

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO PRESCRITIVO PARA A SOLUÇÃO CRIATIVA DE PROBLEMAS
NAS ETAPAS INICIAIS DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

MARCO AURÉLIO DE CARVALHO

Florianópolis,
Setembro de 1999

MARCO AURÉLIO DE CARVALHO

**MODELO PRESCRITIVO PARA A SOLUÇÃO CRIATIVA DE PROBLEMAS
NAS ETAPAS INICIAIS DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, Especialidade Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Florianópolis, 30 de setembro de 1999.

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

UFSC/EMC - Prof. Nelson Back, Ph.D.
Orientador

UFSC/EMC - Prof. André Ogliari, Dr.Eng.

CEFET-PR/DAMEC - Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

UFSC/EPS - Prof. Ingeborg Sell, Dr.rer.nat.

À Nadja,

que nunca deixou faltar apoio, compreensão e amor

e

A meus pais Cesar e Sonia,

que inculcaram e cultivaram o gosto pelo estudo e pesquisa e a busca da evolução pessoal.

"A melhor maneira de prever o futuro é inventá-lo."

Alan Kay

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta ou indireta de várias pessoas. O autor manifesta sincera gratidão a todas elas e, de forma especial:

- ao professor Nelson Back pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação, pelo incentivo e pela confiança depositada, mesmo apesar da distância;
- ao Dr. Semyon D. Savransky (The TRIZ Experts), pelos proveitosos conceitos transmitidos e pelas orientações a respeito da utilização da metodologia TRIZ;
- à professora Ingeborg Sell, pelos ensinamentos sobre as etapas iniciais do desenvolvimento de produto e por despertar o interesse pelo estudo da inovação;
- ao Dr. Roni Horowitz (Universidade de Tel-Aviv) pelas informações e orientações referentes aos métodos SIT e U-SIT;
- à Dra. Ellen Domb, Dr. John Terninko, Dr. Noel León Rovira e outros estudiosos da metodologia TRIZ contatados ao longo da pesquisa, pelas idéias e opiniões;
- ao Carlos Cziulik, pelas produtivas discussões, incentivo e auxílio;
- a Milton Borsato, Admilson T. Franco, José A. Foggiatto, Jorge L. Erthal e colegas do CEFET-PR/NuPES e do CEFET-PR/NuPEM, pelo apoio e companheirismo;
- a Gerhard Pregizer (John Deere - Mannheim), pelos "*Fünfundzwanzig Punkte*";
- ao Júlio, à Dayse, à Lucrécia, à Naiana, à Naiara, à D. Irene, ao Sr. Frazon, ao Mauro Marconcin e ao Luís Giroto, pelo carinho e amizade;
- aos alunos de Engenharia Industrial Mecânica do CEFET-PR, pelo aprendizado;
- ao UFSC/PPGEP, ao CEFET-PR/DAMEC, ao CEFET-PR/NuPES e à CAPES, por terem proporcionado as condições materiais para a realização deste trabalho.

Resumo

A solução criativa de problemas é um dos fatores essenciais para a inovação e conseqüente sobrevivência das organizações que desenvolvem produtos. Neste trabalho, propõe-se um modelo prescritivo que compreende as etapas iniciais do desenvolvimento de produtos. O modelo proposto suporta vários métodos para a solução criativa de problemas, destacando-se os métodos inventivos. No modelo, inicialmente, é sugerida a aplicação de métodos mais simples, como os métodos intuitivos e, se necessário, métodos mais complexos (e menos conhecidos) são recomendados. Entre os métodos complexos, destacam-se os da TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas). A título de validação parcial do método, é realizado um estudo de caso aplicando o modelo ao planejamento de produto e projeto conceitual de uma roçadeira lateral.

Abstract

Creative problem solving is a key factor to successful innovation and to survival of organizations that develop products. In this dissertation, a prescriptive model of product development initial phases is presented. In the prescriptive model, use of creative problem solving methods -specially so called inventive methods - is supported. First, it is suggested by the model to use simpler methods, like intuitive methods and then, if necessary, to use more complex problem solving methods. Specially important among complex methods are TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) methods. As a partial validation of the proposed model, it is applied to the product planning and conceptual design of a portable brush cutter.

Sumário

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Sumário.....	viii
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tabelas.....	xiv
Lista de Acrônimos.....	16
Introdução.....	17
1.1 Fundamentação.....	17
1.2 Desenvolvimento de produto - um processo de solução de problemas.....	19
1.3 Criatividade no processo de desenvolvimento de produto.....	21
1.4 Escopo e objetivos deste trabalho.....	22
1.5 Estrutura deste trabalho.....	22
2 Pensamento e criatividade no desenvolvimento de produto.....	24
2.1 Introdução.....	24
2.2 Processos de pensamento.....	25
2.3 Visões da criatividade.....	29
2.3.1 Visões psicológicas da criatividade.....	29
2.3.2 A criatividade pela ótica da inteligência artificial.....	34
2.3.3 A criatividade pela ótica da metodologia de projeto.....	36
2.3.4 A criatividade relacionada à invenção.....	38
2.4 Discussão.....	39
Métodos para solução criativa de problemas.....	40
3.1 Introdução.....	40
3.2 Métodos intuitivos.....	42
3.2.1 <i>Brainstorming</i>	42
3.2.2 Questionários e <i>checklists</i>	43
3.2.3 <i>Brainwriting</i> e Método 635.....	44
3.2.4 <i>Lateral Thinking</i>	44
3.2.5 <i>Synectics</i>	45
3.2.6 Galeria.....	47
3.3 Métodos sistemáticos.....	47
3.3.1 Método morfológico.....	47

3.3.2	Análise e síntese funcional.....	48
3.3.3	Analogia sistemática.....	50
3.4	Métodos heurísticos.....	51
3.4.1	Algoritmo.....	51
3.4.2	Programa.....	53
3.5	Métodos orientados.....	53
3.5.1	Histórico, estrutura e conceitos fundamentais da TRIZ.....	54
3.5.1.1	Histórico e estrutura.....	54
3.5.1.2	Conceitos fundamentais da TRIZ.....	55
3.5.1.3	Padrões da evolução.....	57
3.5.1.4	Desenvolvimento da criatividade pessoal.....	58
3.5.2	Solução de problemas com a TRIZ.....	58
3.5.2.1	Métodos para análise preliminar de problemas.....	59
3.5.2.2	Métodos para solução de problemas.....	59
3.5.3	Método SIT.....	74
3.5.3.1	Reformulação do sistema e formulação das condições suficientes.....	75
3.5.3.2	Seleção da estratégia de solução.....	76
3.5.3.3	Técnicas de provocação de idéias.....	77
3.6	Discussão.....	82
	Modelo proposto.....	83
4.1	Introdução.....	83
4.2	Semelhanças e sinergias entre os MSCP.....	84
4.3	Aplicabilidade dos MSCP.....	89
4.4	Utilização de MSCP ao longo do processo de desenvolvimento de produto.....	92
4.5	Modelo proposto.....	98
4.5.1	Análise do mercado e requisitos (etapa 1).....	99
4.5.2	Geração preliminar de princípios de funcionamento (etapa 2).....	101
4.5.3	Definição da função global e análise funcional (etapa 3).....	102
4.5.4	Busca e seleção de soluções prontas (etapa 4).....	103
4.5.5	Decisão (etapa5).....	103
4.5.6	Análise da evolução do sistema e recursos (etapa 6).....	103
4.5.7	Busca por princípios de funcionamento (etapa 7).....	107
4.5.8	Decisão (etapa 8).....	107
4.5.9	Geração de concepções (etapa 9).....	107
4.5.10	Concretização de concepções (etapa 10).....	107
4.5.11	Decisão (etapa 11).....	108
4.5.12	Definição da metodologia inventiva (etapa 12).....	108

4.5.13 Reformulação dos problemas (etapa 13).....	108
4.5.14 Solução dos problemas (etapa 14).....	109
4.5.15 Decisão (etapa 15)	109
4.5.16 Análise das contradições técnicas (etapa 16).....	110
4.5.17 Solução das contradições técnicas (etapa 17)	110
4.5.18 Decisão (etapa 18)	110
4.5.19 Análise das contradições físicas (etapa 19).....	110
4.5.20 Solução das contradições físicas (etapa 20)	110
4.5.21 Decisão (etapa 21)	111
4.5.22 Aplicação do ARIZ (etapa 22)	111
4.6 Discussão.....	111
Estudo de caso.....	113
5.1 Descrição preliminar do problema	113
5.2 Análise do mercado e requisitos (etapa 1).....	114
5.3 Geração preliminar de concepções (etapa 2).....	119
5.4 Definição da função global e análise funcional (etapa 3).....	120
5.4.1 Descrição do funcionamento do sistema e abstração.....	120
5.4.2 Definição da função global e subfunções do sistema.....	122
5.5 Busca e seleção de soluções prontas (etapa 4).....	123
5.5.1 Busca de soluções prontas para a função global.....	123
5.5.2 Busca de soluções prontas para as subfunções.....	126
5.5.3 Seleção da melhor solução pronta	128
5.6 Tomada de decisão a respeito da solução para a função global (etapa 5).....	128
5.7 Análise da evolução e recursos (etapa 6)	128
5.7.1 Estudo da evolução do sistema.....	128
5.7.2 Formulação do RFI-A	131
5.7.3 Estimativa do nível de dificuldade (nível de inovação necessário)	132
5.7.4 Levantamento de recursos do sistema e do ambiente	132
5.8 Busca por princípios de funcionamento (etapa 7)	132
5.8.1 Utilização dos padrões da evolução.....	132
5.8.2 Utilização de recursos do sistema e do ambiente.....	133
5.8.3 Utilização de métodos intuitivos	134
5.9 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 8).....	134
5.10 Definição da metodologia inventiva (etapa 12)	134
5.11 Reformulação dos problemas (etapa 13).....	134
5.11.1 Reformulação do sistema dado.....	135
5.11.2 Seleção da estratégia de solução	135

5.12 Solução dos problemas (etapa 14).....	136
5.12.1 Estratégia de extensão - uso da técnica de unificação.....	136
5.12.2 Estratégia de extensão - uso da técnica de multiplicação.....	136
5.13 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 15)	136
5.14 Análise das contradições técnicas (etapa 16).....	137
5.14.1 Formulação do RFI-B.....	137
5.14.2 Identificação de requisitos contraditórios.....	137
5.15 Solução das contradições técnicas (etapa 17)	137
5.16 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 18).....	139
5.17 Análise das contradições físicas (etapa 19).....	140
5.17.1 Formulação do RFI-C	140
5.17.2 Criação de modelos C-S dos problemas.....	140
5.17.3 Estabelecimento das contradições físicas.....	141
5.18 Solução das contradições físicas (etapa 20)	141
5.18.1 Uso das soluções padrão para C-S.....	141
5.18.2 Utilização dos princípios de separação.....	143
5.19 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 21)	143
5.20 Geração de concepções (etapa 9).....	144
5.20.1 Construção de uma matriz morfológica	144
5.20.2 Seleção de princípios de funcionamento	144
5.21 Geração de concepções (etapa 9).....	145
5.22 Discussão.....	149
6.1 Introdução.....	150
6.2 Objetivos propostos	150
6.3 Resultados obtidos e conclusões	150
6.4 Recomendações	154
Referências Bibliográficas.....	156
Apêndice - Matriz de Contradições	162

Índice de Figuras

Figura	Página
Figura 1 – Comprometimento do custo ao longo das etapas de desenvolvimento de produto (Nordlund, 1996).....	18
Figura 2 - Modelo de satisfação do cliente de Kano (1984).....	18
Figura 3 - Modelo de um problema qualquer.....	20
Figura 4 – Sistema de processamento de informação (adaptado de Newell & Simon, 1972)	25
Figura 5 - Processo de pensamento (adaptado de Guilford & Hoepfner, 1971)	26
Figura 6 - Modelo dos quatro quadrantes do cérebro (Herrmann, 1994)	27
Figura 7 - Participação de processos mentais em formas de pensamento (Goldberg, 1983).....	28
Figura 8 - Modelo randômico de solução de problemas, adaptado de Campbell (1960) e Simonton (1988)	30
Figura 9 - O modelo de Wallas (1926) para o processo de solução criativa de problemas.....	31
Figura 10 - Modelo de Osborn (adaptado de Osborn, 1953).....	32
Figura 11 - Estratégia da TRIZ.....	38
Figura 12 – Método <i>Synectics</i> (Gordon, 1961 e Prince, 1972)	46
Figura 13 – Etapas do método morfológico (Zwicky, 1948)	48
Figura 14 - Procedimentos para o desenvolvimento da estrutura de funções (Herrmann et al., 1996)..	50
Figura 15 - Processo sistemático de obtenção de analogias (Linde & Hill, 1993).....	51
Figura 16 - Conjuntos principais de heurísticas do algoritmo para a seleção de problemas inventivos a partir de fenômenos indesejados (Savransky, 1998a).....	52
Figura 17 - Estrutura da TRIZ Clássica.....	55
Figura 18 - Solução de problemas com os princípios inventivos (Altshuller, 1969).....	63
Figura 19 - Solução de problemas com a análise C-S.....	67
Figura 20 - Modelo C-S do problema de trefilação	68
Figura 21 - Etapas do método das partículas.....	70
Figura 22 - Croquis das situações inicial, intermediária e final para o problema da chave	71
Figura 23 - Árvore e/ou para o problema da chave universal.....	71
Figura 24 - Estrutura do ARIZ-85.....	73
Figura 25 - Etapas do método SIT.....	75
Figura 26 - Problema do anti-descarrilador	79
Figura 27 - Problema do motor a jato.....	81
Figura 28 - Problema do navio quebra-gelo.....	82

Figura 29 - Modelo da WOIS (Linde & Hill, 1993)	96
Figura 30 - Modelo para a utilização dos MSCP no desenvolvimento de produto.....	99
Figura 31- Casa da qualidade para a roçadeira portátil	118
Figura 32 - Concepções para roçadeiras com lâminas alternativas (esquerda) e sabres (direita).....	120
Figura 33 - Roçadeira lateral ou portátil típica (Andreas Stihl, 1999).....	120
Figura 34 - Máquina automática para o corte de grama (Husqvarna, 1998)	124
Figura 35 - Cortador de grama com conjunto de corte por resistências (Tobias, 1990)	124
Figura 36 - Cortador de grama com lâminas com movimento linear na horizontal (Allen, 1994)	125
Figura 37 - Cortador de grama com conjunto de corte extra na parte frontal (Lee, 1994)	125
Figura 38 - Roçadeira portátil com lâminas cisalhadoras com movimento rotativo na horizontal (Taniguchi, 1989).....	125
Figura 39 - Roçadeira portátil com rodas na parte central (8) e lâminas rotativas horizontais externas (7) - Mihira (1988)	126
Figura 40 - Modelos C-S para o problema do lançamento de resíduos.....	141
Figura 41 - Modelo C-S para o problema da sustentação do peso.....	141
Figura 42 - Concepção 1 - Roçadeira lateral convencional.....	146
Figura 43 - Concepção 2	147
Figura 44 - Concepção 3.....	148
Figura 45 - Concepção 4.....	149

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Classificação dos métodos para solução criativa de problemas	41
Tabela 2 – <i>Checklist</i> e questionário de Osborn	43
Tabela 3 - Padrões da evolução dos sistemas técnicos (adaptado de Altshuller, 1979)	56
Tabela 4 - Etapas da evolução do automóvel (adaptado de Savransky, 1996)	56
Tabela 5 – Tipos de contradições (adaptado de Savransky, 1998a)	60
Tabela 6 - Parâmetros de engenharia (Altshuller, 1969).....	61
Tabela 7 - Princípios inventivos (Altshuller, 1969)	62
Tabela 8 - Efeitos para executar a função transformar energia	64
Tabela 9 - Princípios de separação.....	65
Tabela 10 - Tipos de analogia nos métodos para a solução criativa de problemas e exemplos (adaptado e ampliado de Linde & Hill, 1993).....	86
Tabela 11 - Sinergias entre MSCP	88
Tabela 12 - Níveis de dificuldade de problemas técnicos (adaptado de Altshuller, 1969)	90
Tabela 13 - Aplicabilidade das categorias de métodos com relação às características dos problemas... 91	91
Tabela 14 - Tempo de treinamento nos MSCP	92
Tabela 15 - Uso dos MSCP ao longo do processo de desenvolvimento de produtos.....	93
Tabela 16 - <i>Checklist</i> para levantamento das necessidades dos clientes (adaptado de Linde & Hill, 1993)	100
Tabela 17 - Tendências sócio-econômicas (adaptado de Neumann & Linde, 1990)	100
Tabela 18 - Tendências econômico-tecnológicas (adaptado de Neumann & Linde, 1990).....	101
Tabela 19 - Matriz Multitela	102
Tabela 20 - Matriz de gerações do sistema técnico (Linde & Hill, 1993)	104
Tabela 21 - Matriz para uso dos padrões da evolução dos sistemas técnicos	106
Tabela 22 - Matriz para o levantamento de recursos (adaptada de Savransky, 1998a)	106
Tabela 23 - Matriz para a reformulação dos problemas com a metodologia SIT.....	109
Tabela 24 - Matriz para a solução dos problemas com a metodologia SIT	109
Tabela 25 - Questionário para o levantamento das necessidades - parte 1.....	114
Tabela 26 - Questionário para o levantamento das necessidades - parte 2.....	115
Tabela 27 - Questionário para o levantamento das necessidades - parte 3.....	116
Tabela 28 - Levantamento das necessidades gerais e específicas para a roçadeira portátil	116
Tabela 29 - Necessidades dos clientes para a roçadeira portátil	117
Tabela 30 - Requisitos de projeto para a roçadeira portátil.....	119
Tabela 31 - Matriz multitela para a roçadeira portátil	122

Tabela 32 - Matriz morfológica com as soluções existentes para sistemas para o corte de vegetais.....	127
Tabela 33 – Gerações dos sistemas técnicos para o corte de grama.....	130
Tabela 34 – Possibilidades de solução e princípios de funcionamento identificados para os problemas a partir dos padrões da evolução dos sistemas técnicos	131
Tabela 35 - Possibilidades de solução e princípios de funcionamento identificados a partir de recursos do sistema e cercanias	133
Tabela 36 - Levantamento de elementos para a reformulação do sistema	135
Tabela 37 – Uso da técnica de unificação.....	136
Tabela 38 - Uso dos princípios inventivos para o problema do lançamento de resíduos.....	138
Tabela 39 - Uso dos princípios inventivos para o problema da sustentação do peso	138
Tabela 40 – Uso de princípios inventivos não indicados pela matriz de contradições	139
Tabela 41 - Soluções padrão para os problemas identificados	142
Tabela 42 - Princípios de separação, possibilidades de solução e princípios de funcionamento encontrados para os problemas de lançamento de resíduos e sustentação do peso	143
Tabela 43 - Matriz morfológica para a roçadeira portátil.....	145
Tabela 44 - Concepções geradas	146

Lista de Acrônimos

Acrônimo	Significado e contexto
ARIZ	Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas, na TRIZ
ARIZ-85	Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas - Versão de 1985
C-S	Campo-substância ou modelo de Campo-substância, na TRIZ
CW	<i>Closed World</i> - Mundo Fechado, no método SIT
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i> - Sistemas Inteligentes de Transporte
IWB	<i>Innovation Workbench</i> - software para inovação
MCI	Motor de Combustão Interna
MSCP	Método(s) para a Solução Criativa de Problemas
PI	Princípio(s) Inventivo(s)
PS	Princípio(s) de Separação
QC	<i>Qualitative Change</i> - Mudança Qualitativa, no método SIT
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> - Desdobramento da Função Qualidade
RFI	Resultado Final Ideal, na TRIZ
SIT	<i>Systematic Inventive Thinking</i> - Pensamento Inventivo Sistemático
STI	Sistema Técnico Ideal, na TRIZ
Tf	Tempo da ferramenta, na TRIZ
Tp	Tempo do produto, na TRIZ
TRIZ	Teoria da Solução Inventiva de Problemas
WOIS	<i>Widerspruchorientierte Innovationsstrategie</i> - Estratégia de Inovação Orientada à Contradição
Zf	Zona da ferramenta, na TRIZ
Zp	Zona do produto, na TRIZ

1 Introdução

"A idéia de controlar qualquer coisa que ainda não seja controlável é recebida com tranqüilidade, hoje em dia. Apenas a idéia de controlar a criatividade encontra forte oposição."

Genrich Saulovich Altshuller

1.1 Fundamentação

Uma parcela crescente das indústrias vem perseguindo o objetivo de oferecer aos clientes produtos “de classe mundial”, para competir internacionalmente. A necessidade de competitividade de tais produtos pode ser desdobrada nas necessidades industriais de redução do tempo de desenvolvimento (tanto em termos absolutos como em termos de porcentagem do tempo do ciclo de vida), aumento da qualidade e redução do custo do ciclo de vida dos produtos. Como resultado das tentativas de atender às demandas mencionadas, não somente a prática industrial, mas, também, a pesquisa na área de desenvolvimento de produto vêm recebendo atenção crescente.

Nesse contexto, o foco das pesquisas se desloca das etapas finais do ciclo de desenvolvimento de produto (construção de protótipos, testes, simulação, otimização) para as etapas iniciais (definição do produto, planejamento de produto, projeto conceitual), nas quais o desenvolvimento se dá em níveis de abstração mais altos. Esse deslocamento é motivado por estudos e experiências de diversas origens, segundo os quais as decisões tomadas nas etapas iniciais do desenvolvimento de produto são as que produzem os maiores impactos no custo total e na qualidade do produto. De acordo com a pesquisa de Nordlund (1996), cerca de 80% do custo total de um produto é definido até o final da etapa de projeto conceitual. Na Figura 1, são mostradas as curvas de fluxo de caixa e de comprometimento do custo ao longo das principais etapas do desenvolvimento de produto, conforme este estudo.

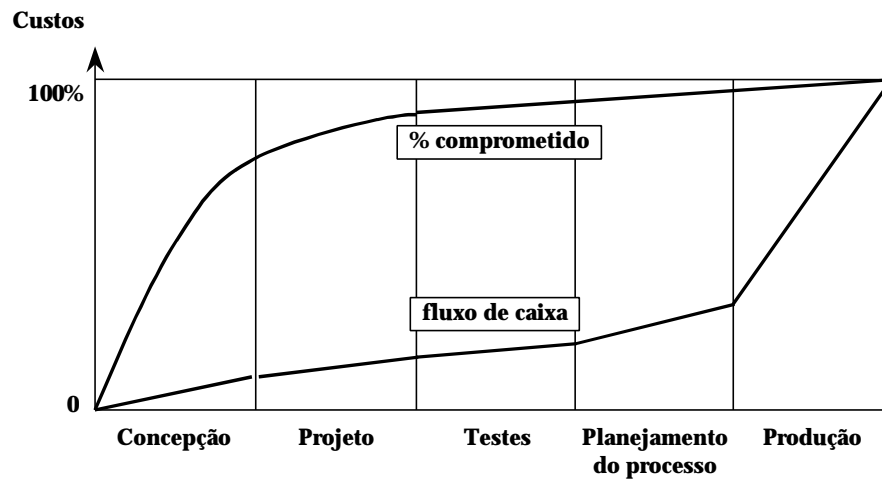


Figura 1 - Comprometimento do custo ao longo das etapas de desenvolvimento de produto (Nordlund, 1996)

Um caminho complementar – e cada vez mais utilizado – aos da redução de custo e aumento da qualidade na busca da competitividade industrial é o da diferenciação dos produtos, conseguida através de inovações. Kano (1984) distingue entre três tipos de características dos produtos, as quais influenciam a satisfação do cliente de formas diferentes. São elas as características obrigatórias, as características atraentes e as características unidimensionais (Figura 2).

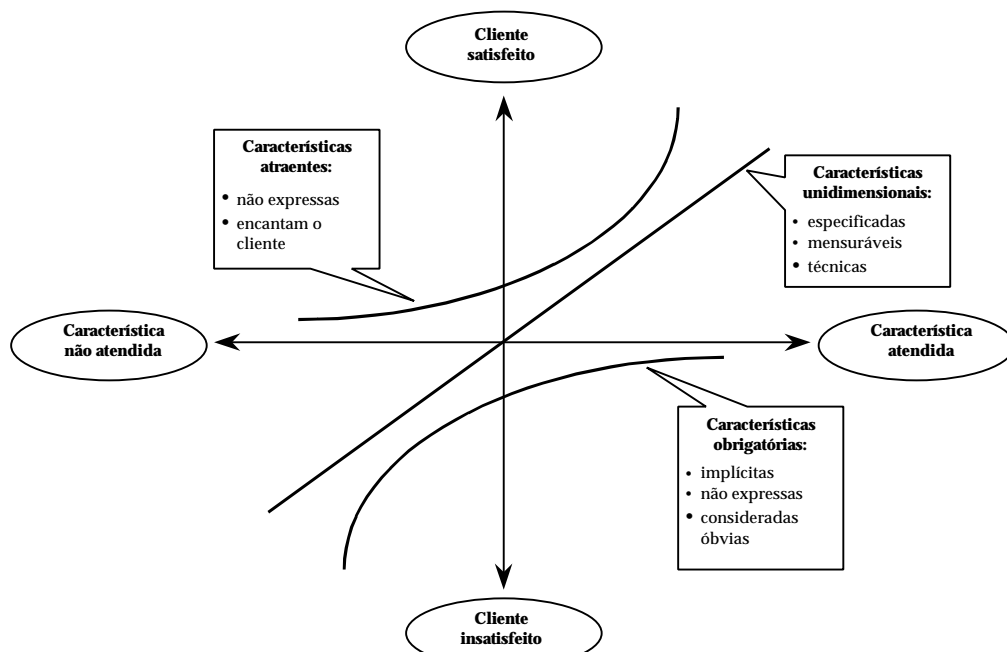


Figura 2 - Modelo de satisfação do cliente de Kano (1984)

De acordo com Kano (1984), se as características obrigatórias não forem atendidas, o cliente ficará muito insatisfeito. Por outro lado, como o cliente assume que essas características deveriam estar presentes de qualquer forma, seu atendimento não aumentará a satisfação. Atendendo-as, conseguir-se-á, apenas, a não insatisfação do cliente. O cliente não é consciente destas características e não expressa seu interesse por elas.

Para as características unidimensionais, a satisfação do cliente é proporcional ao grau de atendimento. Normalmente, o cliente conhece estas características e expressa interesse por elas. Com o passar do tempo, algumas características unidimensionais tendem a tornar-se obrigatórias.

Dentre as três categorias de características, as atraentes são aquelas cujo atendimento tem a maior influência na satisfação do cliente. O atendimento das características atraentes resulta em satisfação mais do que proporcional. Como para as características obrigatórias, o interesse por estas características não é expresso. Na verdade, estas características não são esperadas pelo cliente. Portanto, se não forem atendidas, não haverá sensação de insatisfação. No decorrer do tempo, as características atraentes tendem a tornar-se unidimensionais.

Pode-se concluir do modelo de Kano (1984) que, para melhorar a competitividade de uma organização que desenvolve produtos, é necessário introduzir melhorias nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento e inovar nas características unidimensionais e atraentes.

1.2 Desenvolvimento de produto - um processo de solução de problemas

Problemas são barreiras que se interpõem entre um estado inicial indesejado e um estado final desejado. Soluções são o resultado do processo de travessia ou contorno das barreiras ou problemas (ver Figura 3).

Produtos podem ser entendidos como soluções, ainda que parciais, para problemas dos clientes. O processo de desenvolvimento de produtos é, portanto, um processo de solução de problemas.

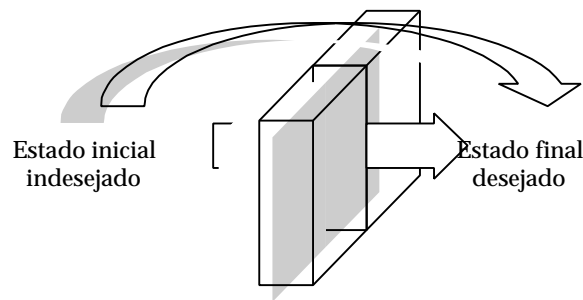


Figura 3 - Modelo de um problema qualquer

Os problemas a serem solucionados no processo de desenvolvimento de produto não são somente os dos clientes. Embora estes sejam os de maior importância e o objetivo maior do processo seja a sua solução, na busca da solução surgem diversos outros problemas. O problema de desenvolvimento de um produto é, portanto, um processo de solução de um problema complexo, composto de muitos subproblemas. O estado inicial indesejado é decomposto em subitens, geralmente interdependentes e, freqüentemente, conflitantes. Ainda assim, cada um dos subitens deve ser atendido da forma mais adequada.

A decomposição do estado inicial indesejado em vários subitens e o atendimento destes por um único estado final desejado, como acontece no processo de desenvolvimento de produtos, permite afirmar que este processo é composto de problemas de análise e problemas de síntese.

Partes do processo de desenvolvimento de produtos como definição de mercados, previsão do potencial de vendas, geração de estruturas funcionais ou testes de mercado são, principalmente, analíticas. Já a geração de idéias de novos produtos, a busca por princípios de funcionamento e a geração de soluções conceituais para um produto são etapas de síntese.

Para melhorar o resultado do processo de desenvolvimento de produto, melhorias e inovações devem ser introduzidas, tanto nas etapas analíticas como nas etapas sintéticas do processo.

1.3 Criatividade no processo de desenvolvimento de produto

Com idéias criativas, consegue-se produzir soluções originais e mais eficazes que as convencionais. Soluções convencionais são, normalmente, o resultado de compromissos entre requisitos conflitantes. Elas contornam a barreira (ver Figura 3). A organização que busca soluções criativas procura encarar os conflitos entre requisitos como oportunidades de inovação, buscando as soluções que atravessam a barreira da Figura 3. Essa organização tende a garantir posições mais vantajosas para seus produtos no mercado.

Uma idéia criativa pode ser definida como sendo uma idéia útil e original. Em termos do modelo de Kano (1984), idéias úteis e originais podem levar a inovações que atendam às necessidades unidimensionais e às necessidades atraentes. Indivíduos convidados a produzir idéias úteis, normalmente, chegam a idéias não originais. Se forem convidados a gerar idéias originais, eles soltarão a imaginação e ignorarão as restrições. Como resultado, tenderão a obter idéias originais, mas, geralmente, pouco úteis. Isto deve-se à maneira "natural" de buscar soluções criativas, que se baseia na abordagem da tentativa e erro. Não são fornecidos ao indivíduo meios para aumentar a probabilidade de geração de idéias criativas. Elas podem ser encontradas ou não.

“A combinação dos termos projeto e criatividade pode ser formulada numa frase simples: os projetistas devem ser criativos e a metodologia de projeto oferece os meios apropriados para apoiar a criatividade.” (Hubka & Eder, 1996).

As metodologias de projeto convencionais dispõem de meios para apoiar e fomentar a criatividade do projetista na busca e implementação de soluções de projeto. Entretanto, a afirmação de Hubka & Eder pode ser questionada, especialmente no que se refere a problemas que envolvem conflitos, também chamados de problemas inventivos. Para esta categoria de problemas, métodos não convencionais e, até hoje, não integrados às metodologias de projeto são mais adequados. Neste trabalho, métodos que procuram preencher essa lacuna são estudados e uma proposta de integração dos mesmos à metodologia de projeto proposta por Pahl & Beitz (1988) é feita.

1.4 Escopo e objetivos deste trabalho

Até aqui, conclui-se o seguinte:

- as empresas, cada vez mais, têm a necessidade de inovar;
- o processo de desenvolvimento de produtos desempenha um papel de grande importância na inovação e as etapas iniciais são as que produzem maiores efeitos sobre os resultados do processo;
- o processo de desenvolvimento de produtos é um processo de solução de problemas;
- é necessário dar suporte à criatividade no desenvolvimento de produtos.

A partir dessas conclusões, foi definido o escopo deste trabalho: o estudo da criatividade e de métodos para a solução criativa de problemas (MSCP) nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produtos.

Os objetivos deste trabalho são:

- levantar o estado da arte no que se refere à compreensão da criatividade e métodos para a solução criativa de problemas;
- propor um modelo para o suporte à solução criativa de problemas nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produto (planejamento de produto e projeto conceitual);
- executar um estudo de caso, como primeiro passo na direção da validação do modelo proposto;
- derivar conclusões e propor melhorias a partir dos resultados obtidos.

1.5 Estrutura deste trabalho

Por ser relativamente extensa, optou-se pela divisão da revisão bibliográfica neste trabalho em duas partes: no Capítulo 2, faz-se uma revisão bibliográfica relativa aos processos de pensamento e às visões de pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, com relação à criatividade. No Capítulo 3, é feita uma revisão bibliográfica relativa aos MSCP mais representativos.

No Capítulo 4, faz-se uma análise dos métodos para a solução criativa de problemas e das características dos problemas. Em seguida, um modelo para a utilização dos MSCP ao longo das etapas de planejamento de produto e de projeto conceitual é proposto. No modelo, propõe-se a utilização de métodos de mais fácil aplicação para problemas simples e de métodos mais complexos para problemas de desenvolvimento de produto considerados difíceis ou inventivos.

No Capítulo 5, apresenta-se um estudo de caso. O problema em foco é o desenvolvimento de uma roçadeira portátil.

No Capítulo 6, são apresentadas as conclusões do trabalho e são feitas recomendações para futuros trabalhos.

2 Pensamento e criatividade no desenvolvimento de produto

"A imaginação é mais importante que o conhecimento, porque é ilimitada, enquanto o conhecimento é limitado. A imaginação abarca o mundo, estimulando o progresso e produzindo a evolução."

Albert Einstein

2.1 Introdução

Neste Capítulo, faz-se uma revisão dos pontos de vista sobre a criatividade e processos de pensamento de pesquisadores de áreas diversas como a Psicologia Cognitiva, Inteligência Artificial e Metodologia de Projeto. Naturalmente, os pesquisadores enfatizam diferentes aspectos do tema. Cientistas da área de Inteligência Artificial enfatizam aspectos algorítmicos ou computacionais da criatividade. Psicólogos descrevem-na em termos mais genéricos, utilizando "caixas pretas" como pensamento consciente e inconsciente. Teóricos da área de Metodologia de Projeto focalizam-se na sistematização do processo criativo e na inovação tecnológica.

Esta revisão tem por objetivos:

- compreender o que a comunidade científica pensa sobre a criatividade, os processos a ela relacionados e como ela pode ser melhorada;
- permitir uma discussão sobre diferenças e similaridades entre as várias visões, feita ao final deste Capítulo;
- fundamentar a discussão sobre os métodos para solução criativa de problemas, feita no Capítulo 3, bem como a análise e o modelo abordados no Capítulo 4;

Este Capítulo inicia-se com uma revisão dos estudos relativos aos processos de pensamento, no item 2.2. No item 2.3, são apresentadas as visões da criatividade encontradas na literatura. Finalmente, no item 2.4, uma discussão referente aos processos de pensamento e visões dos autores é exposta.

2.2 Processos de pensamento

Psicólogos da área cognitiva têm, tradicionalmente, se ocupado do estudo do pensamento humano, procurando compreender como o ser humano absorve, processa e utiliza o conhecimento. Os modelos do sistema de processamento de informação, da organização do cérebro e das formas e processos de pensamento, resultantes de pesquisa na psicologia cognitiva, são apresentados a seguir.

Segundo Newell & Simon (1972), o processamento de informação pelo cérebro humano ocorre através da interação entre o ambiente interno e o ambiente externo. Na Figura 4, um modelo do sistema de processamento de informação adaptado à atividade criativa do projetista é apresentado.

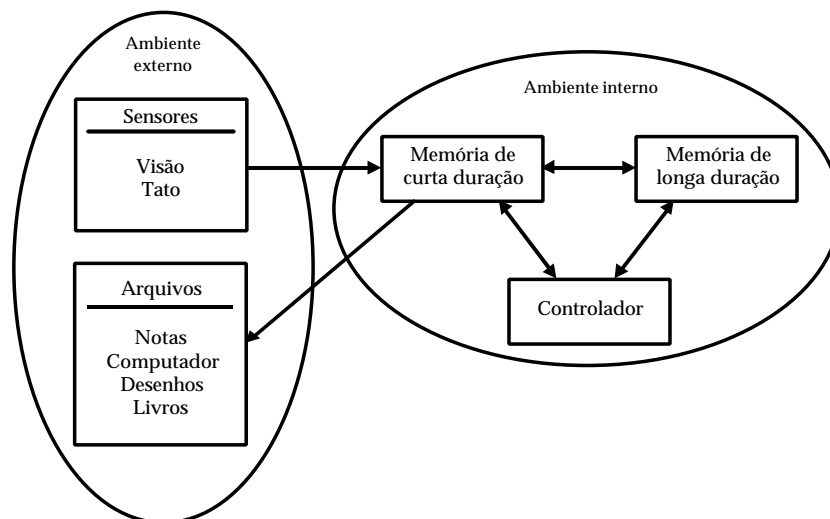


Figura 4 – Sistema de processamento de informação (adaptado de Newell & Simon, 1972)

A memória de curta duração tem capacidade de armazenamento limitada a sete, mais ou menos dois, pacotes de informação, simultaneamente (Miller, 1956). Um pacote de informação é um conjunto de informações que faz sentido para o controlador - por exemplo: uma força produz a aceleração de um corpo, vermelho é uma cor, parafusos têm cabeça. A informação contida na memória de curta duração é processada com rapidez. O processamento pode consistir de comparação de dois pacotes de informação, decomposição de um pacote de informação em pacotes

menores, combinação de pacotes de informação e mudança do tamanho ou forma de um pacote de informação.

A memória de longa duração tem capacidade ilimitada. Esta memória pode ser imaginada como uma rede semântica, na qual os conhecimentos são os nós e as conexões entre os nós são as relações entre conceitos (Dörner, 1979).

Para a memória de longa duração, a velocidade de memorização é pequena, mas, a velocidade de recuperação da informação é grande. A informação retida na memória de longa duração pode ser recuperada com características diferentes das de armazenagem, já que, no decorrer do pensamento, conceitos e relações entre conceitos são modificados.

O controlador permite aquisição de informação através dos sensores, recuperação de informação da memória de longa duração para processamento na de curta duração, eliminação e substituição da informação na memória de curta duração, extensão da memória de curta duração pelo uso de anotações e arquivamento externo da informação processada.

O ambiente externo são os meios utilizados pelo ser humano na busca de soluções. É fonte de informações e uma extensão da memória de curta duração.

Na Figura 5, mostra-se uma representação do processo de pensamento (Guilford & Hoepfner, 1971). Operações cognitivas são executadas sobre a informação ou conteúdos intelectuais (conhecimento), para gerar os produtos do pensamento.

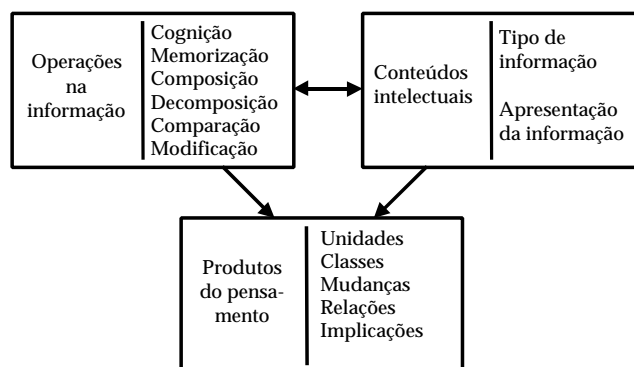


Figura 5 - Processo de pensamento (adaptado de Guilford & Hoepfner, 1971)

Segundo MacLean (1990), o cérebro humano é composto por três cérebros superpostos. O cérebro réptil - instintivo, o cérebro límbico - emocional e o neocórtex - responsável pelo raciocínio.

Sabe-se que o lado esquerdo do corpo humano é controlado pelo lado direito do cérebro e vice-versa. Através do estudo de pacientes sem conexão entre os dois hemisférios do cérebro, conseguiu-se associar capacidades cognitivas a um ou outro hemisfério do cérebro. Segundo Sperry & Trevarthen (1991), o lado esquerdo do cérebro é principalmente quantitativo, verbal, racional e lógico. O lado direito é principalmente qualitativo, espacial, intuitivo e imaginativo.

O modelo dos quatro quadrantes cerebrais, de Herrmann (1994) é baseado nos trabalhos de MacLean e Sperry & Trevarthen. Os quadrantes e respectivas capacidades cognitivas são mostrados na Figura 6.



Figura 6 - Modelo dos quatro quadrantes do cérebro (Herrmann, 1994)

O modelo de Goldberg (1983), mostrado na Figura 7, é qualitativo, baseado em observações de pessoas como uma caixa preta, ou seja, sem a preocupação de descrever em detalhes o funcionamento dos processos envolvidos.

Para Goldberg, processos mentais conscientes, inconscientes e subconscientes acontecem no decorrer da atividade cerebral de uma pessoa, ao longo de toda a vida.

Para cada forma de pensamento (pensamento discursivo, pensamento intuitivo e sonhos), muda o tipo de processo mental predominante.

O pensamento intuitivo também é conhecido como criatividade primária (Dörner, 1979) e é associado a inspirações. Este tipo de pensamento envolve o processamento de relações complexas. Nas atividades em que se utiliza o pensamento intuitivo, os processos mentais subconscientes são mais amplamente utilizados. Para que ocorram os processos subconscientes de pensamento, é necessário que haja espaço livre na mente. O tempo deste período de incubação não pode ser predeterminado. A atividade de desenhar, por exemplo, focaliza a atenção no problema, mas, ainda deixa "espaço" suficiente na mente para que ocorra o pensamento inconsciente.

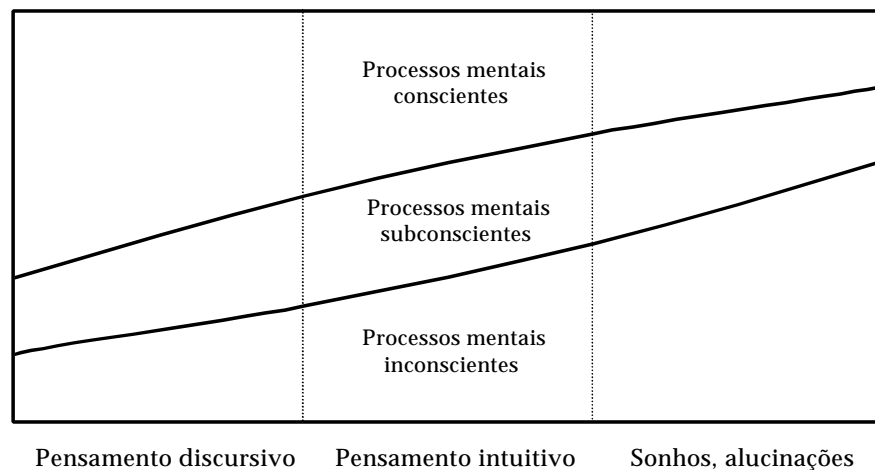


Figura 7 - Participação de processos mentais em formas de pensamento (Goldberg, 1983)

O pensamento discursivo, ou criatividade secundária envolve, principalmente, processos mentais conscientes. Este tipo de pensamento consiste na verificação de conhecimento exato e científico e a inclusão deste numa estrutura de conhecimento. É um processo mais lento que o pensamento intuitivo.

Na memória, o conhecimento adquirido de forma consciente não pode ser separado do conhecimento mais vago, ou comum. Na verdade, os dois tipos de conhecimento influenciam-se, mutuamente e fazem parte da estrutura heurística. Uma estrutura ordenada e lógica do conhecimento facilita sua recuperação e combinação, tanto no

pensamento intuitivo como no discursivo.

Os processos mentais inconscientes estão associados aos sonhos, alucinações e a estados mentais patológicos.

Até aqui, foram vistos os modelos do sistema de processamento de informação, da organização do cérebro e das formas e processos de pensamento. A compreensão dos mecanismos mentais envolvidos nos diferentes tipos de pensamento ainda é incompleta. Entretanto, os modelos apresentados são úteis na tentativa de entender melhor como o cérebro processa as informações e, portanto, na tentativa de melhorar a capacidade de resolver problemas. No item 2.3, é feita uma revisão sobre as principais abordagens relativas à criatividade, considerando que inexistente uma teoria capaz de unificar o conhecimento sobre a criatividade.

2.3 Visões da criatividade

Nos itens 2.3.1 a 2.3.4, diferentes visões da criatividade são apresentadas: no item 2.3.1, as essencialmente psicológicas; no item 2.3.2, as visões de teóricos da inteligência artificial; no item 2.3.3, propostas de pesquisadores da metodologia de projeto e, no item 2.3.4, a criatividade relacionada à invenção.

2.3.1 Visões psicológicas da criatividade

Uma das maneiras de definir a criatividade é a mudança de uma *Gestalt*. A *Gestalt* é definida como uma qualidade de um conteúdo da consciência que transcende suas partes, ou seja, é o resultado de uma percepção de um conjunto de partes, sendo que o todo é maior que a soma das partes. Um mesmo conteúdo pode apoiar mais de uma *Gestalt*. Esta característica da *Gestalt* pode ser percebida quando se observa, por exemplo, a famosa gravura que pode ser interpretada como uma anciã ou uma moça. Uma vez que se consegue interpretar a anciã a partir dos traços, fica difícil ver a moça e vice-versa. A dificuldade em mudar a *Gestalt* é conhecida como fixação. O momento de mudança de uma *Gestalt* para outra é chamado de *insight* (Wertheimer, 1945).

Kohler (1947) vê o *insight* no processo de solução de problemas como o momento em que a informação é reorganizada de uma forma que satisfaz aos requisitos do problema. Segundo ele, o pensamento criativo envolve a decomposição de uma *Gestalt* e formação de uma nova, reorganizada.

Uma outra linha de pensamento com relação ao processo de criação propõe que este é um processo randômico e não controlável, conforme mostrado na Figura 8.

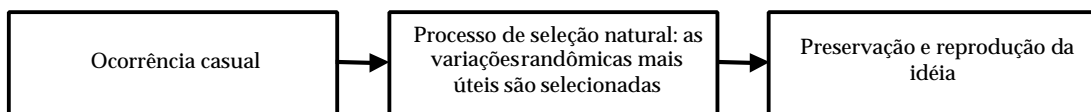


Figura 8 - Modelo randômico de solução de problemas, adaptado de Campbell (1960) e Simonton (1988)

Segundo Campbell (1960) e Simonton (1988), variações em idéias e conceitos ocorrem ao acaso, levando a novas idéias e descobertas. Após uma ocorrência casual, por um processo de seleção natural, as variantes mais úteis são selecionadas. A última etapa corresponde ao ato consciente de preservar e reproduzir estas variantes. O mérito do criador estaria no fato de estar ele preparado para interpretar a variação randômica. Para sustentar seu raciocínio, defensores deste modelo citam diversos exemplos de descobertas científicas, como o da descoberta da penicilina, por Fleming e do filamento da lâmpada incandescente, por Edison.

Um estudo aprofundado sobre a criatividade como obra do acaso ou criatividade serendípica pode ser encontrado no trabalho de Pinto (1996).

De acordo com Weisberg (1993), o processo criativo não é qualitativamente diferente de outros processos de solução de problemas. Todos os mecanismos mentais que levaram a grandes criações levam, também, às criações comuns e estão presentes, também, no pensamento das pessoas comuns. As diferenças individuais nas criações seriam devidas a especialização na área de conhecimento respectiva, ambiente adequado, acaso, motivação e comprometimento pessoal.

Alguns autores defendem que a criatividade é resultado de processos subconscientes. Esta linha de pensamento é representada pelo modelo de Wallas (1926), mostrado na Figura 9. Inicialmente, há uma etapa de preparação, ou de esforço racional na coleta de informações, seguida de uma etapa intuitiva ou de incubação. A etapa intuitiva ocorre durante um afastamento do problema - execução de atividade não relacionada com o problema - quando, então, a partir de processos mentais subconscientes, surge a solução (*insight* ou iluminação). Ao final do processo, a solução é avaliada.

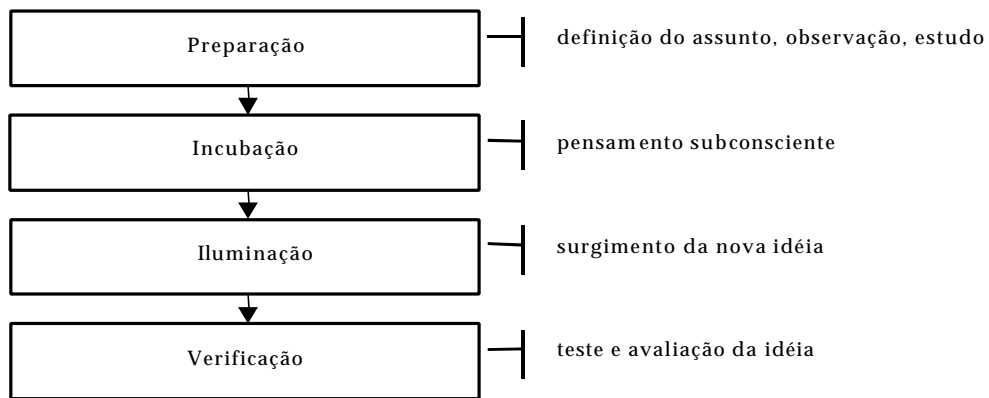


Figura 9 - O modelo de Wallas (1926) para o processo de solução criativa de problemas

Este modelo é amplamente aceito na área de Psicologia Cognitiva, como nos trabalhos de Rossman (1931), Torrance (1988), Fritz (1991) e Seifert et al. (1995).

Um papel importante é representado pelas analogias no pensamento criativo, de acordo com Kreitler & Kreitler (1990) e em abordagens mais sistemáticas, Linde & Hill (1993) e Holyoake & Thagard (1995). Analogias caracterizam-se por dois domínios: o domínio fonte (normalmente, bem conhecido) e o domínio alvo (sobre o qual se deseja aprender algo novo).

Tipicamente, o uso de analogias consiste de quatro passos: selecionar uma fonte, a partir de conhecimento memorizado; mapear a fonte com vistas ao alvo e gerar inferências sobre o alvo; avaliar e adotar estas inferências, considerando as diferenças entre o domínio fonte e o domínio alvo e, finalmente, derivar uma idéia mais geral a partir do sucesso ou fracasso da analogia.

Guilford (1959) defende que a criatividade é resultado do pensamento divergente. O pensamento divergente é definido como a capacidade de produzir várias soluções para um problema definido de forma aberta. As características do pensamento divergente são: fluência - número de soluções oferecidas; flexibilidade - número de diferentes categorias de soluções e originalidade - frequência de soluções únicas.

Durante a busca de soluções para um problema, a etapa inicial seria "divergir" da situação conhecida para idéias originais. Em seguida, seria utilizado o pensamento convergente, ou modo lógico de pensamento, para chegar a uma idéia.

De acordo com Finke (1995), *insight* divergente é a busca de novos usos ou implicações para uma determinada estrutura. Neste processo, a função é derivada da forma, contrariando a seqüência usual. "No *insight* divergente, procura-se encontrar significado na estrutura e não estruturar o que já tem significado".

Uma parte significativa dos trabalhos sobre a criatividade considera-a, ainda que implicitamente, como sendo resultado de tentativa e erro. Osborn (1953) propôs o modelo mostrado na Figura 10. Como meios para a busca de soluções, são propostos alguns métodos, apresentados em detalhe no Capítulo 3.

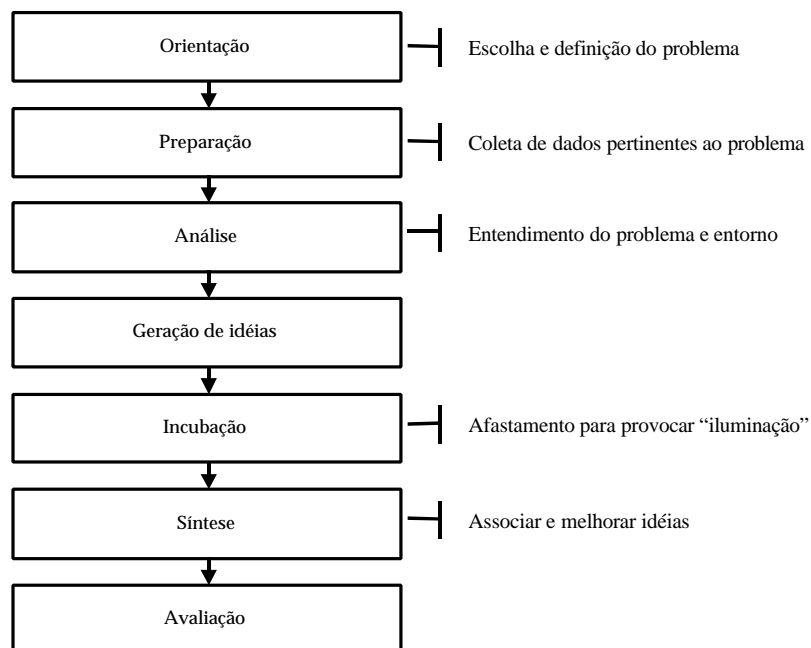


Figura 10 - Modelo de Osborn (adaptado de Osborn, 1953)

"Pesquisa sobre a natureza do processo de solução de problemas mostra que este consiste de tentativa e erro, direcionada por algum *insight* com relação à direção na qual pode haver uma solução" (Barron, 1988). Outros autores seguem esta linha de raciocínio, como Gordon (1961), Prince (1972) Koberg & Bagnall (1981), Isaksen & Trefflinger (1985), Parnes (1992) e Plsek (1997).

O autor de Bono (1968) defende que a criatividade é resultado de *lateral thinking* (pensamento lateral, traduzindo literalmente). O *lateral thinking* baseia-se nos conceitos de percepção, processamento e padrões. Percepção é a maneira como as coisas são observadas. A percepção tem influência direta na atitude adotada com relação a uma determinada situação. O processamento é o que é feito a partir de determinada percepção. Padrão é uma forma de organização do conhecimento na mente, a partir de uma determinada percepção e subsequente processamento. Os padrões podem ser compreendidos como rotinas gravadas na mente, que servem para tornar a reação a determinada percepção mais rápida.

Há uma tendência a incluir uma informação nova em um padrão mental estabelecido e procurar manter o pensamento dentro deste padrão. O processo de pensamento lateral envolve a troca de padrões de pensamento, de modo a obter novas relações entre conceitos e, portanto, novas idéias.

Segundo Hofstadter (1985), a criatividade é o mecanismo mental que dá apoio à execução de variações de um tema através da mudança de seus parâmetros ou da inclusão de novos parâmetros. A mente teria uma tendência natural para "deslizar" de um conceito para outro, seguindo um caminho imprevisível. Por exemplo, o aroma de um perfume pode evocar uma visão da infância, ou uma estação do ano, ou uma determinada cidade. Hofstadter argumenta que essas variações espontâneas ou "deslizamentos" podem produzir idéias criativas.

O entendimento da criatividade como pensamento associativo baseia-se no modelo da rede semântica (Mednick, 1962). Associação é a ativação de um nó da rede, em consequência da ativação de outro. Três mecanismos podem ocorrer para a associação de nós: serendipidade - um evento casual estimula dois nós, previamente não relacionados; similaridade - dois nós associados ou os estímulos relacionados a

eles são semelhantes e mediação de elementos comuns - através do uso de símbolos.

Um conceito importante de Mednick é a hierarquia associativa, que é o modo de organização da rede semântica de um indivíduo. Maior criatividade é associada a uma pequena hierarquização do conhecimento. Menor criatividade é associada a forte hierarquização, ou seja, cada conceito está associado a poucos outros conceitos.

Uma forma particular de pensamento associativo é a bissociação (Koestler, 1964), na qual se combinam duas linhas de pensamento normalmente não relacionadas. Por exemplo, Gutenberg inventou o processo de impressão combinando a prensa de uvas e o lacre; Kepler associou a astronomia à física em seus princípios do movimento planetário.

2.3.2 A criatividade pela ótica da inteligência artificial

De acordo com Lenat (1989), criatividade é o resultado de busca heurística. "... podemos modelar uma variedade surpreendente de atividades cognitivas como buscas, nas quais o buscador é guiado por uma grande coleção de regras gerais, as quais denominaremos heurísticas ou regras heurísticas". Estas heurísticas têm domínios de aplicação bastante específicos, embora algumas delas sejam similares para todos os domínios de aplicação. Para o domínio da invenção, Lenat sugere, entre outras, a seguinte heurística: "Tente fazer algo mais genérico do que o requisitado". Por exemplo, se a tarefa é inventar um novo cortador de unhas, não se deve pensar somente em cortar unhas e sim em cortadores de forma geral.

Watzlawick et al. (1979) distinguem dois tipos de mudanças num sistema: mudanças de primeira ordem, nas quais componentes de um sistema são modificados no nível lógico de sua estrutura e mudanças de segunda ordem, as quais ocorrem num sistema hierarquicamente superior. As mudanças de segunda ordem estariam associadas à criatividade. Por exemplo, um automóvel deve ser potente e deve ter espaço adequado para passageiros e bagagens. Estes requisitos são conflitantes. Quanto maior a potência, maior o motor e menor o espaço interno. Uma mudança de segunda ordem (no sistema hierarquicamente superior) é a utilização de cabos com corrente de alta frequência na estrada e indutores nos veículos, eliminando o conflito

entre os requisitos espaço e potência. O espaço anteriormente ocupado pelo motor e tanque de combustível deixa de ser necessário e pode ser utilizado para passageiros e bagagem.

Boden (1990) utiliza o conceito de sistemas geradores de regras, que correspondem a estruturas como a gramática de uma língua, equações matemáticas e programas de computador. Cada sistema gerador de regras descreve um conjunto de estruturas possíveis, as quais pertencem ao sistema. Algumas estruturas estão fora do sistema, mas podem ser descritas pelo sistema. Para Boden, uma idéia nova pode ser descrita pelo sistema gerador, mas, por algum motivo, não o foi. As idéias verdadeiramente criativas caracterizam-se por não poderem ser descritas pelo sistema gerador. Esta definição destaca a noção de que restrições são importantes para a criatividade. De acordo com Boden, restrições possibilitam a criatividade.

Sistemas geradores de regras são unificados e estruturados pelo espaço conceitual. A exploração deste espaço pode levar à compreensão de sua natureza, dos limites deste espaço e de possíveis modificações. Modificações no espaço conceitual são necessárias para gerar idéias criativas. Algumas sugestões de Boden para transformar o espaço conceitual são: remover uma restrição (por exemplo, o desenvolvimento da geometria não-Euclidiana foi possibilitado pela remoção do quinto axioma de Euclides); negar uma restrição; mudar o valor de numerais no espaço conceitual (por exemplo, um carro de Fórmula 1 com seis rodas).

Perkins (1995) vê o processo criativo como uma busca através do espaço de possibilidades para atingir estados finais chamados de resoluções. A heurística mais óbvia para busca no espaço de possibilidades é iniciar num certo ponto, testar pontos ao redor deste e direcionar a busca para a região mais promissora. Esta heurística é conhecida como "subir o morro" na Inteligência Artificial. Perkins cita como desvantagem desta abordagem o fato de, não necessariamente, levar à melhor solução e propõe uma segmentação do espaço de possibilidades em diferentes regiões. Na busca de resoluções, deveria ser utilizada uma estratégia diferente para cada região deste espaço:

- problemas de raridade estão relacionados a espaços em que resoluções são raras.

As estratégias sugeridas para encontrar soluções são a busca automatizada, a divisão do espaço (para busca por uma equipe) e uso de heurísticas para eliminar parte do espaço ou para direcionar a busca. Outra possibilidade é a redução do espaço inicial a um espaço derivado do original, mas, menor, chamado por Perkins espaço de conceitos abstratos.

- problemas de isolamento ocorrem quando soluções estão em outra parte do espaço, somente acessíveis pela mudança das regras de busca. As estratégias sugeridas para encontrar soluções são a busca de formas não viáveis e o acaso.
- problemas oásis referem-se à busca em áreas próximas a soluções. A sugestão para encontrar a solução é mudar o ponto de entrada.
- problemas platô acontecem em regiões grandes do espaço, quando não há indicações de direções para a busca. Estes problemas podem ser resolvidos por acaso ou "migração" para outras regiões do espaço.

2.3.3 A criatividade pela ótica da metodologia de projeto

Os principais modos de chegar a soluções consideradas criativas, de acordo com pesquisadores da área de Metodologia de Projeto são a variação, a combinação, o compartilhamento de funções e a utilização de casos. Diversos pesquisadores têm proposto a variação sistemática como forma de melhorar a eficácia da variação natural (Hofstadter, 1985) na geração de idéias criativas. Osborn (1953), por exemplo, sugeriu questionários e *checklists* como auxílio à variação.

Linde & Hill (1993) subdividem a variação sistemática em 4 passos: definição da solução básica; definição das características a variar; definição do operador de variação das características; sugestão da solução variada. Linde & Hill oferecem diversas sugestões de operadores de variação, como mudar tamanho ou mudar superfície.

Para casos em que a solução básica é regida por uma equação, Rodenacker (1982) propõe que se isole, sistematicamente, cada variável da equação.

A variação sistemática é uma das bases do trabalho de Roth (1982), que propõe o uso

de catálogos ao longo de todo o processo de projeto. Tais catálogos são coletâneas de soluções conhecidas, ordenadas de modo a facilitar sua recuperação.

As formas mais utilizadas para executar a combinação sistemática são a matriz morfológica e a caixa morfológica (Zwicky, 1948). Com a combinação sistemática, procura-se obter todas as associações possíveis entre diferentes elementos julgados relevantes para uma determinada situação.

O compartilhamento de funções, de acordo com Ulrich (1988), é a implementação simultânea de várias funções num sistema, por um único elemento do sistema.

Segundo Ulrich, há três razões (empíricas) principais que tornam o compartilhamento de funções importante no projeto: primeiro, projetos que possuem compartilhamento de funções são melhores que os que não o apresentam, na maior parte dos aspectos (menor número de componentes, montagem mais fácil, menor manutenção, melhor desempenho devido a menor tamanho e peso); segundo, a consciência do processo de compartilhamento funcional permite ao projetista pensar, inicialmente, de forma modular e decomposta, com a opção de utilizar, posteriormente, o compartilhamento funcional para tornar o sistema mais eficiente; terceiro, o compartilhamento funcional é uma das fontes de inovação no projeto mecânico.

Ulrich sugere o seguinte procedimento: primeiro, um elemento é eliminado da descrição do sistema; segundo, identifica-se no sistema características alternativas que possam implementar a função do elemento eliminado; terceiro, as características identificadas são modificadas para acentuar as propriedades secundárias desejadas.

O raciocínio baseado em casos (*case-based reasoning*) envolve o estudo de casos de projeto e como reutilizar idéias de projetos anteriores para a solução de problemas atuais, como gerar e pesquisar bibliotecas de casos e como misturar e adaptar casos. De acordo com Kolodner (1993), o projeto criativo envolve a agregação, o uso ou a modificação de soluções de projeto conhecidas, de maneiras incomuns.

2.3.4 A criatividade relacionada à invenção

Nesta categoria, incluem-se a orientação à contradição (TRIZ) e a orientação às condições suficientes (SIT).

O conceito de criatividade como remoção de contradições é devido a Altshuller (1969). Ele criou a TRIZ (acrônimo russo para Teoria da Solução Inventiva de Problemas), "...a nova tecnologia da criatividade, na qual o processo de pensamento não é caótico, mas, organizado e perfeitamente controlável." A metodologia de Altshuller é composta de métodos que baseiam-se em heurísticas, obtidas a partir de análise de problemas técnicos eficazmente resolvidos, os quais encontram-se registrados nos bancos de patentes. Assim, a sugestão é utilizar o histórico de problemas bem resolvidos no passado para indicar a direção de solução dos problemas futuros.

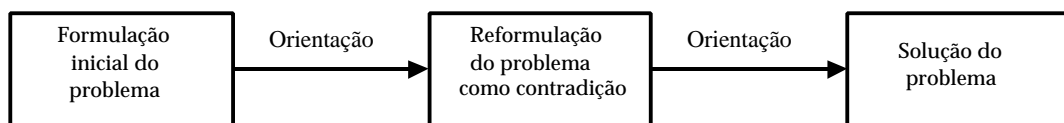


Figura 11 - Estratégia da TRIZ

Na Figura 11 é mostrada a estratégia da TRIZ. Há duas etapas básicas: a reformulação do problema - necessária para se chegar à contradição e a solução do problema. Há heurísticas para orientar ambas as etapas. Essa linha vem sendo desenvolvida por autores como Linde & Hill (1993), Fey, Rivin & Vertkin (1994) e Savransky, (1998a).

Segundo Horowitz & Maimon (1997), uma idéia é criativa quando é assim julgada por especialistas na área de conhecimento relacionada. Esta afirmação apóia o método do Pensamento Inventivo Estruturado (SIT - *Structured Inventive Thinking*), que os autores traduzem em duas condições necessárias e suficientes para que uma idéia seja criativa: mudança qualitativa - uma idéia criativa deve produzir uma mudança qualitativa no relacionamento entre duas variáveis relevantes da situação e mundo fechado - uma idéia criativa não deve modificar a lógica atual da situação. As

condições mudança qualitativa e mundo fechado, assim como o próprio método SIT são derivados da TRIZ.

2.4 Discussão

Neste Capítulo, foram apresentados o estado atual das pesquisas sobre os processos mentais utilizados durante a busca de soluções para problemas e sobre a criatividade.

Aparentemente, as visões sobre a criatividade e o processo criativo vistas são muito diferentes. Entretanto, após análise mais cuidadosa, verifica-se serem as opiniões dos autores menos discordantes do que complementares. Há dois motivos para isso: primeiro, diferentes autores estudam a criatividade a partir de diferentes aspectos e níveis de abstração; segundo, devido à diferenciação adotada nas terminologias, muitas similaridades acabam ficando ocultas.

Embora soluções criativas possam ser encontradas casualmente, vários autores consideram válida e, além disso, necessária, a utilização de métodos que diminuam a variabilidade e permitam, através do esforço consciente de um indivíduo ou de uma equipe, melhorar a probabilidade de encontrar soluções criativas.

Inúmeros métodos foram propostos para a solução criativa de problemas. Os principais métodos são descritos no Capítulo 3.

3 Métodos para solução criativa de problemas

“I keep six honest serving men, they taught me all I knew. Their names are What and Why and When and How and Where and Who.”

Rudyard Kipling

3.1 Introdução

Neste Capítulo, faz-se uma revisão dos principais MSCP. Na literatura, pode-se encontrar uma quantidade muito grande de métodos para apoiar o processo de solução criativa de problemas. Esta aparentemente grande diversidade desaparece, entretanto, ao se analisar os princípios dos quais se derivam os métodos. Pode-se chegar, então, a um número relativamente pequeno de métodos, que representam os demais.

A classificação tradicionalmente encontrada na literatura sobre desenvolvimento de produto estabelece uma divisão dos métodos para a solução criativa de problemas em métodos intuitivos e métodos sistemáticos. Métodos intuitivos são baseados, principalmente, nos estudos psicológicos da criatividade e em tentativa e erro para a busca de soluções criativas. Os métodos sistemáticos são estruturados em passos, de modo a aumentar a probabilidade de se chegar a soluções adequadas. Esta categoria de métodos é mais adequada à solução de problemas complexos, pois se propõe a subdivisão de um problema complexo em problemas mais simples.

Através de revisão da bibliografia, entretanto, pôde-se verificar que a subdivisão simples entre métodos intuitivos e métodos sistemáticos não destaca, suficientemente, características interessantes de alguns dos métodos existentes. Assim, propõe-se a classificação apresentada na Tabela 1, na qual as categorias de métodos heurísticos e métodos orientados são incluídas. Métodos heurísticos são baseados em regras. Tais métodos procuram fazer uso da programação e do computador como auxílio à solução de problemas. Os métodos orientados são baseados em padrões reconhecidos no processo de solução de problemas de várias

áreas. Estes métodos fazem uso dos padrões reconhecidos para resolver outros problemas. A classificação apresentada é arbitrária. Existem sobreposições entre as quatro classes de métodos, uma vez que há métodos intuitivos que incluem heurísticas para aumentar a probabilidade de encontrar soluções criativas. Há métodos sistemáticos que utilizam heurísticas e orientações. Pela forma estruturada que possuem, os métodos orientados poderiam, também, ser considerados sistemáticos e, por incluir algoritmos, alguns deles poderiam ser considerados heurísticos. Não se pretende, portanto, que a classificação proposta seja definitiva. Ela serve para atender ao escopo e necessidades deste trabalho.

Tabela 1 – Classificação dos métodos para solução criativa de problemas

Métodos intuitivos	<i>Brainstorming</i> , Questionários e <i>checklists</i> , 635, <i>Lateral Thinking</i> , <i>Synectics</i> , Galeria
Métodos sistemáticos	Método morfológico, Análise e síntese funcional, Analogia sistemática
Métodos heurísticos	Algoritmo, Programa
Métodos orientados	Métodos da TRIZ, SIT

Nos itens 3.2 e 3.3 são apresentados, respectivamente, os métodos intuitivos e sistemáticos. Os métodos heurísticos são descritos no item 3.4. Os métodos baseados no estudo de invenções, ou métodos orientados, são abordados no item 3.5. No item 3.6, é feita uma discussão sobre os métodos abordados.

Os objetivos desta revisão bibliográfica referente aos MSCP são :

- compreender o estado da arte no que se refere a métodos para a solução criativa de problemas;
- levantar informações para a dedução de conceitos fundamentais, aspectos comuns e análise dos métodos para a solução criativa de problemas, feita no Capítulo 4;
- fundamentar teoricamente o modelo para a solução criativa de problemas nas etapas iniciais do desenvolvimento de produto, proposto no Capítulo 4.

3.2 Métodos intuitivos

Os métodos intuitivos, baseados em estudos psicológicos do pensamento, são descritos a seguir. Os métodos intuitivos para a solução criativa de problemas foram os primeiros a ser desenvolvidos e seu escopo é genérico, ou seja, estes métodos não são voltados especificamente para o desenvolvimento de produto ou qualquer outra área. Os métodos abordados neste item são o *brainstorming*, o método dos questionários ou *checklists*, o *brainwriting*, o *lateral thinking*, o método *synectics* e o método galeria.

3.2.1 Brainstorming

O *brainstorming* foi criado por Osborn (1953). Trata-se de um método de criatividade para uso em grupo. O *brainstorming* fundamenta-se no fato de que cada indivíduo possui uma combinação de experiências e conhecimento única e, portanto, pode contribuir para visualizar um determinado problema de maneira diferente. Isso pode levar a soluções de maior valor do que as imediatas e geradas por uma única pessoa.

O grupo para uma sessão de *brainstorming* deve ser formado por cerca de seis indivíduos, preferencialmente de diferentes áreas do conhecimento relacionadas ao problema. Deve ser indicado um moderador com domínio do método para a sessão. Cada um dos participantes deve ter conhecimento prévio sobre o objetivo da sessão e cada um deles deve preparar-se, levando em conta o objetivo. Uma sessão de *brainstorming* deve durar cerca de trinta minutos.

Antes de iniciar uma sessão de *brainstorming*, o moderador deve motivar o grupo para a solução do problema. A partir de uma definição do problema não excessivamente específica - uma vez que o grupo é multidisciplinar - o grupo deve ser levado a gerar uma grande quantidade de idéias. Durante essa etapa, não são permitidas críticas e todas as idéias devem ser anotadas. Com a proibição da crítica, consegue-se grande quantidade de idéias. Os indivíduos são, numa segunda etapa, incentivados a gerar mais idéias, baseadas nas idéias dos outros. Consegue-se, assim, aumentar a qualidade das idéias obtidas. Numa terceira etapa, é feita a avaliação das idéias obtidas e sua classificação por ordem de viabilidade.

3.2.2 Questionários e *checklists*

Este método pode ser utilizado para a geração de idéias individualmente ou em grupo (por exemplo, durante uma sessão de *brainstorming*). O objetivo dos itens dos *checklists* e das questões dos questionários é o mesmo: o estímulo à geração de idéias. Através dos itens e questões, são propostas transformações que podem levar a soluções criativas. Osborn (1953) criou um conjunto de itens e questões que, propunha, deveria ser utilizado em sessões de *brainstorming* - especialmente naqueles momentos em que há diminuição da quantidade de idéias geradas. O *checklist* de Osborn é mostrado na Tabela 2.

Outro exemplo de *checklist* são os verbos de manipulação de Koberg & Bagnall (1981): multiplicar, distorcer, afofar, extrudar, dividir, girar, fazer *by-pass*, repelir, eliminar, aplainar, adicionar, proteger, subjugar, pressionar, subtrair, segregar, inverter, complementar, iluminar, integrar, separar, submergir, repetir, simbolizar, transpor, congelar, espessar, abstrair, unificar, amaciar, alongar, dissecar.

Tabela 2 – Checklist e questionário de Osborn

Modificações sugeridas	Questões
Adaptar	Com que se parece o objeto da discussão? Que outras idéias de pode derivar disto? Há paralelos no passado? O que pode ser imitado? O que pode ser suplantado?
Modificar	Pode-se modificar o significado, cor, movimento, timbre, aroma ou forma? Que outras modificações são possíveis?
Aumentar	O que pode ser acrescentado? Em que dimensão? Pode ser aumentada a força, o comprimento, a altura, a espessura, a quantidade de peças? Pode-se duplicar? Multiplicar? Exagerar?
Diminuir	O que pode ser suprimido, comprimido, miniaturizado, diminuído, encurtado, omitido, atenuado?
Substituir	O objeto pode ser substituído? Pode ser utilizado outro componente, outro material, outro processo de fabricação, outra fonte de energia, outro local, outro caminho, outro timbre?
Reordenar	Pode ser trocada a posição, a configuração, o <i>layout</i> , a ordem? Pode-se inverter causa e efeito? Pode-se mudar a velocidade? Pode-se mudar o cronograma?
Inverter	O que significa o contrário? Pode-se inverter positivo e negativo, virar ao contrário, virar de lado, trocar papéis?
Combinar	Poderia ser feita uma mistura, uma liga, um sortimento? Pode-se combinar unidades, finalidades, idéias?
Usar de outra forma	Há novas possibilidades de uso da forma antiga? Quais as possibilidades de uso com a alteração da forma?

Outros autores oferecem sugestões de *checklists* e questionários, como Van Gundy, 1988 e de Bono, 1968. Alguns programas de computador para auxílio ao pensamento

criativo, como o *Axon Idea Processor* (Axon Research, 1998), baseiam-se em *checklists* e questionários.

3.2.3 Brainwriting e Método 635

O método 635 é o mais conhecido dos métodos de *brainwriting*. Foi desenvolvido com base no *brainstorming*, por Rohrbach (1969), a partir da percepção de que, em sessões de *brainstorming*, se apenas algumas poucas idéias iniciais são desenvolvidas de forma mais intensiva, as soluções finais obtidas tendem a ser melhores. Assim, Rohrbach propôs um método voltado para a busca de soluções em grupo com menor quantidade de entradas iniciais que o *brainstorming*.

Após a familiarização com o problema e cuidadosa análise, um grupo de seis participantes escreve três sugestões iniciais para solucionar o problema. A seguir, estas soluções são passadas ao participante vizinho, que deve sugerir outras três soluções ou desenvolvimentos das soluções já sugeridas. Este processo continua até que cada folha tenha trocado de mãos cinco vezes, tendo circulado por todas as pessoas do grupo.

Existem outros métodos similares ao *brainwriting*, os quais não são limitados aos números 6, 3 e 5.

3.2.4 Lateral Thinking

Em seu método *lateral thinking*, de Bono (1968) propõe as técnicas do degrau, da fuga e da estimulação randômica para provocar a mudança de um padrão de pensamento para outro. A premissa adotada por de Bono é que essa mudança de padrão de pensamento levaria a soluções criativas. As técnicas do degrau, da fuga e da estimulação randômica são baseadas em provocações, que são idéias, lógicas ou não, lançadas com o único objetivo de gerar outras idéias.

Um exemplo de uso da técnica do degrau é a provocação "carros deveriam ter rodas quadradas". Esta idéia pode levar a outras idéias interessantes, como uma peça quadrada presa à roda (ou duas peças quadradas sobrepostas, formando um

octógono), para melhorar a aderência em terrenos arenosos ou atoleiros. A idéia inicial é o degrau, utilizado para subir a um outro padrão de pensamento.

Na técnica da fuga, busca-se identificar o padrão atual de pensamento e, conscientemente, escapar deste. É natural assumir que, em cada cabina telefônica, deve existir um aparelho telefônico. Uma fuga deste padrão seria a idéia de se ter dois aparelhos por cabina. Assim, se o cabo fosse suficientemente longo, duas pessoas poderiam telefonar ao mesmo tempo e um dos aparelhos poderia ser utilizado enquanto o outro estivesse fora de serviço.

A técnica da estimulação randômica implica no uso de um objeto, obtido por acaso, que deve ser associado ao problema em questão. Por exemplo, o problema é unidirecionar o fluxo de pessoas pela porta de uma agência bancária. A estimulação randômica vem da palavra queda, obtida de um dicionário. Um possível resultado de associação é o uso de um escorregador (queda controlada), pelo qual as pessoas poderiam, somente, descer, garantindo-se a possibilidade de movimentação num único sentido - para fora, neste caso, ao final do expediente.

3.2.5 Synectics

Synectics ou sinergia é o método de solução criativa de problemas em grupo criado por Gordon (1961) e aperfeiçoado por Prince (1972). A seqüência de aplicação deste método é apresentada na Figura 12. O nome *synectics* justifica-se por este método ter sido desenvolvido para utilizar diferentes elementos da criatividade (como incubação, pensamento divergente, tentativa e erro, analogias), de forma combinada. É sugerido que o método seja aplicado por um grupo multidisciplinar de quatro a sete pessoas.

Os dois primeiros passos são dedicados à compreensão do problema pelo grupo, ou, tornar o (problema) estranho familiar. No terceiro passo, o grupo procura gerar, espontaneamente, soluções preliminares para o problema, cuja finalidade principal é aprofundar a compreensão sobre o problema. No quarto passo, definições alternativas para o problema ou subproblemas são feitas e uma destas definições é escolhida para ser trabalhada.

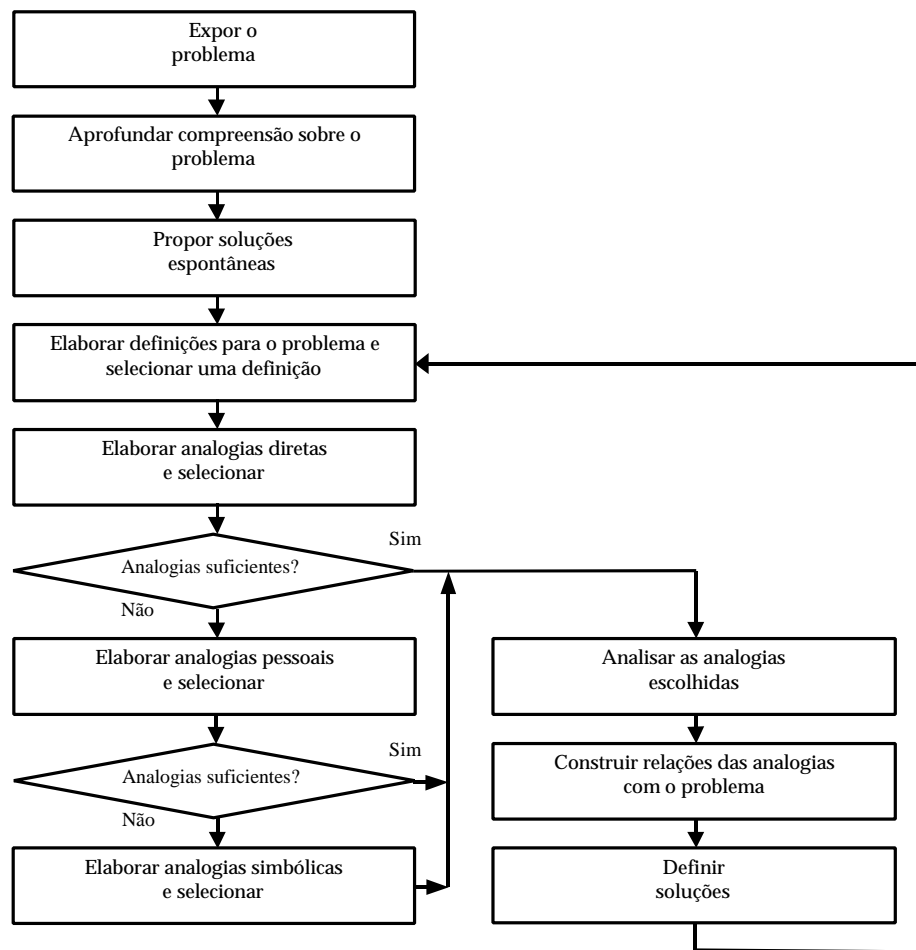


Figura 12 – Método Synectics (Gordon, 1961 e Prince, 1972)

Os três passos seguintes sugerem a geração de analogias - diretas, pessoais e simbólicas - e seleção. Com as analogias, procura-se "tornar o familiar estranho". As analogias selecionadas devem atender aos seguintes critérios: ser consideradas interessantes pelo grupo, ter pequeno relacionamento com o problema e ser conhecidas pelo grupo.

As analogias escolhidas são, então, analisadas. Nesta etapa do método, "... o pensamento oscila de um modo ordenado entre análise e analogia, entre fazendo o estranho familiar e o familiar estranho" (Back, 1983). Em seguida, buscam-se novas associações entre conceitos e outras implicações das analogias, de forma a relacioná-las com o problema inicial e, a partir daí, gerar soluções para o mesmo.

Se não forem encontradas soluções satisfatórias, pode-se retornar ao quarto passo, trabalhando com outra definição para o problema.

3.2.6 Galeria

O método da galeria foi desenvolvido por Hellfritz (1978). Este método combina trabalho individual e trabalho em grupo. É um método indicado para problemas de projeto conceitual, de configuração e detalhado, uma vez que propostas de solução na forma de desenhos são facilmente incluídas. A organização é similar à do *brainstorming*. Na etapa introdutória, o grupo recebe as instruções do moderador. A seguir, na etapa de geração de idéias, cada elemento do grupo é incentivado a propor, individualmente, soluções para o problema, através de desenhos e textos, os quais são fixados em paredes (como quadros numa galeria de arte). Nesta etapa, as idéias preliminares são aperfeiçoadas e novas idéias são geradas, em grupo. Então, numa nova etapa de geração individual de idéias, cada elemento do grupo desenvolve as idéias geradas nas etapas anteriores. Finalmente, todas as idéias geradas são revisadas, classificadas e refinadas. As soluções mais promissoras são escolhidas para implementação.

3.3 Métodos sistemáticos

Os métodos sistemáticos são voltados para a busca de soluções criativas para problemas complexos. Dentre os métodos sistemáticos, a seguir são descritos o método morfológico, o método da análise e síntese funcional e o método da analogia sistemática.

3.3.1 Método morfológico

O método morfológico foi criado por Zwicky (1948). Consiste no desdobramento de um problema complexo em partes mais simples, na solução das partes mais simples e na recombinação numa solução completa. Pode-se considerar o método morfológico como derivado do próprio método científico: "...dividir cada uma das dificuldades que eu houvesse de examinar em tantas parcelas quantas pudessem ser e fossem exigidas para resolvê-las melhor." (Descartes, 1637).

As etapas do método morfológico são mostradas na Figura 13. Inicialmente, o problema é definido de forma exata e, a seguir, subdividido em parâmetros. Na

etapa seguinte, busca-se formas alternativas para solucionar os parâmetros, as variantes de solução para os parâmetros. Sua obtenção pode ocorrer através da experiência, pesquisa, uso de catálogos de projeto (Roth, 1982) e MSCP (descritos ao longo deste Capítulo). Em seguida, obtêm-se todas as combinações possíveis dos parâmetros. São definidos, então, critérios de avaliação e as combinações de parâmetros são submetidas a avaliação. Finalmente, a melhor combinação dos parâmetros é adotada como solução para o problema.

A maior dificuldade na aplicação do método morfológico é encontrar um conjunto de parâmetros que sejam essenciais para a obtenção de soluções, independentes entre si, que abranjam todo o escopo do problema e não sejam excessivamente numerosos, de modo a minimizar o tempo de busca. Uma maneira de buscar o atendimento destes requisitos é pelo uso do método da análise e síntese funcional, apresentado no item 3.3.2.

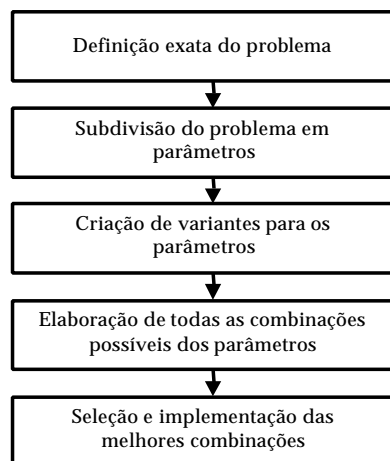


Figura 13 – Etapas do método morfológico (Zwicky, 1948)

3.3.2 Análise e síntese funcional

Embora haja variações, o método da análise e síntese funcional é utilizado por vários autores da área de metodologia de projeto no desenvolvimento de produtos complexos (Back, 1983; Pahl & Beitz, 1988; Hundal, 1990; Roth, 1982; Ullman, 1992; Koller, 1994; Rodenacker, 1982; Ulrich & Eppinger, 1995; Hubka & Eder, 1996).

A análise funcional corresponde à extração, a partir de um sistema técnico existente, de sua estrutura funcional. Síntese funcional é o processo de criação de novas estruturas funcionais, realizado a partir de analogia com sistemas técnicos existentes e/ou parâmetros desejados. Os objetivos do método da análise e síntese funcional são:

- executar as duas primeiras etapas do método morfológico de uma forma estruturada e adequada a sistemas técnicos complexos;
- definir a lógica de funcionamento do sistema independentemente de soluções;
- normalizar o projeto - a padronização de funções permite a padronização de soluções em catálogos de projeto;
- subdividir o sistema técnico em módulos;
- definir com clareza sistemas a serem desenvolvidos.

Autores da metodologia de projeto têm proposto diferentes diretrizes para a obtenção da estrutura funcional de um sistema. Com base nas principais abordagens para o problema da formulação da estrutura funcional, Herrmann et al. (1996) propõem os passos mostrados na Figura 14. Em sua proposta, Herrmann et. al. destacam dois pontos: a distinção de procedimento para projeto de produto novo ou reprojeto (caso em que é feita a análise funcional) e o uso de uma base de funções, a qual pode abranger um conjunto de funções elementares de um domínio específico ou todo o domínio dos sistemas técnicos.

Para executar a síntese funcional, parte-se de uma lista de requisitos. A seguir, procura-se funções da base de funções que se relacionem com os requisitos. Então, organiza-se estas funções numa estrutura funcional preliminar. A partir das estruturas preliminares são obtidas algumas variantes. Através de processos de avaliação, seleciona-se a estrutura funcional mais adequada.

No reprojeto de um sistema, inicialmente, utiliza-se um processo analítico. Do sistema, retiram-se princípios de funcionamento e funções. As demais etapas do procedimento são as recomendadas para o projeto de novos produtos.

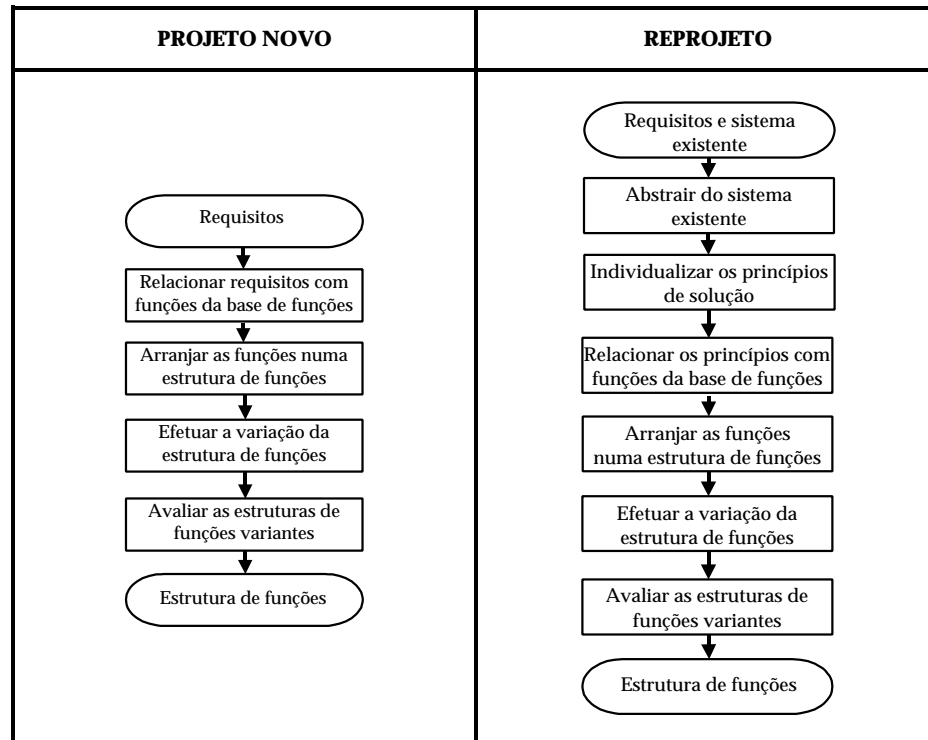


Figura 14 - Procedimentos para o desenvolvimento da estrutura de funções (Herrmann et al., 1996)

3.3.3 Analogia sistemática

Com as analogias, procura-se identificar características funcionais ou estruturais originárias de áreas diversas e traduzi-las para a geração de novas soluções para o problema em questão. Estas áreas podem ser técnicas, naturais ou administrativas. O processo de analogia consiste na comparação e transferência de características originárias entre dois domínios distintos, o domínio do problema e o domínio análogo. Essa transferência deve ocorrer em níveis de abstração compatíveis. Entretanto, para que possa existir analogia entre dois domínios estes precisam ter, no mínimo, uma característica em comum.

O processo sistemático para a geração de analogias é mostrado na Figura 15 (Linde & Hill, 1993). A partir da definição do problema, abstrai-se suas características mais relevantes. Procura-se, então, transferir características do problema para possíveis áreas de analogia. Neste processo, compara-se características do problema com características da área de analogia. Tal comparação pode ser feita, por exemplo, ao nível de funções, estrutura, forma ou comportamento. Finalmente, faz-se a

transferência e o ajuste das características consideradas mais úteis ao problema, obtendo-se soluções básicas.

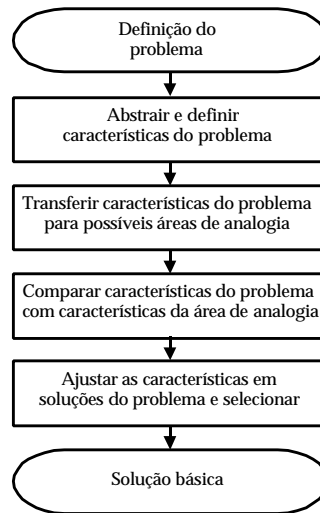


Figura 15 - Processo sistemático de obtenção de analogias (Linde & Hill, 1993)

3.4 Métodos heurísticos

Heurística é “uma regra que pode auxiliar a solucionar certos tipos de problemas, mas, não garante que se chegue à solução.” (Perkins, 1985).

Segundo a definição de Perkins, todos os métodos para a solução criativa de problemas podem ser considerados como heurísticos. Entretanto, para os fins deste trabalho, serão considerados métodos heurísticos para a solução criativa de problemas os algoritmos e programas computacionais.

3.4.1 Algoritmo

"No sentido restrito, a palavra algoritmo significa uma seqüência absolutamente determinada de operações matemáticas. Num sentido mais amplo, algoritmo é qualquer programa de ação suficientemente claro." (Altshuller, 1979). De acordo com esta frase, vários MSCP poderiam ser classificados como algoritmos. Os algoritmos para a solução criativa de problemas ora estudados são, mais especificamente, seqüências bastante detalhadas de tarefas. O nível de detalhamento de um algoritmo

deve ser suficiente para garantir fácil implementação computacional subsequente.

Uma das partes da TRIZ consiste de algoritmos para a reformulação de problemas e para a solução de problemas. O algoritmo mais conhecido da TRIZ é o ARIZ - Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas, apresentado no item 3.5.2.2. Outros exemplos de algoritmos são os elaborados por autores como Polovinkin (1976), Savransky (1998a) e Sandler (1994).

Na Figura 16 é mostrado o “Algoritmo para a seleção de problemas inventivos a partir de fenômenos indesejados” em seus itens ou conjuntos de heurísticas principais, proposto por Savransky (1998a). Neste algoritmo, há etapas de processamento, tomada de decisão e iterações, que não foram representadas na figura. Várias destas etapas subdividem-se em itens, subitens e, em alguns casos, orientações de procedimento, como:

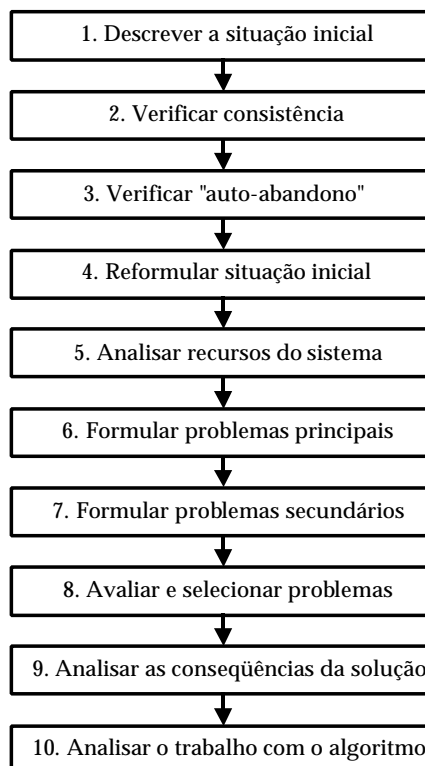


Figura 16 - Conjuntos principais de heurísticas do algoritmo para a seleção de problemas inventivos a partir de fenômenos indesejados (Savransky, 1998a)

3.4.2 Programa

Um programa é a implementação computacional de um algoritmo. Quanto mais detalhado e estruturado um algoritmo é, mais facilmente ele pode ser implementado computacionalmente. O conhecimento prévio ou elaboração do algoritmo é, de fato, um pré-requisito para que se possa implementar um programa.

Programas de computador como o AM e o HEURISCO foram projetados para inventar novos (pelo menos para o programa) conceitos matemáticos, utilizando a busca heurística (Lenat, 1989). Tais programas foram estruturados com base em algumas centenas de heurísticas de diferentes níveis de abstração. Um exemplo de heurística utilizada é "se F é uma operação interessante, procure pela sua inversa." Outros programas foram desenvolvidos, de forma a implementar a criatividade como mudança de segunda ordem (Watzlawick et al., 1979), a criatividade como exploração e transformação de um espaço conceitual (Boden, 1990) e a criatividade como busca num espaço de possibilidades (Perkins, 1995).

Sandler (1994) propõe o uso de programas que, utilizando algoritmos genéticos, simulam o que ele define como raciocínios do tipo analógico, inverso, intuitivo e associativo.

Algoritmos da TRIZ ou desenvolvimentos a partir dela têm sido implementados, inclusive resultando em programas comerciais, como os pacotes da Invention Machine Co. (1999), da Ideation International, Inc. (1999), da Insytec (1999) e IQ-Plus Co. (1999).

3.5 Métodos orientados

Os métodos orientados para a solução criativa de problemas são os métodos da TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas) e o método SIT (Pensamento Inventivo Sistemático). Estes métodos são denominados orientados, neste trabalho, porque procuram fazer a reutilização de estratégias empregadas na solução de problemas anteriores, dos quais derivou-se certas orientações. Neste segmento, inicialmente é feita uma introdução à TRIZ e seus conceitos básicos, de modo a possibilitar uma adequada compreensão dos métodos para solução de problemas da TRIZ, que são

descritos na seqüência. Ao final do item 3.5, o método SIT é apresentado.

3.5.1 Histórico, estrutura e conceitos fundamentais da TRIZ

3.5.1.1 Histórico e estrutura

A metodologia TRIZ começou a ser desenvolvida durante os anos 50, por G. S. Altshuller, na ex-URSS. Altshuller (1969, 1974, 1979, 1984, 1989) estudou patentes de diferentes áreas, com o objetivo de buscar alternativas mais eficazes aos MSCP então disponíveis - especialmente, aos métodos puramente psicológicos. Esta abordagem diferenciou-se das anteriores por focalizar-se nos registros do produto criativo das áreas técnicas - patentes. Altshuller e seus colaboradores procuraram definir quais os processos envolvidos na obtenção das soluções criativas contidas nas patentes. Estudando problemas que haviam sido resolvidos de forma criativa e procurando deles retirar informações que pudessem ser utilizadas para a solução de outros problemas, Altshuller encontrou certas regularidades no processo de solução de problemas. Com base nas regularidades identificadas, elaborou uma metodologia para a solução de problemas, a qual denominou TRIZ.

A TRIZ considerada clássica - desenvolvida por Altshuller e seus colaboradores - é composta por diversos métodos para a formulação e a solução de problemas, uma base de conhecimento e padrões da evolução dos sistemas técnicos. É uma unanimidade entre os principais autores que a TRIZ ainda está no início de seu desenvolvimento e que muitos conhecimentos científicos ainda serão adicionados à base de dados e métodos mais eficazes serão desenvolvidos e/ou unificados com os já existentes na TRIZ e em áreas correlatas. A expansão da TRIZ para áreas não técnicas (administração, pedagogia e outras) está ocorrendo. Por falta de intercâmbio científico com os países ocidentais durante o regime comunista da ex-URSS, a difusão da TRIZ no Ocidente somente vem ocorrendo há pouco mais de uma década, com intensidade maior nos últimos cinco anos. Com a doença e o falecimento de Altshuller, o desenvolvimento da TRIZ passou a ser liderado por seus antigos colaboradores. No presente trabalho, optou-se por considerar somente a TRIZ

clássica, cuja estrutura é mostrada na Figura 17.

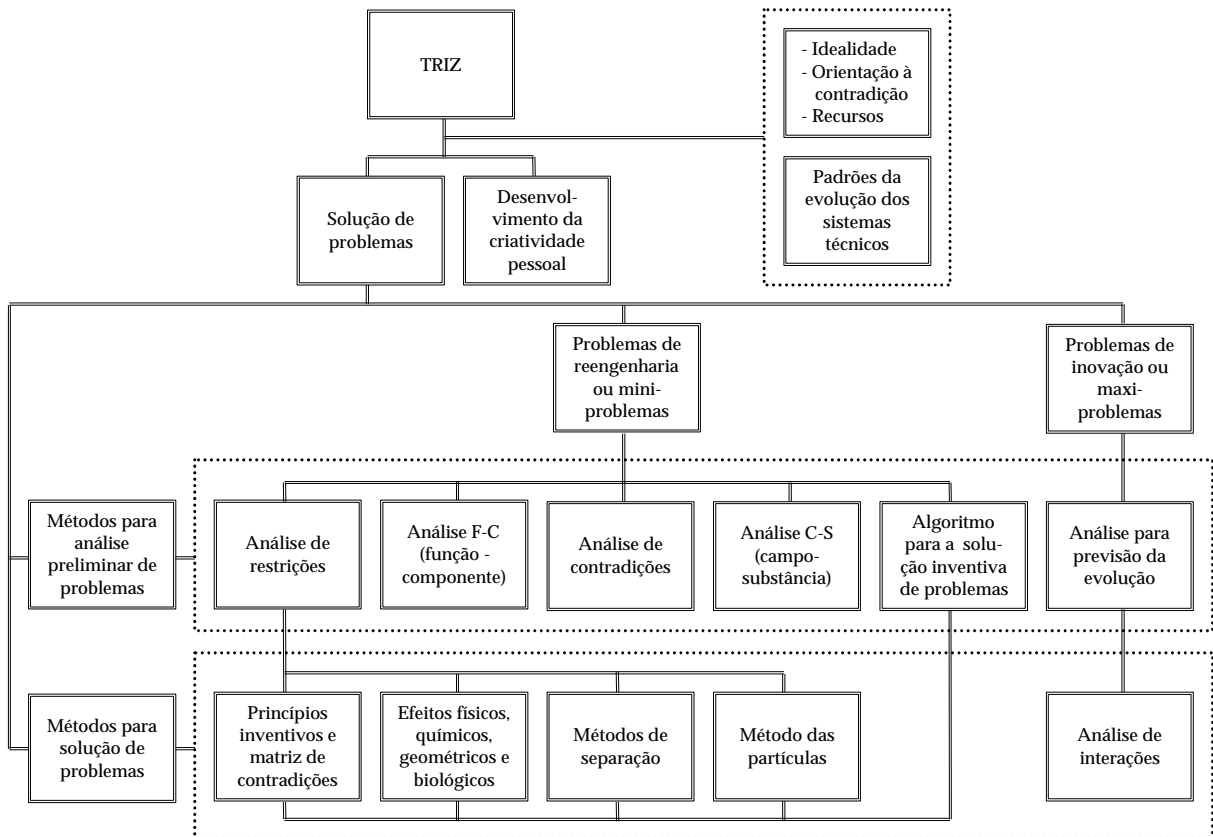


Figura 17 - Estrutura da TRIZ Clássica

3.5.1.2 Conceitos fundamentais da TRIZ

Os conceitos fundamentais da TRIZ são a idealidade, a orientação à contradição e o uso de recursos existentes num sistema.

A idealidade de um sistema técnico é a razão entre o número de funções desejadas e o número de funções indesejadas que o mesmo executa. O sistema técnico equivale ao preço pago pela execução das funções e, quanto mais evoluído o sistema, menor é esse preço. Deste modo, a idealidade de um sistema técnico é análoga à noção de valor, na Análise do Valor (Miles, 1961).

A evolução dos sistemas técnicos é um processo governado por padrões (Tabela 3) e ruma no sentido do sistema ideal. Como ilustração, na Tabela 4 são mostradas as etapas de evolução do automóvel com motor de combustão interna.

Tabela 3 - Padrões da evolução dos sistemas técnicos (adaptado de Altshuller, 1979)

Padrões		Explicações
Padrões da criação de sistemas técnicos	Completeza do sistema.	Um sistema técnico deve ter motor, transmissão e sistemas de operação, controle e sustentação e proteção.
	Capacidade de condução de energia.	Um dos subsistemas de um sistema técnico tem de ser capaz de conduzir energia, no mínimo.
	Sincronização dos ritmos.	Subsistemas dos sistemas técnicos devem ter ritmos de operação compatíveis.
Padrões do movimento	Inesgotabilidade do desenvolvimento técnico	Sistemas técnicos podem ser desenvolvidos, através de melhorias e associação a outros, indefinidamente.
	Aumento da idealidade do sistema técnico	Sistemas técnicos tendem a utilizar mais informação e menos material, energia, espaço e tempo.
	Desigualdade da evolução dos subsistemas	Subsistemas, especialmente de sistemas complexos, tendem a desenvolver-se desigualmente.
	Transição para o supersistema	Quando o desenvolvimento de um sistema técnico isolado chega ao limite, esta transição pode ser necessária.
Padrões de tendência	Simplificação do sistema	Sistemas tornam-se mais complicados e, depois, mais simples. A eficácia aumenta com a simplificação.
	Transição para o subsistema	A eficácia de um sistema aumenta com a transição para o subsistema.
	Transição da instrumentação para a automatização	A eficácia de um sistema aumenta com a automatização.
	Aumento da participação de sistemas C-S no sistema	A eficácia de um sistema aumenta com o crescimento da participação de sistemas C-S (campo-substância).

Tabela 4 - Etapas da evolução do automóvel (adaptado de Savransky, 1996)

Estágio de evolução		Descrição	Exemplo: automóvel com motor de combustão interna
Formação	0	Descoberta científica ou tecnológica para a qual, muitas vezes, não se conhece aplicação.	Teorias de Carnot, Watt e outros (termodinâmica clássica).
	1	O sistema ainda não existe, mas, há elementos importantes para seu surgimento.	Desenvolvimento dos primeiros motores de combustão interna.
	2	O novo sistema surge, resultante de invenção do nível 3 ou 4 (solução de uma contradição e/ou uso de princípio científico pouco conhecido). Desenvolvimento lento.	Primeiros automóveis: construídos com tecnologia das carruagens, artesanais e caros.
Otimização	3	A sociedade reconhece a importância do novo sistema. O desenvolvimento é rápido. Muitas patentes são concedidas.	Ford e outros iniciam a produção em massa e o grande mercado de automóveis.
	4	O sistema atinge a maturidade e seu desenvolvimento satura-se.	Incorporação de mecânica sofisticada, como transmissão automática, controle de tração e de freios, injeção de combustível, etc.
	5	Possibilidades de desenvolvimento do sistema original são esgotadas.	
Evolução	6	Melhorias no sistema são conseguidas com outras tecnologias. Surge a próxima geração, que substituirá o sistema original.	Incorporação de elementos eletrônicos, permitindo melhorias de desempenho. Veículos elétricos, híbridos etc.
Formação	7 (= 2)	Coexistência do sistema antigo com o novo.	Veículos com motor de combustão interna, elétricos, híbridos etc.

Contradições podem ser definidas como requisitos conflitantes com relação a um

mesmo sistema técnico. Por exemplo, a haste de um ferro de soldar deve ser longa, para não queimar a mão do soldador e deve ser curta, para facilitar o controle da operação. Uma solução extremista seria fazer a haste muito longa. Isso evitaria queimaduras, mas, prejudicaria a precisão do controle. Uma solução que procura contornar a contradição seria fazer a haste não muito curta, nem muito longa: um meio termo é estabelecido. A orientação à contradição consiste em não procurar evitá-la, mas, resolvê-la criativamente. Como um exemplo de solução que resolve a contradição, a haste poderia ter forma similar à de uma ferradura. Assim, o cabo seria longo (para a transmissão de calor) e seria curto (para um controle adequado). A identificação e solução das contradições de um sistema técnico aproxima-o do ideal. Existem diferentes tipos de contradições. Na Tabela 5, são apresentados os tipos de contradições.

Os recursos de um sistema podem ser definidos como quaisquer elementos do sistema ou das cercanias que ainda não foram utilizados para a execução de funções úteis no sistema. A utilização de recursos torna o sistema mais próximo do ideal. Há casos em que a simples procura por recursos não aproveitados em um sistema leva a soluções inventivas. Existem diferentes classes de recursos: internos; externos; naturais; sistêmicos; funcionais; espaciais; temporais; de campo; de substância; de informação. Um exemplo do uso de recursos do sistema é o turbocompressor utilizado em motores de combustão interna, que transforma parte da energia dos gases de combustão em sobrepressão do ar alimentado. Neste caso, o recurso utilizado corresponde à energia.

3.5.1.3 Padrões da evolução

Os padrões da evolução dos sistemas técnicos correspondem às regularidades encontradas por Altshuller (1979) em análises de sistemas técnicos oriundos de diferentes áreas. Na Tabela 3, é apresentado um resumo dos padrões da evolução dos sistemas técnicos.

Os padrões da evolução dos sistemas técnicos descrevem como poderá ocorrer o desenvolvimento de um sistema técnico na direção do sistema técnico ideal. Os

padrões podem ser utilizados para prever como um determinado sistema deve ser desenvolvido e definir as tarefas de desenvolvimento. São, portanto, úteis para orientar a solução de problemas técnicos, para previsão tecnológica e definição de estratégias e táticas de desenvolvimento, na etapa de planejamento de produto.

3.5.1.4 Desenvolvimento da criatividade pessoal

Esta parte da TRIZ não é baseada no estudo de patentes, mas em uma outra fonte de informação: biografias de pessoas consideradas criativas. Altshuller concentrou-se neste estudo em seus últimos anos de trabalho. O desenvolvimento da criatividade pessoal não se destina, diretamente, à solução de problemas técnicos. A ênfase é no aumento da capacidade criativa dos indivíduos. Deriva da preocupação de Altshuller com a dificuldade de implementação de idéias criativas.

Conforme Rantanen (1999), o desenvolvimento da criatividade pessoal baseia-se no estudo de uma grande quantidade de biografias. A partir do estudo das biografias, Altshuller e seu colaborador Vertkin desenvolveram uma estratégia apresentada de forma similar à de um jogo de xadrez: o ambiente executa movimentos contra a pessoa e a pessoa executa movimentos contra o ambiente hostil.

Altshuller e Vertkin delinearão seis partes principais da estratégia criativa pessoal: a definição de uma meta socialmente significativa; o planejamento e controle dos movimentos contra o ambiente; a administração da capacidade de trabalho e do tempo; a tecnologia adequada para a solução de problemas (TRIZ); a capacidade de suportar os ataques do ambiente e formas de obtenção contínua de resultados.

3.5.2 Solução de problemas com a TRIZ

Esta é a parte da TRIZ mais importante para o projeto de produtos. A classificação dos diferentes métodos da TRIZ, mostrada na Figura 17, é feita com base nos critérios de grau de inovação e etapa principal do processo de solução atendida pelo método. O grau de inovação diferencia entre problema de reengenharia (problema de reprojeto) e problema de inovação. A etapa do processo de solução diferencia entre análise preliminar ou solução. Os métodos de análise preliminar de problemas são

descritos por primeiro, seguidos pelos métodos para a geração de soluções.

3.5.2.1 Métodos para análise preliminar de problemas

Os métodos para análise preliminar de problemas na TRIZ são a análise de restrições, a análise função - componente e a análise para previsão da evolução.

A análise de restrições consiste na análise da situação problemática, na qual se procura estabelecer as restrições necessárias e remover as restrições imaginárias.

A análise função - componente é similar à análise do valor (Miles, 1961). É utilizada no reprojeto de sistemas, com a finalidade de melhorar a qualidade e minimizar custos. Esta análise inclui um algoritmo para a análise funcional de um sistema, sendo as saídas do algoritmo definições do problema compatíveis com os métodos de solução de problemas da TRIZ. Este método não será utilizado no presente trabalho.

A análise para previsão da evolução consiste no estudo do sistema técnico, seu supersistema e seus subsistemas no presente, no passado e no futuro. Procura-se identificar em que fase de sua evolução o sistema se encontra. A previsão da evolução ou a indicação de possibilidades de desenvolvimento é, então, feita por analogia, utilizando-se os padrões da evolução dos sistemas técnicos (Tabela 3).

3.5.2.2 Métodos para solução de problemas

Os métodos utilizados para a solução de problemas na metodologia TRIZ são a análise de interações, a análise de contradições, o método dos princípios inventivos, o método da separação, a análise C-S, o método das partículas e o ARIZ - Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas. Como meio de apoio para a solução de problemas é utilizada a base de informações sobre efeitos físicos, químicos e geométricos. Os métodos para a solução de problemas são apresentados na seqüência.

Análise de interações

Sistemas técnicos são constituídos de subsistemas, os quais têm características

evolutivas próprias. Através da análise de interações, procura-se identificar possíveis incompatibilidades entre os subsistemas ao longo da evolução do sistema técnico. Incompatibilidades são, por exemplo, a evolução desigual de dois subsistemas, ou a falta de sincronização dos ritmos de funcionamento de dois subsistemas.

Análise de contradições

Existem contradições de diversos tipos, desde as encontradas na sociedade até aquelas referentes a sistemas técnicos. Na Tabela 5, é apresentada uma classificação de contradições, com exemplos, adaptada de Savransky (1998a).

A parte da TRIZ conhecida como análise de contradições corresponde à identificação das contradições existentes numa determinada situação problemática e transformação das mesmas em contradições técnicas ou físicas. Estas últimas podem, então, ser resolvidas com os métodos para a solução de problemas da TRIZ.

Tabela 5 – Tipos de contradições (adaptado de Savransky, 1998a)

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 feito devido 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 galáxias, mas, isto 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 as vantagens da gerência funcional e também as vantagens da gerência por projetos.
	Cultural	Contradição devida a aspectos culturais.	Valores dos colonizadores versus valores indígenas.
Tecnológica	Técnica	Requisitos conflitantes com relação a um mesmo sistema.	O automóvel deve ser espaçoso e ter boa penetração aerodinâmica.
	Física	Requisitos conflitantes 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 tornar o veículo muito grande).
	Matemática	Contradição em expressões matemáticas.	$a + b = x$; $a + b = y$; $x \neq y$

Dois técnicas úteis para identificar e/ou transformar contradições são o "*Checklist da Situação de Inovação*", de Zlotin & Zusman (1989) e a matriz multitela, adaptada de

Altshuller (1979) e utilizada no modelo proposto no Capítulo 4.

Método dos princípios inventivos

O método dos princípios inventivos envolve a utilização de parâmetros de engenharia e princípios inventivos. Este foi o primeiro dos métodos para a solução de problemas criados por Altshuller (1969).

Os parâmetros de engenharia correspondem à generalização das grandezas envolvidas em problemas técnicos de diferentes áreas. Conforme o tipo de problema, estas grandezas devem ser maximizadas, minimizadas ou mantidas ao redor de um valor meta. Os trinta e nove parâmetros de engenharia são mostrados na Tabela 6.

Os princípios inventivos são sugestões de possibilidades de solução para um determinado problema. Foram obtidos a partir da generalização e agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de sistemas técnicos de diferentes áreas. Esse trabalho foi feito a partir da análise de uma quantidade muito grande de patentes (mais de 2 milhões de patentes). Os quarenta princípios inventivos formulados por Altshuller são mostrados na Tabela 7.

Tabela 6 - Parâmetros de engenharia (Altshuller, 1969)

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

O processo de aplicação do método dos princípios inventivos é mostrado na Figura 18. Há duas opções para a aplicação deste método. Se, após a análise do sistema técnico e seleção de parâmetros a melhorar não forem identificados conflitos (a melhoria de um parâmetro não implica na piora de outros), os princípios inventivos podem ser utilizados simplesmente como itens de um *checklist*. A outra opção implica na identificação de contradições (parâmetros contraditórios no problema), transformação destas em contradições entre parâmetros de engenharia e posterior consulta da matriz de contradições - apresentada no Apêndice 1. Na matriz de contradições, as entradas são, para cada contradição, nas linhas, o parâmetro de engenharia a ser melhorado e, nas colunas, o parâmetro que tende a degradar-se com isso. No cruzamento das linhas com as colunas, estão os números correspondentes aos princípios inventivos mais utilizados para a solução da mesma contradição entre parâmetros de engenharia nas patentes estudadas para a construção da matriz. Uma vez identificados os princípios inventivos aplicáveis, procura-se soluções para a contradição, a partir dos mesmos. Isto não significa que outros princípios inventivos não possam resultar em soluções adequadas. Assim, podem ser utilizados, também, outros princípios inventivos.

Tabela 7 - Princípios inventivos (Altshuller, 1969)

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

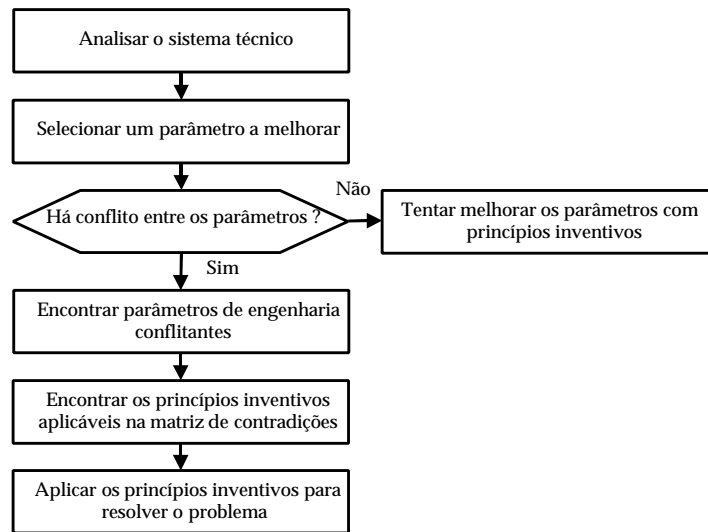


Figura 18 - Solução de problemas com os princípios inventivos (Altshuller, 1969)

Por exemplo, no projeto de latas para conter bebidas gaseificadas, deseja-se diminuir a quantidade de material utilizado para fabricar a lata - de modo a reduzir custos - e, ainda assim, manter sua integridade estrutural, possibilitando o empilhamento. Se a quantidade de material utilizada é diminuída, a carga admissível também diminui, o que é indesejável. Logo, os parâmetros conflitantes podem ser: nº 4 - comprimento do objeto parado e nº 11 - tensão ou pressão. Consultando a matriz de contradições (Apêndice 1), obtém-se os seguintes princípios: nº 1 - segmentação ou fragmentação; nº 14 - recurvação; e nº 35 - mudança de parâmetros e propriedades. A partir do princípio nº 1, pode-se chegar a uma das concepções existentes - latas corrugadas. Essa solução aumenta a resistência mecânica das latas, mas, não economiza material. As latas de alumínio utilizadas atualmente podem ser consideradas exemplos do princípio nº 14: a forma recurvada da lata faz com que a pressão interna aumente a resistência mecânica. O princípio nº 35 poderia levar a uma concepção que incluísse uma modificação no material das latas, como um tratamento térmico, para aumento de resistência. Diversas outras soluções poderiam ser geradas, com base nos princípios sugeridos pelo uso da matriz de contradições. Além dos três princípios sugeridos, não podem ser descartados os outros princípios inventivos. As soluções encontradas e outras soluções interessantes também poderiam ser obtidas através da aplicação de outros princípios inventivos.

Uso de efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos

Através do estudo de patentes, Altshuller descobriu que, com frequência, efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos são as chaves para a solução de problemas técnicos. Parte da dificuldade de encontrar a solução dos problemas técnicos deriva do esquecimento ou desconhecimento de certos efeitos pela pessoa envolvida em sua solução. Assim, Altshuller criou listas de efeitos, organizadas conforme a função que se pretende realizar. As listas de efeitos da TRIZ são semelhantes às listas propostas na obra de Koller (1994). Koller, entretanto, limitou-se a identificar efeitos físicos para a realização de funções. As tabelas de efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos da TRIZ podem ser utilizadas para apoiar a aplicação de qualquer dos métodos da TRIZ. Estas tabelas podem ser encontradas na literatura (Altshuller et al., 1989; Salamatov, 1999) e em programas de computador como Invention Machine Lab (Invention Machine Co., 1999) e IWB (Ideation International, 1999).

Com a análise de patentes, Altshuller obteve a proporção de 45:40:1 para a frequência respectiva de aplicação dos efeitos físicos, químicos e geométricos. A título de exemplo, na Tabela 8 são mostrados alguns efeitos para executar a função "transformar energia". Os efeitos biológicos são parte de pesquisas mais recente na TRIZ e não foram encontrados exemplos de sua utilização para apresentação neste trabalho.

Tabela 8 - Efeitos para executar a função transformar energia

Função	Efeitos físicos	Efeitos químicos	Efeitos geométricos
Transformar energia	Efeitos eletro-hidráulicos Efeitos óptico-hidráulicos Indução magnética Elasticidade	Químico-luminiscência Efeito fotocromático Reações exotérmicas Reações endotérmicas	Biela-manivela

Método da separação

O método da separação serve para a solução de contradições físicas. Contradições físicas correspondem a requisitos contraditórios referentes a um mesmo sistema. Para atender aos requisitos contraditórios numa situação deste tipo, Altshuller (1969)

sugere que uma separação deve ocorrer. As características contraditórias devem ser separadas no sistema. Inicialmente, Altshuller estabeleceu onze princípios de separação. Posteriormente, os onze princípios de separação iniciais foram resumidos em quatro princípios gerais de separação: separação no espaço, separação no tempo, separação no sistema e separação de acordo com condições específicas, conforme mostrado na Tabela 9.

Na terminologia da TRIZ, produto é o elemento passivo envolvido numa situação problemática. Ferramenta é o elemento ativo. De acordo com Savransky (1998a), há seis possibilidades para os tempos e zonas de operação do produto (T_p , Z_p) e da ferramenta (T_f , Z_f): estes tempos e zonas podem estar separados, tocar-se ou interceptar-se.

Tabela 9 - Princípios de separação

Condição de Z_f, T_f, Z_p e T_p	Quando Z_f e Z_p estão separadas	Quando T_f e T_p estão separados	Por vezes, quando Z_f e Z_p ou T_f e T_p interceptam-se	Por vezes, quando Z_f e Z_p ou T_f e T_p tocam-se
Princípio de separação a utilizar	Separação no espaço	Separação no tempo	Separação entre as partes e o todo (separação no sistema)	Separação conforme a condição
Possibilidades de separação	Característica é aumentada num local e diminuída em outro.	Característica é aumentada num período e diminuída em outro.	Característica tem um valor no nível do sistema e valor oposto no nível de componentes.	Característica é aumentada sob uma condição e diminuída sob outra.
	Característica está presente em um local e ausente em outro.	Característica está presente em um período e ausente em outro.	Característica existe no nível do sistema e não existe no nível dos componentes.	Característica existe sob uma condição e inexistente sob outra

A utilização deste método pode partir de uma definição do princípio de separação a utilizar conforme a disposição de Z_p , Z_f , T_p e T_f (Tabela 9) ou não. Para uma mesma situação problemática, mais de um princípio de separação pode apontar para soluções interessantes.

Por exemplo: torres de destilação são montadas no solo e, posteriormente, alçadas à posição vertical por meio de um guindaste. Estas torres, de seção circular, muito longas e com paredes finas, podem romper-se durante o processo de suspensão para a montagem, devido às grandes tensões de tração produzidas pela flexão sob o peso

próprio. O simples aumento da espessura das paredes da torre não solucionaria o problema. A contradição física pode ser formulada como: a resistência à flexão da torre deve ser baixa (ou, apenas o suficiente para a utilização final, na posição vertical) e deve ser alta (para resistência à flexão durante a suspensão).

Através da separação no espaço, pode-se imaginar que o momento de inércia da seção transversal da torre seja modificado, sendo a suspensão feita de forma a submeter somente o eixo maior da elipse à flexão. Isto poderia ser feito pela modificação da seção de circular para elíptica ou retangular ou, ainda, pela adição de material somente na região de um dos eixos da seção.

A separação no tempo indica que a resistência à flexão não precisa ser alta durante todo o tempo. Uma possível solução seria adicionar uma estrutura interna ou externa, suspender a torre até a posição vertical e, em seguida, remover a estrutura. Uma segunda opção seria construir a torre a partir de segmentos telescópicos (na totalidade da torre ou em partes da mesma), encurtando a torre durante a suspensão e aumentando o comprimento na situação final.

Outra solução poderia ser derivada da separação entre as partes e o todo: segmentos da torre seriam montados no solo e, em seguida, suspensos e montados na vertical. Como se pode perceber, a solução da torre telescópica também poderia ser alcançada pela utilização da separação entre as partes e o todo.

Análise C-S (campo - substância)

A base para este tipo de análise é o modelo C-S (campo-substância), desenvolvido por Altshuller (1979). De acordo com ele, o modelo C-S corresponde ao sistema técnico mínimo. Campo representa o provimento de energia e/ou informação. Isto inclui os campos tradicionalmente estudados na Física (gravitacional, elétrico, magnético etc.) e outros menos ortodoxos (pressão hidráulica, odor, etc.). Substância é um objeto ou sistema, com qualquer nível de complexidade. Campos atuam sobre substâncias e a interação entre substâncias ou entre substâncias e campos pode gerar outros campos. Tomando-se um equipamento para plotagem como exemplo: o papel é uma substância, a caneta ou ponta de grafite é a segunda substância e a máquina

provê um campo mecânico. O campo atua sobre uma substância (caneta ou ponta de grafite), fazendo-a interagir com a outra (o papel).

As etapas para a solução de problemas através da análise C-S são mostradas na Figura 19.

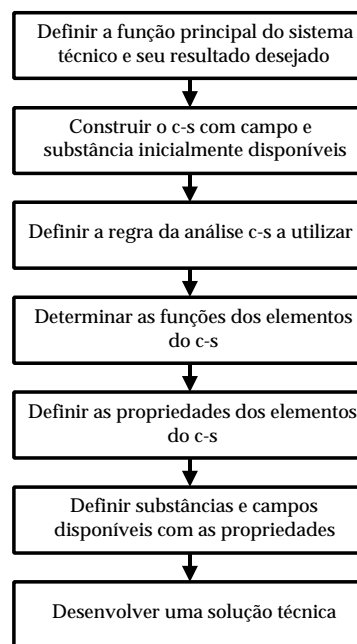


Figura 19 - Solução de problemas com a análise C-S

A análise C-S começa pela definição da função principal do sistema técnico em questão e definição do resultado final desejado. Ao definir o resultado final desejado, deve-se buscar sempre um sistema técnico o mais próximo possível do ideal (resultado final ideal). Após esta definição, constrói-se um modelo do sistema em termos de campos e substâncias (modelo C-S). Então, procura-se definir qual das soluções padrão deve ser utilizada para, partindo da situação problemática modelada, chegar ao resultado final desejado. Existem 76 soluções padrão para a análise C-S (Altshuller et al., 1989) e um algoritmo que permite identificar aquela que mais provavelmente poderá ser utilizada para solucionar o problema. Uma vez identificadas as soluções padrão a utilizar, é necessário determinar que funções os elementos do modelo C-S precisarão executar e, a partir das funções, que

propriedades esses elementos deverão ter. Procura-se, então, identificar no sistema e cercanias que substâncias e campos possuem as propriedades necessárias ou podem vir a possuí-las, se adequadamente modificados. A partir disso, desenvolve-se soluções para o problema.

Por exemplo: durante o processo de trefilação para obtenção de um arame de aço, a matriz de trefilação desgasta-se, fazendo com que o diâmetro de sucessivos lotes de arame aumente progressivamente. Isso faz com que seja necessária troca freqüente da matriz.

A função principal do sistema é reduzir o diâmetro do arame. Isso é conseguido, principalmente, através do estiramento. O resultado desejado é realizar a função sem que ocorra desgaste da matriz.

O modelo C-S do problema é mostrado na Figura 20, no lado esquerdo da figura. O campo F1 (força de tração) atua sobre o arame (S2), que interage, ao mesmo tempo, adequadamente e inadequadamente com a matriz (S1). A interação indesejada é indicada com uma seta ondulada. Através do algoritmo para identificação de soluções padrão, chegou-se à conclusão de que o C-S deve ser alterado (seta vazada) para a situação da direita, em que um campo adicional F2 é aplicado a S1, com o objetivo de melhorar o desempenho do sistema.

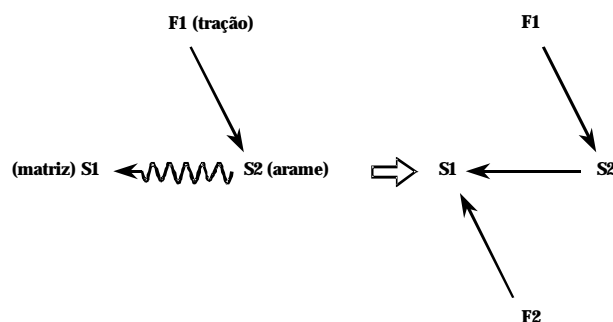


Figura 20 - Modelo C-S do problema de trefilação

A partir do modelo C-S da direita, pode-se definir que as funções dos elementos F1 e S2 devem permanecer as mesmas. A função de F2 deve ser manter invariável a

geometria da matriz. S1 deve manter sua função de reduzir o diâmetro do arame e, ainda, permitir a ação de F2 no sentido de manter sua geometria invariável.

As propriedades de F1 e S2 devem permanecer as mesmas. As propriedades imaginadas para S1 são a suscetibilidade a um campo térmico (dilatação térmica) ou magnético. Chegou-se a essas propriedades por eliminação, uma vez que, dificilmente, a suscetibilidade ao odor ou ao campo gravitacional poderia levar a uma solução do problema. A partir das propriedades imaginadas para S1, pode-se concluir que F2 deverá ser um campo térmico ou magnético.

Na solução térmica imaginada, S1 seria construída de forma a permitir a refrigeração progressiva e proporcional ao desgaste. Isso poderia ser conseguido através de refrigeração da matriz pela aplicação de jatos de líquido refrigerante ou pela refrigeração da matriz por meio de um sistema de refrigeração em circuito fechado.

A solução magnética poderia consistir numa matriz especial, composta por um núcleo de partículas ferromagnéticas cercadas por uma bobina eletromagnética. A geometria da matriz seria controlada por um campo magnético, através da corrente elétrica na bobina.

Método das partículas

A origem do método das partículas está na analogia pessoal, ou empatia, que também é utilizada no método *Synectics* (Gordon, 1961). A empatia consiste na busca de soluções para um problema através de identificação pessoal com o objeto do problema. Altshuller (1979) sugeriu a substituição da pessoa, utilizada na empatia, por vários homenzinhos imaginários, que executariam as tarefas necessárias para a solução do problema. As justificativas para esse tipo de modelagem de um problema são empíricas. 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. Já com os homenzinhos, essas soluções passariam a ser possíveis. Sickafus (1997) argumenta que o bloqueio ocorre, inclusive, na modelagem com os homenzinhos e propõe a substituição destes por partículas inanimadas. As partículas podem executar qualquer ação necessária e

estão disponíveis em qualquer número e a qualquer momento.

O método das partículas consiste nas etapas mostradas na Figura 21. Para facilitar a compreensão, o problema da concepção de uma chave universal para parafusos é estudado. Com tal ferramenta, não existiria a necessidade de possuir diversas chaves ou uma chave única com ponteiras intercambiáveis.

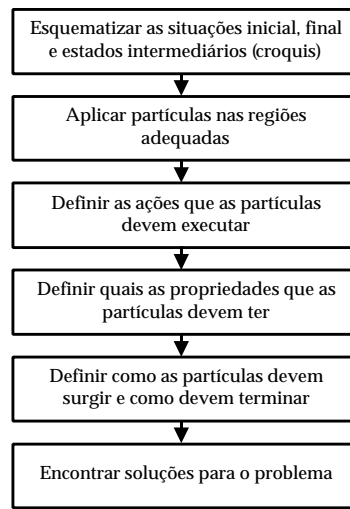


Figura 21 - Etapas do método das partículas

As primeiras duas etapas do método são gráficas. Com base nos dados do problema e no resultado final ideal, elabora-se croquis das situações inicial e final. Na Figura 22, foram feitos croquis da situação inicial (vários tipos de parafusos, vários tipos de chave) e da situação final (vários tipos de parafusos, um tipo de chave). Em seguida, croquis de situações intermediárias são feitos. A estes últimos, aplica-se as partículas. No exemplo, foi feito um croquis representando a situação intermediária, com partículas aplicadas na região da ponta da chave.

A terceira, quarta e quinta etapas do método são analíticas. Procura-se definir as ações que as partículas devem executar, as propriedades que as partículas precisam ter e como as mesmas devem iniciar e encerrar suas ações, de modo a transformar a situação inicial na situação final.

Como técnica auxiliar para a terceira e quarta etapas, pode ser utilizada a árvore e/ou. A árvore e/ou é similar à árvore de funções e meios, proposta pela escola

escandinava de metodologia de projeto (Tjalve, 1979). Para o problema da chave universal, as ações são mostradas nas caixas cinza da Figura 23. Se uma chave deve apertar todos os tipos de parafuso, as partículas (xx) devem adaptar a forma da chave, fixar a forma da chave e transferir torque da chave para o parafuso. Neste exemplo, não foram explorados caminhos alternativos (os "ous" da árvore e/ou).

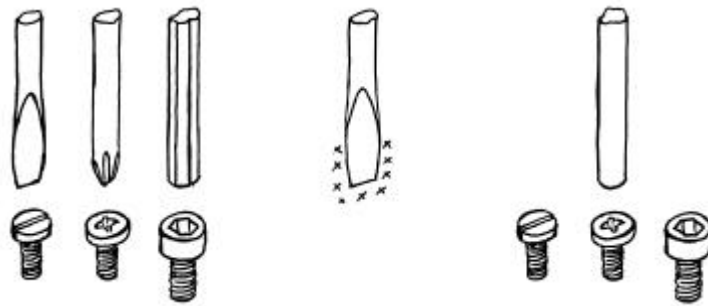


Figura 22 - Croquis das situações inicial, intermediária e final para o problema da chave

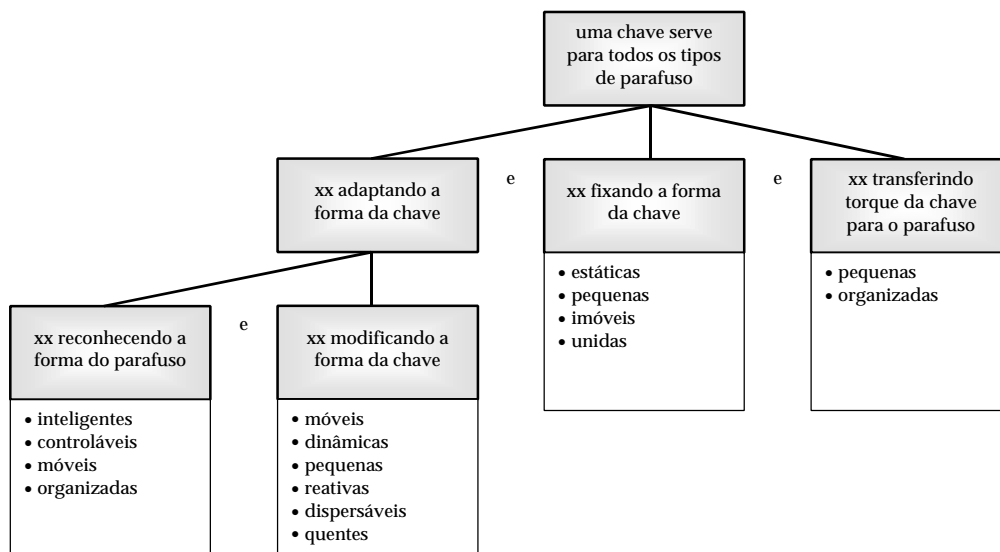


Figura 23 - Árvore e/ou para o problema da chave universal

Uma vez definidas as ações, as propriedades que as partículas devem ter são identificadas. Por exemplo, para que as partículas reconheçam a forma da cabeça do parafuso, poderiam ser "inteligentes", "controláveis", "móveis" e "organizadas".

Na penúltima etapa, deve-se procurar definir como as partículas devem surgir e

como devem terminar e a que elementos elas corresponderão, na realidade. Para executar esta etapa, é interessante consultar tabelas de efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos. Para o problema da chave universal, as seguintes soluções foram imaginadas:

- o torque da chave deve ser transmitido ao parafuso magneticamente. A chave deve aplicar um campo magnético apropriado à cabeça do parafuso. Este campo magnético pode ser induzido por uma bobina com geometria adequada. A chave estaria limitada ao trabalho com parafusos ferromagnéticos e, provavelmente, aplicações com pequeno torque;
- a ponta da chave deve ser feita de um material termoplástico. A ponta seria amolecida pela aplicação de calor, a forma seria adaptada à forma da cabeça do parafuso (por pressão) e resfriada para a transmissão de torque. O controle do processo poderia ser melhorado com a adição de pó ferromagnético com um ponto de Curie adequado na formulação do termoplástico, sendo o material resultante aquecido por indução somente até a temperatura correta.

ARIZ

ARIZ é o acrônimo russo para Algoritmo para a Solução de Problemas Inventivos. Trata-se de uma seqüência detalhada de ações para a solução de problemas inventivos considerados de difícil solução. Sucessivas versões do ARIZ foram desenvolvidas, desde 1956. A última versão desenvolvida por Altshuller - e em domínio público - é a de 1985, ou ARIZ-85, cuja estrutura é apresentada na Figura 24. Cada item da estrutura apresentada na figura desdobra-se em diversos subitens.

A solução de um problema com o ARIZ começa pelas etapas analíticas (etapas 1, 2 e 3). Na primeira etapa, é feita a transição do problema inicial, definido vagamente ou mesmo erroneamente, para um mini-problema, formulado através da regra: tudo no sistema permanece igual, mas, a função necessária é executada. A seguir, formula-se a contradição técnica. Então, um modelo do problema (um diagrama simplificado do conflito) é formulado e procura-se utilizar as soluções padrão para C-S para solucionar o problema. Na segunda etapa, especifica-se a zona e o tempo de operação

(onde e quando ocorre o problema) e os recursos nela disponíveis. Na terceira etapa, são identificados o resultado final ideal e a contradição física.

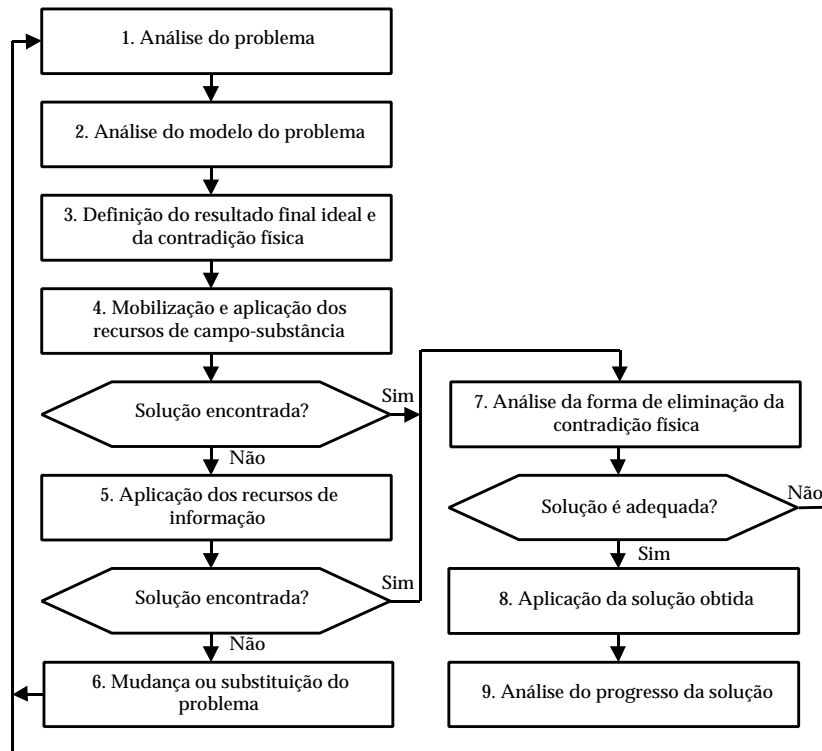


Figura 24 - Estrutura do ARIZ-85

A parte seguinte do ARIZ é focada na solução de problemas, propriamente dita. A solução deve superar a contradição física. Na quarta etapa do ARIZ, procura-se solucionar o problema através do método das partículas e da aplicação dos recursos identificados na segunda etapa. Se a solução for encontrada, pode-se passar, diretamente, para a sétima etapa. Se a solução não for encontrada, passa-se para a quinta etapa, em que se procura fazer uso das bases de conhecimento da TRIZ: soluções padrão para C-S, princípios de separação e listas de efeitos para a remoção da contradição física. Se uma solução adequada não for obtida, o algoritmo deve ser reiniciado, com a mudança ou substituição do problema (etapa 6).

As três últimas etapas do ARIZ servem para a verificação, generalização e acompanhamento da solução obtida. Na sétima etapa, verifica-se se a solução obtida está suficientemente próxima do ideal, ou seja, se não são necessárias modificações

excessivas no sistema. Se a solução for considerada muito distante da ideal, o algoritmo deve ser reiniciado. Se a solução for considerada satisfatória, passa-se para a oitava etapa, de generalização da solução. Nesta etapa, investiga-se o impacto da solução no supersistema (sistema de nível superior ao estudado), outras maneiras de aproveitar a solução e a possibilidade de aplicação do princípio utilizado para a obtenção da solução de outros problemas no mesmo sistema ou cercanias. Na nona e última etapa, analisa-se o processo de solução em busca de desvios e, conseqüentemente, oportunidades para a melhoria do próprio ARIZ.

3.5.3 Método SIT

O método SIT (*Structured Inventive Thinking* - Pensamento Inventivo Estruturado) foi desenvolvido em Israel (Horowitz & Maimon, 1997), a partir da TRIZ. As principais diferenças entre o SIT e a TRIZ são:

- a substituição dos conceitos fundamentais de orientação à contradição, idealidade e uso de recursos do sistema pelas chamadas condições suficientes para que uma solução seja considerada criativa;
- a substituição da base de conhecimento da TRIZ por um número significativamente menor de métodos de solução de problemas.

Segundo Horowitz & Maimon (1997), as condições suficientes para que uma solução seja considerada criativa por especialistas em uma determinada área são a condição mundo fechado (*CW - Closed World*) e a condição mudança qualitativa (*QC - Qualitative Change*). Qualquer solução que atenda a estas condições é uma solução criativa. Em seu trabalho, Horowitz e Maimon (1997) demonstram, empiricamente, a validade das condições suficientes na caracterização de uma solução como criativa.

A condição CW significa que nenhum objeto novo pode ser adicionado ao sistema, exceto objetos adjacentes ao sistema. Pode haver remoção de objetos do sistema. Somente é permitido adicionar objetos ao sistema se já existissem objetos similares no sistema (por exemplo, adicionar mais rodas a um automóvel).

A condição QC significa que uma característica do problema precisa ser modificada

de uma função crescente para uma função decrescente ou um valor constante. Por exemplo, numa lâmpada incandescente, quanto maior a temperatura do filamento, menor a vida da lâmpada. Aplicando a condição QC, a relação entre temperatura e vida deve ser eliminada, com o aumento da temperatura não tendo influência sobre a vida ou tornada positiva, com o aumento da temperatura resultando em aumento da vida.

A estrutura do método SIT é mostrada na Figura 25. O método consiste de três etapas principais: reformulação do problema, através da aplicação das condições suficientes; seleção de uma estratégia de pensamento; seleção e aplicação de um método para provocação de idéias. Estas etapas são detalhadas a seguir.

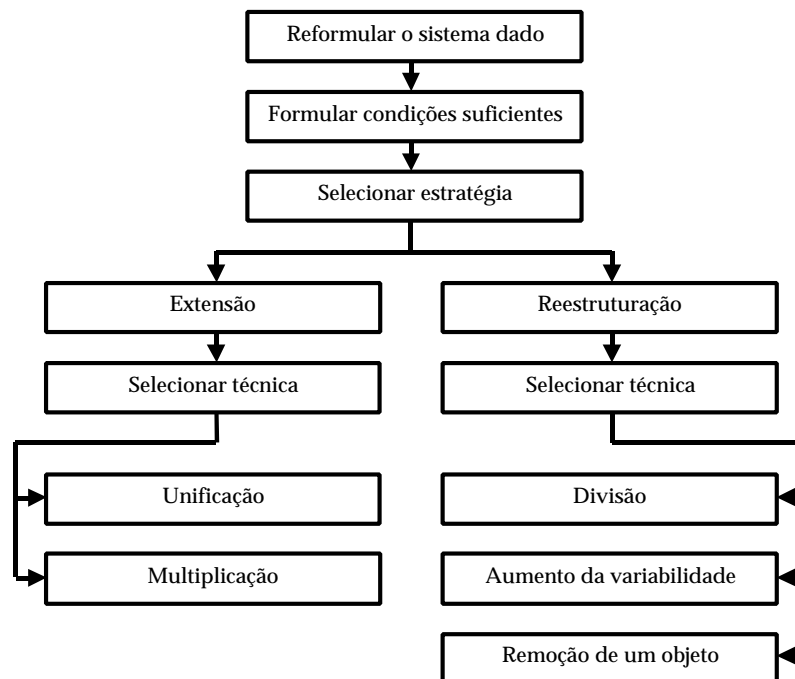


Figura 25 - Etapas do método SIT

3.5.3.1 Reformulação do sistema e formulação das condições suficientes

Neste estágio, a meta para a solução do problema é estabelecida, utilizando-se as condições suficientes. A condição CW é somada às restrições existentes e a condição QC muda a tarefa: em vez do requisito inicial, de redução do nível de um efeito indesejado, propõe-se a mudança qualitativa de uma relação matemática entre

quaisquer duas características do problema. O usuário elabora uma lista de objetos do sistema, uma lista de objetos adjacentes ao sistema e uma lista de características do problema. O problema é reformulado como: encontrar uma solução na qual pelo menos uma das funções crescentes definidas tornar-se-á decrescente ou constante, sendo que a solução somente envolverá elementos do sistema ou de suas adjacências.

3.5.3.2 Seleção da estratégia de solução

Uma possível solução é composta por três elementos: o estado final desejado - deduzido da condição QC, os objetos a serem modificados e a modificação necessária. A condição CW limita os objetos a serem utilizados na solução aos já existentes no sistema e adjacências. Há duas possibilidades, nesta etapa:

1. o estado final necessário pode ser deduzido da condição QC. Isto pode acontecer em casos nos quais o estado final desejado pode ser obtido através de uma simples operação, a qual não interferirá com outras operações necessárias no sistema;
2. o estado final necessário não pode ser deduzido da condição QC, ou o estado final pode ser deduzido, mas, contradiz outros requisitos fundamentais do sistema.

A partir destas duas possibilidades, escolhe-se entre duas estratégias: extensão e reestruturação. A primeira estratégia, recomendada no primeiro caso, consiste na formulação de uma solução conceitual na qual uma simples operação, uma vez adicionada ao sistema, garante o atendimento à condição QC. Esta estratégia é chamada de extensão, já que o sistema é temporariamente estendido pela adição de um objeto que executará a nova operação.

A segunda estratégia é recomendada no caso 2, ou seja, quando o estado final desejado, que atenderia à condição QC, não pode ser obtido ou contradiz outros requisitos necessários do sistema. Então, através de um processo de tentativa e erro, imagina-se diferentes modificações dos objetos existentes no sistema, até que a condição QC seja satisfeita. Esta estratégia é chamada de reestruturação, para indicar que a estrutura dos objetos existentes e sua organização é alterada.

A seleção de uma estratégia de pensamento é necessária para a seleção de um determinado conjunto de técnicas de provocação de idéias. Se a estratégia de extensão é escolhida, recomenda-se o uso das técnicas de unificação ou multiplicação. Para a estratégia de reestruturação, as técnicas a utilizar são as da divisão, aumento da variabilidade ou remoção de um objeto. As técnicas de extensão direcionam para a identificação de um objeto existente que executará a nova operação, enquanto as técnicas de reestruturação direcionam rumo ao aumento da liberdade com relação a modificações no sistema.

3.5.3.3 Técnicas de provocação de idéias

Técnica da unificação

A técnica da unificação consiste na identificação de um sistema ou objeto do próprio sistema onde ocorre o problema ou adjacências, que executará a operação definida na solução conceitual. A aplicação desta técnica consiste de quatro passos: formular a operação necessária; obter uma lista de todos os objetos do sistema e adjacências; selecionar um destes objetos; e determinar as modificações necessárias no objeto para que ele execute a operação necessária.

Por exemplo, amostras de um determinado material têm de ser expostas à corrosão por um ácido num recipiente a altas temperatura e pressão, para avaliação da resistência à corrosão. Amostras do material são mergulhadas no ácido, no interior do recipiente. O problema é que, além das amostras, as paredes do recipiente são corroídas e têm de ser trocadas com freqüência. Soluções rotineiras para o problema são o revestimento do recipiente com um material protetivo ou a substituição do recipiente por um outro, mais resistente.

Utilizando o método SIT, verifica-se que os parâmetros envolvidos são a concentração do ácido, a freqüência de troca do recipiente, a temperatura e a pressão. Os elementos do sistema e adjacências são as amostras, o ácido, o recipiente e o sistema responsável pela produção da atmosfera. O problema é reformulado como: encontrar um modo de submeter as amostras ao ácido, sendo que a freqüência de

troca do recipiente torne-se independente ou função decrescente da concentração do ácido, sem a adição de novos elementos ao sistema composto por amostras, ácido, recipiente e sistema responsável pela produção da atmosfera.

Selecionando a estratégia de extensão e a técnica de unificação, verifica-se que os objetos existentes que podem ser escolhidos para executar esta operação são as próprias amostras. A modificação necessária nas amostras seria a produção de cavidades nas mesmas, para receber o ácido. Esta solução satisfaz às condições QC, pois a concentração do ácido é tornada independente da frequência de troca do recipiente e CW, pois nenhum elemento novo é introduzido no sistema.

Técnica da multiplicação

Para ilustrar a aplicação da técnica da multiplicação, cita-se o problema do projeto de um anti-descarrilador para um trem. Esse sistema atua diretamente sobre o sistema de freios de um trem. Um esquema do sistema é mostrado na Figura 26-A. No sistema de freios, há um tubo que contém ar comprimido. O trem é freado pela queda da pressão do ar comprimido. Em situações de emergência, como num descarrilamento, o ar precisa ser liberado muito rapidamente. Para a liberação de grande quantidade de ar em pouco tempo, é necessária uma abertura grande. A válvula que fecha essa abertura precisa ser submetida a uma força relativamente grande durante a operação normal do trem. Essa força é exercida pelo anti-descarrilador. O problema é que a força necessária para equilibrar a força exercida pela pressão do ar é 10 vezes maior que a força disponível no anti-descarrilador. Soluções comuns para o problema seriam o uso de alavancas ou a diminuição do tamanho das aberturas, associado ao aumento do número de anti-descarriladores.

Usando o método SIT, os seguintes parâmetros do problema são identificados: probabilidade de alarme falso, probabilidade de abertura prematura da válvula, força no anti-descarrilador, pressão do ar, área da válvula. Os elementos do sistema são: tubo, ar, válvula e anti-descarrilador. O problema pode ser reformulado como: frear o trem em caso de descarrilamento, sendo que a força no anti-descarrilador deve ser independente ou função decrescente da pressão do ar, sem a adição de

novos elementos ao mundo fechado composto pelo tubo, ar, válvula e anti-descarrilador.

Os passos da técnica da multiplicação são: formular a operação necessária; obter uma lista de todos os elementos do sistema e adjacências; selecionar um destes elementos para ser multiplicado - a(s) cópia(s) do elemento executarão a operação necessária; determinar as modificações necessárias na(s) cópia(s) para execução da operação necessária.

No problema, analisando os elementos disponíveis, verifica-se que o elemento que pode ser multiplicado para solucionar o problema é a válvula. A solução imaginada é o uso de uma segunda abertura com uma segunda válvula (válvula 2), um pouco menor que a primeira (válvula 1) e posicionada do lado oposto, como mostrado na Figura 26-B. A válvula 2 deve ser conectada à válvula 1, de modo a possibilitar a compensação de parte da força exercida pela pressão do ar sobre a válvula 1. Deste modo, a força exercida pelo anti-descarrilador passa a ser suficiente para manter a válvula fechada durante a operação normal do trem.

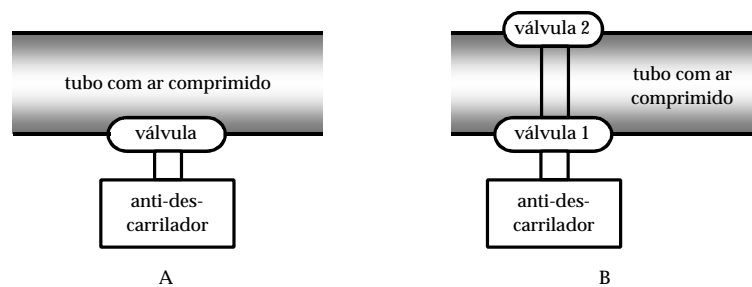


Figura 26 - Problema do anti-descarrilador

Técnica da divisão

Considere-se o seguinte problema: um paciente tem um tumor maligno em seu estômago. O tumor não pode ser removido cirurgicamente. Para a destruição do tumor, é necessário submetê-lo a uma fonte radioativa de certa intensidade. O problema é que, nesta intensidade, a radiação irá destruir, também, tecido sadio. Em intensidades mais baixas, o tecido sadio não será destruído, mas, o tumor também

não será eliminado. Uma solução ordinária para o problema seria o tratamento do tumor por quimioterapia.

Reformula-se o problema como: destruir o tumor maligno, sendo que a destruição do tecido saudável deve ser independente ou função decrescente da intensidade da radiação e nenhum novo elemento é adicionado ao sistema composto pelo feixe de radiação, tumor e tecido saudável.

A técnica da divisão é composta de três passos: gerar uma lista de elementos do sistema; selecionar um elemento e dividi-lo em seus elementos mais básicos, em partes menores ou de forma randômica; buscar uma maneira de utilizar os novos graus de liberdade obtidos para criar um estado em que a condição QC seja satisfeita (partes diferentes em locais diferentes, ordenação diferente etc.).

Aplicando a técnica da divisão ao problema do tumor, pode-se considerar a divisão do feixe de radiação. Com essa divisão e com a posterior interseção dos raios sobre o tumor, pode-se obter a intensidade de radiação desejada somente sobre o tumor. O tecido saudável não é destruído pela radiação.

Técnica do aumento da variabilidade

Como exemplo dessa técnica, sugere-se o problema da obtenção de um empuxo constante em motores a jato com combustível sólido. O motor atual tem a forma de um cilindro oco (Figura 27-A). Assim, o empuxo é menor no início da combustão (quando pouco combustível foi queimado e a área de combustão é menor) e maior no final (quando a área de combustão é maior). Soluções ordinárias para o problema seriam o aumento do comprimento do cilindro, de forma a diminuir a variação da área de combustão ou a alteração da geometria de combustão (queima na base do cilindro, como num cigarro).

Identificando os parâmetros do problema, verifica-se que são o desperdício de energia, o empuxo variável, o aumento do empuxo, o aumento da área de queima e o aumento do perímetro da queima. Os elementos do sistema são o combustível sólido, o comburente e o cilindro. O problema pode ser reformulado como: obter o empuxo,

sendo que a área de queima deve tornar-se independente ou função decrescente do perímetro, sem que nenhum novo elemento seja adicionado ao sistema composto por combustível, comburente e cilindro.

A técnica do aumento da variabilidade pode ser utilizada para solucionar esse problema. Esta técnica consiste de quatro passos: gerar uma lista de elementos do sistema e adjacências (no exemplo, combustível sólido, comburente e cilindro); selecionar um elemento (neste caso, o combustível sólido); selecionar dois parâmetros X e Y que não estejam relacionados no sistema atual - um novo grau de liberdade será o tipo de relacionamento entre estes parâmetros (X = forma da seção transversal; Y = progresso da combustão); procurar utilizar o novo grau de liberdade obtido para criar um estado em que a condição QC seja atendida. A solução encontrada é a variação da forma da seção transversal do combustível sólido, desde a forma de uma estrela até a forma de um círculo. Assim, embora o raio médio aumente, o perímetro e a área são mantidos constantes (Figura 27-B).

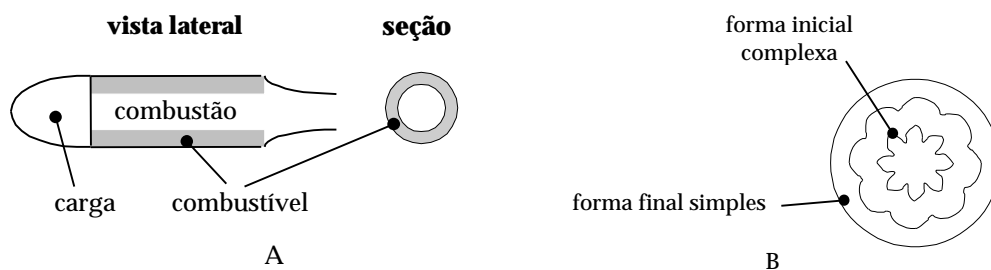


Figura 27 - Problema do motor a jato

Técnica da remoção de um elemento

A técnica da remoção consiste em procurar atender à condição QC através da eliminação de um dos elementos do sistema ou adjacências.

Exemplificando, considere-se o problema da movimentação de um navio quebra-gelo. Em regiões com camadas de gelo finas, o navio quebra o gelo pela ação do casco na horizontal. Em regiões com grossas camadas de gelo, o navio precisa ser impulsionado para sobre o gelo, para quebrá-lo com seu peso. O problema é a lentidão desse processo. O navio é pesado, necessita ter um casco muito resistente e

motores potentes para funcionar adequadamente. Não há espaço suficiente para a carga. Uma solução ordinária para aumentar a velocidade de cruzeiro do navio seria o aumento da potência de propulsão. Com isso, entretanto, embora haja melhoria na velocidade, o processo continua lento e a capacidade de carga diminui.

O problema reformulado é: a velocidade do navio deve tornar-se independente ou função decrescente da capacidade de carga, sem a adição de elementos ao sistema casco, gelo, propulsão.

Utilizando-se a técnica de remoção, pode-se imaginar que o casco seja removido. Se o casco for totalmente removido, não poderá haver transporte de carga. Porém, parte do casco pode ser removida, na região que ficaria em contato com o gelo, como mostrado na Figura 28. Somente entrarão em contato o gelo partes delgadas do casco, as quais cortarão o gelo.



Figura 28 - Problema do navio quebra-gelo

3.6 Discussão

Neste Capítulo, apresentou-se uma revisão bibliográfica abordando os MSCP considerados mais significativos. Foi adotada uma classificação dos métodos para a solução criativa de problemas que os categoriza em métodos intuitivos, métodos sistemáticos, métodos heurísticos e métodos orientados. Essa classificação difere da comumente encontrada na literatura, a qual consiste, apenas, das categorias dos métodos intuitivos e sistemáticos. As categorias de métodos heurísticos e métodos orientados foram incluídas para enfatizar as linhas mais recentes do desenvolvimento dos métodos para a solução criativa de problemas.

Fundamentada na revisão bibliográfica apresentada nos Capítulos 2 e 3, no Capítulo 4 faz-se a análise dos conceitos de criatividade e dos métodos para a solução criativa de problemas e apresenta-se um modelo para a solução criativa de problemas no desenvolvimento de produtos.

4 Modelo proposto

"Os problemas importantes com os quais nos confrontamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criamos."

Albert Einstein

4.1 Introdução

Na revisão da bibliografia, feita nos Capítulos 2 e 3, foram vistos os principais conceitos e métodos relacionados à solução criativa de problemas. Neste Capítulo, é feita uma análise qualitativa destes conceitos e métodos e é proposto um modelo que visa à utilização eficaz de métodos para a solução criativa de problemas ao longo das etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produtos.

Inicialmente, são apresentadas as semelhanças e sinergias entre os diferentes métodos para a solução criativa de problemas (item 4.2). Em seguida, no item 4.3, faz-se uma análise da aplicabilidade dos diferentes métodos, de acordo com as características fundamentais dos problemas encontrados no processo de desenvolvimento de produto. No item 4.4, é feita uma análise da aplicabilidade dos MSCP ao longo das etapas do processo de desenvolvimento de produtos. A obtenção dos dados para essa análise baseou-se em fontes bibliográficas e nas opiniões de alguns autores sobre a utilização dos métodos no processo de desenvolvimento de produtos, obtidas como resposta a uma enquete feita via correio eletrônico.

Com base nas análises executadas, o modelo para a utilização de MSCP no desenvolvimento de produto é apresentado (item 4.5). O modelo engloba as etapas de planejamento do produto e projeto conceitual. São incluídos métodos de todas as categorias definidas no início do Capítulo 3, de forma progressiva. Assim, o uso de métodos de aplicação mais simples é recomendado, inicialmente e métodos mais complexos são sugeridos, somente, caso sua utilização se mostre necessária (em problemas mais difíceis). No item 4.6, faz-se uma discussão referente ao conteúdo abordado nos itens precedentes.

4.2 Semelhanças e sinergias entre os MSCP

Nos Capítulos 2 e 3, foi apresentado um levantamento referente ao estado atual das pesquisas sobre os processos mentais durante a busca de soluções para problemas e sobre as principais linhas de pesquisa dedicadas ao estudo da criatividade e métodos para a solução criativa de problemas.

Não existe uma teoria que unifique o conhecimento atual sobre a criatividade e os MSCP, seja essa unificação válida para qualquer domínio ou para um domínio específico (educação, desenvolvimento de produto, etc.). Isso se deve ao fato de o conhecimento e o envolvimento de pesquisadores nessa área ainda ser pequeno, relativamente a outras áreas.

Com relação aos processos mentais, muitos pontos ainda precisam ser esclarecidos. A ciência não conhece completamente o funcionamento do cérebro e isso não deverá vir a ocorrer tão brevemente (Pinker, 1998). De qualquer forma, o conhecimento atual dos processos mentais serve como base para a compreensão da criatividade e para a obtenção de métodos mais eficazes para a solução de problemas.

No que se refere à criatividade, embora, à primeira vista, as visões pareçam muito diferentes, percebe-se que não há completa discordância entre elas, mas, inclusive, complementaridade. Há dois motivos para isso: primeiro, autores diferentes estudam a criatividade a partir de diferentes aspectos e níveis de abstração; segundo, devido à diferenciação adotada nas terminologias, muitas similaridades acabam ficando ocultas.

Embora isto nem sempre seja explicitamente declarado, há certas questões que cada autor tenta responder:

1. Que diferenças individuais levam a variações na capacidade criativa?
2. Quais os processos envolvidos na busca pela solução criativa?
3. Por quê é difícil encontrar soluções criativas?
4. Quais as propriedades de uma solução criativa?

Guilford (1959) e Mednick (1962) tratam da primeira questão. Guilford (1959) sugere

que indivíduos criativos destacam-se na capacidade cognitiva de pensamento divergente. Mednick (1962) sugere que o indivíduo criativo possui uma estrutura semântica pouco hierarquizada. Ambos os autores enfatizam a quantidade (fluência das respostas, número de associações) e distância do conteúdo do problema inicial (flexibilidade das respostas, associações remotas).

Com relação à segunda questão, a maior parte dos pesquisadores concorda que a novidade de uma idéia criativa surge a partir de uma nova combinação de conteúdos cognitivos e não de novos conteúdos, simplesmente. As maiores diferenças estão na maneira sugerida para combinar conteúdos. As associações são operações simétricas sobre os conteúdos, porque dois conteúdos já existentes na memória são combinados na obtenção da solução. Analogias são operações assimétricas, pois envolvem um conteúdo fonte e um conteúdo alvo. A analogia possibilita a utilização de conteúdos mais complexos (correspondentes às fontes de analogia) na busca por soluções. Isto torna o uso das analogias muito importante na solução de problemas considerados difíceis.

O uso de analogias é encontrado em métodos de todas as categorias. Entre os métodos intuitivos, o dos questionários e *checklists*, o *lateral thinking* e o *synectics* baseiam-se na utilização de analogias. Entre os métodos sistemáticos, tem-se o método da analogia sistemática e o uso de analogias para a obtenção da estrutura de funções ou para a busca de princípios de funcionamento para a matriz morfológica. Nos métodos heurísticos, há algoritmos e programas para apoiar o uso de analogias. Analogias estão entre os recursos mais utilizados nos métodos orientados: os princípios inventivos, as regularidades da evolução dos sistemas técnicos, os C-S padrão e as partículas são fontes de analogia. A título de ilustração, na Tabela 10, os tipos de analogias utilizadas em diferentes métodos para a solução criativa de problemas são apresentados, com exemplos. A leitura cuidadosa desta Tabela permite perceber que as analogias podem ser feitas em diferentes níveis de abstração.

Conforme o conceito de espaços, a segunda questão pode ser colocada nestes termos: quais os mecanismos de controle que levam a regiões do espaço de busca não alcançadas anteriormente? A resposta de Boden (1990) é que pessoas criativas não

apenas selecionam caminhos diferentes no espaço de busca, elas também constroem novas partes do espaço, o que as leva a regiões não exploradas por outros. A resposta de Lenat (1989) é que indivíduos criativos utilizam heurísticas especiais, não utilizadas pela maioria dos indivíduos.

Tabela 10 - Tipos de analogia nos métodos para a solução criativa de problemas e exemplos (adaptado e ampliado de Linde & Hill, 1993)

Tipo de analogia			Exemplos		
			Domínio do problema	Domínio análogo	Solução básica
D i r e t r a l	N a r t e r i a l	Princípios de funcionamento de	Acoplar eixos com flexibilidade	Joelho humano	Acoplamento por cabos flexíveis
			Abrir e fechar janelas de uma estufa	Tulipa (abre no calor, fecha no frio)	Controle de janelas com lâminas bimetálicas
		Princípios de organização	Posicionar a cabina de um avião	Águia	Posicionar a cabina na parte frontal superior
			Configurar um robô para qualquer terreno	Formiga	Robô para qualquer terreno, com 6 "patas"
	T é c n i c a	Princípios de funcionamento de	Amplificar força para a elevação de um peso	Alavanca	Mecanismo com tambor e manivela
			Transformar energia elétrica em mecânica	Efeito piezo - elétrico	Fone de ouvido
		Princípios inventivos	Iluminar e não aquecer	Princípio da separação	Fibra ótica leva luz de uma fonte quente ao local de uso
			Suportar carga com estrutura leve	Princípio do arredondamento	Lata de refrigerante com fundo abaulado
		Efeitos físicos	Identificar artérias, veias e fluxo de sangue	Efeito Doppler	Exame Eco-Doppler
		Efeitos químicos	Proteger peças de aço da corrosão	Oxidação	Peças oxidadas superficialmente
		Efeitos geométricos	Aumentar durabilidade da fita magnética	Fita de Moebius	Fita K7 em forma de fita de Moebius
		Padrões da evolução dos sistemas técnicos	Aumentar a eficácia de uma britadeira	Uso da frequência natural	Britadeira com frequência ajustável para a frequência natural do substrato.
	Padrões de modelos campo-substância (C-S)	Aumentar estabilidade do trator em terreno íngreme	C-S em cadeia	Trator com centro de gravidade móvel	
	I n d i r.	Pessoal (empatia)	Armazenar informação	Armazenagem de grandes quantidades de energia no corpo pela gordura	Arquivos compactados
Figural (homenzinhos inteligentes, partículas)		Navio para atravessar superfícies congeladas	Modelo de navio feito com partículas	Casco dividido na horizontal, partes unidas por elementos delgados	

Em resposta à terceira questão, Perkins (1995) coloca como dificuldade de chegar a uma solução criativa a posição única da solução criativa no espaço de soluções. Para de Bono (1968), a dificuldade está na forte tendência à adoção de padrões mentais

estabelecidos. Para os pesquisadores da *Gestalt*, a fixação é o obstáculo para quebrar a *Gestalt* estabelecida e chegar a novas. Mednick (1962) argumenta que a dificuldade é devida à configuração da rede semântica. Altshuller (1969) cunhou o termo inércia psicológica, para descrever a dificuldade de buscar soluções fora dos paradigmas existentes. Para outros pesquisadores, a dificuldade advém da natureza aleatória do processo criativo.

Vários autores oferecem respostas para a quarta questão - quais as propriedades da solução criativa. Watzlawick et. al. (1979) afirmam que as idéias criativas envolvem uma mudança de segunda ordem. Altshuller (1969) sugere que a solução criativa é a que remove uma contradição. Para Boden (1990), a solução criativa caracteriza-se por não poder ser descrita pelo sistema gerador de regras. Conforme Horowitz & Maimon (1997), solução criativa é a que atende às condições da mudança qualitativa e do mundo fechado.

Em contraposição aos demais teóricos, Weisberg (1993) defende que a criatividade não é algo especial. O indivíduo que cria não é fundamentalmente diferente dos demais, apenas tem maior preparação intelectual e motivação.

Embora soluções criativas possam ser encontradas casualmente, vários autores consideram válida e, mesmo, necessária, a utilização de métodos que diminuam a variabilidade e permitam, através de esforço consciente, ampliar a probabilidade de encontrar soluções criativas. Uma coletânea representativa destes métodos foi apresentada no Capítulo 3.

A análise dos métodos para a solução criativa de problemas leva à percepção da existência de certas sinergias entre os métodos, o que é, parcialmente, devido ao fato destes não terem sido desenvolvidos de forma independente. Alguns dos métodos têm sido utilizados de maneira integrada, de forma a obter sinergias. Na Tabela 11, apresenta-se as possibilidades de utilização conjunta das categorias de métodos para a solução criativa de problemas.

Uma sinergia entre métodos intuitivos ocorre entre o *brainstorming* e os questionários e *checklists* (Osborn, 1953). Os *checklists* são utilizados para estimular a geração de idéias durante o *brainstorming*. O *brainstorming* é utilizado como parte do método

synectics. Todos os métodos intuitivos podem ser utilizados em conjunto com o método morfológico, na etapa de busca de soluções para os parâmetros em que o problema total é subdividido. Isso é sugerido por autores como Back (1983), Pahl & Beitz (1988), Ullman (1992), Ullrich & Eppinger (1995), entre outros. Os questionários e *checklists*, o *lateral thinking* e o método *synectics*, apesar de classificados como métodos intuitivos, contêm heurísticas e podem ser, ao menos parcialmente, algoritmizados e programados, como no trabalho de Sandler (1994).

Tabela 11 - Sinergias entre MSCP

	Intuitivos	Sistemáticos	Heurísticos	Orientados
Intuitivos	<i>Brainstorming + checklists</i>	Morfológico + todos os métodos intuitivos	Heurísticos + <i>checklists</i> , <i>lateral thinking</i> , <i>synectics</i>	-----
Sistemáticos	-----	Morfológico + análise e síntese funcional	Heurísticos + morfológico, análise e síntese funcional	Orientados + morfológico, análise e síntese funcional
Heurísticos	-----	-----	Algoritmo + programa	Orientados + algoritmos, programas
Orientados	-----	-----	-----	TRIZ + SIT

Uma das conexões entre diferentes métodos para a solução criativa de problemas mais utilizadas no processo de desenvolvimento de produto ocorre entre os métodos morfológico e da análise e síntese funcional, tendo o segundo sido implementado, em parte, para apoiar o primeiro. A implementação computacional dos métodos morfológico e da análise e síntese funcional é uma linha de pesquisa da metodologia de projeto. Existem bancos de dados de soluções e algoritmos que permitam compatibilizar diferentes soluções, facilitando a geração, a avaliação e a otimização de soluções conceituais. Métodos da TRIZ (Altshuller, 1969) adequam-se ao uso em conjunto com os métodos da análise e síntese funcional e morfológico, como a análise C-S, as soluções padrão e os efeitos.

Os métodos heurísticos para a solução criativa de problemas são utilizados em combinação entre si, como no trabalho de Sandler (1994). Os métodos orientados são especialmente adequados à implementação computacional, por serem estruturados de forma lógica, semi-algoritmizada. Alguns programas comerciais são baseados na metodologia TRIZ, como visto no item 3.4. Um programa vem sendo desenvolvido

para a implementação computacional do método SIT, em Israel (Horowitz, 1999).

O método SIT é derivado da TRIZ, tendo sido desenvolvido como uma tentativa no sentido de maior simplicidade que a TRIZ. Também os métodos da TRIZ estão sendo aprimorados. Assim, devido à similaridade entre conceitos básicos do método SIT e dos métodos da TRIZ, na aplicação de um deles, o uso de conceitos do outro pode contribuir para a solução de um determinado problema.

4.3 Aplicabilidade dos MSCP

A comparação direta entre os MSCP não faria sentido, já que um método não é, necessariamente, melhor que o outro e cada categoria de método tem vantagens e limitações de aplicação. As questões pertinentes são relativas às diferenças entre os MSCP em termos da utilidade na solução de diferentes problemas e da dificuldade de aprendizagem e aplicação de cada método.

Uma análise da aplicabilidade dos MSCP que leve em consideração as características dos problemas e a dificuldade de aprendizagem e aplicação de cada método, portanto, teria a utilidade de orientar a equipe envolvida num determinado projeto de desenvolvimento de produto. A análise apresentada a seguir é baseada em dados qualitativos, encontrados na literatura, consultas a especialistas e experiência.

A característica individual mais importante de um problema é seu nível de dificuldade. A dificuldade de um problema pode ser medida em termos da ordem de grandeza do número de tentativas necessárias para encontrar uma solução, considerando a busca através de sucessivas tentativas e erros. Um levantamento dos níveis de dificuldade dos problemas técnicos foi feito por Altshuller (1969) e é apresentado na Tabela 12. A dificuldade de um problema pode ser desdobrada em três características mutuamente independentes:

- complexidade do problema;
- compreensão sobre o domínio do problema;
- natureza do domínio de solução do problema.

A complexidade de um problema pode ser definida como o trabalho necessário para

determinar cada variável (elemento desconhecido) de um problema por pessoas treinadas para fazê-lo (Savransky, 1998a). É função do número de variáveis envolvidas no problema e das interdependências entre estas variáveis. A complexidade pode ser medida em unidades de trabalho (ergs, homens-hora, etc.).

Tabela 12 - Níveis de dificuldade de problemas técnicos (adaptado de Altshuller, 1969)

Nível de dificuldade	Descrição do tipo de problema técnico	Participação no total das patentes
1	Problema de projeto rotineiro. Solução dentro do conhecimento do indivíduo ou da empresa. Exemplo: ajuste de tamanho de botas para mergulho.	32%
2	Alterações num sistema existente, dentro do conhecimento existente na indústria. Exemplo: união de duas ligas de difícil soldagem por meio de uma terceira liga que una-se facilmente às ligas originais.	45%
3	Melhoria fundamental de um sistema existente, que soluciona contradições no sistema, por meio de métodos conhecidos fora da indústria de origem. Exemplo: mistura de três tipos de forragem para alimentar o gado. A maneira antiga de solucionar o problema era pelo uso de misturadores. Tentou-se plantar os três tipos de forragem em seqüência, mas o cultivo era difícil. Uma solução inventiva é plantar um tipo de forragem por fileira e colher transversalmente.	18%
4	Nova geração de um sistema, utilizando um princípio científico (não tecnológico) para executar a função principal do sistema. Exemplos: microscópio ótico, motor a vapor, fotocopiadora, microscópio de varredura.	4%
5	Descobertas científicas importantes ou invenções pioneiras. Exemplos: raio X, penicilina, DNA, laser, supercondutores a alta temperatura.	< 1%

A compreensão do domínio do problema refere-se a quão bem definido está o problema. O domínio de um problema define-se como um estado inicial indesejado, um estado final desejado e restrições, as quais impedem que o estado inicial indesejado transforme-se no estado final desejado (Pahl & Beitz, 1988). O domínio de um problema estará bem definido se os três elementos citados estiverem adequadamente estabelecidos.

A natureza do domínio de solução diz respeito ao número de possíveis soluções para um determinado problema. O domínio de solução é aberto se existirem muitas possíveis soluções e é fechado se existirem poucas possíveis soluções.

Com base nas características genéricas dos problemas e nas classes de métodos para a solução criativa de problemas, uma análise da aplicabilidade das classes de métodos é apresentada na Tabela 13. A análise é feita com base na bibliografia

consultada e na experiência do autor. A escala utilizada é a seguinte:

- complexidade do problema: 1 (menor) a 5 (maior);
- compreensão do domínio do problema: 1 (maior) a 5 (menor);
- natureza do domínio de solução do problema: 1 (aberto) a 5 (fechado);
- dificuldade do problema, de acordo com a escala estabelecida por Altshuller (1969): 1 (menor) a 5 (maior).

Tabela 13 - Aplicabilidade das categorias de métodos com relação às características dos problemas

Categoria de Método	Complexidade do problema	Compreensão do domínio do problema	Natureza do domínio de solução do problema	Dificuldade do problema
Intuitivos	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2
Sistemáticos	2, 3, 4, 5	1, 2, 3	1, 2	1, 2, 3
Heurísticos	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3	1, 2, 3, 4
Orientados	1, 2	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4

As categorias de métodos intuitivos e orientados não possibilitam o tratamento adequado de problemas com muitas variáveis. Este tipo de problema deve ser abordado com os métodos sistemáticos e métodos heurísticos baseados em métodos sistemáticos. Estes métodos possibilitam o desdobramento de um problema de grande complexidade em problemas de menor complexidade.

Nas categorias de métodos heurísticos e métodos orientados, há métodos que permitem melhorar a compreensão do domínio de um problema mal formulado. Isso é mais dificilmente executado com a utilização de métodos intuitivos e sistemáticos.

Com relação à natureza do domínio de solução do problema, as categorias de métodos intuitivos e sistemáticos adequam-se melhor à solução de problemas abertos, enquanto as categorias de métodos heurísticos e, principalmente, orientados, possuem mecanismos como as analogias, a previsão, os padrões da evolução dos sistemas técnicos e outros que, através de direcionamento, aumentam a probabilidade de encontrar soluções para problemas com poucas possíveis soluções.

No que se refere à dificuldade de um problema, os métodos orientados tendem a aumentar a probabilidade de encontrar a solução de um problema, justamente por

orientar a busca de soluções para certas regiões do domínio de solução, onde o histórico mostra que há maior probabilidade de encontrá-las .

Para a seleção do método de solução criativa de problemas a ser utilizado interessa, além da aplicabilidade de cada método a cada tipo de problema, a dificuldade de aplicação do método. Essa dificuldade pode ser medida em termos de tempo de aprendizagem para cada método. Alguns métodos são de aprendizagem e aplicação muito fácil e rápida, como o *brainstorming*, por exemplo. Outros, como os métodos morfológico, SIT e *synectics*, exigem tempo de aprendizagem mais longo. Os maiores períodos de aprendizagem estão associados aos métodos algorítmicos e da TRIZ, por envolverem grandes quantidades de conceitos e bases de informação. Na Tabela 14, apresenta-se uma estimativa do tempo necessário para o início da utilização dos métodos para a solução criativa de problemas apresentados no Capítulo 3. Os dados da Tabela 14 são resultados de experiência do autor no uso e ensino dos referidos métodos.

Tabela 14 - Tempo de treinamento nos MSCP

Tempo de aprendizagem		
Curto (até 8h)	Médio (até 40h)	Longo (mais que 40h)
<i>Brainstorming</i> , Questionários, <i>Thinking</i> , Galeria	<i>Checklists</i> e <i>Brainwriting</i> , <i>Lateral</i>	<i>Synectics</i> , Morfologia, Análise e Síntese Funcional, Analogia Sistemática, SIT, Programa
		Algoritmo, Métodos da TRIZ

4.4 Utilização de MSCP ao longo do processo de desenvolvimento de produto

Na Tabela 15, apresenta-se a utilização dos MSCP ao longo das etapas do processo de desenvolvimento de produto. Este levantamento baseia-se na revisão da bibliografia. Nas linhas da tabela estão listadas somente as etapas do planejamento de produto e projeto nas quais MSCP são mais úteis. Etapas como definição de mercados e avaliação de concepções, por exemplo, não estão incluídas. Nestas etapas, métodos para a solução criativa de problema têm importância secundária. A nomenclatura das etapas do planejamento de produto e projeto conceitual é a proposta por Pahl & Beitz (1988). Nas colunas, estão os MSCP. As possíveis correspondências entre as linhas e colunas são: uso principal e uso auxiliar do método na etapa respectiva.

As etapas em que os métodos sistemáticos e intuitivos para a solução criativa de problemas podem ser mais úteis no processo de desenvolvimento de produtos estão bem definidas. Os métodos sistemáticos para a solução criativa de problemas não somente têm sido utilizados ao longo do processo de desenvolvimento de produto, como tem sido sugerido que parte da própria estrutura do processo de desenvolvimento de produto seja baseada nos métodos morfológico e da análise e síntese funcional, compondo eles o cerne da etapa de projeto conceitual. Métodos heurísticos derivados de métodos sistemáticos também têm aplicação ao longo de todo o projeto conceitual.

■ = uso principal □ = uso auxiliar

Etapas		Métodos														
		Brainstorming	Checklists e questionários	Brainwriting	Lateral Thinking	Synectics	Galeria	Morfológico	Análise e síntese funcional	Analogia sistemática	Algoritmo	Programa	Análise de restrições	TRIZ	SIT	
Planejamento de produto	Análise da situação													■		
	Busca por idéias de produtos	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□		■	□	□
Projeto Conceitual	Esclarecimento da tarefa / elaboração de especificações												■			
	Abstração para identificação dos problemas essenciais								□		□	□				
	Estabelecimento de estruturas funcionais	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□
	Busca por princípios de funcionamento	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		□	■	■
	Combinação de princípios de funcionamento						■	■	□	□	□	□				
	Geração de concepções					■	■	□	■	□	□					

Tabela 15 - Uso dos MSCP ao longo do processo de desenvolvimento de produtos

Quanto aos métodos intuitivos e orientados, sua aplicação tem sido sugerida pontualmente, em etapas do processo de desenvolvimento de produto nas quais novas idéias são necessárias. O mesmo vale para os métodos heurísticos baseados em métodos intuitivos e orientados. Um dos métodos orientados tem aplicação numa

etapa do processo de desenvolvimento de produto na qual nenhum outro método para a solução criativa de problemas seria de grande utilidade: a análise para a previsão da evolução (um dos métodos da TRIZ), na etapa de análise da situação.

Nos parágrafos seguintes, é apresentado o resultado de um levantamento feito através de consulta à bibliografia e enquetes com relação ao uso dos métodos orientados no desenvolvimento de produtos. Através da bibliografia, chegou-se a duas fontes: Linde & Hill (1993), Rivin (1995) e Malmqvist et al. (1996). Através da enquete, foram obtidas algumas respostas com relação a quando e como utilizar métodos orientados no processo de desenvolvimento de produtos.

Malmqvist et al. (1996) realizaram uma análise comparativa entre a TRIZ e a metodologia de projeto proposta por Pahl & Beitz (1988). A partir da análise realizada, Malmqvist et al. sugerem que a unificação da metodologia de projeto e da TRIZ resultaria numa metodologia mais poderosa. Esta metodologia unificada deveria utilizar a metodologia de Pahl & Beitz como base, sendo complementada por elementos da TRIZ em certos pontos. A justificativa para isso é que a metodologia proposta por Pahl & Beitz tem um escopo maior, cobrindo totalmente o processo de projeto, desde o esclarecimento da tarefa até o projeto detalhado e servindo para o projeto de componentes, assim como para o projeto de sistemas complexos. A TRIZ, por outro lado, inclui elementos muito úteis para a identificação e para a solução criativa de problemas, os quais não estão incorporados na metodologia de projeto.

De acordo com León-Rovira & Aguayo (1998), os conceitos de idealidade, orientação à contradição e uso de recursos do sistema da TRIZ podem ser utilizados para o aumento da eficácia na busca de soluções ao longo de todo o processo de projeto. Os métodos de solução de problemas da TRIZ podem ser utilizados para a remoção de contradições, no momento em que estas forem identificadas.

Terninko (1998) argumenta que os métodos da TRIZ são selecionados de acordo com a estrutura do problema e não de acordo com a etapa do processo de desenvolvimento de produto. Assim, os métodos da TRIZ devem ser utilizados na etapa em que forem necessários, conforme o problema. Terninko sugere a utilização do método QFD (Akao, 1990) em conjunto com a metodologia TRIZ. Com essa

associação, os desejos do cliente seriam levados em consideração ao resolver problemas pelos métodos da TRIZ e contradições entre os requisitos de qualidade, identificadas no telhado da casa da qualidade, poderiam ser resolvidas pela utilização daqueles métodos. Domb (1998) também advoga a combinação da TRIZ com o QFD.

No caso do desenvolvimento de novos produtos, Savransky (1998b) afirma que certos métodos da TRIZ (especialmente os métodos voltados para problemas de reengenharia ou maxi-problemas) deveriam ser aplicados no início do processo de desenvolvimento, de maneira a se obter concepções inovadoras. Em seguida, estas concepções deveriam ser desenvolvidas por meio de métodos tradicionais de engenharia. No caso de produtos existentes, os métodos da TRIZ poderiam ser utilizados para a obtenção de melhorias. Diversos exemplos de melhoria de produtos existentes são apresentados no trabalho de Rivin (1995), mais especificamente na utilização da TRIZ para o desenvolvimento de elementos de máquinas.

A WOIS – *Widerspruchorientierte Innovationsstrategie* ou Estratégia de Inovação Orientada à Contradição é uma proposta de unificação da TRIZ com a metodologia de projeto. A metodologia WOIS vem sendo desenvolvida e aplicada na Alemanha por Linde & Hill (1993).

O modelo da WOIS é apresentado na Figura 29. No lado esquerdo da figura, a cada etapa aumenta o grau de abstração na formulação do problema e no lado direito, a cada etapa aumenta o grau de concretização da solução. Na WOIS, conceitos de planejamento de produto (mercado, resultado da empresa, necessidades dos clientes), de metodologia de projeto (função global, funções parciais, princípios de funcionamento) e da TRIZ (contradição econômico-tecnológica, contradição tecnológico-técnica, contradição técnico-natural) são utilizados.

A partir da necessidade empresarial de melhoria dos resultados, é feita uma análise do mercado e das necessidades dos clientes. A partir desta análise, busca-se soluções disponíveis. Se existirem soluções, elas podem ser compradas, levando de forma direta a um efeito econômico e à conseqüente melhoria nos resultados da empresa. Se não houver soluções desenvolvidas ou disponíveis para compra, passa-se para a

próxima etapa de abstração.

Uma vez tomada a decisão pela continuidade do desenvolvimento, a função global do sistema é definida e busca-se soluções prontas para realizá-la. Esta busca pode ser feita, por exemplo, na literatura especializada e em bancos de patentes.

Se a solução não puder ser obtida, existe uma contradição econômico-tecnológica, ou seja, o bem econômico necessário não pode ser obtido porque a tecnologia disponível não permite. Procura-se, então, solucionar esta contradição através de analogias. Busca-se soluções para contradições surgidas em outras situações conhecidas para delas retirar uma solução adequada ao problema em estudo.

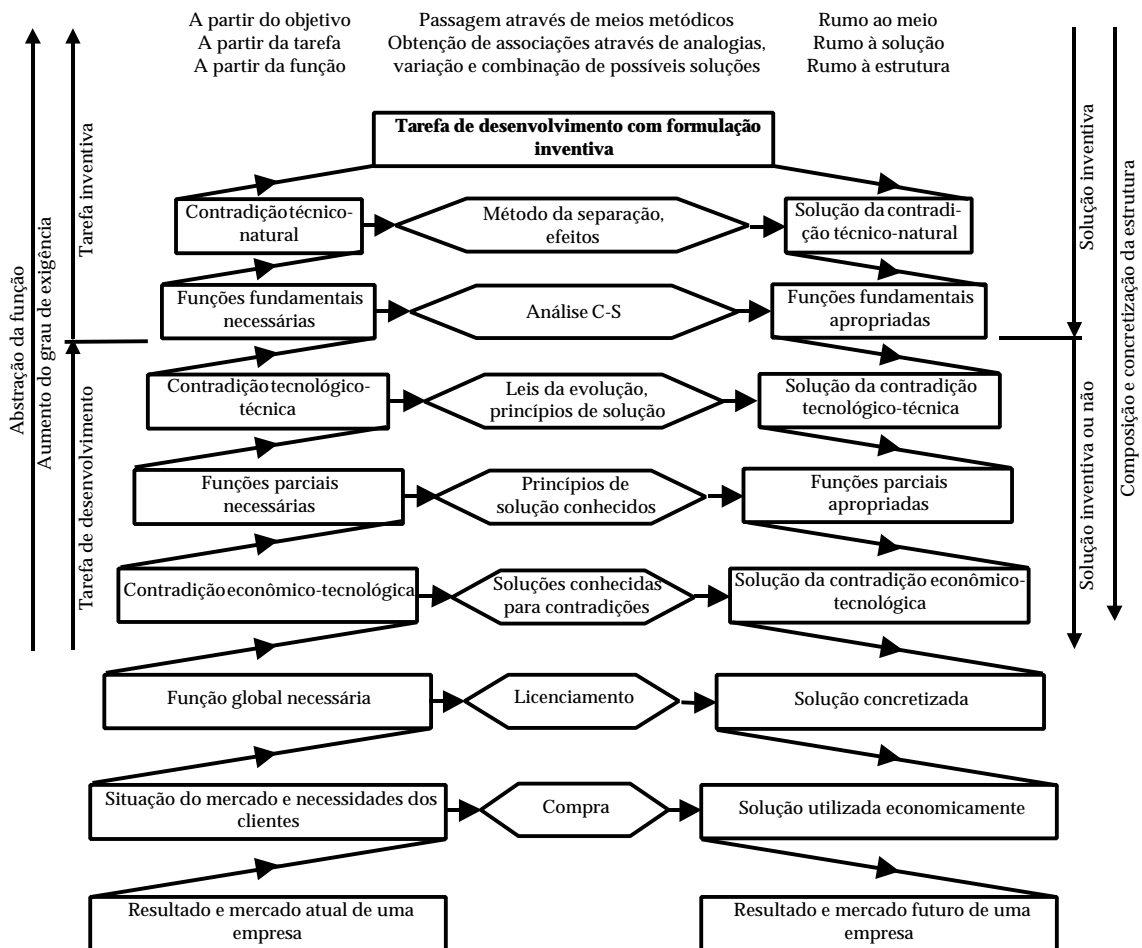


Figura 29 - Modelo da WOIS (Linde & Hill, 1993)

Se nenhuma solução satisfatória para a contradição econômico-tecnológica for encontrada, deve-se definir o STI1 (sistema técnico ideal 1) - a passagem para a

próxima etapa de abstração. Nesta etapa, obtêm-se a estrutura funcional de um sistema conhecido e que possa realizar a função global desejada. Perfaz-se uma análise das funções parciais da estrutura funcional e de seus respectivos princípios de funcionamento. A seguir, identifica-se a função parcial que impede a realização da função global desejada e procura-se princípios de funcionamento que possam executar a função adequadamente.

Se um princípio de funcionamento coerente for encontrado, um novo sistema técnico é desenvolvido a partir da nova estrutura funcional. Se isso não for possível, existe uma contradição tecnológico-técnica, ou seja, a função global desejada não é tecnicamente viável, porque não há sistemas técnicos disponíveis para tal.

Linde & Hill (1993) sugerem que se procure remover a contradição tecnológico-técnica através do uso de regras, regularidades da evolução dos sistemas técnicos e princípios inventivos.

Se a solução para a contradição tecnológico-técnica ainda não tiver sido encontrada, deve-se passar para a próxima etapa de abstração, com a formulação do STI2. A partir da função fundamental para a qual não se encontrou solução, formula-se um modelo C-S da situação problemática. Através da utilização das soluções padrão para modelos C-S, procura-se uma solução para o problema.

Se uma solução adequada ainda não for encontrada, existe uma contradição técnico-natural (ou contradição física), já que leis naturais inviabilizam uma solução adequada para o problema. Formula-se, então, o STI3. Esta é a etapa de máxima abstração, a de formulação inventiva da tarefa de desenvolvimento. Os meios propostos para solucionar esta contradição são os métodos da separação e o uso dos efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos. Se uma solução adequada for encontrada, ela deverá ser desenvolvida até se obter um produto no mercado.

Linde & Hill (1993) argumentam que, para nem todos os desenvolvimentos faz-se necessária a abstração até a contradição tecnológico-natural. De acordo com as prioridades da empresa e, principalmente, para garantir a liquidez, pode-se optar pelo contínuo desenvolvimento de pequenas inovações. As inovações de escopo limitado podem ser obtidas a níveis de abstração mais baixos.

4.5 Modelo proposto

Neste segmento, é proposto um modelo para orientar o processo de desenvolvimento de produto, no qual sugere-se o uso de MSCP de todas as categorias definidas no Capítulo 3. As fases do processo de desenvolvimento de produto incluídas no modelo correspondem ao planejamento de produto e ao projeto conceitual. O modelo proposto é prescritivo (Blessing, 1994), uma vez que os principais modelos nos quais se baseia são, também, prescritivos.

No modelo, são incorporados conceitos adaptados de diversos autores estudados na revisão bibliográfica. Dentre estes conceitos destacam-se os devidos a Altshuller (1969, 1979, 1989), a Pahl & Beitz (1988), a Linde & Hill (1993), a Horowitz & Maimon (1997) e a Savransky (1998a).

O modelo prescritivo é apresentado na Figura 30. Na parte inicial do modelo, referente à definição e esclarecimento do problema, são incluídos conceitos da TRIZ como o uso de recursos e análise da evolução dos sistemas técnicos. Na parte final, é proposta a utilização de métodos orientados para a solução de problemas.

O modelo inclui várias etapas de tomada de decisão e, com base nos estudos de aplicabilidade executados, sugere-se que a utilização dos métodos seja feita de modo progressivo. Com isso, tenciona-se possibilitar a aplicação dos métodos mais adequados a cada tipo de problema e a obtenção de sinergias entre os diversos métodos. Recomenda-se, inicialmente, a utilização de métodos de fácil aprendizagem e aplicação. Se a aplicação destes métodos mais simples for suficiente (com a obtenção de princípios de funcionamento suficientes), não é necessário executar as etapas mais avançadas do modelo. Se os resultados obtidos não forem considerados satisfatórios, sugere-se o emprego dos métodos de aprendizagem e aplicação mais difícil.

A estrutura principal do modelo é baseada nos métodos sistemáticos, intuitivos e orientados. De acordo com a dificuldade do problema e a necessidade de obter novos princípios de funcionamento, pode ser utilizada a segunda parte do modelo, que faz uso dos métodos orientados. As etapas estão divididas em preparação e execução, resultados, decisão e definição da seqüência. As etapas de preparação e execução

compõem o cerne do modelo. As demais etapas servem para orientação da equipe de desenvolvimento de produto (EDP) com relação à decisão pelo caminho a ser seguido. O modelo é descrito em detalhes, a seguir.

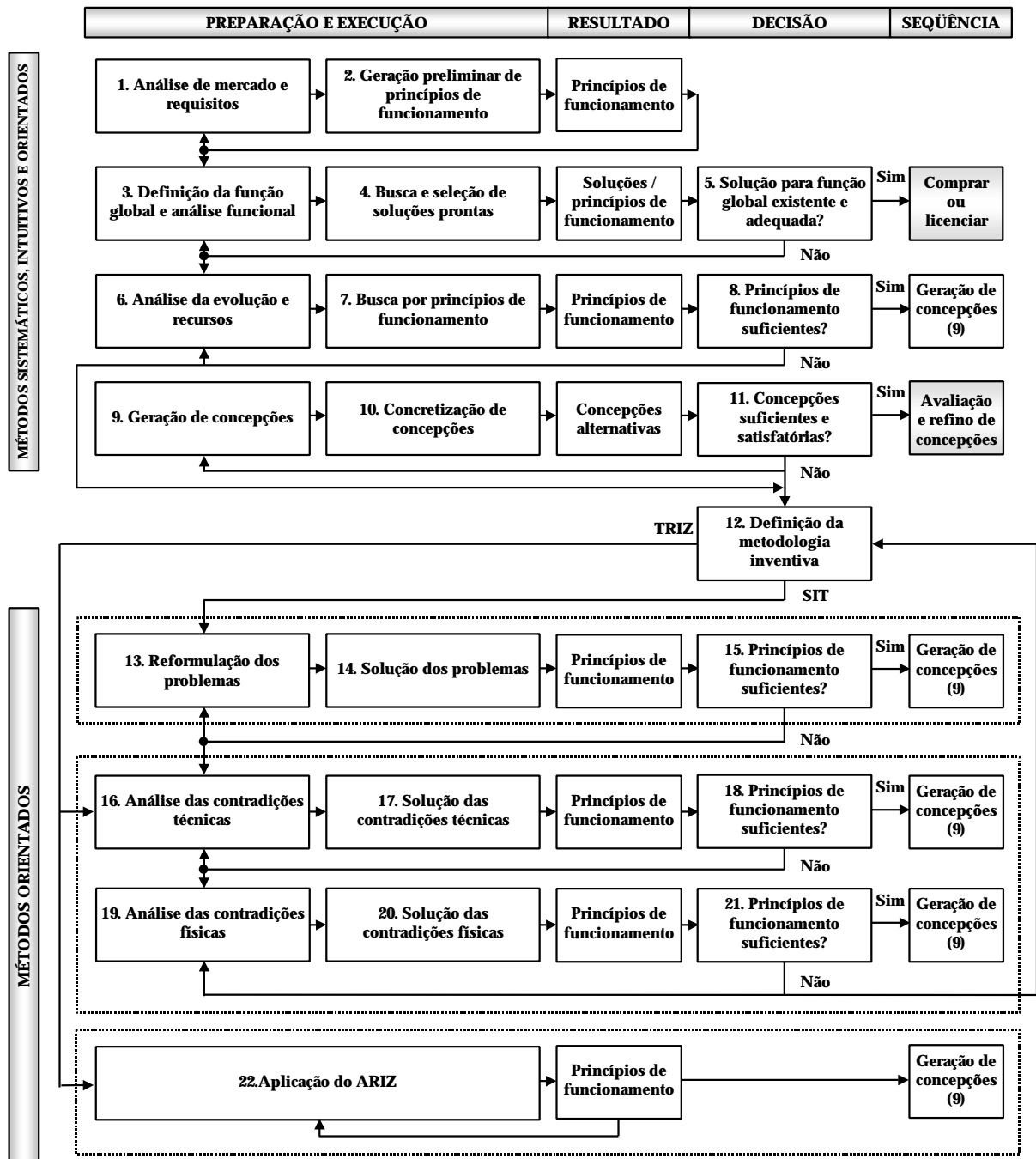


Figura 30 - Modelo para a utilização dos MSCP no desenvolvimento de produto

4.5.1 Análise do mercado e requisitos (etapa 1)

Nesta, que é a primeira etapa do processo, recomenda-se que a EDP realize o

levantamento das necessidades gerais e específicas dos clientes e estabeleça os requisitos de projeto.

Vários meios podem ser utilizados para a realização destas atividades, como, por exemplo, questionários (Andrade, 1991), entrevistas, clínicas (Urban & Hauser, 1993), *checklists* como o da Tabela 16 (Linde & Hill, 1993) e listagens de tendências genéricas do mercado e da tecnologia. Na Tabela 17 é apresentado um exemplo de listagem de tendências sócio-econômicas e, na Tabela 18, um exemplo de listagem de tendências econômico-tecnológicas (Neumann & Linde, 1990).

Tabela 16 - Checklist para levantamento das necessidades dos clientes (adaptado de Linde & Hill, 1993)

Questões	Necessidades gerais	Necessidades específicas
Para quê? Por quê preocupar-se com este problema?		
Quem? Quem tem necessidades relacionadas ao problema?		
O quê? O quê se espera como resultado?		
Quando? Quando ocorre a necessidade?		
Onde? Onde ocorre a necessidade?		
Com quê? Com quê a necessidade é satisfeita, atualmente?		
Como? Como a necessidade é satisfeita, atualmente?		
Por quê? Por quê a necessidade ainda não foi bem atendida?		
Para onde? Quais são as tendências?		

Tabela 17 - Tendências sócio-econômicas (adaptado de Neumann & Linde, 1990)

Aumento da expectativa de vida	Aumento da preocupação com o ambiente
Melhoria do padrão de vida	Aumento da necessidade de customização
Aumento da necessidade de auto-realização	Aumento da necessidade de ilusão
Aumento da necessidade de auto-exposição	Aumento da flexibilidade das uniões afetivas
Aumento da necessidade de diferenciação	Aumento da necessidade de auto-organização
Aumento da necessidade de conforto	Aumento da preocupação com a identidade
Aumento da necessidade de segurança	Aumento da preocupação com a eficácia
Aumento da necessidade de confiabilidade	Aumento da preocupação com a saúde
Aumento da necessidade de capacitação	Aumento da auto-consciência
Diminuição do esforço físico necessário	Aumento da preocupação com a capacitação
Aumento do desejo de realização no trabalho	Aumento da preocupação com o lazer
Aumento do teor tecnológico	Aumento da preocupação com a higiene
Aumento da qualificação	Aumento da preocupação com a manutenção do valor
Aumento do teor de informação	Aumento da preocupação com a qualidade
Aumento do tempo livre	Aumento da preocupação social
Aumento da necessidade de mobilidade	Aumento da necessidade de envolvimento na sociedade local

Após a compilação de uma lista completa com as necessidades dos clientes, é necessária a tradução das mesmas em requisitos de projeto. A EDP pode realizar isso com a utilização da casa da qualidade (Hauser & Clausing, 1988). O uso da casa da qualidade é especialmente interessante, por possibilitar a identificação de contradições entre requisitos de projetos, as quais poderão ser abordadas com uso de métodos da TRIZ.

Tabela 18 - Tendências econômico-tecnológicas (adaptado de Neumann & Linde, 1990)

Diminuição do consumo de materiais	Aumento do uso de informação (absoluto)
Aumento da recuperação de materiais	Aumento do uso de informação em relação ao de energia e material
Aumento do aproveitamento de materiais	Aumento do refinamento da informação
Aumento da diversidade de materiais	Aumento da preparação da informação
Aumento da utilização de mudanças de fase	Diminuição da necessidade de espaço
Aumento da pureza dos materiais	Aumento do número de dimensões utilizadas
Aumento da intercambiabilidade de materiais	Aumento do aproveitamento do espaço
Aumento da elasticidade de ligações dos materiais	Aumento da modularidade espacial
Aumento da modularidade da estrutura dos materiais	Diminuição da duração de ações
Aumento da utilização de cerâmicas	Aumento do aproveitamento do tempo
Diminuição do consumo de energia	Aumento da variedade de formas de movimentação
Aumento da recuperação de energia	Aumento da elasticidade de movimentação
Aumento da densidade energética	Diminuição das ligações em estruturas
Aumento do aproveitamento da energia	Aumento do dinamismo da forma de organização
Aumento do grau de rendimento energético	Aumento do grau de organização
Aumento da transformação de energia	Aumento da auto-organização

4.5.2 Geração preliminar de princípios de funcionamento (etapa 2)

Esta etapa objetiva a geração preliminar de idéias através de métodos intuitivos, ou, simplesmente, a documentação das idéias surgidas durante o estudo das necessidades dos clientes e levantamento dos requisitos de projeto. Nesta etapa, podem ser gerados princípios de funcionamento interessantes e, mesmo, soluções conceituais completas para o problema. Ainda que uma boa solução seja encontrada nesta etapa, sugere-se a continuação do desenvolvimento, pelo menos até a etapa 6.

4.5.3 Definição da função global e análise funcional (etapa 3)

A etapa 3 consiste na descrição do funcionamento do sistema, abstração para definição dos problemas essenciais e projeto funcional do sistema, com a definição da função global e das subfunções.

A descrição do funcionamento do sistema a ser desenvolvido deve ser realizada em termos dos processos que deverão ocorrer.

Como auxílio ao processo de abstração (Pahl & Beitz, 1988), pode ser utilizada a matriz multitela (adaptada de Altshuller, 1979), mostrada na Tabela 19. As colunas representam o passado, o presente e o futuro. Para cada uma das colunas, são representados o sistema em análise (e. g. faca elétrica), o antisistema do sistema (e. g. sistema de fixação), um ou mais não-sistemas (e. g. liquidificador, batedeira, mixer) e um ou mais co-sistemas (e.g. tábua para carne, tampo de pia). O preenchimento desta matriz pode resultar na ampliação da visão do problema e de seu contexto pela EDP.

Tabela 19 - Matriz Multitela

		Passado	Presente	Futuro
Sistema	Supersistema			
	Sistema			
	Subsistema			
Anti-sistema	Supersistema			
	Sistema			
	Subsistema			
Não-sistema	Supersistema			
	Sistema			
	Subsistema			
Co-sistema	Supersistema			
	Sistema			
	Subsistema			

O passo seguinte corresponde à análise ou síntese funcional do sistema, conforme o problema seja de reprojeção ou projeto de um novo sistema. As funções podem ser ordenadas em estruturas funcionais ou simplesmente listadas, se a equipe de desenvolvimento considerar essa a forma mais conveniente. Procedimentos para a análise e síntese funcional podem ser encontrados na literatura de metodologia do

projeto (Back, 1983; Pahl & Beitz, 1988; Hundal, 1990; Roth, 1982; Ullman, 1992; Koller, 1994; Rodenacker, 1982 e Ulrich & Eppinger, 1995).

4.5.4 Busca e seleção de soluções prontas (etapa 4)

Uma vez redefinido o problema e executado o projeto funcional do sistema, sugere-se a execução de uma pesquisa detalhada de soluções prontas. Esta pesquisa serve para identificar soluções existentes, inicialmente para o sistema completo (função global). A EDP poderá realizar essa pesquisa em bases de informações industriais, de patentes, periódicos especializados e outras, impressas ou disponíveis na *Internet*.

Se houver soluções adequadas para executar a função global e, além disso, estas estiverem disponíveis para compra ou licenciamento, tal estratégia pode ser seguida. Se, entretanto, a opção permanecer sendo por desenvolvimento independente, recomenda-se detalhar a pesquisa, obtendo soluções para as subfunções do sistema. A forma sugerida para a tabulação dos resultados desta pesquisa é a de uma matriz morfológica, na qual as subfunções e todas as soluções encontradas para cada subfunção são listadas.

4.5.5 Decisão (etapa5)

Esta decisão refere-se à existência e adequacidade de soluções prontas para realizar a função global. Se houver soluções prontas consideradas adequadas, a EDP pode tentar efetuar a compra ou o licenciamento da solução. Se não houver soluções prontas disponíveis para compra ou licenciamento, o desenvolvimento deverá prosseguir ou as etapas 3 e 4 deverão ser refeitas. Os princípios de funcionamento encontrados e demais informações levantadas devem ser guardados para uso nas etapas posteriores.

4.5.6 Análise da evolução do sistema e recursos (etapa 6)

Na etapa 6, com os dados obtidos nas etapas anteriores, recomenda-se a execução de uma análise mais aprofundada do sistema técnico e de suas adjacências. Esta etapa é

composta pelos seguintes passos:

- estudo da evolução do sistema e formulação do RFI-A (Resultado Final Ideal A);
- identificação e estimativa do nível de dificuldade dos problemas;
- levantamento de recursos do sistema e do ambiente.

Para guiar o estudo da evolução do sistema técnico, sugere-se a utilização da matriz de gerações do sistema técnico e dos padrões da evolução dos sistemas técnicos.

A matriz de gerações, proposta por Linde & Hill, 1993, é mostrada na Tabela 20. Esta matriz é utilizada para mapear a evolução do sistema e tendências para seu desenvolvimento. Para a obtenção de princípios de funcionamento a partir da análise da evolução do sistema, sugere-se utilizar a matriz de gerações em conjunto com a matriz para a uso dos padrões da evolução dos sistemas técnicos, apresentada na Tabela 21.

Tabela 20 - Matriz de gerações do sistema técnico (Linde & Hill, 1993)

Item	1ª Geração		...	Geração imediatamente anterior à atual		Geração atual		Tendências
	Natureza	Estrutura		Necessidade	Possibilidade tecnológica	Necessidade	Possibilidade tecnológica	
Matéria	Sistema natural que soluciona(va) o problema	Para matéria	Necessidade principal a ser satisfeita	Necessidade a ser satisfeita	Para matéria	Para matéria	Tendências	
Energia		Para energia				Para energia	Tendências	
Informação		Para informação				Para informação	Tendências	
Espaço		Para espaço				Para espaço	Tendências	
Tempo		Para tempo				Para tempo	Tendências	
Ambiente		Para ambiente				Para ambiente	Tendências	
Envolvimento humano		P/ envolvimento humano				P/ envolvimento humano	Tendências	
Contradição	Parâmetro a melhorar	Parâmetro piorado	Parâmetro a melhorar	Parâmetro piorado	Parâmetro a melhorar	Parâmetro piorado		
Motivo para a nova geração	Motivo	Estrutura para a próxima geração	Motivo	Possibilidade tecnológica para a próxima geração	Motivo	Possibilidade tecnológica para a próxima geração		

Na matriz de gerações, os parâmetros a ser considerados estão nas linhas da matriz e as gerações sucessivas estão nas colunas. A primeira geração corresponde ao sistema natural que realiza a mesma função ou função similar àquela executada pelo sistema sob análise. Os cabeçalhos "natureza" e "estrutura" correspondem à primeira geração do sistema. Os cabeçalhos "necessidade" e "possibilidade técnica" correspondem às

sucessivas gerações de sistemas artificiais. A geração atual deve ser descrita na coluna n-1. A coluna "tendências" deve ser completada com as tendências identificadas para "matéria", "energia", "informação", "espaço", "tempo", "ambiente" e "envolvimento humano", retiradas da Tabela 17 e/ou da Tabela 18. Na linha "contradição", a EDP deve procurar identificar a principal contradição que causa/causou a necessidade pela geração seguinte do sistema. A última linha corresponde a uma descrição do motivo para a próxima geração do sistema.

Após o preenchimento da matriz de gerações, sugere-se a formulação do RFI-A (resultado final ideal A), como meta para o desenvolvimento. O RFI-A é formulado em função de parâmetros econômico-tecnológicos, para cada problema identificado. Por exemplo, para um sistema de transporte, o RFI-A pode ser formulado como "sistema de transporte simples, com otimização do consumo de recursos e adaptado às necessidades individuais".

A matriz da Tabela 21 pode ser utilizada para a identificação de possibilidades de solução e princípios de funcionamento imaginados a partir dos padrões da evolução dos sistemas técnicos.

Uma vez definidos o estágio evolutivo do sistema e o RFI-A, sugere-se fazer a estimativa do nível de dificuldade dos problemas. Tal nível de dificuldade é determinado conforme a escala proposta por Altshuller (1969), mostrada na Tabela 12 e permite obter subsídios para a decisão sobre o uso de métodos inventivos.

O levantamento dos recursos disponíveis é facilitado com a utilização da matriz para o levantamento de recursos, adaptada de Savransky (1998a) e mostrada na Tabela 22. Na primeira coluna, estão listados os tipos de recursos. São eles substância (e. g. material disponível ou suficientemente barato), energia (e. g. energia mecânica, energia térmica), espaço (e. g. espaço interno ao sistema, espaço externo), campo (e. g. campo gravitacional), tempo (e. g. tempo entre uma operação e outra ou entre um tipo de regime e outro), informação (e. g. propriedades inerentes dos materiais) e função (e. g. funções não executadas pelo sistema, efeitos indesejados no sistema atual).

Tabela 21 - Matriz para uso dos padrões da evolução dos sistemas técnicos

Padrões da evolução	Aspectos a observar	Possibilidades de solução	Princípios de funcionamento
Completeza das partes	O sistema está completo, com os 5 elementos fundamentais (motor, transmissão, elementos de trabalho, elementos de controle e elementos estruturais)?		
Capacidade de condução de energia	Existe fluxo adequado de energia entre os subsistemas e, de modo especial, entre elementos de controle e elementos a controlar?		
Sincronização dos ritmos do sistema	Existe sincronização ou assincronização planejada entre os ritmos (frequências naturais ou de funcionamento) dos subsistemas?		
Infinidade do desenvolvimento técnico	Quais possibilidades de desenvolvimento e aperfeiçoamento do sistema em estudo podem ser identificadas?		
Aumento da idealidade	Qual é a formulação do sistema técnico ideal para realizar as funções do sistema em estudo? Como o sistema em estudo pode ser aproximado do ideal?		
Desenvolvimento desigual das partes	Quais os estágios de desenvolvimento dos subsistemas do sistema em estudo? Que subsistemas estão menos desenvolvidos? Como as diferenças podem ser diminuídas?		
Transição para o supersistema	Como o sistema em estudo poderia ser agregado a um supersistema? Quais as possibilidades de aumento da eficácia do sistema em estudo com isso?		
Simplificação	Os princípios de funcionamento do sistema em estudo poderiam ser simplificados ou substituídos por outros mais simples?		
Transição de macro para microsistemas	Como os princípios de funcionamento do sistema em estudo poderiam ser melhor realizados num nível microscópico?		
Automatização	A eficácia do sistema em estudo poderia ser aumentada através da mecanização ou automatização? Como isto poderia ser feito?		
Aumento da participação de C-S	A eficácia do sistema em estudo poderia ser aumentada através do aumento da utilização de sistemas C-S? Como?		

Tabela 22 - Matriz para o levantamento de recursos (adaptada de Savransky, 1998a)

Tipo de recurso	Aspectos a observar	Recursos identificados	Possibilidades de solução	Princípios de funcionamento
Substância	Resíduos, ar, aditivos, matéria-prima, subprodutos, elementos do sistema, elementos próximos do sistema, substância abundante, substância barata, fluxo de substância, substâncias modificadas.			
Energia	Energia no sistema ou ambiente, energia gravitacional, energia magnética, transformações das energias disponíveis, energia dissipada.			
Espaço	Espaços vazios, porosidades, dimensões não utilizadas, arranjos físicos não utilizados.			
Campo	Campos prontamente disponíveis, transformação de campo, intensificação de campo.			
Tempo	Tempo preliminar a operações, tempo de operação não dependente, pausas, tempo posterior a operações.			
Informação	Propriedades inerentes, informação em movimento ou transiente, informações sobre mudanças de estado.			
Função	Funções atualmente não realizadas, transformação de funções indesejáveis, utilização de efeitos suplementares.			

4.5.7 Busca por princípios de funcionamento (etapa 7)

Na etapa 7, os padrões da evolução dos sistemas técnicos e os recursos do sistema e/ou do ambiente são utilizados na busca por possibilidades de solução e princípios de funcionamento. Para isso, sugere-se o uso das colunas não preenchidas da Tabela 21 e da Tabela 22. Também o uso dos métodos intuitivos pode, novamente, ser feito. Se os princípios de funcionamento encontrados forem considerados suficientes, pode-se passar para a etapa 10. Se não, recomenda-se a revisão do trabalho realizado nas etapas 7, 8 e 9 e/ou a escolha de uma metodologia inventiva (etapa 12) para subsequente aplicação.

4.5.8 Decisão (etapa 8)

Esta decisão refere-se à suficiência de princípios de funcionamento obtidos a partir da execução de todas as etapas anteriores. Se houver princípios em quantidade considerada suficiente, pode-se passar, diretamente, para a etapa 9, para a geração de concepções. Se não, pode-se decidir pela re-execução das etapas 6 e 7 ou pela escolha de uma metodologia inventiva, para a geração de princípios de funcionamento adicionais (etapa 12).

4.5.9 Geração de concepções (etapa 9)

Nesta etapa, inicialmente, uma matriz morfológica deve ser composta. As subfunções obtidas na etapa 3 devem ser, então, listadas. Para realizar as subfunções, princípios de funcionamento obtidos nas etapas realizadas devem ser compilados. Sugere-se que se faça uma seleção dos princípios de funcionamento obtidos, de modo a possibilitar o descarte daqueles considerados técnica ou economicamente inviáveis. Por último, deve ser feita a geração de concepções, a partir da combinação de princípios de funcionamento coerentes entre si, para realizar cada subfunção.

4.5.10 Concretização de concepções (etapa 10)

Esta etapa consiste numa pré-avaliação. As concepções obtidas na etapa 9 devem ser

analisadas. Somente aquelas consideradas técnica e economicamente viáveis devem ser avaliadas frente às necessidades dos clientes.

4.5.11 Decisão (etapa 11)

Na etapa 11, deve-se optar pela continuidade ou não da obtenção de princípios de funcionamento e concepções adicionais. Se o resultado obtido ao final da etapa 10 for considerado suficiente, passa-se à avaliação e refino de concepções. Se não houver concepções em quantidade suficiente, mas a quantidade e qualidade de princípios de funcionamento obtidos até o final desta etapa forem consideradas suficientes, pode-se optar pela simples revisão das etapas 9 e 10. Se também a quantidade e qualidade dos princípios de funcionamento obtidos não forem considerados suficientes, deve-se passar à decisão pela utilização de uma das metodologias inventivas (etapa 12).

4.5.12 Definição da metodologia inventiva (etapa 12)

Nesta etapa, decide-se pela aplicação do método SIT ou da metodologia TRIZ para a geração de novos princípios de funcionamento. Esta decisão será baseada, principalmente, no conhecimento da metodologia pela equipe de desenvolvimento. Se nenhuma das metodologias for conhecida, deve-se optar, inicialmente, pelo método SIT, considerando o menor tempo de aprendizagem (vide Tabela 14).

4.5.13 Reformulação dos problemas (etapa 13)

Esta etapa corresponde à preparação para a solução do problema, no método SIT. O sistema é reformulado, as condições suficientes são definidas e a estratégia de solução é escolhida (Horowitz & Maimon, 1997). A matriz mostrada na Tabela 23 pode ser utilizada para a reformulação dos problemas. Uma coluna "elemento identificado" pode ser adicionada para cada problema a ser analisado no sistema.

Tabela 23 - Matriz para a reformulação dos problemas com a metodologia SIT

Tipo de elemento	Elemento identificado
Objetos do sistema	
Objetos adjacentes ao sistema	
Características do problema	
Relações indesejadas entre características do problema	

4.5.14 Solução dos problemas (etapa 14)

Conforme a estratégia de solução escolhida na etapa 13, uma ou mais das técnicas para a solução de problemas podem ser utilizadas (Horowitz & Maimon, 1997). De acordo com os resultados obtidos, pode-se revisar a aplicação do método SIT ou aplicar a metodologia TRIZ (a partir da etapa 17). Sugere-se o uso da Tabela 24 para gerar princípios de funcionamento adequados para os problemas previamente reformulados. Na primeira coluna, são listados os elementos do sistema e adjacências que deverão realizar as operações sugeridas nas técnicas de unificação, multiplicação, reestruturação, aumento da variabilidade ou remoção. Na coluna central, coloca-se a operação necessária e, na terceira coluna, os princípios de funcionamento imaginados a partir das operações.

Tabela 24 - Matriz para a solução dos problemas com a metodologia SIT

Elemento que realizará a operação	Operação necessária	Princípios de funcionamento

4.5.15 Decisão (etapa 15)

A decisão feita nesta etapa é a mesma que a descrita no item 4.5.8. Se forem considerados suficientes os princípios de funcionamento obtidos, retorna-se à etapa 9 (geração de concepções). Se for considerado necessário gerar mais princípios de funcionamento, pode-se refazer as etapas 13 e 14 ou passar à aplicação da metodologia TRIZ, iniciando na etapa 16.

4.5.16 Análise das contradições técnicas (etapa 16)

O primeiro passo, nesta etapa, é a reformulação do resultado final ideal, tornando-o mais específico. Deve-se definir um RFI-B para cada problema identificado. O RFI2 se refere a parâmetros técnicos do sistema. Os requisitos contraditórios relevantes do sistema devem ser identificados.

4.5.17 Solução das contradições técnicas (etapa 17)

Nesta etapa, sugere-se a utilização dos princípios inventivos para a obtenção de princípios de funcionamento. Como visto no item 3.5.2.2, isso pode ser feito com ou sem o uso da matriz de contradições.

4.5.18 Decisão (etapa 18)

Se os princípios de funcionamento obtidos forem considerados suficientes, pode-se retornar à etapa 9. Se não, pode-se refazer as etapas 16 e 17 ou prosseguir no modelo, com a análise das contradições físicas (etapa 19).

4.5.19 Análise das contradições físicas (etapa 19)

Como descrito no item 3.5.2.2, as contradições físicas dizem respeito a requisitos conflitantes com relação a um mesmo elemento (um mesmo elemento deve ser, por exemplo, quente e frio, grande e pequeno, etc.). Deve-se formular um novo resultado final ideal (o RFI-C) e identificar as contradições físicas correspondentes a cada um dos problemas identificados. Por último, devem ser elaborados modelos C-S de cada uma das situações problemáticas.

4.5.20 Solução das contradições físicas (etapa 20)

Nesta etapa, são buscadas soluções para as contradições físicas. Para tanto, recomenda-se a utilização das soluções padrão para modelos C-S e do método da separação (descritos no item 3.5.2.2).

4.5.21 Decisão (etapa 21)

Se os princípios de funcionamento encontrados forem considerados suficientes, pode-se retornar à etapa 9. Se não, sugere-se revisar o trabalho executado nas etapas 19 e 20, aplicar o método SIT (se este método ainda não tiver sido aplicado) ou aplicar o ARIZ (etapa 22).

4.5.22 Aplicação do ARIZ (etapa 22)

A aplicação do ARIZ – Algoritmo para a Solução de Problemas Inventivos - é sugerida como último recurso a utilizar na tentativa de solução de problemas difíceis. Ao final desta etapa, deve-se retornar à etapa 9.

4.6 Discussão

Neste Capítulo, apresentou-se uma análise dos conceitos e métodos levantados na revisão bibliográfica (feita nos Capítulos 2 e 3) e um modelo para a aplicação de métodos para a solução criativa de problemas nas etapas de planejamento de produto e de projeto conceitual.

O modelo proposto baseia-se nas seguintes conclusões:

- os métodos para a solução criativa de problemas estão associados a diferentes níveis de dificuldade de aprendizagem;
- os métodos para a solução criativa de problemas estão associados a diferentes níveis de dificuldade de utilização;
- a eficácia de utilização dos métodos para a solução criativa de problemas varia conforme o tipo de problema a ser solucionado.

Com base nestas conclusões, foi proposto um modelo prescritivo para as etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produto que procura fazer uso de todas as categorias de MSCP de maneira otimizada. A utilização de métodos simples e convencionais é recomendada, inicialmente. Se a utilização deste tipo de método não for considerada suficiente para a solução dos problemas, recomenda-se a utilização

de métodos mais complexos e menos difundidos.

No próximo Capítulo é apresentado um estudo de caso, no qual se faz uso do modelo apresentado.

5 Estudo de caso

“As fontes das invenções são mais interessantes que as próprias invenções.”

Gottfried Wilhelm Leibniz

Neste Capítulo, o modelo prescritivo proposto no Capítulo 4 é aplicado no planejamento de produto e projeto conceitual de uma roçadeira portátil.

5.1 Descrição preliminar do problema

A decisão pela aplicação do modelo no desenvolvimento de uma roçadeira portátil deveu-se a diversos motivos. Um deles é que o problema é próximo do conhecimento e experiência próprias do autor. Outro motivo é que a roçadeira portátil é um produto que já atingiu sua configuração clássica, ou seja, todos os seus principais subsistemas já estão definidos. Assim, propor soluções para a melhoria do produto consiste numa tarefa menos simples, na qual praticamente todos os métodos sugeridos no modelo podem ser aplicados. O mercado de roçadeiras portáteis vem crescendo no Brasil, com a adoção do equipamento por um número crescente de entidades governamentais e privadas que executam a manutenção de jardins, gramados, beiras de estradas e outros. Muitas empresas estão entrando nesse mercado. A maior parte dos novatos no mercado está oferecendo produtos importados ou, simplesmente, montados no País com componentes importados. Nesse mercado que começa a tornar-se muito competitivo, é necessário inovar, procurando soluções adequadas para os problemas que as concepções e configurações atuais das roçadeiras apresentam.

Este Capítulo está estruturado conforme as etapas do modelo prescritivo proposto. Ao seu final, é feita uma discussão sobre os resultados obtidos com a aplicação do modelo.

5.2 Análise do mercado e requisitos (etapa 1)

Para identificar as necessidades dos clientes, partes do questionário de Andrade (1991) foram aplicadas a um total de 27 pessoas envolvidas com roçadeiras portáteis em várias etapas do ciclo de vida do produto (projeto, fabricação, compras, vendas, manutenção e uso). O resultado é mostrado na Tabela 25, na Tabela 26 e na Tabela 27.

Tabela 25 - Questionário para o levantamento das necessidades - parte 1

Categoria	Item	Respostas
Clientes e mercado	Quais são os clientes principais, diretamente afetados pelo produto?	Proprietários de casas com jardins ou quintais grandes e/ou com terrenos irregulares; Proprietários de chácaras, sítios, fazendas; Jardineiros; Trabalhadores em chácaras, sítios, fazendas, empreiteiras, concessionárias de eletricidade, de ferrovias, de estradas.
	Quais são os clientes secundários?	Pessoal envolvido na distribuição, vendas e serviço do produto.
	O quê os clientes podem obter com o produto, mas não sabem?	Proteção do solo; Barreira para o fogo; Nutrição do solo.
	O quê os clientes gostariam de conseguir com o produto?	Desempenho adequado: liberdade de movimentação, baixo consumo, grande autonomia, pequeno peso, corte adequado, pouca manutenção, durabilidade, potência adequada, resistência adequada; Baixo custo: os modelos com motor de combustão interna disponíveis no mercado (nacionais e importados) têm preços entre R\$ 400,- e R\$ 900,- (*). O custo deve ficar em torno de R\$200,- (*); Segurança (do próprio operador e das pessoas próximas ao equipamento em uso).
	Quem são os compradores? Compram de quem?	O próprio operador; Proprietário de chacara, sítio ou fazenda; Empresário de jardinagem, empreiteira, concessionária, etc.
	Como a empresa pode ser mais atrativa que os concorrentes?	Há muitos concorrentes no mercado. A empresa terá de diferenciar-se para oferecer vantagens em relação à concorrência. A inovação poderá se dar através de maior segurança para os operadores e os transeuntes, <i>design</i> mais atraente, melhor atendimento de aspectos ergonômicos, menor poluição, menor necessidade de manutenção, maior durabilidade, menor vibração e maior desempenho.
	Quantos clientes tem a empresa? Qual o tamanho do mercado?	A estimativa de volume médio de vendas para roçadeiras no Brasil é de 5000 unidades por mês (*).
(*) valores referentes a março de 1999		

Ainda para definir o problema e levantar as necessidades, utilizou-se a matriz para o levantamento de necessidades (Linde & Hill, 1993), mostrada na Tabela 28. As tendências para as necessidades gerais e específicas (última linha da Tabela) foram retiradas, respectivamente, da Tabela 17 - tendências das necessidades sócio-econômicas e da Tabela 18 - tendências das necessidades econômico-tecnológicas.

Tabela 26 - Questionário para o levantamento das necessidades - parte 2

Categoria	Item	Respostas
Uso e desativação	Quais devem ser as funções principais do produto?	Transformar energia (motor), transmitir energia (eixo, engrenagem), cortar (lâmina), armazenar combustível (tanque), direcionar (cabos).
	Quais devem ser as funções secundárias do produto?	Redirecionar energia (reductor), conectar/desconectar (embreagem), comandar embreagem, proteger o operador, transmitir peso (alça, estrutura).
	Quais devem ser as habilidades dos usuários?	Devem ser adultos em pleno uso de sua capacidade física e com boa coordenação motora. O uso do aparelho é simples, mas, devido ao risco de segurança, é necessário treinamento.
	Qual será a frequência de uso e os períodos de utilização?	A frequência de uso pode ser diária (quando do uso por jardineiros, por exemplo) e pode ser intermitente (proprietários de chácaras, por exemplo). Num mesmo dia, a utilização pode ser praticamente contínua, com intervalos de descanso.
	Qual será o tempo de vida do produto?	3 anos, para uso contínuo.
	Em que ambiente o produto será utilizado?	O ambiente de utilização do produto é relativamente agressivo. Entre os elementos presentes nesse ambiente pode-se citar terra, poeira, areia, variações de temperatura, umidade, elementos corrosivos etc.
	Quais as condições de segurança (do operador, produto e ambiente)?	O operador deve utilizar proteção adequada, que pode consistir de óculos, capacete, protetor auricular, botas, luvas e caneleiras. A segurança do produto depende muito da forma de utilização. O ambiente é afetado pelo uso do equipamento. O próprio corte da vegetação é uma forma de interferência humana no ambiente. Além disso, o equipamento libera substâncias nocivas como gasolina, óleo lubrificante e gases resultantes da combustão.
	Quais os efeitos da desativação ou abandono temporário ou permanente?	Separação entre combustível e lubrificante, formação de borra etc.
	Quais as habilidades daqueles que reaproveitarão o produto desativado?	Devem ser pessoas treinadas para a tarefa. O reaproveitamento envolverá desmontagem, tratamento adequado aos resíduos fluidos e separação adequada de materiais.
Produção, distribuição e instalação	Quantos produtos serão produzidos?	O produto deverá ser produzido em série.
	Qual deverá ser o tempo de produção do produto?	Cerca de duas unidades a cada hora.
	Qual será a frequência de produção?	Uma fábrica iniciando suas atividades pode considerar um volume inicial de 300 unidades por mês e possibilidade de aumento até 600 unidades por mês.
	Quais materiais serão processados?	Metais, plásticos e tecidos.
	Quais processos de fabricação e montagem serão necessários e quais os disponíveis?	Nenhum processo está disponível, a proposta envolve a construção de uma fábrica para o produto. Serão necessárias, essencialmente, operações de montagem. Serão procurados fornecedores capacitados para produzir cada componente.
	O que será exigido do processo?	Dispositivos adequados para auxílio à montagem.
	Quais serão as habilidades dos envolvidos com a produção, distribuição e instalação?	O produto é relativamente complexo. Assim, as habilidades necessárias estarão distribuídas em diferentes níveis administrativos e operacionais. Pode-se afirmar que essas habilidades serão aquelas esperadas do pessoal envolvido com a produção, distribuição e instalação de produtos da mecânica comum com nível médio de complexidade.
	Como o produto será testado?	Após a montagem, 100% dos produtos devem ser submetidos a inspeção e teste. Deverão ser previstos testes completos com simulação do uso e testes de confiabilidade do produto completo e componentes.
	Como o produto será embalado?	No final da linha de montagem, em caixas adequadas para isso.
Como o produto será transportado?	Principalmente por caminhões.	

Tabela 27 - Questionário para o levantamento das necessidades - parte 3

Categoria	Item	Respostas
Fatores externos	Quais os conhecimentos científicos e tecnológicos necessários e quais estão disponíveis?	Conhecimentos das áreas de engenharia mecânica, <i>design</i> e engenharia elétrica.
	Como está e como estará a situação de desenvolvimento econômico no ambiente da empresa e do cliente?	A economia brasileira vem apresentando um cenário de estabilidade em termos de inflação, nível alto de juros e recessão econômica (*). Existe perspectiva de pequeno crescimento econômico a partir de meados de 1999. A situação atual do câmbio beneficia as empresas brasileiras exportadoras.
	Existem decisões políticas que possam afetar o produto?	Provavelmente, sim. Entretanto, não puderam ser identificadas.
	Qual é a legislação associada com o produto, os clientes e a empresa?	A solução deverá estar em acordo com as normas NBR: 13910-2-1, 13910-1, 13910-3, 13910-2-2, 13910-2-3; ABNT: MB01475, MB01476, MB01477, MB01478, MB01480, MB01601, TB00019-29. Além disso, aplicam-se as leis relativas à responsabilidade pelo fato do produto (Código de Defesa Civil e Código Penal).
	Quais são as necessidades e limitações sociais, culturais e religiosas?	Não aplicável.
	Como o produto pode perturbar o ambiente?	Liberação de sólidos, líquidos e gases poluentes, ruído, vibrações, danificação de plantas e animais etc.
(*) referente a março de 1999		

Tabela 28 - Levantamento das necessidades gerais e específicas para a roçadeira portátil

Questões	Necessidades gerais (manutenção de jardins)	Necessidades específicas (corte de grama e folhagens)
Para quê? Por quê preocupar-se com este problema?	Sistema mais adequado para a manutenção de jardins públicos.	Sistema mais eficiente para o corte de grama e outras folhagens onde necessário.
Quem? Quem tem necessidades relacionadas ao problema?	O público em geral.	Prefeituras e empresas de prestação de serviços de manutenção de jardins públicos.
O quê? O que se espera como resultado?	Jardins e quintais com boa aparência.	Gramados e outras folhagens cortadas no comprimento adequado.
Quando? Quando ocorre a necessidade?	Quando jardins públicos não estão com boa aparência.	Ao longo de todo o ano, com frequência maior nos meses mais quentes do ano.
Onde? Onde ocorre a necessidade?	Em todo o mundo, com frequência maior nas regiões mais quentes e úmidas.	Em jardins públicos (parques, praças, canteiros de vias etc.)
Com quê? Com que a necessidade é satisfeita, atualmente?	Jardineiros, adubos, pesticidas, animais, ferramentas, equipamentos.	Ferramentas manuais e ferramentas motorizadas.
Como? Como a necessidade é satisfeita, atualmente?	Através da utilização dos elementos supracitados.	Através da utilização de ferramentas manuais ou motorizadas.
Por que? Por que a necessidade não está atendida / bem atendida?	A manutenção de jardins públicos é trabalhosa e cansativa.	O esforço demandado é excessivo e um controle constante da operação é necessário.
Para onde? Quais são as tendências?	Aumento da confiabilidade; Diminuição do trabalho humano; Aumento do teor tecnológico; Aumento da preocupação com o meio ambiente; Aumento da eficácia; Aumento da preocupação com a estética.	Diminuição do uso de materiais; Diminuição do consumo de energia; Diminuição do espaço ocupado; Aumento do aproveitamento do tempo; Aumento da segurança; Aumento da dinamização; Aumento do grau de informação.

Com base na pesquisa e no levantamento feitos junto a pessoas envolvidas com a manutenção, distribuição, comercialização e utilização de roçadeiras portáteis, sintetizou-se a lista das necessidades dos clientes com os respectivos valores de importância relativa apresentada na Tabela 29. Para manter a fidelidade, procurou-se usar as mesmas descrições feitas pelos clientes, sendo incluídas entre parênteses explicações, quando considerado necessário.

Tabela 29 - Necessidades dos clientes para a roçadeira portátil

Grupo	Necessidade	Importância Relativa (%)
Fabricante	Fácil fabricação	2
	Fácil montagem	2
	Fácil embalagem	1
	Pequena cubagem (volume ocupado)	5
Economia	Preço baixo	6
	Baixo custo operacional	4
Operação	Operação fácil	5
	Fácil manutenção	5
	Fácil instalação	6
	Desempenho adequado	5
	Fácil transporte	5
	Durabilidade	6
Ergonomia e segurança	Pouca vibração	6
	Pouco ruído	5
	Sem perigos (ausência de perigos)	9
	Operação não cansativa	9
	Parada rápida	5
Ambiente	Operação não poluente	3
	Produto reciclável (possibilidade e facilidade de reciclagem dos materiais)	3
	Processos limpos (processos de fabricação não agressivos ao ambiente)	2
	Materiais limpos (uso de materiais não agressivos ao ambiente durante o uso do produto)	2
Aparência	Aparência agradável	4

A partir das necessidades dos clientes e com o uso de listas genéricas de requisitos (Pahl & Beitz, 1988 e Blanchard & Fabricky, 1990) e da casa da qualidade (apresentada na Figura 31), foram obtidos os requisitos de projeto. Em seguida, a matriz de relacionamentos entre necessidades e requisitos foi preenchida e chegou-se à lista de requisitos por ordem de importância mostrada na Tabela 30. Por último,

como maneira de identificar conflitos entre requisitos de projeto - e, conseqüentemente, oportunidades de melhoria através de soluções criativas - foi preenchida a matriz de relacionamentos entre requisitos de projeto.

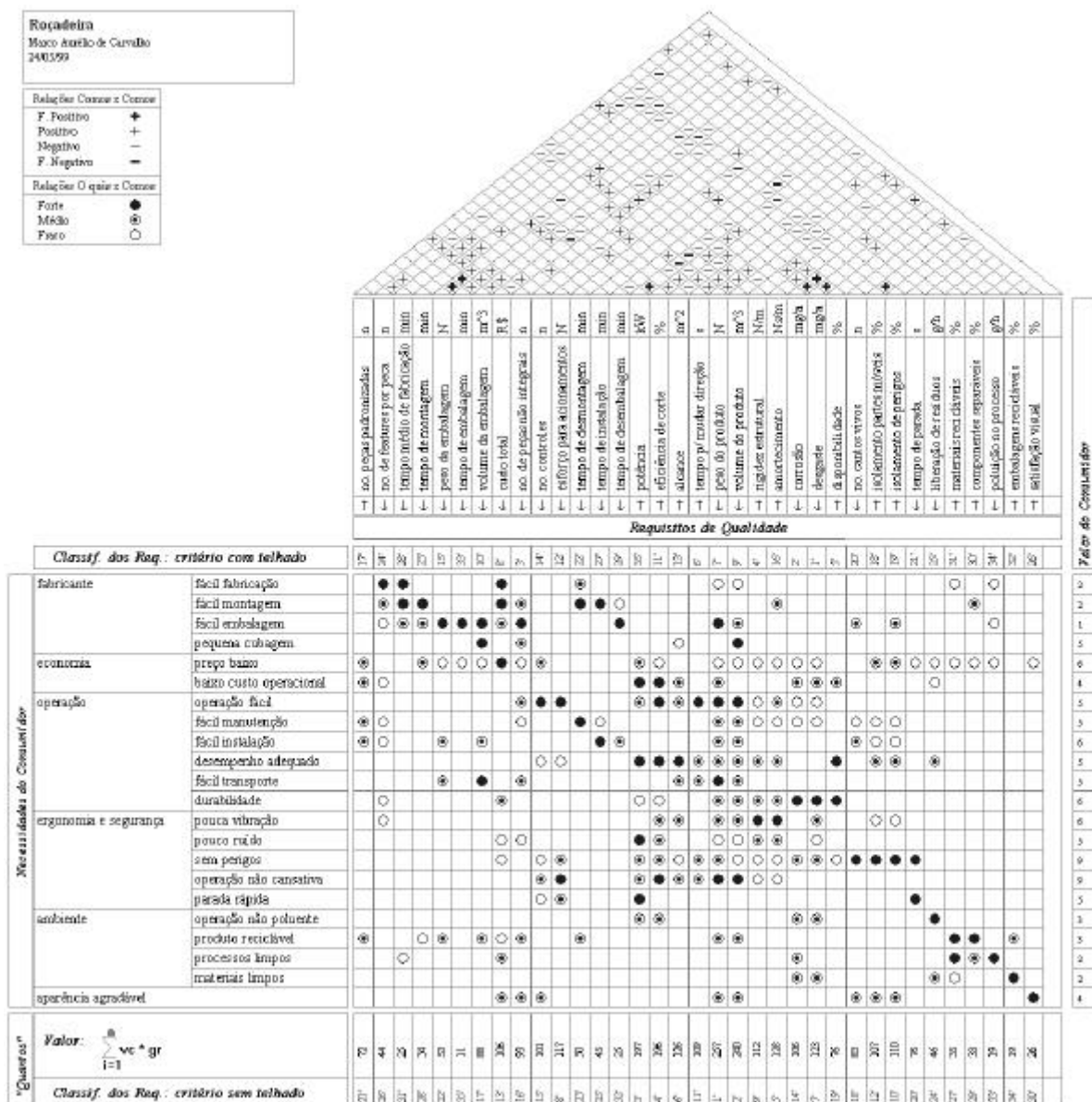


Figura 31- Casa da qualidade para a roçadeira portátil

O trabalho contínuo com uma roçadeira portátil ocasiona a fadiga do operador. Isto deve-se aos movimentos repetitivos que precisam ser feitos, à vibração e ruído e, principalmente, à sustentação do peso do sistema pelo corpo do operador.

A concepção convencional de uma roçadeira portátil é bastante deficiente com relação à segurança. Resíduos de vegetais, pedras e outros materiais são lançados em todas as direções. A segurança que esta concepção oferece é indireta (Pahl & Beitz, 1988), ou seja, depende da utilização de dispositivos de segurança (carenagem e equipamento de proteção), o que não é o mais desejável.

Tabela 30 - Requisitos de projeto para a roçadeira portátil

Requisito	Unidade	Requisito	Unidade
↓ Peso do produto	N	↑ Disponibilidade	%
↓ Volume do produto	m ³	↓ Tempo de parada	min
↑ Potência	kW	↑ No. de peças padronizadas	n
↑ Eficiência de corte	%	↓ Peso da embalagem	N
↑ Amortecimento	N.s/m	↓ Tempo de desmontagem	min
↑ Alcance	m ²	↓ Liberação de resíduos	g/ano
↓ Desgaste	mg/ano	↓ Tempo de instalação	min
↓ Esforço para acionamentos	N	↓ No. de <i>features</i> por peça	n
↑ Rigidez estrutural	N/m	↑ Materiais recicláveis	%
↑ Isolamento de perigos	%	↓ Tempo de montagem	min
↑ Tempo para mudar direção	s	↑ Componentes separáveis	%
↑ Isolamento partes móveis	%	↑ Satisfação visual	%
↓ Custo total	R\$	↓ Tempo médio de fabricação	min
↓ Corrosão	mg/ano	↓ Tempo de desembalagem	min
↓ No. de controles	n	↓ Poluição no processo	N
↓ No. de peças não integrais	n	↑ Embalagens recicláveis	%
↓ Volume da embalagem	m ³	↓ Tempo de embalagem	min
↓ No. de cantos vivos	n		

5.3 Geração preliminar de concepções (etapa 2)

Nesta etapa, através da utilização do *brainstorming*, *checklists* e analogias, várias idéias foram geradas. As seguintes foram consideradas relevantes para análise posterior:

- roçadeira com elemento de corte composto por lâminas alternativas similares às utilizadas em cortadores de cercas vivas (lado esquerdo da Figura 32);
- roçadeira com sabres (elemento de corte similares aos de uma motosserra);
- aspiração imediata dos resíduos, impedindo a projeção dos mesmos;
- carenagem que direciona os resíduos para uma área determinada.

Após análise do trabalho realizado e dos resultados obtidos nas etapas 1 e 2, decidiu-se prosseguir com a etapa 3 do modelo e não refazer as etapas 1 e 2.

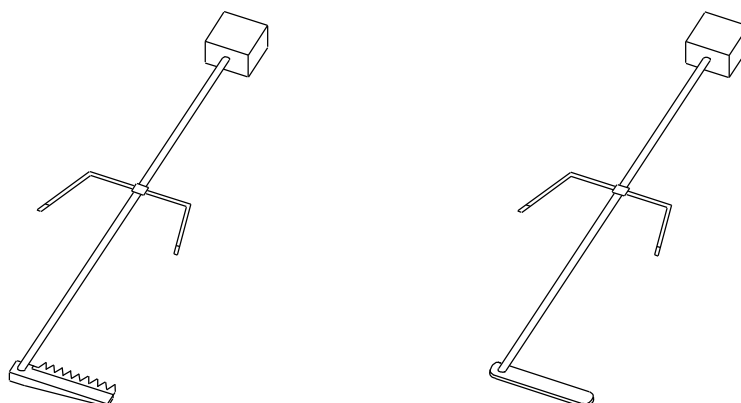


Figura 32 - Concepções para roçadeiras com lâminas alternativas (esquerda) e sabres (direita)

5.4 Definição da função global e análise funcional (etapa 3)

5.4.1 Descrição do funcionamento do sistema e abstração

O sistema utilizado atualmente (roçadeira lateral ou portátil) consiste dos seguintes subsistemas principais: transformação de energia elétrica ou química em energia mecânica (motor elétrico ou de combustão interna), transmissão e transformação da energia mecânica (eixo rígido ou flexível, engrenamentos, freios), corte (lâminas, fios flexíveis), controle (partida, frenagem, controle de rotação, acoplamento, controle de direção) e sustentação (alça, apoio no quadril, manoplas). Na Figura 33, é mostrada uma roçadeira portátil convencional (Andreas Stihl, 1999).



Figura 33 - Roçadeira lateral ou portátil típica (Andreas Stihl, 1999)

O trabalho com a roçadeira inicia-se pela partida do motor. A rotação do motor é imediatamente transmitida através dos eixos e elementos de transmissão até a lâmina, que vai sendo posicionada pelo operador na região onde há vegetação a ser cortada. O operador controla a rotação do motor, através de um acelerador e acopla ou desacopla o motor, conforme a ação da lâmina seja ou não desejada. A direção de operação é controlada manualmente, através de manoplas. A sustentação da roçadeira é feita pelo próprio corpo do operador, através de uma alça apoiada pelos ombros e um apoio na parte lateral de seu quadril.

Como subsídio para abstrair e reformular o problema, foi utilizada a matriz multitela, conforme mostrado na Tabela 19. Nas primeiras três linhas, são listadas as funções do supersistema, sistema e subsistemas no passado, presente e futuro. Nas três linhas seguintes, análise similar foi realizada para o antissistema. Na sétima, oitava e nona linhas, o não-sistema cortador de grama foi escolhido para análise. Por último, na décima, décima primeira e décima segunda linhas, o co-sistema equipamento de proteção foi analisado.

A partir do preenchimento da matriz multitela, foram elaboradas algumas alternativas para a reformulação do problema, em diferentes níveis de abstração. São elas:

- criar paisagens;
- evitar a proliferação de animais peçonhentos;
- controlar o crescimento da vegetação;
- limitar o crescimento da vegetação;
- cortar e coletar vegetais;
- podar plantas;
- cortar grama;
- recortar canteiros;
- cortar vegetais;
- cortar grama.

Tabela 31 - Matriz multitela para a roçadeira portátil

		Passado	Presente	Futuro
Sistema	Super-sistema	<u>Jardinagem</u> Função: controlar o crescimento da vegetação.	<u>Jardinagem</u> Função: controlar o crescimento da vegetação.	<u>Jardinagem</u> Função: controlar o crescimento da vegetação.
	Sistema	<u>Ferramentas manuais</u> Função: cortar vegetais.	<u>Roçadeira</u> Função: cortar vegetais.	<u>Cortador automático</u> Função: cortar vegetais.
	Subsistema	Subfunções: cortar vegetais; transmitir peso.	Subfunções: receber energia; transformar energia; armazenar energia; cortar vegetais; iniciar e interromper corte; direcionar corte; transmitir peso; tracionar; proteger operador.	Subfunções: receber energia; transformar energia; armazenar energia; cortar vegetais; iniciar e interromper corte; direcionar corte; transmitir peso; tracionar; proteger operador; controlar posição; controlar corte; perceber obstáculos; processar sinais.
Antissistema	Super-sistema	<u>Preservação</u> Função: não controlar o crescimento da vegetação.	<u>Preservação</u> Função: não controlar o crescimento da vegetação.	<u>Preservação</u> Função: não controlar o crescimento da vegetação.
	Sistema	<u>Área de preservação</u> Função: impedir interferência humana sobre a vegetação.	<u>Área de preservação</u> Função: impedir interferência humana sobre a vegetação.	<u>Área de preservação</u> Função: impedir interferência humana sobre a vegetação.
	Subsistema	Subfunções: delimitar área; cercar área; criar leis; fiscalizar ; conscientizar pessoas.	Subfunções: delimitar área; cercar área; criar leis; fiscalizar ; conscientizar pessoas.	Subfunções: delimitar área; cercar área; criar leis; fiscalizar ; conscientizar pessoas; monitorar automaticamente.
Não-sistema	Super-sistema	<u>Jardinagem</u> Função: controlar o crescimento da vegetação.	<u>Jardinagem</u> Função: controlar o crescimento da vegetação.	<u>Jardinagem</u> Função: controlar o crescimento da vegetação.
	Sistema	<u>Ferramentas manuais</u> Função: cortar vegetais.	<u>Cortador de grama</u> Função: cortar vegetais.	<u>Cortador de grama</u> Função: cortar vegetais.
	Subsistema	Subfunções: cortar vegetais; transmitir peso.	Subfunções: receber energia; transformar energia; armazenar energia; cortar vegetais; iniciar e interromper corte; direcionar corte; transmitir peso; tracionar; proteger operador.	Subfunções: receber energia; transformar energia; armazenar energia; cortar vegetais; iniciar e interromper corte; direcionar corte; transmitir peso; tracionar; proteger operador; controlar posição; controlar corte; perceber obstáculos; processar sinais.
Co-sistema	Super-sistema	<u>Segurança</u> Função: evitar danos ao homem, sistemas técnicos e ambiente.	<u>Segurança</u> Função: evitar danos ao homem, sistemas técnicos e ambiente.	<u>Segurança</u> Função: evitar danos ao homem, sistemas técnicos e ambiente.
	Sistema	<u>Equipamento de proteção</u> Função: proteger operador.	<u>Equipamento de proteção</u> Função: proteger operador.	<u>Equipamento de proteção</u> Função: proteger operador.
	Subsistema	Botas, caneleiras, macacão, luvas, óculos, capacete, protetores auriculares.	Botas, caneleiras, macacão, luvas, óculos, capacete, protetores auriculares.	Botas, caneleiras, macacão, luvas, óculos, capacete, protetores auriculares, traje especial.

5.4.2 Definição da função global e subfunções do sistema

A formulação do problema considerada mais apropriada é cortar vegetais, por não ficar o domínio do problema excessivamente aberto nem excessivamente fechado. Esta função foi, assim, adotada como a função global do sistema.

As funções parciais para realizar a função global são apresentadas a seguir. As funções parciais listadas representam diversos tipos de sistemas conhecidos para o corte de vegetais, não somente roçadeiras portáteis. Por isso decidiu-se,

simplesmente, listar as funções e não ordená-las numa estrutura funcional (uma vez que, para cada tipo de sistema de corte de vegetais, a estrutura funcional seria diferente). As funções parciais levantadas são:

- para roçadeiras portáteis e sistemas similares: receber energia, transformar energia, armazenar energia, cortar vegetais, iniciar e interromper corte, direcionar corte, transmitir peso, tracionar, proteger operador;
- para outros sistemas de corte de vegetais: todos os anteriores, mais levantar vegetais, picotar vegetais, espaçar vegetais e armazenar resíduos.

5.5 Busca e seleção de soluções prontas (etapa 4)

5.5.1 Busca de soluções prontas para a função global

O levantamento de soluções existentes para realizar a função global foi realizado através de pesquisa junto a lojas e fabricantes de equipamento agrícola e para jardinagem, *internet* e bancos de patentes (INPI, 1999; IBM, 1999; ESP@CENET, 1999).

As soluções mais interessantes encontradas para realizar a função global, evitando a sustentação de peso pelo operador e o lançamento de resíduos são:

- máquina automática ("robô") para o corte de grama, mostrada na Figura 34 (Husqvarna, 1998);
- cortador de grama com corte por resistências (Figura 35);
- cortador de grama com lâminas com movimento linear na horizontal (Figura 36);
- cortador de grama convencional com conjunto de corte similar ao de uma motosserra, posicionado na parte frontal (Figura 37);
- roçadeira portátil com lâminas com movimento rotativo na horizontal (Figura 38);
- roçadeira portátil com rodas na parte central e lâminas rotativas horizontais externas (Figura 39).



Figura 34 - Máquina automática para o corte de grama (Husqvarna, 1998)

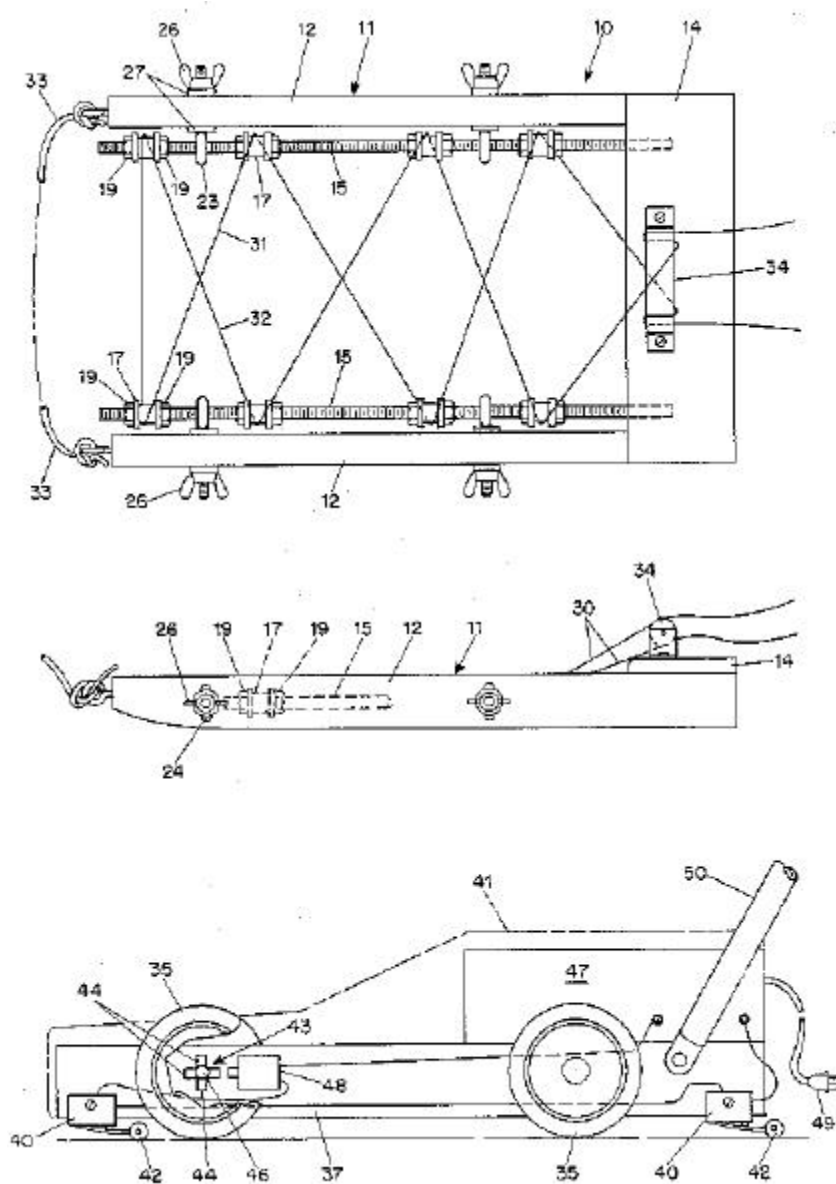


Figura 35 - Cortador de grama com conjunto de corte por resistências (Tobias, 1990)

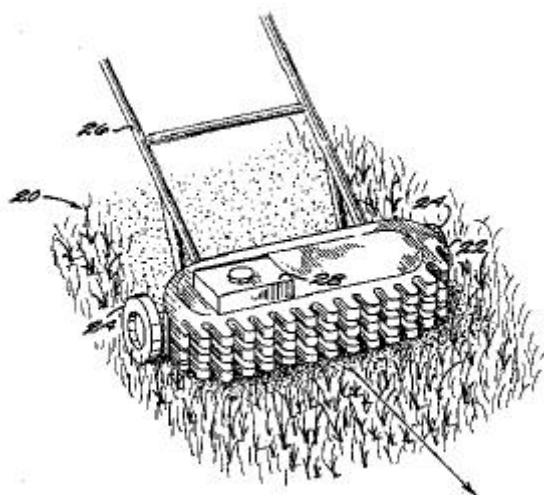


Figura 36 - Cortador de grama com lâminas com movimento linear na horizontal (Allen, 1994)

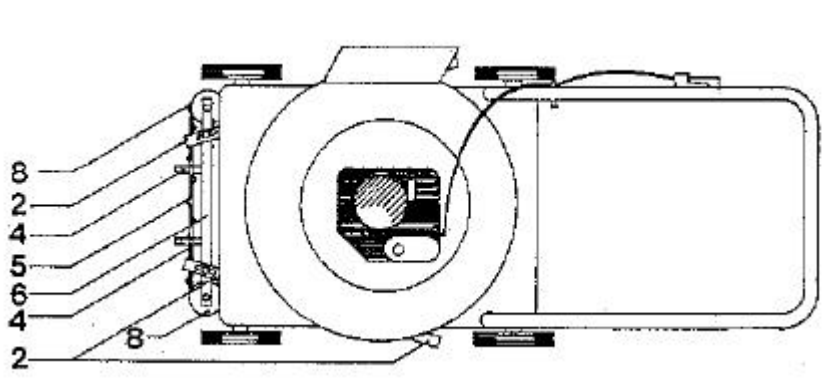


Figura 37 - Cortador de grama com conjunto de corte extra na parte frontal (Lee, 1994)

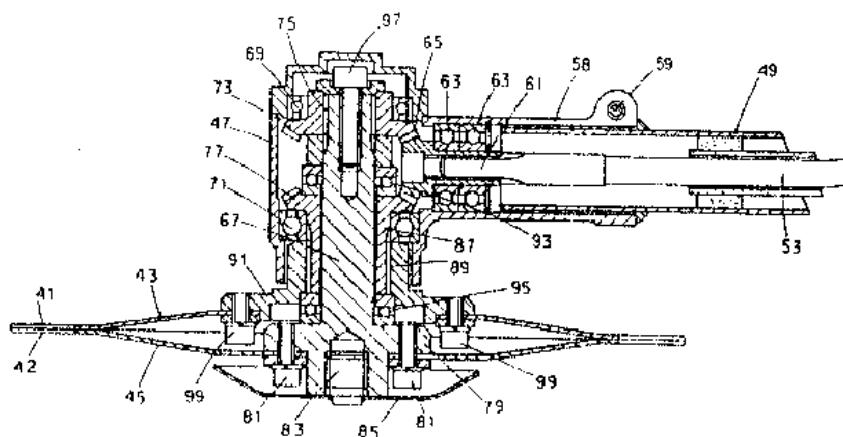


Figura 38 - Roçadeira portátil com lâminas cisalhadoras com movimento rotativo na horizontal (Taniguchi, 1989)

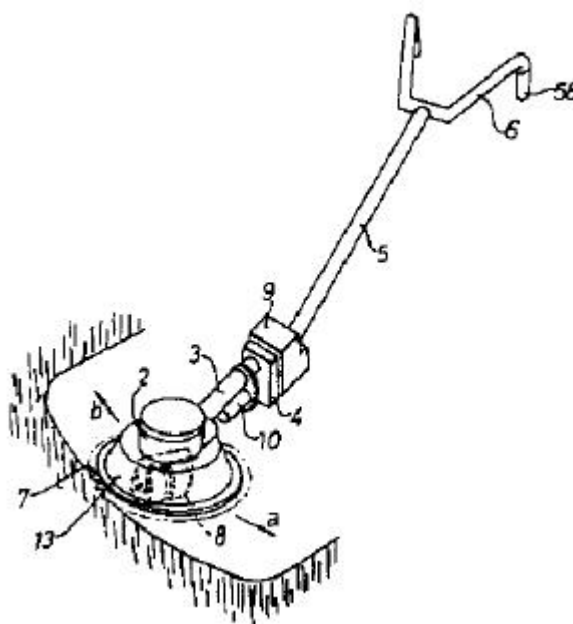


Figura 39 - Roçadeira portátil com rodas na parte central (8) e lâminas rotativas horizontais externas (7) - Mihira (1988)

5.5.2 Busca de soluções prontas para as subfunções

As soluções prontas para as subfunções foram obtidas a partir das mesmas fontes utilizadas na busca de soluções prontas para a função global. Neste caso, entretanto, a pesquisa não se resumiu aos sistemas completos para realizar a função global. Foi feita, também, uma busca de soluções para sistemas com funções globais diferentes de cortar vegetais, como sistemas para o plantio de vegetais, cultivo de vegetais, transporte e outros que são comumente utilizados em conjunto com sistemas para o corte de vegetais ou nos quais se faz uso de tecnologias semelhantes às aquelas presentes em sistemas para o corte de vegetais.

As soluções encontradas para realizar as subfunções foram organizadas na forma de uma matriz morfológica e estão listadas na Tabela 32. Não por acaso, a maior quantidade de soluções encontrada na pesquisa está associada à subfunção cortar vegetais, a qual, considerada individualmente, é a mais importante do sistema.

Tabela 32 - Matriz morfológica com as soluções existentes para sistemas para o corte de vegetais

Função	Categoria	Solução				
Receber energia	Luminosa	Fotocélulas	Sem			
	Elétrica	Cabos	Estação de carga	Sem		
	Mecânica	Empunhaduras	Cordonel retrátil	Sem		
	Química	Tanque de combustível	Sem			
Transformar energia	Luminosa em elétrica	Fotocélulas	Sem			
	Química em mecânica	Motor de combustão	Sem			
	Elétrica em química	Bateria	Sem			
	Química em elétrica	Bateria	Sem			
	Elétrica em mecânica	Motor elétrico	Sem			
	Mecânica em mecânica	Rodas dentadas cilíndricas	Rodas dentadas cônicas	Polias e alças	Discos de fricção	Sem
Armazenar energia		Tanque de combustível	Bateria	Sem		
Levantar vegetais (verticalizar)		Lâminas paralelas ao solo	Escovas	Sem		
Cortar vegetais	Impacto - movimento rotativo - eixo vertical	Lâminas rígidas	Lâminas pivotadas	Fios	Hastes flexíveis	Lâminas múltiplas rígidas
		Lâminas múltiplas pivotadas	Sem			
	Impacto - movimento rotativo - eixo horizontal	Lâminas rígidas	Lâminas pivotadas	Fios	Hastes flexíveis	Sem
	Impacto - movimento linear - eixo vertical	Alça com lâminas				
	Cisalhamento - movimento rotativo - eixo horizontal	Lâminas retas	Lâminas helicoidais	Sem		
	Cisalhamento - movimento alternativo - eixo vertical	Lâminas retas	Alça com lâminas	Lâminas recurvadas	Sem	
	Queima localizada	Resistência	Laser	Sem		
Picotar vegetais		Lâmina de múltiplo corte, eixo vertical	Sem			
Iniciar / interromper corte		Interruptor elétrico	Interruptor e freio magnético	Alavanca e embreagem	Sem	
Espaçar vegetais (aerar)		Escovas, eixo horizontal	Hastes pivotadas, eixo horizontal	Hastes rígidas, eixo horizontal	Sem	
Direcionar corte		Operador e empunhaduras	Operador e mecanismo	Operador e freios	Pelo corte, com roda	Pelo corte, com haste
		Pela borda, com roda	Pela borda, com haste	Eletrônico (sensores, cabos, programação)		
Transmitir peso		Operador e uma roda	Duas rodas	Três rodas	Quatro rodas	Trenó
		Alça e operador	Colchão de ar	Colchão de ar, alça e operador	Operador e mochila	
Tracionar		Operador	Rodas	Esteiras	Reboque	
Proteger operador		Carenagem	Proteção móvel	Sem		
Armazenar resíduos		Saco	Reservatório rígido	Sem		

5.5.3 Seleção da melhor solução pronta

Cada uma das soluções prontas identificadas na pesquisa apresenta vantagens e desvantagens. A máquina automática para o corte de grama (Husqvarna, 1998) elimina a necessidade de envolvimento humano, mas, exige condições como uniformidade do terreno e delimitação prévia da região de trabalho. A solução proposta por Tobias (1990) também depende da uniformidade do terreno. Seu ponto forte é a simplicidade mecânica do sistema, que possui poucas partes móveis. Também as soluções de Allen (1994) e Lee (1994) exigem terrenos regulares para adequado funcionamento. Embora não possa ser comparada a uma roçadeira convencional no aspecto adaptação a diferentes terrenos, a roçadeira projetada por Mihira (1988) é menos suscetível às irregularidades que as soluções da Husqvarna, de Tobias, de Allen e de Lee. A roçadeira de Mihira tem a desvantagem adicional de projetar resíduos. A roçadeira de Taniguchi (1989) soluciona o problema do lançamento de resíduos e possibilita o apoio de parte do peso da máquina no solo. Entretanto, a eficácia do sistema de corte por lâminas com sentidos de rotação contrários é questionável, especialmente para caules rígidos, galhos e pequenos troncos. De qualquer forma, a solução de Taniguchi é a mais próxima de solucionar os problemas do lançamento de resíduos e da sustentação do peso.

5.6 Tomada de decisão a respeito da solução para a função global (etapa 5)

Contatos para propostas de licenciamento das tecnologias ou aquisição dos direitos poderiam ser feitos para as soluções mais promissoras, dentre aquelas identificadas. Num trabalho com fins comerciais, esta alternativa poderia ser utilizada. No presente trabalho, isso não é feito, porque o objetivo não é comercial, mas, técnico - aplicar o modelo prescritivo proposto para a obtenção de novas e melhores soluções.

5.7 Análise da evolução e recursos (etapa 6)

5.7.1 Estudo da evolução do sistema

A análise da evolução dos sistemas técnicos com a finalidade de cortar vegetais pode

ser resumida através do mostrado na Tabela 33.

A primeira geração corresponde à solução existente na natureza, ou seja, o corte da vegetação por animais. Esse processo não é adequadamente controlável e seu uso controlável depende da disponibilidade de animais. A partir da necessidade de controlar a operação de corte de vegetais, surgiu a segunda geração de soluções para o problema, com as ferramentas manuais adequadas para o corte de vegetais (pedras lascadas, pedras polidas, machados, facas, foices e tesouras). A terceira geração de soluções surgiu a partir da necessidade de maior produtividade na operação de corte de vegetais. Nessa geração, foram introduzidos motores para acionar os elementos de corte e sistemas de controle relativamente simples. A quarta e atual geração corresponde a sistemas com elementos de controle operacional mais sofisticados, coleta, guia e, mais recentemente, sistemas totalmente automáticos (Husqvarna, 1998). A tecnologia dos sistemas automáticos existentes ainda não é, entretanto, suficientemente robusta. Esses sistemas servem somente para cortar vegetais em áreas previamente preparadas e são de pouca ou nenhuma utilidade em áreas com condições variáveis (terrenos acidentados, vegetação alta, muitas ervas daninhas). Assim, conclui-se que as principais necessidades relativas à próxima geração de sistemas automáticos para o corte de vegetais são maior adaptabilidade e robustez.

Atualmente, não existem sistemas automáticos para o trabalho nas condições ambientais em que as roçadeiras portáteis funcionam. Assim, pode-se afirmar que este sistema está atrasado em sua evolução, quando comparado ao estado da arte em sistemas para o corte de grama. O atraso se justifica pela maior dificuldade imposta pelo ambiente para a automatização da execução da função principal, no caso da roçadeira portátil.

Ainda como parte do estudo da evolução do sistema, foi preenchida nesta etapa a coluna "Possibilidades de solução identificadas" da Tabela 34, com algumas possibilidades de solução identificadas a partir dos padrões da evolução dos sistemas técnicos. Dentre as possibilidades assim identificadas, verificou-se que nenhuma solucionaria satisfatoriamente os problemas do lançamento de resíduos (problema 1) e da sustentação do peso pelo operador (problema 2).

Tabela 33 – Gerações dos sistemas técnicos para o corte de grama

	1ª Geração		2ª Geração		3ª Geração		Geração atual		Tendências
	Natureza	Estrutura	Necessidade	Possibilidade tecnológica	Necessidade	Possibilidade tecnológica	Necessidade	Possibilidade tecnológica	
Matéria	Animais alimentam-se da vegetação utilizam-na para construir abrigos		Limpeza para estética ou outros motivos (plântio, defesa, construção, etc.)	Vegetação, instrumentos manuais	Aumento da produtividade da operação	Vegetação, aparelhos motorizados	Automatização da operação de corte	Vegetação (somente rasteira), aparelho automático	↓ consumo de materiais, ↑ diversidade de materiais
Energia	Muscular, do próprio animal			Do homem ou animal		Motor elétrico ou de combustível interna		Motor elétrico ou de combustível interna	↓ consumo de energia, ↑ aproveitamento da energia, ↑ rendimento energético
Informação	Necessidade do animal (instinto)			Do homem (controle)		Do homem		Sistema automático de controle	↑ uso de informação (absoluto e em relação ao de energia e material)
Espaço	Formações naturais de vegetação			Vegetação		Vegetação		Gramados cultivados	↓ necessidade de espaço, ↑ número de dimensões, ↑ aproveitamento do espaço
Tempo	Variável conforme a localização e estação			Locais povoados ou estradas, durante o dia		Locais povoados ou estradas, durante o dia		Dia e noite	↑ aproveitamento do tempo
Ambiente	Ambiente natural			Animais		Energia elétrica gerada e química (combustíveis)		Redução da poluição, uso de energia solar e outras disponíveis	↑ preocupação com o ambiente
Envolvimento humano	Nenhum			Controle manual do processo		Controle manual do processo		Somente acompanhamento e manutenção	↓ necessidade de esforço físico necessário, ↑ tempo livre
Contradição	Controle da operação de corte	Inexistência da habilidade / característica natural no homem	Aumento da produtividade da operação de corte	Impossibilidade de executar a operação com maior rapidez	Automatização da operação de corte	Impossibilidade de automatização ou execução contínua da operação	Maior adaptabilidade, maior robustez	Complicação em terrenos acidentados e condições variáveis	
Motivo para a nova geração		Corte por motivos agrícolas, defensivos, estéticos	Desenvolvimento de motores e outros sistemas			Desenvolvimento de sensores e controladores		Melhores motores, movimentação, sustentação, sensores e controles	

5.7.2 Formulação do RFI-A

A partir dos dois principais problemas identificados (lançamento de resíduos e sustentação do peso pelo operador - e da análise da evolução dos sistemas para o corte de vegetais (Tabela 33), foram formulados os RFI-As:

- 1 Cortar vegetais em qualquer terreno, sem o lançamento de resíduos e sem complicação do sistema.
- 2 Cortar vegetais em qualquer terreno, sem esforço por parte do operador e sem complicação do sistema.

Tabela 34 – Possibilidades de solução e princípios de funcionamento identificados para os problemas a partir dos padrões da evolução dos sistemas técnicos

Padrão da evolução	Possibilidades de solução identificadas	Princípios de funcionamento identificados
Completeza das partes	Transmissão do peso ao solo.	Rodas para o suporte da roçadeira no solo.
Capacidade de condução de energia	Nenhuma (já ocorre adequada transmissão de energia entre subsistemas da roçadeira).	Nenhum.
Sincronização dos ritmos do sistema	Nenhuma.	Nenhum.
Infinidade do desenvolvimento técnico	Diversas inovações e melhorias podem ser introduzidas no sistema, especialmente para a execução das funções transformar energia, cortar vegetais e aspectos relacionados a segurança e ergonomia.	Motor de combustão interna rotativo; Rodas para o suporte da roçadeira no solo; Controle eletrônico do motor.
Aumento da idealidade	O sistema está longe do ideal. A utilização de recursos prontamente disponíveis ou derivados pode tornar o sistema mais próximo do ideal.	Nenhum.
Desenvolvimento desigual das partes	Alguns subsistemas estão pouco evoluídos em relação a outros, especialmente os relativos a sustentação, segurança e ergonomia.	Rodas para o suporte da roçadeira no solo.
Transição para o supersistema	A transição do sistema para o supersistema é possível, através da integração com outros sistemas para finalidades similares: motosserra, cortadores de grama etc.	Acoplamento a outros sistemas.
Simplificação	Nenhuma.	Nenhum.
Transição de macro para microsistemas	Tendência para a função corte de vegetais.	Corte por meios químicos; Corte por resistência elétrica; Corte por <i>laser</i> ; Corte por jato d'água.
Automatização	Tendência para os sistemas de corte de vegetais.	Sustentação adaptável a irregularidades do terreno; Direção automática; Tração automática.
Aumento da participação de C-S	Tendência para os sistemas de corte de vegetais e proteção.	Lâminas articuladas; Barreira formada por vegetais cortados, atraídos eletrostaticamente.

5.7.3 Estimativa do nível de dificuldade (nível de inovação necessário)

Estima-se que o nível de inovação necessário, tanto para a solução do problema 1 como do problema 2, é o nível 3, de acordo com a classificação proposta por Altshuller (1969) e mostrada na Tabela 12. Isso significa que são necessárias melhorias fundamentais no sistema existente, que solucionem as contradições por meio de métodos conhecidos fora da indústria de origem do sistema (a indústria de origem é a de equipamento agrícola e de jardinagem).

5.7.4 Levantamento de recursos do sistema e do ambiente

A partir da análise para a identificação de recursos disponíveis no próprio sistema atual e em suas cercanias, chegou-se aos elementos listados na segunda coluna da Tabela 35.

Na Tabela 35, além da identificação de elementos potencialmente úteis para a obtenção de soluções, foram listadas algumas possibilidades de solução para cada categoria de recurso identificada, na terceira coluna da matriz. Algumas das possibilidades assim identificadas já haviam sido encontradas no levantamento de soluções existentes. Outras são novas e conduziram a princípios de funcionamento que serão utilizados na etapa de geração de concepções (ver item 5.8.2).

5.8 Busca por princípios de funcionamento (etapa 7)

5.8.1 Utilização dos padrões da evolução

Através de analogias a partir dos padrões da evolução dos sistemas técnicos, foram buscados princípios de funcionamento para subfunções do sistema de corte de vegetais. Os padrões inspiraram os princípios de funcionamento mostrados na coluna direita da Tabela 34. Não se chegou a nenhum princípio de funcionamento considerado interessante, nesta etapa.

Tabela 35 - Possibilidades de solução e princípios de funcionamento identificados a partir de recursos do sistema e cercanias

Tipo de recurso	Recurso identificado no sistema	Possibilidades de solução identificadas	Princípios de funcionamento identificados
Substância	Vegetação, ramos, pedras, terra, ar, umidade, óleo, gasolina, madeira, motor, poeira, vegetais cortados, carenagem, lâmina, cubo, gases de escape, suor do operador.	Usar vegetais cortados como barreira para resíduos; Usar vegetais não cortados como barreira para resíduos; Usar gases de escape como barreira para resíduos; Usar carenagem como barreira para resíduos.	Carenagem direciona resíduos para região não cortada; Ar ou gases de escape desviando vegetais cortados; Gases de escape voltados para o solo e a lâmina; Carenagem tradicional.
Energia	Calor do ambiente, energia solar, energia cinética dos resíduos, energia química do combustível, energia térmica dos gases de escape, pressão e velocidade dos gases de escape, energia térmica do ar, energia cinética do ar, energia cinética da lâmina, energia muscular do operador, energia térmica do operador.	Usar pressão e velocidade dos gases de escape como barreira para resíduos; Usar energia cinética da lâmina como barreira para resíduos; Usar pressão e velocidade dos gases de escape para gerar sustentação; Usar energia cinética da lâmina para gerar sustentação.	Difusor dos gases de escape próximo à lâmina; Gases de escape direcionados para o solo; Lâmina com defletores, direcionando ar para o solo.
Espaço	Espaço entre, sob ou sobre as lâminas, espaço sob ou sobre a carenagem, espaço ao redor do aparelho, espaço ocupado pelas lâminas não em operação de corte.	Usar lâminas em sentido contrário no espaço entre, sob ou sobre as lâminas, para barrar as pedras.	Duas lâminas girando em sentidos contrários.
Campo	Gravitacional, centrífugo, elétrico (ddp entre dois pontos de diferentes alturas), magnético, pressão do vento, térmico (motor), magnético (terrestre).	Usar a gravidade para barrar pedras; Usar a força centrífuga para barrar pedras.	Lâminas com geometria especial, defletindo resíduos para baixo.
Tempo	Tempo de inação do aparelho, tempo de inação da lâmina, tempo entre um impacto da lâmina e outro.	Usar o tempo entre um impacto da lâmina e outro para barrar pedras.	Nenhum.
Informação	Liga/desliga, aceleração, frenagem, direcionamento.	Nenhuma.	Nenhum.
Função	Coleta de vegetais, acúmulo de vegetais, fertilização do solo, aplicação de fungicida, sustentação do aparelho.	Aplicação de fungicida; Prover sustentação do aparelho.	Lâmina aplicadora de fungicida; Fungicida aplicado pelos gases; Sustentação via gases de escape ou lâmina.

5.8.2 Utilização de recursos do sistema e do ambiente

Da mesma forma que para os padrões da evolução, também se procurou obter princípios de funcionamento a partir de recursos do sistema e do ambiente. Os princípios de funcionamento obtidos estão listados na coluna direita da Tabela 35.

Alguns deles poderão vir a ser úteis, como:

- o uso dos gases de escapamento para defletir os resíduos na direção do solo e, conseqüentemente, reduzir a trajetória original dos mesmos;
- o uso dos gases de escapamento para prover parte da força para o suporte da roçadeira;

- a configuração das lâminas de modo que as mesmas gerem parte da força para o suporte da roçadeira;
- a agregação de uma função adicional à roçadeira, como a aplicação de fungicida nos vegetais cortados, por exemplo.

5.8.3 Utilização de métodos intuitivos

Nesta etapa, novamente, foram utilizados métodos intuitivos para a geração de princípios de funcionamento. A seguir são apresentadas os dois considerados mais interessantes:

- proteção giratória: uma barreira protetiva gira no mesmo sentido e com a mesma velocidade que a lâmina da roçadeira, mas, com uma defasagem angular em relação à mesma. O resíduo lançado pela lâmina seria, logo em seguida, interceptado pela barreira protetiva.
- carenagem invertida e anteparo: a carenagem convencional de uma roçadeira evita - ao menos parcialmente - o direcionamento de resíduos para o operador. A carenagem invertida, ao contrário, direcionaria os resíduos para operador, que trajaria uma veste especial com um anteparo.

5.9 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 8)

Considerou-se que, até a presente etapa, não foram encontrados princípios de funcionamento de qualidade suficiente para o atingimento dos RFIs definidos e o atendimento adequado das necessidades dos clientes. Assim, decidiu-se prosseguir com a geração de idéias.

5.10 Definição da metodologia inventiva (etapa 12)

Para posterior análise e obtenção de conclusões, pretende-se utilizar tanto o método SIT como métodos da TRIZ para tentar gerar princípios de funcionamento de melhor qualidade que os até agora obtidos. Inicialmente, foi utilizado o método SIT.

5.11 Reformulação dos problemas (etapa 13)

5.11.1 Reformulação do sistema dado

Para a reformulação do sistema, inicialmente foram levantados os objetos do sistema, os objetos adjacentes ao sistema e as características da situação problemática, conforme mostrado na Tabela 36.

Tabela 36 - Levantamento de elementos para a reformulação do sistema

Tipo de elemento	Elemento identificado (problema do lançamento de resíduos)	Elemento identificado (problema da sustentação do peso)
Elementos do sistema	Óleo, gasolina, tanque, haste, alças, manoplas, controles, motor, embreagem, gases de escape, eixo, carenagem, cubo, lâmina.	Óleo, gasolina, tanque, haste, alças, manoplas, controles, motor, embreagem, gases de escape, eixo, carenagem, cubo, lâmina.
Elementos adjacentes ao sistema	Vegetais, ramos, terra, pedras, poeira, ar, umidade, resíduos, operador.	Vegetais, ramos, terra, pedras, poeira, ar, umidade, resíduos, operador.
Características do problema	Velocidade periférica da lâmina, rotação da lâmina, massa dos resíduos, resistência mecânica dos resíduos, dureza dos resíduos, massa da lâmina, energia recebida pelos resíduos, rigidez da lâmina.	Peso da roçadeira, tempo de operação, esforço muscular do operador, fadiga do operador.
Relações indesejadas entre características do problema	Relação entre a velocidade periférica da lâmina e a energia recebida pelos resíduos.	Relação entre o peso da roçadeira e o esforço muscular do operador.

As relações que deverão ser modificadas (condições QC) são a entre a velocidade periférica da lâmina e a energia recebida pelos resíduos e a entre o peso da roçadeira e o esforço muscular do operador. Os problemas foram reformulados como:

- 1 encontrar uma solução na qual a relação entre a velocidade periférica da lâmina e a energia recebida pelos resíduos torne-se decrescente ou inexistente, sendo que a solução somente envolverá elementos do sistema ou de suas adjacências;
- 2 encontrar uma solução na qual a relação entre o peso da roçadeira e o esforço muscular do operador torne-se decrescente ou inexistente, sendo que a solução somente envolverá elementos do sistema ou de suas adjacências.

5.11.2 Seleção da estratégia de solução

Para os dois problemas, o estado final necessário pôde ser deduzido diretamente da condição QC. Assim, como mostrado na Figura 35, a estratégia de extensão pode ser utilizada.

5.12 Solução dos problemas (etapa 14)

5.12.1 Estratégia de extensão - uso da técnica de unificação

O uso da técnica de unificação para buscar princípios de solução para os problemas 1 e 2 é mostrado na Tabela 37.

Tabela 37 – Uso da técnica de unificação

Elemento que realizará a operação	Modificação necessária	Princípios de funcionamento
Gases de escape	Condução dos gases até a região de operação.	Sustentação a partir dos gases de escape.
Carenagem	Configuração adequada para direcionar gases. Configuração da carenagem com rodas ou apoios.	Carenagem em forma de difusor. Carenagem com rodas. Carenagem com apoios.
Cubo	Alteração da geometria para transmissão do peso.	Cubo com forma hemisférica, para apoio no solo.
Lâmina	Alteração da geometria para produzir sustentação.	Lâminas produzindo sustentação.

5.12.2 Estratégia de extensão - uso da técnica de multiplicação

Procurou-se utilizar a técnica de multiplicação para solucionar os problemas 1 e 2., tendo sido imaginado um único princípio de funcionamento com o uso desta técnica: duas lâminas girando em sentidos opostos. O princípio obtido já é utilizado numa das soluções encontradas na pesquisa de soluções existentes (item 5.5.1).

5.13 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 15)

Conseguiu-se gerar poucos princípios de funcionamento com a utilização da metodologia SIT. Além disso, nem todos os princípios gerados foram considerados promissores no sentido da solução dos problemas de sustentação do peso e lançamento de resíduos. Somente foi considerada potencialmente útil a idéia do cubo hemisférico, que permitiria ao operador apoiar a roçadeira no solo, especialmente no decorrer do corte de vegetais em áreas pouco acidentadas (gramados, por exemplo). A seguir, prossegue-se com a geração de princípios de funcionamento através de

métodos da TRIZ.

5.14 Análise das contradições técnicas (etapa 16)

5.14.1 Formulação do RFI-B

O resultado final ideal B (RFI-B) foi formulado para cada um dos problemas:

- 1 Cortar vegetais sem projetar os mesmos e sem complicação do sistema.
- 2 Sustentar o sistema na posição de trabalho sem esforço por parte do operador e sem complicação do sistema.

5.14.2 Identificação de requisitos contraditórios

Os requisitos contraditórios considerados relevantes são:

- para o problema do lançamento de resíduos: grande energia é necessária para o corte do vegetal, a qual passa a ser desnecessária – e indesejada – para o lançamento de resíduos;
- para o problema da sustentação de peso: para simplificar a operação e facilitar o deslocamento, a roçadeira deve ser carregada pelo operador. Com isso, o peso acaba por fatigar o operador.

5.15 Solução das contradições técnicas (etapa 17)

Para o problema do lançamento de resíduos, foram identificados os parâmetros de engenharia contraditórios nº 15 - duração da ação do objeto em movimento e nº 12 - forma. Estes parâmetros foram escolhidos porque se pretende reduzir ao máximo o tempo da ação indesejada e a solução convencional para isso é o aumento do tamanho e complexidade da carenagem. Os princípios inventivos, possibilidades de solução e princípios de funcionamento resultantes são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Uso dos princípios inventivos para o problema do lançamento de resíduos

Parâmetros de engenharia contraditórios		Princípios inventivos	Possibilidades de solução	Princípios de funcionamento
Parâmetro a ser melhorado	Parâmetro degradado			
nº 15 - Duração da ação do objeto em movimento	nº 12 - Forma	nº 14 - Recurvação	Recurvação da carenagem. Recurvação das lâminas.	Carenagem arredondada nas bordas, como nas máquinas cortadoras e picotadoras de grama. Lâminas alternativas recurvadas.
		nº 26 - Cópia	Nenhuma.	Nenhum.
		nº 28 - Substituição de meios mecânicos	Uso de outros princípios de corte, não mecânicos; Uso de barreiras de proteção não mecânicas.	Corte por resistência Corte por laser "Carenagem" eletrostática
		nº 25 - Auto-serviço	Uso da própria lâmina, seu movimento, resíduos ou outros elementos disponíveis.	Uso de resíduos para bloquear resíduos; Uso dos gases de escape.

O conflito entre parâmetros de engenharia considerado para o problema da sustentação de peso foi entre os parâmetros nº 1 - peso do objeto em movimento e nº 9 - velocidade. A escolha destes parâmetros deveu-se à redução indesejada da velocidade de execução do trabalho que ocorre com a solução convencional para a sustentação de peso (uso de rodas ou outros tipos de apoio). Os resultados obtidos a partir do uso destes parâmetros são mostrados na Tabela 39.

Tabela 39 - Uso dos princípios inventivos para o problema da sustentação do peso

Parâmetros de engenharia contraditórios		Princípios inventivos retirados da matriz de contradições	Possibilidades de solução	Princípios de funcionamento
Parâmetro a ser melhorado	Parâmetro degradado			
nº 1 - Peso do objeto em movimento	nº 9 - Velocidade	nº 2 - Extração	Remover o peso suportado pelo operador (ou parte dele).	Carrinho para suportar o motor (como num aspirador de pó); Haste para suportar o motor, ligada à perna do operador.
		nº 8 - Contrapeso	Compensar o peso suportado pelo operador (ou parte dele).	Lâminas com defletores; Lâminas com perfil aerodinâmico; Balão para sustentação.
		nº 15 - Dinamização	Nenhuma.	Mochila para suportar o motor; Carrinho para suportar o motor (como num aspirador de pó).
		nº 38 - Uso de oxidantes fortes	Nenhuma.	Nenhum.

Além daqueles sugeridos pela matriz de contradições, também se procurou utilizar outros princípios inventivos, que inspiraram as soluções mostradas na Tabela 40.

Tabela 40 – Uso de princípios inventivos não indicados pela matriz de contradições

Princípios inventivos	Possibilidades de solução (problema do lançamento de resíduos)	Possibilidades de solução (problema da sustentação)	Princípios de funcionamento
nº 1 - Segmentação ou fragmentação	Segmentar a carenagem	Modularizar a roçadeira; Separar subsistemas pesados.	Carenagem segmentada; Mochila para o motor; Carrinho para o motor.
nº 4 - Assimetria	Carenagem assimétrica	Nenhuma.	Carenagem assimétrica (maior na região de lançamento de resíduos).
nº 5 - Junção, mistura ou combinação	Lâminas similares às de um cortador picotador de grama	Nenhuma.	Lâminas cortadoras e picotadoras.
nº 15 - Dinamização	Tornar a lâmina segmentada; Tornar a lâmina flexível	Ver Tabela 39.	Lâmina pivotada; "Lâmina" de correntes com sabre, similar às utilizadas em motosserras..
nº 17 - Aumento do número de dimensões	Lâminas com mobilidade no sentido vertical	Nenhuma.	Lâminas pivotadas no plano horizontal.
nº 18 - Vibração	Utilizar ultrassom para cortar vegetais	Nenhuma.	Lâminas com vibração ultrasônica.
nº 19 - Ação periódica	Utilizar proteção móvel numa frequência coerente com a da lâmina	Nenhuma.	Proteção móvel.
nº 29 - Uso de pneumática e hidráulica	Jato d'água para o corte	Usar um balão para contrabalançar o peso da roçadeira	Corte com jatos d'água a alta pressão; Balão como contrapeso.
nº 35 - Mudança de parâmetros e propriedades	Corte por corrente com sabres ou outro tipo de lâmina segmentada Jato d'água para o corte	Nenhuma.	Corte com jatos d'água a alta pressão.

5.16 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 18)

Com uso do método dos princípios inventivos foram gerados alguns princípios de funcionamento considerados interessantes, como:

- a sustentação do peso da roçadeira por uma haste fixada à perna do operador e em contato com o solo;
- o uso de resíduos como barreira aos próprios resíduos;
- o uso de gases do escapamento para deflexão dos resíduos e/ou como meio de transporte dos resíduos que formarão a barreira;
- o uso de um balão para sustentar parte do peso da roçadeira (limitado a áreas

pouco arborizadas);

- o uso de lâminas pivotadas no plano horizontal, as quais tenderiam a fornecer menos energia aos resíduos e perder a afiação mais lentamente;
- o uso de lâminas alternativas recurvadas, de modo a evitar o recuo causado pela tentativa de corte com lâminas alternativas retas.

Ainda assim, considerou-se interessante prosseguir rumo às etapas 19 e 20 do modelo, nas quais é feita a aplicação de métodos voltados para a análise e a solução de contradições físicas, também com vistas à obtenção de princípios de funcionamento adequados.

5.17 Análise das contradições físicas (etapa 19)

5.17.1 Formulação do RFI-C

O resultado final ideal C para o problema do lançamento de resíduos foi definido como: os vegetais devem receber somente energia suficiente para o corte e nenhuma energia extra que projete os resíduos, sem que ocorra complicação do sistema.

O RFI-C definido para o problema da sustentação do peso é: a roçadeira deve ter, apenas, o peso suficiente para garantir execução da tarefa (massa necessária para não transmitir diretamente choques ao operador), sem complicação do sistema.

5.17.2 Criação de modelos C-S dos problemas

Para representar o problema do lançamento de resíduos, dois modelos C-S foram criados (Figura 40). No modelo da esquerda, o campo F1, correspondente à energia cinética, atua (seta de F1 para S2) sobre a substância S2 (lâmina), que interage de forma desejável (seta contínua de S2 para S1) com o vegetal, cortando-o. No modelo da direita, a lâmina interage de forma indesejada (seta ondulada de S2 para S1) com o resíduo. O modelo da direita é muito similar ao da esquerda e representa que a interação entre S2 e S1 é, praticamente ao mesmo tempo, útil (para que o corte do vegetal ocorra) e indesejada (o lançamento de resíduos).

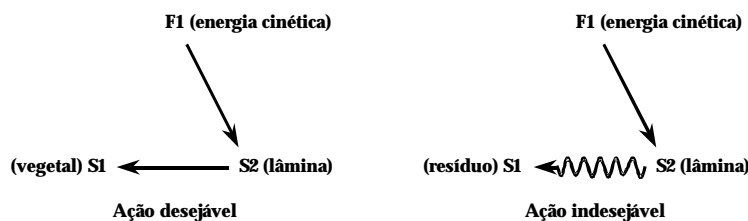


Figura 40 - Modelos C-S para o problema do lançamento de resíduos

Na Figura 41, é mostrado o modelo C-S que representa o problema da sustentação do peso da roçadeira. O campo F1 (gravidade) atua sobre S2 (roçadeira) e sobre S1 (operador). A interação que ocorre entre as duas substâncias é indesejada, porque produz o cansaço e fadiga do operador.

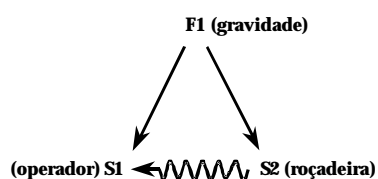


Figura 41 - Modelo C-S para o problema da sustentação do peso

5.17.3 Estabelecimento das contradições físicas

A contradição física (contradição em termos de requisitos contraditórios referentes a um mesmo elemento do sistema) para o problema do lançamento de resíduos foi formulada como: a lâmina deve lançar e não lançar resíduos.

Para o problema da sustentação do peso, a contradição física é: o peso deve ser sustentado pelo operador e não deve ser sustentado pelo operador.

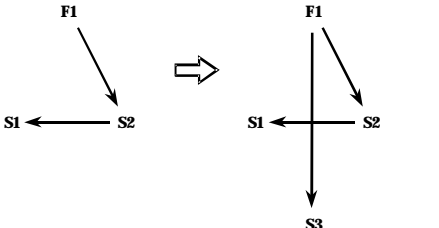
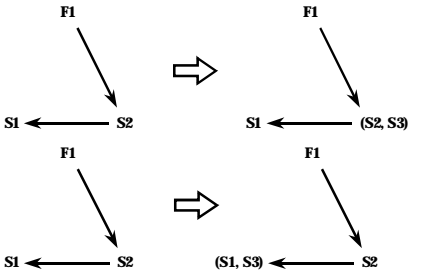
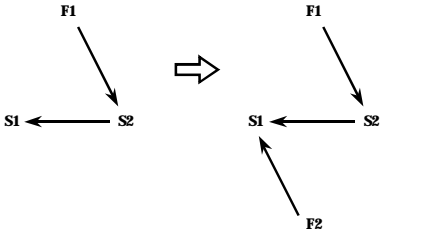
5.18 Solução das contradições físicas (etapa 20)

5.18.1 Uso das soluções padrão para C-S

Na Tabela 41, são mostradas as soluções padrão sugeridas para os problemas do lançamento de resíduos e sustentação do peso com seus respectivos significados, as

possibilidades de solução e os princípios de funcionamento identificados. Nenhum princípio de funcionamento novo ou útil foi obtido.

Tabela 41 - Soluções padrão para os problemas identificados

Solução padrão sugerida (conforme Altshuller et al., 1979)	Possibilidades de solução (lançamento de resíduos)	Possibilidades de solução (sustentação do peso)	Princípios de funcionamento
 <p>S.P. 1.2.1 - Remoção de uma interação indesejada pela adição de uma nova substância: se interações desejadas e indesejadas ocorrem entre substâncias no C-S, as quais não precisam estar em contato direto, o problema pode ser solucionado pela adição de uma nova substância (disponível em abundância e sem custo ou barata).</p>	<p>Nenhuma, pois S2 (lâmina) e S1 (vegetal) necessitam estar em contato direto para que ocorra o corte.</p>	<p>Inclusão de uma substância adicional entre a roçadeira e o operador</p>	<p>Haste para suportar o motor, ligada à perna do operador; Mochila para suportar o motor; Carrinho para suportar o motor (como num aspirador de pó).</p>
 <p>S.P. 1.2.2 - Remoção de uma interação indesejada pela modificação de substâncias existentes: se interações desejadas e indesejadas ocorrem entre substâncias no C-S, as quais não precisam estar em contato direto, o problema pode ser solucionado pela adição de uma terceira substância, resultado da modificação de uma das substâncias originais ou das duas.</p>	<p>Nenhuma (S2 e S1 necessitam estar em contato direto).</p>	<p>Modificar a estrutura da roçadeira para transmitir o peso ao solo. Modificar a estrutura do operador para a transmissão do peso ao solo.</p>	<p>Usar rodas; Usar pés para transmitir o peso ao solo; Usar carrinho central para transmitir o peso ao solo; Exoesqueleto para o operador, suportando o peso da roçadeira.</p>
 <p>S. P. 1.2.4 - Remoção de uma interação indesejada pela adição de um novo campo: se interações desejadas e indesejadas ocorrem entre substâncias no C-S, as quais precisam estar em contato direto, o problema pode ser solucionado pela transição para um C-S duplo, no qual o campo disponível F2 compensa o efeito indesejado.</p>	<p>Usar pressão e velocidade dos gases de escape. Usar energia cinética das lâminas.</p>	<p>Usar pressão e velocidade dos gases de escape. Usar energia cinética das lâminas.</p>	<p>Produção de força de sustentação com gases de escape; Produção de força de sustentação por defletores nas lâminas; Deflexão de resíduos com gases de escape;</p>

5.18.2 Utilização dos princípios de separação

Os princípios de separação foram utilizados para buscar soluções que atendessem aos requisitos conflitantes para cada problema, identificados no item 5.17.3. Na Tabela 42, são apresentados os princípios de separação, as possibilidades de solução para cada problema e os princípios de funcionamento encontrados. Com o uso dos princípios de separação, não foram encontrados princípios de funcionamento originais em relação àqueles previamente obtidos.

Tabela 42 - Princípios de separação, possibilidades de solução e princípios de funcionamento encontrados para os problemas de lançamento de resíduos e sustentação do peso

Princípio de separação	Possibilidades de solução (lançamento de resíduos)	Possibilidades de solução (sustentação do peso)	Princípios de funcionamento
Separação no espaço	A lâmina deve lançar mais resíduos num local e menos em outro.	O peso deve ser mais sustentado num local e menos em outro.	Uso de sistemas protetivos, como carenagem, proteção giratória defasada da lâmina, etc.) Uso de elementos de sustentação (mochila, roda, carrinho, cubo hemisférico, balão, etc.).
	A lâmina deve lançar resíduos num local e não lançar em outro.	O peso deve ser sustentado num local e não sustentado em outro.	Haste para suportar o motor, ligada à perna do operador.
Separação no tempo	A lâmina deve lançar mais resíduos num momento e menos em outro.	O peso deve ser mais sustentado num momento e menos em outro.	Nenhum.
	A lâmina deve lançar resíduos num momento e não em outro.	O peso deve ser sustentado num momento e não em outro.	Haste para suportar o motor, ligada à perna do operador.
Separação entre as partes e o todo	A lâmina deve lançar mais resíduos em subsistemas e menos no sistema.	O peso deve ser mais sustentado em subsistemas e menos no sistema.	Nenhum.
	A lâmina deve lançar resíduos em subsistemas e não no sistema.	O peso deve ser sustentado em subsistemas e não no sistema.	Uso de sistemas protetivos, como carenagem, proteção giratória defasada da lâmina, etc.); Haste para suportar o motor, ligada à perna do operador.
Separação conforme a condição	A lâmina deve lançar mais resíduos sob uma condição e menos sob outra.	O peso deve ser mais sustentado sob uma condição e menos sob outra.	Nenhum.
	A lâmina deve lançar resíduos sob uma condição e não sob outra.	O peso deve ser sustentado sob uma condição e não sob outra.	Haste para suportar o motor, ligada à perna do operador.

5.19 Decisão com relação à suficiência de princípios de funcionamento (etapa 21)

Considerou-se a quantidade e a qualidade de princípios de funcionamento obtidos até a etapa 20 suficiente. Assim, não foi considerada necessária a aplicação do

Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas (etapa 22).

5.20 Geração de concepções (etapa 9)

5.20.1 Construção de uma matriz morfológica

A matriz morfológica obtida é mostrada na Tabela 43. Esta matriz foi gerada a partir daquela mostrada na Tabela 32 (matriz com as soluções existentes para subfunções correspondentes a roçadeiras e a outros sistemas para o corte de vegetais) e dos princípios de funcionamento encontrados durante a execução das etapas 1 a 20 do modelo.

Comparando as matrizes da Tabela 43 e da Tabela 32, percebe-se que a primeira contém uma menor quantidade de subfunções e princípios de funcionamento. As subfunções levantar vegetais, aspirar resíduos, armazenar resíduos e proteger vegetais foram removidas, por não serem coerentes com as necessidades dos clientes e requisitos de projeto e/ou não representarem inovações com grande potencial de agradar a clientela do produto.

5.20.2 Seleção de princípios de funcionamento

Analisou-se cada princípio de funcionamento (os princípios listados na Tabela 32 e os obtidos no decorrer das etapas 1 a 20) em termos de viabilidade técnica e econômica. Vários destes princípios foram considerados de difícil ou impossível implementação e descartados. Como exemplo, pode-se citar a utilização de motor elétrico (que dificultaria grandemente a mobilidade do operador), de transmissão por discos de fricção, de corte por jato d'água, resistência ou ultrassom. Outros princípios são viáveis ou parcialmente viáveis, mas, não introduzem inovações no produto, no sentido de solucionar os dois principais problemas identificados nas roçadeiras atuais. Estes princípios são, por exemplo, as lâminas pivotadas (que, na rotação de corte, acabariam por comportar-se como lâminas rígidas), hastes e fios (que desgastam-se rapidamente e obrigam a paradas freqüentes para troca ou manutenção), rodas para sustentação (que não funcionariam em regiões com arbustos, solo irregular e/ou pedras) e outros. Na matriz morfológica da Tabela 43

são apresentados os princípios de funcionamento considerados mais promissores no sentido de obter concepções de roçadeiras que não projetem resíduos e não sobrecarreguem o operador com a sustentação contínua de seu peso durante a operação.

Tabela 43 - Matriz morfológica para a roçadeira portátil

Função	Categoria	Solução				
Receber energia	Química	Tanque de combustível				
	Mecânica	Empunhaduras				
Transformar energia	Química em mecânica	Motor de combustão interna				
	Mecânica em mecânica	Rodas dentadas cônicas				
Armazenar energia	Armazenar energia	Tanque de combustível				
Cortar vegetais	Impacto – movimento rotativo – eixo vertical	Lâminas múltiplas rígidas	Lâminas pivotadas no plano horizontal	Sem		
	Cisalhamento – movimento alternativo – eixo vertical	Lâminas recurvadas	Sem			
Iniciar / interromper corte		Alavanca e embreagem	Sem			
Direcionar corte		Operador e empunhaduras				
Transmitir peso		Operador, alça e empunhaduras	Operador, alça e empunhaduras e cubo hemisférico	Operador, alça e empunhaduras, cubo hemisférico e haste fixada à perna	Operador e carrinho central (entre lâminas)	Operador, alça e empunhaduras e gases de escape
Tracionar		Operador	Carrinho central (entre lâminas)			
Proteger operador		Carenagem convencional	Carenagem segmentada	Gases de escape	Gases de escape e resíduos	
		Sem				

5.21 Geração de concepções (etapa 9)

As concepções obtidas a partir da matriz morfológica (Tabela 43) são mostradas na Tabela 44.

Tabela 44 - Concepções geradas

Função	Categoria	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3	Concepção 4
Receber energia	Química	Tanque de combustível	Tanque de combustível	Tanque de combustível	Tanque de combustível
	Mecânica	Empunhaduras	Empunhaduras	Empunhaduras	Empunhaduras
Transformar energia	Química em mecânica	MCI	MCI	MCI	MCI
	Mecânica em mecânica	Rodas dentadas cônicas	Rodas dentadas cônicas	Rodas dentadas cônicas	Rodas dentadas cônicas
Armazenar energia		Tanque de combustível	Tanque de combustível	Tanque de combustível	Tanque de combustível
Cortar vegetais	Impacto – movimento rotativo – eixo vertical	Lâminas múltiplas rígidas	Lâminas pivotadas no plano horizontal	Lâminas pivotadas no plano horizontal	
	Cisalhamento – movimento alternativo – eixo vertical				Lâminas recurvadas
Iniciar / interromper corte		Alavanca e embreagem	Alavanca e embreagem	Alavanca e embreagem	Alavanca e embreagem
Direcionar corte		Operador e empunhaduras	Operador e empunhaduras	Operador e empunhaduras	Operador e empunhaduras
Transmitir peso		Operador, alça e empunhaduras	Operador, alça e empunhaduras, cubo hemisférico e haste fixada à perna	Operador, alça e empunhaduras e gases de escape	Operador, alça e empunhaduras e cubo hemisférico
Tracionar		Operador	Operador	Operador	Operador
Proteger operador		Carenagem convencional	Gases de escape e resíduos	Gases de escape	Sem

A concepção 1 corresponde à roçadeira lateral convencional, mostrada na Figura 42.



Figura 42 - Concepção 1 - Roçadeira lateral convencional

A concepção 2 é mostrada na Figura 43. O que diferencia esta concepção das demais são a haste para suporte e o uso dos resíduos e gases de escape para defletir os resíduos lançados pelas lâminas. A haste para suporte deve ser projetada de forma a ter rigidez no eixo vertical e flexibilidade no plano horizontal, para adequado suporte do peso da roçadeira sem prejuízo à movimentação do operador. O suporte do peso da máquina é feito através da haste durante a maior parte do tempo de utilização (com o pé apoiado no solo) e pelo corpo do operador, com auxílio da alça, durante os períodos de movimentação. Através do uso da energia dos gases de escape e do efeito venturi, parte dos resíduos do corte realizado pelas lâminas será sugada através de aberturas na parte inferior traseira da proteção e transportada até a região frontal da proteção através de dutos. Esses resíduos serão lançados sobre a região que está sendo cortada, num ângulo tal que cause a deflexão da parte dos resíduos que normalmente seria lançada para longe da roçadeira na direção do solo. Como formas adicionais de suporte da roçadeira e aumento da segurança, são previstos um cubo hemisférico entre as lâminas, para permitir o apoio ocasional da roçadeira no solo e lâminas pivotadas no plano horizontal, as quais tendem a fornecer menos energia mecânica aos resíduos.



Figura 43 - Concepção 2

Na Figura 44, é apresentada a concepção 3. Essa concepção é uma versão simplificada da concepção 2, sendo a proteção do operador feita somente pela ação dos gases de escape defletindo os resíduos na direção do solo. Os gases de escape também produzem parte da sustentação do aparelho.



Figura 44 - Concepção 3

Na Figura 45, é apresentada a concepção 4, que diferencia-se das demais no tipo de lâminas utilizadas. Como na concepção de Taniguchi (1989), mostrada no item 5.5.1, são utilizadas duas lâminas sobrepostas e com rotação em sentidos contrários. Como o princípio de corte é o cisalhamento, essa concepção tende a não projetar resíduos. A configuração recurvada das lâminas serve para evitar que galhos e caules não tendam a escapar das lâminas, em vez de serem cortados. A sustentação é provida pelo próprio operador e por um cubo hemisférico entre as lâminas.

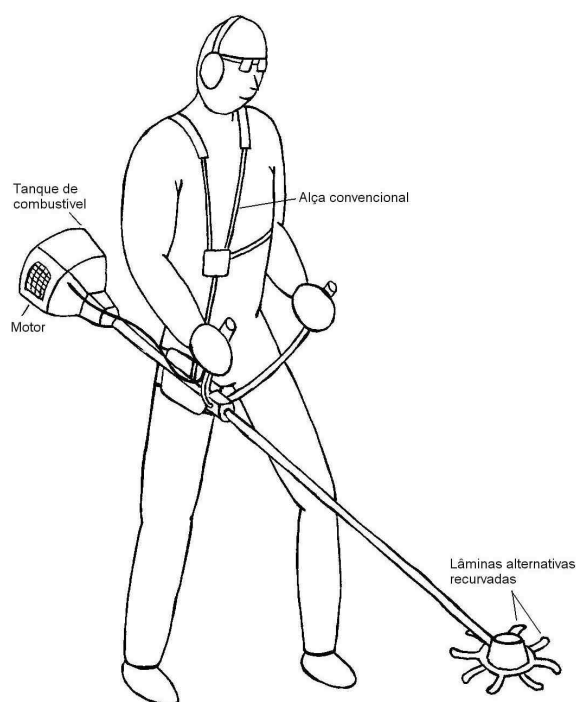


Figura 15 - Concepção 4

5.22 Discussão

No presente Capítulo, foi apresentada uma aplicação do modelo proposto (Capítulo 4) ao planejamento do produto e projeto conceitual de uma roçadeira lateral. Todas as etapas do modelo foram utilizadas, exceto a 22ª - aplicação do ARIZ, porque foi considerado necessário utilizá-la no caso estudado.

No decorrer da aplicação do modelo, foram percebidas algumas oportunidades para o aperfeiçoamento do modelo, as quais serão abordadas no próximo Capítulo, em que se tratará das conclusões e recomendações. Conclusões e recomendações

6 Conclusões e recomendações

"Enquanto trabalho num problema, nunca penso em beleza. Penso, apenas, em como resolver o problema. Mas, ao término, se a solução não é bela, sei que está errada.

Buckminster Fuller

6.1 Introdução

Uma vez finalizada a aplicação do modelo, faz-se, agora uma análise global do trabalho. Nesta análise, é verificado o cumprimento dos objetivos inicialmente propostos, é feita uma revisão do que foi executado e dos resultados obtidos e são derivadas algumas conclusões e recomendações.

6.2 Objetivos propostos

Os objetivos deste trabalho foram:

- levantar o estado da arte no que se refere à compreensão da criatividade e dos MSCP;
- propor um modelo para o suporte à solução criativa de problemas nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produto (planejamento de produto e projeto conceitual);
- executar um estudo de caso, como primeiro passo na direção da validação do modelo proposto;
- derivar conclusões e propor melhorias a partir dos resultados obtidos.

6.3 Resultados obtidos e conclusões

Ao observar o trabalho como um todo, percebe-se que todos os objetivos propostos (ver item 6.2) foram atingidos.

(ver item 6.2) foram atingidos.

No capítulo introdutório (Capítulo 1), foi feita a fundamentação do problema e a definição do escopo da pesquisa.

Nos Capítulos 2 e 3 foram feitos levantamentos bibliográficos referentes à pesquisa sobre a criatividade (Capítulo 2) e a MSCP (Capítulo 3). Com relação ao levantamento realizado, a parte referente à compreensão da criatividade pode ser considerada incompleta, uma vez que não foi realizado aprofundamento nos trabalhos mais recentes em áreas como psicologia e neurologia, por estas estarem distantes da área de formação e atuação do autor. Com relação às visões sobre a criatividade e MSCP, entretanto, acredita-se que a pesquisa realizada atingiu o estado da arte.

Duas partes compuseram o Capítulo 4: análises qualitativas, feitas para subsidiar o modelo e apresentação do modelo. As três análises qualitativas referentes às categorias de MSCP foram feitas com base em dados bibliográficos e empíricos (experiência do autor), sendo uma análise comparativa, uma análise de aplicabilidade dos MSCP a diferentes tipos de problemas e a terceira, de utilização dos MSCP no desenvolvimento de produtos. Com base nas três análises e nos Capítulos 2 e 3, foi elaborado um modelo prescritivo para a solução criativa de problemas nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produto. O modelo proposto utiliza conceitos e métodos de todas as categorias de MSCP.

Um estudo de caso foi apresentado no Capítulo 5, como primeira iniciativa no sentido da validação do modelo. O caso refere-se ao desenvolvimento de uma roçadeira portátil. Para aplicação dos MSCP, foram focalizados os dois principais problemas das roçadeiras convencionais: o da projeção de resíduos do corte e o da sustentação do peso. As concepções resultantes da aplicação do modelo incluem soluções originais e, aparentemente (para comprovação será necessária modelagem e simulação ou prototipagem e testes), úteis para os dois principais problemas identificados.

A escolha da roçadeira lateral como objeto do estudo de caso mostrou-se adequada para teste do modelo. Conclui-se isso porque, embora na pesquisa de soluções

existentes tenha sido possível encontrar soluções para o problema da projeção de resíduos e para o problema da sustentação do peso, essas soluções são pouco numerosas e têm utilização limitada a aparelhos para aplicações específicas. Assim, a busca de soluções para os problemas não foi um processo trivial, o que possibilitou o uso de praticamente todas as etapas previstas no modelo. Por outro lado, o modelo precisa ser testado na solução de outros tipos de problemas de projeto, para a obtenção de informações que possibilitem seu aperfeiçoamento.

Uma limitação foi identificada na forma de aplicação do modelo. O mesmo foi previsto para uso por uma equipe de desenvolvimento de produto (EDP). Entretanto, não foi possível executar a aplicação do mesmo por uma EDP. Assim, na maior parte do estudo de caso, apenas o autor esteve envolvido de forma efetiva na busca de soluções. Somente nas etapas com uso de métodos intuitivos foram envolvidas outras pessoas, mais especificamente alunos da disciplina Metodologia do Projeto, ministrada pelo autor no curso de Engenharia Industrial Mecânica do CEFET-PR.

No modelo proposto, recomenda-se o uso de diferentes MSCP. Nenhum método é, a priori, descartado. Isto foi feito porque, como visto no item 4.3, existe complementaridade entre os MSCP. Assim, o modelo oferece uma certa flexibilidade no sentido de possibilitar ao usuário o uso dos métodos que já dominar. Por um lado isso é vantajoso, considerando-se a pequena disponibilidade de informações e treinamento em alguns dos MSCP; por outro lado, métodos menos conhecidos, mas com grande potencial para solucionar problemas com características como pequeno domínio de solução e grande grau de dificuldade (como os da TRIZ) acabam não sendo dominados pelos usuários do modelo.

Com relação aos métodos sistemáticos, comprovou-se que, servem, realmente, para formar a estrutura do modelo. Isto ocorre porque, com os métodos sistemáticos, divide-se um problema complexo em problemas pouco complexos e, com uso dos métodos orientados e intuitivos, busca-se soluções para problemas pouco complexos (para a definição das características de um problema, ver o item 4.3). Nem os métodos intuitivos, nem os métodos orientados possuem essa característica de facilitação do tratamento da complexidade.

Também foi possível comprovar, no estudo de caso, a complementaridade entre as categorias de MSCP sistemáticos e orientados e sistemáticos e intuitivos. Na aplicação dos métodos intuitivos, percebeu-se que as soluções encontradas para os problemas da projeção de resíduos do corte e da sustentação do peso foram, em geral, menos inovadoras e menos úteis do que aquelas encontradas com os métodos orientados. Acredita-se que o nível de dificuldade - 3, na escala de Altshuller (1969) - e o domínio de solução fechado dos problemas em foco justificam os resultados obtidos com a aplicação dos MSCP intuitivos e orientados. Considera-se ter sido mais fácil chegar a soluções novas e úteis com uso dos métodos orientados. Percebeu-se que os métodos orientados foram mais eficazes em direcionar o autor para soluções promissoras, após adequada transformação das heurísticas originais advindas das bases de conhecimento dos métodos em heurísticas adequadas ao escopo do problema como, por exemplo, “utilize os próprios resíduos para bloquear os resíduos projetados” ou “utilize uma substância adicional para suportar o peso”. Talvez os métodos intuitivos possam até mesmo ser eliminados do modelo. Naturalmente, uma conclusão definitiva a esse respeito depende da aplicação do modelo a uma variedade maior de problemas. Recomendação de Altshuller: qualquer alteração no ARIZ deve ser cuidadosamente testada numa grande quantidade de problemas.

Um aspecto importante percebido na aplicação dos métodos orientados é a sobreposição existente entre o método SIT e os conceitos fundamentais e métodos da TRIZ e, mesmo, entre um método da TRIZ e outro. A sobreposição entre o SIT e os métodos da TRIZ pode ser justificada pela própria proposta dos criadores do SIT, que é a de que este seja um método mais simples e independente de uma base de conhecimentos (Horowitz & Maimon, 1997). Na prática, verificou-se que as condições QC e CW do método SIT correspondem, respectivamente, aos conceitos de contradição e uso de recursos do sistema da TRIZ. Entre os métodos da TRIZ, também podem ser identificadas várias sobreposições, como entre alguns PI e conceitos fundamentais, entre PI e padrões da evolução dos sistemas técnicos, entre PI e soluções padrão para C-S, entre PI e PS, entre soluções padrão para C-S e OS, entre outras. Na prática, isso foi percebido pelo autor porque somente foram obtidos princípios de funcionamento novos e úteis até a etapa 18. Com relação a esse aspecto,

considera-se verdadeiro o comentário de um crítico da TRIZ (Filkovsky, 1999), de que "falta clareza à TRIZ".

Como conclusão final, acredita-se que o modelo proposto, com algumas adaptações, pode vir a ser utilizado com sucesso no processo de desenvolvimento de produtos inovadores na prática empresarial. É um modelo que guia os usuários no uso de cada método e procura respeitar o desconhecimento a respeito de certos métodos menos difundidos. Algumas recomendações são feitas no item 6.4.

6.4 Recomendações

As recomendações apresentadas a seguir referem-se ao modelo proposto e a pesquisas futuras relacionadas com o escopo do presente trabalho.

Acredita-se que, embora o caso estudado tenha servido para uma validação parcial do modelo, este necessita ser verificado numa quantidade e variedade maior de situações de desenvolvimento a fim de que se comprove sua validade e/ou se possam efetuar modificações e adaptações no sentido do aumento da simplicidade e clareza. De acordo com o exposto no item 6.3, conclui-se que é necessário aplicar o modelo a situações de desenvolvimento de produto em empresas, onde o modelo possa ser testado por EDPs.

Com relação à manutenção ou não de alguns dos métodos no modelo, para evitar as sobreposições identificadas, imagina-se duas possibilidades. A primeira possibilidade seria a manutenção de todos os métodos no modelo e realização de adaptações a necessidades de empresas específicas e a segunda seria visar uma simplificação e universalização do modelo.

No primeiro caso, ter-se-ia um modelo para consultoria, provavelmente com uso mais intensivo de etapas de decisão, nas quais se possa optar por um método ou outro. Assim, um especialista deveria realizar as necessárias adaptações prévias à utilização do modelo pela EDP, considerando aspectos como domínio dos MSCP pela EDP e características dos problemas tipicamente encontrados nos desenvolvimentos.

A linha a seguir na segunda possibilidade seria a busca de maior integração entre conceitos, metodologias e métodos utilizados no modelo. Embora o autor tenha procurado trabalhar nesse sentido, percebe-se que há a possibilidade de melhor integração conceitual entre as diferentes metodologias e métodos utilizados. Acredita-se que a mencionada integração deve ser iniciada em níveis de abstração mais baixos (por exemplo, integrando os modelos funcional e C-S) e, então, prosseguir para níveis de abstração mais altos. Assim, uma possível frente de pesquisa envolveria a análise comparativa de modelos para sistemas técnicos. Esta análise poderia incluir, além dos modelos já utilizados na metodologia de projeto (como necessidades dos clientes, requisitos de projeto, funções, estruturas funcionais, árvores de funções e meios, etc.), modelos típicos da metodologia TRIZ, do método SIT e outros.

Como recomendação adicional, acredita-se que metodologias e métodos como TRIZ, WOIS e SIT precisam ser investigados de forma aprofundada. Alguns possíveis temas para pesquisas futuras são:

- padrões da evolução dos sistemas técnicos e seu uso no desenvolvimento de produtos e tecnologias;
- MSCP para as etapas de configuração e detalhamento de produtos;
- algoritmização e implementação computacional de MSCPs;
- uso de MSCPs orientados para a identificação da causa raiz de problemas;
- métodos para o ensino e disseminação dos MSCPs (especialmente os orientados).

Finalmente, acredita-se que a abordagem apresentada neste trabalho é inovadora e útil, tendo-se chegado ao estado da arte em métodos para a solução criativa de problemas e seu uso no desenvolvimento de produtos.

Referências Bibliográficas

- AKAO, Y. *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Cambridge: Productivity Press, 1990.
- ALLEN, F. R., Columbia, EUA. *Endless cutting head for lawn mower*. Classificação A01D 34/83, US 5 398 490, 1994.
- ANDRADE, R. S. Preliminary Evaluation of Needs in the Design Process. In: ICED 91, *Proceedings ...*, Zurich, 1991.
- ANDREAS STIHL. *Roçadeiras*. Disponível no URL <http://www.stihl.com.br>, 1999.
- ALTSHULLER, G. S. *Innovation Algorithm*. Worcester: Technical Innovation Center, 1999 (1ª ed. russa, 1969).
- ALTSHULLER, G. S. *Forty Principles*. Worcester: Technical Innovation Center, 1998 (1ª ed. russa, 1974).
- ALTSHULLER, G. S. *Creativity as An Exact Science - The Theory of The Solution of Inventive Problems*. 1a. ed. Luxemburg: Gordon & Breach, 1984 (1ª ed. russa, 1979).
- ALTSHULLER, G. S.; SELJUZKI, A. *Flügel für Ikarus - Über die Moderne Technik des Erfindens*. Moscou: Mir, 1980.
- ALTSHULLER, G. S. (sob o pseudônimo ALTOV, H.) *And Suddenly the Inventor Appeared*. Worcester: Technical Innovation Center, 1990 (1ª ed. russa, 1984).
- ALTSHULLER, G. S.; ZLOTIN, B.; ZUSMAN, A.; PHILATOV, V. *Searching for New Ideas: From Insight to Methodology - The Theory and Practice of Inventive Problem Solving*. Kishinev: Kartya Moldovenyaska, 1989 (Publicado em inglês como *Tools of Classical TRIZ*. Southfield: Ideation International, 1999).
- AXON RESEARCH. *Axon Idea Processor*. Cingapura, Versão 98. 1 disquete 3½", Windows 95, 1998.
- BACK, N. *Metodologia de Projeto de Produtos Industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- BARRON, F. Putting Creativity to Work. In STERNBERG, R. J. *The Nature of Creativity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- BLANCHARD, B. S., FABRYCKY, W. J. *Systems Engineering and Analysis*. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1990.
- BLESSING, L. T. M. *A Process-Based Approach to Computer-Supported Engineering Design*. Enschede, 1994. 369 p. Thesis (Doctoral) - University of Twente.
- BODEN, M. *The Creative Mind*. London: Abacus, 1990.
- CAMPBELL, D. T. Blind Variation and Selective Retention in Creative Thought as in

- Other Knowledge Processes. *Psychological Review*, v.67, p.380-400, 1960.
- DE BONO, E. *New Think: The Use of Lateral Thinking in the Generation of New Ideas*. New York: Basic Books, 1968.
- DESCARTES, R. *Discurso Sobre o Método*. Tradução de M. Lemos. 2a. ed. Rio de Janeiro: Organização Simões, 1952 (1ª ed., 1637).
- DOMB, E. QFD and TIPS/TRIZ. *TRIZ Journal* (Disponível no URL <http://www.triz-journal.com>), Jun./1998.
- DÖRNER, D. *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: W. Kohlhammer, 1979.
- ESP@CENET. *Europe's Network of Patent Databases*. Disponível no URL <http://gb.espacenet.com/>, 1999.
- FEY, V. R., RIVIN, E. I., VERTKIN, I. M. Application of the Theory of Inventive Problem Solving to Design and Manufacturing Systems. In: CIRP, 1994, *Annals ...*, v.43(1), p.107-110.
- FILKOVSKY, G. *TRIZ Premisses*. Mensagem Pessoal, 1999.
- FINKE, R. A. *Creative Cognition Approach*. Cambridge: MIT Press, 1995.
- FRITZ, R. *Creating*. New York: Fawcett, 1991.
- GOLDBERG, P. *The Intuitive Edge*. Los Angeles: Tarcher, 1983.
- GORDON, W. J. J. *Synectics*. 1a. ed. New York: Harper & Row, 1961.
- GUILFORD, J. P. Three Faces of the Intellect. *American Psychologist*, v.14, p. 469-479, 1959.
- GUILFORD, J. P., HOEPFNER, R. *The Analysis of Intelligence*. New York: McGraw-Hill, 1971.
- HAUSER, J. & CLAUSING, D. The House of Quality. *Harvard Business Review*, v. 66, n. 3, 1988.
- HELLFRITZ, H. *Innovation via Galeriemethode*. Königstein/Ts: Eigenverlag, 1978.
- HERRMANN, N. *The Creative Brain*. Brain Books, 1994.
- HERRMANN, N., OGLIARI, A., BACK, N. Sistematização do Desenvolvimento da Estrutura de Funções. In: XVI ENEGEP, 1996, *Anais ...*, Piracicaba, 1996.
- HOLYOAKE, K. J., THAGARD, P. *Mental Leaps - Analogy in Creative Thought*. Cambridge: MIT Press, 1995.
- HOROWITZ, R., MAIMON, O. Creative Design Methodology and The SIT Method. In: ASME Design Engineering Technical Conference, 1997, Sacramento. *Proceedings ...*, Sacramento: American Society of Mechanical Engineers, 1997.
- HOROWITZ, R. *SIT Method*. Mensagem pessoal, 1999.
- HUBKA, V., EDER, W. E. *Design Science: Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge*. 2a. ed. Londres: Springer, 1996.
- HUNDAL, M. S. A Systematic Method for Developing Function Structures, Solutions

- and Concepts Variants. *Mech. Mach. Theory*, v. 25, p.243-256, 1990.
- HUSQVARNA. *Brush Cutters*. Disponível no URL <http://www.husqvarna.com>, 1998.
- IBM. *Delphion Intellectual Property Network* (Banco de Patentes da IBM). Disponível no URL <http://www.delphion.com>, 1999.
- INPI. *Instituto Nacional de Propriedade Intelectual*. Disponível no URL <http://www.inpi.gov.br>, 1999.
- INSYTEC. *TRIZ Explorer*. Disponível no URL <http://www.insytec.com>, 1999.
- INVENTION MACHINE. *IM-Lab*. Disponível no URL <http://www.invention-machine.com>, 1999.
- IDEATION INTERNATIONAL. *IWB*. Disponível no URL <http://www.ideationtriz.com>, 1999.
- IQ-PLUS. *IQ-COACH*. Disponível no URL <http://www.iq-plus.com>, 1999.
- ISAKSEN, S. G., TREFFINGER, D. J. *Creative Problem Solving: The Basic Course*. Buffalo: Bearly Publishing, 1985.
- KANO, N. et al. Attractive Quality and Must-be Quality. *The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, April, p.39 -48, 1984.
- KOBERG, D., BAGNALL, J. *The All New Universal Traveler: A Soft-Systems Guide to Creativity, Problem-Solving, and The Process of Reaching Goals*. Los Altos: William Kaufmann, Inc., 1981.
- KOESTLER, A. *The Act of Creation*. Arkana, 1964.
- KOHLER, W. *Gestalt Psychology*. New York: Liveright, 1947.
- KOLLER, R. *Konstruktionslehre für den Maschinenbau*. Berlin: Springer, 1994.
- KOLODNER, J. *Case-Based Reasoning*. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1993.
- KREITLER, H., KREITLER, S. Psychosemantic Foundation of Creativity. In: *Lines of Thinking: Reflections on the Psychology of Thinking*, v. 2. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- LEE, R. A. Port St. Lucie, EUA. *Weed, brush and small tree cutter*. Classificação A01G 23/08, B27B 17/02, US 5 274 924, 1994.
- LEÓN-ROVIRA, N., AGUAYO, H. A New Model of The Conceptual Design Process Using QFD/FA/TRIZ. *TRIZ Journal* (<http://www.triz-journal.com>), Jul./1998.
- LENAT, D. Ontological Versus Knowledge Engineering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v. 1, Mar./1989.
- LINDE, H. & HILL, B. *Erfolgreiche Erfinden : Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure*. 1a. ed. Darmstadt: Hoppenstedt, 1993.
- MALMQVIST, J., AXELSSON, R., JOHANSSON, M. A Comparative Analysis of the Theory of Inventive Problem Solving and the Systematic Approach of Pahl and

- Beitz. In: ASME - DETC, 1996, Irvine. *Proceedings of The DSTC*. Irvine: ASME, 1996.
- MACLEAN, P. D. *The Triune Brain in Evolution: Role in Paleocerebral Functions*. New York: Plenum, 1990.
- MEDNICK, S. A. The Associative Basis of the Creative Process. *Psychological Review*, v. 69, p. 220-232, 1962.
- LEE, R. A., Port St. Lucie, EUA. *Weed, brush and small tree cutter*. Classificação A01G 23/08, B27B 17/02, US 5 274 924, 1994.
- MIHIRA, K. (KUBOTA LTD.), Japão. *Portable Brush Cutter*. Classificação A01D34/68, JP 63 279 713, 1988.
- MILES, L. D. *Techniques of Value Analysis and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1961.
- MILLER, G. A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, v. 63, p. 81-79, 1956.
- NEUMANN, U. & LINDE, H. *WOIS*. Seminarmanuskript, Fachhochschule Coburg, 1990.
- NEWELL, A., SIMON, H. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1972.
- NORDLUND, M. *An Information Framework for Engineering Design Based on Axiomatic Design*. Estocolmo, 1996. 147 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Sistemas de Manufatura, KTH.
- OSBORN, A. F. *Applied Imagination*. 1a. ed. New York: Charles Scribner's Sons, 1953.
- PAHL, G., BEITZ, W. *Engineering Design: A Systematic Approach*. 1a. ed. London: Springer, 1988 (2a. ed., 1996).
- PARNES, S. J. *Sourcebook for Creative Problem Solving*. Buffalo: Creative Education Foundation Press, 1992.
- PERKINS, D. N. Insights in Minds and Genes. In STERNBERG, R. & DAVIDSON, J. *The Nature of Insight*, Cambridge: MIT Press, 1995.
- PINKER, S. *Como a Mente Funciona*. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.
- PINTO, J. A. N. *Abordagem do Ato de Criatividade Serendípica Segundo Características Próprias de Comportamento do Indivíduo*. Florianópolis: UFSC, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), UFSC.
- PLSEK, P. E. *Creativity, Innovation, and Quality*. 1a. ed. Milwaukee: ASQC Quality Press, 1997.
- POLOVINKIN, A. I. *Methode zur Suche neuer Technischen Lösungen*. TWA, n. 121, 1976.
- PRINCE, G. M. *The Practice of Creativity*. 2a.ed. New York: Collier Books, 1972.
- RANTANEN, K. *Comunicação pessoal*, 1999.
- RIVIN, E. I. Conceptual Developments in Design Components and Machine Elements. *Transactions of the ASME*, v.117, p. 33-41, 1995.

- RODENACKER, W. G. *Methodisches Konstruieren*. Berlin: Springer, 1982.
- ROHRBACH, B. *Kreativ nach Regeln: Methode 635, eine neue Technik zum Lösen von Problemen*. *Absatzwirtschaft*, v. 12, p. 73-75, 1969.
- ROSSMAN, J. *The Psychology of The Inventor*. Washington: Inventor's Publishing, 1931.
- ROTH, K. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlin: Springer, 1982.
- SALAMATOV, Y. *TRIZ: The Right Solution at the Right Time - A Guide to Innovative Problem Solving*. Hattem: Insytec, 1999.
- SANDLER, B. Z. *Computer-Aided Creativity: A Guide for Engineers, Managers, Inventors*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- SAVRANSKY, S. D. *TRIZ: The Methodology of Inventive Problem Solving*. Disponível no URL <http://www.jps.net/triz/Tech1Rev.htm>, 1996.
- SAVRANSKY, S. D. *Apostila do Hands-on TRIZ Course*. Fremont: The TRIZ Experts, 1998a.
- SAVRANSKY, S. D. *TRIZ in Product Development*. Mensagem pessoal, 1998b.
- SEIFERT et al. Demystification of Cognitive Insight. In STERNBERG, R. & DAVIDSON, J. *The Nature of Insight*, Cambridge: MIT Press, 1995.
- SICKAFUS, E. N. *Unified Structured Inventive Thinking - How to Invent*. Grosse Isle: Ntelleck, 1997.
- SIMONTON, D. K. Creativity, Leadership, and Chance. In STERNBERG, R. J. *The Nature of Creativity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- SPERRY, R., TREVARTHEN, C. *Brain Circuits & Functions of the Mind*. Cambridge, 1991.
- TANIGUCHI, M. (KOMATSU ZENOA KK), Japão. *Rotary Type Brush Cutter*. Classificação A01D34/73 ; A01D34/68, JP 1 030 510, 1989.
- TERNINKO, J. The QFD, TRIZ and Taguchi Connection: Customer-Driven Robust Innovation. *TRIZ Journal* (Disponível no URL <http://www.triz-journal.com>), Jan./1998.
- TJALVE, E. *A Short Course in Industrial Design*. London: Newnes-Butterworths, 1979.
- TOBIAS, R., Carmel, EUA. *Grass Cutting Device*. Classificação A01D 34/00, US 4 952 222, 1990.
- TORRANCE, E. P. The Nature of Creativity as Manifest in its Testing In STERNBERG, R. J. *The Nature of Creativity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- ULLMAN, D. G. *The Mechanical Design Process*. 1a. ed. New York: McGraw-Hill, 1992.
- ULRICH, K. T. *Computation and pre-parametric design*. Cambridge: MIT, 1988. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), MIT.
- PINTO, J. A. N. *Abordagem do Ato de Criatividade Serendíptica Segundo Características*

- Próprias de Comportamento do Indivíduo*. Florianópolis: UFSC, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), UFSC.
- ULRICH, K. T. & EPPINGER, S. D. *Product Design and Development*. 1a. ed. New York, McGraw-Hill, 1995.
- URBAN, G., HAUSER, J. R. *Design and Marketing of New Products*. 2a. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993.
- VAN GUNDY, A. B. *Stalking the Wild Solution: A Problem Finding Approach to Creative Problem Solving*. New York: Bearly, 1988.
- WALLAS, G. *The Art of Thought*. New York: Hartcourt Brace, 1926.
- WATZLAWICK, P., WEAKLAND, J., FISCH, R. *Change - Principles of Problem Formulation and Problem Resolution*, 1979.
- WEISBERG, R. W. *Creativity: Beyond The Myth of Genius*. New York: W. H. Freeman, 1993.
- WERTHEIMER, M. *Productive Thinking*. New York: Harper, 1945.
- ZLOTIN, B.; ZUSMAN, A.; *Najti ideyu*; 1989.
- ZWICKY, F. *The Morphological Method of Analysis and Construction*. New York: Wiley-Interscience, 1948.

Apêndice - Matriz de Contradições

A matriz de contradições é apresentada nas páginas a seguir.

Matriz de contradições - 1ª parte

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

Matriz de contradições - 2ª parte

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

Matriz de contradições - 3ª parte

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

Matriz de contradições - 4ª parte

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

Matriz de contradições - 5ª parte

		Parâmetros de engenharia piorados									Princípios inventivos																														
		33	34	35	36	37	38	39			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37			1	Segmentação ou fragmentação																												
	2	Peso do objeto parado	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35			2	Remoção ou extração																												
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29			3	Qualidade localizada																												
	4	Comprimento do objeto parado	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	-	30, 14, 7, 26			4	Assimetria																												
	5	Área do objeto em movimento	15, 17, 1316	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2			5	Consolidação																												
	6	Área do objeto parado	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 156, 17, 7			6	Universalização																												
	7	Volume do objeto em movimento	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34			7	Aninhamento																												
	8	Volume do objeto parado	-	1	-	1, 31	2, 17, 26	-	35, 37, 10, 2			8	Contrapeso																												
	9	Velocidade	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	-			9	Compensação prévia																												
	10	Força	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37			10	Ação prévia																												
	11	Tensão ou pressão	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37			11	Amortecimento prévio																												
	12	Forma	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10			12	Equipotencialidade																												
	13	Estabilidade da composição	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3			13	Inversão																												
	14	Resistência	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14			14	Recurvação																												
	15	Duração da ação do objeto em movimento	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19			15	Dinamização																												
	16	Duração da ação do objeto parado	1	1	2	-	25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38			16	Ação parcial ou excessiva																												
	17	Temperatura	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	23, 2, 19, 16	15, 28, 35			17	Transição para nova dimensão																												
	18	Brilho	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16			18	Vibração mecânica																												
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35			19	Ação periódica																												
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	-	-	-	19, 35, 16, 25	-	1, 6			20	Continuidade da ação útil																												
	21	Potência	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34			21	Aceleração																												
	22	Perda de energia	35, 32, 1	2, 19	-	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35			22	Transformação de prejuízo em lucro																												
	23	Perda de substância	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23			23	Retroalimentação																												
	24	Perda de informação	27, 22	-	-	-	35, 33	35	13, 23, 15			24	Mediação																												
	25	Perda de tempo	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	-			25	Auto-serviço																												
	26	Quantidade de substância	35, 29, 10, 25	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27			26	Cópia																												
	27	Confiabilidade	27, 17, 17, 34	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 10, 34	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38			27	Uso e descarte																												
	28	Precisão de medição	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32			28	Substituição de meios mecânicos																												
	29	Precisão de fabricação	1, 32, 35, 23	25, 10	-	26, 2, 18	-	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39			29	Construção pneumática ou hidráulica																												
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24			30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis																												
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	-	-	-	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39			31	Uso de materiais porosos																												
	32	Manufaturabilidade	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 11, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28			32	Mudança de cor																												
	33	Conveniência de uso	-	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 25, 12, 17	-	1, 34, 12, 3	15, 1, 28			33	Homogeneização																												
	34	Mantenabilidade	1, 12, 26, 15	-	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	-	34, 35, 7, 13	1, 32, 10			34	Descarte e regeneração																												
											35	Mudança de parâmetros e propriedades																													