mercado; estudo da viabilidade; planejamento avançado do sistema (seleção do sistema, especificações e planos, pesquisa do plano de aquisição/projeto/produção, plano de avaliação, plano de suporte logístico e uso do sistema); revisão do planejamento; proposta.
	Função projeto	Requisitos de projeto; projeto conceitual; projeto preliminar, projeto detalhado; suporte de projeto; desenvolvimento de protótipo/modelo; transição do projeto para a produção.
	Função de produção e/ou construção	Requisitos de produção e/ou construção; análise de operações e engenharia industrial (planta de engenharia, engenharia de manufatura, engenharia de métodos, controle de produção); controle de qualidade; operações de produção.
	Função de avaliação	Requisitos de avaliação; categorias de avaliação e testes; fase de preparo dos testes (planejamento, recursos, etc.); avaliação e testes formais; coleção de dados, registro, análise, ações de correção, re-teste.
Consumidor	Função de uso e suporte logístico	Uso operacional e distribuição do sistema; elementos de suporte ao ciclo de vida e logístico; avaliação do sistema; modificações; fase externa do produto; deposição de material, reclamação e/ou reciclagem.

Figura 2.4 – Ciclo de vida do consumidor ao consumidor (BLANCHARD e FABRYCKY¹, 1990 *apud* BACK e FORCELLINI, 2003).

A partir de estudos bibliográficos, como os de Jung et al. (2008), Maribondo (2000) e Chagas (2004), foi possível identificar e descrever as tarefas de várias das principais

¹ BLANCHARD, B.S. e FABRYCKY, W. J. Systems Engineering and Analysis. Prentice - Hall, 1990.

metodologias de desenvolvimento de produtos e projeto e, sintetizá-las no quadro abaixo,

Quadro 1.

Autor (ano)	Processo de projeto
ANDREASEN e HEIN (1987)	(i) Investigar a necessidade: Determinar a necessidade básica; (ii) Determinar o tipo de produto, considerando o tipo de processo; (iii) Determinar o princípio do design; (iv) Determinar o tipo de produção; (v) Efetuar o design do produto: Pesquisar marketing; Fazer projeto preliminar; Planejar a produção; (vi) Preparar para a produção: Preparar vendas e produção; (vii) Executar; Produzir; (viii) Vender.
ASIMOW (1962)	(i) Identificar a necessidade primitiva; (ii) Estudar a exeqüibilidade, principais restrições e critérios técnicos e financeiros; (iii) Projetar preliminarmente com base na melhor alternativa; (iv) Projetar detalhadamente; Construir protótipo, Testar e fazer revisões necessárias; (v) Planejar a produção; (vi) Planejar a distribuição; (vii) Planejar o consumo; (viii) Planejar a retirada do produto.
BACK (1983)	(i) Estudar viabilidade; (ii) Projetar preliminarmente; (iii) Projetar detalhadamente; (iv) Revisar e testar; (v) Planejar a produção; (vi) Planejar o mercado; (vii) Planejar para o consumo e manutenção; (viii) Planejar a obsolescência.
CLARK e FUJIMOTO (1991)	(i) Concepção do produto; (ii) Planejamento do produto; (iii) Projeto do produto; (iv) Projeto do processo.
CRAWFORD (1983)	(i) Identificar e selecionar as oportunidades; (ii) Gerar o conceito; (iii) Avaliar o conceito; (iv) Desenvolver; (v) Lançar no mercado.
CROSS (1989)	(i) Explorar as oportunidades; (ii) Gerar o conceito; (iii) Avaliar o conceito; (iv) Comunicar (descrição final do produto).
DICKSON (1997)	(i) Gerar idéias; (ii) Desenvolver o conceito; (iii) Planejar o desenvolvimento; (iv) Desenvolver e testar; (v) Lançar no mercado.
FABRICK E BLANCHARD (1981)	(i) Identificar a falta ou desejo por sistemas; (ii) Estudar a viabilidade; Analisar as necessidades e os requisitos operacionais; Conceber a manutenção; Planejar o sistema; (iii) Projetar preliminarmente com base na análise funcional, definição e síntese do sistema; (iv) Detalhar o projeto; (v) Construir, testar e avaliar o protótipo do sistema; (vi) Avaliar o sistema e corrigir o necessário.
FRENCH (1985)	(i) Analisar o problema; (ii) Desenvolver o conceito; (iii) Projetar preliminarmente; (iv) Detalhar o projeto.
HUBKA e EDER (1988)	(i) Clarificar as especificações técnicas; (ii) Estabelecer as estruturas de funções, Determinar o conceito que soluciona o problema de projeto; (iii) Efetuar o projeto preliminar; Estabelecer o layout dimensional; (iv) Detalhar o projeto; Construir o layout definitivo; Documentar.
JONES (1976)	(i) Obter informação primária; Explorar a situação do projeto; (ii) Perceber ou transformar a estrutura do problema (iii) Localizar parâmetros; Descrever sub-soluções; Identificar contradições; Combinar sub-soluções em alternativas; Avaliar alternativas; Escolher solução.
KAMINSKI (2000)	(i) Especificar tecnicamente as necessidades; (ii) Estudar a viabilidade; (iii) Efetuar o projeto básico; (iv) Efetuar o projeto executivo; (v) Planejar a produção; (vi) Executar.
KOTLER (1974)	(i) Gerar idéias; (ii) Efetuar triagem de idéias; (iii) Desenvolver e testar o conceito; (iv) Desenvolver estratégia de marketing; (v) Analisar mercado; (vi) Desenvolver o produto; (vii) Efetuar teste no mercado; (viii) Comercializar.

Continua

Autor (ano)	Processo de projeto
PAHL e BEITZ (2004)	(i) Planejar o produto; Identificar necessidade primária; Esclarecer as tarefas; Especificar os requisitos; Determinar o conceito que soluciona o problema de projeto de acordo com os requisitos e as restrições técnicas e econômicas; (ii) Efetuar o projeto preliminar; Definir o arranjo e formas preliminares dos componentes dentro da estrutura do produto; (iii) Detalhar o projeto; Construir o layout definitivo; (iv) Documentar; (v) Planejar a distribuição; (vi) Planejar o consumo; (vii) Planejar a retirada do produto.
PUGH (1995)	(i) Analisar o mercado; (ii) Especificar tecnicamente as necessidades; (iii) Desenvolver o conceito e comparar com as especificações; (iv) Detalhar o projeto e comparar com as especificações; (v) Planejar a produção balanceada com as especificações; (vi) Desenvolver os processos de venda.
ROOZENBURG e EEKELS (1995)	(i) Analisar o problema; (ii) Efetuar uma síntese das soluções; (iii) Simular as soluções; (iv) Avaliar o projeto; (v) Tomar a decisão.
ROZENFELD et al. (2006)	(1 - Pré-Desenvolvimento): (i) Planejar estrategicamente os produtos; (ii) Planejar o projeto; (2 - Desenvolvimento): (i) Efetuar o projeto Informacional; (ii) Efetuar o projeto conceitual; (iii) Efetuar o projeto detalhado; (iv) Preparar a produção; Obter recursos de fabricação; Planejar produção piloto; Receber e instalar recursos; Produzir lote piloto; Homologar o processo; Otimizar a produção; Certificar o produto; Desenvolver processos de fabricação e manutenção; (vii) Lançar o produto: Planejar lançamento; Desenvolver os processos de venda, distribuição, atendimento e assistência; Promover marketing; Lançar produto; Gerenciar lançamento; (3 - Pós Desenvolvimento): (i) Acompanhar o produto e processo: Avaliar satisfação do cliente; Monitorar desempenho; Realizar auditoria pós-projeto; Registrar lições apreendidas; (ii) Descontinuar o produto: Analisar, aprovar e planejar a descontinuidade; Preparar e acompanhar o recebimento do produto; Descontinuar a produção; Finalizar suporte ao produto; Avaliar e encerrar o projeto.
SUH (1990)	(i) Identificar uma necessidade social; (ii) Determinar os requisitos funcionais; (iii) Determinar os atributos do produto; (iv) Desenvolver o protótipo ; (v) Produzir o produto
ULLMAN (1997)	(i) Identificar a necessidade; (ii) Planejar o desenvolvimento do processo de projeto; (iii) Especificar o projeto; (iv) Desenvolver o conceito; (v) Desenvolver o produto; (vi) Testar o produto; (vii) Planejar a produção, montagem e inspeção; (viii) Planejar a distribuição, instalação e uso; (viii) Planejar a retirada do produto.
ULRICH e EPPINGER (2000)	(i) Planejar marketing; (ii) Planejar o design; (iii) Planejar a manufatura; (iv) Desenvolver o conceito; (v) Definir a arquitetura do produto; (vi) Detalhar o projeto; (vii) Testar e refinar; (viii) Produzir.
VDI 2221 (1987)	(i) Especificar os requisitos da tarefa; (ii) Verificar funções e suas estruturas; (iii) Pesquisar os princípios de solução e suas estruturas; (iv) Dividir em módulos realizáveis; (v) Configurar os módulos principais; (vi) Configurar o produto total; (vii) Preparar instruções de execução e de uso do produto.

Conclusão

Quadro 1 – Metodologias de desenvolvimento de produtos e de Projeto
(Adaptado de Maribondo (2000), Chagas (2004) e Jung (2009))

Fazendo uma análise sobre diversos autores é possível perceber alguns pontos de convergência das diferentes metodologias. Há um consenso entre a maioria dos autores sobre as definições das etapas básicas do processo de projeto, inseridas no processo de desenvolvimento de produto, já sobre as definições exatas das etapas que permeiam o desenvolvimento de um produto isto não acontece. Alguns autores incluem atividades de alinhamento do produto a estratégia da empresa e destacam as fases preparatórias. Algumas diferenças limitam-se às terminologias, porém, algumas são provenientes da fusão, subdivisão, sobreposição ou do nível de detalhamento de cada fase. Cada autor adota a terminologia que é mais adequada ao seu trabalho, e ao nível de detalhamento e importância atribuída a cada fase (BACK e FORCELLINI, 2003).

Ogliari 1999, propõe um processo de Desenvolvimento de Produto Consensual, constituído de quatro etapas:

- especificações de projeto (Projeto Informacional);
- concepção do produto (Projeto Conceitual);
- concepção do produto (Projeto Preliminar);
- documentação do produto (Projeto detalhado).

Para cada fase do projeto as diversas metodologias disponíveis apresentam ferramentas de apoio para o seu desenvolvimento, algumas mais abrangentes, outras mais restritas a técnica familiar ao autor da metodologia.

2.1.3.1 Projeto Informacional

Esta etapa mostra o ponto de partida do problema de projeto, constata uma necessidade de mercado, faz uma avaliação das necessidades dos clientes, e apresenta uma especificação de produto (BACK e FORCELLINI, 2003; ROZENFELD, et. al., 2006).

Onde quer que exista uma necessidade, existe uma oportunidade (KOTLER,1998). A oportunidade esta intrinsecamente ligada ao planejamento estratégico organizacional.

Embora não faça parte do escopo deste trabalho analisar o planejamento estratégico, é possível defini-lo em linhas gerais como: Um instrumento que orienta a organização na tomada de decisões diante do ambiente empresarial em que esta inserida, visando dirigi-la ao encontro dos seus objetivos (SLACK, 2002).

O novo produto a ser lançado deve estar consoante com o padrão global de ações da empresa e têm que contribuir para que os objetivos empresariais sejam alcançados, para tal podemos coletar dados através de uma pesquisa de mercado, análise da concorrência e estudo do ambiente de negócio, assim é possível decidir sobre a viabilidade comercial de um produto. Outro fator importante que influi no processo é a definição dos requisitos do produto que envolve identificação das necessidades do cliente. O que valida uma atividade de desenvolvimento de produto é a existência de uma necessidade do cliente, conhecida e não atendida, atendida parcialmente ou atendida de forma inadequada, a partir da necessidade é possível buscar soluções viáveis para o desenvolvimento de um produto que satisfaça esta necessidade, levando-se em conta os fatores estratégicos, econômicos e tecnológicos da empresa (SLACK, 2002).

Conhecer as necessidades do cliente e a sua percepção do produto, conduz a uma especificação da qualidade necessária para atender suas expectativas ou até mesmo superá-las. Esta abordagem visa o alinhamento entre as formas que o cliente espera que o produto satisfaça suas necessidades e a forma com que o produto executa esta função. Os métodos tradicionais para se conhecer as necessidades e expectativas dos clientes são baseados questionários de pesquisa de opinião, que buscam identificar as necessidades e características dos clientes (SLACK, 2002).

Para se obter um resultado satisfatório é necessário estabelecer as relações do cliente com o seu ambiente. Importante notar que com o tempo ocorrem mudanças na forma de satisfazer as necessidades do cliente, apesar das necessidades serem quase que imutáveis podendo estar diretamente ligadas aos costumes, padrões sociais ou crenças (CARPES, 1995).

A explicitação das necessidades dos clientes é base da descrição dos requisitos do produto, nesta descrição serão apontadas às funções desejadas e indesejadas do produto de uma maneira mensurável. Kotler (1998) define produto como um conjunto de atributos tangíveis e intangíveis oferecidos a um mercado para satisfazer os seus anseios e necessidades.

Figura 2.5 – Pirâmide das necessidades humanas de Maslow (ROZENFELD, et. al., 2006).

O estudo da psicologia das necessidades humanas aborda este tema visando analisar como o ser humano percebe o meio ambiente e como isto o influencia a tomar determinadas decisões. Maslow (fundador da psicologia humanista), procurou compreender o que dirige o comportamento humano. Ele apresentou uma hierarquia de importância e prioridade, na medida que as necessidades fundamentais, de maior relevância, vão sendo satisfeitas outras necessidades de nível superior passam a tomar o seu lugar, seguindo a hierarquia, Figura 2.5 (ROZENFELD, et. al., 2006).

As necessidades são, aparentemente, ilimitadas, tanto em volume como em variedade e, complexas devido às diversas variáveis que as influenciam, tais como: a cultura predominante na sociedade, o nível de tecnologia e outros. As necessidades podem ser classificadas como: declaradas, reais, percebidas, culturais e atribuíveis a usos inesperados (CARPES, 1995)

O usuário final geralmente manifesta suas necessidades através do desejo por determinado produto ou serviço, que é a representação comercial da solução que atende as suas necessidades. Toda necessidade tem que ser manifesta, *declarada* para que a

empresa possa buscar os meios para satisfazê-la. A necessidade também tem que ser *real* onde o cliente não apresente um mero interesse ou curiosidade pelo produto, mas esteja disposto a pagar pelos benefícios que dele advém. As necessidades podem estar relacionadas com a percepção das diferenças entre produtos, na qualidade, usabilidade, preço e status. As necessidades *culturais* estão ligadas ao padrão cultural pelo meio social ao qual o cliente está inserido, no qual as mudanças podem representar uma ruptura dos padrões e valores estabelecidos causando reações de oposição e resistência. Serviços considerados inadequados, alívio de trabalhos penosos, redução do tempo gasto para executar tarefas e mudanças nos hábitos dos clientes, são fontes de necessidades. (JURAN¹, 1993 *apud* CARPES, 1995).

Baseado na constatação das necessidades dos clientes e com base na análise prévia do mercado é possível finalizar o estudo de viabilidade técnica e econômica do produto (Fases 1, 2 e 3) apresentadas pela Figura 2.2, convertendo as necessidades dos clientes em requisitos técnicos pode-se assim especificar o produto e concluir a fase informacional do projeto.

2.1.3.2 Projeto Conceitual

Com os desdobramentos e avaliações iniciais do projeto a idéia original torna-se um conceito, que é refinado e detalhado para se tornar um produto. A cada etapa, com as decisões de projeto, diminuí o número de alternativas consideradas, reduzindo as incertezas progressivamente. Na fase inicial do processo do projeto, o custo para se alterar o conceito, antes que decisões fundamentais tenham sido tomadas é relativamente baixo (figura 2.6).

¹ JURAN, J.M. **Juran na liderança pela Qualidade**. 2. Edição. São Paulo: Livraria Editora Pioneira. 1993.

O conceito de um produto é uma breve descrição da tecnologia dos princípios de funcionamento, e da forma do produto, descreve como o produto irá satisfazer as necessidades dos consumidores (SLACK, 2002).

O trabalho proposto está focado no desenvolvimento do conceito ou projeto conceitual identificado na Figura 2.6, como parte das atividades de desenvolvimento do produto. Assim, o trabalho e os estudos a serem realizados serão orientados no sentido de validar a metodologia TRIZ, como apoio as atividades de projeto conceitual do produto.

O processo de geração de conceitos é iniciado com as especificações do produto. O conceito é a definição preliminar do produto, que busca dar a solução ao problema, a solução deve ainda atender as restrições técnicas e econômicas. As idéias brutas precisam ser transformadas em conceitos para que possam ser avaliadas e operacionalizadas pelas organizações. Solução conceitual de um produto é a etapa de síntese. A geração do conceito do produto tem início com uma idéia, uma forma, um objetivo, uma função e os benefícios a serem alcançados, estes elementos, com o tempo, são refinados e dão origem ao conceito que após a sua formalização se traduz em um produto (PAHL e BEITZ, 2004).

¹ B. S. BLANCHARD e FABRYCKY. W. J. Systems Engineering and Analysis. Prentice – Hall. 1990.

2.2 Criatividade

Back e Forcellini (2003), definem criatividade, no campo restrito do processo de desenvolvimento de produto, como sendo a habilidade do projetista de ter idéias novas e úteis para resolver o problema de projeto proposto ou sugerir soluções para a solução do problema, a concepção de um novo produto.

2.2.1 O processo criativo

Ao final da fase de Projeto Informacional com a elaboração das especificações de produto, a etapa seguinte é a fase de Projeto Conceitual com geração de soluções alternativas para a solução do problema de desenvolvimento de produto. Para se obter um conjunto de soluções alternativas para um mesmo problema de projeto deve-se usar a criatividade (BACK e FORCELLINI, 2003).

Embora intuitivamente o fenômeno criativo se apresente de uma forma simples, ele é bastante complexo, tendo sido objeto de análise por diversos campos das ciências tais como: psicologia comportamental, psicologia social, ciência cognitiva, inteligência artificial, administração, economia, engenharia, entre outras.

Existem varias definições para o termo criatividade, nenhuma de consenso, algumas levam em consideração os aspectos sociais, outras os psicológicos e cognitivos, abaixo são citadas algumas definições sobre o processo criativo:

“Criatividade é entendida como ferramenta para a resolução de problemas complexos” (SOUZA, 2001).

"Criatividade é o processo que resulta em um produto novo, que é aceito como útil, e/ou satisfatório por um número significativo de pessoas em algum ponto no tempo" (STEIN¹, 1974, apud ALENCAR, 1993).

"Criatividade representa a emergência de algo único e original" (ANSERSON², 1965, apud ALENCAR, 1993).

"Criatividade é o processo de tornar-se sensível a problemas, deficiências, lacunas no conhecimento, desarmonia; identificar a dificuldade, buscar soluções, formulando hipóteses a respeito das deficiências; testar e retestar estas hipóteses; e, finalmente, comunicar os resultados" (TORRANCE³, 1965, apud ALENCAR, 1993).

Um conceito genérico de criatividade é a capacidade de associar idéias de uma forma singular produzindo uma solução nova para solucionar problemas. O estudo da criatividade vem de longa data, mas se formalizou através dos estudos de Joy Paul Guilford nos anos 50, que conceituou a criatividade de forma científica. Guilford estudou as estratégias cognitivas divergentes e convergentes, as quais indicaram que o pensamento divergente não fornece um caminho lógico e seguro para enfrentar a situação, não possui variáveis facilmente identificáveis que possam apontar a solução do problema, a solução estará fora do campo de domínio inicial, esta busca de solução de problemas não triviais seria o pensamento criativo. Um problema não trivial é definido como tendo uma solução, a qual não possui meios óbvios para ser alcançada.

O campo de domínio da solução de um problema é o espaço de pesquisa da solução, geralmente compreendido pelas noções pertencentes às áreas correlatas a

¹ STEIN, M.I. **Stimulating creativity: Group procedures**. New York: Academic Press. 1974.

² ANDERSON, H. H. **Creativity and Its Cultivation**. New York, Ed. Harper & Row. 1959.

³ TORRANCE, E. P. **Rewarding creative behavior**. Experiments in classroom creativity. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 1965.

natureza do problema, compreende os conceitos e representações individuais que relaciona as situações vividas e os conceitos incorporados por meio de instrução formal e experiências. Na busca da resolução de problemas não triviais a resposta pode não pertencer ao campo inicialmente delimitado pelo indivíduo que busca a solução, neste caso, existe a necessidade da expansão do campo inicial para aumentar as possibilidades de solução, então novas áreas de conhecimento devem ser acrescentadas ampliando o espaço para a pesquisa (SOUZA, 2001).

Outros pesquisadores como Roger Sperry, prêmio Nobel de fisiologia e medicina, demonstraram a “lateralização das funções do cérebro” atribuindo funções específicas a determinadas regiões do cérebro. Em seus estudos com pacientes com fissura no corpo caloso, demonstrou a especialização e as funções importantes do hemisfério direito. O cérebro humano é separado por uma fissura longitudinal, dividindo o cérebro em dois hemisférios distintos conectados pelo corpo caloso. Os dois lados do cérebro são similares em aparência, mas as funções de cada hemisfério são diferentes. Carneiro (2002) esclarece ainda a percepção e cognição nos dois hemisférios do cérebro, atribuindo às associações da linguagem, raciocínio lógico, determinados tipos de memória, cálculo e análise ao hemisfério esquerdo e as associações intuitivas, de sentimento, imaginação e síntese ao hemisfério direito. Enquanto o hemisfério esquerdo processa as informações de uma forma lógica, racional e seqüencial o hemisfério direito compreende aos saltos, tem discernimento e visão holística. O esquerdo é linear, objetivo, racional e crítico, usa o conhecimento de forma dirigida, seqüencial, analítica e convergente, e o direito é não-linear, subjetivo, criativo e autêntico, utiliza o conhecimento de maneira livre, múltipla, holística e divergente. O quadro 2 demonstra as principais funções atribuídas a cada hemisfério do cérebro.

Percebe-se que as funções de um lado complementam as funções do outro lado, mas vale ressaltar que algumas funções complexas são controladas bilateralmente. De acordo com estas caracterizações, dentro de um ambiente de geração de idéias a tendência

seria priorizar o funcionamento do hemisfério direito com prejuízo do hemisfério esquerdo que poderia obstruir a criatividade (CARNEIRO, 2002).

ESQUERDO	DIREITO
Ligação com o Consciente	Sem tal ligação
Abstrato e Simbólico	Concreto
Conceitual	Intuitivo – saltos de discernimento
Seqüencial-Linear e Minucioso	Holístico – visão global
Analítico	Sintético – forma global dos objetos
Lógico e Racional	Analógico – entende metáforas
Temporal	Atual – síntese sobre o tempo
Verbal	Não-verbal (Musical) cognição não verbal
Descrição Lingüística	Senso Modelar e Pictórico
Concepção Digital	Espacial (Geométrico) – como partes do conjunto
(Aritmética e Computação)	Irracional – suspende o julgamento

Quadro 2 - Funções dos hemisférios do cérebro (adaptado de HALLAWELL, 2007)

2.2.2 Criatividade orientada

Em paralelo com estas pesquisas, outros pesquisadores fizeram uma abordagem mais pragmática, desenvolvendo técnicas praticas para auxiliar no desenvolvimento da criatividade. Pode-se citar diversos métodos para orientar a solução criativa de problemas e tornar o processo de imersão de idéias mais controlável, melhorando a eficácia da produção de soluções criativas no desenvolvimento de produtos. Aplicando-se uma revisão na literatura atual é possível identificar mais de 200 métodos para o apoio do processo criativo de soluções de problemas (CARVALHO,1999). Zusman (1998) estudou os métodos utilizados e sugeriu uma classificação em categorias descritas como:

A) Métodos de condicionamento /motivação /organização

Nestes métodos busca-se criar um ambiente que facilite a remoção das barreiras mentais, desencadeando a criatividade, emergindo a solução naturalmente.

B) Aleatorização

Valendo-se do fato de que, as barreiras mentais mantêm a busca das soluções dentro do campo de domínio dos indivíduos, este método força o indivíduo a fazer varias tentativas aleatórias, deixando as idéias fluírem livremente, emergindo a maior quantidade de soluções possíveis.

C) Métodos de focalização

Tendo em vista que muitas pessoas têm dificuldades em gerar idéias de forma aleatória, esta técnica oferece uma guia para focalizar a solução.

D) Sistemas

Estas técnicas possuem um conjunto de etapas, que devem ser seguidas em ordem específica para se alcançar a solução. Inicia-se com a divisão do problema principal em subproblemas, buscando a solução parcial para cada subproblema e em seguida sintetizando em uma solução geral.

E) métodos orientados.

Estas técnicas oferecem recomendações, simples ou múltiplas, que seguem um sentido pré-determinado, que pode ser baseado na intuição, experiência ou no conhecimento documentado.

f) métodos orientados à evolução

Estas técnicas baseiam-se no padrão fundamental de evolução.

G) métodos das bases de conhecimento

Estas técnicas utilizam o conhecimento estruturado derivado das patentes (experiência humana de inovação) (ZUSMAN, 1998).

Dentro da proposta de classificação dos métodos criativos, pode-se ainda classificar os métodos como intuitivos (A, B e C), sistemáticos (D) e orientados (E, F e G), nos quais os métodos intuitivos são os baseados na teoria psicológica da criatividade, procuram induzir pensamentos que levam a produção da solução criativa, tais como: *Brainstorming* (Osborn, 1953) e suas derivações como o Pensamento Lateral (de Bono, 1968) e Sinética (Gordon, 1961). Os métodos sistemáticos são aqueles baseados em etapas pré-determinadas, como exemplo o método morfológico (Zwicky, 1948) e a análise e síntese funcional. Os métodos sistemáticos são descritos por diversos autores em projeto de engenharia, como por exemplo: Back (1983), Pahl e Beitz (1988), Hubka e Eder (1988), Ullman (1992), Ulrich e Eppinger (1995). Os métodos orientados baseiam-se no processo de reconhecimento de padrões de soluções de problemas anteriores como possível solução para o problema atual, para estes métodos adotados, também, o conceito de algoritmos na sua definição mais ampla (ZUSMAN, 1998).

Segundo Altshuller (1979) o termo “algoritmo”, em um sentido amplo, é qualquer tipo de programa de ação suficientemente clara, para que haja uma compreensão de como esse algoritmo possibilita a sua posterior automatização (CARVALHO, 1999). Neste sentido, a metodologia TRIZ é um exemplo de algoritmo (no Anexo I é apresentado uma tabela comparativa entre os métodos criativos mais conhecidos). É importante destacar que todos estes métodos descritos no Anexo I, induzem o indivíduo ou grupo de trabalho a gerar uma grande quantidade de idéias, possibilitando maiores chances de surgir uma boa solução inovadora (BACK e FORCELLINI, 2003).

Dos métodos apresentados, a metodologia TRIZ é um conjunto de ferramentas orientadas para a concepção de idéias, possuindo abordagens para estruturação,

conceituação e avaliação das soluções encontradas. A TRIZ pode ser ainda, integrada a outras metodologias e assim contribuir com varias áreas que necessitam de inovação dentro do ambiente de projeto. Kiatake (2004) cita algumas destas integrações entre a metodologia TRIZ e outras metodologias/ferramentas: TRIZ e QFD (Terninko, Zusman, Zlotin, 1998); TRIZ e Projeto Axiomático (Mann, 1999); TRIZ e Metodologia proposta por Pahl e Beitz (Malmquist, Axelsson, Johansson, 1996)

2.3 Fundamentos da metodologia TRIZ

A metodologia TRIZ, desenvolvida por Altshuller na década de 40, é direcionada para busca de idéias, através de uma abordagem sistemática da criatividade para a solução de problemas inventivos.

Figura 2.7 – Princípio geral de TRIZ (OLIVEIRA, 2008).

A Figura 2.7 apresenta resumidamente o princípio geral da TRIZ. A metodologia consiste no reconhecimento da similaridade de um problema de projeto específico, com um problema análogo com uma solução conhecida no universo das patentes, e a aplicação desta solução no problema específico (KIATAKE, 2004).

Na década de 40 Altshuller, engenheiro russo, utilizou uma abordagem tecnológica, para o desenvolvimento de uma teoria, para solução de problemas inventivos, na qual

procurou satisfazer um conjunto de características fundamentais de uma metodologia, como por exemplo:

1. Apresentar cunho sistemático, ou seja, processo de desenvolvimento por etapas;
2. Criar um percurso, através de um amplo campo de soluções, direcionada para a solução ideal;
3. Ser repetitiva e confiável e independe de ferramentas psicológicas;
4. Ser capaz de acessar o corpo de conhecimento inventivo;
5. Ser capaz de acrescentar ao corpo de conhecimento inventivo;
6. Ser familiar para os inventores, seguindo uma abordagem geral para a resolução de problemas (MAZUR, 1995).

A metodologia TRIZ procura nortear a solução de problemas inventivos utilizando aspectos inovadores utilizados em problemas similares em diversos campos da indústria, para isto promove o estudo dos princípios armazenados no repositório de patentes. Com esse processo é possível atribuir características de evolução aos sistemas técnicos rumo à idealidade, utilizando as contradições como ferramentas. Assim, a metodologia TRIZ tem demonstrado que o processo de inovação pode ser transmitido de forma sistemática, como uma atividade seqüencial que podem ser executada repetidamente obtendo um resultado esperado. O ponto forte da metodologia TRIZ está em gerar conceitos inovadores para a solução de problemas inventivos. Os engenheiros / projetistas devem fazer uso de suas habilidades e conhecimentos para transformar o conceito bruto em um produto viável (DEMARQUE, 2005).

2.3.1 Breve histórico da metodologia TRIZ

Durante a década de 40, Genrikh Saulovich Altshuller, engenheiro russo de origem judaica, desenvolveu um método que tinha como objetivo auxiliar os pesquisadores na busca de soluções de problemas inventivos, e designou este método como TRIZ, acrônimo

para *Teória Rechénia Izobretátelskih Zadátchi*, também conhecida como TIPS, acrônimo para *Theory of Inventive Problem Solving* traduzido para o português como: “Teoria para a Resolução de Problemas Inventivos.” Altshuller iniciou uma pesquisa sobre métodos que pudessem organizar e sistematizar essa busca. Durante seu levantamento bibliográfico, Altshuller encontrou diversos estudos baseados em técnicas psicológicas, principalmente os métodos denominados intuitivos, como o *Brainstorming*, Pensamento Lateral, Analogias, entre outros. Houve uma dificuldade em se obter informações objetivas no processo inventivo (inovação), através da psicologia cognitiva, porque os resultados não eram mensuráveis. Como não havia uma ferramenta que permitisse o estudo do processo de inovação, Altshuller voltou sua atenção, para o estudo dos resultados deste processo, as próprias invenções ou a literatura sobre patentes associada com elas. Dessa forma, Altshuller definiu como *inovação*, para o seu estudo, *um processo no qual ocorre uma mudança fundamental em um sistema tecnológico* (IDEATION INTERNATIONAL, 2008).

Com a finalidade de encontrar um padrão na ocorrência das inovações, Altshuller começou a analisar as inúmeras patentes a que teve acesso, registradas na URSS. Analisou mais de 200.000 patentes e conclui que, apenas 20% dessas soluções apresentavam um conceito inovador, o restante (80%) tratavam de pequenas melhorias de produtos existentes. Evitando separar patentes por setor industrial ou área de conhecimento, Altshuller criou uma forma singular para analisar o produto da inventividade humana, removendo a área de aplicação e extraíndo o princípio científico-tecnológico subjacente à resolução do problema. Ele observou que, o mesmo problema fundamental tinha sido resolvido pelo mesmo princípio e registrado em diversas patentes de diferentes áreas tecnológicas, separados, frequentemente, por muitos anos entre uma aplicação e outra. Os resultados desta pesquisa formaram as bases teóricas da metodologia TRIZ e subsidiaram o desenvolvimento das ferramentas para solucionar problemas inventivos que a compõe (IDEATION INTERNATIONAL, 2008).

Em 1953, Altshuller publica a *Matriz da Contradição de TRIZ*, que recomendava vários princípios para solucionar conflitos técnicos (RASKIN, 2003). Na década de 70,

Altshuller propôs o primeiro conjunto de 40 princípios (principalmente, na engenharia mecânica). A utilização destes princípios permitiu sistematizar mais de 200.000 patentes, de acordo com a aplicação de um ou mais destes princípios, aplicados à um determinado problema (IDEATION INTERNATIONAL, 2008).

As ferramentas da TRIZ clássica, desenvolvidas sob a liderança de Altshuller, englobam:

- 5 Níveis de inovação (1950);
- Conceito de evolução dos sistemas técnicos (1950);
- Conceito de Idealidade (1956);
- Contradições (1956-1979);
 - Contradição Técnica (CT);
- Contradição Física (CF);
 - 39 Parâmetros de Engenharia (PE);
 - 40 princípios Inventivos (PI);
- Matriz de Contradições (MC);
 - Quatro princípios de separação;
- Padrões de evolução dos sistemas técnicos (1969-1979);
- 76 SP - Soluções padrão (1974-1985);
 - Análise Substância-Campo (Su-C);
 - Regras estruturadas para sintetizar/reconstruir sistemas técnicos;
- ARIZ - Algoritmo para resolução de problemas inventivos (1956-1985);
- Método de modelagem pelas Pequenas Pessoas Perspicazes (PPP) e
- O Banco de Efeitos (BE).

Segundo Demarque (2005), os Parâmetros de Engenharia (PE) são úteis na descrição padronizada de conflitos e os Princípios Inventivos (PI) solucionam estes conflitos, podendo ser utilizados de maneira isolada ou, através da Matriz de Contradições. Estas três ferramentas são utilizadas para solucionar contradições técnicas (CT) e são as mais difundidas. A análise Substância -campo (Su-C) e as 76 soluções padrão (SP) são utilizadas para aprimorar o sistema. Os Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos são utilizados na predição das tendências de evolução do sistema. O método de modelagem pelas Pequenas Pessoas Perspicazes (PPP) e os Operadores é utilizado na análise preliminar dos

problemas inventivos, enquanto o Banco de Efeitos (BE) orienta a geração de conceitos e o ARIZ (Algoritmo para a Resolução de Problemas Inventivos) conduz, de forma sistemática, o estudo dos problemas inventivos, desde o seu entendimento até a geração dos conceitos para solucioná-lo.

O processo de solução orientado pela metodologia TRIZ pode ser descrito graficamente na forma de um fluxograma, Figura 2.8.

Figura 2.8 – Fluxograma para aplicação da metodologia TRIZ

2.3.2 Definições de Patente

Segundo Abrantes (2007), uma invenção é qualquer conceito novo, seja produto ou processo, que represente um desenvolvimento tecnológico em relação ao estado original, ou constitua uma solução de um problema técnico. Uma invenção pode, às vezes, ser baseada em um desenvolvimento ou uma idéia avançada. Algumas invenções representam uma descoberta radical na ciência ou na tecnologia, que estendem os limites do conhecimento humano. A proteção legal para uma invenção original ou inovação é a concessão, de uma patente.

Abrantes (2007) define a patente como um título de propriedade concedida por um Governo (Estado), ao depositante de um pedido de invenção ou modelo de utilidade para que se excluam terceiros da produção, uso ou importação, sem autorização do titular do título da matéria reivindicada. Os sistemas de patentes são controlados pelos governos, para encorajar o desenvolvimento e proteger os interesses dos inventores e do país. Apesar de vários países possuírem seu próprio escritório de patentes, alguns tratados internacionais procuram unificar o tema da propriedade intelectual e industrial em âmbito mundial, Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), organismo especializado da Organização das Nações Unidas (ONU), busca a harmonização legislativa do direito de propriedade intelectual.

A Trade-Related Intellectual Property Rights Agreement (TRIPS), parte integrante do acordo constitutivo da Organização Mundial do Comércio (OMC), que abrange os aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual relacionados ao comércio internacional e, é parte integrante do anexo 1C do acordo de Marraqueche, um dos documentos da Ata Final que incorpora os resultados da Rodada Uruguai do GATT, assinada pelo Brasil em 1994.

A patente garante ao seu titular, herdeiros ou empresa, um período de tempo de exclusividade no uso comercial do objeto, (em torno de 20 anos), em função da contribuição da invenção revelado ao público. A Figura 2.9 apresenta uma ilustração desse ciclo (TECPAR, 2008).

Figura 2.9 – Ciclo de uma patente (TECPAR, 2008).

Para ser patenteável, uma invenção deve atender aos requisitos de novidade (desconhecida do público), atividade inventiva (não seja óbvia) e aplicação industrial (KRASNOSLOBODTSEV, 2008). Estes critérios são basicamente os mesmos, para os vários escritórios de patentes espalhados pelo mundo, tais como o United States Patent And Trademark Office (USPTO), Escritório de Registro de Marcas e Patentes dos Estados Unidos da América, Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), entre outros.

A “Novidade” é um dos três critérios legais pelos quais é avaliada a aplicação de uma patente. Isto requer que a pretensa patente seja totalmente nova, isto é, não acessível ao público, seja pelo uso, descrição escrita ou oral ou através de qualquer outro meio de comunicação quando do registro da patente. A “Aplicação Industrial” é outro dos critérios utilizado pelo INPI, através do qual as patentes são avaliadas. Ele requer que uma invenção seja suscetível de fabricação e utilização industrial para ser patenteável. Já o USPTO utiliza uma exigência similar chamada de “Utilidade” que requer, apenas, que uma invenção seja útil e tenha uma aplicação industrial. A “Atividade Inventiva” é o terceiro critério legal do INPI. Este critério implica que a invenção seja dotada de atividade inventiva, não seja uma decorrência óbvia do que já existe na técnica para se obter o registro da patente. O USPTO usa um critério similar chamado de “Não-óbvio” (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

O INPI salienta a importância do domínio do estado da técnica sobre a matéria pertinente a patente requerida, evitando a reivindicação de uma patente obsoleta e também evitando as colidências totais ou parciais, do conteúdo reivindicado. A colidência (confronto, conflito) entre as invenções se afere com as suas semelhanças, e não com suas diferenças, já que as semelhanças impossibilitam a coexistência harmônica entre elas, induzindo a erro, dúvida ou confusão o consumidor (INPI, 2011).

A pesquisa nos documentos de patentes contém informações tecnológicas e descrições das invenções, de acordo com as exigências da lei de patentes, com indicação da atividade inventiva e novidade reivindicada com referência ao estado da arte da tecnologia. As patentes podem ser fontes do progresso tecnológico do seu campo de tecnologia, isto pode ser útil para identificar o estado da arte de um campo específico, podendo servir de base para o direcionamento de investimentos e economia nas pesquisas. Vale mencionar que milhões de dólares são desperdiçados anualmente na reedição de pesquisas realizadas anteriormente.

Aplicações recentes têm mostrado a grande utilidade das informações contidas nos documentos de patentes, evitando a duplicação do trabalho de projeto e desenvolvimento de produtos, identificando novas idéias, soluções técnicas, o estado da arte em um campo tecnológico específico, nicho de mercado, tendências, tecnologia alternativa e suas fontes, possibilitando a melhoria de um produto ou de um processo existente e, ainda oferecer um acompanhamento das atividades dos concorrentes (TECPAR, 2008). É possível, ainda, utilizar este conhecimento no processo criativo para prever o desenvolvimento e as tendências para as novas tecnologias e produtos existentes.

2.3.3 Problemas inventivos

Problemas inventivos são problemas que não sugere nenhum meio conhecido de solução, tendem a inércia psicológica e envolvem uma ou mais contradições (IDEATION

INTERNATIONAL,2008). A identificação de uma contradição técnica ou física durante o processo de resolução do problema é um ponto fundamental para a aplicação da metodologia TRIZ que contempla a resolução de problemas inventivos.

2.3.4 Inércia psicológica

Segundo Kowalic (1996) o significado psicológico da palavra “inércia” implica em uma predisposição negativa de fazer mudanças (certa resistência, devido à “programação” que tem os seres humanos de se manter na zona de conforto do conhecido). Representa a impossibilidade (guiada pelos hábitos) de encontrar outro caminho, melhor, para o nosso comportamento. A inércia psicológica representa uma das barreiras à criatividade pessoal e a habilidade para a resolução de problemas. Para Kiatake (2004) em virtude da inércia psicológica as soluções consideradas para os problemas geralmente estão dentro do domínio de conhecimento do engenheiro ou pesquisador e, a busca de tecnologias alternativas para desenvolver novos conceitos é inibida.

Figura 2.10 – Inércia Psicológica (IDEATION INTERNATIONAL, 2008)

Admitindo-se **P**, o problema, como ponto de partida na busca da solução **S**, a alternativa que satisfaz plenamente os requisitos de solução do problema está em um lugar incerto no espaço solução, figura 2.10. Todo o conhecimento disponível em todas as áreas

da ciência e da tecnologia é o espaço solução para qualquer problema técnico, conhecido ou desconhecido (DEMARQUE, 2005).

Para encontrar a solução devemos primeiramente identificar o sentido correto para conduzir a busca. Ao fazer uma tentativa em um sentido (conceito 1 e suas variantes), sem êxito, temos que fazer outra tentativa, em um outro sentido na busca de obtermos sucesso. Se a solução residir dentro do nosso campo de domínio (perícia ou de experiência), o número de tentativas requeridas será relativamente menor, mas se este não for o caso, nossa busca provavelmente será difícil. Por exemplo, se um problema mecânico tiver uma solução na área da química será necessário algum tempo para se encontrar a solução, já que serão exploradas varias soluções no campo da mecânica antes de se explorar as soluções em outro campo de conhecimento (IDEATION INTERNATIONAL, 2008).

3.2.5 Níveis de inovação

Segundo Oliveira (1999), a criatividade é produto da genialidade humana e existe no universo das idéias, nos quais os processos são cognitivos. A invenção é a concatenação de idéias de uma maneira particular, pertencente ao universo das tecnologias, em que os processos são tecnológicos; e a inovação é a aplicação das invenções, no universo dos mercados, nos quais os processos são empresariais. Uma idéia criativa só se transforma em uma invenção, se puder gerar algo que funcione; uma invenção só se torna numa inovação se puder ser implementada com sucesso na sociedade. Por definição, inovação seria a aplicação bem sucedida de uma idéia criativa na solução de um problema concreto.

Com a análise das patentes, Altshuller pôde identificar os princípios inventivos, que frequentemente eram utilizados nas patentes inovadoras e classificou-as em cinco níveis de inventividade, baseando-se nos seguintes critérios, quanto ao:

- conhecimento utilizado para definir o conceito da solução era proveniente da área de conhecimento do inventor,
- número, provável, de tentativas para se chegar a uma solução, e
- grau de modificação inserida pela solução adotada em relação ao objeto original (KIATAKE, 2004).

Altshuller, em seu trabalho, propôs uma classificação conforme o grau de modificação, estabelecendo níveis:

Nível 1 - Uma melhoria simples de um sistema técnico. Envolve a aplicação de conhecimentos disponíveis dentro de uma área de fabricação/aplicação relevante do sistema, a novidade esta na aplicação, o objeto (dispositivo ou método) não mudam.

Nível 2 - Uma invenção que inclui a resolução de uma contradição técnica. Requer o conhecimento de áreas diferentes dentro de um campo tecnológico relevante do sistema, o objeto muda, mas não substancialmente.

Nível 3 - Uma invenção que contem uma resolução de uma contradição física. Requer o conhecimento de outros campos tecnológicos, o objeto é modificado na sua essência.

Nível 4 - Uma tecnologia nova é desenvolvida que contém uma solução de “descoberta” que requer o conhecimento de diferentes campos da ciência, o objeto é modificado totalmente.

Nível 5 - Descoberta de novos fenômenos e substâncias, um sistema inteiramente novo, capaz de cumprir as funções desejadas é desenvolvido, o objeto é inteiramente mudado (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Altshuller verificou que, para cada nível a fonte de conhecimento se tornou mais ampla, e outras soluções foram consideradas antes que a solução ideal pudesse ser encontrada. Suas descobertas foram resumidas no quadro 3 (MAZUR, 1998).

Nível	Grau de inventividade	%	Fonte de conhecimento	Ordem de grandeza de opções
1	Solução aparente ou convencional	32	Conhecimento pessoal.	10
2	Pequena melhoria	45	Conhecimento dentro da empresa.	100
3	Melhoria substancial	18	Conhecimento dentro do setor industrial.	1.000
4	Novo conceito	4	Conhecimento fora do setor industrial.	10.000
5	Descoberta	1	Todo o conhecimento disponível.	100.000

Quadro 3 - Níveis de inventividade (MAZUR, 1998).

Altshuller notou que a maioria dos problemas inventivos dos engenheiros estavam dentro dos níveis 2, 3, e 4 e, já tinham sido resolvidos antes em outro ramo da ciência. Partiu do princípio de que se os engenheiros pudessem seguir a trajetória de uma solução ideal, começando com o nível mais baixo e estendendo o seu conhecimento pessoal para níveis mais elevados, a maioria das soluções poderia deslocar da área de conhecimento atual, dentro do setor industrial da empresa, para fora, abordando o problema com a visão de outros setores industriais (MAZUR, 1998). Outro ponto observado foi que o nível de inovação aumenta, conforme os inventores deslocam suas pesquisas para fora do seu campo habitual investigação (KIATAKE, 2004).

2.3.6 Idealidade

Os sistemas técnicos são desenvolvidos para cumprir *funções úteis* (positivas). Uma destas funções pode ser definida como a *função positiva principal*, esta função determina a finalidade do sistema e tudo o que se espera dele. Outras funções do sistema são as *funções úteis secundárias*, que agregam valor ao sistema e as *funções essenciais* que permitem a funcionalidade do mesmo (custos do sistema). Há também as *funções indesejáveis* (negativas) e entre elas há a *função negativa principal* que representa o obstáculo principal ao desenvolvimento do sistema. As funções negativas reduzem o nível de eficiência das funções positivas do sistema ou conduzem a outros efeitos negativos indesejáveis no próprio sistema ou em outros sistemas nas cercanias deste. (ORLOFF, 2006).

Pela definição de Krasnoslobodtsev (2008), idealidade é a essência que move o homem para melhorar qualquer sistema técnico, para atender a demanda necessária, construí-lo de forma mais rápida, com as dimensões desejadas, com melhorias e com um custo inferior, sempre que possível. Aumentar as funções úteis (positivas) e/ou reduzir as funções indesejáveis (negativas) e os custos necessários para se obter as funções úteis aproximam o sistema da Idealidade. O índice de idealidade expressa o desempenho total do sistema, que é definido como a razão *entre* a somatória de todas as *funções úteis* do sistema (efeitos positivos que agregam valor), *pela* somatória de todas as *funções indesejáveis* (efeitos negativos que diminuem o valor) juntamente com os *custos necessários* para conseguir seu desempenho (*perdas necessárias* para cumprir a funcionalidade, e obter os benefícios desejados) (KIATAKE, 2004).

A equação proposta por Orloff (2006), que estabelece a relação de Idealidade é representada pela equação 2.1:

$$\boxed{Idealidade = \frac{\sum \text{funções Úteis}}{\sum \text{funções Indesejáveis}}} \quad (2.1)$$

A equação 2.1 apresenta as seguintes relações:

- 1) aumentando ou aprimorando as funções úteis no numerador da fração,
- 2) diminuindo ou removendo funções indesejáveis, prejudiciais, desnecessárias ou custosa no denominador, ou
- 3) combinando um e dois de forma que o numerador cresça a uma taxa mais rápida que o denominador (KIATAKE, 2004).

Segundo Orloff (2006), se o objetivo (função útil) for alcançado somente, com grande esforço, então a solução não é eficaz. Uma solução conseguida com esforço aceitável pode ser compreendida como eficaz ou ao menos como aceitável. Se uma solução alcança seu objetivo e fornece resultados adicionais que não eram esperados, então a chamaremos de altamente eficaz. Em um modelo matemático formal com o objetivo de alcançar o grau máximo da idealidade, levaria o numerador a se aproximar do infinito e o denominador a tender a zero, mas este objetivo é difícil de alcançar em um sistema real. Assim a expressão da idealidade acima mencionada é somente um modelo qualitativo que nos lembra que o numerador dever ser bem pequeno e o denominador tão grande quanto o possível. A linha central de todos os desenvolvimentos é "a máquina ideal". Assim pode-se afirmar que o próprio sistema técnico real é um custo necessário para se executar as funções úteis. O espaço ocupado pelo sistema, o ruído por ele emitido, a energia por ele consumida, os recursos por ele comprometido, os rejeitos por ele gerado são alguns efeitos indesejáveis (custos) que o cliente convive para obter as funções úteis. Quanto mais evoluído o sistema, menor tende a ser esse custo.

Altshuller identificou um padrão geral de evolução dos sistemas técnicos, que o levou a descrever a Lei da Idealidade Crescente, segundo a qual os Sistemas Técnicos evoluem em relação a graus de idealidade crescente (KIATAKE, 2004).

2.3.7 Resultado final ideal

Segundo Demarque (2005), a *Idealidade local* ou *Resultado final ideal* é a descrição de uma situação após a solução de um determinado problema tendo como base as necessidades do cliente e não as limitações e restrições técnicas existentes para implementar a solução.

O conceito de “máquina ideal” ou “sistema técnico ideal” definido inicialmente na TRIZ clássica se sobrepõe ao conceito do “Resultado final ideal”, e representa um resultado utópico, onde se pode usufruir de todas as funções úteis sem agregar nenhum efeito negativo. A “Máquina ideal” é uma solução que atinge o resultado final ideal (a *função positiva principal* que satisfaz as necessidades dos clientes) sem nenhum esforço adicional. Isto significa que a máquina deve ter o peso zero, tamanho nulo, não deve ter nenhum custo extra, não deve usar nenhum tipo de energia, não deve produzir nenhuma poluição, etc. Na realidade estes conceitos servem para nortear a busca da solução, no início do processo de resolução do problema inventivo e avaliar as propostas de solução geradas.

Para ilustrar este conceito de *Resultado final ideal* com base nos estudos de Altshuller (1973): "O resultado final ideal pode ser comparado a uma corda que uma alpinista segura durante uma escalada íngreme montanha acima. A corda não puxa a alpinista para cima, mas, pelo menos, impede a sua queda. Se ela liberar a corda, definitivamente poderá cair" (ALTSHULLER¹, 1973 *apud* ORLOFF, 2006).

¹ ALTSHULLER, S.D. *Innovation Algorithm*. Worcester, MA: Technical Innovation Center. 1973.

A princípio o cliente não necessita do sistema técnico, mas da função útil que ele desempenha. O sistema técnico é uma solução apresentada para cumprir a *função positiva principal* e satisfazer as necessidades do cliente. Com o passar do tempo o cliente tende a buscar novas soluções tecnológicas para suas necessidades e não aceita mais assumir o custo que o sistema técnico atual impõe. Na modelagem de um sistema técnico ideal, o sistema só existiria enquanto a função desejada estivesse sendo executada e deixaria de existir no instante posterior. O sistema real se aproxima assintoticamente do sistema ideal resolvendo as contradições, utilizando os recursos, minimizando as partes (simplificando) e utilizando novos fenômenos e efeitos químicos, físicos e geométricos sem adicionar funções prejudiciais (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

A metodologia TRIZ nos orienta em duas vertentes a fim de se aproximar do Resultado final ideal, a primeira é melhorar o sistema técnico existente, e a segunda é a criação da próxima geração da tecnologia ou sistema para realizar a *função positiva principal*.

Em consonância com a avaliação da eficácia dos sistemas técnicos através da idealidade podemos melhorar um sistema técnico:

1. aumentando o número das funções do sistema
2. aumentando a qualidade das funções do sistema, representada por um melhora nos parâmetros principais tais como velocidade, desempenho, produtividade, etc.
3. reduzindo o uso de qualquer tipo de recurso no desenvolvimento, na aplicação, e no descarte do sistema após o final da sua vida útil.
4. reduzindo os efeitos negativos no ambiente de sistema (ORLOFF, 2006).

2.3.8 Contradição

A formulação de contradições auxilia uma melhor compreensão da “raiz” de um problema, conduzindo a uma solução mais rápida. Se não há nenhuma contradição, então não se trata de um problema inventivo (não é um problema abordado pela metodologia

TRIZ) (KRASNOSLOBODTSEV, 2008). O dicionário Michaelis define contradição como *“incoerência entre afirmações atuais e anteriores, oposição entre duas proposições, das quais uma exclui necessariamente a outra”*.

Para a metodologia TRIZ, uma contradição é um conflito entre dois requisitos mutuamente excludentes, de uma mesma característica de um elemento do sistema (KRASNOSLOBODTSEV, 2008). Neste conflito, a tentativa de melhorar um parâmetro ou característica induz um efeito negativo na mesma, ou em outra característica ou parâmetro do mesmo sistema técnico ou processo tecnológico.

Savransky (2000) afirma que a identificação de uma contradição no processo de resolução de problemas inventivos facilita a geração de uma vasta proposição de soluções criativas. A maneira convencional de tratar uma contradição é procurar uma solução convencional de compromisso (*trade-off*), mas a resolução plena do problema só se dará quando a contradição for superada. Ao tentar solucionar um problema a contradição deve ser atacada, esta maneira de solução não é óbvia, e requer criatividade ou conhecimento e experiência na metodologia TRIZ. Em contraste com a abordagem convencional de solução de problemas inventivos (de compromisso) que busca a suavização da contradição (o dogma atual do *trade-off*) ou a escolha de uma combinação preferencial no conflito (o princípio OU..OU), um projeto baseado em TRIZ aspira resolver a contradição, criando um sistema em que a melhora de uma característica não está acompanhada da deterioração de outra (o dogma E..E, um novo paradigma para a engenharia).

Uma situação inventiva é geralmente inerente a algum grupo de contradições técnicas ou físicas nos sistemas técnicos ou processos tecnológicos. A escolha de uma determinada contradição de um grupo significa a transição de uma situação inventiva para a solução do problema. A contradição intensificada neste caso faz surgir a solução (ALTSHULLER¹, 1986 *apud* SAVRANSKY, 2000).

¹ ALTSHULLER, S.D. To Find an Idea. Novisubirsk, Russia: Nauka Center. 1986.

Carvalho (1999), afirma que existem muitos tipos de contradições, desde as encontradas na sociedade até aquelas referentes a sistemas técnicos e apresenta uma classificação com exemplos, quadro 4, adaptado de Savransky (1998).

Tipo de contradição		Descrição	Exemplo
Natural	Cosmológica	Contradição devida a uma condição cosmológica	Deseja-se que um motor libere hidrogênio puro, mas, isso não pode ser feita devida à interação explosiva com o oxigênio na atmosfera.
	Fundamental	Contradição devida a uma lei da natureza.	Deseja-se atingir velocidades superiores à da luz, para viajar entre as galáxias, mas, isto ainda não é possível.
Humana	Individual	Contradição devida a um indivíduo e suas capacidades.	Deseja-se criatividade, mas, tem-se pensamento estereotipado, preconceito, medo de perguntar.
	Administrativa	Contradição devida a uma estrutura administrativa.	Deseja-se às vantagens da gerência funcional e também as vantagens da gerência de projetos.
	Cultural	Contradição devida a aspectos culturais.	Valores dos colonizadores versus valores dos indígenas.
Tecnológica	Técnica	Requisitos conflitantes com relação a um parâmetro do sistema	O automóvel deve ser espaçoso e ter boa penetração aerodinâmica.
	Física	Requisitos físicos opostos com relação a um mesmo subsistema (elemento de um sistema)	O porta-malas do automóvel deve ser grande (para conter toda a bagagem) e deve ser pequeno (para não reduzir o espaço dos passageiros e não tomar o veículos muito grande).
	Matemática	Contradição em expressões matemáticas.	$a + b = x$; $a + b = y$; $x \neq y$

Quadro 4 - Tipos de contradições (adaptado de SAVRANSKY¹, 1998 *apud* CARVALHO, 1999).

As contradições técnicas (CT) e físicas (CF) são os alicerces da metodologia TRIZ. A contradição técnica é um conflito entre características dentro de um sistema: a melhoria de um parâmetro do sistema conduz a piora de outro parâmetro. Uma contradição técnica

¹ SAVRANSKY, S.D. Apostila do Hands-on TRIZ course. Fremont: The TRIZ Experts. 1998.

realmente não resolve um problema, mas norteia os pensamentos na busca de conceitos de solução que possam resolvê-lo. Uma contradição física é um conflito entre dois requisitos físicos opostos de um mesmo parâmetro ou elemento do sistema, ou em outras palavras “Dado um elemento do sistema que deveria ter a característica “A” para realizar uma função requerida (resolver o problema) o mesmo elemento deveria ter características “não A” a fim satisfazer as exigências e as limitações existentes”.

Enquanto as contradições técnicas (CT) estão tipicamente relacionadas às propriedades e características do sistema técnico como um todo, (quadro 5), as contradições físicas (CF) estão relacionadas com os requisitos e propriedades físicas de um elemento do sistema (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Contradição técnica (exemplos)		Contradição física (exemplos)	
Parâmetros que Melhoraram.	Parâmetros que Pioraram.	Característica “A”	Característica “Não A”
Potência	Peso	Eletrocondutividade	Dielétrico
Complexidade	Funcionalidade	Líquido	Sólido
Adaptabilidade	Confiabilidade	Duro	Macio
Produtividade	Precisão	Rápido	Lento
Conveniência para o Uso	Fabricação	Forte	Fraco

Quadro 5 – Contradições técnicas e físicas (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Krasnoslobodtsev (2008) afirma que na base de cada contradição técnica podemos encontrar uma razão física para a contradição e que quase todas as contradições técnicas podem ser transformadas em uma contradição física correspondente. Ao transformar uma contradição técnica em uma contradição física, definimos um problema físico específico, e podemos buscar uma solução aplicando os “princípios” e os “efeitos” físicos, químicos e geométricos junto com outros fenômenos.

3.2.9 Os 39 Parâmetros de Engenharia (PE)

Os parâmetros de engenharia (PE) correspondem a uma tentativa de uniformização da linguagem técnica na descrição de características dos sistemas técnicos (DEMARQUE, 2005). Altshuller (1969), em seu trabalho, construiu uma lista de características técnicas universais os 39 parâmetros de engenharia que descrevem um sistema técnico:

01. Peso do objeto em movimento
02. Peso do objeto estático
03. Comprimento do objeto em movimento
04. Comprimento do objeto estático
05. Área do objeto em movimento
06. Área do objeto estático
07. Volume do objeto em movimento
08. Volume do objeto estático
09. Velocidade
10. Força
11. Tensão ou pressão
12. Forma
13. Estabilidade dos componentes de um objeto
14. Resistência
15. Duração da ação por um objeto em movimento
16. Duração da ação por um objeto estático
17. Temperatura
18. Intensidade de iluminação: Brilho
19. Energia utilizada pelo objeto em movimento
20. Energia utilizada pelo objeto estático
21. Potência
22. Perda de energia
23. Perda de substância ou matéria
24. Perda de informação
25. Perda de tempo
26. Quantidade de substância ou matéria
27. Confiabilidade
28. Precisão de medida
29. Precisão da manufatura

- 30. Fatores nocivos externos (atuando no objeto)
- 31. Fatores nocivos internos (gerados pelo objeto)
- 32. Facilidade de manufatura
- 33. Facilidade de operação: Usabilidade
- 34. Facilidade de manutenção: Manutenibilidade
- 35. Adaptabilidade ou versatilidade
- 36. Complexidade de construção
- 37. Complexidade de controle (detecção e medição)
- 38. Nível da automação
- 39. Produtividade ou capacidade

Para Carvalho (1999) os parâmetros de engenharia correspondem à generalização das grandezas envolvidas em problemas técnicos provenientes de diferentes áreas. Essas grandezas devem ser maximizadas, reduzidas ou mantidas ao redor de um valor meta, conforme a natureza do problema.

Demarque (2005) explica que os conceitos de objeto parado e objeto em movimento têm grande relevância para a compreensão dos parâmetros de engenharia. Onde objeto em movimento é aquele que facilmente pode trocar de posição no espaço, por ação própria ou como resultado de ação externa, e objeto estático é o objeto que não muda sua posição no espaço, nem por ação própria e nem por ação externa, ao fazer esta avaliação deve-se considerar a condição de utilização do objeto.

3.2.10 Os 40 princípios inventivos (PI)

Altshuller (1969) selecionou os princípios que ocorriam com maior frequência baseado na análise das patentes, notou que a mesma solução era aplicada na resolução de problemas análogos em diferentes ramos industriais e em diferentes épocas, às vezes com a diferença de muitos anos entre uma aplicação e outra. Para Kiatake (2004) os Princípios Inventivos (PI) são heurísticas, que correspondem aos princípios utilizados repetidamente

em soluções inovadoras de problema análogos, obtidas através da generalização e agrupamento destas soluções, que propiciaram a criação, desenvolvimento e melhoria de sistemas técnicos de diferentes áreas. Estes *princípios* regulares foram identificados no desenvolvimento de projetos através da análise de uma grande quantidade patentes.

Assim Altshuller (1969) catalogou e agrupou as soluções inovadoras por ocorrência fornecendo um conjunto de 40 princípios, para a solução de problemas inventivos, conforme lista a seguir:

01. Segmentação ou fragmentação
02. Remoção ou extração
03. Qualidade local
04. Assimetria
05. União ou integração
06. Universalização
07. Nidificação ou Aninhamento (Matryoshka)
08. Contrapeso
09. Compensação prévia
10. Ação prévia
11. Proteção ou amortecimento prévio
12. Equipotencialidade
13. Inversão (do modo contrário)
14. Recurvação
15. Dinamização
16. Ação parcial ou excessiva
17. Mudança para uma nova dimensão
18. Vibração mecânica
19. Ação periódica
20. Continuidade de uma ação útil
21. Aceleração ou ação rápida
22. Converter um dano em benefício
23. Realimentação
24. Intermediação
25. Auto-serviço
26. Cópia
27. Substituir objeto caro e durável e por objeto barato descartável.

- 28. Substituição de um sistema mecânico
- 29. Uso de construções pneumáticas ou hidráulicas
- 30. Uso de filmes flexíveis ou membranas finas
- 31. Uso de materiais porosos
- 32. Mudança de cor
- 33. Homogeneização
- 34. Descarte e regeneração
- 35. Transformação de propriedades físicas ou químicas
- 36. Mudança de fase
- 37. Expansão térmica
- 38. Uso de oxidantes fortes
- 39. Uso de atmosferas inertes
- 40. Uso de materiais compostos

Existem três métodos de utilização dos princípios inventivos (PI), o *primeiro* e o mais simples, chamado de **enumeração dos princípios** é o uso direto na ordem de Altshuller (acima), que indica a ordem em que eles foram acrescentados à metodologia, analisando cada um dos princípios e tentando aplicar cada um deles, ou suas combinações, para resolver a contradição técnica no problema específico, partindo do primeiro até o quadragésimo, pode-se ainda utilizar a **lista de ocorrência**, que apresenta os princípios em uma seqüência estatística de freqüência de uso (abaixo) (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

- 35. Transformação de propriedades físicas ou químicas
- 10. Ação prévia
- 01. Segmentação ou fragmentação
- 28. Substituição de um sistema mecânico
- 02. Remoção ou extração
- 15. Dinamização
- 19. Ação periódica
- 18. Vibração mecânica
- 32. Mudança de cor
- 13. Inversão (do modo contrário)
- 26. Cópia
- 03. Qualidade local
- 27. Substituir objeto caro e durável e por objeto barato descartável.
- 29. Uso de construções pneumáticas ou hidráulicas

- 34. Descarte e regeneração
- 16. Ação parcial ou excessiva
- 40. Uso de materiais compostos
- 24. Intermediação
- 17. Mudança para uma nova dimensão
- 06. Universalização
- 14. Recurvação
- 22. Converter um dano em benefício
- 39. Uso de atmosferas inertes
- 04. Assimetria
- 30. Uso de filmes flexíveis ou membranas finas
- 37. Expansão térmica
- 36. Mudança de fase
- 25. Auto-serviço
- 11. Proteção ou amortecimento prévio
- 31. Uso de materiais porosos
- 38. Uso de oxidantes fortes
- 08. Contrapeso
- 05. União ou integração
- 07. Nidificação ou Aninhamento (matryoshka)
- 21. Aceleração
- 23. Realimentação
- 12. Equipotencialidade
- 33. Homogeneização
- 09. Compensação prévia
- 20. Continuidade de uma ação útil

3.2.11 A Matriz de contradições (MC)

O *segundo* método de utilização dos princípios inventivos (PI) é formulação de uma contradição técnica (CT) e o uso da Matriz de Contradições (MC). Para utilizar a Matriz de Contradições (MC) também conhecida como Matriz de Altshuller deve-se primeiramente identificar as Contradições Técnicas (CT) envolvidas, transformá-las em Parâmetros de

Engenharia (PE) e, posteriormente, localizar na Matriz de Contradições (MC) os Princípios Inventivos (PI) com maior potencial de aplicação (que variam de dois a quatro princípios, figura 2.11), utilizados anteriormente na resolução de contradições análogas (KIATAKE, 2004).

A matriz apresenta os 39 Parâmetros de Engenharia e os 40 Princípios Inventivos. Os pares dos Parâmetros de Engenharia contraditórios dão forma a matriz. O primeiro item do par está situado nas linhas numeradas na lateral esquerda da matriz é a característica a ser melhorada e o outro item do par é colocado nas colunas distribuídas lado a lado na parte superior da matriz, é a característica que tende a degradar (piorar), no cruzamento das linhas com as colunas, que corresponde a um par de características, estão os números correspondentes aos princípios inventivos mais utilizados para resolução da mesma contradição técnica (conflito) entre os mesmos parâmetros de engenharia (características do sistema) (CARVALHO, 1999).

		1	2	3	4	5	6	7
1	Peso do objeto em movimento	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28
2	Peso do objeto estático		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2	
3	Comprimento objeto em movimento	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35
4	Comprimento objeto estático		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40	
5	Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4

Figura 2.11 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006)

Um exemplo clássico de um conflito técnico típico está no peso x potência. A TRIZ denomina essa relação como uma contradição técnica (SAVRANSKY, 1998).

A essência da contradição é aquela que para aumentar a potência, de uma forma convencional, resulta no aumento do peso do objeto. Este tipo de conflito é resolvido, geralmente, com uma solução de compromisso que não resolve completamente o problema. Assim, para aumentar a potência do motor (linha 21) sem incidir sobre ele o efeito negativo

do peso (coluna 01), aplica-se a Matriz de Contradições (MC) representada pela Figura 2.12.

Diagrama da Matriz de Contradições (MC) com setas indicando melhorias e pioras:

- Seta para cima: **Parametro que melhorou**
- Seta para a direita: **Piorou**

		1	2	3
21	Potência	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37
22	Perda de energia	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13

Diagonais da matriz:

- Peso do objeto móvel
- Peso do objeto
- Criar

Figura 2.12 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006)

Para o conflito mencionado a matriz nos fornece quatro Princípios Inventivos previamente utilizados para solucionar a contradição técnica formulada.

- 08. Contrapeso
- 36. Mudança de fase
- 38. Uso de oxidantes fortes
- 31. Uso de materiais porosos

Todos anteriormente utilizados na solução de problemas análogos, isto nos traz a possibilidade de aumentar a potência sem aumentar o peso, utilizando materiais compostos, estruturas de colméia, etc.

No caso de não encontrar uma equivalência exata entre o objetivo indicado e um dos parâmetros de engenharia, deve-se encontrar uma característica que seja relacionada ao objetivo (Resultado Final Ideal).

O terceiro método é a **formulação da contradição técnica direta e inversa** para o problema e utilização da matriz (MC) para as duas formulações. Este é um método razoável

porque ambas as formulações podem fazer sentido e a matriz pode sugerir princípios adicionais no sentido inverso, já que não é simétrica. Por exemplo, considerando a contradição direta, em um sistema para melhorar a característica da *confiabilidade* (linha 27) ocorre a degradação da característica da *força* (coluna 10). Consultando a matriz pode-se extrair, para esta contradição, os princípios 3, 8, 10 e 28 (figura 2.13) (SAVRANSKY, 1998).

		10	11	12
27	Confiabilidade	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11
28	Acuracia da medida	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32

Figura 2.13 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006)

Se a contradição fosse formulada de forma inversa, para se melhorar a característica da *força* (linha 10) ocorre a degradação da *confiabilidade* (coluna 27). Pode-se conseguir da Matriz outros princípios: 3, 13 e 21 e 35 (figura 2.14). Ambas as contradições têm potencial para melhorar o sistema (SAVRANSKY, 1998).

		27	28	29
10	Força (Intensidade)	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36
11	Tensão ou pressão	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35

Figura 2.14 – Matriz de Contradições (ORLOFF, 2006)

Em geral, os princípios por eles mesmos não dão nenhuma solução pronta. Recomendam e dirigem o desenvolvimento de soluções. É necessário trabalhar com eles sem pressa, explorando todas as oportunidades e recomendações oferecidas. Às vezes pode ser necessário reformular o problema inicial para conseguir os parâmetros que identifiquem melhor o conflito.

Os pesquisadores pensaram que, com o desenvolvimento adicional da metodologia, o número de princípios inventivos e parâmetros de engenharia aumentariam, entretanto, com o tempo, ficou claro que os problemas difíceis se solucionam pela aplicação simultânea de combinações de diversos princípios ou da utilização de princípios com os efeitos físicos. Os Princípios Inventivos são ferramentas elementares para engenheiros e projetistas, e é uma aplicação simples e eficiente da metodologia TRIZ (IDEATION INTERNATIONAL, 2008).

3.2.12 – Quatro princípios da separação

O método dos princípios da separação é utilizado para solucionar contradições físicas (CF), as quais estão relacionadas com os requisitos e/ou propriedades físicas contraditórias de um mesmo elemento ou função do sistema. Como mencionado anteriormente, uma contradição física é um conflito entre duas exigências físicas mutuamente excludentes de uma mesma característica de um elemento do sistema. Para formular uma contradição física, é preciso determinar as características requeridas (exigências) contraditórias de apenas um elemento do sistema. Quando essas características contraditórias são identificadas, é preciso separá-las e superar a contradição. Existem quatro princípios gerais de separação: separação no tempo, separação no espaço, separação por circunstância e separação por escala (Transição ao Super-Sistema ou ao subsistema) (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Separação a tempo: Aborda a análise do tempo antes, durante e depois da contradição ocorrer. Exemplo: um avião de caça com base em um porta-aviões, onde lhe é exigido, durante a decolagem e aterrissagem, asas grandes para garantir estabilidade em velocidades baixas (alta sustentação e alto arrasto). Porém, durante o voo, asas grandes aumentam o arrasto e a velocidade diminui. A solução de compromisso seriam asas de tamanho médio, condição que não satisfaz a nenhuma das duas exigências. É preciso que, o avião tenha asas grandes durante a decolagem e aterrissagem e asas pequenas durante o voo (baixo arrasto e alta velocidade). Assim, usando uma forma variável de asas que hora tenha uma característica e hora tenha outra característica diferente, é possível satisfazer ambas as exigências - isto é separação no tempo (MARTIN, 2008).

Separação no espaço: Aborda a análise da zona de operação (área onde a contradição acontece). Um exemplo bem conhecido é o da cunha para manter uma porta aberta, ela deve ser fina, para passar sob a porta, mas igualmente, deve ser grossa para impedir que a porta se mova. O projeto simples de uma cunha resolve esta contradição, sendo fina em uma parte e grossa em outra - usando a separação no espaço (MARTIN, 2008).

Separação por circunstância: Aborda a análise das condições em que a contradição ocorre. Um aspirador de pó doméstico suga uma mistura do ar e sujeira. Nós queremos o ar passe através do filtro, mas queremos que os resíduos sejam retidos dentro do aspirador - assim o filtro de limpeza deve permitir que coisas passem, e não permitir que outras coisas passem. Para tanto devemos introduzir um mecanismo que aproveite as propriedades físicas do ar e da sujeira para separá-los. Separando os parâmetros conflitantes de acordo com as circunstâncias, para que o sistema possa atender todos os requisitos da contradição (MARTIN, 2008).

Separação por Transição ao super-sistema ou ao subsistema: O objetivo deste método é separar os requisitos conflitantes dentro do sistema e suas partes, isto é, dividir o sistema em subsistemas e delegar a um subsistema um dos requisitos conflitantes,

enquanto todo o sistema executa o outro, minimizando as interdependências entre subsistemas e as dependências entre os requisitos e a execução. Podendo assim, flexibilizar o projeto, criando subsistemas que possam se adaptar aos requisitos e vencer as contradições com soluções de alto nível (especialização). A corrente de bicicleta é um exemplo clássico, os elos (subsistema) precisam ser muito rígidos, mas a corrente como um todo (*super-sistema*) precisa ser flexível para se conformar à forma das engrenagens (MARTIN, 2008).

O método de raciocínio das “janelas múltiplas” é uma ferramenta útil na aplicação da técnica da separação, figura 2.15, representa mentalmente um sistema desenvolvido com a aplicação de pelo menos de nove telas. O sistema próprio, seu super-sistema e seu subsistema cada um é representado no passado, presente e futuro. Esta abordagem conduz ao desenvolvimento de novos conceitos de solução e busca superar falhas. O futuro é a parte a mais difícil deste método porque temos que propor um sistema novo, isto é, fornecer um prognóstico para a evolução de um novo sistema. Deste modo, nos movemos da análise de sistema técnico existente no passado, no presente e construímos um novo sistema técnico (futuro) (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Produto			
	Passado	Presente	Futuro/Previsão
Super-sistema			
Sistema			
Subsistema			

Figura 2.15 – Método das janelas múltiplas (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

- Abordagem deve ser iniciada pelas melhorias do subsistema no futuro porque este é apenas uma parte do sistema completo e pode ser mais facilmente modificada (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).
- "Tudo permanece **como é**, mas a função desejada é realizada ou o efeito indesejável desaparece." Esta abordagem permite o desenvolvimento de novas funções com mudanças mínimas no sistema existente e despesas futuras mínimas. Esta regra é significativa no desenvolvimento de produto que requerem uma produção em série e produtos comerciais, porque mesmo a redução de custos pequenos pode causar uma grande economia (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

O operador Dimensão, Tempo e Custo – DTC, figura 2.16, requer experimentar mentalmente a ampliação e a redução das dimensões do sistema, do tempo operação ou dos custos envolvidos nas mudanças do sistema. Então as novas possibilidades são analisadas e, algumas são selecionadas para o desenvolvimento de um novo sistema (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Demarque (2005) sugere seis perguntas para facilitar a análise do DTC:

1. O que acontecerá se a dimensão do objeto diminuir?
2. O que acontecerá se a dimensão do objeto aumentar?
3. O que acontecerá se o tempo para realizar a ação diminuir?
4. O que acontecerá se o tempo para realizar a ação aumentar?
5. O que acontecerá se o custo do sistema diminuir?
6. O que acontecerá se o custo do sistema aumentar?

Ainda segundo Demarque (2005) a análise deve ser conduzida ao extremo, isto é, tender a zero ou ao infinito.

Profissionais experientes apontam duas direções para se obter sucesso com este método:

- Manter um princípio físico de operação para todas as propostas e janelas; a escolha deve recair, preferencialmente, sobre a opção mais barata e que pode ser executada rapidamente.
- Desenvolver princípios físicos novos que forneçam a mesma função. Esta seleção é a preferida no desenvolvimento de novos produtos (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Produto			
	Dimensões	Tempo	Custo
Aumentar			
Diminuir			

Figura 2.16 – Método DTC - Dimensão, Tempo e Custo (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

3.2.13 Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos

De acordo com a Lei da Idealidade Crescente de Altshuller, em cada etapa do processo de evolução dos sistemas técnicos uma tecnologia emergente substitui uma antecessora, seguindo o padrão da curva-S, que representa o ciclo de vida do produto (introdução, crescimento, maturidade, declínio e descontinuidade), em ciclos contínuos previsíveis (ORLOFF, 2006).

Os sistemas técnicos podem ser caracterizados por um grande número funções úteis e/ou indesejáveis. Cada função é caracterizada por parâmetros tais como velocidade,

segurança, confiabilidade, peso, produtividade, etc. Um destes parâmetros pode ser considerado um parâmetro principal. A evolução dos sistemas pode ser observada examinando mudanças em seus parâmetros, isto é, baseados no desenvolvimento paramétrico, e às vezes apenas no desenvolvimento do parâmetro principal, este desenvolvimento pode ser demonstrado através de um gráfico para melhor compreensão, figura 2.16 (ORLOFF, 2006).

Figura 2.17 – Curva-S para demonstrar a evolução do sistema (ORLOFF, 2006).

A região inferior do gráfico (1º Estágio), apresentado na Figura 2.17, indica uma evolução lenta, com o surgimento da invenção que originou a tecnologia. Nas fases iniciais (introdução - 1º Estágio e crescimento - 2º Estágio) é aplicado um esforço significativo, antes de se obter resultados satisfatórios. Os custos de pesquisas, desenvolvimento, *marketing* fazem o lucro ser negativo ou baixo, este é considerado o período de investimento de risco. Em seguida, é possível observar o desenvolvimento do sistema até o seu ápice, chegando ao limite de desenvolvimento da tecnologia (4º Estágio) (ORLOFF, 2006).

Barros (2000) explica que a *continuidade* no desenvolvimento de um sistema técnico ocorre quando, a busca de melhoria do sistema se dá com utilização da tecnologia que serviu de suporte à criação e manutenção do sistema, já a *descontinuidade* é quando surge um novo sistema baseado em uma tecnologia inovadora e, após um período inicial de convivência e desenvolvimento mutuo se sobressai ao sistema técnico vigente, com alguma

vantagem competitiva (determinada pelo custo relativo ou diferenciação diante da concorrência) e interrompe o ciclo de desenvolvimento do sistema atual.

Figura 2.18 - Adoção de inovação (ROGERS, 2003).

Uma tecnologia inovadora só é adotada se traz uma vantagem competitiva. A ruptura com a tecnologia existente e a dotação de uma tecnologia inovadora se dá com o passar do tempo, com a resposta do mercado. Geralmente uma tecnologia surge com um desempenho inferior ao da tecnologia existente, nos estágios iniciais não atende plenamente as necessidades dos clientes atuais, ela se limita a um nicho específico do mercado (clientes inovadores). À medida que, a tecnologia inovadora evolui, ela passa a atender às necessidades de uma parcela maior do mercado (Figura 2.18), criando a concorrência entre os produtos de tecnologias diferentes, até o ponto em que ocorre a descontinuidade da tecnologia existente (BARROS, 2000).

A figura 2.19 demonstra a descontinuidade nas máquinas fotográficas de filme sensível.

Figura 2.19 – Descontinuidade da máquina fotográfica de filme sensível.
(BARROS,2000).

De acordo com Demarque (2005), os Padrões da Evolução Tecnológica (PET) são regularidades observadas no desenvolvimento da tecnologia de um sistema. Correspondem às regularidades (tendências estatísticas) encontradas no estudo feito por Altshuller através da análise de sistemas técnicos provenientes de varias áreas da ciência, onde se pode observar que os sistemas técnicos evoluíam de maneira semelhante.

As investigações dos modelos de evolução dos sistemas técnicos foi um método preliminar na pesquisa conduzida por Altshuller e seus colegas, no início dos anos 70, estes estudos dispersos em outras seções da metodologia foram consolidados em um novo tópico de TRIZ chamada de “Lei da evolução dos sistemas técnicos”, também conhecida como “linhas” ou “tendências” de evolução. Além de Altshuller outros autores contribuíram neste estudo, entre eles Yuri Khotimlyansky (testes padrões estudados da condutibilidade da energia em sistemas técnicos), Vladimir Asinovsky (princípios propostos de correspondência de vários componentes de sistemas técnicos), Yevgeny Karasik (co-autor com Altshuller da lei da transição de um macronível para um micronível, introdução da noção de sistemas técnicos duplos e estudo dos padrões de sua evolução) (COCIAN, 2010)

Inicialmente os padrões de evolução foram subdivididos em três categorias:

- **Estática** - descreve critérios da viabilidade de sistemas técnicos recentemente criados.

- *Integralidade das partes do sistema.* As condições indispensáveis de um sistema técnico viável são a disponibilidade e a capacidade mínima de trabalho das partes principais do sistema. Estas partes podem ser descritas como motor, transmissão, unidade de funcionamento e sistema de controle. O motor gera a energia necessária, a transmissão guia esta energia à unidade de funcionamento, que assegura o contato com mundo exterior (objeto a ser processado), e o elemento de controle faz o sistema adaptável às condições do meio em que o sistema está inserido (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

- *Condutividade de energia de um sistema.* Uma condição indispensável de um sistema técnico viável é que energia circule livremente e eficientemente através de suas quatro partes principais. Se uma parte não trabalhar, o sistema inteiro não trabalhará. Transferência de energia pode ser pela substância, pelo campo, ou pela substância-campo.

- *Harmonização do ritmo das partes do sistema.* Uma condição indispensável do desempenho total de um sistema técnico é o sincronismo das suas partes, a coordenação rítmica (frequência, periodicidade, oscilação) de todas as partes de um sistema (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

- **Cinemática** - define como os sistemas técnicos evoluem não obstante circunstâncias.

- *Idealidade crescente.* O desenvolvimento de todos os sistemas técnicos se orienta em direção da idealidade, aumentando as características benéficas ou diminuindo o custo ou reduzir efeitos prejudiciais, mediante o aumento da confiabilidade, simplicidade e eficácia com custos menores, espaços reduzidos e economia de energia.

- *Desenvolvimento desigual das partes do sistema.* Um sistema técnico, em geral, é composto de partes diferentes que tendem a desenvolver-se de maneira não

uniforme, conduzindo o sistema a novas contradições técnicas e físicas. Quanto maior for a complexidade do sistema maior será o desenvolvimento não uniformemente entre as suas partes.

- *Transição para um super-sistema.* Quando um sistema esgota a possibilidade de uma melhoria adicional significativa (desenvolvimento), a função do sistema é transferida ao super-sistema como uma de suas peças. Assim, o desenvolvimento continua no nível do super-sistema.

- *Dinamização.* O desenvolvimento do sistema se realiza no sentido da mobilidade e do controle entre elementos do sistema, adicionando conexões (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

- **Dinâmica** - define como os sistemas técnicos evoluem sob circunstâncias específicas.

- *Transição do macro para micro-nível.* O desenvolvimento de um dos elementos da unidade de funcionamento se desenvolve inicialmente, no nível macro e então muda para nível micro. Esta é uma tendência de desenvolvimento dos sistemas técnicos modernos. Conseqüentemente ao estudar a solução de problemas inventivos, deve-se dedicar uma atenção especial ao exame da “transição de macro para micro nível” e os efeitos físicos que causaram esta transição.

- *Aumentando o desenvolvimento de modelos substância-campo.* O desenvolvimento de sistemas técnicos no sentido de aumentar o número de modelos substância-campo e as suas conexões. Os campos evoluem dos campos mecânicos aos campos magnéticos (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Os padrões de evolução da categoria “estática” descrevem o período inicial do sistema técnico (introdução); os padrões de evolução da categoria “cinemática” definem o período de crescimento do sistema; os padrões de evolução da categoria “dinâmica” são relacionados ao período de maturidade e declínio do desenvolvimento do sistema e a transição para um novo sistema (descontinuidade). (Altshuller publicou esta lista em 1979 e

a tendência de dinamização foi incluída mais tarde, em 1986.) Basicamente os sistemas técnicos seguem estas tendências gerais. Desde o sistema inicial às melhorias múltiplas, o sistema move-se sempre para a idealidade até que alcance a exaustão da tecnologia e dos seus recursos existentes (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Embora exista um número limitado de caminhos para evolução do sistema técnico, a partir da posição atual, alguns sistemas técnicos podem apresentar uma evolução simultânea em diferentes frentes, através de diferentes recursos.

Através da análise dos Padrões de evolução pode-se prever o desenvolvimento de um sistema técnico, investindo-se nas melhorias mais prováveis e assim, adquirir vantagem competitiva diante da concorrência.

3.2.14 – 76 Soluções padrão

As *76 Soluções Padrão* (Standard Solutions) ou simplesmente *Padrões* da metodologia TRIZ é um conjunto de modelos de soluções inventivas genéricas utilizadas para resolver problemas inventivos típicos. Elas são baseadas na análise das invenções passadas (guardadas nas patentes) que resolveram problemas similares. Essencialmente, as 76 Soluções Padrão nasceram do processo de aperfeiçoamento dos Princípios Inventivos (PI) e da análise e modelagem Substância-campo (Su-C) (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Terninko, Domb e Miller (2000), explicam que as *76 Soluções Padrão* fornecem uma descrição concisa da situação genérica e incluem geralmente uma indicação das restrições ou das limitações. Tipicamente, elas são usadas como uma etapa em ARIZ, depois que a análise da substância-campo (Su-C) foi aplicada e, todas as restrições à solução estiverem identificadas. O modelo inventivo e as restrições são usados para identificar a classe e a solução específica. As 76 soluções padrão são úteis para os problemas inventivos de Nível 3. Invenções de Nível 3 melhoram significativamente os sistemas existentes, e representam

18% das patentes concedidas, a solução se dá com a resolução de uma contradição dentro do sistema existente, muitas vezes através da introdução de um elemento completamente novo. Este tipo de solução pode exigir centenas de idéias, testadas por tentativa e erro. Estas invenções geralmente envolvem agregar tecnologias de outras áreas de conhecimento. A solução resultante provoca uma mudança de paradigma dentro da indústria, idéias e princípios fora do âmbito original de indústria devem ser aceitas. As 76 soluções padrão de TRIZ foram compiladas por Altshuller e seus associados entre 1975 e 1985. São agrupados em 5 classes, quadro 6:

1. Melhorar o sistema com pouca/sem alteração	13 soluções padrão
2. Melhorar o sistema mudando o sistema	23 soluções padrão
3. Transições do sistema	06 soluções padrão
4. Detecção e medição	17 soluções padrão
5. Estratégias para simplificação e melhoria	17 soluções padrão
Total:	76 soluções padrão

Quadro 6 – Classes das 76 Soluções Padrão (TERNINKO, DOMB E MILLER, 2000).

Geralmente as soluções das classes 1 à 4 tornam o sistema mais complicado, devido a introdução de novos materiais ou novos campos. As soluções de classe 5 são métodos de simplificação do sistema, rumo a idealidade. Frequentemente, após a aplicação de uma solução das classes 1-3 para um problema de desempenho, ou uma classe 4 para um problema da medida ou da detecção, usa-se a classe 5 para simplificar a solução (TERNINKO, DOMB E MILLER, 2000).

2.3.15 – Análise Sustância-Campo (Su-C)

A análise ou modelagem Sustância-Campo (Su-C) é uma das ferramentas da TRIZ clássica. Seu objetivo é a modelagem de problemas relacionados com sistemas tecnológicos existentes. Este instrumento analítico requer um conhecimento técnico maior (informação de como utilizar os efeitos físicos), do que algumas das outras ferramentas de TRIZ. A análise Sustância-Campo permite a identificação de falhas ou deficiências nos processos do sistema, é capaz de fornecer um modelo rápido e simples para visualizar a aplicar idéias diferentes extraídas da base de conhecimento (patentes) (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Todos os sistemas técnicos são criados para executar uma *função positiva principal*, esta função determina a finalidade do sistema. Assim, a modelagem de um sistema é obtida, através das substâncias e das forças (campos) que nele atuam. Para definir um sistema técnico funcional são necessários, duas substâncias e um campo. Em termos gerais, substância é tudo aquilo que recebe ou exerce ação. As substâncias são objetos de todos os níveis de complexidade, sistemas inteiros, subsistemas ou objetos únicos. Na Análise Su-C da TRIZ, convencionou-se usar S1 como sendo a função desejada, "produto" (artefato) que será produzido por uma máquina, processado, tratado, medido ou alterado e, S2 é uma "ferramenta," um elemento que fornece (ou produz) estas mudanças, ações ou operações, com o auxílio de algum meio, um "campo" F, forma de energia ou ação, usada pela ferramenta, S2, que atua sobre o produto, S1. Um modelo completo é uma tríade de duas substâncias e de um campo, figura 2.20.

Figura 2.20 – Modelo básico de Su-C (tríade)
(KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Os sistemas complexos podem ser representados por modelos Su-C com conexões múltiplas. Tipicamente, somente uma ferramenta pode ser modificada ou melhorada. As linhas entre os elementos mostram as suas interações. As interações podem ser úteis, prejudiciais, não reguladas, pobres ou ausentes (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

As características principais da análise Substância-Campo (Su-C) é a aplicação das *76 Soluções Padrão* e o processo formal de transformar o modelo inicial do problema em um modelo de solução recomendado da Su-C. Este processo é executado sem a formulação direta de uma contradição técnica ou física, porque esse conceito já está englobado na modelagem Su-C. Segundo Demarque (2005) há quatro modelos básicos de sistemas:

1. Sistema completo e eficaz;
2. Sistema completo e ineficaz (requer melhoria para criar o efeito desejado);
3. Sistema completo e prejudicial (requer a eliminação do efeito negativo);
4. Sistema incompleto (requer a conclusão ou um sistema novo).

Na análise Su-C a palavra "campo" é usada condicionalmente. Não significa somente campos físicos tais como gravitacional, eletromagnético, térmico, também pode significar tipos diferentes de "campos" técnicos e não técnicos como: mecânico, inércia, luz, olfativo, biológico, etc. Estes campos incluem todas as interações entre as substâncias que produzem o resultado requerido (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

As fontes de energia, ou campos que geralmente são considerados durante a análise e modelagem Su-C são:

Mech - mecânico (pressão, força, gravidade)

EL - elétrico (campo elétrico, corrente, ondas elétricas)

Ma - magnético (campos magnéticos)

Th – térmico (aplicação de calor ou de frio)

Au - audível (som acústico, ondas de todas as frequências)

Ch - químico (reações químicas que mudam uma substância)

Bi - biológico (interações biológicas entre elementos)

Krasnoslobodtsev apresenta cinco etapas a seguir ao se fazer a análise Su-C:

- **Definir o tipo de problema** - A princípio, existem dois tipos de problemas:
 - 1) O do tipo **modificação**, que requer a mudança do modelo inicial Su-C e
 - 2) O do tipo **medida**, quando temos que medir ou detectar algo.
- **Construir um modelo inicial Su-C** do problema com campos e substâncias inicialmente disponíveis.
- **Aplicar as soluções padrão** para o desenvolvimento do modelo Su-C de uma solução genérica.
 - Usar a primeira classe para reconstruir ou melhorar o modelo inicial Su-C se estiver incompleto, ou se houver uma substância ou campo "prejudicial".
 - Usar a segunda e a terceira classes se o modelo Su-C inicial for ineficaz.
 - Usar a quarta classe se o problema for relacionado à medida.
- **Redefinir o modelo Substância-Campo desenvolvido** com a aplicação das soluções padrão da quinta classe. Depois de chegar a uma solução, recomenda-se verificar se é possível simplificar o modelo Su-C obtido. Usar esta classe nos casos em que há limitações a aplicação de substâncias ou campos adicionais para resolver um problema.
- **Gerar os conceitos da solução específica** com a aplicação dos modelos Su-C desenvolvidos e as 76 Soluções padrão (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

2.3.16 – ARIZ - ALGORITMO PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS INVENTIVOS

ARIZ (acrônimo para Алгоритм решения изобретательских задач – APIЗ em russo) ou *Algoritmo para solução de Problemas Inventivos* é uma ferramenta analítica de TRIZ, que une várias das técnicas propostas na própria metodologia TRIZ. O objetivo principal de ARIZ é transformar logicamente a situação inicial do problema (quando o problema ainda não é claro), em conceitos para a solução desse problema. É uma implementação procedural dirigida para o desenvolvimento da solução do problema (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Segundo Demarque (2005), o ARIZ apesar de ter sua aplicação voltada para a solução de problemas complexos é de grande utilidade para o iniciante na metodologia TRIZ, servindo como guia na escolha das ferramentas a serem utilizadas, podendo ser extremamente útil, nestas circunstâncias, na resolução de problemas mais simples.

Dependendo da natureza do sistema, o número de passos pode variar de cinco até sessenta. ARIZ sofreu varias modificações desde 1956, mais de 10 versões diferentes do algoritmo são conhecidas, mas basicamente segue os mesmos passos. A última versão reconhecida por Altshuller é a ARIZ-85B. Esta versão contém operadores, para a análise e solução de problemas técnicos difíceis que não poderiam ser resolvidos com a aplicação de alguma outra ferramenta de TRIZ aplicada individualmente: princípios, análise do sustância-campo e padrões (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

ARIZ-85B contém nove partes (que incluem 40 procedimentos, passo a passo para a resolução do problema):

1. Análise do problema
2. Análise do modelo do problema
3. Resultado final ideal e determinação da contradição física
4. Mobilização e utilização dos recursos
5. Utilização da base de dados
6. Mude ou reforme o problema

7. Análise do método que removeu a contradição física
8. Utilização de soluções obtidas
9. Análise das etapas que conduzem às soluções

Geralmente, os processos contêm determinados fragmentos básicos consolidados. Primeiramente, uma situação inicial do problema do cliente que é transformada em um modelo com ajuda dos operadores: uma contradição técnica entre dois elementos conflitantes do sistema e das funções do elemento “x”, desconhecido, que são necessárias para resolver o problema. Então, este modelo do problema é desenvolvido em um modelo de soluções ideais de ARIZ como um resultado final ideal que contenha a contradição física. Em seguida, o modelo da solução ideal de ARIZ é reformulado nas soluções para o problema inicial com aplicação dos princípios da separação para contradição física, recursos e efeitos científicos. Todas estas ações são executadas nas primeiras cinco partes do algoritmo. As partes de seis a nove de ARIZ estão dedicadas à reformulação do problema caso não haja nenhum bom conceito de solução e para verificação do processo de solução para a melhoria das soluções obtidas (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Explorando a situação do problema.

O processo para solução do problema inicia-se na entrevista com o cliente e da definição de uma lista de problemas. Tipicamente, a situação que é descrita pelo cliente durante a primeira entrevista tem mais do que um problema. É importante definir todos estes problemas. Em seguida, selecione o problema principal que é a prioridade para o cliente. O questionário do problema fornece informações valiosas que inclui uma descrição detalhada da situação do problema e do fundo de desenvolvimento do problema. Pode-se também documentar as tentativas precedentes, feitas pelo cliente, para resolver este problema com

uma definição das interações e das ligações entre as operações tecnológicas ou dos componentes do sistema (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Formulando o modelo de ARIZ de um problema.

O modelo consiste em apenas dois elementos conflitantes do sistema: o produto e a ferramenta. Define a contradição técnica entre eles e a função que deve ser fornecida pelo elemento “x” para resolver o problema. A seguir para desenvolver este modelo, a primeira contradição técnica, direta, é formulada e em seguida a segunda contradição técnica, a inversa. Selecione apenas uma contradição técnica. Esta seleção é baseada na função principal desejada na contradição. Uma contradição técnica descreve o conflito entre parâmetros dentro de um sistema: a melhoria de um parâmetro do sistema conduz a piora (degradação) de outro parâmetro (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Revelando a solução ideal com ARIZ.

Neste estágio, a contradição técnica deve ser substituída por uma contradição física. Uma contradição física consiste de um requisito oposto (conflitante) de uma característica física de um único parâmetro ou elemento no sistema. A formulação bem sucedida de uma contradição física geralmente mostra o ponto central do problema e as maneiras para resolvê-lo. A etapa de formulação do resultado final ideal (IFR) ajuda a decidir como aumentar os fatores benéficos e eliminar os fatores prejudiciais. A comparação das soluções desenvolvidas com o IFR demonstra se o processo de solução é verdadeiro ou falso e não na escolha das contradições principais. Assim, a solução ideal serve como um modelo abstrato e um objetivo para as soluções específicas futuras (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Gerando a solução específica.

Durante este estágio, o resultado final deve ser transformado em conceitos específicos de solução. A criação de conceitos de solução é executada aplicando-se: os recursos listados, fenômenos científicos e os princípios da separação para resolver uma contradição física. Neste estágio, os recursos existentes no sustância-campo devem ser usados junto com outras bases de dados de conhecimento (patentes) e ferramentas de TRIZ para resolver as contradições (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

Subseqüente avaliação dos conceitos e a escolha da melhor são executadas com a participação do cliente e inclui uma avaliação dos múltiplos fatores envolvidos nos novos projetos propostos para solução do problema. Geralmente os critérios principais são a adaptabilidade para a indústria, custo de produção e patentabilidade. Também, as recomendações de TRIZ são usadas neste estágio fazendo a comparação dos conceitos de solução com o resultado ideal formulado e fazendo a avaliação das soluções com uma análise do tipo custo-benefício (KRASNOSLOBODTSEV, 2008).

2.3.17 – Método de modelagem pelas Pequenas Pessoas Perspicazes (PPP)

A Modelagem pelas Pequenas Pessoas Perspicazes (PPP) ou Método das Partículas é baseado na empatia, assemelha-se ao método *Synectics*, sugerido por William Gordon (1961), nesse método é sugerido que a pessoa se coloque no lugar do sistema ou se integre a ele, para enxergar o problema de outro ponto de vista, internamente, se identificando com o objeto do problema e, assim enxergar como solucioná-lo. Em 1979, Altshuller sugeriu a substituição da pessoa por vários homenzinhos imaginários, que executariam as tarefas necessárias para a solução do problema. De acordo com Altshuller, ao utilizar a empatia, algumas possíveis soluções promissoras para problemas propostos acabavam sendo descartadas, por serem inaceitáveis para o corpo humano, mais tarde

passou-se a utilizar partículas que executariam qualquer ação necessária para solucionar o problema. Este método exige um alto grau de imaginação e abstração. Primeiro com base nos dados do problema e no resultado final ideal, elabora-se croquis das situações inicial (problema) e final (solução). Sem se preocupar de como o objetivo será alcançado, atribuindo as partículas qualquer ação necessária. Em seguida, listam-se as ações desejadas e, dentro da realidade, como é possível obter o efeito pretendido, consultando tabelas de efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos para auxiliar no processo (CARVALHO, 1999; DEMARQUE, 2005).

2.3.18 – Recursos inventivos

Na definição da metodologia TRIZ, um recurso inventivo pode ser definido como elementos do sistema ou das cercanias que ainda não foram utilizados para a execução de funções úteis no sistema (CARVALHO, 1999).

Os recursos podem ser: resíduos, reserva de energia, tempo livre, espaço não ocupado, informação, capacidade funcional e tecnológica para executar funções adicionais, propriedades das substâncias, física, química, geometria e outros efeitos (ZLOTIN e ZUSMAN, 2004).

Os recursos também são propriedades ou atributos de um sistema que podem ser interpretados como uma característica do sistema (IDEATION INTERNATIONAL, 2008). Através dos recursos podemos definir modelos dos diferentes propriedades do sistema e, caracterizar, entre outras coisas, o objetivo do sistema, sua funções, a estrutura e relações entre os elementos, informação, fluxos de energia, materiais, forma, localização, parâmetros temporais das funções, eficácia, etc (ORLOFF, 2006).

Os recursos nos fornecem a habilidade de aumentar a idealidade do sistema. Existem diferentes classes de recursos: internos; externos; naturais; sistêmicos; funcionais; espaciais; temporais; de campo; de substância; de informação (CARVALHO, 1999).

A respeito da sua disponibilidade podemos afirmar que os recursos se dividem em dois grupos:

- Os recursos “prontos para uso” são os recursos que existem em um estado visíveis, facilmente identificados, ou seja, podem ser usados “como estão”.
- Os recursos “derivados” são os que não estão disponíveis em um primeiro momento e, tornam-se disponíveis somente após serem submetidos a uma transformação de algum tipo.

Os recursos “derivados” são transformados com os operadores e a aplicação de um ou mais campos (mecânico, elétrico, magnético, térmico, químico, biológico, eletromagnético ou biológico).

Outra importante contribuição pode ser dada pelos recursos “evolutivos”, que por muitas vezes podem ser rejeitados em razão de se apresentarem prematuros ou impraticáveis diante do nível global de tecnologia disponível para o momento, mas pode ser retomado após um período de evolução da indústria e pelos recursos provenientes de outras áreas do conhecimento, que até então não foram utilizados na área de conhecimento em que o sistema está se desenvolvendo. Este conhecimento é ilimitado, no entanto, sem ferramentas e métodos eficazes que permitam a identificação de informações aplicáveis, são inúteis (ZLOTIN e ZUSMAN, 2004).

2.3.19 – Banco de Efeitos (BE)

O dicionário Michaelis (2010) define “efeito” como o resultado ou consequência necessária ou fortuita de uma causa e, causa é aquilo que determina a existência de alguma coisa, ato ou evento.

Para a metodologia TRIZ, um efeito é definido como uma resposta dada por uma substância a uma ação governada pelas leis da natureza e pelas propriedades dos materiais (DEMARQUE, 2005).

Geralmente um efeito pode ser descrito como um relacionamento funcional entre dois processos. Isto significa que mudanças feitas em um processo descrito como causa, altera o resultado no processo descrito como resultado. A relação funcional é chamada de efeito (ORLOFF, 2006).

Altshuller descobriu, através de seus estudos, a importância dos efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos na resolução de problemas inventivos. E constatou que a grande dificuldade de encontrar uma solução usando tais princípios, é o esquecimento ou desconhecimento de certos efeitos pelas pessoas envolvidas na solução do problema. Diante disto, Altshuller elaborou listas de efeitos da metodologia TRIZ, semelhante às listas propostas na obra de Koller (1994) (CARVALHO, 1999).

Estudos realizados nos bancos de patentes revelaram que muitas soluções criativas são obtidas através da utilização de efeitos físicos não utilizados anteriormente na área específica de tecnologia do problema. Assim, encontrar um princípio físico capaz de atender a um requisito de um novo produto é uma das tarefas mais importantes na fase conceitual de desenvolvimento do produto. No entanto, é quase impossível usar os manuais de física ou química para a busca de princípios. As descrições dos fenômenos naturais disponíveis não apresentam informações sobre as propriedades específicas dos efeitos de um ponto de vista científico, e não está claro como essas propriedades podem ser usadas para fornecer determinadas funções técnicas (SOUCHKOV, 2007).

Demarque (2005) verificou a grande dificuldade de se obter o guia de efeitos desenvolvido por Altshuller na literatura disponível e, afirma que listas atualizadas de efeitos são feitas em softwares tais como o *TechOptimizer*, *Innovation Workbench* e *TriSolver*, figura 2.21, e para se ter acesso a tais informações se faz necessário adquirir tais programas.

Uma das vantagens destas bases de dados está em seguir a linha descrita por Altshuller, de classificar os dados em termos de função. Assim, por exemplo, um banco de dados recolhe todas as formas conhecidas de “movimentar uma partícula” sob um único

título. Por exemplo, o programa *Invention Machine Golfire* que em seu banco de dados possui 33 (trinta e três) formas diferentes de “movimentar uma partícula” (MANN, 1999).

Figura 2.21 – Vista do programa TechOptimizer Pro (2009)

Cabe ao engenheiro ou projetista determinar qual será o efeito mais adequado para resolução do problema, bem como transformar este efeito promissor em um produto economicamente viável.

Demarque (2005) sugere um meio para estabelecer um uso efetivo dos efeitos para a solução de problemas, estabelecendo duas etapas.

- A Identificação da função técnica necessária e a seleção do efeito correspondente a partir da tabela de efeitos;
- A Obtenção das informações relativas ao efeito selecionado (como ele pode solucionar o problema), e a criação do conceito.

2.4 Máquinas-Ferramentas

Nas últimas décadas as máquinas-ferramentas sofreram uma verdadeira revolução, as primeiras máquinas-ferramentas foram baseadas, quase que inteiramente, em guias e mancais de deslizamento e, gradualmente foram evoluindo para mancais de elementos girantes, posteriormente, o sistema de fuso com rosca trapezoidal foi substituído pelo fuso de esferas recirculantes. Estes desenvolvimentos, mais a implementação da eletrônica embarcada e sistemas de controle mais eficientes, levaram a concepção da geração atual de máquinas-ferramenta (CHAPMAN, 2004).

Atualmente as modernas máquinas-ferramentas são centros de fabricação flexíveis capazes de executar uma série de tarefas programadas com precisão e repetibilidade elevada. Os esforços atuais da tecnologia estão voltados para três frentes distintas de desenvolvimento das máquinas-ferramentas, figura 2.22:

Figura 2.22 – Tendências do projeto de máquinas-ferramentas (STOETERAU, 2004).

- 1) Máxima flexibilidade de produção (Octahedral Hexapod);
- 2) Máxima taxa de remoção (HSC - High Speed Cutting);
- 3) Máxima exatidão (Ultraprecisão) (STOETERAU, 2004).

Como anteriormente citado, a capacidade humana de concepção e geração de idéias no processo de desenvolvimento de projetos é uma tarefa árdua e sistemática, que compreende um leque de conhecimentos sólidos multidisciplinares das engenharias, ciências puras, ciências aplicadas e experiências anteriores.

Segundo Stoeterau (2004), para o melhor desenvolvimento do projeto de uma máquina-ferramenta, podemos dividi-la em três grandes sub-sistemas:

- *Estrutura*, também denominada de base da máquina. Um projeto estrutural bem sucedido é importante uma vez que a estrutura mecânica não só proporciona apoio e alojamento para todos os elementos constitutivos, mas também contribui para o desempenho dinâmico da máquina-ferramenta, sendo responsável pela rigidez, amortecimento e estabilidade do conjunto, duas grandes questões de projeto estão envolvidas na concepção da estrutura mecânica: a seleção do material e a configuração;
- *Dispositivos de controle*, este sub-sistema é responsável pelo gerenciamento das informações relevantes da máquina: controle dos movimentos principais (rotação do eixo árvore, translações e deslocamentos) e controle das informações secundárias (refrigeração, aspiração e transporte de cavaco, pressão nas linhas ar comprimido, etc), fornecendo as informações gerais sobre a máquina e o andamento do processo.
- *Acionamentos e movimentação*, neste sub-sistema estão incluídos: Os motores, os sistemas de transmissão de movimento, as guias lineares, o eixo-árvore da máquina (STOETERAU, 2004).

A figura 2.23 destaca os elementos de uma máquina-ferramenta (caso particular de um torno mecânico). As diferentes operações de usinagem e as suas respectivas

configurações associadas encontradas na indústria mostra que a Figura 2.23 não é exaustiva, e nos dá simplesmente uma visão global para facilitar a compreensão do tópico.

Figura 2.23 – Constituintes de máquinas-ferramentas (STOETERAU, 2004).

2.4 Máquinas-Ferramentas de Ultraprecisão

Para Duduch (2006), os conceitos de precisão dimensional, de qualidade superficial de produtos e peças, não possuem uma definição fixa, varia conforme o estado da técnica aplicada, que está em constante evolução.

Burato (2003), define que a nanotecnologia esta associada com processos e produtos dentro de uma escala que vai de 0,1 a 100 nm, porém capazes de interagir com elementos fora desta faixa, isto é, na escala atômica e supramicrométrica. A fabricação de componentes com tolerância elevada na ordem de micrometros (μm) e nanômetros (nm) podem ser obtidos através do processo de fabricação em máquinas-ferramenta conhecido como usinagem de ultraprecisão.

A concepção de projetos de máquinas-ferramenta de ultraprecisão se enquadra em sistemas mecânicos ativos, aqueles que permitem que o sistema projetado e construído possa alterar o seu desempenho funcional através de elementos de ajuste. Este tipo de máquina tem um sistema de medição e controle refinado que ajuda no bom desempenho durante o trabalho, com o intuito de se obter um produto com elevados níveis de precisão, tolerância e acabamento (BURATO, 2003).

No inicio dos anos 80, Norio Taniguchi, sintetizou em um diagrama, reproduzido na Figura 2.24, as tendências do projeto de precisão, fazendo um estudo do início (1920) ao final (2000) do século passado, relacionando os métodos de usinagem com as tolerâncias correspondentes com o passar dos anos (STOETERAU, 2004).

Figura 2.24 – Tendências das máquinas de precisão. (TANIGUCHI¹, 1983 *apud* STOETERAU, 2004).

Para melhor compreensão do tema podemos definir que acurácia (ou exatidão) e a precisão (número de algarismos significativos do valor medido) de um certo “dado” medido estarão sempre limitadas tanto pela sofisticação do equipamento utilizado, pela habilidade do operador que realiza a medida, pelos princípios físicos básicos tanto do instrumento de medida, quanto do fenômeno que gerou o experimento e o conhecimento que se tem sobre o valor “verdadeiro” da grandeza física. A repetibilidade pode ser definida como o desvio máximo do valor da grandeza indicada pelo instrumento (erro), em relação ao valor de referência, em um conjunto de medições para uma dada entrada constante (ao movimentar a máquina para a mesma posição) (FRANÇA, 2008).

¹ TANIGUCHI, N. Current status and future trends of ultraprecision machining and ultrafine materials processing, (1983)

A exatidão, segundo a definição literal, é qualidade daquilo que é exato, em conformidade com um padrão, no caso o erro máximo ou rotação entre quaisquer dois pontos do volume que esta sendo usinado (BURATO, 2003).

A precisão é a qualidade do que é preciso, definido claramente. Ou seja, medidas precisas significam medidas com pouca dispersão. A precisão então, está ligada ao conceito de repetibilidade e estabilidade de uma máquina ou instrumento, em um determinado processo, atribuindo a estes o conceito de preciso, dentro de uma faixa estreita do aceitável (FRANÇA, 2008).

A tecnologia de usinagem de ultraprecisão, existe à três décadas, e apenas nos últimos anos experimentou grandes avanços no projeto de máquinas e, posteriormente, desempenho e produtividade. Na década 70, a usinagem de ultraprecisão foi adotada com sucesso para a fabricação de discos rígidos de memória usados em computadores, componentes fotorreceptor usados nas máquinas fotocopiadoras e algumas aplicações em impressora. Tais aplicações necessitavam de geometrias extremamente precisas e níveis elevados de acabamento superficial (CHAPMAN, 2004).

Apenas nos últimos 10 anos, porém, que grandes avanços no sistema de controle, feedback, servo drives e projetos de construção de máquinas em geral evoluíram a ponto de tornar as atuais máquinas de usinagem de ultraprecisão mais produtivas, mais precisas e, com preços mais acessíveis. Isso resultou em uma proliferação de seu uso em todo o mundo para uma ampla gama de aplicações (CHAPMAN, 2004).

Para CHEN (2007), máquinas-ferramentas de ultraprecisão são caracterizadas pela precisão cinemática e geométrica, estabilidade térmica e pelo:

- Controle, realimentação e Servo Sistemas precisos;
- Alta estabilidade térmica e mecânica (baixa inércia);
- Movimentos do eixo extremamente suaves;
- Baixa vibração;

- Alta Frequência Natural;
- Baixa Potência (máquina de pequeno porte);
- Alta Rigidez estática e dinâmica;
- Boas características de amortecimento (CHEN, 2007).

CHEN (2007), afirma que para aplicação na indústria as Máquinas Ferramentas de Ultraprecisão devem possuir requisitos mínimos de tolerância, elencados a seguir:

- Erro no movimento do eixo (Spindle) : $\leq 50\text{nm}$;
- Variação de resolução de alimentação (para grandes máquinas): $\leq 10\text{nm}$;
- Variação de resolução de alimentação (para pequenas máquinas): $\leq 1\text{nm}$;
- Retilidade (para grandes máquinas): $\leq 2\mu\text{m/m}$;
- Retilidade (para pequenas máquinas): $\leq 0,5\mu\text{m/ curso total}$;
- Repetibilidade: $X=0,05\mu\text{m}$, $Z=0,1\mu\text{m}$.

2.4.1 Dicing saw machine (maquina de fatiamento de substrato)

ARAUJO (2009) define uma “Máquina de Serrar em Cubos” ou “Dicing Saw” como um tipo de serra, voltada para o processo de corte de materiais frágeis, tais como o silício, a alumina, vidros cerâmicos, semicondutores, MEMS, safira, quartzo, cristal, e outros, muito utilizada na indústria microeletrônica e ótica, Figura 2.25.

As “Dicing Saw” tiveram origem no fim dos anos 50 e no início dos anos 60 quando aumentou a necessidade de cortar bolachas (do inglês “wafer”) de silício em cubos de um tamanho particular para fabricação de pastilhas (do inglês “chip”) na indústria eletrônica. As primeiras máquinas eram conjuntos mecânicos simples, basicamente uma correia padrão

movimentava um eixo com uma ferramenta de corte acoplada que girava em alta velocidade. Nos anos 70 e 80 com aumento das exigências de qualidade e exatidão de corte das bolachas de silício, assim houve um refinamentos do processo, chegando ao que hoje é denominado processo de corte de precisão. As máquinas atuais são mais flexíveis em termos de condições de corte e podem conseguir, com sucesso, cortar uma gama maior de materiais para diferentes aplicações com taxas elevadas de produtividade. (GILHAM, 2004).

Figura 2.25 – “Dicing Saw” cortando wafer de silício (Loadpoint Limited).

“Dicing Saw” é uma espécie de serra de ultraprecisão que emprega um disco abrasivo de espessura em torno de 20 μm , acoplado a um eixo-árvore de alta velocidade (High Speed Spindle), figura 2.24, utilizada para fatiar, entalhar e cortar vidro, cerâmica, cristal, bolachas semicondutoras de silício e muitos outros materiais frágeis. Consiste, basicamente, de um sistema de movimentação linear nas coordenadas XYZ, uma mesa XY que permite a movimentação controlada nas coordenadas X e Y e uma ferramenta de corte abrasivo, posicionada em um cabeçote (Spindle) na coordenada Z. O eixo X, responsável pela translação da mesa de corte (velocidade de corte ou avanço), deve possuir uma larga faixa de ajuste velocidade. Os eixos Y e Z são responsáveis pela dimensão da fatia e penetração do disco de corte no material, respectivamente. Normalmente, o material é

montado sobre um quadro (*carrier*), formado por um filme adesivo (*adhesive layer* ou *tape*) e uma moldura (*frame*) (ARAUJO, 2009).

ARAUJO (2009) relaciona o processo de corte como uma etapa do processo de fabricação de semicondutores, transdutores, supercondutores e circuitos integrados e, pela tolerância aplicada ao processo, atribui ao mesmo a classificação de processo ultrapreciso. O material a ser cortado normalmente encontra-se na forma de filme fino circular, quadrado ou retangular. O material pode ser composto de um único filme fino, que recebe o nome de substrato, ou pode ser composto de mais de uma camada, recebendo o nome de bolacha ou wafer. No caso de substratos ou de bolachas circulares o filme pode chegar até 305 mm de diâmetro e peças quadradas podem atingir 300 mm de lado.

2.4.2 Eixo-árvore

Conceitualmente um eixo-árvore ou “Spindle”, em máquinas-ferramentas, é o eixo de rotação principal da máquina, figura 2.26. O eixo-árvore ou simplesmente árvore é caracterizado pelo conjunto de elementos responsáveis pelo movimento rotativo da ferramenta ou peça, sendo que seus mancais são responsáveis pela absorção de grande parte dos esforços gerados no processo de usinagem, bem como pela estabilidade dinâmica e exatidão de giro (STOETERAU, 2004).

Figura 2.26 – “Spindle” com acoplamento integrado
(Transatlantic Connection, Inc.)

Segundo Stoeterau (2004), os eixos-árvore podem ser classificados quanto:

- ao tipo de esforços de trabalho à que estão submetidos (pesado, médios e leves);
- a precisão de trabalho (trabalho normal, preciso e ultrapreciso);
- a velocidade de trabalho (baixa, média e alta velocidade), figura 2.27;
- aos esforços de operação (esforços predominantemente radiais, axiais, axiais/radiais e cíclicos).

Os eixos-árvore são considerados elementos críticos em máquinas-ferramentas de precisão, além do custo considerável, qualquer erro na resolução do eixo-árvore pode ter um importante efeito sobre a qualidade e a precisão da superfície da peça a ser trabalhada (STOETERAU, 2004).

Figura 2.27 – Velocidades máximas de spindles em diferentes aplicações (Westwind, Inc.)

2.4.3 Eixo-árvore de alta velocidade

Necessariamente, nem todo eixo-árvore é um eixo de alta velocidade (High Speed Spindle), figura 2.28, alguns pontos específicos são tomados em consideração para o projeto destes tipos de eixo já que o seu desempenho é diferente de um eixo-árvore convencional. Em eixos-árvore de alta velocidade os esforços de trabalho são menores do que os gerados nas condições convencionais, os fatores rigidez e balanceamento são mais críticos do que o fator de capacidade de carga. Os altos custos associados ao projeto de eixos-árvore complexos só se justificam nas aplicações em máquinas-ferramenta de alto desempenho (ultraprecisão e/ou alta velocidade), pois levam soluções diferentes das apresentadas em eixos para processos convencionais aplicados, geralmente, em máquinas-ferramentas de baixo custo (STOETERAU, 2004).

Figura 2.28 – Vista geral de um High Speed Spindle
(Westwind, Inc.)

No caso de árvores para trabalhos de ultraprecisão (com resolução de posicionamento de 1 a 0,1 nm) e alta velocidade (até 60.000 rpm), onde os esforços gerados são relativamente menores aos gerados em condições convencionais, deve-se considerar que os requisitos de rigidez, suavidade de movimento, balanceamento e precisão de giro são predominantes sobre a capacidade de carga (STOETERAU, 2004).

2.4.4 Componentes principais de um eixo-arvore

Os elementos mecânicos básicos que compõem os elementos de máquina de ultraprecisão, no caso o eixo-árvore, são responsáveis diretos pela qualidade da usinagem e devem apresentar elevada precisão, rigidez estática e dinâmica e estabilidade dimensional, a fim de minimizar qualquer fonte de erro (BURATO, 2003).

Genericamente os principais componentes que devem ser desenvolvidos em um projeto de um eixo-árvore (Spindle) são:

- **Eixo:** acoplamento, sistema de fixação da ferramenta e/ou peça;

- **Acionamento:** Tipo (motor elétrico, hidráulico, turbina, etc), potência, torque, velocidade e dimensões;
- **Transmissão:** forma de acionamento (elementos de transmissão ou integrado);
- **Geometria:** Tipo, montagem, capacidade, forma de montagem, fixação e ajustagem;
- **Sistema de refrigeração:** Tipo, capacidade e eficiência;
- **Mancais:** Tipo, quantidade, montagem e método da lubrificação (STOETERAU, 2004).

2.4.5 Discos Abrasivos (ferramenta de corte)

Para Araujo (2009), o processo de corte de filmes finos e frágeis através de discos abrasivos é fortemente caracterizado pela sua alta produtividade, precisão e qualidade do corte. Porém, o desempenho deste processo está fortemente ligado às características do material a ser cortado e do disco de corte. Deve-se levar em conta espessura do disco de corte, materiais empregados na sua construção (resina diamantada, latão e outros), velocidade de rotação do disco, velocidade de avanço de corte, profundidade de corte, refrigeração do disco, remoção do cavaco, o número de passes necessários para atingir a profundidade desejada, a estrutura da máquina e as recomendações do fabricante da ferramenta. Estes parâmetros determinam a potência e a velocidade máxima do *spindle*. Se o material é duro e a quantidade de material a ser removido é grande, o esforço será alto, logo, a potência consumida será alta. Deve-se ainda verificar se o equipamento funciona em baixas rotações, pois a potência especificada geralmente é a máxima na máxima rotação.

Os discos abrasivos possuem uma grande variedade de tipos, tipos de ligas e de métodos de fabricação. Os discos abrasivo normalmente utilizados nas “Dicing Saw” são os discos diamantados ultra finos de alta precisão, figura 2.29, cada tipo de disco é desenvolvido para uma aplicação específica, e por isso reagem diferentemente em condições específicas. Ukam (2009) define disco diamantado ultra fino de alta precisão

como uma ferramenta de corte que expõe as partículas de diamante capturadas em uma matriz metálica cada uma com um pequeno lado de corte.

Figura 2.29 – “Blade” disco diamantado.
(Disco, Inc.)

A dureza dos discos abrasivos influencia diretamente o desempenho do processo de corte. Entende-se como dureza de um disco abrasivo a resistência que este oferece à remoção de grãos abrasivos da sua superfície de corte, que depende basicamente da resistência de ligação entre o ligante e o grão e, da resistência dos elos de ligação entre os grãos. Um disco com maior dureza tende a reter mais os grãos abrasivos (BIANCHI, 2006).

Segundo Araujo (2009), os disco utilizado no processo de corte de filmes finos encontram-se na ordem de 0,15 a 0,45 mm de espessura e de 1” até 4” de diâmetro externo, fabricados de resina e grãos abrasivos, podendo, ainda, serem fabricados de cerâmica e metal. Os discos abrasivos de corte são classificados de acordo com o tipo de material ligante, tipo e tamanho do grão, concentração de grãos no disco.

O material ligante é o meio pelo qual o sistema é regulado, pois é ele que permite o desprendimento dos grãos quando perdem suas características de corte. Quanto maior a dureza da liga maior é a sua capacidade de retenção das partículas de diamantes, as ligas são classificadas em macia, média e dura. Especificando um disco com uma liga demasiadamente macia para o material a ser trabalhado as partículas serão liberadas mais rápido do que o necessário, tendo como resultado um desgaste prematuro do disco e uma vida curta da ferramenta. Por outro lado, uma liga demasiadamente dura resultará em um corte muito lento, devido à dificuldade em expor a camada seguinte das partículas de

diamante. Neste sentido, alguns materiais mais duros, tais como a safira e a alumina exigem uma liga mais macia, enquanto materiais mais macios e mais frágeis exigem uma liga mais dura. (UKAM,2009).

Atualmente, na confecção de discos são utilizados grãos abrasivos obtidos artificialmente, os diamantes naturais foram muito usados no passado, no entanto, suas características pluralizadas, o grau de pureza e o alto custo, levaram ao uso dos materiais sintéticos. Estes materiais têm características bem definidas e baixa contaminação, devido ao seu processo de fabricação controlado. Os principais materiais utilizados na confecção de grãos abrasivos são: Óxido de alumínio (Al_2O_3), Carbetto de silício (SiC) e Nitreto de boro cúbico (CBN) (ARAUJO, 2009).

A granulometria, medida do tamanho do grão, é especificada pela escala Mesh, que define em uma área de uma polegada quadrada, a quantidade de grãos existentes. A especificação do tamanho do grão é determinada pela dureza e fragilidade do material que se deseja trabalhar. Para o corte de materiais duros, recomenda-se o uso de grãos grandes, porém, cortes com bom acabamento demandam o uso de discos com grãos menores, a fim de minimizar os defeitos gerados durante processo de corte. A concentração indica o volume de grãos contido no volume do disco, as altas concentrações de grãos geram discos mais duros e mais resistentes ao desgaste (ARAUJO, 2009).

2.4.6 Sistema de acoplamento (fixação da ferramenta no eixo)

Para Krabbe (2008), o resultado da usinagem em alta velocidade depende decisivamente da interface formada entre a ferramenta e a máquina, devendo ser desenvolvida para trabalhar dentro de condições severas. O sistema de fixação deve garantir a troca rápida da ferramenta, bem como as funções de alto rendimento e garantir a exatidão dimensional após várias trocas. Para as ferramentas de revolução ainda pode-se

acrescentar a concentricidade e o balanceamento, batimento e alta tolerância de forma e posição, reduzindo assim a influência da força centrífuga causada pela distribuição não uniforme de pequenas massas e desvios radiais.

O porta-ferramentas é uma interface intercambiável entre o eixo-árvore e ferramenta de corte. Em geral deve fornecer:

- máxima rigidez de montagem das ferramentas;
- minimização dos comprimentos em balanço;
- facilidade de alinhamento;
- intercambiabilidade.

A diversidade dos processos de usinagem nos apresenta uma grande variedade de tipos de ferramentas e conseqüentemente seus respectivos sistemas de fixação, apesar desta grande variedade os sistemas de fixação são concebidos de acordo com o tipo de processo, máquina e ferramenta adotados. A escolha ainda deve visar à racionalização dos estoques e a redução dos custos operacionais (STOETERAU, 2004).

Figura 2.30 – Sistemas de fixação da ferramenta
(DISCO CO, 2007)

O sistema de fixação recomendado pelo fabricante para este tipo de ferramenta (disco diamantado ultrafino de alta precisão) consiste em um par de flanges do mesmo tamanho

com alívio adequado, o tamanho da flange deve ser, no mínimo, 3/4 do diâmetro externo do disco, figura 2.30 (UKAM, 2009).

2.4.7 Acionamento

As máquinas-ferramentas necessitam de um sistema de acionamento que forneça meios mecânicos para transferir movimento relativo entre a ferramenta de corte e a peça a ser trabalhada, fornecendo energia e velocidade. Stoeterau (2004), afirma que os movimentos em uma máquina-ferramenta podem ser divididos em sistemas de rotação e de posicionamento do eixo-árvore (Spindle). Seleção da tecnologia do acionamento depende de vários aspectos como custo, condições ambientais, facilidade de controle, suavidade de movimento, manutenibilidade, confiabilidade, dinâmica (aceleração X tempo, torque X rotação, etc), torque, etc. A maioria dos sistemas de acionamento oferecidos no mercado são rotativos, o que facilita a sua aplicação em eixos-árvores, pois, não há a necessidade de conversão de movimento, porém, em alguns casos se faz necessário promover reduções (ou ampliações) no movimento, como forma de se adequar o torque ou velocidade de giro, para este fim deve-se utilizar sistemas de transmissão (STOETERAU, 2004).

Os sistemas de acionamento rotativo em geral podem ser classificados como:

- Acionamento Hidráulico
 - Permite altos valores de torque;
 - Alto custo de instalação;
 - Aplicável em ambientes de risco;
 - Compacto.
- Acionamento Pneumático
 - Baixo custo (ar comprimido disponível na máquina);
 - Compacto.
- Acionamento Elétrico
 - Permite boa precisão;
 - Repetibilidade;
 - Baixo impacto no meio ambiente.

Na seleção do sistema de acionamento de um eixo-árvore deve-se considerar a sua utilização, fornecendo movimento rotativo suave e preciso, com torque e velocidade necessários para a ação de corte. A de se considerar também o custo e definições de projeto tais como as forças necessárias, espaço de montagem, esforços envolvidos, quantidade de calor gerada, entre outros (STOETERAU, 2004).

2.4.8 Transmissão

Para a transmissão do movimento do sistema motriz para o eixo-árvore (Spindle), dispõe-se de duas alternativas principais. Uma delas através do acionamento direto, ou seja, o atuador está diretamente instalado no eixo principal do eixo-árvore ou conectado a ele por uma junta ou acoplamento. Os acoplamentos são elementos de máquina que provem uma conexão entre dois sistemas, criando uma dependência mútua. São normalmente usados para transmitir movimento entre conjuntos girantes, unir eixos e compensar desalinhamentos entre o eixo motor e o eixo movido. A segunda alternativa é a transmissão indireta do movimento que utiliza um ou mais elementos de transmissão mecânica (STOETERAU, 2004).

Os atuadores (motores e turbinas) representam uma parcela considerável do peso total do conjunto do eixo-árvore, assim é interessante buscar soluções que permitam a redução de peso, principalmente nas extremidades e, se possível, transferindo este peso para a base. No acionamento indireto é necessário utilizar algum tipo de elemento de transmissão de potência, como polias, correntes, engrenagens, fusos e correias. Entretanto estes elementos agregam efeitos indesejados no desempenho do eixo-árvore devido a características de cada tipo de elemento utilizado.

2.4.9 Refrigeração

Segundo Araújo (2009), a maioria das máquinas “Dicing Saw” possuem dois sistemas de arrefecimento ou refrigeração: o sistema de refrigeração do Spindle e o sistema de refrigeração do disco de corte (disco diamantado ultrafino de alta precisão).

Os Spindles acionados por atuadores elétricos, em geral, são refrigerados, basicamente, por três métodos; ar ventilado, ar comprimido e líquido refrigerado. Os métodos mais eficientes de refrigeração permitem aos spindles uma troca térmica eficiente, mantendo a qualidade mesmo em ciclos de trabalho mais severos (PDS, 2007).

A troca térmica através de ventiladores apresenta duas versões: um ventilador elétrico independente que permite uma velocidade constante não obstante a velocidade do Spindle ou um ventilador acoplado diretamente ao sistema do Spindle, este último é o mais popular e o de menor custo, mas, também o menos eficiente, a grande vantagem é que sistema não exige uma fonte de motriz auxiliar (PDS, 2007).

A troca térmica através de ar comprimido é o mais recomendado para ambientes agressivos ou onde um sistema de arrefecimento mais eficaz se faz necessário, sendo que as taxas de consumo dependem das características do Spindle. A troca térmica através de líquido refrigerante em sistema de malha fechada com Chiller (resfriador) é a configuração mais robusta no controle da temperatura, sendo a mais utilizada na construção de máquinas onde existe uma gama de velocidade muito grande e os baixos níveis de ruído são essenciais (PDS, 2007).

Ao escolher uma das técnicas de arrefecimento alguns fatores importantes devem ser considerados:

1. Potência do eixo;
2. A temperatura mínima e máxima do ambiente;
3. Temperatura máxima do fluido de circulação, se ele vai ter contato direto com a carcaça do eixo;
4. Carga de resfriamento total (considerar todas as fontes de calor);
5. Carga térmica;

6. Fluxo e requisitos de pressão de fluido de arrefecimento do eixo;
7. Localização dos sensores de temperatura;
8. Temperatura de trabalho;
9. Fluido de refrigeração a ser usado;
10. Viscosidade do fluido de arrefecimento;
11. Complexidade da instalação.
12. Requisitos elétricos;
13. Ciclo operacional - tempo ocioso versus tempo operacional;
14. Fonte de Refrigeração - Circuito de água gelada, resfriador do tipo radiador, refrigerador, etc;
15. Tipo do condensador, necessidade da instalação de um “chiller” (água refrigerada) ou de um resfriado de ar;
16. Proteção do Spindle - Perda de vazão de refrigeração e / ou excesso de temperatura (DIMPLEX, 2008).

O sistema de arrefecimento deve manter estável a temperatura do Spindle isto é essencial para o seu bom funcionamento, evitando dilatações e deformações. Na maioria dos Spindles destinados a máquinas Dicing saw o próprio fluido dinâmico do sistema é o elemento refrigerante. Algumas versões usam o nitrogênio como fluido dinâmico, devido ao grau de pureza (ARAUJO, 2009).

A refrigeração do disco abrasivo de corte deve ser feita de forma eficiente, pois normalmente, a usinagem de materiais frágeis gera grandes quantidades de calor, podendo gerar deformações e danos à ferramenta de corte e ao material. Na maioria dos casos, água destilada é usada, evitando a impregnação de minerais nas tubulações de refrigeração da máquina (ARAUJO, 2009).

2.4.10 Mancais

Burato (2003), define mancais como componentes estruturais que permitem o movimento de um elemento em relação a outro, sendo em geral, o movimento restrito a um grau de liberdade. Para Stoeterau (2004), mancais são elementos de máquinas que

apresentam um movimento relativo entre seus elementos constituintes, onde o movimento de translação em qualquer direção deve ser minimizado, se não proibido, deixando livre a rotação somente em torno de um eixo.

Purquerio (2003), descreve doze tipos de mecanismos de operação de mancais: a) mancal de elemento girante (rolamento), b) mancal de atrito seco (DU), c) mancal de lubrificação com extrema pressão (Boundary), d) mancal hidrodinâmico e elastohidrodinâmico, e) mancal hidrostático e aerostático, f) mancal de película comprida (Squeeze film), g) mancal magnético e eletromagnético, h) mancal eletrostáticos, i) mancal magnetohidrodinâmico e magnetohidrostático, j) mancal de lâminas flexíveis (flexures), k) mancal de tensão superficial, l) mancal a laser.

Figura 2.31 – Classificação dos mancais quanto à sustentação.
(Fonte STOETERAU, 2004).

Stoeterau (2004), sugere que os mancais sejam classificados pela forma de sustentação, basicamente, em cinco tipos: a) de deslizamento, b) com elementos girantes, c) com filme de fluido, d) magnéticos e e) especiais, figura 2.31.

Segundo Stoeterau (2004), a precisão de giro é afetada diretamente pela qualidade dos mancais, os quais têm um aumento de custo exponencial com a melhora da classe de

precisão. Entretanto a seleção não deve comprometer os requisitos de rigidez, velocidade, aceleração e vida útil, sendo que esses devem ser super dimensionados quanto à relação entre carga e a vida útil. De modo geral, a intensidade e direção das forças geradas nos processos de usinagem, com ferramentas de geometria definida, carga máxima estimada para o material, velocidade de corte e as características de precisão exigidas, determinam a escolha do tipo de mancais a serem utilizados.

Mancais de elementos rolantes proporcionam uma rigidez muito boa, a qual pode ser otimizada com pré-tensionamento adequado. Mancais de elementos cerâmicos apresentam maior rigidez do que os de elementos metálicos e possibilitam a operação em velocidades muito maiores, ao passo que mancais a filme fluido tem sua rigidez associada a um projeto e fabricação cuidadosos. Mancais magnéticos permitem a obtenção de rigidez infinita, principalmente pela ação da malha de controle sobre os campos magnéticos de sustentação do mancal, o que possibilita compensação em tempo real dos deslocamentos provocados pela variação das forças sobre a ferramenta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o projeto proposto é prevista a especificação de um conceito para um sistema de mancais para um eixo-árvore de alta velocidade (High Speed Spindle) para uma minimáquina “Dicing Saw”, a máquina supracitada tem como objetivo o corte de amostras de material cerâmico para o laboratório de Tribologia da EEM - USP de São Carlos-SP. O procedimento experimental está fundamentado em análise que comprova a funcionalidade da metodologia TRIZ, como um conjunto de ferramentas que auxiliam a emergência de soluções criativas para problemas inventivos, com alto grau de exatidão e rapidez.

O sistema de mancais é uma das partes mais importantes do projeto de um eixo-árvore de alta velocidade (high speed spindle), a dificuldade está na escolha e/ou concepção de um mancal adequado. Existem muitos tipos de mancais disponíveis, com vantagens e desvantagens em diferentes condições de aplicação.

3.1 – Introdução

Todos os sistemas técnicos são desenvolvidos para cumprir *funções úteis* desejáveis. Uma destas funções pode ser definida como a *função positiva principal*, esta função determina a finalidade do sistema e tudo o que se espera dele. Outras funções do sistema são as *funções úteis secundárias*, que agregam valor ao sistema e as *funções essenciais* que permitem a funcionalidade do mesmo (custos do sistema). Há também as *funções indesejáveis* (negativas) e entre elas há a *função negativa principal* que representa o obstáculo principal ao desenvolvimento do sistema. As funções negativas reduzem o nível de eficiência das funções positivas do sistema ou conduzem a outros efeitos negativos indesejáveis no próprio sistema ou em outros sistemas nas cercanias deste.

É apresentado um sistema técnico como um conjunto de funções elementares, executadas em uma determinada seqüência. Para descrever todos os métodos possíveis de executar uma função elementar, é necessário apresentá-la sob a forma de uma ação elementar na zona operacional, Figura 3.1.

Figura 3.1 – Estrutura mínima de um sistema técnico

3.2 – Definição do problema

O problema concentra-se na elevada exigência dos parâmetros de desempenho de uma máquina de ultraprecisão que estão diretamente ligados as suas características

funcionais fundamentais tais como: precisão de giro, rigidez elevada, repetibilidade dos movimentos, capacidade de carga, estabilidade estática e dinâmica de seus componentes.

Figura 3.2 – Spindle com mancal de elementos girantes (Araujo,2009)

Segundo Araujo (2009), em operações com pequena largura de usinagem, como as encontradas em usinagem com serras de ultraprecisão (*Dicing Saw*), as vibrações devem ser mínimas e o processo é denominado de usinagem estável.

A meta de qualidade é obter cortes cada vez mais estreitos, com precisão, flexibilidade na trajetória de corte, com menores danos ao produto e com alto índice de produtividade. O corte de substratos cerâmicos ou de silício, quando feito por meio abrasivos, emprega-se disco diamantado ultra fino de espessura próxima a 0,2 mm, de alta precisão e velocidades periféricas acima de 30 m/s. Em procedimentos feitos com Spindle da marca Champion com rotação de 55.000 rpm, torque de 0,09 N.m, potência de 500 W, equipado com mancais de rolamentos esféricos, a operação de corte de wafer de silício apresentou a produção de lascas e propagação de trincas. No corte de alumina se mostrou com baixo torque e nível de ruído muito elevado.

Figura 3.3 – Produção de lacas e propagação das trincas (Araujo,2009)

Stoeterau (2004) define mancal, de uma forma genérica, como sendo “todos os elementos onde o movimento de translação em qualquer direção deve ser minimizado, se não proibido, deixando livre a rotação somente em torno de um eixo.” Assim, foi adotada, para o presente estudo, a definição para mancal como: “elemento de máquina que serve de apoio e guia para eixos, pivôs ou rodas, possuindo a característica de diminuir o atrito provocado pelo movimento relativo de rotação entre a parte fixa e a parte girante conectadas por ele, permitindo somente este grau de liberdade”.

Assim, pode-se identificar que o problema concentra-se no campo de estudos da Tribologia que é definida como “A ciência e a tecnologia da interação entre superfícies com movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionadas”, mais precisamente nas qualidades atribuídas ao sistema de mancais (Stoeterau, 2004). Que consiste de elementos que apóiam o eixo, restringem o movimento e diminuem o atrito de giro entre o eixo e o alojamento na carcaça (elemento de fixação do conjunto).

3.2.1 Projeto Informacional

Esta etapa mostra o ponto de partida do problema de projeto, constata uma necessidade de mercado, para dirigir o estudo utilizou-se o Desdobramento da Função Qualidade (Quality Function Deployment – QFD), esta ferramenta ajuda a gerenciar os processos de desenvolvimento de maneira a manter o foco voltado para a satisfação das necessidades do cliente.

Figura 3.4 – Dicing LTC (Araujo,2009)

Segundo Akao (1990), o QFD converte os requisitos do consumidor em características de qualidade do produto e desenvolvimento da qualidade do produto por meio de desdobramentos sistemáticos e sucessivos. A primeira parte do QFD corresponde ao processo de desdobramento da qualidade, a casa da qualidade (ou matriz da qualidade) do QFD, que é obtida através do cruzamento da tabela dos requisitos do cliente (ou da qualidade exigida) com a tabela das características de qualidade (AKAO, 1990). Normalmente para levantar as necessidades dos clientes é aplicado um questionário em um grupo representativo do universo de possíveis clientes/usuários do produto a ser desenvolvido.

Necessidades dos clientes	Importância ou peso
Alta velocidade	5
Fácil montagem	2
Pequena cubagem	2
Baixo custo de operação	3
Vida (durabilidade)	3
Baixa vibração	5
Capacidade de carga	2
Fácil manutenção	4
Alta rigidez estática e dinâmica	5
Impacto ao meio-ambiente	4

Quadro 6 – Necessidades dos clientes de mancais para Spindle da mini Dicing Saw

Aqui foi feito um levantamento inicial das necessidades junto aos usuários, pesquisadores e orientadores do LTC – SEM - USP, em relação ao desempenho dos mancais para um Spindle que trabalha em uma mini dicing saw. As informações foram agrupadas em uma lista das necessidades dos clientes com os valores de importância relativa, quadro 6.

A seguir foi produzida uma lista de características da qualidade, composta por especificações do produto com o detalhamento das características técnicas básicas que podem ser mensurados, quadro 7. Estas especificações foram alinhadas com as linhas de pesquisas vigentes no LTC e as tendências futuras.

Direção da melhoria	Requisito	Unidade
↑	Bom amortecimento	N.s/m
↓	Baixo nível de vibrações (RMS -ISO 2372)	mm/s
↑	Alta capacidade de carga	N
↑	Resistência a umidade	kg/m³
↑	Precisão de giro (JIS B 1514)	Classe
↓	Baixo custo de fabricação	R\$
↑	Alta rigidez	N/m
↑	Desempenho em alta velocidade	RPM
↓	Desgaste	mg/ano
↑	Ruído	dB
↑	Resistência a poeira	mg/ m³
↑	Estabilidade térmica	°C
↑	Longa vida útil	h
↑	Tempo estimado desenvolvimento e fabricação	min
↑	Confiabilidade	%

Quadro 7 – Características técnicas (requisitos da qualidade) para mancais de Spindle

Foram identificadas as correlações entre as características técnicas, utilizando o teto da Casa da Qualidade. Esta matriz mostra o cruzamento entre as características do produto, sempre duas a duas, permitindo identificar como elas se relacionam. Estas relações podem ser de apoio mútuo (quando o desempenho favorável de uma característica ajuda o desempenho favorável da outra) ou de conflito (quando o desempenho favorável de uma prejudica o desempenho da outra, semelhante ao conceito de Contradição Técnica da metodologia TRIZ).

Figura 3.5 – Casa da qualidade - QFD

3.3 – Ferramentas da metodologia TRIZ

Para emergir a solução inventiva e eliminar a contradição de forma eficaz, a metodologia TRIZ fornece um conjunto de ferramentas: 40 princípios inventivos, Matriz da contradição, Análise Campo-substância, ARIZ, etc., descritos no tópico 2.3. No presente estudo faz-se uso dos “Princípios inventivos” e a “Matriz das contradições”, logo após será aplicada a primeira etapa da ARIZ (Análise do problema), apesar da aplicação completa do ARIZ estar voltada para a solução de problemas complexos, a sua aplicação, mesmo que parcial, é de grande utilidade nas primeiras incursões à metodologia TRIZ, servindo como guia na escolha das ferramentas a serem utilizadas (Demarque (2005)).

1- Análise do problema.

1.1 - Descrever o problema, elaborar CT-1 e CT-2.

1.2 - Definir os elementos conflitantes.

1.3 - Construir modelos gráficos para as contradições técnicas.

1.4 - Selecionar um modelo gráfico para análise posterior.

1.5 - Intensificar o conflito.

1.6 - Descrever o modelo de problema.

1.7 - Aplicar as Soluções Padrão (Standards).

3.3.1 – Análise do problema

A fim de reduzir a área da investigação é necessário transformar uma “situação inicial” em um “problema específico”. A “situação inicial” é uma situação com alguma característica ou propriedade indesejável (prejudicial) eleita, qualquer “situação inicial” pode ser transformada em um “problema específico” com a introdução (ou remoção) de algumas restrições.

O objetivo principal da primeira parte do ARIZ é tornar clara a situação do problema inventivo construindo um esquema bem definido e relativamente simples. Para isso (Demarque (2005), recomenda a utilização do Questionário da Situação Inovadora (ISQ - Innovation Situation Questionnaire). O ISQ foi desenvolvido pela Kishinev School of TRIZ, na Moldávia e, é disponibilizado comercialmente pela *Ideation International*, através do *software Innovation WorkBench (IWB Software)*. O objetivo da ferramenta é ajudar a definir corretamente o problema a ser resolvido, através da explicitação do maior número possível de informações relevantes.

Neste trabalho para auxiliar nesta análise preliminar utilizou-se o ISQ adaptados de Terninko, Zusman, Zlotin (1998). O ISQ é constituído por um conjunto de perguntas que ajudam a definir a situação do problema de um novo ponto de vista. As perguntas não são tipicamente orientadas para engenharia ou administração, mas sim cuidadosamente selecionadas e compiladas para o pensamento inovador, ver apêndice A.

3.3.1.1 Descrever o problema atual

Na abordagem de ARIZ sobre a descrição do problema se faz necessário as definições de MINI-problema e MAXI-problema. O MINI-problema leva a uma solução para aplicação em curto prazo, mantendo as funções originais dos elementos do sistema, já a solução do MAXI-problema leva a um conceito inovador, já que só a função final é o elemento inalterável, assim este conceito está diretamente ligado com a posição estratégica da empresa perante o mercado, porém é uma solução que necessita de um prazo maior de desenvolvimento.

A solução encontrada para um MINI-problema é da mesma classe da indústria atual, voltada para melhorar as condições dos elementos que constituem o sistema original sem grandes modificações. Conforme a definição “*tudo no sistema permanece o mesmo, e a função exigida é realizada com mudanças mínimas no sistema existente*”. O deslocamento da solução do problema inventivo para um MINI-problema não significa que seja um problema pequeno. Ao contrario, ao introduzir as condições restritivas ao problema (o resultado deve ser obtido por si mesmo, "sem nada") ele orienta para a intensificação do conflito e não antecipa ou descarta soluções convencionais de compromissos (*trade-off*). A definição de MINI-problema está ligada a meios mínimos, por que assegura “mudanças mínimas ao sistema”.

Diferentemente a solução encontrada para um MAXI-problema não está na mesma classe da indústria da solução atual, ela esta voltada para soluções de vanguarda, com o máximo de mudanças na solução (apenas a função é mantida). Conforme a definição “*tudo é novo apenas a função exigida permanece a mesma no sistema*” (Altshuller, 1985).

MINI-problema do mancal:

Um sistema técnico que apóia um eixo, facilita a sua rotação (reduzindo os efeitos do atrito) e limita ou impede os outros movimentos no eixo, constituído de elementos

girantes, que se mantêm distribuídos uniformemente através de uma gaiola de separação, confinados entre dois anéis, um interno e outro externo, de movimento independente relativo entre si.

MAXI-problema do mancal:

Um sistema técnico que apóia um eixo, facilita a sua rotação (reduzindo ou eliminando os efeitos do atrito) e limita ou impede os outros movimentos no eixo, inclui uma área de contato ao redor do eixo, uma área de contato ao redor da área de apoio do mancal e possui duas faces laterais para limitar o movimento axial.

Figura 3.2 – Árvore Funcional

A contradição técnica é um conflito entre características dentro de um sistema: a melhoria de um parâmetro do sistema conduz a piora de outro parâmetro. Em outras palavras, a introdução (ou melhoria) de uma ação útil, ou a eliminação (ou redução) de uma ação prejudicial, causa degradação (ou complicação) da totalidade ou parte do sistema.

Para definir a contradição atual do sistema e, fazendo uso do conceito da física clássica para definir: *atrito* como uma força natural que atua entre objetos em contato, agindo paralelamente às superfícies em contato e na direção oposta (resistência) a força que tende colocar os objetos em movimento relativo, e *lubrificantes* como substâncias que se interpõem entre superfícies em movimento relativo, formando uma película (camada) que minimiza o desgaste, substituindo o atrito seco pelo viscoso, este novo atrito ocorre entre as camadas do um fluido lubrificante (entre suas moléculas, interno).

Stoeterau (2004) enfatiza que no atrito sempre estão envolvidas duas superfícies e que, os parâmetros como o coeficiente de atrito devem ser relacionados com o par de materiais que interagem, salienta mais que, a existência de superfícies sem atrito é cientificamente impossível e que o desgaste não está diretamente relacionado ao atrito.

A energia mecânica consumida para vencer o atrito viscoso sobre a película fluída do lubrificante aquece o sistema, resulta em calor e ruído (perda/consumo de energia) que tem que ser administrado para que as características fundamentais sejam mantidas durante o processo de trabalho, é fundamental é evitar o desgaste excessivo entre as partes móveis e fixas do sistema.

O desgaste de forma genérica pode ser definido como uma mudança cumulativa e indesejável nas dimensões originais motivada pela remoção gradual de partículas discretas das superfícies em contato que possuem movimento relativo entre si, devido a ações mecânicas. Em um deslocamento relativo entre duas superfícies em contato é necessário aplicar uma força suficiente para vencer a resistência do atrito e com a continuidade do deslocamento (escorregamento) a força deve ser mantida, injetando energia no sistema. Essa energia se distribui no sistema na forma de deformação elástica, formação de partículas de desgaste, emissão de energia acústica e calor (na interface das superfícies em contato, elevando a temperatura acima da temperatura ambiente) (Stoeterau, 2004).

<Um mancal> deve <apoiar o eixo> porque < o eixo precisa descarregar as forças inerentes do trabalho e o peso próprio >, mas <um mancal> não deve <aumentar os efeitos negativos da interação das superfícies em contato> porque < isto acarreta na dissipação de energia na forma de calor e ruído além de provocar o desgaste>.

A contradição aqui é que se a velocidade do eixo aumenta a produção aumenta e os efeitos do atrito (calor e ruído) e o do desgaste entre as superfícies em contato aumentam. O problema pode ser reorganizado e declarado como: “Eu quero aumentar a velocidade e a produção, mas não quero aumentar as suas conseqüências na interação das superfícies em contato (calor, ruído e desgaste)”. Deve-se descrever o conflito de duas maneiras opostas.

Uma na tentativa de eliminar ou diminuir a ação indesejada, degradando a ação desejada e, a outra na tentativa de melhorar a ação desejada, aumenta-se a ação indesejada.

CT-1: SE [a velocidade aumenta] ENTÃO [a produção aumenta], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal aumentam].

(-) efeitos do atrito e o desgaste aumentam

Velocidade do eixo aumenta

(+) produção aumenta

CT-2: SE [a velocidade diminui] ENTÃO [a produção diminui], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal diminuem], **situação não permitida.**

(+) efeitos do atrito e o desgaste diminuem

Velocidade do eixo diminui

(-) produção diminui

Neste ponto abriremos uma lacuna na seqüência do ARIZ para aplicar a Matriz da Contradição.

3.3.1.2 – Matriz da Contradição

Os 40 princípios inventivos (PI) e a matriz da contradição (MC) são consideradas as ferramentas mais acessíveis e úteis da metodologia TRIZ. A Matriz da contradição contém 39 parâmetros de engenharia (PE) e 40 princípios inventivos genéricos (PI) para resolver as contradições. Os parâmetros de engenharia (PE) correspondem a uma tentativa de uniformizar a linguagem técnica na descrição de características dos sistemas técnicos (Demarque, 2005). A matriz da contradição é uma ferramenta que permite uma comparação a partir de um problema específico que está sendo enfrentado na atualidade com um problema genérico que tenha sido anteriormente resolvido. Isto ilustra uma forma de armazenamento de conhecimentos, de resolução de problemas e proporciona a re-utilização desse conhecimento em outras situações.

Para utilizar a Matriz de Contradições (MC) também conhecida como Matriz de Altshuller, deve-se primeiramente identificar as contradições técnicas (CT) envolvidas (tópico 3.4.1), transformá-las em parâmetros de engenharia (PE) e, posteriormente, localizar na Matriz de Contradições (MC) os princípios inventivos (PI) com maior potencial de aplicação (geralmente são de dois à quatro princípios), utilizados anteriormente na resolução de contradições análogas (Kiatake, 2004).

A contradição aqui é que se a velocidade do eixo aumenta os efeitos do atrito entre as superfícies em contato aumenta, aumentando o calor gerado e o desgaste das superfícies em contato.

CT-1: SE [a velocidade aumenta] ENTÃO [a produção aumenta], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal aumentam]. O problema pode ser reorganizado e declarado como: “Quer-se aumentar a velocidade e a produção, mas não quer-se aumentar as suas conseqüências na interação das superfícies em contato (calor, ruído e desgaste)”.

Convertendo as características técnicas (requisitos da qualidade) do QFD em parâmetros de engenharia da metodologia TRIZ, os parâmetros (PE) mais representativos do problema são:

- Velocidade (9) (Velocidade de corte);
- Estabilidade da Composição (13) (Desgaste);
- Durabilidade da ação do objeto em movimento (15) (Desgaste);
- Temperatura (17) (Dissipação do calor);
- Perda de energia (22) (Dissipação do calor);
- Perda de substância (23) (Desgaste);
- Quantidade de substancia ou matéria (26) (Desgaste) e
- Capacidade ou produtividade (39) (Velocidade de corte).

Trazendo as correlações de conflito mútuo entre as características técnicas, utilizando o teto da Casa da Qualidade podemos resolver o problema descrito acima, utilizando um jogo de parâmetros considerado mais representativo: o parâmetro a ser melhorado o de nº 15 (*durabilidade do objeto – vida útil*) e o parâmetro que não deve degradar-se o de nº 13 (*fatores que provocam o desgaste*).

		Forma	Estabilidade da composição do objeto	Resistência	Duração da ação do objeto em movimento
		12	13	14	15
13	Estabilidade da composição do objeto	22, 1, 18, 4	+	17, 9, 15	13, 27, 10, 35
14	Resistência	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	+	27, 3, 26
15	Duração da ação do objeto em movimento	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	+

Figura 3.3 – Extrato da Matriz da Contradição

Os três princípios genéricos correspondentes na matriz são os Princípios (PI): 03,13 e 35.

03 - Qualidade localizada;

13 - Inversão (ao contrário);

35 - Mudança de parâmetros e/ou propriedades.

Um princípio promissor aqui é o de nº 35, que diz para mudar os parâmetros, que pode ser mudar a dureza, o estado físico, a densidade ou as características e propriedades das superfícies.

Solução conceitual 1: Mudança dos parâmetros e propriedades. A solução pode ser construir os elementos dos rolamentos com materiais que possuem outras características, menor coeficiente de atrito, menor densidade, por exemplo, construir esferas através da sinterização sólida de um compósito de matriz metálica, aumentando a dureza da matriz metálica através da dispersão de partículas nanométricas de um material de alta dureza.

Solução conceitual 2: Mudança dos parâmetros e propriedades. A solução pode ser construir os elementos dos rolamentos com materiais que possuem outras características, menor coeficiente de atrito, menor densidade, por exemplo, construir esferas através da sinterização de material cerâmico, a base de Alumina e Carbetto de Silício ou Zircônia.

Outro princípio promissor aqui é o de nº 03, que diz para mudar as características do objeto, de uma estrutura homogênea para uma estrutura heterogênea.

Solução conceitual 3: Qualidade localizada ou local. A solução pode ser aplicar nos componentes do rolamento, pistas ou elementos rolantes, um nanorevestimento cerâmico, com deposição por laser pulsado.

Ainda podemos explorar os outros princípios citados ou formar novos jogos de parâmetros ou ainda inverter os mesmos, com o objetivo de emergir uma solução para o problema inventivo, solucionando a contradição.

Ou podemos representar o problema descrito como: o parâmetro a ser melhorado é o nº. 09 (*velocidade de corte*), e o parâmetro que não deve degradar-se é nº 13 (*fatores que provocam o desgaste*).

		Forma	Estabilidade da composição do objeto	Resistência
		12	13	14
8	Volume do objeto estático	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15
9	Velocidade	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14
10	Força (Intensidade)	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27

Figura 3.4 – Extrato da Matriz da Contradição

Os quatro princípios genéricos correspondente nos parênteses são os Princípios (PI):

01, 28, 33 e 18.

01 – Segmentação;

18 – Vibração mecânica;

28 - Substituição dos meios mecânicos;

33 – Homogeneidade.

Um princípio promissor é o de nº 28, que diz substituir o sistema mecânico, que pode ser substituir o sistema mecânico existente por um sistema de campo (elétrico, magnético, eletromagnético, etc.), de modo que o atrito entre o eixo e o assento seja reduzido.

Solução conceitual 4: Substituir o sistema mecânico por sistema de campo. A solução pode ser o desenvolvimento de mancais eletromagnéticos com sistema de controle ativo.

Ou ainda podemos representar o problema descrito como: o parâmetro a ser melhorado é o nº. 23 (*diminuição do material constitutivo do objeto*) e o parâmetro que não deve degradar-se é nº 17 (*acréscimo de calor*).

		<div>Piorou</div> <div>Parâmetro que melhorou</div>		
		Perda de energia	Perda de substância	Perda de informação
		22	23	24
16	Duração da ação do objeto estático		27, 16, 18, 38	10
17	Temperatura	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	
18	Brilho	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6

Figura 3.4 – Extrato da Matriz da Contradição

Os quatro princípios genéricos correspondente nos parênteses são os Princípios (PI):

21, 31, 29 e 36.

21 – Aceleração;

29 – Construção pneumática ou hidráulica;

31 – Uso de materiais porosos;

36 – Mudança de fase;

Um princípio promissor é o de nº 31, que diz use materiais porosos, que pode ser substituir o material dos elementos girantes, de aço para material cerâmico poroso, com menor densidade e menor coeficiente de atrito.

Solução conceitual 5: Utilizar materiais cerâmicos. A solução pode ser o desenvolvimento de elementos girantes de material cerâmico, a base de Zircônia e Nitreto de Silício, para substituir os elementos girantes metálicos, ganhando em faixa de temperatura de trabalho, rotações máximas e vida útil além de, trabalharem sem lubrificação e serem resistentes a ambientes abrasivos.

É possível explorar mais a matriz da contradição utilizando outros pares de parâmetros de engenharia emergindo outras soluções. Mas para fins do caso em questão o estudo será encaminhado para o final da primeira parte do ARIZ.

3.3.1.3 Definir os elementos conflitantes

Mancal pode ser apresentado como um conjunto de funções elementares; 1- *“apoiar o eixo”* (no sentido radial), 2- *“facilitar o movimento de rotação”* (diminuindo o atrito), 3- *“restringir outros movimentos”*, 4- *“produzir todas as funções anteriores de forma simultaneamente e contínua”*.

Representamos o sistema através de 3 elementos básicos:

1. Uma *ferramenta* (S2) que executa a função principal (mancal).
2. Um *objeto* ou *produto* (S1) a ser processado ou obtido (eixo).

3. Um *Campo* (F) é a forma de energia/força ou ação aplicada pela ferramenta sobre o *objeto* (força que sustenta o eixo).

Figura 3.5 – Mancal de elemento girante (STOETERAU, 2004)

O objeto é o elemento que, segundo as condições do problema, requer elaboração (produção, mudança, melhoria, descobrimento, proteção a ação nociva, etc.). A ferramenta é o elemento que interage com o objeto.

3.3.1.4 Construir um esquema gráfico do problema

CT-1:

CT-2:

3.3.1.5 Selecionar um modelo gráfico para análise posterior

A partir dos dois sistemas gráficos construídos, tópico 3.3.1.3, selecionar aquele que oferece a melhor possibilidade de resolução ou melhor desempenho para o processo principal (ou a função principal do sistema tecnológico, como indicado na descrição do problema).

CT-1: SE [a velocidade aumenta] ENTÃO [a produção aumenta], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal aumentam].

Figura 3.6 – Análise Substância-Campo

3.3.1.6 Intensificar o conflito

Para intensificar o conflito é necessário considerar as circunstâncias, intensificar ambos os efeitos: negativo e positivo, bem como efeitos posteriores.

SE [o eixo para de girar] ENTÃO [a produção é nula], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal é zero],

SE [o eixo gira na velocidade mínima de corte da ferramenta] ENTÃO [a produção é baixa], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal são pequenos],

SE [a velocidade aumenta] ENTÃO [a produção aumenta], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal aumentam].

SE [a velocidade tende a infinito] ENTÃO [a produção é máxima], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal aumentam a níveis inaceitáveis].

3.3.1.7 Descrever o modelo do problema

Definir os requisitos para as condições específicas em que o sistema irá funcionar. Formular o modelo do problema indicando o seguinte:

- 1) O par de elementos conflitantes: <eixo> e o <mancal>
- 2) A definição do conflito intensificado: SE [a velocidade aumenta] ENTÃO [a produção aumenta], MAS TAMBÉM [os efeitos do atrito e o desgaste no mancal aumentam].
- 3) O que o elemento “X”, desconhecido, deve fazer.

É necessário encontrar um elemento “X” que: permita o aumento da velocidade do eixo sem permitir que os efeitos do atrito e o desgaste aumentem.

3.3.1.8 Aplicar as 76 Soluções Padrão (Standards)

As *76 Soluções Padrão* (Standard Solutions) ou simplesmente *Padrões* da metodologia TRIZ é um conjunto de modelos de soluções inventivas genéricas utilizadas para resolver problemas inventivos típicos, como descrito no tópico 3.2.14. O modelo inventivo e as restrições são usados para identificar a classe e a solução específica. As 76 soluções padrão de TRIZ foram compiladas por Altshuller e seus associados entre 1975 e 1985. São agrupados em 5 classes conforme o quadro 6.

Para solucionar o MINI-problema aplica-se a 1ª classe das soluções:

- “melhorar o sistema com poucas ou sem mudanças”.

A 1ª classe de soluções propõe modificar o sistema para obter um resultado desejado ou para eliminar um resultado indesejável, com pequenas ou sem alterações no sistema.

Da solução padrão de nº 1.1.2, “O sistema não pode ser alterado, mas é aceitável adicionar um elemento interno S3, permanentemente ou temporariamente. Incorporar um aditivo interno em qualquer S2 ou S1”, pode-se abstrair a **Solução conceitual 6**: Produzir um material compósito para diminuir o coeficiente de atrito. A solução pode ser o desenvolvimento de um material compósito vitrocerâmico para a fabricação de mancais de deslizamento.

Da solução padrão de nº 1.1.3, “O sistema não pode ser alterado, mas é aceitável adicionar um elemento externo S3, permanentemente ou temporariamente. Da mesma forma que a solução 1.1.2, mas o aditivo é externo para alterar qualquer S1 ou S2”, pode-se abstrair a **Solução conceitual 7**: Produzir uma película lubrificante entre as partes de contato. A solução pode ser o desenvolvimento de um lubrificante à base de cristal líquido para os mancais de deslizamento.

Para solucionar o MAXI-problema aplica-se a 2ª classe das soluções:

- “melhorar o sistema mudando o sistema”.

A 2ª classe de solução propõe modificar um sistema para obter um resultado desejado ou para eliminar um resultado indesejável, mudando o sistema original.

Da solução padrão de nº 2.2.3, “Mudar a estrutura do objeto para um material poroso ou capilar que possibilite a passagem de um gás ou líquido”, pode-se abstrair a **Solução conceitual 8**: Produzir um mancal completo ou parte dele com material poroso, com aberturas capilares, para introduzir um gás ou líquido como meio lubrificante. A solução pode ser o desenvolvimento de mancais de filme fluido, que pode ser aerostático ou hidrostático.

3.3.2 Soluções conceituais encontradas

O desenvolvimento da metodologia TRIZ com a Matriz da Contradição, Princípios Inventivos, algoritmo ARIZ, em sua etapa inicial, 76 Soluções Padrão e o ISQ conduziram sistematicamente as soluções conceituais para os mancais aplicados em cabeçotes de alta rotação denominados “*spindles*”. A metodologia indicou como:

Solução conceitual 1: Mudança dos parâmetros e propriedades. A solução pode ser construir os elementos dos rolamentos com materiais que possuem outras características, menor coeficiente de atrito, menor densidade, por exemplo, construir esferas através da sinterização sólida de um compósito de matriz metálica, aumentando a dureza da matriz metálica através da dispersão de partículas nanométricas de um material de alta dureza.

Solução conceitual 2: Mudança dos parâmetros e propriedades. A solução pode ser construir os elementos dos rolamentos com materiais que possuem outras características, menor coeficiente de atrito, menor densidade, por exemplo, construir esferas através da sinterização de material cerâmico, a base de Alumina e Carbetto de Silício ou Zircônia.

Solução conceitual 3: Qualidade localizada ou local. A solução pode ser aplicar nos componentes do rolamento, pistas ou elementos rolantes, um nanorevestimento cerâmico, através da deposição por laser pulsado.

Solução conceitual 4: Substituir o sistema mecânico por sistema de campo. A solução pode ser o desenvolvimento de mancais eletromagnético com sistema de controle ativo.

Solução conceitual 5: Utilizar materiais cerâmicos. A solução pode ser o desenvolvimento de elementos girantes de material cerâmico, a base de Zircônia e Nitreto de Silício, para substituir os elementos girantes metálicos, ganhando em faixa de temperatura de trabalho,

rotações máximas e vida útil além de, trabalharem sem lubrificação e serem resistentes a ambientes abrasivos.

Solução conceitual 6: A solução pode ser produzir um material compósito para diminuir o coeficiente de atrito. A solução pode ser o desenvolvimento de um material compósito vitrocerâmico para a fabricação de mancais de deslizamento.

Solução conceitual 7: Produzir uma película lubrificante entre as partes de contato. A solução pode ser o desenvolvimento de um lubrificante à base de cristal líquido para os mancais de deslizamento.

Solução conceitual 8: Produzir um mancal completo ou parte dele com material poroso, com aberturas capilares, para introduzir um gás ou líquido como meio lubrificante. A solução pode ser o desenvolvimento de mancais de filme fluído, que pode ser aerostático ou hidrostático.

3.3.3 Escolha da solução conceitual mais viável

Para buscar a melhor alternativa para a solução conceitual dentre as geradas é necessário utilizar algum método sistemático para auxiliar no processo de decisão.

Segundo Rozenfeld (2006) na seleção da solução conceitual deve-se analisar, valorar e selecionar a alternativa conceitual mais adequada. Para Back e Forcellini (2003), a seleção deve ser feita através da comparação absoluta, julgando a viabilidade, baseado nas limitações tecnológicas, custos e satisfação das necessidades do cliente ou, então, através de uma comparação relativa, avaliando os conceitos entre si.

Para o caso em estudo será aplicado à comparação relativa entre as alternativas conceituais encontradas. Os valores são dispostos na Matriz de avaliação, baseada nas características técnicas, quadro 7, obtidas da fase informacional de desenvolvimento do produto.

Avaliação qualitativa das soluções	Fatores
Não aplicável	0
Ruim	1
Regular	2
Moderado	3
Bom	4
Excelente	5

Quadro 8 – Critério de avaliação qualitativa

O critério mostrado no quadro 8 servem para definir o grau de importância de uma solução quando comparada com outra dentro do contexto do projeto do Spindle.

No quadro 9 atribua-se o peso para característica técnica da solução de acordo com o grau de importância em consonância com as necessidades dos clientes.

Peso	Requisito
3	Bom amortecimento
5	Baixo nível de vibrações (RMS -ISO 2372)
2	Alta capacidade de carga
2	Resistência a umidade
5	Precisão de giro (JIS B 1514)
2	Baixo custo de fabricação
2	Alta rigidez
2	Desempenho em alta velocidade
3	Desgaste
2	Ruído
2	Resistência a poeira
3	Estabilidade térmica
3	Longa vida útil
3	Tempo estimado desenvolvimento e fabricação
3	Confiabilidade

Quadro 9 – Características técnicas com grau de importância para mancais de Spindle

No quadro 10 as soluções estão representadas por números e são comparadas entre si. Ao final de cada linha são obtidos os pesos referentes à soma da pontuação da comparação entre as funções. A importância relativa das mesmas, ou seja, o peso relativo de cada função em relação ao total é determinado na última coluna. Neste caso são atribuídos valores numéricos para cada característica técnica, conforme quadro 8, são determinados os valores do produto entre o valor numérico e o peso atribuído para cada requisito e, a solução escolhida deve apresentar a melhor pontuação total.

	Solução conceitual	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
P	Requisito	i	Pi	i	Pi	i	Pi	i	Pi	i	Pi	i	Pi	i	Pi	i	Pi
3	Bom amortecimento	2	6	2	6	2	6	1	3	2	6	4	12	4	12	4	12
5	Baixo nível de vibrações (RMS -ISO 2372)	2	10	2	10	2	10	3	15	2	10	1	5	1	5	4	20
2	Alta capacidade de carga	3	6	3	6	3	6	4	8	3	6	4	8	4	8	2	4
2	Resistência a umidade	4	8	4	8	4	8	3	6	4	8	2	4	2	4	4	8
5	Precisão de giro (JIS B 1514)	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20	2	10	2	10	5	25
2	Baixo custo de fabricação	3	6	4	8	3	6	1	2	3	6	5	10	5	10	4	8
2	Alta rigidez	3	6	3	6	3	6	5	10	3	6	4	8	4	8	3	6
2	Desempenho em alta velocidade	4	8	4	8	4	8	5	10	4	8	1	2	1	2	5	10
3	Desgaste	3	9	3	9	3	9	5	15	3	9	1	3	1	3	5	15
2	Ruído	3	6	3	6	3	6	5	10	3	6	1	2	1	2	5	10
2	Resistência a poeira	2	4	2	4	2	4	3	6	2	4	3	6	3	6	5	10
3	Estabilidade térmica	3	9	3	9	3	9	1	3	3	9	1	3	1	3	5	15
3	Longa vida útil	3	9	3	9	3	9	1	3	3	9	1	3	1	3	5	15
3	Tempo estimado de desenvolvimento e fabricação	4	12	4	12	4	12	1	3	4	12	5	15	5	15	4	12
3	Confiabilidade	3	9	3	9	3	9	5	15	3	9	1	3	1	3	4	12
	Total	Σ	128	Σ	130	Σ	128	Σ	129	Σ	128	Σ	94	Σ	94	Σ	182

Quadro 10 – Matriz de avaliação das soluções conceituais

A união e sistematização de conhecimentos sobre mancais lubrificados a ar e cerâmicas estruturais na busca da solução de projeto conduziram à escolha de mancais aerostáticos cerâmicos porosos, apresentado pela solução conceitual de nº 8 que obteve somatório 182, maior que todas as demais soluções. Essa escolha implica em algumas vantagens significativas no desenvolvimento e utilização dos mancais, que incluem: boa

rigidez, distribuição do fluido (ar) mais uniforme dentro da folga radial do mancal, além de custos mais baixos de fabricação.

4 RESULTADOS

4.1 Desenvolvimento do conceito e teste experimental

Na descrição de Slocum (1992)¹ citada por Araujo (2009), mancais aerostáticos suportam cargas aplicadas com um fino filme de ar comprimido, que flui continuamente de dentro do mancal para a atmosfera.

Para o desenvolvimento do mancal requerido para uma minimáquina Dicing Saw foi desenvolvido um par de mancais radiais aerostáticos de cerâmica porosa para um eixo com diâmetro de 11 mm.

Foi obtido um conjunto de amostras, para a fabricação dos mancais cerâmicos porosos utilizando diferentes concentrações de agente formador de poros e diferentes tempos de moagens do material cerâmico. A determinação da forma e da distribuição dos poros da estrutura porosa foi obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por porosimetria por intrusão de mercúrio. O método para obtenção de poros escolhido considerou a adição de um componente que fosse disperso, degradável e volátil com o aumento da temperatura.

Como componente estrutural do mancal foi utilizada a Alumina Calcinada A1000 SG (Almatis) com diâmetro médio de partícula de 0,5 μm e área superficial de 6,0 a 8,0 m^2/g . Como agente formador de poros foi utilizada a sacarose PA (Synth). e como ligante o termoplástico PVB (Poli-Vinil-Butirol - Butvar B-98). As amostras porosas no formato de um mancal radial foram processadas com o material que apresentou a melhor permeabilidade (Silveira, 2006), ou seja, uma porosidade induzida na proporção

¹ SLOCUM, A. H. Precision Machine Design. Prentice – Hall, 1992.

de 55%. Os mancais porosos foram conformados a partir dos aglomerados por prensagem isostática do tipo *wet bag* a 100 MPa e em seguida foram usinados à verde, para se obter as seguintes dimensões nominais, após a sinterização: 14,0 mm (Diâmetro externo); 11,0 mm (Diâmetro interno) e 17 mm de comprimento.

Após a usinagem à verde a sacarose, foi removida quase completamente dos mancais em temperatura gradativa até 180°C. Em seguida, os mancais porosos foram sinterizados em forno elétrico, seguindo as taxas de 1°C/min da T_{amb} até 370°C, 5°C/min até atingir a temperatura de 600°C, e 10°C/min até 1500°C com patamar de 50 minutos a 1500°C.

A superfície do mancal foi desgastada com lixas de carbetto de silício (*mesh* #240, #320, #400 e #60, respectivamente) em meio aquoso. Em seguida, a superfície foi polida com pastas diamantadas (6 mm, 3mm e 1mm, respectivamente) e atacadas ao ar à 1420°C durante 6 minutos, para revelação dos contornos de grãos, conforme Figura 4.1, na qual observa-se uma porosidade homogênea e uniforme através do MEV.

Figura 4.1 – Microscopia por Varredura de Imagem – MEV. (SILVEIRA, 2006)

A avaliação por porosimetria estabelece as relações entre as partes de sacarose adicionada e a porosidade volumétrica final. Pode-se avaliar também por esse método, a distribuição de tamanhos de poros na matriz de alumina em função das concentrações

de agente poroso, como apresentado na Figura 4.2, (a) curva cumulativa e (b) curva normal. A distribuição dos tamanhos dos poros apresentou-se satisfatória, com uma curva de distribuição normal bem definida, com pouca dispersão em relação ao valor médio de poros de 0,8 μm . A porosidade induzida de 55% em volume de sacarose resultou em um valor aproximado de 25% de porosidade final no mancal.

Figura 4.2 – Resultado da porosimetria por intrusão de mercúrio. (SILVEIRA, 2006)

A permeabilidade da amostra com 55% de porosidade induzida apresentou um coeficiente de permeabilidade viscoso k_1 de $6,81 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ e um coeficiente de permeabilidade inercial de $1,2 \times 10^{-4} \text{ m}$, com porosidade média de 26,26 % e área superficial de 2,304 m^2/g , no qual o valor de k_1 contempla os valores mínimos de permeabilidade viscosa indicada pela literatura pertinente (Silveira, 2006).

Figura 4.3 – Projeto do mancal aerostático com bucha de cerâmica porosa. (SILVEIRA, 2006)

Cada mancal é composto de uma bucha externa de aço inoxidável (camisa) e um elemento interno de cerâmica porosa (mancal radial). Os dois elementos, mancal e camisa, foram montados e unidos por uma resina epóxi. A figura 4.3 (a) mostra o projeto do mancal e a figura 4.3 (b) mostra o desenho técnico da bucha de cerâmica.

A retificação interna das buchas cerâmicas garantiu precisão de forma e de dimensional e não levou ao fechamento de poros, fato comum na usinagem de buchas porosas de metais dúcteis, como bronze devido a deformação plástica do material.

Figura 4.4 – Prototipo do mancal

Os mancais foram montados em um eixo de 200 mm de comprimento. A Figura 4.4 (a) e (b) apresenta o projeto conceitual concebido para validar a metodologia TRIZ e o material poroso desenvolvido.

Figura 4.5 – Prototipo obtido.

O processo de obtenção do mancal aerostático poroso foram: desenvolvimento e fabricação de material poroso através da prensagem isostática no formato radial de usinagem à verde para obter as dimensões de projeto e, finalmente, foi sinterizado. No mancal aerostático foi aplicado ar comprimido à uma pressão de alimentação de 7 kgf/cm² (0,7 MPa). O objetivo deste ensaio foi estabelecer o carregamento limite, para exceder a folga de 0,02 mm, no qual ocorre o contato do eixo com a bucha cerâmica.

Figura 4.6 – Prototipo inicial.

Uma carga foi posicionada na posição central do eixo (figura 4.6) para verificar a capacidade de carga do mancal poroso concebido. Aplicando ar comprimido à uma pressão de alimentação de 7 Kgf/cm² o sistema suportou uma carga estática de até 10N.

Figura 4.7 – Close do mancal montado.

5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 – Conclusões

A aplicação da metodologia TRIZ no estudo de caso de sistema mecânico simples, como o apresentado, direcionou a decisão da escolha da solução conceitual para mancais aerostáticos, magnéticos e elementos rolantes esféricos cerâmicos, sendo estas as principais tendências de solução para spindles para aplicação em máquinas Dicing Saw, validando-a sobre maneira e sendo recomendada para aplicação de sistemas complexos com maior grau de incerteza. A decisão pelos mancais aerostáticos considerou características próprias do LTC.

Demonstrou-se durante a dissertação a aplicabilidade e importância das ferramentas da metodologia TRIZ no processo de projeto de produtos, voltadas para a fase de projeto conceitual, uma abordagem sistemática que dá maior produtividade ao processo criativo em projetos de novos produtos e re-projetos de produtos existentes.

A aplicação da metodologia TRIZ no estudo de caso de um sistema mecânico relativamente simples, mostrou com aplicá-la e, o resultado obtido direcionando para as soluções emergentes na área de desenvolvimento de Spindles valida e consolida as futuras aplicações em produtos complexos.

O estudo de caso, que serviu de base para sistematização do processo de aplicação da metodologia TRIZ buscando a sua avaliação como ferramenta de emergência de idéias criativas dentro da fase conceitual de desenvolvimento de produto.

Verificou-se que, para o êxito na aplicação da metodologia TRIZ e a conseqüentemente emergência de uma grande quantidade de conceitos viáveis para a solução do problema de projeto, é necessário que o problema esteja bem definido e contemple os requisitos técnicos que atendam as necessidades latentes dos clientes, para isto o ISQ é de grande utilidade. Os custos de desenvolvimento estão intimamente ligados com o “lead time”

do produto, assim uma abordagem sistemática da fase conceitual torna-a mais transparente e mensurável, dando maior segurança aos investidores.

Tendo em vista a responsabilidade central dos projetistas com as propriedades técnicas e econômicas do produto, e a importância comercial do desenvolvimento de um produto oportuno e eficiente, é importante ter um bom procedimento de projeto, sistemático e eficaz, para encontrar soluções inventivas. Os procedimentos sistemáticos fornecem uma maneira eficaz racional aos processos de projeto, e conseqüentemente pode dirigir os esforços dos projetistas, transformando rotas aleatórias e inconscientes em trajetos conscientes e significativos.

O grande potencial da metodologia TRIZ esta precisamente na forma com que esta metodologia permite captar ideias de varios setores industriais e áreas de conhecimento que a empresa normalmente não domina. Em um mundo onde as tecnologias e processos são cada vez mais multi-disciplinares, com áreas, como a electromecânica e a informática, tão dinâmicas que só os seus maiores especialistas conhecem todas as novidades, o benefício é evidente – com a metodologia TRIZ não é preciso ser especialista de uma determinada área para extrair uma solução nela patentada.

A metodologia TRIZ não substitui a capacidade criativa, ela é uma ferramenta que guia a criatividade, introduzindo uma abordagem baseada no conhecimento das patentes de forma sistemática, que desperta um novo conceito adotando um novo ponto de vista do problema inventivo. Na maioria dos casos as recomendações de TRIZ têm a natureza genérica e abstrata, e a criatividade é definitivamente necessária para traduzir estas recomendações em idéias e soluções específicas. Para alcançar êxito na solução do problema a estrutura de TRIZ deve ser utilizada como heurística, e deve ser aplicada de forma interativa, alternado entre a solução, análise e definição. A busca de conceitos que atendam a solução do problema deve ser investigada a cada etapa.

5.2 – Sugestões para futuros trabalhos

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, foram elucidados alguns pontos que poderão ser explorados em trabalhos futuros e contribuir para o aperfeiçoamento dos conceitos apresentados.

É necessário para isto determinar fatores relacionados e sua implementação, além de analisar os resultados obtidos na prática. Ainda, pode-se estudar e detalhar profundamente, a sistemática da utilização dos conceitos das ferramentas da metodologia TRIZ, em relação à aplicação e proposição de ações. Um estudo que resultasse em um banco de efeitos (BE), demonstrando a suas aplicações, poderia ser de grande valia para a classe científica e grupos de desenvolvimento de produtos. Por fim, um sistema especialista pode ser desenvolvido para facilitar a aplicação da metodologia, propondo formas de conciliar as informações provenientes de outras áreas. A construção de um sistema baseado no conhecimento, permitiria a identificação das tendências de inovação e facilitaria o processo criativo dos grupos de desenvolvimento de produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, A. C. S., **Como inovar e proteger a propriedade intelectual?**

Disponível em:

<http://www.aesbrasil.org/docs/Congresso2007/INPI_patentes_Abrantes.pdf> Acesso em:

28 mar. 2011.

ALTSHULLER, G.S. **To Find an Idea**. Novisubirsk, Russia: Nauka Center, 1986.

ALTSHULLER G.S. **Creativity as an Exact Science**, Gordon and Breach, New York, 1988.

ALENCAR, E. M. L. S. **Criatividade**. Brasília: Editora UnB. 1993.

ANDERSON, H.H. **Creativity and Its Cultivation**, New York: Ed. Harper & Row, 1959.

ANDREASEN M. M.; HEIN L. **Integrated product development**. Bedford: Springer- Verlag, 1987.

APTE, P.R. **Introduction to TRIZ, Innovative Problem Solving**. Disponível em:

<http://www.ee.iitb.ac.in/~apte/CV_PRA_TRIZ_INTRO.htm> Acesso em: 12 jun. 2010.

ARAUJO, L.A.O. **Projeto conceitual e construção de um protótipo de uma minimáquina para o corte de substratos de Alumina**. 2009. 160f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

ASIMOW, M. **Introdução ao projeto**. São Paulo: Editora mestre Jou, 1968.

ASME REPORT. **Goals and Priorities for Research on Design Theory and Methodology**. National Science Foundation, 1985.

BACK, N.; FORCELLINI, F.A. **Projeto de Produtos**. Apostila (Disciplina de Projeto Conceitual e Projeto para Manufatura do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). UFSC, Florianópolis, 2003.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A, 1983.

BACK, N. **Capacitação em desenvolvimento integrado de produtos**. Material da palestra realizada em Santa Maria-RS em junho de 2007. NEDIP. Dep. Eng. Mecânica - UFSC, Florianópolis, 2007.

BARROS, N.,M. **Vigília Tecnológica e Descontinuidades na Criação de Produtos: Uma Proposta de Método para a Prática de Prospecção Tecnológica**. 2000. 139f. Tese (Doutorado) – UFSC. Florianópolis, 2000.

BERNAL, J. C. **Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones e definición de la estructura básica de un nuevo programa**. 2004. 337f. Tese (Doutorado) – Departamento de Proyectos de Ingeniería - Universidade Politécnica de Catalunya. Barcelona, 2004.

BIANCHI, E. C. et al. **Influências da dureza dos discos abrasivos no corte de materiais dúcteis**. Revista Matéria, v. 11, n. 1, pp. 24-29. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufri.br/sarra/artigos/artigo10673>> Acesso em: 27 out. 2010.

BURATO, C. U. **Desenvolvimento de uma mesa angular rotativa para a usinagem de ultraprecisão**. 2003. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo - EESC. São Carlos, 2003.

CARNEIRO, C. **Lateralidade, percepção e cognição**. Disponível em: <<http://www.cerebromente.org.br/n15/mente/lateralidade.html>> Acesso em: 12 jun. 2010.

CARPES, W. P. J. **Modelo para Percepção de Necessidades, Visando à Implantação de Um Negócio**. 1995. 77f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 1995.

CARVALHO, M.A. **Modelo Prescritivo para a Solução Criativa de Problemas nas Etapas Iniciais do Desenvolvimento de Produtos**. 1999. 167p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 1999.

CHAGAS, G. M. P. **Sistematização da Avaliação do Processo de Projeto de Produto Utilizando Gates**. 2004. 173p. – Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2004.

CHAPMAN, G. **Ultra precision machining systems; an enabling technology for perfect surfaces**. Keene, USA, 2004.

CHEN, J. **Ultra precision machine tolls vs micro struture machining**. Presentation Matech Industrial Co, Taichung City, Taiwan, 2007.

CLARK, K. B., FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization, and management in the world auto industry**. Boston: Harvard Business School Press, 1991.

COCIAN, L. F. E. **Descobrimdo a Engenharia: O Método**. Disponível em: <<http://issuu.com/cocian/docs/de-m-ii-06-a-triz>> Acesso em: 28 mar. 2011.

CRAWFORD, C. M. **New product management**. Burr Ridge, ILL: Irwin. 1983.

CROSS, N. **Engineering design methods: strategies for product design**. London UK: Wiley, 1989.

DICKSON, P. **Marketing management**. Forth Worth: The Dryden Prees. 1997.

DISCO CORPORATION. **Operation Manual**: Automatic Dicing Saw DAD3350: Catálogo, 2007.

DEMARQUE, E. **TRIZ – Teoria para resolução de problemas inventivos aplicada ao planejamento de processos na indústria automotiva**. 2005. 160f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

DIMPLEX THERMAL SOLUTIONS. **Spindle Cooling**. Disponível em: <<http://www.dimplexthermal.com/Industries/Industrial/SpindleCooling/tabid/65/Default.aspx>> Acesso em: 02 nov. 2010.

DISCO CORPORATION. **Data Maintenance Manual**: Automatic Dicing Saw DAD3220, 3230, 3350, 3430: catálogo, 2007.

DUDUCH, J. G. **Notas de aula**: Projeto de Máquinas de Precisão. EESC – USP, São Carlos, 2006.

DUFOUR, C. A. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégia de melhoria constante**. 1996. 122f. Dissertação (Mestrado), UFSC, Florianópolis – SC, 1996.

FABRYCKY, W. J.; BLANCHARD, B. S. **Systems Engineering and Analysis**. 2 ed., New Jersey: Prentice Hall, 1990.

FORTULAN, C. A. **O processo de projeto na engenharia**. São Carlos: EESC-USP. (Material de Aula), 2008.

FRANÇA, A. F. e CARVALHO, R.M. **Notas de aula: Instrumentação e Medidas**. FEM-UNICAMP, Campinas, 2008.

FRENCH, M. J. **Engineering Design: The Conceptual Stage**. London: Heinemannm Educ, 1971.

GILHAM, N.D. **Spindles in dicing: An evolution**. Keene, USA, 2004.

GUMUS, B. M. S. **Axiomatic product development lifecycle**. Dissertation in Mechanical Engineering. 2005. 184 f. Texas Tech University, 2005.

HALLAWELL, P. **À mão livre 2 – Técnicas e materiais de desenho**. 2 ed., São Paulo: Melhoramentos, 2007.

INPI. **Elaboração de um Pedido de Patente**. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menu-esquerdo/patente/pasta_oquee/elaboracao_html/impressao_view> Acesso em: 02 jan. 2011.

IDEATION INTERNATIONAL, **Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)**. Disponível em <<http://www.ideationtriz.com>> Acesso em: 02 jan. 2011.

JONES, C. J. **Métodos de diseño**. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

JUNG, C. F.; SUAREZ, T. M.; CATEN, C. S. T. **Adaptação e aplicação de um método de desenvolvimento de produtos em uma microempresa de manufatura de produtos decorativos**. Revista P&D em Engenharia de Produção v. 07 n. 01, p. 37-63, 2009.

JURAN, J. M. **Juran na Liderança pela Qualidade: um guia para executivos**. São Paulo, Pioneira, 1993.

HUBKA, V. **Theorie Technischer Systeme**. Berlin, Springer, 1984.

HUBKA, V.; EDER, W.E. **Theory of Technical Systems – A Total Concept Theory for Engineering Desing**. Berlin, Springer, 1988.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

KIATAKE, M. **Modelo de Suporte ao Projeto Criativo em Arquitetura: Uma aplicação de TRIZ**. 2004. 125p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de Metodologia Científica: teoria da ciência à pesquisa**. 20ª ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

KOLLER, R. **Konstruktionslehre für den Maschinenbau**. Berlin: Springer, 1994.

KOTLER, P. **Administração de Marketing: Análise, Planejamento, Implementação e Controle**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1998.

KOWALLIC, J. F. **Tutorial: Use of Functional Analysis and pruning, with TRIZ and ARIZ, to solve “impossible-to-solve” problems**. *Triz Journal*. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/1996/12/d/index.html>> Acesso em: 27 out. 2011.

KRABBE, D. F. M. **Introdução a High Speed Machining**. Disponível em: <<http://www.mundocnc.com.br/avan11.php>> Acesso em: 27 out. 2010.

KRASNOBLODTSSEV, V. **Kraev's Korner**. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/2007/03/08/>> Acesso em: 02 jan. 2011.

LOADPOINT LIMITED. **Machinery**. Disponível em: <<http://www.loadpoint.co.uk/>> Acesso em: 28 mar. 2011.

MANN, D. **Using S-Curves and Trends of Evolution in R&D Strategy Planning**.

Triz Journal. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/1999/07/g/index.htm>>

Acesso em: 27 out. 2010.

MARIBONDO, J. F. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares.** 2000, 277f. Tese (Doutorado). Universidade de Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

MARTIN, A. **Using TRIZ to Help Manage Real World Requirements.**

Disponível em: <<http://www.imeche.org/industries/manufacturing/triz/using-triz-to-help-manage-real-world-requirements.htm>> Acesso em: 02 jan. 2008.

MAZUR, G. **Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ).** Disponível em:

<<http://www.mazur.net/triz/>> Acesso em: 12 jun. 2010.

OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados.** 1999, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), UFSC, Florianópolis, 1999.

OLIVEIRA, J.M.F.C. **Gestão da inovação.** 1 ed., Porto: SPI, 2003.

ORLOFF, M. **Inventive Thinking through TRIZ: A Practical Guide** . 2 ed., New York : Springer, 2006.

PAGE J.K. **For those interested in creative processes – Design Journal.** disponível em:

<<http://vads.ahds.ac.uk/diad/article.php?year=1966&title=1&article=d.213.26>>

Acesso em: 12 jun. 2010.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Projeto na Engenharia.** 6 ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

PDS (2007), **High Speed Spindles.** Disponível em: <<http://pdscolombo.com/pp/high-speed-spindles.htm>> Acesso em: 12 jun. 2010.

PUGH, S. **Total Design. Integrated Methods for Successful Product Engineering.** Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

PURQUERIO, B. M. **Mancais Aerostáticos**. Apostila (Laboratório de Tribologia e Compósitos). 2 ed. EESC - USP, São Carlos – SP, 2003.

RASKIN, A., **A Higher Plane of Problem-Solving can the theories of a dead Russian dissident solve your company's most vexing technological challenges? A cult of business consultants swears that they can**. Business 2.0 Magazine, 01 de junho de 2003 – CNN Money.com. Disponível em:
<http://money.cnn.com/magazines/business2/business2_archive/2003/06/01/343390/index.htm> Acesso em: 05 jan. 2011.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. 4 ed., New York: The Free Press, 1985.

ROOZENBURG, N.F.M.; EEKELS, J. **ProductDesign: Fundamentals and Methods**. John Wiley & Sons, 1995.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. 1 ed., São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, S. X. **Inserção do design em micro e pequenas empresas: o caso de duas indústrias moveleiras no estado do Rio Grande do Norte**. 2007, Dissertação (Mestrado) Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia - UFRGN, Natal-RN, 2007.

SAMPSON, P. **Qualitative research and motivation research**. In: **Consumer Market Research Handbook**. 3 ed., Amsterdam: ESOMAR, 1991.

SAVRANSKY, S. D. **Apostila do Hands-on TRIZ Course**. Fremont: The TRIZ Experts, 1998.

SAVRANSKY, S. D. **Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving**. 1 ed., New York : CRC, 2000.

SILVEIRA, Z.C; PURQUERIO, B.M.; FORTULAN, C.A. **Projeto, fabricação e caracterização de estruturas cerâmicas porosas, para aplicação em mancais aerostáticos**. 17º. CBECIMat, 17º. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu - PR, 2006.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. 2 ed., São Paulo: Atlas, 2002.

SLOCUM, A. H. **Precision Machine Design**. Prentice Hall, 1992.

SOUCHKOV, V. **Accelerate Innovation with TRIZ**. ICG T&C, 2007.

SOUZA, B. C. C. **Criatividade: Uma Arquitetura Cognitiva**. 2001, 134f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

STEIN, M. I. **Stimulating creativity: Group procedures**. New York: Academic Press, 1974.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao projeto de máquinas-ferramenta modernas**. Editora da UFSC, Florianópolis, 2004.

STOETERAU, R. L., LEAL, L. C. **Tribologia**. Apostila da matéria de graduação do Depto. de Eng. Mecânica da UFSC, Florianópolis, 2004.

SUH, N. P. **The principles of design**. New York: Oxford University Press, 1990.

TANIGUCHI, N. **Current status and future trends of ultraprecision machining and ultrafine materials processing**. Annals of the CIRP, v.32, n.2, p. 579-582, fev. 1983.

TECPAR, **Informações de patentes** . Disponível em:

<<http://www.tecpar.br/appi/News/Informa%E7%F5es%20de%20Patentes.pdf>>

Acesso em: 29 jan. 2008.

TERNINKO, J., DOMB, E., MILLER, J. **The Seventy-six Standard Solutions, with Examples**. Triz Journal, 2000. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/2000/>>

Acesso em: 28 mar. 2011.

TERNINKO, J., ZUZMAN, A., ZLOTIN, B. **Systematic Innovation - An Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving)**. USA, St. Lucie Press, 1998.

TRANSATLANTIC CONNECTION. **DIN Spindles**. Disponível em:

<<http://transconn.com/pdf/350.410/350410-din-spindles.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2011.

TORRANCE, E. P. **Rewarding creative behavior: Experiments in classroom criativity**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1965.

UKAM (2009). **Sawing Recommendations**. Disponível em: <http://www.ukam.com/dicing_saw.htm> Acesso em: 12 jun. 2010.

ULLMAN, D. G. **The Mechanical Design Process**. New York : McGraw-Hill, 1997

ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D. **Product design and development**. 3 ed., New York, USA: McGraw Hill, 2004

VDI Guideline 2221: **Systematic approach to the design of technical systems and products**: Düsseldorf: VDI-Verlag, 1987

WESTWIND air bearing technology. Disponível em: <<http://www.westwind.com>>. Acesso em: 14 jan. 2011.

XIMENES, R.D; SILVEIRA, Z.C; PURQUERIO, B.M.; FORTULAN, C.A. **Proposta de uma metodologia baseada na TRIZ, para projeto conceitual de mancais aerostáticos cerâmicos porosos radiais aplicados a cabeçotes de máquinas de ultraprecisão**. 53º. CBC, 53º. Congresso Brasileiro de Cerâmica. Guarujá - SP, 2009.

XIMENES, R.D; SILVEIRA, Z.C; FORTULAN, C.A. **Development of the conceptual design na aerostatic porous bearing using triz (inventive design methodology)**. 20º. COBEM, 20º. International Congress of Mechanical Engineering. Gramado - RS, 2009.

YOSHIKAWA, H. **Design philosophy: the state of the art**. Annals of the CIRP, 38 (2), 1989. pp. 579-586, 1989.

ZLOTIN, B e ZUSMAN, A. **The Concep of Resources in TRIZ: Past, Present and future**. Southfield, Michigan, USA, 2004.

ZUSMAN, A. **Overview of creative methods**. Disponível em: <<http://www.ideationtriz.com/new/materials/creativemethods.pdf>> Acesso em: 12 jun. 2010.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DA SITUAÇÃO INOVADORA - I.S.Q.

1.1 Informações sobre o sistema

1.1.1 Nome do Sistema

Mancal

1.1.2 Funções úteis principais

Apoiar o eixo, facilitar a rotação (reduzindo o atrito) e limitar os outros movimentos.

1.1.3 Estrutura atual ou desejada do sistema

O mancal faz parte do sistema do eixo-árvore, como elemento de conexão entre uma parte móvel (eixo) e a parte fixa (alojamento da carcaça), deve fornecer a suas funções de apoiar o eixo (absorvendo as forças inerentes do trabalho), impedir que ocorra o atrito entre a parte fixa e parte móvel e limitar outros movimentos, sem existir, sem ocupar lugar no espaço, sem dissipar energia.

1.1.4 Funcionamento do sistema (breve descrição)

Elemento de máquina que serve de apoio e guia para o eixo, possuindo a característica de diminuir o atrito provocado pelo movimento relativo de rotação entre a parte fixa e a parte girante conectadas por ele.

1.1.5 Ambiente do sistema (condições em torno do sistema)

O sistema inteiro interage com o ar, que cerca o sistema.

O sistema tem uma fonte de força para funcionar que é o motor.

1.2 Recursos disponíveis

1.2.1 Recursos de Substância

Os recursos da substância que estão atualmente no sistema são o eixo, o alojamento, o mancal, o ar, a umidade, o calor, o lubrificante, material do mancal, material do eixo, outros materiais ao redor, etc.

1.2.2 Recursos de Campo

Os recursos de campo atuais no sistema são: o campo do tipo mecânico que sustenta o eixo, inibe os outros movimentos decorrentes das forças que atuam no processo e, cria o atrito entre as partes; o campo do tipo térmico que é gerado pelo atrito e o campo gravitacional.

1.2.3 Recursos de Espaço

O recurso de espaço é o volume ocupado pelo sistema de mancal, espaço dentro e fora do mancal.

1.2.4 Recursos de Tempo

O recurso do tempo é o tempo durante o processo e antes do processo.

1.2.5 Recursos de Informação

Não cabe neste caso.

1.2.6 Recursos Funcionais

O recurso funcional é a função mecânica pela qual o alojamento e o mancal sustentam o eixo e o mantém girando com o mínimo esforço durante o processo de usinagem (Rotação).

1.3 Informações referente à situação do problema

1.3.1 Melhoria desejada no sistema e/ou à função a eliminar (problema a ser resolvido)

A melhoria a ser conseguida é o aumento da velocidade do eixo, que aumenta por sua vez a velocidade da ferramenta que faz o sistema mais produtivo. Outra melhoria a ser alcançada é a de melhorar a qualidade da usinagem (rigidez dinâmica).

1.3.2 Mecanismo que causa o inconveniente

O inconveniente do sistema é a sua velocidade. A velocidade é limitada e existe uma necessidade de aumentar a velocidade do sistema para fazê-lo mais produtivo.

1.3.3 Conseqüências indesejadas do inconveniente

O atrito entre a parte fixa (eixo) e a móvel (alojamento da carcaça) provoca uma degradação do sistema (calor e desgaste).

1.3.4 Histórico do problema

Muitos estudos foram realizados com o intuito de aumentar a velocidade do mancal, diminuir o atrito, melhorar a qualidade de giro e a vida do mancal. O sistema se desenvolveu dos mancais de deslizamento primitivos onde as velocidades eram muito baixas e chegou aos mancais de elementos girantes metálicos (aplicação comercial), mancais aerostáticos e mancais magnéticos (tecnologias em desenvolvimento).

1.3.5 Outros problemas (secundários) a serem solucionados

Desconhecidos até o momento.

1.3.6 Outros sistemas que possuem um inconveniente semelhante

Outros sistemas que exibem problema similar não foram identificados com sucesso.

1.4 Alterações no sistema

1.4.1 Alterações permissíveis ao sistema

O sistema deve cumprir as suas funções úteis, usando tecnologia disponível.

1.4.2 Limitações às alterações no sistema

As mudanças no sistema devem ser tecnologicamente aplicáveis na indústria atual e não devem aumentar o custo de produção.

1.5. Critérios para selecionar conceitos de solução

1.5.1 Características tecnológicas desejadas

O sistema deve ter uma complexidade de fabricação e montagem menor ou igual ao sistema atual.

1.5.2 Características econômicas desejadas

Deve oferecer uma vantagem econômica na mudança de tecnologia.

1.5.3 Cronograma desejado

Primeiros resultados em um ano.

1.5.4 O nível da inovação desejado

O sistema deve trabalhar em uma faixa de velocidade maior, deve oferecer uma rigidez maior ou igual, uma qualidade de giro maior e um custo inferior ao mancal atual.

1.5.5 Outros

O sistema não deve ocupar muito do espaço.

O eixo gira a uma alta velocidade, 100.000 RPM,

1.6. Resultado final ideal

O sistema deve ter uma complexidade de fabricação e montagem menor ou igual ao sistema atual. A solução ideal para este sistema seria que o mancal, elemento de conexão entre uma parte móvel (eixo) e a parte fixa (alojamento da carcaça), fornece-se as suas funções de apoiar o eixo (absorvendo as forças inerentes do trabalho), impedindo o atrito entre a parte fixa e parte móvel (consumo de energia) e limitar outros movimentos, sem existir, sem ocupar lugar no espaço, sem dissipar energia, elevando a velocidade de giro do spindle para 100.000 RPM.

1.7. Histórico das tentativas anteriores de resolução do problema inventivo.

1.7.1 Tentativas Precedentes

Houve outras tentativas anteriores para melhorar a velocidade do mancal. Estas tentativas melhoraram alguns aspectos, mas não se tornaram maduras o suficiente para competir comercialmente com os mancais de elementos girantes metálicos que dominam o mercado atualmente. As principais dificuldades enfrentadas por estas tentativas foram à confiabilidade e o custo.

Anexo I - Análise comparativa dos métodos criativos (Zusman, 1998).

Método	Grupo							Fonte /Referencia
	1	2	3	4	5	6	7	
1. Random input (Entrada aleatória, transferência da característica, técnica da focalização de objetos, busca aleatória organizada, estimulação de retrato))		X	X					
2. Problem reversal (Reversão do problema)				X	X			
3. Questions Ask			X	X	X			Alex Osborn, 1953
4. Question Summary			X					
5. Lateral Thinking (Pensamento lateral)			X	X	X			
6. The Discontinuity Principle (O Princípio da Descontinuidade)				X				
7. Brainstorming		X		X				
9. Forced Analogy (Analogia Forçada)		X	X					
10. Attribute Listing (Lista de Atributos)			X					Robert Platt Crowford <i>Creating Workforce Innovation</i> , by Michael Morgan
11. Morphological Forced Connections (Conexões Morfológicas forçadas)				X				Koberg and Bagnall
12. Morphological Analysis (Análise Morfológica)				X				Zwicky, 1948
13. Imitation (Imitação)					X			
14. Mind Maps (Mapas da mente)			X	X				Tony Buzan
15. Storyboarding (Historia em quadrinhos)	X		X	X				Sergei Eisenstein Walt Disney, 1928 Mike Vance, <i>Creative Thinking</i> J. Higgins
16. Synectics (Sinergia)			X	X	X			William Gordon, 1961
17. Lotus Blossom Technique (Técnica da Flor de Lótus)			X	X				Matsumura Yasuo, Clover Management Research
18. In the Realm of the Senses (No reino dos sentidos)			X	X				Mike Vance, <i>Think Out of the Box</i>
19. Drawing and Visual Thinking (Desenhando e pensando visual)	X		X					Betty Edward and Robert McKim's <i>Experiences in Visual Thinking</i> , Stanford
20. Camelot					X			James Higgins 101
21. Checklists (Listas de verificação)			X					James Higgins 101
22. Limericks and parodies (poemas e parodias)		X						James Higgins 101
23. Role playing (Assumir o papel)		X						
24. Workout/retreats (experiência /refugio)	X	X						
25. Kepner-Tregoe			X	X				
26. Draw a picture (Desenhando um retrato)			X					

27. Experience kit (conjunto de experiências)			X	X				IdeaScope, Cambridge
28. Fishbone diagram (diagrama espinha de peixe)			X	X	X			Kaoru Ishikawa
29. King of the mountain (Rie da montanha)		X						
30. Redefining a problem/opportunity (redefinindo um problema/oporunidade)		X		X				
31. Squeeze and stretch (aperta estica)			X	X	X			
32. What patterns exist? (que padrão existe)					X			
33. Why-why diagram (diagrama porque-porque)			X	X	X			
34. Assumption reversal (reversão da suposição)					X			
35. Associations (associações)		X						
36. Circle of opportunity (circulo da oportunidade)		X						
37. Deadlines (ultimo prazo)	X							
38. Fresh eye (novo olhar)	X							
39. Idea bits and racking (pequenas idéias e classificação)	X							
40. Idea notebook (caderno de idéias)	X							
41. Input-output (entrada- saída)				X				
42. Listening to music (ouvindo musica)	X							
43. Name possible uses (indicar possíveis usos)		X						
44. The Napoleon technique (A técnica de Napoleão)	X							
45. Product improvement checklist (Lista de verificação da melhoria do produto)		X						Arthur B. VanGundy
46. Relatedness (parecido)		X						
47. Relational words (palavras relacionadas)		X						
48. Reversal – dereversal (reversão – versão)					X			
49. 7x7 technique				X	X			
50. Sleeping/dreaming on it (dormindo/ sonhando com ele)	X							
51. The two-words technique (técnica das duas palavras)		X	X		X			
52. Visualization (visualização)		X						
53. What if? (se que)			X					
54. Gordon/Little			X	X	X			
55. Group decision support systems (Sistemas de sustentação da decisão do grupo)	X							Wilson Learning Systems, Minnesota
56. Idea board (abordar a idéia)	X							
57. Idea triggers (disparadores de idéias)	X							
58. Innovation committee (Comitê da inovação)	X							
59. Intercompany innovation groups (grupos de inovação entre companhias)	X							

)								
60. Lion's den (covil do leão)	X							
61. NHK method		X		X				Hiroshi Takahashi
62. Nominal group technique (técnica grupo nominal)	X	X		X				
63. Phillips 66	X	X		X				Don Phillips, Michigan
64. Photo excursion (foto excursão)		X	X					
65. Scenario writing (escrevendo o cenário)		X	X					
66. SIL method (combinando)		X		X	X			Batelle, Germany
67. TKJ	X	X		X				Tokio Institute of Technology
68. Delphi	X			X				
69. Neuro-Linguistic Programming (NLP) (programa de neuro lingüística)	X							Robert Dilts
70. Assumption Smashing (suposição excelente)					X			
71. DO IT (faça)				X				<i>The Art of Creative Thinking</i> , by Robert W. Olson
72. LARC	X							<i>Unleashing the Right Side of the Brain</i> , by Robert Williams and John Stockmyer
73. Unconscious Problem Solving (Solução inconsciente de Problemas)	X							
74. Basadur Simplex process (processo simplex Basadur)				X				http://www.basadursimplex.com/
Fuzzy Logic (pensamento fuzzy , lógica fuzzy)				X				Lotfi Zadeh. <i>Fuzzy Thinking</i> , by Bart Kosko; <i>Fuzzy Logic - The Revolutionary Computer Technology that is Changing the World</i> , by Daniel McNeill and Paul Freiburger
76. SERENDIPITY	X	X						
77. Wallas' model				X				Graham Wallas (1926)
78. Rossman creativity model (modelo de criatividade Rossman)								Rossman (1931)
79. Working Paper: (trabalhando papel: Modelos para o processo criativo)								http://www.directedcreativity.com/ DirectedCreativity is a trademark of Paul E. Plsek & Associates, Inc.
80. Barron's Psychic Creation Model (Modelo psíquico de Criação de Barron)	X			X				Henri Barron (1988)
81. Creative Problem Solving (CPS) Model (Modelo Criativo para resolver Problema)				X				Parnes (1992) Isaksen and Trefflinger (1985)
82. Koberg and Bagnall's Universal Traveler Model (Modelo universal do viajante de Koberg e Bagnall)				X				
83. Robert Fritz's Process for creation (Processo de Robert Fritz para a	X			X				

criação)								
84. Seven Steps by Roger von Oech (Sete passos de Roger Von Oech)				X				
85. TRIZ Contradiction Table and 40 Innovation Principles (Tabela das contradições de TRIZ e 40 princípios da inovação)	X		X	X	X	X	X	
86. TRIZ Ideality Concept (Conceito de TRIZ de Idealidade)	X		X	X	X	X	X	
87. TRIZ System Approach (Sistema de abordagem TRIZ)	X		X	X	X			
88. Ideation/TRIZ Patterns/Lines of Evolutions (Padrão /linhas de evolução de TRIZ)	X		X	X	X	X	X	
89. Ideation/TRIZ Problem Formulation (Formulação de problemas de TRIZ)	X		X	X	X			
90. Ideation/TRIZ ISQ	X		X	X	X			
91. Ideation/TRIZ ARIZ	X		X	X	X	X		
92. TRIZ Substance-Field Analysis (Análise Substância-Campo de TRIZ)	X		X	X	X			
93. TRIZ 76 Standard Solutions (76 Soluções padrão)	X		X	X	X	X	X	
94. Ideation/TRIZ System of Operators (Operadores de sistemas de TRIZ)	X		X	X	X	X	X	
95. Ideation/TRIZ IPS	X		X	X	X	X	X	
96. Ideation/TRIZ De	X		X	X	X	X	X	
97. Ideation/TRIZ AFD	X		X	X	X	X	X	

Anexo II – 39 Parâmetros de Engenharia

Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998) e Kiatake (2004)

- Objeto em movimento:

Na metodologia TRIZ é aquele objeto ou sistema que podem facilmente mudar de posição no espaço, por si só, ou como o resultado de alguma força externa. Sistemas e objetos projetados para serem portáteis fazem parte desta classe. Considerar as condições em que objeto está sendo utilizado.

- Objeto estático:

Na metodologia TRIZ é aquele objeto ou sistema que não altera a sua posição no espaço, por si só, ou como o resultado de alguma força externa. Considerar as condições em que objeto está sendo utilizado.

1. Peso do objeto em movimento:

Na metodologia TRIZ, tem relação com a força mensurável, resultante da massa de um objeto em um campo gravitacional. A força que um objeto ou sistema exerce sobre a superfície de apoio ou suspensão.

2. Peso do objeto estático:

Na metodologia TRIZ, tem relação com a força mensurável, resultante da massa de um objeto em um campo gravitacional. A força que um objeto ou sistema exerce sobre a superfície de apoio ou suspensão.

3. Comprimento do objeto em movimento

Na metodologia TRIZ, tem relação com a medida linear de comprimento, altura ou espessura de um objeto, na direção do movimento. O movimento pode ser causado por forças externas ou internas.

4. Comprimento do objeto estático

Na metodologia TRIZ, tem relação com a medida linear de comprimento, altura ou espessura de um objeto.

5. Área do objeto em movimento

Na metodologia TRIZ, tem relação com a medida quadrada da superfície interna ou externa do objeto ou sistema. Característica geométrica descrita por parte de um plano delimitado por uma linha imaginária, dobra ou corte.

6. Área do objeto estático

Na metodologia TRIZ, tem relação com a medida quadrada da superfície interna ou externa do objeto ou sistema. Característica geométrica descrita por parte de um plano ocupado pelo objeto ou sistema delimitado por uma linha imaginária, dobra ou corte.

7. Volume do objeto em movimento

Na metodologia TRIZ, tem relação com a medida cúbica da porção do espaço ocupada pelo objeto. Volume interno ou externo.

8. Volume do objeto estático

Na metodologia TRIZ, tem relação com a medida cúbica da porção do espaço ocupada pelo objeto. Volume interno ou externo.

9. Velocidade

Na metodologia TRIZ, relaciona a taxa em que um processo ou ação é realizado em função do tempo.

10. Força

Na metodologia TRIZ, relaciona a capacidade de causar mudança física em um objeto ou sistema. Faz menção a qualquer interação que o se destina a alterar total ou parcial, permanente ou temporariamente a condição do objeto. Na física newtoniana, $\text{força} = \text{massa} \times \text{aceleração}$.

11. Tensão, Pressão ou Estresse

Na metodologia TRIZ, relaciona a intensidade de forças que atuam sobre a área de um objeto ou sistema, medida como a tensão ou força de compressão.

12. Forma

Na metodologia TRIZ, tem relação com a aparência ou contorno externo de um objeto ou sistema. A forma pode ser alterada total, parcial, permanente ou temporariamente, devido às forças que atuam sobre o objeto ou sistema.

13. Estabilidade da composição

Na metodologia TRIZ, relaciona a integridade ou relação que une os elementos constitutivos do sistema. A resistência do objeto ou sistema à mudança causada pelas interações entre os seus elementos ou sistemas associados. Fatores que provocam o desgaste ou a decomposição química do objeto.

14. Resistência

Na metodologia TRIZ, relaciona a capacidade do objeto de suportar as solicitações externas sem que estas venham a lhe causar deformações permanentes ou ruptura. Sob condições e limites definidos, é a habilidade de um objeto ou sistema absorver os efeitos de força, velocidade, tensão, etc... sem quebrar.

15. Duração da ação do objeto em movimento

Na metodologia TRIZ, tem relação com o tempo no qual um objeto é capaz de realizar a sua função com sucesso. MTBF - Tempo médio entre falhas. Durabilidade do objeto.

16. Duração da ação do objeto estático

Na metodologia TRIZ, tem relação com o tempo no qual um objeto é capaz de realizar a sua função com sucesso. MTBF - Tempo médio entre falhas. Durabilidade do objeto.

17. Temperatura

Na metodologia TRIZ, relaciona a condição térmica do objeto ou sistema. Perda ou acréscimo de calor a um objeto ou sistema durante as funções requeridas, que

podem causar mudanças potencialmente indesejáveis ao objeto, sistema ou produto. Também guarda relação com o *Conforto térmico*.

18. Brilho

Na metodologia TRIZ, tem relação com as características relacionadas à iluminação: a qualidade da luz, a quantidade de luz, o grau de iluminação, fluxo luminoso por unidade de área. Energia que produz a luz visível que incide sobre a área do objeto ou sistema que está sendo iluminada.

19. Energia utilizada pelo objeto em movimento

Na metodologia TRIZ, tem relação com os requisitos de energia do objeto ou sistema. Inclui o consumo de energia pelo sistema ou super-sistema. Energia necessária para realizar um trabalho em particular.

20. Energia utilizada pelo objeto estático

Na metodologia TRIZ, tem relação com os requisitos de energia do objeto ou sistema. Inclui o consumo de energia pelo sistema ou super-sistema. Energia necessária para realizar um trabalho em particular.

21. Potência

Na metodologia TRIZ, tem relação com a razão entre o trabalho e o tempo requerido para realizar este trabalho. Velocidade de transformação de certa quantidade de energia.

22. Perda de energia

É o aumento na inabilidade de um objeto ou sistema de exercer força, especialmente quando nenhum trabalho (*função*) ou produto é produzido. Consumo de energia que não contribui para a realização da função útil do objeto.

23. Perda de substância

É a diminuição ou eliminação do material constitutivo de um objeto ou sistema, especialmente quando nenhum trabalho (*função*) ou produto é produzido. Pode ser permanente ou temporária.

24. Perda de informação

É a diminuição ou eliminação de dados ou "entradas" de um sistema. Pode ser permanente ou temporária.

25. Perda de tempo

É o aumento na quantidade de tempo necessário para completar uma determinada ação ou função do sistema.

26. Quantidade de substância ou matéria

É o número de elementos, quantidade de elementos ou material utilizados para formar o objeto ou sistema. (*quantidade de material ou processo construtivo*). Pode ser permanente ou temporária.

27. Confiabilidade

É a habilidade de um objeto ou sistema de, adequadamente, realizar suas funções positivas, durante algum período de tempo, ou ciclos.

28. Precisão da medida

É a aproximação entre o valor especificado e o valor medido de uma propriedade do sistema. Com redução do erro de uma medida tem-se um aumento da precisão do sistema.

29. Precisão de fabricação

É o grau de correspondência entre os elementos de um objeto ou sistema às suas especificações de projeto.

30. Fatores externos indesejados atuando sobre o objeto

São influências externamente produzidas no ambiente em que o objeto está inserido ou nas cercanias, que atuam sobre o objeto ou sistema, que reduzem eficiência e qualidade. Podem ser fatores da natureza ou produzidos pelo Homem, que atuam sobre o objeto ou elemento construtivo.

31. Fatores indesejados causados pelo objeto

São influências produzidas internamente pelo próprio objeto ou por qualquer elemento que o constitui, que atuam sobre o objeto ou sistema, que reduzem a eficiência e a qualidade.

32. Manufaturabilidade

É a conveniência e facilidade pela qual um objeto ou sistema é produzido, fabricado ou montado.

33. Usabilidade

É a conveniência e facilidade na qual um objeto ou sistema é operado (*ou utilizado*).

34. Manutenibilidade

É a conveniência e facilidade pela qual um objeto é restaurado para as condições de operação, após algum dano ou uso intenso. Facilidade das atividades de manutenção, redução do tempo de intervenção e reparo.

35. Adaptabilidade ou versatilidade

É a habilidade de um objeto ou sistema de se reformular ou reorganizar conforme as condições externas (meio ambiente, função, etc.) mudam.

36. Complexidade do objeto

É a quantidade e diversidade de elementos que formam o objeto ou sistema, incluindo as relações entre os elementos. A complexidade pode também descrever a dificuldade de governar o objeto ou sistema.

37. Complexidade de controle

É a quantidade e diversidade de elementos usados para medir e monitorar o sistema, assim como o custo de medição para um erro aceitável.

38. Nível de automação

É a habilidade do sistema ou objeto realizar operações sem interação humana.

39. Capacidade ou Produtividade

É a velocidade de produção, ou seja, a relação entre o número de vezes que uma operação é completada e a quantidade de tempo que se leva para realizá-la.

Anexo III – 40 Princípios Inventivos

Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998) e Kiatake (2004)

1. Segmentação

- a. Divida um objeto em partes independentes.
- b. Torne um objeto seccionável (para facilitar a desmontagem)
- c. Aumente o grau de segmentação de um objeto (fragmentação).

2. Extração

- a. Extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade que prejudica a função útil do objeto ou sistema.
- b. Extraia ou isole uma parte ou propriedade útil.

3. Qualidade localizada

- a. Produza a transição de uma estrutura homogênea de um objeto ou meio ambiente externo (ação externa) para uma estrutura heterogênea.
- b. Faça diferentes partes do objeto realizarem diferentes funções.
- c. Coloque cada parte do objeto sob condições mais favoráveis à sua operação.

4. Assimetria

- a. Substitua uma forma simétrica por uma forma assimétrica do objeto.
- b. Se o objeto já é assimétrico, aumente o grau de assimetria.

5. Consolidação (Integração)

- a. Combine no espaço objetos homogêneos ou destinados a operações contíguas.
- b. Combine o tempo de operações homogêneas ou contíguas.

6. Universalização

- a. Faça o objeto ou sistema realizar múltiplas funções, eliminando, através disso, a necessidade de algum sub-sistema ou simplificando o objeto original.

7. Aninhamento (Matryoshka)

- a. Coloque um objeto dentro do outro, que por sua vez é colocado dentro de um terceiro objeto.
- b. Um objeto passa através da cavidade de outro objeto.

8. Contrapeso

- a. Compense a força necessária para realizar um trabalho, agregue o objeto ou sistema a um outro que realize uma compensação da força inicial, através da força da gravidade ou ação simétrica (efeito gangorra).
- b. Compense o peso de um objeto, produzindo forças aerodinâmicas, hidrodinâmicas, empuxo, etc.

9. Compensação Prévia

- a. Se é necessário realizar alguma ação, considere a contra-ação antecipadamente.
- b. Se um objeto estará sob tensão, produza a anti-tensão antecipadamente.

10. Ação Prévia

- a. Realize a ação requerida antecipadamente, total ou parcialmente.
- b. Arranje os objetos, de modo que eles possam agir sem perda de tempo, enquanto esperam pela ação (e na posição mais conveniente).

11. Amortecimento Prévio

- a. compense a confiabilidade relativamente baixa de um objeto com medidas preventivas tomadas antecipadamente.

12. Equipotencialidade

- a. Mude a condição de trabalho, de forma que um objeto não necessite alternar a posição durante o trabalho (subir e descer objeto ou operador).

13. Inversão

- a. Ao invés de uma ação ditada pelas especificações do problema, implemente uma ação oposta.
- b. Torne o objeto uma peça móvel, ou torne uma peça móvel em fixa e o meio ambiente externo móvel.
- c. Vire o objeto de cabeça para baixo.

14. Recurvação

- a. Substitua partes lineares ou superfícies planas por curvas, e formas cúbicas por formas esféricas.
- b. Use roletes, esferas e espirais.
- c. Substitua um movimento linear por um movimento rotativo; utilize força a força centrífuga.

15. Dinamização

- a. Faça as características de um objeto ou meio ambiente externo automaticamente ajustar-se ao desempenho ótimo, a cada estágio de operação.
- b. Divida um objeto em elementos, capazes de mudar a posição relativa entre eles.
- c. Se um objeto é imóvel, torne-o móvel ou intercambiável.

16. Ação Parcial ou excessiva

Se for difícil obter 100% de um efeito desejado, alcance algo "mais ou menos", para simplificar o problema, alcançando um estágio intermediário.

17. Transição para nova dimensão

- a. Remova problemas de mover um objeto em linha, permitindo movimentos bidimensionais (ao longo de um plano). Similarmente, problemas de mover um objeto em um plano são removidos, se o objeto puder ser alterado para permitir movimento tridimensional.
- b. Use uma montagem múltiplos níveis de objetos, ao invés de um único nível.
- c. Incline o objeto ou vire-o, rebatendo-o sobre si ou sobre o lado.
- d. Projete imagens sobre áreas vizinhas ou sobre o lado reverso do objeto.

18. Vibração mecânica

- a. Ponha um objeto em oscilação.
- b. Se existe oscilação, aumente a sua frequência, se necessário, até a faixa ultrassônica.

- c. Use a frequência de ressonância.
- d. Ao invés de vibradores mecânicos, use vibradores piezoelétricos.
- e. Use vibrações ultrassônicas em conjunto com um campo eletromagnético.

19. Ação Periódica

- a. Substitua uma ação contínua por uma periódica (impulso).
- b. Se uma ação já é periódica, mude a sua frequência.
- c. Utilize pausas entre os impulsos para produzir ação adicional.

20. Continuidade de ação útil

- a. Realize uma ação sem quebra - todas as partes de um objeto devem estar constantemente operando à total capacidade.
- b. Remova um movimento inútil e intermediário.

21. Aceleração

- a. Realize operações indesejadas ou perigosas a uma velocidade muito alta.

22. Transformação de prejuízo em lucro

- a. Utilize um fator indesejado ou efeito indesejado de um meio ambiente, para obter um efeito positivo.
- b. Remova um fator indesejado, combinando-o com outro fator indesejado.
- c. Aumente a quantidade de ação indesejada até que ela deixe de ser indesejada.

23. Retroalimentação

- a. Introduza retroalimentação.
- b. Se já existe retroalimentação, inverta-a.

24. Mediador

- a. Utilize um objeto intermediário para transferir, realizar ou manter uma ação.
- b. Conecte temporariamente um objeto a outro que seja fácil de ser removido.

25. Auto-serviço

- a. Faça o próprio objeto realizar o serviço, bem como operações suplementares e de reparo.
- b. Use material e energia perdida.

26. Cópia

- a. Utilize uma cópia simples ou barata, ao invés de um objeto que é complexo, caro, frágil ou inconveniente.
- b. Substitua um objeto ou sistema de objetos por uma cópia ou imagem óptica. Uma escala pode ser usada para reduzir ou aumentar a imagem.
- c. Se cópias ópticas visíveis são usadas, substitua-as por cópias infravermelhas ou ultravioletas.

27. Uso e descarte

Substitua um objeto caro por um conjunto de objetos baratos, comprometendo outras propriedades (por exemplo, a vida útil do objeto)

28. Substituição de meios mecânicos

- a. Substitua um sistema mecânico por um sistema óptico, acústico ou olfativo (odor).

- b. Utilize um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interagir com o objeto.
- c. Substitua os campos.
- d. Use um campo, juntamente, com partículas ferromagnéticas.

29. Construção pneumática ou hidráulica

Substitua partes sólidas de um objeto por gás ou líquido. Essas partes podem usar ar ou água para inflar ou usar ar ou amortecimentos hidrostáticos.

30. Uso de filmes finos e membranas flexíveis

- a. Substitua a construção habitual por membranas e filmes flexíveis.
- b. Isole um objeto do meio ambiente externo com um filme ou membrana finos.

31. Uso de materiais porosos

- a. Torne um objeto poroso ou use elementos porosos adicionais.
- b. Se um objeto já é poroso, preencha os poros antecipadamente com alguma substância.

32. Mudança de cor

- a. Altere a cor de um objeto ou do seu ambiente.
- b. Altere o grau de transparência de um objeto, um processo ou do seu entorno.
- c. Utilize elementos adicionais, coloridos, para visualizar objetos ou processos difíceis de visualizar.
- d. Se tais elementos adicionais já estão sendo utilizados, empregue traços luminescentes ou elementos radioativos.

33. Homogeneidade

Faça os objetos interagirem com um objeto primário do mesmo material, ou de um material similar em comportamento ou propriedades.

34. Descarte e reciclagem

- a. Depois que completou a sua função ou tornou-se inútil, rejeite ou modifique (por exemplo descarte, dissolva ou evapore) um elemento de um objeto.
- b. Restaure diretamente qualquer parte já usada de um objeto.

35. Mudança de parâmetros e propriedades

Mude o estado ou propriedades físicas do objeto, concentração, densidade, flexibilidade ou temperatura.

36. Mudança de fase

Aplique um efeito desenvolvido durante a fase de transição de uma substância.

37. Expansão térmica

- a. Use expansão ou contração térmica de um material.
- b. Use vários materiais com diferentes coeficientes de expansão ou contração térmica.

38. Uso de oxidantes fortes

- a. Substitua ar normal por ar enriquecido.
- b. Substitua ar enriquecido por oxigênio.

- c. No oxigênio ou no ar, trate um material com radiação ionizante.
- d. Use oxigênio ionizado.
- e. Substitua oxigênio ionizado por ozônio.

39. Uso de atmosferas inertes

- a. Substitua o meio ambiente normal por um inerte.
- b. Realize um processo no vácuo.

40. Uso de materiais compostos

Substitua um material homogêneo por um composto.

Piorou

Parametro
que
melhorou

		Peso do objeto em movimento	Peso do objeto estático	Comprimento objeto em movimento	Comprimento objeto estático	Área do objeto em movimento	Área do objeto estático	Volume do objeto em movimento	Volume do objeto estático
		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 estático		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2
3	Comprimento objeto em movimento	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35	
4	Comprimento objeto estático		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 estático		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+		
7	Volume do objeto em movimento	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		+	
8	Volume do objeto estático		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14				+
9	Velocidade	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34	
10	Força (Intensidade)	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37
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, 24
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
13	Estabilidade da composição do objeto	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
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
15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30	
16	Duração da ação do objeto estático		6, 27, 19, 16		1, 40, 35				35, 34, 38
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
18	Brilho	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10	
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	12,18,2 8,31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18	
20	Energia gasta pelo objeto parado		19, 9, 6, 27						
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

<div> <div> Piorou </div> <div> Parametro que melhorou </div> </div>								
		Fácil de operar / Usabilidade	Fácil de reparar / Manutenibilidade	Adaptabilidade ou versatilidade	Complexidade do objeto / dispositivo	Dificuldade de detecção e medida	Nível de automação	Produtividade
		33	34	35	36	37	38	39
22	Perda de energia	35, 32, 1	2, 19		7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
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
24	Perda de informação	27, 22				35, 33	35	13, 23, 15
25	Perda de tempo	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	
26	Quantidade de substância / material	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27
27	Confiabilidade	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
28	Acuracia da medida	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
29	Precisão de fabricação	1, 32, 35, 23	25, 10		26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
30	Fatores externos indejados 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
31	Fatores indejados causados pelo objeto				19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
32	Fácil de fabricar / Manufaturabilidade	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
33	Fácil de operar / Usabilidade	+	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28
34	Fácil de reparar / Manutenibilidade	1, 12, 26, 15	+	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10
35	Adaptabilidade ou versatilidade	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	+	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
36	Complexidade do objeto / dispositivo	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	+	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
37	Dificuldade de dectecção e medida	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	+	34, 21	35, 18
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
39	Produtividade / Capacidade	1, 28, 7, 10	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	+

		<div> <div>Piorou</div> <div> <div>Parametro que melhorou</div> </div> </div>							
		Velocidade	Força (Intensidade)	Tensão ou pressão	Forma	Estabilidade da composição do objeto	Resistência	Duração da ação do objeto em movimento	Duração da ação do objeto estático
		9	10	11	12	13	14	15	16
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	
2	Peso do objeto estático		8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6
3	Comprimento 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	
4	Comprimento objeto estático		28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26		1, 10, 35
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	
6	Área do objeto estático		1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37		2, 38	40		2, 10, 19, 30
7	Volume do objeto em movimento	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	
8	Volume do objeto estático		2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15		35, 34, 38
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	
10	Força (Intensidade)	13, 28, 15, 12	+	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	
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	
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	
13	Estabilidade da composição do objeto	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
14	Resistência	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	+	27, 3, 26	
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	+	
16	Duração da ação do objeto estático					39, 3, 35, 23			+
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
18	Brilho	10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-
20	Energia gasta pelo objeto parado		36, 37			27, 4, 29, 18	35		
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

<div> <div>Piorou</div> <div>Parametro que melhorou</div> </div>		Temperatura	Brilho	Energia gasta pelo objeto em movimento	Energia gasta pelo objeto parado	Potência	Perda de energia	Perda de substância	Perda de informação
		17	18	19	20	21	22	23	24
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
2	Peso do objeto estático	28, 19, 32, 22	19, 32, 35		18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35
3	Comprimento objeto em movimento	10, 15, 19	32	8, 35, 24		1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24
4	Comprimento objeto estático	3, 35, 38, 18	3, 25			12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26,
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
6	Área do objeto estático	35, 39, 38				17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16
7	Volume do objeto em movimento	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35		35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22
8	Volume do objeto estático	35, 6, 4				30, 6		10, 39, 35, 34	
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
10	Força (Intensidade)	35, 10, 21		19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	
11	Tensão ou pressão	35, 39, 19, 2		14, 24, 10, 37		10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37	
12	Forma	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	
13	Estabilidade da composição do objeto	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	
14	Resistência	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	
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
16	Duração da ação do objeto estático	19, 18, 36, 40				16		27, 16, 18, 38	10
17	Temperatura	+	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	
18	Brilho	32, 35, 19	+	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6
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	
20	Energia gasta pelo objeto parado		19, 2, 35, 32	-	+			28, 27, 18, 31	
21	Potência	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37		+	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19

<div> <div> <div></div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>									
		25	26	27	28	29	30	31	32
1	Peso do objeto em movimento	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36
2	Peso do objeto estático	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
3	Comprimento 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
4	Comprimento objeto estático	30, 29, 14		15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27
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
6	Área do objeto estático	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
7	Volume do objeto em movimento	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40
8	Volume do objeto estático	35, 16, 32 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35
9	Velocidade		10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1
10	Força (Intensidade)	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
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
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
13	Estabilidade da composição do objeto	35, 27	15, 32, 35		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19
14	Resistência	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32
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
16	Duração da ação do objeto estático	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10
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
18	Brilho	19, 1, 26, 17	1, 19		11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26
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
20	Energia gasta pelo objeto parado		3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4
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

<div> <div>Piorou</div> <div> <div>Parametro que melhorou</div> </div> </div>		Fácil de operar / Usabilidade	Fácil de reparar / Manutenabilidade	Adaptabilidade ou versatilidade	Complexidade do objeto / dispositivo	Dificuldade de detecção e medida	Nível de automação	Produtividade
		33	34	35	36	37	38	39
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
2	Peso do objeto estático	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
3	Comprimento 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
4	Comprimento objeto estático	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
5	Área do objeto em movimento	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
6	Área do objeto estático	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
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
8	Volume do objeto estático		1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
9	Velocidade	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
10	Força (Intensidade)	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
11	Tensão ou pressão	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
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
13	Estabilidade da composição do objeto	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
14	Resistência	32, 40, 25, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
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
16	Duração da ação do objeto estático	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38
17	Temperatura	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
18	Brilho	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
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
20	Energia gasta pelo objeto parado					19, 35, 16, 25		1, 6
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

		<div> <div> <div></div> <div>Piorou</div> </div> <div> <div>Parametro que melhorou</div> <div></div> </div> </div>							
		Peso do objeto em movimento	Peso do objeto estático	Comprimento objeto em movimento	Comprimento objeto estático	Área do objeto em movimento	Área do objeto estático	Volume do objeto em movimento	Volume do objeto estático
		1	2	3	4	5	6	7	8
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
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
24	Perda de informação	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22
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
26	Quantidade de substância / material	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29	
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
28	Acuracia da medida	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	
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, 23, 2	25, 10, 35
30	Fatores externos indejados 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
31	Fatores indejados 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
32	Fácil de fabricar / Manufaturabilidade	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35
33	Fácil de operar / Usabilidade	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, 39, 31
34	Fácil de reparar / Manutenibilidade	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1
35	Adaptabilidade ou versatilidade	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	
36	Complexidade do objeto / dispositivo	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16
37	Dificuldade de dectecção e medida	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
38	Nível de automação	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16	
39	Produtividade / Capacidade	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

		<div> <div> Piorou </div> <div> Parametro que melhorou </div> </div>							
		Velocidade	Força (Intensidade)	Tensão ou pressão	Forma	Estabilidade da composição do objeto	Resistência	Duração da ação do objeto em movimento	Duração da ação do objeto estático
		9	10	11	12	13	14	15	16
22	Perda de energia	16, 35, 38	36, 38			14, 2, 39, 6	26		
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
24	Perda de informação	26, 32						10	10
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
26	Quantidade de substância / material	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
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
28	Acuracia da medida	28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24
29	Precisão de fabricação	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40	
30	Fatores externos indejados 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
31	Fatores indejados 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
32	Fácil de fabricar / 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
33	Fácil de operar / Usabilidade	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
34	Fácil de reparar / Manutenibilidade	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 27	1
35	Adaptabilidade ou versatilidade	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16
36	Complexidade do objeto / dispositivo	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	
37	Dificuldade de dectecção e medida	3, 4, 16, 35	30, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35
38	Nível de automação	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	
39	Produtividade / Capacidade		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

<div> <div>Piorou</div> <div>Parametro que melhorou</div> </div>		Temperatura	Brilho	Energia gasta pelo objeto em movimento	Energia gasta pelo objeto parado	Potência	Perda de energia	Perda de substância	Perda de informação
		17	18	19	20	21	22	23	24
22	Perda de energia	19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38	+	35, 27, 2, 37	19, 10
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	+	
24	Perda de informação		19			10, 19	19, 10		+
25	Perda de tempo	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32
26	Quantidade de substância / material	3, 17, 39		34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35
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
28	Acuracia da medida	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32		3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28	
29	Precisão de fabricação	19, 26	3, 32	32, 2		32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24	
30	Fatores externos indejados 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
31	Fatores indejados causados pelo objeto	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29
32	Fácil de fabricar / 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
33	Fácil de operar / Usabilidade	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24		35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22
34	Fácil de reparar / Manutenibilidade	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16		15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	
35	Adaptabilidade ou versatilidade	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13		19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13	
36	Complexidade do objeto / dispositivo	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28		20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29	
37	Dificuldade de dectecção e medida	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	18, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22
38	Nível de automação	26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13		28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33
39	Produtividade / Capacidade	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

<div> <div> Piorou </div> <div> Parametro que melhorou </div> </div>									
		Perda de tempo	Quantidade de substância / material	Confiabilidade	Acuracia da medida	Precisão de fabricação	Fatores externos indejados atuando no objeto	Fatores indejados causados pelo no objeto	Fácil de fabricar / Manufaturabilidade
		25	26	27	28	29	30	31	32
22	Perda de energia	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22	
23	Perda de substância	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 40	10, 1, 34, 29	15, 34, 33
24	Perda de informação	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23			22, 10, 1	10, 21, 22	32
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
26	Quantidade de substância / material	35, 38, 18, 16	+	18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27
27	Confiabilidade	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	+	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26	
28	Acuracia da medida	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	+		28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18
29	Precisão de fabricação	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1		+	26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26	
30	Fatores externos indejados 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
31	Fatores indejados causados pelo objeto	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26		+	
32	Fácil de fabricar / Manufaturabilidade	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24		1, 35, 12, 18		24, 2		+
33	Fácil de operar / Usabilidade	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
34	Fácil de reparar / Manutenibilidade	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16		1, 35, 11, 10
35	Adaptabilidade ou versatilidade	35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31		1, 13, 31
36	Complexidade do objeto / dispositivo	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
37	Dificuldade de dectecção e medida	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
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
39	Produtividade / Capacidade		35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24