MARLY KIATAKE

**MODELO DE SUPORTE AO PROJETO CRIATIVO EM
ARQUITETURA: UMA APLICAÇÃO DA TRIZ – TEORIA DA
SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do
Título de Mestre em Engenharia.

São Paulo
2004

MARLY KIATAKE

**MODELO DE SUPORTE AO PROJETO CRIATIVO EM
ARQUITETURA: UMA APLICAÇÃO DA TRIZ – TEORIA DA
SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do
Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e
Urbana

Orientador:
Prof. Dr.
João Roberto Diego Petreche

São Paulo
2004

FICHA CATALOGRÁFICA

Kiatake, Marly

Modelo de suporte ao projeto criativo em arquitetura: uma aplicação da TRIZ – Teoria da Solução Inventiva de Problemas / M. Kiatake. -- São Paulo, 2004.

124 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

**1.Projeto de arquitetura 2.Criatividade 3.Teoria da decisão
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.**

*"Conhecer é traduzir algo que não se conhece
em termos do que já se conhece".*

Nietzsche

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Prof. Dr. João Roberto Diego Petreche, pela motivação, confiança e permanente incentivo dedicados a mim, e sobretudo, pela inteligência e sabedoria com que conduziu este trabalho.

Agradeço à minha família, pelo carinho e incondicional apoio, que sempre alavancaram os meus esforços na busca do melhor caminho.

Agradeço especialmente à Darrel Mann, pela inspiração e pronta colaboração no envio de artigos.

Agradeço à eng. Márcia Kiataki Yoshito e Prof. Rovilson Mafalda, pelas valiosas contribuições nas revisões, e à bibliotecária Vilma (PCC), pela atenção e carinho na revisão bibliográfica.

Meus sinceros agradecimentos aos professores e colegas do LabCAD, pelos momentos de convivência, que tanto enriqueceram minha formação pessoal e acadêmica.

Finalmente, agradeço à todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho, seja dividindo angústias e ansiedades, seja compartilhando entusiasmos e conquistas. À todos vocês: Muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Questão da Pesquisa	4
1.2	Justificativa	4
1.3	Escopo e Contribuição do Trabalho	6
1.4	Metodologia	6
1.5	Organização do Texto	7
2	MODELOS DE SUPORTE AO PROJETO CRIATIVO	8
2.1	Criatividade em projeto	8
2.2	Modelos de suporte ao projeto criativo	9
2.2.1	Modelos formais	10
2.2.2	Modelos estruturais	10
2.2.3	Modelos conceituais	10
2.2.4	Modelos de avaliação	11
2.3	TRIZ	11
2.3.1	Panorama Geral da TRIZ	12
2.3.1	Histórico	14
2.3.2	Filosofia TRIZ	17
2.3.3	Estrutura TRIZ	18
2.3.4	Principais conceitos	20
2.3.5	Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos	22
2.3.6	Método dos Princípios Inventivos e Matriz de Contradições (MPI)	24
2.3.7	Suporte Computacional	27
3	USO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA TRIZ EM PROJETOS DE ARQUITETURA	28
3.1	Produto x Construção	29

3.2	Princípios Inventivos (PIs) para arquitetura.....	30
3.3	Método dos Princípios Inventivos (MPI) aplicado à arquitetura	51
4	ESTUDOS DE CASO - EXEMPLOS	52
4.1	Estudo de Caso 1: escada de segurança	52
4.2	Estudo de Caso 2: Solomon Guggenheim Museum	53
4.3	Estudo de Caso 3: Residência Hélio Olga de Souza Jr.	57
4.3.1	Primeira análise: Identificação dos PIs	57
4.3.2	Segunda análise: Uso da Matriz de Contradições	60
5	ESTUDO DE CASO: CRUSP	65
5.1	Identificação do Problema.....	65
5.2	Metodologia	68
5.2.1	Questionário de Situação da Inovação (QSI)	69
5.2.2	Busca Direta de Soluções.....	73
5.2.3	Busca de soluções existentes a partir das FUs	74
5.2.3.1	Soluções de Mercado	74
5.2.3.2	Base de Patentes	76
5.2.4	Processo de Formulação de Problemas (PFP).....	79
5.2.5	MPI.....	83
6	DISCUSSÃO	85
7	CONCLUSÕES.....	88
7.1	Considerações Finais.....	89
7.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	89
	Anexo A: 40 Princípios Inventivos	91
	Anexo B: 39 Parâmetros de Engenharia (e Arquitetura)	103
	Anexo C: Matriz de Contradições.....	110
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
	BIBLIOGRAFIA ADICIONAL	122
	Apêndice: 40 Princípios, de acordo com a frequência de uso	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Método de Pesquisa utilizado.....	7
Figura 2 - Padrão geral de solução de problemas.	12
Figura 3 - Efeitos limitantes da inércia psicológica.	13
Figura 4 - Solução ideal fora do campo conhecido.....	16
Figura 5 - Estrutura da TRIZ clássica	19
Figura 6 - Solução de problemas com os Princípios Inventivos	25
Figura 7 - Princípios encontrados na Matriz de Contradições.	26
Figura 8 - Solução Convencional de escadas, dispostas lado a lado.....	53
Figura 9 - Solução inovadora de escadas, com os patamares conjugados.	53
Figura 10 - Solemon Guggenheim Museum, vista externa.....	54
Figura 11 - Solemon Guggenheim Museum, vista interna.....	55
Figura 12 - Solemon Guggenheim Museum, corte	55
Figura 13 - Solemon Guggenheim Museum, planta térreo	56
Figura 14 - Solemon Guggenheim Museum, planta 1º pavimento	56
Figura 15 - Solemon Guggenheim Museum, planta 2º pavimento	56
Figura 16 - Plano de Massas funcional (genérico) para uma residência de padrão médio.....	58
Figura 17 - Res. Helio Olga de Souza Jr., plantas	59
Figura 18 - Res. Helio Olga de Souza Jr., corte.....	59
Figura 19 - Residência Hélio Olga de Souza Jr.	60
Figura 20 - Estudo de caso 3: Princípios encontrados na Matriz de Contradições.	64
Figura 21 - CRUSP, planta pavimento tipo.	66
Figura 22 - corte escada projetada inicialmente.....	67
Figura 23 - corte escada atual.....	67
Figura 24 - Processo de Projeto.	68
Figura 25 - Estrutura atual.....	70
Figura 26 - Estrutura desejada.....	70
Figura 27 - Plataforma instalada no Bloco D.....	72
Figura 28 - Cadeira Stannah (Surimex Stairlifts).....	74
Figura 29 - Plataforma que sobe escadas (Reabilitar Ltda.)	75
Figura 30 - Carro para escada (Surimex Stairlifts)	75

Figura 31 - Human Transporter (Patente US5701965)	76
Figura 32 - Stairlift (Patente WO9839241).....	77
Figura 33 - Stairlift (Patente US4627517)	77
Figura 34 - Access ramp device which can be fitted to staircases (Patente FR2617223)	77
Figura 35 - Stair Vehicle (Patente US4421189)	77
Figura 36 - Wheelchair Lift (Patente US5624009).....	78
Figura 37 - Convertible Lift Mechanism (Patente US5937971).....	78
Figura 38 - Convertible Lift Mechanism having a scissor lift linkage (Patente US6109395)	78
Figura 39 - Gráfico de fluxo para Transporte Vertical	80
Figura 40 - Enunciado 1a: Planta com alteração dos dois elevadores	81
Figura 41 - Enunciado 1a: leveza, transparência, simplicidade e discrição.....	81
Figura 42 - Enunciado 1a: Planta com alteração de apenas um dos elevadores	82
Figura 43 - Enunciado 1a, sem alteração da casa de máquinas	82
Figura 44 - Enunciado 1b: nova inserção em "destaque"	82
Figura 45 - Enunciado 1b: nova inserção em "destaque"	82
Figura 46 - Princípios encontrados na Matriz de Contradições	83
Figura 47 - Aplicação do PI-17	84

LISTA DE TABELAS

Tabela I - Níveis de inventividade.....	15
Tabela II - Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos (Glenn Mazur, 1995)..	23
Tabela III - Princípios Inventivos.....	24
Tabela IV - Parâmetros de Engenharia.....	24
Tabela V - Tempo de aprendizagem (De Carvalho, 1999)	27
Tabela VI - Objetivos X Princípios	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APO	Avaliação Pós Ocupação
ARIZ	Algoritmo para solução inventiva de problemas
CAD	Computer Aided Design
CBR	Case-Based Reasoning
CECAE	Coordenadoria Executiva de Cooperação Universitária e de Atividades Especiais
COE	Código de Edificações
COSEAS	Coordenadoria da Saúde e Assistência Social
CRUSP	Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo
FU	Função Útil
FP	Função Prejudicial
IBIS	Issue-Based Information System
IBIS-FRS	Issue-Based Information System/ Fuzzy Reasoning System
MDF	Medium Density Fiberboard
MPI	Método dos Princípios Inventivos e Matriz de Contradições
PFP	Processo de Formulação de Problemas
PI	Princípio Inventivo
PR	Parâmetro de Projeto
QFD	Quality Function Deployment
QSI	Questionário de Situação de Inovação
RFI	Resultado Final Ideal
ST	Sistema Técnico

RESUMO

A mudança nas relações funcionais entre os agentes da indústria da construção civil, a velocidade dos avanços tecnológicos e a intensa competitividade entre os escritórios de arquitetura evidenciam uma necessidade crescente de organização do processo de projeto, cujo aprimoramento pode ser alcançado através do uso de metodologias sistemáticas. Entretanto, a ininteligibilidade e a falta de domínio do processo criativo do arquiteto resultam, muitas vezes, em sistemas metodológicos ineficazes, devido à deficiência de ferramentas que suportem a criatividade do projetista, na fase de concepção das idéias.

A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) é uma metodologia que direciona o processo criativo, através da proposição de Princípios Inventivos (PIs) e identificação de padrões na evolução dos sistemas. Conceituando a contradição como um elemento chave para a criação, é baseada em pesquisas de patentes mundiais de vários campos do conhecimento. Estudos preliminares, identificando diversos princípios da TRIZ em soluções arquitetônicas existentes, incentivaram-nos à exploração da metodologia na área da arquitetura, objetivo deste trabalho. Na tentativa de uma primeira validação do modelo, realizou-se um estudo de caso no Conjunto Residencial da USP (CRUSP), no qual a teoria foi utilizada para solucionar o problema de adequação da acessibilidade dos edifícios às pessoas portadoras de deficiência física.

O estudo de caso demonstrou que a TRIZ é uma alternativa metodológica para a fase inicial do processo de projeto arquitetônico, à medida em que possui ferramentas para sistematizar o conhecimento do problema, delimitar o espaço de busca por soluções e sinalizar as idéias potencialmente relevantes.

palavras-chave: projeto de arquitetura, TRIZ, metodologia de projeto, concepção de projeto, criatividade, patentes

ABSTRACT

The modification in the functional relationships among the project players of the building construction industry, the speed of technological advances and the strong competitiveness among the architectural offices are indications of a growing need for organization of the design process, whose improvement has been achieved through systematic methodologies. However, the unintelligibility and lack of management of the architect's creative process result, a lot of times, in ineffective methodological systems, caused by a deficiency of tools that support the designer's creativity in the phase of conceptual design.

The Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) is a methodology that improves the creative process through the propositions of Inventive Principles (IPs) and identification of some patterns in the evolution of the systems. The theory considers the contradiction as the key element for innovation and it is based on researches about worldwide patents of several fields of knowledge. Preliminary studies identified several TRIZ Principles in existent architectural solutions and motivated us to the exploration of the methodology in this field, which was the goal of this work. In the attempt of a first validation of the model, a case study was accomplished in the Residential Building of Universidade de São Paulo (CRUSP), using TRIZ to solve the problem of adaptation of the buildings for accessibility by disabled people.

The case study demonstrated that TRIZ is a methodological alternative for the early phases of architectural design process, because it includes tools to systematize the problem knowledge, to delimit the search space for solutions and to signal the ideas potentially relevant.

Keywords: architectural design, TRIZ, design methodology, conceptual design, creativity, patents

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da sofisticação tecnológica, que proporciona a modernização dos processos construtivos, tem trazido para a indústria da construção civil uma necessidade crescente de modificação do processo de projeto nas empresas de arquitetura. Uma parcela crescente destas empresas vem procurando melhorar seus processos de desenvolvimento de projetos como forma de aumentar a competitividade e inserir-se no mercado internacional.

Em um processo de projeto arquitetônico completo, verificamos um crescimento paralelo dos níveis de complexidade das fases do projeto e do compromisso com as soluções técnico-construtivas adotadas, o que significa que, quanto mais avançado o desenvolvimento, maior o esforço despendido numa eventual mudança de parâmetros e soluções. Isso tem levado, recentemente, ao deslocamento das pesquisas das etapas finais do processo de projeto (desenvolvimento, detalhamento, simulação e construção de protótipos) para pesquisas focadas nas etapas iniciais (definição do produto, planejamento e projeto conceitual), onde os níveis de abstração são maiores. Esse deslocamento se evidencia nas diversas vertentes de pesquisa em projeto, seja na tentativa de criar uma Teoria de Projeto (CROSS, CHRISTIAANS, DORST, 1996; PER GALLE, 1999), sistematizar o processo de projeto (CASTELLS, HEINECK, 2001; ROMANO, BACK, OLIVEIRA, 2001; MCMILLAN et al., 2001), criar máquinas que projetam (OXMAN, 1990) ou gerar formas de suporte à criação dos projetistas (GERO, 2000; CAO, PROTZEN, 1999).

Nesse contexto, a grande dificuldade encontrada em todas as vertentes de pesquisa é determinada pela própria caracterização das fases iniciais de projeto, já identificada por pesquisadores da área de Metodologia de Projeto, como Rittel (Design Methods, 1998) e Cross (1994): indefinição ou ambigüidade do problema, informações vagas, requisitos e parâmetros conflitantes, falta de métodos de solução. Esses traços evidenciam a complexidade do problema de projeto, cuja decomposição *construir* e *resolver* problemas origina amplas áreas de estudo no campo da Psicologia Cognitiva.

Reconhece-se que, sempre que uma pessoa gera uma nova idéia, que se prova útil para atender certas necessidades, ela construiu e implementou um curso de ação - um dentre muitos alternativos - que foi trazido para atingir um certo objetivo atual. Torna-se aparente, portanto, que o pensamento criativo representa uma forma de solução de problemas (Mumford, Reiter-Palmon, Redmond, 1994). A maioria das discussões sobre a capacidade humana de solução de problemas enfoca dois tipos de elementos cognitivos:

- a) o conhecimento, ou o conjunto de fatos e princípios organizados, pertencentes a algum domínio;
- b) o conhecimento extensivo, aplicado para gerar soluções aos problemas novos, ou seja, as heurísticas, regras e operações que as pessoas aplicam para gerar soluções aos problemas, chamadas processos criativos.

O conjunto de informações reunidos na alternativa (a) permite-nos entender a inteligência humana e o processo que conduz ao aprendizado, através do pensamento convergente. O processo que conduz à alternativa (b) refere-se ao talento humano da criatividade e a capacidade de estabelecer relações entre diferentes elementos, através do pensamento divergente¹.

O cérebro humano possui diferentes partes, associadas a diferentes modos de pensamento. Segundo Hyman (1998), dentro da extensa pesquisa sobre a estrutura fisiológica do cérebro, uma abordagem clássica para caracterizar essa associação é a relação entre os hemisférios esquerdo – às funções dedutivas, derivativas, específicas, lógicas, rígidas e lineares, e direito – às funções indutivas, integrativas, gerais, imaginativas, nebulosas e não lineares. De acordo com essa caracterização, estimular a criatividade pressupõe estimular funções do cérebro direito, através de mecanismos que conduzam à superação das barreiras ao pensamento criativo. Conforme Alencar (1995), entretanto, novos estudos sobre o funcionamento do cérebro têm sido realizados recentemente, através de pesquisas que extrapolam essa especialização cerebral e propõem que a criatividade não é um talento único, mas

¹ A noção de convergência e divergência foi introduzida por Guilford, em 1967. O pensamento convergente refere-se à capacidade de uma pessoa recordar, reconhecer e resolver e é medido pelos testes de QI. O pensamento divergente, diversamente, refere-se à capacidade de inventar, explorar e arriscar.

uma combinação de diferentes tipos de pensamento – analítico, verbal, intuitivo e emocional – cada um controlado por uma região distinta do cérebro, sendo que cada indivíduo teria um estilo de pensamento dominante, de acordo com a sua preferência por um dos quatro tipos de pensamento relacionados.

Vários fatores podem impedir o florescimento da criatividade no indivíduo. Hyman (1998) classifica os diversos tipos de barreiras à criatividade: perceptivas, culturais, ambientais, emocionais e intelectuais. Os diversos métodos tradicionais de geração de idéias, como o Brainstorming (OSBORN, 1953), Sinética (GORDON, 1961), Lateral Thinking (DE BONO, 1990), entre outros, foram criados com o objetivo de superar os bloqueios citados.

A complexidade do processo de projeto pode ser suportada através da utilização de modelos, que definem atividades para o seu desenvolvimento, possibilitando maior planejamento e controle. A modelagem da fase inicial do processo de projeto objetiva a redução do tempo de desenvolvimento, através da restrição do espaço de busca por soluções. Dentre os diversos trabalhos que formam a base literária de modelos na engenharia, através de uma metodologia sistemática, pode-se citar o de Pahl e Beitz (1996), QFD (Mizuno, Akao, 1994), Suh (2001), Tagushi (1986). Propostas de aplicação de alguns desses modelos no campo da arquitetura constituíram recentes pesquisas de Mestrado dentro do Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Graça, 2002; Monice, 2003).

As metodologias supracitadas sistematizam o processo de projeto em todas as suas fases, a partir de técnicas para construção e representação dos problemas, bem como para avaliação das soluções geradas. As abordagens, entretanto, deixam um vácuo no auxílio às tomadas de decisão iniciais, na medida em que carecem de meios para auxiliar o processo de *geração das idéias* em projeto. Como consequência, muitas decisões ruins tomadas no início do processo podem comprometer o desenvolvimento posterior do projeto; ou em outras palavras, pode-se resolver "corretamente" o problema "errado".

Metodologias eficazes que suportem a criatividade em projeto, objetivando o aprimoramento na geração de idéias e capacitando os projetistas, são assim,

alternativas às necessidades de redução do tempo de desenvolvimento de projetos, aumento da qualidade e diminuição do custo no ciclo de vida das construções.

1.1 Questão da Pesquisa

A crítica especializada de arquitetura normalmente se faz através de discussões sobre o talento artístico do arquiteto. Como citado em Monlibert (1995) apud Melhado (2001, p.66): "As análises feitas falam geralmente da genialidade, do dom, do carisma de arquitetos, mas não dizem muito a respeito dos métodos de trabalho que lhes permitiram obter sucesso (ou não) na promoção de seus talentos e ambições". E como questionado pelo próprio Melhado (2001): seriam estes métodos de trabalho questões de menor importância?

O pressuposto deste trabalho é que as metodologias sistemáticas de suporte ao projeto favorecem a criação, focalizando o espaço de busca por soluções e reduzindo o tempo de desenvolvimento do projeto.

Nesse sentido, as questões que se levantam são:

- Em que medida a utilização de modelos, como instrumentos de representação, facilita a descoberta de relações entre os elementos do projeto, possibilitando a emergência de idéias?
- Quais os sinalizadores das soluções criativas?
- Como é possível delimitar o espaço de busca por soluções, de forma sistemática e eficaz?

1.2 Justificativa

Em arquitetura, os requisitos iniciais de projeto evidenciam, cada vez mais, aspectos conflitantes, que envolvem objetivos contraditórios por parte dos intervenientes no projeto: projetista, cliente, construtora, comunidade, usuários, legisladores etc.

Conforme Savransky (1998), apud De Carvalho (1998), diante dos diversos conhecimentos específicos inseridos nos atuais projetos, cada vez mais complexos, que muitas vezes constituem-se em parâmetros contrários ou conflitantes, o projetista tem três maneiras de lidar com a situação: a extremista, a do estabelecimento de

compromissos e a criativa. A maneira extremista corresponde ao atendimento adequado a um dos requisitos e ao não atendimento ao requisito conflitante: o privilégio de um aspecto considerado sobre o outro. Os métodos tradicionais de otimização em engenharia são exemplos de tomadas de decisão extremistas. O estabelecimento de compromissos (*trade-off*) corresponde à forma mais freqüente de resolver conflitos na engenharia, onde uma solução aceitável é selecionada, de forma a dissolver o problema. A maneira criativa de solucionar requisitos conflitantes não busca o atendimento a um único requisito, nem o estabelecimento de um compromisso entre os mesmos: a solução criativa é aquela que encontra nos requisitos, aparentemente conflitantes, impulso para gerar inovações e descobertas.

A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ), criada por Genrikh Altshuller na ex-URSS como uma nova ciência para a teoria da invenção, oferece uma abordagem sistemática que capacita a forma criativa de solução de problemas. A metodologia compreende diversas técnicas e consiste essencialmente na reestruturação do problema de projeto específico em um problema genérico, cuja solução tenha princípios referenciais consolidados.

O modelo, surgido em 1946, teve a sua divulgação no Ocidente após o término da Guerra Fria, nos anos 80, expandindo-se na área de Desenvolvimento de Produtos, onde a inovação é um pré-requisito estratégico. A partir de então, tem sido desenvolvido e adaptado através do trabalho de vários pesquisadores, que vêm expandindo a sua base de dados e acrescentando ferramentas mais adequadas a outras áreas correlatas. Essa expansão da TRIZ para outras áreas vem ocorrendo com sucesso, como por exemplo, no campo empresarial (MANN, DOMB, 1999; MANN, 2000) e em outras áreas não técnicas (RAWLINSON, 2002).

O conjunto de características dos problemas de projeto arquitetônicos citados no início desta introdução e a falha nas metodologias sistemáticas na abordagem do processo conceitual de projeto levaram-nos à exploração da TRIZ como um novo paradigma na resolução de problemas complexos de projeto arquitetônico. A proposta de utilização da TRIZ nas etapas iniciais do processo visa possibilitar a delimitação de um espaço de busca por soluções, de forma sistemática e eficaz,

integrando-se assim, aos demais modelos de projeto, preenchendo uma lacuna existente.

1.3 Escopo e Contribuição do Trabalho

O estudo proposto incorpora uma abordagem diferenciada aos modelos de suporte ao projeto, porque focaliza o projeto conceitual, englobando o tratamento de parâmetros conflitantes. Dessa forma, pode proporcionar contribuições importantes para a Sistematização do Processo de Projeto Arquitetônico, uma vez que:

- focaliza a fase inicial do processo de projeto, onde são tomadas decisões fundamentais sobre o produto final desenvolvido;
- incorpora a contradição de parâmetros e requisitos de projeto como um insumo freqüente;
- propõe a exploração de uma metodologia geral para uso específico.

O objetivo é discutir, através da metodologia proposta, as principais questões levantadas no item 1.1. Pretende-se assim:

- levantar alguns modelos de suporte à solução criativa de problemas;
- propor a utilização de um modelo - a TRIZ - nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de projetos de Arquitetura, através da adaptação dos seus princípios a esta área específica;
- executar um estudo de caso, na tentativa de validação do modelo proposto;
- derivar conclusões a partir dos resultados obtidos.

1.4 Metodologia

Trata-se de uma pesquisa qualitativa de abordagem exploratória, onde serão adotados estudos de caso, com o objetivo de buscar uma "estratégia de classificação de um fenômeno aparentemente imponderável que, fixando premissas de natureza ontológica e semântica, instrumentaliza o reconhecimento do evento, a análise de seu comportamento e suas relações com outros eventos" (PEREIRA, 2001, p.21). A figura 1 representa, esquematicamente, o método de pesquisa utilizado.

Figura 1 - Método de Pesquisa utilizado.

1.5 Organização do Texto

O texto está estruturado em sete capítulos. O capítulo 1 introduz o contexto da pesquisa, evidenciando as questões a serem estudadas e delimitando o escopo e a contribuição do trabalho. O capítulo 2 faz uma classificação de alguns tipos de modelos de suporte à criatividade em projeto, bem como uma revisão bibliográfica da metodologia proposta - a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ). No capítulo 3 discute-se o uso dos conceitos fundamentais da TRIZ para projetos de arquitetura, apresentando a adaptação dos Princípios Inventivos (PIs) para o campo específico. No capítulo 4, os conceitos discutidos, especialmente os PIs, são identificados e analisados em três projetos existentes. O capítulo 5 apresenta um estudo de caso real com aplicação da metodologia proposta, na tentativa de uma primeira validação do modelo. O capítulo 6 faz uma discussão dos resultados obtidos no estudo de caso real e o capítulo 7 apresenta conclusões e considerações sobre trabalhos futuros na linha de pesquisa deste trabalho.

2 MODELOS DE SUPORTE AO PROJETO CRIATIVO

O processo de projeto envolve diversas habilidades e conhecimentos, utilizados de acordo com os níveis de abstração do problema a ser resolvido. A descoberta de uma solução criativa na fase inicial de projeto é um fenômeno que utiliza vários mecanismos cognitivos, cuja dificuldade de sistematização impede a criação de sistemas de suporte ao projeto verdadeiramente eficazes.

Este capítulo faz uma breve revisão bibliográfica das pesquisas no campo da criatividade em projeto, classifica alguns modelos que podem ser utilizados para suportar o projeto criativo e, finalmente, descreve a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ), cuja utilização para projetos de arquitetura será discutida no capítulo seguinte.

2.1 Criatividade em projeto

A emergência de idéias é um fenômeno central no processo criativo. Nos últimos anos, muitos pesquisadores do campo das Psicologia cognitiva têm devotado sua atenção ao estudo da emergência, na tentativa de entender e explicar esse fenômeno.

Existem inúmeras definições para o termo criatividade. Pesquisadores de várias áreas - Ciência Cognitiva, Psicologia, Inteligência Artificial, Educação, entre outras - propõem conceitos diversos e, muitas vezes, conflitantes. Alencar (1995) apresenta várias dessas definições, que se dividem em diferentes enfoques e categorias, assinalando dois elementos fundamentais, constantes em todas as definições: a geração ou combinação de idéias (originalidade ou re-elaboração) e o fator relevância, que implica na utilização apropriada.

Em projeto, o estudo da emergência dividiu-se em várias direções. A emergência da forma constitui uma das importantes tendências de pesquisa. A caracterização das formas foi baseada principalmente nas suas propriedades geométricas e na sua relação com uma sub-forma, geometricamente derivada das suas formas primárias. Pesquisas empíricas na sintaxe das formas (emergência sintática) conduziram às análises de protocolos de projeto, buscando explorar o comportamento dos projetistas e detalhar os tipos de representações externas que estes desenham e redesenham,

percebem e reformulam no papel. Esse tipo de exploração dá suporte a vários trabalhos de manipulações de formas e relações forma-entidade em desenhos de projeto (GERO, 2000; LIU, 2000).

Outra direção de estudo sobre a emergência é a abordagem conjunta entre percepção e cognição (emergência semântica). O estudo da natureza das representações simbólicas e sua interpretação são os principais componentes numa visão perceptual-cognitiva da emergência. Exemplos de tais esforços de pesquisa são os estudos dos processos de representação, os atributos cognitivos dos desenhos e os esboços como linguagens ou sistemas de símbolos, bem como a forma de interação de tais representações (GOLDSHMIDT, 1991; GOEL, 1995).

Uma terceira direção de pesquisa é a emergência cognitiva. Segundo Oxman (2002), a emergência cognitiva requer a habilidade de generalizar o evento perceptivo, a fim de mapeá-lo em uma estrutura do conhecimento já armazenado na memória. Do ponto de vista cognitivo, os projetistas entendem as formas e as suas relações como "estruturas subjacentes" e são capazes de interpretar configurações de projeto a um nível mais alto, conceitual. A abordagem CBR (Case-Based Reasoning) é fundamentada na emergência cognitiva (OXMAN, 1990).

Os vários estudos sobre a emergência conduzem ao reconhecimento da abstração conceitual como premissa de criação. As estruturas conceituais fomentam as estruturas cognitivas do projetista, que operam na geração do projeto. Dessa forma, um alto nível de abstração pode guiar ao conhecimento conceitual, possibilitando acesso ao fenômeno da emergência.

2.2 Modelos de suporte ao projeto criativo

A utilização de modelos de suporte à fase criativa de projeto visa a sistematização dos estágios iniciais do processo de projeto, com o objetivo de estruturar o problema, de forma a aumentar o controle do processo e facilitar a emergência de idéias.

A fim de evidenciar as vantagens de utilização de modelos como suporte ao processo de projeto criativo, foi feita a seguir uma classificação de alguns tipos de modelos que podem, conforme a abordagem, facilitar um ou outro aspecto do projeto. A classificação apresentada é arbitrária, servindo apenas para os objetivos e propósitos

deste trabalho. Não se pretende que seja definitiva, uma vez que há sobreposições das características dos exemplos utilizados. Busca-se apenas ressaltar a estrutura fundamental de cada tipo, a fim de melhor visualizar a contribuição do modelo proposto.

2.2.1 Modelos formais

Modelos formais foram assim classificados como aqueles que tratam do problema da emergência da forma em projeto, fundamentados em estudos de protocolos, os quais relacionaram uma importante característica da natureza do projeto como processo criativo à sua forma de expressão através de desenhos. Vários modelos computacionais foram apresentados como ferramentas de suporte, visando aumentar o potencial de criação de projetos. São os modelos de geração de formas, que introduzem certos mecanismos computacionais - chamados *processos* (combinação, transformação e analogia, entre outros) - criando sistemas computacionais semi-automatizados. Exemplos desses modelos podem ser encontrados em Gero (2000); Soufi, Edmonds (1996).

2.2.2 Modelos estruturais

Modelos estruturais são aqueles que explicitam as relações hierárquicas e funcionais entre os elementos de projeto, facilitando a descoberta dos problemas. A estruturação do problema de projeto é pré-condição para a abordagem sistemática do processo de projeto, como o método proposto por Pahl e Beitz (1996). Exemplo deste tipo de modelo é a Metodologia de Projeto Axiomático (Suh, 2001), onde os procedimentos e técnicas visam à criação de um sistema, no qual as necessidades básicas do usuário são mapeadas, em diferentes domínios, para requisitos funcionais, parâmetros de projeto e variáveis de processo.

2.2.3 Modelos conceituais

Todas as formas de emergência são dependentes de processos cognitivos. Assim, foram considerados modelos conceituais aqueles que buscam estruturar os problemas, não através de uma forma hierárquica, mas pelas relações entre as idéias, com vistas a possibilitar análises para posterior tomada de decisão. Em Pesquisa

Operacional, existem várias metodologias de apoio à decisão de problemas complexos que se enquadrariam neste tipo de modelo. Como exemplo, pode-se citar os Mapas cognitivos, através dos quais busca-se criar um "sistema de conceitos" que definam as diversas relações entre as idéias que constituem o problema. Os sistemas IBIS (Design Methods, 1998) e IBIS-FRS (Cao, Protzen, 1999) são tentativas de representação do conhecimento do projetista através de conceitos.

2.2.4 Modelos de avaliação

São os sistemas construídos para avaliarem o resultado final proposto. Em geral, todos os modelos precisam incluir uma forma de avaliação da solução obtida. Classificam-se separadamente aqui os modelos propostos especificamente para auxiliar a avaliação de um projeto, gerado por uma metodologia qualquer. Parte-se do pressuposto de que o fator "relevância" é o diferencial entre a criatividade de uma obra puramente artística (uma pintura ou uma música) e uma obra arquitetônica. O sistema IBIS-FRS (Cao, Protzen, 1999) é um exemplo de modelo de avaliação.

2.3 TRIZ

Com exceção dos modelos de geração de formas, que lidam com um aspecto específico da criatividade em projeto, os demais modelos suportam o processo de construção e registro dos problemas, e embora possam facilitar a descoberta de relações entre os seus diversos elementos, não possuem ferramentas de auxílio à geração de idéias, tendo abordagens mais focadas sobre o desenvolvimento posterior das soluções geradas.

A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) é uma metodologia voltada à concepção das idéias, possuindo ferramentas para estruturação, conceituação e avaliação das soluções. Integrada a outros modelos mais amplos, pode contribuir para uma representação global do processo de criação, dando origem a um Modelo de Suporte ao Projeto Criativo. Diversas propostas de integração da TRIZ a outras metodologias do processo de projeto têm sido feitas, como TRIZ e QFD (TERNINKO, ZUSMAN, SLOTIN, 1998); TRIZ e Projeto Axiomático (GOEL, SINGH, 1998); TRIZ e Metodologia Pahl e Beitz (MALMQUIST, AXELSSON, JOHANSSON, 1996).

Dentro da classificação feita anteriormente, alguns trabalhos, no sentido de utilização de modelos para o campo de projetos de arquitetura, já foram realizados. Os modelos formais de reestruturação de formas, em geral, podem ser modelados em sistemas CAD, possibilitando a utilização para qualquer área específica de projeto. Exemplos para arquitetura podem ser encontrados em Liu (1996; 2000). Aplicação do Modelo Axiomático em arquitetura foi realizado por Graça (2002). O sistema IBIS-FRS, como modelo conceitual e de avaliação aplicado em arquitetura, foi exemplificado em Kiatake et al. (2002).

A aplicação da TRIZ para o campo da arquitetura é incipiente. Este trabalho procura contribuir para tal proposição, a partir da adaptação dos Princípios Inventivos (PIs) ao campo específico. Os PIs são a base central de um dos métodos de solução de problemas da teoria - o Método dos Princípios Inventivos e Matriz de Contradições (MPI), cuja aplicação na arquitetura será demonstrada através de estudos de caso, nos Capítulos 4 e 5. O item seguinte mostra um panorama geral da TRIZ.

2.3.1 Panorama Geral da TRIZ

O processo básico de solução de problemas, que se refere à maioria dos problemas cotidianos, segue o padrão geral mostrado na figura 2. Um problema particular é elevado a um problema padrão de natureza semelhante ou análoga; uma solução padrão é conhecida, da qual se origina a solução particular do problema.

Figura 2 - Padrão geral de solução de problemas.

Os métodos tradicionais de geração de idéias, como o Brainstorming, por exemplo, procuram encurtar o caminho, passando diretamente do "meu problema" para a "minha solução". Entretanto, esse tipo de abordagem oferece algumas desvantagens:

- o número de tentativas para se chegar a uma solução aumenta de acordo com a complexidade do problema. Assim, um problema complexo, como é a maioria dos problemas de projeto, exige um número infinito de tentativas aleatórias para se encontrar a solução, o que torna o método uma extensão, em maior ou menor grau, do tradicional método "tentativa-e-erro";
- embora formado por um grupo interdisciplinar, sempre será virtualmente impossível ter um grupo representado por todas as áreas relevantes ao problema. Em decorrência, pode ocorrer a chamada inércia psicológica, onde as soluções consideradas geralmente estão dentro da própria experiência da pessoa e não existe busca de tecnologias alternativas para desenvolver conceitos novos. O efeito da inércia psicológica é mostrado na figura 3;

Figura 3 - Efeitos limitantes da inércia psicológica.

- pelo fato de ser baseado em ferramentas psicológicas, como intuição e criatividade, os métodos tradicionais dificultam a transmissão de conhecimentos e experiências para outras pessoas.

Uma abordagem alternativa ao processo inventivo é aquela em que o problema é tomado a um nível de abstração mais alto, no qual o processo de solução ocorre

através da sua conversão ao padrão normal de solução de problemas (figura 2). A TRIZ fornece meios para que esse processo seja possível, facilitando a criação de projetos melhores, em menos tempo. O método supera os efeitos limitantes da inércia psicológica, através de um mapa de solução que cobre amplas disciplinas científicas e tecnológicas.

2.3.1 Histórico

Buscando criar uma teoria da invenção, Altshuller procurou satisfazer as seguintes condições (Glenn Mazur, 1995):

1. ser um procedimento sistemático, passo-a-passo;
2. ser um guia através de um espaço amplo de soluções, a fim de direcionar à solução ideal;
3. ser reproduzível e confiável, não dependente de ferramentas psicológicas;
4. ser capaz de acessar o corpo de conhecimento inventivo;
5. ser capaz de acrescentar ao corpo de conhecimento inventivo;
6. ser familiar o suficiente aos inventores, seguindo a abordagem geral para solução de problemas da figura 2.

Durante dois anos, Altshuller estudou 200000 patentes de invenções, identificando padrões frequentemente utilizados nas patentes mais inovadoras. Ele definiu cinco níveis inventivos, baseados no seguinte critério:

- quanto o conhecimento utilizado para definir o conceito de solução era remoto da área de conhecimento do inventor,
- o número teórico de tentativas e erros para se chegar a uma solução, e
- quanto a solução final foi substancial para mudar a solução original.

A tabela I resume a classificação de Altshuller - grau de inventividade, porcentagem de soluções inventivas e ordem de grandeza de opções a serem analisadas para encontrar a solução.

Tabela I - Níveis de inventividade

Nível	grau de inventividade	%	definição	ordem de grandeza de opções
1	solução aparente ou convencional	32	solução por métodos bem conhecidos dentro da especialidade	10
2	pequena invenção dentro do paradigma	45	aprimoramento de um sistema existente, geralmente com algum compromisso	100
3	invenção substancial dentro da tecnologia	18	aprimoramento tecnológico essencial de um sistema existente	1000
4	invenção fora da tecnologia	4	nova geração de projeto, utilizando ciência, não tecnologia	10000
5	Descoberta	1	principal descoberta e nova ciência	100000

Nível 1: soluções óbvias extraídas de algumas opções claras. Não são consideradas invenções, mas extensões estreitas ou aprimoramentos de um sistema existente, que não foi substancialmente alterado. Exemplo de invenção de nível 1 é o aumento da espessura de paredes em residências para permitir maior isolamento. É uma boa solução de engenharia, mas não é identificada e eliminada nenhuma contradição.

Nível 2: soluções que resolvem uma pequena contradição de projeto através do estabelecimento de algum compromisso óbvio e requer conhecimento de um único campo de tecnologia. Exemplo: o uso de colunas ajustáveis de direção em um automóvel, para aumentar a extensão de tipos diferentes de corpos que possam dirigir confortavelmente.

Nível 3: invenções onde uma contradição é resolvida dentro do sistema existente, frequentemente através da introdução de um elemento tecnológico inteiramente novo. Este tipo de solução pode envolver centenas de idéias, testadas por tentativa-e-erro. Exemplo: substituição da transmissão padrão de um carro por uma transmissão automática.

Nível 4: soluções encontradas na ciência, não na tecnologia, que envolvem um princípio completamente diferente para uma função primária. Nessas soluções, uma contradição é eliminada porque a sua existência é impossível dentro do novo sistema. Um exemplo é a limpeza de superfícies através da utilização de cavidades criadas por ultra-som, que provoca microexplosões na superfície a ser limpa.

Nível 5: são as soluções encontradas fora do conhecimento científico contemporâneo, que ocorrem quando um novo fenômeno é descoberto e aplicado a um problema inventivo. Normalmente, uma descoberta de nível 5 acarreta

descobertas e invenções nos outros quatro níveis. Exemplo deste tipo de invenção é a descoberta do laser.

Altshuller focalizou sua investigação sobre os princípios usados nos níveis 2, 3 e 4. Soluções de nível 1 não foram consideradas inovadoras e soluções de nível 5 ofereciam um número de exemplares muito pequeno. Além disso, ele acreditava que qualquer pessoa poderia desenvolver inovações de níveis 2, 3 e 4, e que isso cobriria 90% dos problemas inventivos.

O nível de inventividade dentro de um campo pode ser caracterizado em uma extensão de nível 1 (conhecimento pessoal) a nível 5 (conhecimento universal). O conhecimento universal representa o conjunto de toda a informação conhecida. Dessa forma, uma alteração de paradigma para um engenheiro mecânico que está trabalhando sobre um problema pode ser fornecida por seu filho, usando um novo conhecimento assimilado em um curso de química. O nível de inovação aumenta quando os inventores se movem para fora do seu campo normal de investigação (figura 4).

Figura 4 - Solução ideal fora do campo conhecido.

Através da análise das patentes, Altshuller identificou padrões com dois componentes principais: regularidades na evolução de um projeto e *princípios* comuns utilizados em soluções de áreas diversas. As regularidades formaram as Leis de Evolução dos Sistemas Técnicos (ver item 2.3.5 adiante), e os *princípios* extraídos evidenciaram a sua classificação, dando origem a uma das ferramentas mais

difundidas da TRIZ - o Método dos Princípios Inventivos e Matriz de Contradições (MPI), descrito no item 2.3.6.

De 1946 a 1985, Altshuller e seus colaboradores desenvolveram diversas ferramentas que compõem a TRIZ clássica. Pelo fato de ter sido desenvolvida na antiga União Soviética, a maior parte da literatura da TRIZ foi publicada em russo, o que dificultou e retardou a sua divulgação mundial, que tem ocorrido há pouco mais de uma década. Apesar de tratar-se de uma teoria geral, sua aplicação inicialmente restringiu-se ao campo do Desenho Industrial, devido ao embasamento dos seus princípios e parâmetros. Atualmente, a expansão da TRIZ para outras áreas do conhecimento, como Administração, Comércio, Pedagogia e Arquitetura, vem ocorrendo.

2.3.2 Filosofia TRIZ

Mais de 40 anos de estudos de patentes, tomados de diferentes áreas de engenharia, resultaram em diversas descobertas importantes que formam a filosofia TRIZ (SUSHKOV, MARS, WOGNUM, 1995):

- 1) Todos os sistemas de engenharia evoluem de acordo com as mesmas regularidades, independentes do domínio ao qual eles pertencem. Essas regularidades podem ser estudadas e usadas eficientemente para solução de problemas, bem como para prever a posterior evolução de qualquer sistema de engenharia;
- 2) Os sistemas de engenharia, assim como os sistemas sociais, evoluem através da eliminação de vários tipos de conflitos. O conjunto básico de princípios para eliminar os conflitos é universal para todos os domínios da engenharia. A origem dos princípios é baseada na regularidade do desenvolvimento dos sistemas de engenharia;
- 3) Qualquer problema inventivo pode ser representado como um conflito entre novos requisitos e parâmetros de um sistema prototípico, capaz de agrupar esses requisitos. Encontrar uma solução inventiva para o problema significa resolver o conflito, sob a condição de que um compromisso é inadmissível;
- 4) Na busca de uma solução inventiva para um problema formulado como um conflito, existe, frequentemente, a necessidade de empregar conhecimento físico

desconhecido ao domínio do engenheiro. Para organizar e direcionar a busca pelo conhecimento apropriado, deve-se recorrer a indicadores de fenômenos físicos. Nesses indicadores, os efeitos físicos devem ser classificados de acordo com as *funções técnicas* que podem realizar.

2.3.3 Estrutura TRIZ

A TRIZ é estruturada em diversas partes, de acordo com os objetivos de cada técnica e o tipo de modelo de problema ao qual a técnica opera. A TRIZ clássica (figura 5), desenvolvida por Altshuller e seus colaboradores, é composta por:

- (a) Leis baseadas nos principais conceitos da teoria, bem como nos padrões de evolução dos Sistemas Técnicos (STs);
- (b) Métodos para formulação de problemas;
- (c) Métodos para a solução de problemas.

Além disso, Altshuller, nos seus últimos anos de trabalho, pesquisou diversas biografias de pessoas consideradas criativas, delineando estratégias para o desenvolvimento da criatividade pessoal. Conforme De Carvalho (1998), Altshuller e seu colaborador Vertkin delinearam seis partes principais da estratégia criativa pessoal:

- 1 - a definição de uma meta socialmente significativa;
- 2 - o planejamento e controle dos movimentos contra o ambiente;
- 3 - a administração da capacidade de trabalho e do tempo;
- 4 - a tecnologia adequada para a solução de problemas (TRIZ);
- 5 - a capacidade de suportar os ataques do ambiente;
- 6 - formas de obtenção contínua de resultados.

Figura 5 - Estrutura da TRIZ clássica

(De Carvalho, Back, 1998): (a) Leis básicas e Padrões de Evolução; (b) Métodos para formulação de problemas; (c) Métodos para solução de problemas.

A classificação dos diferentes Métodos de solução de problemas da TRIZ 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 e problema de inovação. A etapa do processo de solução diferencia entre análise preliminar e solução de problemas.

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

Os métodos para solução de problemas são: análise de contradições, análise Campo-Substância, ARIZ, análise de interações, método das partículas, método de

separação, uso de efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos, e método dos Princípios Inventivos.

O presente trabalho se concentrará no método de solução de problemas mais difundido da TRIZ - o Método dos Princípios Inventivos e Matriz de Contradições (MPI). Para isso, a seguir será feita uma breve descrição dos principais conceitos da teoria (item 2.3.4) e dos padrões de evolução dos sistemas técnicos (item 2.3.5); em seguida descrever-se-á o MPI (item 2.3.6), cuja utilização no campo da arquitetura será explorada no capítulo 3.

2.3.4 Principais conceitos

Os conceitos fundamentais da TRIZ são *idealidade*, *recursos* e *contradições*.

▪ *Idealidade* é definida como a razão entre a funcionalidade útil (FU) realizada pelo sistema e os efeitos prejudiciais indesejados ou perdas necessárias (FP) para cumprir essa funcionalidade. Efeitos úteis são todos os resultados valiosos do funcionamento do sistema. Efeitos prejudiciais ou indesejados são os custos do sistema.

$$Idealidade = \frac{todos\ os\ efeitos\ úteis}{todos\ os\ efeitos\ indesejados}$$

Dessa forma, quanto maior o resultado, melhor o sistema, ou mais próximo do ideal. Conforme Terninko, Zusman, Slotin (1998), esta medida teórica sugere que nós procuremos projetos que:

- a. aumentem o numerador, acrescentando ou aprimorando as FUs;
- b. diminuam o denominador, removendo funções desnecessárias ou combinando os subsistemas; ou
- c. aumentem o numerador a uma taxa mais rápida que o denominador.

Altshuller identificou uma tendência geral de evolução dos Sistemas Técnicos, que levou a uma das leis básicas da TRIZ - a Lei da Idealidade Crescente, segundo a qual os Sistemas Técnicos de Engenharia (STs) tendem a evoluir em relação a graus de idealidade crescente. De acordo com essa lei, todo processo de evolução dos STs

segue uma série de curvas-S², cujos passos podem ser previstos. Os padrões de evolução dos Sistemas Técnicos são descritos no item 2.3.5.

- *Recursos* são quaisquer substâncias disponíveis no sistema ou no seu meio ambiente, que possuem habilidades funcionais ou tecnológicas ainda não utilizadas. Exemplos de recursos: Recursos de substância (perda, fluxo, propriedades da substância); recursos de campo (energia do sistema, energia do meio ambiente); recursos de espaço (espaço vazio, outra dimensão, arranjo vertical, aninhamento); recursos de tempo (pré-trabalho, operações paralelas); recursos informacionais (trânsito de informação, mudança de estado de informação); recursos funcionais (espaço do recurso dentro da função primária, utilização de efeitos indesejados, utilização de funções secundárias geradas).

A TRIZ recomenda a exploração máxima de recursos disponíveis em um sistema. A simples descoberta desses recursos, muitas vezes, pode revelar oportunidades para melhorar um sistema.

- *Contradições* são requisitos conflitantes em um mesmo sistema. Em termos de metodologias de projeto, o conceito de contradição é o que mais diferencia a TRIZ das outras abordagens metodológicas.

Conforme Savransky (2000), ao contrário de um projeto de rotina que conduz a uma suavização da contradição (o dogma "*TRADE-OFF*" ou solução de compromisso) ou à escolha de combinações preferenciais em um conflito (o princípio OU... OU), um projeto baseado na TRIZ aspira identificar e resolver a contradição, criando um sistema, na qual o aprimoramento de uma característica não é acompanhado pela deterioração de outra (o dogma E... E, o novo paradigma que talvez seja o condutor da engenharia futura).

Existem dois tipos de contradições: *contradição técnica* e *contradição física*. Uma contradição é chamada de *técnica* quando as alternativas conhecidas disponíveis aprimoram um aspecto do projeto à custa de outro aspecto, ou seja, a melhoria do parâmetro "A" do sistema piora o parâmetro "B". Uma contradição é chamada de *física* quando algum aspecto do sistema deve ter dois estados opostos (por exemplo, quente e frio). De acordo com Altshuller, um problema inventivo contém, pelo

² ilustrado em Terninko, Zusman, Slotin (1998), p. 129.

menos, uma contradição. A exploração de contradições existentes em um sistema é um meio de descobrir soluções criativas. A TRIZ contém várias ferramentas de eliminação de contradições. A principal delas é a Matriz de Contradições (anexo C), a partir da qual pode-se acessar os Princípios Inventivos (anexo A) utilizados por inventores de diversas áreas, na resolução de contradições semelhantes. O Método dos Princípios Inventivos e Matriz de Contradições será explicado no item 2.3.6.

2.3.5 Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos

Os padrões de evolução dos STs descrevem como ocorre o desenvolvimento de um sistema. Correspondem às regularidades encontradas por Altshuller, através da análise de STs oriundos de diferentes áreas. Identificando o padrão do sistema atual, é possível prever como ocorrerá o seu desenvolvimento, provocando assim, um comportamento antecipado do futuro.

Altshuller formulou oito padrões de evolução, ilustrados na tabela II através de exemplos:

1. Evolução em estágios
2. Idealidade Crescente
3. Desenvolvimento não uniforme de subsistemas
4. Dinâmica e controle crescentes
5. Complexidade crescente, seguida de simplicidade (Redução)
6. Combinação e descombinação de partes
7. Transição para micro-sistemas e uso crescente de campos
8. Envolvimento humano decrescente

Tabela II - Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos (Glenn Mazur, 1995)

Estágio	Padrão	Exemplo
1.	<p>Evolução em estágios.</p> <p>A tecnologia segue o ciclo de vida: nascimento, crescimento, maturidade e declínio.</p>	<p>Estágio 1. O sistema ainda não existe, mas estão sendo desenvolvidas condições importantes para a sua emergência.</p> <p>Estágio 2. Um novo sistema aparece devido a uma invenção de alto nível, mas o desenvolvimento é lento.</p> <p>Estágio 3. A sociedade reconhece o valor do novo sistema.</p> <p>Estágio 4. Acabam os recursos do sistema original.</p> <p>Estágio 5. Emerge a próxima geração do sistema para substituir o sistema original.</p> <p>Estágio 6. Algum uso limitado do sistema original pode coexistir com o novo sistema.</p> <p>Exemplo: avião</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tentativas manuais de voar fracassam. 2. Irmãos Wright voam em um biplano à 30mph. 3. Utilização pelo Exército. Recursos financeiros disponíveis. Velocidade aumenta para 100mph. 4. Estrutura aerodinâmica de madeira e corda alcançam o limite. 5. Monoplano de estrutura metálica é desenvolvido. 6. Diversos tipos novos de aviões foram desenvolvidos, mas algum uso limitado de biplanos ainda existe.
2.	Idealidade Crescente.	O computador ENIAC em 1946 pesava muitas toneladas, ocupava uma sala e realizava funções computacionais. Em 1995, o Toshiba Portégé 610CT pesava 4.5 libras e era capaz de fazer processamento de texto, cálculos matemáticos, comunicação, gráfico, vídeo e som.
3.	Desenvolvimento não uniforme dos subsistemas resulta em contradições.	Os subsistemas têm diferentes curvas de ciclos de vida. Subsistemas primitivos seguram o desenvolvimento do sistema total. Um erro comum é concentrar-se em melhorar o subsistema errado. Aerodinâmicas pobres foram limitações aos primeiros aviões, porque os projetistas se concentraram na força da máquina ao invés de melhorar a aerodinâmica.
4.	Dinâmica e controle crescentes.	Os primeiros automóveis eram controlados por velocidade da máquina, depois veio a caixa de câmbio manual, seguida de transmissões automáticas e transmissões continuamente variáveis (CVT).
5.	Complexidade crescente, seguida de simplicidade, através de integração.	Sistemas de música estéreo evoluíram somando componentes separados como speakers, rádio AM/FM, toca fitas cassete, CD player etc. para "boom box" integrado.
6.	Combinação e descombinação de partes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Os primeiros automóveis usavam feixe de molas para absorver a vibração. Esses feixes eram uma reunião de partes descombinadas emprestadas de carruagens de cavalos e qualquer outra coisa disponível. 2. Mais tarde, refinamentos permitiram ajustes das partes, de forma que elas fossem combinadas em um sistema - o amortecedor. 3. Propositadamente, as partes descombinadas criam recursos adicionais das diferenças. Um exemplo poderia ser a utilização de uma mola bimetalica que mudasse o coeficiente da mola quando uma corrente fosse aplicada. 4. Combinação e descombinação automáticas, conforme necessário. Por exemplo, o controle de um sistema de suspensão ativo por computador.
7.	Transição de macro-sistemas para micro-sistemas, utilizando campos de energia para alcançar melhor desempenho ou controle.	Desenvolvimento de sistemas de cocção: fogão à lenha - gás - forno elétrico - forno microondas.
8.	Envolvimento humano decrescente, com automação crescente.	Desenvolvimento de lavagem de roupas: tanque - máquina de lavar com campainha - máquina de lavar automática - máquina de lavar automática com compartimentos para alvejante e amaciante.

2.3.6 Método dos Princípios Inventivos e Matriz de Contradições (MPI)

O MPI é a ferramenta mais difundida dos métodos da TRIZ.

Princípios Inventivos são heurísticas para resolução de um determinado problema. Foram obtidos a partir da generalização e agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de STs de diferentes áreas. Correspondem aos princípios regulares utilizados em soluções inovadoras, identificados no desenvolvimento de projetos através da análise de uma grande quantidade de patentes. Altshuller formulou 40 Princípios Inventivos, mostrados na tabela III. A descrição completa de cada um deles é ilustrada no Anexo A.

Tabela III - Princípios Inventivos

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

Existem duas formas de utilização dos PIs. A primeira é o uso direto, que consiste em simples análise de cada um dos princípios e aplicação analógica ao ST a ser melhorado. Pode-se tentar aplicá-los na ordem de frequência de utilização (ver Apêndice). A segunda forma de aplicação é através da Matriz de Contradições e corresponde a: identificação de contradições dentro do ST, modelagem em parâmetros de engenharia conflitantes (tabela IV e anexo B), uso da matriz (anexo C) e aplicação dos PIs (tabela III e anexo A). Os 39 Parâmetros de Engenharia identificados por Altshuller são relacionados na tabela IV. A descrição de cada um deles é ilustrada no Anexo B.

Tabela IV - Parâmetros de Engenharia

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

A Matriz de Contradições (Anexo C) permite o cruzamento dos parâmetros de engenharia conflitantes, sugerindo princípios que já foram utilizados anteriormente na resolução de uma contradição análoga. No cruzamento das linhas com as colunas estão os números dos PIs mais utilizados para a solução da contradição dos parâmetros conflitantes. A figura 6 ilustra o processo do MPI.

Figura 6 - Solução de problemas com os Princípios Inventivos (Altshuller, 1969, apud De Carvalho, 1999).

Exemplo de uso do MPI: lata de refrigerante (De Carvalho, Back, 1998)

Ao projetar uma lata de refrigerante, deseja-se diminuir a quantidade de material utilizado para fabricar a lata e, ainda assim, manter a integridade estrutural da mesma, para possibilitar o empilhamento. Se a quantidade de material utilizada é diminuída, a altura de empilhamento admissível também diminui, o que é indesejável. Analisando-se os parâmetros de engenharia conflitantes, chega-se aos PR-4 (Comprimento do objeto parado) e PR-11 (Tensão ou Pressão). Consultando a Matriz de Contradições obtém-se os seguintes PIs: PI-1 (Segmentação ou Fragmentação); PI-14 (Recurvação); PI-35 (Mudança de Parâmetros e Propriedades) (figura 7).

A partir dos PIs sugeridos, pode-se chegar a algumas opções de solução:

- a) O PI-1 pode levar ao conceito, já aplicado, de latas corrugadas, o que aumenta a resistência mecânica das latas, mas não economiza material;
- b) O PI-35 pode levar a uma concepção que inclui o tratamento térmico das latas para aumento da resistência, porém com impacto negativo sobre o custo;
- c) A maior parte das latas de refrigerante utilizadas atualmente é uma aplicação do PI-14. O formato recurvado faz com que a pressão interna seja aproveitada para aumentar a resistência mecânica. Esta solução é a mais próxima do ideal, já que faz uso de um recurso disponível no sistema e anteriormente não utilizado (pressão).

<div> <div>Resultado Indesejado</div> <div>Característica a alterar</div> </div>		...	10	11	...	39
				Tensão ou Pressão		
...	...					
4	Comprimento do objeto parado			1, 14, 35		
5	...					
39	...					

Figura 7 - Princípios encontrados na Matriz de Contradições.

É importante ressaltar que a aplicação do MPI e da Matriz de Contradições exige um alto grau de abstração. Os princípios reunidos na TRIZ configuram as soluções de problemas obtidas pelas melhores mentes inventivas do mundo. Baseada no banco de dados de Patentes Mundial, a TRIZ efetivamente atravessa os limites entre as diferentes áreas do conhecimento, oferecendo meios para que os profissionais acessem vários outros campos da ciência, a partir do processo básico de solução de problemas ilustrado na figura 2. Entretanto, a metodologia demanda treinamento, para que o projetista seja capaz de mapear o seu problema específico em um problema genérico da TRIZ. A tabela V ilustra a comparação do tempo de aprendizagem entre os diferentes métodos de geração de idéias tradicionais existentes.

Tabela V - Tempo de aprendizagem (De Carvalho, 1999)

Curto (até 8 horas)	Médio (até 40 horas)	Longo (mais que 40 horas)
Brainstorming Brainwriting Lateral Thinking	Sinética Análise e Síntese Funcional Método Morfológico	TRIZ

2.3.7 Suporte Computacional

A primeira tentativa de automatizar a TRIZ foi o desenvolvimento da *Invention Machine*, que é um sistema de hipertexto, contendo três técnicas de solução de problemas: princípios inventivos, padrões inventivos e coleções de efeitos científico-de-engenharia³. Atualmente, vários *software* são comercialmente disponíveis para o desenvolvimento de projetos de engenharia, como o *Improver*, *Ideator*, *Eliminator* e *Inovation WorkbenchTM (IWB)*⁴. Através da sua estrutura de solução de problemas genérica, a TRIZ oferece uma metodologia de inovação sistemática amigável, onde várias ferramentas computacionais podem ser integradas, favorecendo a sua aplicação. No entanto, o estudo de caso proposto no capítulo 5 não será suportado por nenhum pacote computacional, restringindo-se à utilização dos conceitos da TRIZ.

³ ver www.invention-machine.com

⁴ ver site da IDEATION INTERNATIONAL INC., <http://www.ideationtriz.com>.

3 USO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA TRIZ EM PROJETOS DE ARQUITETURA

As décadas de 60 e 70 foram marcadas por grandes debates sobre métodos e processos projetuais na arquitetura. Nesse contexto, emergiram propostas relevantes para a prática projetual, como as de Alexander (1969), Jones (1970) e Archer (1973). São classificados como a primeira geração de métodos de projeto, cuja busca comum foi a racionalização do processo de projeto e o desenvolvimento de formas de análise.

Rittel (Design Methods, 1998) teceu crítica aos métodos da primeira geração, sugerindo que, embora com diferentes características e enfoques, estes seguiam uma série linear de passos, tratando os problemas de projeto como se fossem problemas bem estruturados (*tame problems*), quando na verdade, são problemas complexos, mal estruturados (*wicked problems*). Por esse motivo, as metodologias propostas não resultaram em grandes progressos. E, ao contrário dos métodos da primeira geração, propôs um modelo argumentativo baseado na dúvida, e realizado, passo a passo, com um ciclo de posição, argumentação e decisão, repetidos continuamente. Enfatizando a participação social no processo de projeto, assim como Grant (1982) e Cao (1999), estes métodos foram conhecidos como a segunda geração de métodos de projeto.

A partir de então, as pesquisas sobre Métodos de Projeto diversificaram-se em inúmeras abordagens, escopos e filosofias, enfocando sobre aspectos ora abstratos, ora concretos, ora sobre o artefato produzido, ora sobre o processo de projeção.

Dülgeroglu-Yüksel (1999) demarca o surgimento da terceira geração de métodos de projeto com incorporação da teoria do conhecimento à filosofia de projeto por Karl Popper (1968), tendo também como representantes Lakatos e Kuhn. A terceira geração vê a pluralidade como um valor positivo, o conflito como inevitável e essencial, e define como *melhor solução* aquela que "melhor preenche o padrão de requisitos conflitantes, porque o problema é multifacetado, de acordo com as diversas pessoas envolvidas, e, geralmente, com propósitos não compatíveis e conflitantes em relação ao mesmo objeto" (Dülgeroglu-Yüksel, 1999, p. 2875).

Dentro dessa classificação, a abordagem filosófica da TRIZ coincide com a visão da terceira geração das metodologias de projeto, e a sua aplicação à arquitetura, nesse sentido, vem de encontro à proposição de um método inédito representativo da mesma.

A utilização da TRIZ no campo da Arquitetura ainda não teve aplicação prática. Uma forma, sugerida por Mann, Ó'Catháin (2001b) é a utilização de pacotes de "bancos de conhecimentos" organizados por funções (TRIZ-based *software*), através do qual podemos procurar acessar em todas as soluções, já alcançadas por outros inventores, aqueles requisitos funcionais abstratos que formulamos.

Neste capítulo, procuramos adaptar os 40 PIs para utilização específica nesta área, demonstrando que os mesmos podem ser verificados também em soluções arquitetônicas. A adaptação foi desenvolvida a partir do trabalho de Mann, Ó'Catháin (2001a).

3.1 Produto x Construção

Uma das primeiras distinções que se deve ressaltar na utilização da metodologia é a caracterização entre *projeto de produto* e *projeto de arquitetura*. Um produto é algo a ser fabricado pela indústria seriada, em grande escala, cujo propósito é ser utilizado por inúmeros consumidores. A arquitetura, diferentemente, serve em geral a um usuário específico, no caso de residências e sedes de empresas, ou a um usuário desconhecido, no caso de lojas, edifícios de escritórios ou espaços públicos. Em ambos os casos, a construção é essencialmente única e a tecnologia construtiva diferenciada, especialmente nos países subdesenvolvidos onde, muitas vezes, é rudimentar.

Uma segunda distinção entre o processo de projeto de produto e o processo de projeto arquitetônico, e consequência da primeira, é que as soluções criativas em arquitetura, normalmente, não são objetos de certificados e patentes. Dificilmente um arquiteto registra a autoria de uma solução inovadora de projeto. Essa falta de um "banco de dados" específico de invenções arquitetônicas dificulta o mapeamento imediato dos princípios da TRIZ.

3.2 Princípios Inventivos (PIs) para arquitetura

Buscando facilitar o mapeamento citado anteriormente e explorar a aplicabilidade dos conceitos da TRIZ para projetos arquitetônicos, apresenta-se a seguir a adaptação dos 40 PIs para Arquitetura, relacionando objetivos e exemplos específicos da área.

Tabela VI - Objetivos X Princípios

OBJETIVO	PRINCÍPIOS IDENTIFICADOS
Conforto Visual (Estética)	2, 13, 14, 32, 33, 35
Conforto Olfativo	2
Conforto Acústico	2, 18, 31, 39
Conforto Térmico	3, 13, 17, 29, 32, 35, 36, 38
Eficiência	5, 6, 9, 13, 14, 17, 18, 19, 23, 25, 28, 33, 35, 36, 40
Ergonomia	4
Equilíbrio	8, 12, 24, 39
Flexibilidade	2, 15, 30, 35, 37
Impacto Visual	18, 19
Independência	1
Movimento	15
Praticidade	5, 6, 13, 26, 29, 30
Produtividade	1, 3, 6, 10, 16, 20
Racionalização	1, 4, 7, 13, 14, 17, 19, 20, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 37
Segurança	2, 3, 9, 11, 13, 21

Os objetivos identificados visam relacionar os PIs diretamente às Funções Úteis (FUs) do Sistema Arquitetônico, possibilitando a primeira forma de utilização do MPI, ou seja, a aplicação direta dos PIs ao caso específico, sem o uso da Matriz de Contradições. Estes objetivos correspondem ao propósito do projeto, que pode ser alcançado através de várias FUs. Como exemplo, o objetivo "*racionalização*" (*do espaço*) pode ser obtido através da Função Útil "*dividir em partes*", cujo exemplo seria a "*porta dobrável*", uma aplicação comum do PI-1 (Segmentação). As FUs são identificadas no enunciado dos Princípios e correspondem ao texto original de Altshuller (anexo A).

Os exemplos selecionados buscam esclarecer, de forma didática, possíveis referências utilitárias de cada Princípio⁵ na arquitetura. Na tabela VI apresentamos um resumo dos Objetivos e PIs identificados. No capítulo 4 serão realizados três

⁵ Os exemplos que contêm (*) foram extraídos de Mann (2001a).

estudos de caso que exemplificarão a utilização direta dos PIs adaptados para arquitetura.

PI-1: SEGMENTAÇÃO

- a. Divida um objeto em partes independentes.
- b. Torne um objeto seccionável.
- c. Aumente o grau de segmentação do objeto.

Objetivos:

- Independência (separação de funções)

Exemplo: compartimentação de ambientes por características de uso - a separação de diferentes funções em ambientes diferentes evita interferências indesejadas.

- Produtividade

Exemplo: construção ou elementos pré-fabricados* - facilita montagem/desmontagem e agiliza a execução *in loco*.

- Racionalização

Exemplo: caixilhos de panos múltiplos* - a modulação de caixilhos, proporcional às modulações de forro e piso elevado, facilita o arranjo das paredes divisórias internas, no caso de um edifício de escritórios com salão livre.

Outros exemplos:

- portas dobráveis (racionalização);
- dois circuitos para assegurar a falha em um circuito* (independência);
- recipientes separados para reciclagem de materiais - vidro, papel, lata etc. - em projetos de escritórios* (racionalização);
- em projetos industriais, separação das acomodações de escritório dos aparatos de fabricação* (independência);
- em projetos de hotéis, separação do bloco dos dormitórios das áreas públicas* (independência);
- divisórias* (independência);
- construção seca* (racionalização);
- galerias de arte e museus podem ter formas e tamanhos diferentes para exibir diferentes tipos de artefatos* (independência).

PI-2: EXTRAÇÃO

- a. Extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade "perturbadora" de um objeto.
- b. Extraia a única parte ou propriedade necessária.

Objetivos:

- Conforto visual

Exemplo: o bloco de serviços em torre separada da torre principal, em edifícios de escritórios, foi uma concepção criativa nos anos 80, que possibilitou amplitude visual no salão livre, flexibilidade para diferentes *layouts* e racionalização (áreas molhadas congruentes).

- Flexibilidade

Exemplo: um dos princípios da Arquitetura Moderna de Le Corbusier - a estrutura externa independente - liberou o espaço interno dos pilares e as paredes estruturais.

- Conforto olfativo

Exemplo: área de fumantes em construções públicas* isola o elemento perturbador (fumante) do espaço coletivo.

- Conforto acústico

Exemplo: localização de equipamentos barulhentos, como aparelhos de ar condicionado etc., fora da construção*.

- Segurança

Exemplo: medidores externos evitam a necessidade das companhias terem acesso à propriedade*.

Outros exemplos:

- estacionamento de veículos no subsolo (conforto acústico, visual e olfativo);
- vidros com estrutura *glazing** (conforto visual);
- colocação de áreas de descanso e de encontro em locais de trabalho* (conforto acústico);
- armários com acesso por chave tanto de dentro quanto de fora permitem entregas de bens quando os ocupantes não estão presentes* (flexibilidade);
- divisões de vidro à prova de barulho em escritórios* (conforto acústico);
- salas de utilidades*; sala de animais domésticos*; garagem* (conforto visual);

- escape de fogo ou elevador externo não interfere na planta* (segurança);
- torre de sino alta reduz o barulho e os efeitos da vibração* (conforto acústico);
- segregação entre pedestres e veículos* (segurança);
- condutores de iluminação* (conforto visual).

PI- 3: QUALIDADE LOCALIZADA

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

Objetivos:

- Conforto térmico

Exemplo: utilização de gradientes de temperatura* - propicia temperatura adequada em diferentes níveis.

- Produtividade

Exemplo: peças de construção especiais, como tijolos de canto, agilizam a montagem construtiva.

- Segurança

Exemplo: espessuras de parede aumentada na base das construções em relação ao topo superior para acomodar maiores cargas estruturais*.

Outros exemplos:

- materiais de construção de acabamento texturizado* (produtividade);
- anti-derrapantes em escadas* (segurança);
- vidros com filmes de baixa emissão* (conforto térmico);
- padrão variável de insolação* (conforto térmico);
- pára-choques em portas* (segurança);
- maior padrão de segurança para janelas do térreo* (segurança).

PI-4: ASSIMETRIA

- Substitua uma forma simétrica por uma forma assimétrica do objeto.

b. Se o objeto já é assimétrico, aumente o grau de assimetria.

Objetivos:

- Ergonomia

Exemplo: diferenciação de *layout* para homens e mulheres* - proporciona maior conforto individual.

- Racionalização

Exemplo: paredes anguladas* muitas vezes otimizam espaços.

Outros exemplos:

- encaixes tipo macho-e-fêmea* (racionalização);
- portas duplas, onde uma folha é maior que a outra* (racionalização);
- um pino elétrico para ligação terra cria uma característica geométrica assimétrica que impede a montagem incorreta do componente* (racionalização);
- assentos de formas humanas* (ergonomia);
- maçanetas de puxar *versus* placas de empurrar* (ergonomia).

PI-5: FUSÃO/ CONSOLIDAÇÃO

a. Combine no espaço objetos homogêneos ou destinados a operações contíguas.

b. Combine no tempo operações homogêneas ou contíguas.

Objetivos:

- Praticidade

Exemplo: torneira mix - conjuga fornecimento de água quente e fria em um único sistema.

- Eficiência

Exemplo: *glazing* duplo ou triplo* - a fusão de vários vidros fornece as características técnicas precisamente necessárias.

Outros exemplos:

- painéis sanduíche* (eficiência);
- grupos cooperativos de construção - parcerias* (eficiência).

PI-6: UNIVERSALIZAÇÃO

Faça o objeto realizar múltiplas funções, eliminando, através disso, a necessidade de alguns outros objetos.

Objetivos:

- Eficiência

Exemplo: sofá-cama* - otimiza e flexibiliza espaços mínimos.

- Produtividade

Exemplo: uso de normas* - a padronização assegura o bom desempenho.

- Praticidade

Exemplo: concreto aparente - dispensa aplicação de revestimentos.

Outros exemplos:

- campainhas com sensores de fumaça* (eficiência);
- armário embutido* (eficiência);
- paredes caixa d'água* (eficiência);
- sensores de presença em capachos* (eficiência);
- caixilhos padronizados de pronta entrega* (produtividade).

PI-7: ANINHAMENTO

a. Coloque um objeto dentro do outro, que por sua vez é colocado dentro de um terceiro objeto.

b. Um objeto passa através da cavidade de outro objeto.

Objetivos:

- Racionalização

Exemplos:

- portas de correr* economizam o espaço de abertura;
- elevadores hidráulicos utilizam pistões de sistema telescópico, que evitam a necessidade de altura.

Outros exemplos de racionalização:

- cofre dentro de uma parede ou sob placas de piso*;
- persianas rolôs*;

- espaço de circulação como rota de retorno do ar quente*;
- cadeiras empilháveis*;
- integração de serviços*;
- shafts*;
- assentos retráteis em auditórios*;
- arquivos deslizantes; ●
- prumadas que passam através da estrutura de uma construção*.

PI-8: CONTRAPESO

- a. Compense o peso de um objeto, juntando a outro objeto que tem uma força de levantamento.
- b. Compense o peso de um objeto, produzindo forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas.

Objetivos:

- Equilíbrio

Exemplos:

- guindastes, elevadores e portões automáticos são acionados através de contrapesos;
- a proporção das formas, muitas vezes, é alcançada através de jogos de volumes, como na Casa da Cascata;
- construções flutuantes*.

PI-9: COMPENSAÇÃO PRÉVIA

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

Objetivos:

- Segurança

Exemplo: concreto protendido* prevê a deformação das barras de ferro sob carga posterior, tracionando as barras antecipadamente.

- Eficiência

Exemplo: MDF* não empena, porque as camadas de madeira são dispostas em vários sentidos, antecipando a característica de contração natural do material.

Outros exemplos:

- projeto sustentável* antecipa as ações de desequilíbrio do meio ambiente (segurança);
- materiais recicláveis* evitam a degradação da natureza (segurança).

PI-10: AÇÃO PRÉVIA

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

Objetivos:

- Produtividade

Exemplos:

- elementos pré-moldados permitem rearranjos posteriores, antecipando possíveis mudanças de uso;
- carpetes em placas antecipam a necessidade de substituição posterior, além de agilizar a colocação inicial.

Outros exemplos de produtividade:

- máquinas para pré-pagamento de estacionamento*;
- concreto de mistura pronta*;
- forro de gesso em placas.

PI-11: AMORTECIMENTO PRÉVIO

Compense a confiabilidade relativamente baixa de um objeto através de contramedidas tomadas antecipadamente.

Objetivos:

- Segurança

Exemplos:

- rodapés protegem a base da alvenaria contra provável desgaste;
- circuitos de iluminação de emergência* e geradores* compensam, antecipadamente, a falta de energia;

- porta corta fogo* compensa, antecipadamente, a propagação do fogo, em caso de incêndio;
- coeficientes de segurança* são utilizados como amortecimento prévio de cargas imprevistas.

PI-12: EQUIPOTENCIALIDADE

Mude a condição de trabalho, de forma que um objeto não necessite ser levantado ou abaixado.

Objetivos:

- Equilíbrio

Exemplo: fachadas com sistemas de controle de temperatura equiparam pressões internas e externas, evitando patologias construtivas*

Outros exemplos:

- fosso para inspeção de automóveis torna desnecessária a instalação de elevadores*;
- normas para atendimento de deficientes equalizam a utilização das edificações para diferentes usuários.

PI-13: INVERSÃO

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

Objetivos:

- Praticidade

Exemplo: esteiras e escadas rolantes* - ao invés da pessoa se movimentar, a esteira se movimenta.

- Segurança

Exemplo: calçadas* são ruas para pedestres e não para automóveis.

- Conforto (térmico e visual)

Exemplo: inversão da concepção tradicional de projeto* - dormitórios no pavimento inferior proporcionam melhor conforto térmico e living no pavimento superior prioriza a vista.

Outros exemplos:

- o sistema "*drive through*"* de lanchonetes e bancos invertem as funções de entrega (praticidade);
- ao invés de projetar cada vez mais estacionamentos, forneça "nenhum" estacionamento* (racionalização).

PI-14: RECURVAÇÃO

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

Objetivos:

- Conforto visual

Exemplo: paredes curvas às vezes evitam efeitos desagradáveis de corredores longos.

- Eficiência

Exemplo: arcos, abóbadas e cúpulas* combinam forma à função estrutural.

- Racionalização

Exemplo: estruturas geodésicas* proporcionam máxima cobertura espacial com mínimo uso material.

PI-15: DINÂMICA

- a. Faça as características de um objeto ou meio ambiente externo automaticamente ajustar-se ao desempenho ótimo, a cada estágio de operação.
- b. Divida um objeto em elementos, capazes de mudar a posição relativa entre eles.
- c. Se um objeto é imóvel, torne-o móvel ou intercambiável.

Objetivos:

- Flexibilidade

Exemplos:

- piso elevado possibilita alterações na configuração de cabeios elétricos, telefônicos, logísticos etc;
- juntas de movimentação* absorvem a contração e expansão dos materiais de construção.

▪ Movimento

Exemplo: sistemas de cobertura automáticos permitem abrir e fechar, conforme a necessidade.

Outros exemplos:

- estruturas anti-sísmicas (movimento);
- carpete em placa (flexibilidade);
- estruturas desmontáveis* (flexibilidade);
- termostatos* (movimento);
- estruturas retráteis (movimento);
- sistemas automatizados em geral: persianas, coberturas, etc. (movimento).

PI-16: AÇÃO PARCIAL OU EXCESSIVA

Se for difícil obter 100% de um efeito desejado, alcance algo "mais ou menos", para simplificar bastante o problema.

Objetivos:

▪ Produtividade

Exemplo: técnica de pintura com máscaras* - pinta-se em excesso - por cima das máscaras - e depois se remove o excesso; isso facilita e agiliza a operação.

Outros exemplos:

- análise de Pareto* (prioriza ações, quando nem tudo pode ser alcançado);
- sistemas de condicionamento de ar coletivos (consideram a satisfação de temperatura de 90% das pessoas).

PI-17: TRANSIÇÃO PARA NOVA DIMENSÃO

- Remove problemas de mover um objeto em linha, permitindo movimentos bidimensionais (ao longo de um plano). Similarmente, problemas de mover um

objeto em um plano são removidos, se o objeto puder ser alterado para permitir movimento tridimensional.

b. Use uma montagem multinível de objetos, ao invés de um único nível.

c. Incline o objeto ou vire-o "sobre o seu lado".

d. Projete imagens sobre áreas vizinhas ou sobre o lado reverso do objeto.

Objetivos:

- Conforto térmico

Exemplo: *bay windows** aumentam a área de superfície para captação de calor, em locais frios.

- Eficiência

Exemplo: o uso de triângulos* melhora a estabilidade estrutural.

- Racionalização

Exemplo: sistemas de elevadores para estacionamento de veículos*.

Outros exemplos:

- estruturas piramidais* (eficiência);
- janelas de canto* (conforto térmico);
- escadas em espiral* (racionalização).

PI-18: VIBRAÇÃO MECÂNICA

a. Ponha um objeto em oscilação.

b. Se existe oscilação, aumente a sua frequência, até mesmo como a ultrassônica.

c. Use a frequência de ressonância.

d. Ao invés de vibradores mecânicos, use piezovibradores.

e. Use vibrações ultrassônicas em conjunção com um campo eletromagnético.

Objetivos:

- Impacto visual

Exemplo: a disposição de um elemento assimétrico ou não perpendicular em um projeto modular diminui a monotonia visual, através da surpresa.

- Conforto acústico

Exemplos:

- paredes não paralelas* previnem eco;
- ruído branco para disfarce de conversação*.

PI-19: AÇÃO PERIÓDICA

- Substitua uma ação contínua por uma periódica (impulso).
- Se uma ação já é periódica, mude a sua frequência.
- Use pausas entre os impulsos para produzir ação adicional.

Objetivos:

- Racionalização

Exemplo: sensores de presença permitem o desacionamento de energia na ausência de pessoas.

- Impacto visual

Exemplo: flashes de luz de advertência chamam mais a atenção do que luzes contínuas.

Outros exemplos:

- bate-estacas (eficiência);
- princípios da Gestalt (força psicológica de organização) para criação de formas desejadas (impacto visual).

PI-20: CONTINUIDADE DA AÇÃO ÚTIL

- Realize uma ação sem quebra - todas as partes de um objeto devem estar constantemente operando à total capacidade.
- Remova um movimento inútil e intermediário.

Objetivos:

- Racionalização

Exemplo: espaços multi-funcionais* não compartimentados garantem, muitas vezes, a utilização "ótima" do espaço.

- Produtividade

Exemplo: sistemas de gestão da qualidade visam o aumento da qualidade do projeto através de procedimentos que implementam melhorias contínuas.

PI-21: ACELERAÇÃO

Realize operações indesejadas ou perigosas a uma velocidade muito alta.

Objetivo:

- Segurança

Exemplo: uso de escorregadores como escape em situações de emergência (incêndio).

Outros exemplos:

- uso de dinamite para implosão de edifícios (segurança).

PI-22: TRANSFORMAÇÃO DE PREJUÍZO EM LUCRO

- Utilize um fator indesejado ou efeito indesejado de um meio ambiente, para obter um efeito positivo.
- Remova um fator indesejado, combinando-o com outro fator indesejado.
- Aumente a quantidade de ação indesejada até que ela deixe de ser indesejada.

Objetivo:

- Racionalização

Exemplos:

- sistema de aquecimento por energia solar;
- sistema de coleta de águas pluviais para reaproveitamento;
- utilização de entulho para enchimentos.

PI-23: RETROALIMENTAÇÃO

- Introduza retroalimentação.
- Se já existe retroalimentação, inverta-a.

Objetivos:

- Eficiência

Exemplo: termostatos e sensores possuem dispositivos de retorno para controle da temperatura.

Outros exemplos de eficiência:

- portas com visor* ;

- avaliação pós-ocupação (APO);
- projeto simultâneo.

PI-24: MEDIAÇÃO

- Use um objeto intermediário para transferir ou realizar uma ação.
- Conecte temporariamente um objeto a outro que seja fácil de remover.

Objetivos:

- Equilíbrio

Exemplos:

- floreiras funcionam como retardadores de águas pluviais, aliviando a absorção do solo;
- hall e salas de estar funcionam como espaços de transição entre ambientes fechados e abertos, evitando o impacto da mudança brusca;
- fachadas "pele de vidro" podem funcionar como zonas de transição térmica.

PI-25: AUTO-SERVIÇO

- Faça o próprio objeto realizar o serviço, bem como operações suplementares e de reparo.
- Use material e energia perdida.

Objetivos:

- Eficiência

Exemplo: venezianas de saída de ar em escadas pressurizadas são autofuncionais, abrindo ou fechando de acordo com a pressão interna.

- Racionalização

Exemplo: poço de água (auto-abastecimento).

Outros exemplos:

- efeito Venturi (racionalização);
- fatores naturais de sombra e orientação solar (racionalização).

PI-26: CÓPIA

- Use uma cópia simples ou barata, ao invés de um objeto que é complexo, caro, frágil ou inconveniente.
- Substitua um objeto ou sistema de objetos por uma cópia ou imagem óptica. Uma escala pode ser usada para reduzir ou aumentar a imagem.
- Se cópias ópticas visíveis são usadas, substitua-as por cópias infravermelhas ou ultravioletas.

Objetivos:

- Racionalização/ Praticidade

Exemplos:

- simulações eletrônicas* e maquetes são protótipos que servem para experimentações;
- materiais com texturas que imitam elementos naturais, muitas vezes, são mais baratos e simplificam o projeto;
- a altura das edificações pode ser determinada através da medida das suas sombras.

PI-27: USO E DESCARTE

Substitua um objeto caro por um conjunto de objetos baratos, comprometendo outras propriedades (por exemplo, a longevidade).

Objetivos:

- Racionalização

Exemplos:

- porta-papéis descartável;
- revestimentos menos duradouros, como pintura, argamassa etc.

PI-28: SUBSTITUIÇÃO MECÂNICA

- Substitua um sistema mecânico por um sistema óptico, acústico ou de odor.
- Use um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interação com o objeto.
- Substitua campos.
- Use um campo em conjunção com partículas ferromagnéticas.

Objetivos:

- Eficiência

Exemplos:

- sensores ópticos, acústicos, fotoelétricos;
- sistemas inteligentes;
- ruído branco.

PI-29: CONSTRUÇÃO PNEUMÁTICA OU HIDRÁULICA

Substitua partes sólidas de um objeto por gás ou líquido. Essas partes podem usar ar ou água para inflar ou usar ar ou amortecimentos hidrostáticos.

Objetivos:

- Praticidade

Exemplo: mobiliário inflável.

- Conforto térmico

Exemplo: refrigeração por sistemas de circulação de água.

- Racionalização

Exemplo: o elevador hidráulico*, muitas vezes, pode substituir o elevador mecânico comum, dispensando espaço para casa de máquinas.

PI-30: USO DE FILMES FINOS E MEMBRANAS FLEXÍVEIS

- Substitua a construção habitual por membranas e filmes flexíveis.
- Isole um objeto do meio ambiente externo com um filme ou membrana finos.

Objetivos:

- Praticidade

Exemplo: coberturas infláveis*

- Flexibilidade

Exemplo: juntas de silicone

- Racionalização

Exemplos:

- vigas de seção I ou T, ao invés de seção sólida*;

- portas com enchimento tipo "favos de mel" *.

PI-31: USO DE MATERIAIS POROSOS

- Torne um objeto poroso ou use elementos porosos adicionais (inserts, tampas etc.).
- Se um objeto já é poroso, preencha os poros antecipadamente com alguma substância.

Objetivos:

- Racionalização

Exemplo: vazios na estrutura* aliviam a carga;

- Conforto acústico

Exemplo: materiais porosos absorvem som.

Outros exemplos:

- elementos vazados (racionalização);
- vácuo entre divisórias impede a propagação do som (conforto acústico);
- concreto celular (racionalização);
- isolamento através de espuma extrudada (conforto acústico).

PI-32: MUDANÇA DE COR

- Mude a cor de um objeto ou do seu entorno.
- Mude a translucidez de um objeto ou do seu entorno.
- Use aditivos coloridos para observar objetos ou processos difíceis de ver.
- Se tais aditivos já são usados, empregue traços luminescentes ou elementos radioativos.

Objetivos:

- Conforto visual

Exemplos: pinturas especiais com efeitos visuais.

- Conforto térmico

Exemplos:

- efeito de cores (conforto térmico e visual);
- efeitos de transparência (conforto visual);

- efeitos de sombra (conforto térmico).

PI-33: HOMOGENEIDADE

Faça os objetos interagirem com um objeto primário do mesmo material, ou de um material similar em comportamento.

Objetivos:

- Eficiência

Exemplos:

- a utilização de materiais com coeficientes de dilatação idênticos* (mesmo material) evita rachaduras;

- metais adjacentes idênticos* evitam a corrosão eletrolítica (ferro e alumínio reagem quimicamente).

- Conforto Visual:

Exemplo: o uso de estilos ou linguagens arquitetônicas homogeneiza o projeto, evitando contrastes desagradáveis.

PI-34: DESCARTE E RECUPERAÇÃO

a. Depois que completou a sua função ou tornou-se inútil, rejeite ou modifique (por exemplo descarte, dissolva ou evapore) um elemento de um objeto.

b. Restaure diretamente qualquer parte já usada de um objeto.

Objetivos:

- Racionalização

Exemplos:

- fôrmas de concreto reutilizáveis* (metálicas);

- estrutura de gelo*;

- sistemas de reaproveitamento de água usada*.

PI-35: MUDANÇAS DE PARÂMETROS E PROPRIEDADES

Mude o estado agregado de um objeto, a concentração de densidade, o grau de flexibilidade ou a temperatura.

Objetivos:

- Eficiência

Exemplo: utilização de adesivos ao invés de fixação mecânica*.

- Conforto Visual

Exemplo: aumento da concentração de água na mistura de tinta, para efeito rústico*.

- Flexibilidade

Exemplo: tubulação flexível para instalações de ar condicionado, ventilação, etc.

- Conforto térmico

Exemplo: gradientes de pressão barométricos para melhorar a ventilação em edifícios altos*.

PI-36: MUDANÇA DE FASE

Implemente um efeito desenvolvido durante a fase de transição de uma substância, como por exemplo, durante a mudança de volume ou durante a liberação ou absorção de calor.

Objetivos:

- Conforto térmico

Exemplo: armazene energia térmica usando materiais de transição de fase como, por exemplo, sulfato de sódio*.

- Eficiência

Exemplo: aproveite o derretimento de grandes cubos de gelo para abaixar equipamentos pesados, naturalmente*.

PI-37: EXPANSÃO TÉRMICA

a. Use expansão ou contração de um material por calor.

b. Use vários materiais com diferentes coeficientes de expansão de calor.

Objetivos:

- Flexibilidade

Exemplo: juntas de dilatação* são utilizadas para absorverem contrações e expansões de diferentes materiais.

- Racionalização

Exemplo: placas bimetálicas que se expandem com o calor podem ser colocadas em caixilhos de estufas, para abrirem e fecharem automaticamente, conforme a temperatura.

PI-38: USO DE ATMOSFERA ENRIQUECIDA

- Substitua ar normal por ar enriquecido.
- Substitua ar enriquecido por oxigênio.
- No oxigênio ou no ar, trate um material com radiação iônica.
- Use oxigênio ionizado.

Objetivos:

- Conforto térmico

Exemplos:

- colocação de plantas em espaços de convivência* ;
- introdução de oxigênio em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) de hospitais*;
- introdução de oxigênio em estufa para aumentar a velocidade do crescimento arbóreo.

PI-39: USO DE ATMOSFERAS INERTES

- Substitua o meio ambiente normal por um inerte.
- Realize um processo no vácuo.

Objetivos:

- Conforto acústico

Exemplo: painéis de absorção acústica* utilizam vácuo entre duas placas para evitar a propagação do som.

- Equilíbrio

Exemplo: para a execução de obras de grande profundidade, câmaras intermediárias estanques são utilizadas para equilíbrio da pressão.

PI-40: MATERIAIS COMPOSTOS

Substitua um material homogêneo por um composto.

Objetivos:

- Eficiência

Exemplo: o concreto armado combina a resistência à compressão do cimento com a resistência à tração do ferro.

Outros exemplos:

- concreto com fibras;
- vidro aramado;
- madeira recomposta.

3.3 Método dos Princípios Inventivos (MPI) aplicado à arquitetura

A aplicação do MPI para projetos de arquitetura pode ser feita de duas formas. A primeira é o uso direto dos PIs, como já mencionado no item anterior. Para isso, pode-se identificar *exemplos* já sugeridos ou *objetivos* que a solução do problema formulado almeja alcançar e então buscar, através da adaptação proposta neste capítulo, os Princípios correspondentes já utilizados. A segunda forma de aplicação - a identificação das contradições encontradas na formulação dos problemas e utilização da Matriz de Contradições a partir da modelagem dos conflitos em parâmetros de engenharia - exige o tratamento do problema específico através de parâmetros conflitantes genéricos da tabela IV. No capítulo seguinte utilizaremos três estudos de caso para exemplificar as duas formas de aplicação do MPI.

4 ESTUDOS DE CASO - EXEMPLOS

A seguir, foram selecionadas três soluções arquitetônicas criativas para análise. Em cada uma delas são identificados os PIs utilizados. O estudo de caso 1 refere-se a uma solução parcial de projeto e os casos 2 e 3 referem-se a projetos completos. No caso 2 serão levantadas, anteriormente à identificação dos PIs, as principais informações do projeto, como Meio ambiente do Sistema, Restrições, Objetivos e Resultado Final Ideal (RFI), bem como a proposta apresentada. No caso 3, além da identificação dos princípios, um conflito de projeto foi selecionado para demonstrar a segunda forma de utilização do MPI: a aplicação da Matriz de Contradições (Anexo C).

4.1 Estudo de Caso 1: escada de segurança

O Código de Edificações do Município de São Paulo (COE) exige a provisão de duas escadas em projetos comerciais com mais de oito pavimentos. Normalmente, um parâmetro forte em projeto de edifícios de escritórios é a otimização da área construída, que em última instância, se traduz em metros quadrados a serem vendidos ou locados pelo incorporador. Duas escadas, colocadas lado a lado, é a solução convencional mostrada na figura 8. Neste caso, o comprimento necessário para vencer um vão médio de 3.40m de altura é de 20 degraus, ou aproximadamente 10.25m. Entretanto, se considerarmos uma pequena mudança no sentido de acesso às escadas, visando economia de espaço, podemos chegar a uma nova concepção de projeto que conjugue os patamares das duas escadas, de forma a diminuir o comprimento necessário para 8.90m, solução bastante utilizada atualmente. A figura 9 ilustra a mudança essencial da nova proposta.

O Princípio Inventivo identificado é o PI-7: Aninhamento. Os patamares das escadas são encaixados, eliminando a necessidade de patamares duplos, e reduzindo a área consumida pelas escadas.

Figura 8 - Solução Convencional de escadas, dispostas lado a lado.

Figura 9 - Solução inovadora de escadas, com os patamares conjugados.

4.2 Estudo de Caso 2: Solemon Guggenheim Museum

O Museu Guggenheim de Nova Iorque apresenta um caso bastante particular de solução inovadora em arquitetura. Isso se deve ao fato de que o principal requisito funcional de projeto, neste caso, era a própria inovação. Destinado a abrigar as novas formas radicais de arte da época, que era desenvolvida por artistas como Vasily Kandinsky, Paul Klee e Piet Mondrian, o museu teve como solicitação inicial do cliente a criação de um espaço novo, para abrigar um tipo novo de arte. Assim, o desafio do arquiteto Frank Lloyd Wright era encontrar as padronizações, tanto internas quanto externas, que pudessem ser desestabilizadas, a fim de marcar a novidade, o espírito aventureiro dos seus fundadores e a nova arte que iria abrigar. Resultando numa obra consolidada da arquitetura, o projeto enfrentou imensos desafios, acarretando muitas controvérsias por parte de artistas, governantes e opinião pública, mas consagrando-se como um dos grandes trabalhos arquitetônicos produzidos no século XX.

Podemos relacionar os seguintes itens:

Meio Ambiente do Sistema:

- a. o museu interage com o entorno imediato - a região de Manhattan;
- b. o museu faz parte do supersistema de Nova Iorque, com sua superpopulação e supercongestionamento.

c. o museu tem como meio ambiente de alívio a proximidade ao *Central Park*, um espaço natural que ameniza os ruídos e o congestionamento da metrópole.

- Restrições:

- a. negação ao projeto tradicional de museus;
- b. condições locais (ruídos, congestionamento de pessoas e veículos);
- c. código de construção local.

- Objetivos:

- a. Impacto visual
- b. Impacto conceitual
- c. Conforto visual e acústico

- Resultado Final Ideal: um espaço novo, sem precedentes, que estabeleça um "templo do espírito, um monumento" ⁶.

Figura 10 - Solomon Guggenheim Museum, vista externa
(www.terra.com.br/cgi-bin/index_frame/turismo/roteiros/2001/10/20/009.htm).

- Solução apresentada:

Foi concebido um edifício em espiral, cuja grande rampa, contínua, é o próprio espaço de exposições (figs. 10-15). O visitante toma um elevador próximo à entrada, que o leva ao topo da rampa, de onde ele vai descendo por uma inclinação suave, contemplando as obras de arte. No final da exposição, ele se encontra no pavimento térreo, já próximo à saída. Além disso, as paredes de sustentação das pinturas são levemente inclinadas para fora, para que os quadros nelas fixados recebam uma

⁶ Requisitos especificados pela solicitante Hilla Rebay, em carta enviada a Frank Lloyd Wright, em 1943 (Wright, Pfeiffer, 1986).

iluminação melhor, tanto artificial quanto natural, advinda da imensa cúpula situada no cume do edifício (fig. 11). Essa solução inovadora criou uma obra volumetricamente rica, que se tornou referência arquitetônica mundial.

Figura 11 - Solomon Guggenheim Museum, vista interna (Wright, Pfeiffer, 1986).

Figura 12 - Solomon Guggenheim Museum, corte (Wright, Pfeiffer, 1986).

▪ Princípios identificados:

a. PI-6: Universalização

A rampa conjuga o encaminhamento à saída ao próprio espaço de exposição, eliminando a necessidade do visitante repetir um caminho percorrido para sair.

b. PI-13: Inversão

O Museu é um zigurate (templo piramidal de origem babilônica) invertido. Além disso, a entrada que leva diretamente ao topo, por meio de elevador, conduz ao princípio inverso dos museus tradicionais, com um caminho sequencial de ida e volta por meio de salas interconectadas.

c. PI-14: Recurvação

A rampa em espiral proporcionou a continuidade espacial interna desejada, criando a possibilidade inédita de visualização de várias baías de exposição simultaneamente, em níveis diferentes.

Figura 13 - Solomon Guggenheim Museum, planta térreo (Wright, Pfeiffer, 1986).

Figura 14 - Solomon Guggenheim Museum, planta 1º pavimento (Wright, Pfeiffer, 1986).

Figura 15 - Solomon Guggenheim Museum, planta 2º pavimento (Wright, Pfeiffer, 1986).

d. PI-18: Vibração Mecânica

A inserção de uma construção, constituída por elementos curvos, na grade retilínea de Manhattan, mudou a frequência da arquitetura local, criando o impacto visual desejado.

4.3 Estudo de Caso 3: Residência Hélio Olga de Souza Jr.

Neste terceiro estudo de caso, faremos dois tipos de análise. Na primeira, identificaremos os PIs utilizados pelo arquiteto na concepção do projeto, semelhantemente ao exemplo anterior. Na segunda análise, selecionaremos um problema contraditório a ser tratado como um conflito de projeto, que levará à utilização da Matriz de Contradições para sugestão dos PIs. Para isso, fazemos uso do Processo de Formulação de Problemas criado por Terninko, Zusman e Slotin (1998).

4.3.1 Primeira análise: Identificação dos PIs

Ao projetar esta residência em São Paulo, o arquiteto Marcos Acayaba se deparou com algumas restrições impostas pela situação local. Devendo ser implantada em um terreno bastante acidentado (27m de declive em 30m de extensão), a residência deveria ter um aproveitamento da geomorfologia do terreno por questões econômicas, sem assentar-se diretamente sobre ele, dados os problemas de umidade (advinda da represa de Guarapiranga) e as características frágeis do solo imediato. Além disso, as curvas de nível do terreno, paralelas à direção norte, dificultavam o aproveitamento deste através de uma construção escalonada que acompanhasse as curvas, solução bastante comum em casos de terreno muito acidentado.

Assim, podemos relacionar os seguintes itens:

- Meio Ambiente do Sistema:

- a. a residência interage com o terreno local, bastante acidentado.
- b. a residência interage com o entorno imediato, conseqüentemente com a umidade local e a vista.
- c. a residência faz parte do supersistema cidade, devendo respeitá-la tanto esteticamente quanto em relação às normas legais.

- Restrições:
 - a. declividade intensa do terreno (talude 1:1);
 - b. conforto térmico necessariamente natural;
 - c. solo frágil;
 - d. privilégio necessário da vista do local;
 - e. umidade intensa do solo.
- Objetivos:
 - a. Conforto térmico
 - b. Conforto Visual
 - c. Produtividade
 - d. Racionalização
- Resultado Final Ideal (RFI): considerando o programa de necessidades e as restrições do projeto, respeitar o plano de massas funcional de uma residência (fig. 16).

Figura 16 - Plano de Massas funcional (genérico) para uma residência de padrão médio.

- Solução apresentada:

A partir de um módulo estrutural pré-fabricado de madeira, de 3.30m x 3.30m, com vigas e pilares formando treliças, o projeto implantou a casa perpendicularmente às curvas de nível para melhor aproveitamento da insolação natural, e desenvolveu os pavimentos do nível da rua para baixo, com living superior e dormitórios inferiores. O resultado foi uma proposta inovadora que resolveu os principais conflitos de projeto, aproximando-se do RFI (figs. 17-19).

Figura 17 - Res. Helio Olga de Souza Jr., plantas (Cortesia arq. Marcos Acayaba).

Figura 18 - Res. Helio Olga de Souza Jr., corte (Cortesia arq. Marcos Acayaba).

▪ Princípios identificados:

a. PI-1: Segmentação

A estrutura pré-fabricada utilizada permitiu a montagem da construção por três pessoas, em 45 dias, o que dispensou canteiro de obras e minimizou o desperdício na obra, reduzindo pela metade o custo final em relação a uma construção convencional em terrenos do mesmo tipo (AU, 1991).

b. PI-5: Fusão/ Consolidação

O piso, assoalho de madeira sucupira sobre barrotes, combinou as funções de piso e de travamento estrutural contra as deformações de torção, transferindo as cargas dos pavimentos superiores para as treliças secundárias (AU, 1991).

c. PI-13: Inversão

A concepção inversa do projeto (dormitórios inferiores, salas e serviços superiores), permitiu o atendimento à maioria das restrições: vista, aproveitamento econômico do terreno (manteve-se o perfil original), estética. O projeto, desenvolvido perpendicularmente às curvas de nível, possibilitou melhores condições de conforto, na medida em que os dormitórios foram voltados para a face norte e os banheiros e serviços para a face sul.

d. PI-17: Transição para nova dimensão

O volume de uma pirâmide invertida resultou em estabilidade formal, adequada ao terreno e às condições locais.

Figura 19 - Residência Hélio Olga de Souza Jr. (Cortesia arq. Marcos Acayaba).

4.3.2 Segunda análise: Uso da Matriz de Contradições

Das restrições do projeto, podemos derivar algumas Funções Úteis:

FU_1 = (aproveitar declividade do terreno)

FU_2 = (aproveitar insolação natural)

FU_3 = (minimizar tensão sobre o solo)

FU₄ = (privilegiar vista)

FU₅ = (diminuir área do pav. inferior)

Conforme Terninko, Zusman, Slotin (1998), existem três tipos de relações entre Funções Úteis e Funções Prejudiciais:

1. FU_n causa $\longrightarrow$ FP_n
2. FU_n é introduzido para eliminar $\longrightarrow$ FP_n
3. FU_n é requerido para $\longrightarrow$ FU_{n+1}

Para identificar essas relações, quatro questões são levantadas, para cada uma das FUs inicialmente derivadas. As questões nos levam a identificar novas FUs e FPs do sistema e suas ligações, que, posteriormente, são descritas em gráficos de fluxo. As questões são:

1. Esta Função Útil (FU_n) é requerida para outra Função Útil (FU_{n+1})?
2. Esta Função Útil (FU_n) causa algum Efeito Prejudicial (FP_n)?
3. Esta Função Útil (FU_n) é introduzida para eliminar um Efeito Prejudicial (FP_n)?
4. Esta Função Útil (FU_n) requer outra Função Útil (FU_{n-1}) para ser realizada?

Aplicando as questões acima a cada uma das FUs inicialmente derivadas, encontramos as seguintes relações:

1. FU₁ requer (escalonar a construção), portanto:

FU_{1.1} = (escalonar a construção) é requerido para $\longrightarrow$ FU₁

2. FU_{1.1} requer FU_{1.2} (construir paralelamente às curvas de nível), portanto:

FU_{1.2} = (construir paralelamente às curvas de nível) é requerido para $\longrightarrow$ FU_{1.1}

3. FU_{1.2} causa $\longrightarrow$ FP₂ = [piorar tensão sobre o solo]

4. FU_{1.2} causa $\longrightarrow$ FP₁ = [piorar insolação natural]

5. FU₂ requer (construir perpendicularmente às curvas de nível), ou seja:

FU_{2.1} = (construir perpendicularmente às curvas de nível) é requerido para $\longrightarrow$ FU₂

5. FU₃ requer (diminuir área do pav. inferior), portanto

FU₅ = (diminuir área do pav. inferior) é requerido para $\longrightarrow$ FU₃

6. FU₄ requer (elevar living), portanto:

FU_{4,1} = (elevar living) é requerido para $\longrightarrow$ FU₄

7. FU₅ é requerido para $\longrightarrow$ FU₃

8. FU₅ elimina $\longrightarrow$ FP₂ = [piorar tensão sobre o solo]

Reclassificando as funções, de acordo com as novas funções encontradas, temos:

FU₁ = (escalonar a construção)

FU₂ = (aproveitar a declividade do terreno)

FU₃ = (construir paralelamente às curvas de nível)

FU₄ = (construir perpendicularmente às curvas de nível)

FU₅ = (aproveitar a insolação natural)

FU₆ = (diminuir área do pav. inferior)

FU₇ = (minimizar tensão sobre o solo)

FU₈ = (elevar living)

FU₉ = (privilegiar vista)

FP₁ = [piorar insolação natural]

FP₂ = [piorar tensão sobre o solo]

Estabelecendo as relações em gráficos de fluxo, temos:

1. FU₂ requer FU₁, que requer FU₃, que causa FP₁ e FP₂.

2. FU₄ é requerido p/ FU₅ e elimina FP₁.

3. FU₆ é requerido p/ FU₇.

4. FU₈ é requerido p/ FU₉.

A partir das relações encontradas, exploramos a primeira, que apresenta conflitos de projeto. Desenvolvemos então, enunciados para o problema conflitante, a fim de auxiliar a busca de caminhos para possíveis soluções:

1a. Encontre uma forma de (aproveitar a declividade do terreno) que não requeira (escalonar a construção).

1b. Encontre uma forma de (escalonar a construção) que não requeira (construir paralelamente às curvas de nível).

1c. Encontre uma forma alternativa de (construir paralelamente às curvas de nível) que forneça (escalonar a construção) e não cause [piorar a insolação natural].

1d. Encontre uma forma alternativa de (construir paralelamente às curvas de nível) que forneça (escalonar a construção) e não cause [piorar a tensão sobre o solo].

Os enunciados, assim formulados, têm por objetivo o esclarecimento do problema de projeto, e poderiam levar diretamente à busca de soluções, seja por tentativa-e-erro, seja através do uso dos métodos tradicionais de geração de idéias.

Em termos de parâmetros conflitantes, entretanto, a explicitação das Funções Úteis do problema nos leva ao seguinte enunciado: "o aumento do *comprimento da construção* no sentido paralelo às curvas de nível piora a *forma ideal* para a insolação dos ambientes", cujo melhor posicionamento seria perpendicular às curvas de nível, voltando os dormitórios e living para o norte e os serviços para o sul. Mapeando para parâmetros de engenharia, temos "PR-4" (Comprimento do objeto parado) X "PR-12" (Forma). O cruzamento destes na Matriz de Contradições nos conduz aos PIs 13, 14, 15 e 7 (fig. 20).

O Princípio 7 (Aninhamento) poderia nos levar a uma concepção de projeto onde os ambientes fossem integrados (um dentro do outro), de forma a garantir a melhor insolação em todos eles. Essa difícil tarefa de projeto, entretanto, não garantiria a privacidade talvez requisitada pelos usuários.

O Princípio 15 (Dinâmica) poderia sugerir uma edificação movimentável, de forma que pudesse ser girada em torno de um eixo mecânico, buscando tanto a melhor vista quanto a melhor posição relativa ao sol. A tecnologia necessária para uma solução

deste tipo, entretanto, não atenderia aos requisitos de racionalização econômica do projeto.

<div> <div>Resultado Indesejado</div> <div>Característica a alterar</div> </div>		...	12	...	39
			Forma		
...	...				
4	Comprimento do objeto parado		13, 14, 15, 7		
...	...				
39	...				

Figura 20 - Estudo de caso 3: Princípios encontrados na Matriz de Contradições.

Considerando o PI-14 (Recurvação) poderíamos chegar a uma outra forma construída, mais distante do esquadro e mais próxima ao compasso, que certamente apresentaria vantagens e desvantagens em relação ao projeto concebido pelo arquiteto. Este, por sua vez, fez uso do PI-13 (Inversão), posicionando os dormitórios nos pavimentos inferiores e o living no pavimento superior, e desenvolvendo-os perpendicularmente às curvas de nível, através de uma forma de pirâmide invertida, que acompanha o terreno, sem estar apoiado sobre ele em toda a sua base.

Este capítulo procurou demonstrar o uso de um dos métodos de solução de problemas da TRIZ - o MPI - em arquitetura, através de exemplos em soluções arquitetônicas já existentes. No capítulo seguinte, propomos a aplicação do MPI para resolver um problema arquitetônico novo, a fim de explorar a eficácia da metodologia.

5 ESTUDO DE CASO: CRUSP

Neste capítulo, os conceitos fundamentais da TRIZ serão utilizados para resolver um caso real de projeto. O caso selecionado é a melhoria de um problema no Conjunto Residencial da USP (CRUSP).

5.1 Identificação do Problema

O Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo (CRUSP), projetado inicialmente pela equipe do arquiteto Eduardo Kneese de Mello (Eduardo Kneese de Mello, Joel Ramalho Jr. e Sidney de Oliveira), teve concluída a sua primeira construção em 1963, com o objetivo inicial de alojar os atletas dos Jogos Panamericanos que se realizariam em São Paulo. Passando posteriormente por uma série de intervenções políticas por parte do Exército e ocupação clandestina pelos estudantes, em 1983, por decisão da Reitoria da USP, o CRUSP passou a ser administrado pela COSEAS, com o objetivo de retomar às construções o destino de moradia estudantil, a partir de um conjunto de medidas destinadas a recuperar a sua habitabilidade, bastante precária nessa época (Melhado, 1994). O projeto da reforma foi conduzido pelo Escritório Piloto do Grêmio Politécnico, no período de 1984-85, envolvendo uma equipe numerosa de professores e alunos de graduação e pós-graduação da EPUSP. O projeto de arquitetura executado pela reforma (Escritório Piloto, 1984), de maneira geral, é o que permanece ainda hoje.

As intervenções realizadas por ocasião da sua reforma, que envolveram desde a elaboração e aplicação de pesquisas junto aos usuários até o acompanhamento da execução das principais alterações propostas, foram conduzidas de forma a aproximar bastante o binômio teoria-prática. Na época da sua construção, entretanto, não houve a preocupação com aspectos relacionados ao uso da edificação por pessoas portadoras de deficiência. A NBR-9050 (adequação das edificações e do mobiliário urbano à pessoa deficiente) foi criada em 1985, tendo grande aplicação atual, devido à necessidade de promover acessibilidade a um segmento de 14,5% da população nacional, representado atualmente por, aproximadamente, vinte e quatro milhões de pessoas, conforme dados do IBGE, de 2000.

A Prefeitura da Cidade Universitária, através da CECAE, criou em 2001 o programa USP-Legal, uma Comissão Permanente para Assuntos Relativos às Pessoas Portadoras de Deficiência Vinculadas à Universidade de São Paulo. Um dos objetivos desse Programa é romper as barreiras arquitetônicas para garantir a acessibilidade física no campus; para tanto, alguns trabalhos de adequação de parte das áreas externas têm sido executados, a partir de um diagnóstico elaborado com base no levantamento das barreiras.

Dentro desse contexto, verificamos que o projeto do CRUSP não possibilita o acesso às pessoas portadoras de deficiência física. Este problema foi determinado pela sua concepção inicial de projeto, que visou, inicialmente, a redução do número de pavimentos servidos por elevadores, o que reduziria significativamente o custo inicial de construção (Acrópole, 1964). Dessa forma, a parada dos elevadores foi projetada nos entrepisos, resultando como única alternativa de acesso aos pavimentos um meio lance de escadas (figs. 21-22), para cima ou para baixo.

Figura 21 - CRUSP, planta pavimento tipo.

O objetivo de economia, entretanto, que justificava a solução projetada, foi perdido no desenvolvimento posterior do projeto, cuja decisão acordada entre toda a equipe participante fora de parada em todos os patamares, justificada pela facilidade de "sempre descer" e "nunca subir". A construção atual das edificações reflete tal decisão, ilustrada na figura 23. Com isso, a solução de circulação vertical adotada passou a ter como única justificativa a economia do espaço destinado ao hall dos elevadores, que foi aninhado ao patamar da escada. Distanciou-se, porém, do conforto proporcionado normalmente pela instalação de um elevador, além de causar o problema de inacessibilidade às pessoas incapazes de utilizar a escada existente.

Este capítulo propõe a utilização da TRIZ para resolver o caso específico. A proposta visa encontrar uma solução criativa ao problema identificado, descartando a construção de novos edifícios ou demolição dos existentes, buscando uma solução ideal que ocasione mínimas alterações no projeto atual. Dessa forma, o problema consiste em encontrar uma forma de acessibilidade aos apartamentos por pessoas portadoras de deficiência, incapazes de utilizar a escada existente.

Figura 22 - corte escada projetada inicialmente

Figura 23 - corte escada atual

5.2 Metodologia

O projeto foi realizado na seguinte seqüência:

- 5.2.1 Estruturação do Problema, baseado no QSI (Terninko, Zusman, Slotin, 1998), onde foram levantados os itens de todas as informações relevantes e necessárias à perfeita definição do problema, a partir do qual desenvolveu-se a busca de soluções;
- 5.2.2 Busca de Soluções, através da exploração de quatro opções:
 - 5.2.2.1 Busca direta, derivando possibilidades de soluções a partir da definição do problema, recursos levantados, restrições ou objetivos;
 - 5.2.2.2 Busca de soluções existentes a partir das FUs (Mann, Ó Catháin, 2001a), onde foram utilizadas duas formas de banco de conhecimentos: soluções de mercado e bancos de patentes.
 - 5.2.2.3 PFP (Terninko, Zusman, Slotin, 1998), que consistiu na construção de gráficos de efeitos e relações, visando encontrar enunciados do problema que pudessem vislumbrar idéias;
 - 5.2.2.4 MPI, onde se explorou a principal contradição do projeto.
- 5.2.3 Discussão sobre as opções geradas.

A figura 24 ilustra o processo de projeto do estudo de caso proposto.

Figura 24 - Processo de Projeto.

5.2.1 Questionário de Situação da Inovação (QSI)

Desenvolvido pela Kishinev School of TRIZ, em Moldova, o QSI é disponibilizado comercialmente pela *Ideation International*, através do *software Innovation WorkBench (IWB Software)*. O objetivo da ferramenta é ajudar a definir claramente o problema a ser resolvido, através da explicitação do maior número possível de informações relevantes. Neste trabalho, levantamos os itens do QSI sugeridos por Terninko, Zusman, Slotin (1998), a partir dos quais algumas opções de solução são derivadas no item 5.2.2.1 (Busca Direta).

Informações sobre o Sistema

a) Nome do Sistema: Transporte Vertical de pessoas

b) Função Útil Primária: o sistema deve permitir locomoção de pessoas entre vários pavimentos, incluindo deficientes físicos permanentes ou temporários.

c) Estrutura atual do Sistema

A estrutura atual do sistema (fig.25) consiste em: escada de concreto (1), cujo patamar (2) dá acesso aos elevadores de passageiros (3), com parada nos entrespisos (4) da própria escada (5), e saída no corredor de acesso aos apartamentos (6).

A estrutura atual do sistema utiliza dois elementos para realizar a mesma Função Útil, ou seja, os elevadores existentes necessitam do uso conjunto da escada para realizarem a FU = (transportar pessoas verticalmente). Se recorrermos à Teoria de Projeto Axiomático (Suh, 2001), verificamos que a solução não atende ao axioma da Independência, resultando em um projeto acoplado. Assim, considerando a melhoria do sistema através da busca de independência das funções, a estrutura desejada de um sistema de transporte vertical (fig. 26) incluirá: hall (1), com acesso ao elevador de passageiros (2), com parada no hall (3) de todos os pavimentos; e escada (4), para uso alternativo.

Figura 25 - Estrutura atual

Figura 26 - Estrutura desejada

d) Funcionamento do Sistema

Sistema atual: uma pessoa situada no pavimento térreo deve subir uma escada para acessar o elevador existente, que serve de transporte a qualquer patamar intermediário entre dois pavimentos subsequentes, a partir do qual deve-se subir ou descer outra escada, a fim de alcançar o pavimento desejado. Para acessar o térreo e o sexto pavimento, deve-se utilizar necessariamente uma escada ascendente.

Funcionamento do sistema desejado: uma pessoa situada no pavimento térreo deve acessar uma escada ou um elevador, que servirão alternativamente de transporte entre todos os pavimentos, e que por sua vez, darão acesso aos apartamentos através de um hall.

e) Meio Ambiente do Sistema

- o sistema é parte integrante e interage com o edifício construído e suas características arquitetônicas;

- o sistema é um subsistema do sistema Cidade Universitária, sendo útil, especialmente, à população universitária que reside no CRUSP;
- o sistema é um subsistema do sistema "transporte de pessoas deficientes".

Recursos disponíveis

Recurso de substância: elevadores

Recurso de substância: estrutura da escada existente

Recurso de espaço: vazio entre os lances da escada

Recurso de espaço: vazio entre a escada e o caixilho de fechamento

Recurso funcional: bloco separado do corpo da edificação principal

Recurso funcional: força da gravidade (peso)

Informações sobre a situação do problema

a) Defeito a eliminar

A FU é ausente. O equipamento de transporte vertical existente (elevador) não atende ao requisito funcional, uma vez que não pára nos pavimentos de piso de acesso aos apartamentos, não permitindo o acesso de pessoas portadoras de deficiência física.

b) Mecanismos que causam o defeito

O piso de parada dos elevadores não está no mesmo nível que o piso dos apartamentos; não existe outro mecanismo que possa ser utilizado para alcançar o nível acima, além da escada.

c) História do desenvolvimento do problema

A concepção inicial do projeto visou economia de espaço, conjugando o hall dos elevadores ao patamar da escada. Tendo em vista que a possibilidade de racionalização do número de paradas dos elevadores, que reduziria significativamente o custo inicial, não foi utilizada, a solução adotada causou:

- desconforto aos usuários, dado pela necessidade de utilizar uma escada ascendente no térreo e sexto pavimentos;
- necessidade de uso conjunto de elevadores e escada, para realização da FU = (transportar pessoas verticalmente);
- inacessibilidade às pessoas com deficiência física (permanente e temporária), uma vez que nenhum outro elemento arquitetônico fora incluído para esse fim.

Outros problemas a serem resolvidos

a) Mudança no sistema

A criação de qualquer tipo de componente é possível, desde que respeitadas as restrições de custo, manutenção das características arquitetônicas existentes e a possibilidade de uso da edificação durante a implantação da reforma.

Critérios para selecionar conceitos de solução

Os critérios devem incluir:

- a possibilidade de utilização do edifício pelos usuários durante a construção;
- o tempo de construção, tendo em vista a minimização dos transtornos;
- um custo menor que a construção de outro elevador independente;
- a manutenção ou melhoria das características arquitetônicas atuais.

História de tentativas de solução ao problema

Uma plataforma para transporte vertical foi instalada em apenas um dos blocos residenciais (bloco D). A plataforma percorre do térreo ao 1º pavimento, onde foram agrupados todos os usuários de cadeira de rodas (fig 27). Entretanto, a solução não atende ao Requisito Funcional, uma vez que impede a livre locomoção de usuários entre todos os pavimentos, além de resolver apenas o problema de deficientes permanentes. Pessoas temporariamente deficientes, que ocupem outros blocos ou pavimentos, não conseguem acessar os apartamentos.

Figura 27 - Plataforma instalada no Bloco D

Objetivos⁷

- a) Independência
- b) Equilíbrio
- c) Conforto Visual

Resultado Final Ideal (RFI)

Considerando os objetivos, recursos e as restrições existentes, realizar a função "acessar os apartamentos", sem qualquer inconveniência às pessoas portadoras de deficiência física.

5.2.2 Busca Direta de Soluções

A estruturação do problema através do QSI poderia originar inúmeras idéias através da utilização de técnicas de geração de idéias, envolvendo equipes de projeto. Existem várias sugestões de interação da TRIZ com, por exemplo, o Brainstorming (MANN, 2001; NAKAMURA, 2001; CAMPBEL, 2003). Entretanto, não tendo como objetivo final do trabalho a demonstração da quantidade de soluções geradas, consideramos suficiente elencar algumas idéias imediatas surgidas a partir do item anterior e da análise dos PIs, um a um. São elas:

- 1) Construção de outro elevador entre escadas: utilização de recurso de espaço disponível;
- 2) Construção de elevador independente: abstração do PI-2 (Extração);
- 3) Instalação de dispositivo acoplável à cadeira de rodas e ao corrimão: utilização de recurso de substância disponível;
- 4) Construção de rampa: solução tradicional;
- 5) Esteira rolante: abstração do PI-13 (Inversão);
- 6) Equipamento que sobe escadas: abstração do PI-15 (Dinâmica);
- 7) Construção de passarelas laterais com mudança de parada dos elevadores existentes: abstração do PI-1 (Segmentação), a partir do objetivo "Independência";
- 8) Construção de passarelas laterais em rampa, sem mudança de parada dos elevadores existentes: alternativa ao item anterior.

⁷ Ver PIs propostos na tabela VI, p. 30.

Cada uma das idéias acima, geradas por estímulos ao simples fato de "responder as questões", poderiam ser desenvolvidas como propostas de solução ao problema formulado. Conforme Terninko, Zusman, Slotin (1998), a simples formulação do problema e dos subproblemas relacionados, dá origem a soluções, em 85% dos problemas inventivos. O QSI é utilizado também como base de dados para a maioria das outras ferramentas da TRIZ.

5.2.3 Busca de soluções existentes a partir das FUs

Como segunda forma de busca, duas fontes de soluções existentes foram utilizadas:

- Soluções de mercado;
- Bases de patentes.

5.2.3.1 Soluções de Mercado

Um produto existente para o transporte de pessoas deficientes consiste de uma cadeira acoplável à estrutura da escada, com controle motorizado e recursos de assento dobrável e giratório. A cadeira Stannah (fig. 28) é uma solução alternativa para o transporte de idosos e deficientes temporários. Para deficientes permanentes, no entanto, é necessária a adaptação de uma plataforma para acomodar cadeira de rodas. Neste caso, o modelo de plataforma da figura 29 apresenta a solução que atende ambas as necessidades.

Figura 28 - Cadeira Stannah (Surimex Stairlifts)

Figura 29 - Plataforma que sobe escadas (Reabilitar Ltda.)

Um terceiro produto existente no mercado consiste em um carro independente para transporte de cadeira de rodas. Movido por um conjunto de baterias recarregáveis com eletrólito gelificado e capaz de transportar 130 Kg até o alto de um prédio de 35 andares, o carro para escadas da figura 30 é uma terceira opção existente para o transporte de pessoas deficientes.

Figura 30 - Carro para escada (Surimex Stairlifts)

Vantagens e desvantagens dos produtos existentes:

Tanto a cadeira como a plataforma para subir escadas fariam uso de, pelo menos, um recurso existente - a estrutura da própria escada - para fixar o trilho de transporte dos dispositivos. Além disso, sendo dobráveis, não necessitariam de novas construções ou ampliações. A cadeira, como citado anteriormente, não realiza a função de

transportar deficientes permanentes, mas a plataforma atende ao requisito funcional. A desvantagem do produto é o seu custo, extremamente alto.

Já o carro para escadas é uma forma inovadora de "olhar o problema", apontando-nos um novo modo de realizar a função "subir escadas" através de uma solução livre de compromissos⁸. No caso de uso coletivo, porém, essa solução requereria que fosse atribuído um carro para cada um dos usuários de cadeira de rodas. E, ao contrário da cadeira Stannah, serve somente ao propósito de deficientes permanentes; um indivíduo com uma perna quebrada não se adapta ao carro.

5.2.3.2 Base de Patentes

A busca por soluções através de bases de patentes requer a ênfase na Função Útil que o sistema deve realizar. Utilizamos duas fontes de Patentes - o Banco de Patentes Européia⁹ e o Banco de Patentes Americanas¹⁰ - para buscar por invenções que realizam a função livre de compromissos "transportar pessoas verticalmente através de escadas", onde encontramos várias soluções potencialmente relevantes (figs. 31 a 38).

Figura 31 - Human Transporter (Patente US5701965)

⁸ A solução livre de compromissos é aquela que permite realizar a função "subir escadas" e não tenha inconveniência a qualquer tipo de usuário.

⁹ <http://ep.espacenet.com/>

¹⁰ <http://www.uspto.gov/patft/>

Figura 32 - Stairlift (Patente WO9839241)

Figura 33 - Stairlift (Patente US4627517)

Figura 34 - Access ramp device which can be fitted to staircases (Patente FR2617223)

Figura 35 - Stair Vehicle (Patente US4421189)

Figura 36 - Wheelchair Lift (Patente US5624009)

Figura 37 - Convertible Lift Mechanism (Patente US5937971)

Figura 38 - Convertible Lift Mechanism having a scissor lift linkage (Patente US6109395)

Cada uma das soluções anteriores representa uma forma de transportar pessoas sem utilizar a solução tradicional de rampa, que requer maior esforço físico por parte do usuário e, muitas vezes, resulta em aspecto visual desagradável, determinado pelo seu grande comprimento. Conforme Mann, Ó Catháin (2001b), as rampas representam o compromisso de projeto de menor denominador comum, sendo fonte de inconveniência para a maioria dos usuários, incluindo aqueles para os quais elas foram produzidas. Entretanto, as soluções encontradas são viáveis para construções novas e com poucos desníveis. Tratando-se de edifícios existentes de múltiplos pavimentos, as invenções tornam-se caras e de difícil implantação.

5.2.4 Processo de Formulação de Problemas (PFP)

Como terceira forma de busca de soluções, o PFP consiste na construção de gráficos de fluxo (causa e efeito), que demonstram as ligações entre as FUs do sistema. Observa-se que, conforme Terninko, Zusman, Slotin (1998), neste contexto, "função" tem uma definição particular, diversa daquela utilizada no QSI, podendo ser definida como "ação" ou "evento".

Considerando FU = (transportar verticalmente), as questões:

1. Esta FU é requerida para uma outra FU?
2. Esta FU causa algum FP?
3. Esta FU é introduzida para eliminar algum FP?
4. Esta FU requer alguma outra FU para ser realizada?

Derivaram as seguintes relações:

(transportar verticalmente) requer (construir elevador)

(construir elevador) causa [infringir custo]

Neste ponto, se considerarmos as idéias geradas no item 5.2.2 pela Busca Direta, as alternativas 3, 4, 6, 7 e 8 poderiam ser introduzidas como funções para eliminar a FP = [infringir custo]. Explorando, entretanto, a existência de elevadores como um recurso disponível (item 5.2.1), podemos considerar que:

(aproveitar elevador existente) elimina [infringir custo]

(aproveitar elevador existente) causa [permanência de funções acopladas]: escada + elevador;

portanto (aproveitar elevador existente) requer (desacoplar funções)

Aqui, podemos considerar a alternativa 7 da Busca Direta como solução à FU = (desacoplar funções). Assim, temos:

(desacoplar funções) requer (mudança do nível de parada dos elevadores)

(desacoplar funções) requer (construir ligação direta entre os elevadores e o pavimento)

(construir ligação direta entre os elevadores e o pavimento) requer (construir passarela de acesso)

(mudança do nível de parada dos elevadores) causa [impedimento do uso dos elevadores durante a reforma]

(construir passarela de acesso) causa [prejuízo das características arquitetônicas existentes]

Figura 39 - Gráfico de fluxo para Transporte Vertical

Aceitar (construir passarela de acesso) e (mudança do nível de parada dos elevadores) como problemas, conduz aos seguintes enunciados:

1a. Encontre uma forma de (construir passarela de acesso) que não cause [prejuízo das características arquitetônicas existentes].

1b. Encontre uma forma de se beneficiar do [prejuízo das características arquitetônicas existentes].

2a. Encontre uma forma de se obter (mudança no nível de parada dos elevadores) que não cause [impedimento do uso dos elevadores existentes].

2b. Encontre uma forma de se beneficiar do [impedimento do uso dos elevadores existentes].

Análise dos enunciados:

Dos quatro enunciados acima, apenas o 2b não conduz a nenhuma solução imediata. O enunciado 1a conduz a um exercício de projeto, cujo partido arquitetônico tenha em vista o atendimento dos critérios: leveza, transparência, simplicidade e discrição. Estrutura metálica, vidro e formas simples podem ser consideradas boas opções de projeto. O enunciado 1b, ao contrário, conduz à exploração da inserção de novos

elementos arquitetônicos como "destaques" do projeto existente. Isso poderia se dar através da utilização de cores, formas mais complexas ou emprego de materiais diversos. O enunciado 2a traz como solução óbvia a "reforma em etapas", tendo em vista a existência de dois elevadores. Neste caso, mantém-se o funcionamento de um deles, enquanto o outro é reformado.

As figuras 40 e 41 ilustram uma idéia gerada a partir do enunciado 1a: mudança de parada dos elevadores, cujas saídas dão para as passarelas laterais criadas, resultando em uma volumetria simples, com a menor interferência possível no edifício existente. Essa solução envolve, entretanto, a possibilidade de alteração da casa de máquinas no último pavimento, de forma a possibilitar a passarela do 6º pavimento em nível. As figuras 42 e 43 ilustram uma idéia combinada, com solução tradicional de rampa apenas para o último pavimento, mantendo-se assim, a casa de máquinas atual. Já as figuras 44 e 45 ilustram idéias que exploram o enunciado 1b, ambas sem mudança de parada dos elevadores.

Figura 40 - Enunciado 1a: Planta com alteração dos dois elevadores

Figura 41 - Enunciado 1a: leveza, transparência, simplicidade e discrição

Figura 42 - Enunciado 1a: Planta com alteração de apenas um dos elevadores

Figura 43 - Enunciado 1a, sem alteração da casa de máquinas

Figura 44 - Enunciado 1b: nova inserção em "destaque"

Figura 45 - Enunciado 1b: nova inserção em "destaque"

5.2.5 MPI

Finalmente, a última forma de busca de soluções a ser explorada é a utilização do Método dos Princípios Inventivos (MPI). A primeira forma de aplicação do MPI - o uso direto dos PIs - já foi realizada juntamente com a Busca Direta (item 5.2.2), através da análise dos princípios, um a um, conduzidos pela explicitação dos Objetivos, no QSI. Apresentamos a seguir, portanto, a segunda forma de aplicação do MPI - a análise das contradições.

De acordo com o enunciado 1a do PFP (item 5.2.4), quanto mais discreta a inserção de um novo elemento construído, menor o prejuízo às características arquitetônicas existentes. Inversamente, quanto mais complexa a nova construção, maior o prejuízo da linguagem atual. Podemos considerar como parâmetros conflitantes, portanto:

PR-36 (Complexidade do objeto: a quantidade e diversidade de elementos que formam o objeto ou sistema, incluindo as relações entre os elementos)

X

PR-13 (Estabilidade da composição: a resistência do objeto ou sistema à mudança causada pelas interações dos seus objetos ou sistemas associados)

Conforme a figura 46, o cruzamento dos dois parâmetros conflitantes na Matriz de Contradições (anexo C) nos conduz aos seguintes Princípios Inventivos: PI-2 (Extração), PI-22 (Transformação de lucro em prejuízo), PI-17 (Transição para nova dimensão) e PI-19 (Ação Periódica).

Resultado Indesejado		...	13	...	39
		Característica a alterar	Estabilidade da Composição		
...	...				
36	Complexidade do objeto		2, 22, 17, 19		
...	...				
39	...				

Figura 46 - Princípios encontrados na Matriz de Contradições

Dos PIs sugeridos, dois conduzem diretamente a algumas opções de solução: o PI-22 (Transformação de prejuízo em lucro) conduz à exploração da nova construção como forma de enriquecer a volumetria atual, indo de encontro ao enunciado 1b do PFP, e o PI-17 (Transição para nova dimensão) poderia sugerir passarelas em rampas, cujos comprimentos poderiam ser dissolvidos através de formas espirais (fig. 47).

Figura 47 - Aplicação do PI-17

6 DISCUSSÃO

No capítulo 5, a partir da sugestão dos Princípios Inventivos na Matriz de Contradições, diversos outros métodos poderiam ser somados ao processo de projeto, de forma a enriquecer a geração de idéias, bem como incluir critérios de avaliação das opções geradas. Como exemplo, métodos de geração de idéias como Brainstorming (Osborn, 1967) ou Sinética (Gordon, 1961) poderiam ser criados a partir dos PIs sugeridos, a fim de gerar maior quantidade e fluência dos conceitos de solução; da mesma forma, técnicas de avaliação sugeridas na Metodologia de Valor (Miles, 1967), como Refinar-Combinar idéias e Técnicas Ponderacionais, poderiam então, ser incluídas, para auxiliar o processo de seleção da solução. Com isso, a quantidade de opções, seguramente, seria maior, e a solução final a ser desenvolvida propiciaria maior confiabilidade.

Observa-se, no entanto, que o objetivo do trabalho não reside na *quantidade ou qualidade das soluções apresentadas*, mas na *análise do processo utilizado*, que implica em ressaltar os pontos negativos e positivos do uso da TRIZ para projetos de arquitetura.

Os pontos negativos percebidos no uso da metodologia dizem respeito à dificuldade de conceituação da arquitetura como produto. No item 3.1 (Cap. 3), algumas diferenças entre projeto de arquitetura e projeto de produto foram estabelecidas, à qual recorreremos novamente, com o objetivo de ressaltar as distinções apresentadas.

Conforme Savransky (2000), existem duas abordagens na área de pesquisa de metodologias de solução de problemas. A primeira, baseada na análise de relatos históricos ou entrevistas com pessoas bem sucedidas na arte de resolver problemas, tem por objetivo criar um conjunto genérico de recomendações para se resolver problemas criativos, através da extração de técnicas utilizadas por pessoas unanimemente consideradas criativas. Essa abordagem tem como desvantagem o fato de que inventores, artistas, projetistas e outros profissionais criativos nem sempre são capazes de articular o seu próprio processo de criação, tornando os questionários e jogos desenvolvidos pela Inteligência Artificial, muitas vezes, mal sucedidos. A segunda abordagem envolve a tentativa de definir técnicas baseadas no

funcionamento do cérebro humano, através do qual, os cientistas cognitivos buscam construir sistemas voltados ao suporte de alguns campos específicos, normalmente pertencentes às áreas exatas. Nesse sentido, os sistemas especialistas representam o resultado melhor sucedido para resolver problemas que requeiram numerosos cálculos ou grandes quantidades de informação. Essa segunda abordagem, portanto, não se aplica diretamente aos problemas inventivos. Ainda conforme o mesmo autor, as duas abordagens contam com fontes de *conhecimento superficial*¹¹, enquanto a TRIZ recorre a uma fonte de *conhecimento profundo*¹², que são os bancos de patentes. O enfoque da TRIZ enfatiza o progresso através da inovação tecnológica, que normalmente é passível de certificação, como é o caso do registro de patentes.

O campo da arquitetura, entretanto, envolve uma mistura de tecnologia e arte, não estando esta última atrelada necessariamente à inovação tecnológica. Assim, o conceito de inovação, nesta área específica, muitas vezes, relaciona-se a novas composições, desenhos e interpretações histórico-conceituais. Esse aspecto subjetivo da arquitetura é essencial e, neste sentido, permanece alheio ao método classificatório utilizado dentro da TRIZ, embora possa ser evidenciado na estruturação do problema, propiciando um entendimento mais objetivo.

Como pontos positivos, podemos destacar a proposição de um método alternativo ao tradicional tentativa-e-erro, que possibilita maior domínio do processo de projeto. Essa possibilidade se abre, na medida em que o método induz à mais perfeita estruturação do problema, sobre a qual torna-se possível a sua re-leitura, através da abstração do problema específico em um problema genérico. Isso permite, através da classificação das soluções, o acesso a diversas formas de analogias de conhecimentos já existentes.

Constatamos, assim, que a utilização da metodologia obriga a um conhecimento amplo sobre o problema, enriquecendo o repertório do projeto e, ao mesmo tempo, ativando o rompimento da inércia psicológica, a partir do exercício de aplicação dos PIs. Com isso, o processo de projeto torna-se mais estruturado, confiável e eficaz, e o

¹¹ Conhecimento superficial é o conhecimento das informações que se referem à problemas imediatos e sua solução associada (Harmon e Sawyer, 1990).

¹² Conhecimento profundo é o conhecimento teórico do domínio, que pode ser aplicado a diferentes tarefas e em mais de uma situação, utilizando mecanismos de transferência e analogia (Harmon e Sawyer, 1990).

processo de conhecimento do projeto, transmissível. Essa transmissão ressalta um outro aspecto importante da metodologia, que é a possibilidade da reavaliação posterior do projeto, de acordo com a evolução tecnológica e conseqüente alterações do meio ambiente, restrições e contradições.

Ademais, o aspecto positivo mais importante percebido na utilização da metodologia refere-se à mudança no paradigma de *como enxergar o problema de projeto na arquitetura*. Para o arquiteto, cada projeto é essencialmente único, e isso pressupõe uma forma exclusiva de se resolver o problema. De certa forma, os profissionais de projeto revestem-se de uma certa altivez em sua sabedoria, considerando que a sua solução sempre será inédita, quando, na verdade, muitas vezes, praticam a redescoberta da lâmpada, a cada novo projeto. É verdadeira a afirmação acima em relação aos aspectos artísticos da arquitetura, que realmente implicam em unicidade e exclusividade. Entretanto, nos aspectos práticos e funcionais, muitas invenções já criadas, inclusive pertencentes a outras áreas de atuação, podem e devem contribuir para uma prática mais eficiente. Trata-se de reconhecer uma desnecessária mudança no paradigma da ciência a cada novo projeto, e desenvolver, de forma consciente, soluções originais e inovadoras, que satisfaçam às necessidades reais percebidas.

7 CONCLUSÕES

Esta pesquisa procurou explorar a aplicabilidade dos conceitos da TRIZ para projetos de arquitetura. O objetivo do trabalho foi dividido em três partes fundamentais: a classificação de alguns modelos de suporte à criatividade em projeto; a proposta de aplicação da TRIZ como modelo de suporte à concepção de projetos arquitetônicos e a execução de um estudo de caso, utilizando o modelo proposto.

A classificação de alguns modelos que podem ser utilizados para auxiliar a fase criativa do projeto, no Capítulo 2, permitiu concluir que a TRIZ pode ser usada tanto de forma complementar a outros modelos estruturais, como é o caso do Projeto Axiomático e da metodologia proposta por Pahl e Beitz, como pode ser complementada pelos modelos de geração de formas, em eventual exploração dos PIs Assimetria, Recurvação ou Mudança de cor. Já em relação aos modelos conceituais e de avaliação, a TRIZ apresenta uma proposta alternativa, visto que o principal destaque da teoria é a apresentação dos PIs como *sinhalizadores de idéias ou soluções*. E a avaliação do projeto, por sua vez, deve ser feita a partir da análise da resolução das contradições encontradas.

Esse enfoque sobre as contradições, em sintonia com a filosofia da terceira geração dos Métodos de Projeto, levou à proposta, apresentada no Capítulo 3, de uma classificação específica dos Princípios Inventivos da TRIZ para o campo da arquitetura, através dos objetivos que poderiam ser vislumbrados nas invenções arquitetônicas. O estudo de caso realizado no Capítulo 5 evidenciou a utilidade das referências promovidas, que ocorreu na aplicação direta, tanto dos Princípios, um a um, quanto dos Objetivos, que originou a idéia nº 7 do item 5.2.2.

Assinalamos, portanto, as principais conclusões do trabalho, em relação às questões levantadas no item 1.1 do capítulo introdutório:

- A utilização da TRIZ, como modelo de representação do projeto, permitiu a sistematização do conhecimento, tornando-se o instrumento mediador que facilitou a descoberta de correlações e inferências, sem, contudo, inibir o processo cíclico da criatividade, visto que as idéias ressurgiram várias vezes, conforme a evolução do entendimento do problema;

- Atuando como um modelo conceitual e de análise, foi possível, com o uso da TRIZ, trabalhar inicialmente os conceitos, favorecendo a emergência de associações. O estabelecimento de uma contradição de projeto propiciou o uso dos Princípios Inventivos sugeridos na Matriz de Contradições, que funcionou como sinalizadora das soluções. O exercício de exploração dos PIs sugeridos foi um meio de romper a inércia psicológica e buscar outras formas de se "olhar o problema", além da simples construção de um novo elevador;
- A metodologia utilizada permitiu, assim, uma delimitação do espaço de busca por soluções, possibilitando uma forma alternativa para projeto ao tradicional método tentativa-e-erro.

7.1 Considerações Finais

Cabe-se ressaltar que a pequena abrangência da pesquisa impede a generalização dos resultados obtidos. Para isso, é necessário a realização de um maior número de estudos de caso, aplicados à experimentação das ferramentas da TRIZ na execução de problemas de projeto arquitetônicos reais. Este trabalho procurou dar um primeiro passo nessa direção, através da aplicação do MPI a um problema particular de projeto, e nesse sentido, apresentou evidências sobre a importância da sistematização do conhecimento do arquiteto, que se reflete no seu processo de geração de idéias. Afinal, o entendimento da capacidade de estabelecer relações e, conseqüentemente, gerar associações, é um sonho humano de domínio do seu processo criativo. E a representação do pensamento sistêmico é a tradução desse sonho.

7.2 Sugestões para trabalhos futuros

A TRIZ como metodologia se desenvolveu acentuadamente nos últimos 50 anos, especialmente em alguns países da Europa Ocidental, Estados Unidos e Japão. Os Trizniks (como são chamados os pesquisadores da TRIZ), além do próprio desenvolvimento da teoria, pela contínua análise de patentes mais recentes, atualização dos PIs e PRs, criação de novas heurísticas e aplicações a campos diversos, têm desenvolvido e implementado outros ramos da TRIZ, através da sua agregação a outros métodos, tais como TRIZ + QFD e TRIZ + Análise Função-

Custo. O futuro da TRIZ, portanto, engloba um caminho extremamente aberto, tanto no campo aplicado como nas áreas teóricas e pedagógicas.

A aplicação da TRIZ à arquitetura faz parte do desenvolvimento da TRIZ experimental, onde as heurísticas e os instrumentos da teoria são aplicados a um novo campo do conhecimento, para a qual a teoria ainda não fora implementada. Portanto, sugestões para trabalhos futuros envolvem pesquisas referentes a:

- estudos de caso de aplicação do MPI a projetos novos completos;
- estudos de caso de experimentação de outras ferramentas da TRIZ ao campo da arquitetura;
- criação de bancos de conhecimentos e suporte computacional;
- estruturação dos conceitos da teoria para o ensino de projeto.

Anexo A: 40 Princípios Inventivos¹³

1. Segmentação

- a. Divida um objeto em partes independentes.
- b. Torne um objeto seccionável.
- c. Aumente o grau de segmentação de um objeto.

Exemplos:

- 1. Projeto de mobiliário seccionável, componentes modulares de computador ou régua de madeira dobrável.
- 2. Pode-se juntar mangueiras para formar qualquer comprimento.

2. Extração

- a. Extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade "perturbadora" de um objeto.
- b. Extraia a única parte ou propriedade necessária.

Exemplo:

Usando uma gravação, reproduza um som conhecido para excitar pássaros, a fim de assustá-los do aeroporto. (O som é separado dos pássaros)

3. Qualidade localizada

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

Exemplo:

- 1. Para combater pó em minas de carvão, é aplicada uma névoa fina de água em forma cônica, sobre as partes funcionais do maquinário de perfuração e carregamento. Quanto menor as gotinhas, maior efeito em combater o pó, mas a névoa fina esconde o trabalho da broca. A solução é desenvolver uma camada de névoa grossa ao redor do cone de névoa fina.

¹³ Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998).

4. Assimetria

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

Exemplos:

- 1. Um lado do pneu é mais forte que o outro, para absorver o impacto junto à guia.
- 2. Durante o descarregamento de areia molhada através de um funil simétrico, a areia forma um arco acima da abertura, causando fluxo irregular. Um funil de forma assimétrica elimina o efeito arqueado.

5. Consolidação (Integração)

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

Exemplo:

Um elemento de funcionamento do escavador rotatório tem bicos de vapor especiais para descongelar e amolecer o chão congelado, em um único passo.

6. Universalização

Faça o objeto realizar múltiplas funções, eliminando, através disso, a necessidade de alguns outros objetos.

Exemplos:

- 1. O sofá do dia se converte em uma cama à noite.
- 2. Assentos de mini-vans ajustam-se para sentar, dormir ou carregar carga.

7. Aninhamento

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

Exemplos:

- 1. Antena telescópica
- 2. Cadeiras empilháveis (uma sobre a outra para armazenagem)
- 3. Lápis mecânico com apontador (laser) armazenado dentro

4. Matrioshkas

8. Contrapeso

- a. Compense o peso de um objeto, juntando a outro objeto que tem uma força de levantamento.
- b. Compense o peso de um objeto, produzindo forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas.

Exemplos:

1. Barcos têm hidrofólios.
2. Carros de corrida têm asas traseiras para aumentar a pressão para baixo.

9. Compensação Prévia

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

Exemplos:

1. Pilar ou laje de concreto armado.
2. Duto armado - a fim de tornar um duto mais forte, ele é constituído de diversos tubos que foram previamente tensionados a um ângulo calculado.

10. Ação Prévia

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

Exemplos:

1. Lâmina de faca feita com um encaixe que permite quebrar a parte ruim da lâmina para restaurar a agudez.
2. É difícil de aplicar corretor líquido, de forma uniforme. Ao invés disso, ele é fornecido em fita, de forma que a quantidade apropriada possa ser aplicada mais facilmente.

11. Amortecimento Prévio

Compense a confiabilidade relativamente baixa de um objeto por contramedidas tomadas antecipadamente.

Exemplo:

Para prevenir furtos, o proprietário de uma loja prende uma etiqueta especial, que contém uma placa magnetizada. Para que o consumidor retire a mercadoria da loja, a placa é desmagnetizada pelo caixa.

12. Equipotencialidade

Mude a condição de trabalho, de forma que um objeto não necessite ser levantado ou abaixado.

Exemplo:

Óleo de motor de automóvel é trocado através de um fosso (de forma que o equipamento caro de elevação não seja necessário).

13. Inversão

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

Exemplo:

Abrasivos limpam peças vibrando as peças, ao invés do abrasivo.

14. Recurvação

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

Exemplo:

Um mouse de computador utiliza uma esfera para transferir movimentos bidimensionais em coordenadas vetoriais.

15. Dinamização

- a. Faça as características de um objeto ou meio ambiente externo automaticamente ajustar-se ao desempenho ótimo, a cada estágio de operação.
- b. Divida um objeto em elementos, capazes de mudar a posição relativa entre eles.
- c. Se um objeto é imóvel, torne-o móvel ou intercambiável.

Exemplos:

- 1. Uma lanterna pode ter um pescoço flexível entre o pescoço e a cabeça de luz.
- 2. Um recipiente de transporte tem um corpo de forma cilíndrica. Para reduzir a vazão do recipiente sob carga cheia, o corpo é constituído de duas partes semicilíndricas articuladas, que podem ser abertas.

16. Ação Parcial ou excessiva

Se for difícil obter 100% de um efeito desejado, alcance algo "mais ou menos", para simplificar bastante o problema.

Exemplo:

- 1. Um cilindro é pintado imergindo-o em tinta, mas é coberto por mais pintura que o desejado. A pintura em excesso é removida rotacionando rapidamente o cilindro.

17. Transição para nova dimensão

- a. Remova problemas de mover um objeto em linha, permitindo movimentos bidimensionais (ao longo de um plano). Similarmente, problemas de mover um objeto em um plano são removidos, se o objeto puder ser alterado para permitir movimento tridimensional.
- b. Use uma montagem multinível de objetos, ao invés de um único nível.
- c. Incline o objeto ou vire-o "sobre o seu lado".
- d. Projete imagens sobre áreas vizinhas ou sobre o lado reverso do objeto.

Exemplo:

Uma estufa tem um refletor côncavo sobre a parte norte da casa para melhorar a iluminação durante o dia, refletindo luz solar daquela parte da casa.

18. Vibração mecânica

- a. Ponha um objeto em oscilação.
- b. Se existe oscilação, aumente a sua frequência, até mesmo como a ultrassônica.
- c. Use a frequência de ressonância.
- d. Ao invés de vibradores mecânicos, use piezovibradores.
- e. Use vibrações ultrassônicas em conjunção com um campo eletromagnético.

Exemplos:

- 1. Para remover um gesso do corpo sem dano de pele, uma serra de mão convencional é substituída por uma faca vibratória.
- 2. Vibre um molde de gesso enquanto está sendo preenchido, para melhorar o fluxo e as propriedades estruturais.

19. Ação Periódica

- a. Substitua uma ação contínua por uma periódica (impulso).
- b. Se uma ação já é periódica, mude a sua frequência.
- c. Use pausas entre os impulsos para produzir ação adicional.

Exemplos:

- 1. Uma chave inglesa de impacto afrouxa porcas corroídas usando impulsos, ao invés de uma força contínua.
- 2. Flashes de luz de advertência são mais notáveis que a iluminação contínua.

20. Continuidade de ação útil

- a. Realize uma ação sem quebra - todas as partes de um objeto devem estar constantemente operando à total capacidade.
- b. Remova um movimento inútil e intermediário.

Exemplo:

Uma broca pode ter extremidades cortantes que permitem o processo cortante em direções dianteiras e inversas.

21. Aceleração

Realize operações indesejadas ou perigosas a uma velocidade muito alta.

Exemplo:

Um cortador para tubos plásticos de paredes finas previne a deformação do tubo durante o corte, cortando-o a uma velocidade muito alta.

22. Transformação de prejuízo em lucro

- a. Utilize um fator indesejado ou efeito indesejado de um meio ambiente, para obter um efeito positivo.
- b. Remova um fator indesejado, combinando-o com outro fator indesejado.
- c. Aumente a quantidade de ação indesejada até que ela deixe de ser indesejada.

Exemplos:

1. Areia ou cascalhos congelam quando transportados através de climas frios. Super congelamento (utilizando nitrogênio líquido) enfraquece o gelo, que permite derramamento.
2. Quando se usa corrente de alta frequência para aquecer metal, somente a camada externa é aquecida. Este efeito negativo é agora utilizado para tratamento de calor de superfície.

23. Retroalimentação

- a. Introduza retroalimentação.
- b. Se já existe retroalimentação, inverta-a.

Exemplos:

1. A pressão de água de um poço é mantida através de um sensor de pressão de saída, que o liga a uma bomba se a pressão estiver baixa.
2. Gelo e água são medidos separadamente, mas devem ser combinados para um peso total exato. Porque é difícil dispensar precisamente o gelo, ele é medido primeiro. O peso do gelo é somado ao controle de água, que dispensa precisamente a quantidade de água necessária.
3. Dispositivos para anular ruídos tiram amostras de sinais de ruídos, alteram suas fases e retroalimenta-os para anular o efeito da fonte de ruído.

24. Mediação

- a. Use um objeto intermediário para transferir ou realizar uma ação.

- b. Conecte temporariamente um objeto a outro que seja fácil de remover.

Exemplo:

Para reduzir perda de energia quando se aplica corrente a um metal líquido, use eletrodos resfriados e metais líquidos intermediários com uma temperatura de fusão mais baixa.

25. Auto-serviço

- a. Faça o próprio objeto realizar o serviço, bem como operações suplementares e de reparo.
- b. Use material e energia perdida.

Exemplos:

1. Para distribuir um material abrasivo uniformemente sobre a superfície de roletes de esmagamento e impedir o desgaste do alimentador, a sua superfície é constituída do mesmo material abrasivo.
2. Numa pistola de soldar elétrica, a vareta avança por um dispositivo especial. Para simplificar o sistema, a vareta é avançada por um solenóide controlado pela corrente de solda.

26. Cópia

- a. Use uma cópia simples ou barata, ao invés de um objeto que é complexo, caro, frágil ou inconveniente.
- b. Substitua um objeto ou sistema de objetos por uma cópia ou imagem óptica. Uma escala pode ser usada para reduzir ou aumentar a imagem.
- c. Se cópias ópticas visíveis são usadas, substitua-as por cópias infravermelhas ou ultravioletas.

Exemplo:

A altura de objetos altos pode ser determinada através da medida das suas sombras.

27. Uso e descarte

Substitua um objeto caro por um conjunto de objetos baratos, comprometendo outras propriedades (por exemplo, a longevidade).

Exemplos:

1. Fraldas descartáveis.
2. Uma ratoeira descartável consiste de um tubo plástico com isca. Um rato entra na armadilha através de uma abertura de forma cônica. As paredes angulares não permitem que o rato saia.

28. Substituição de meios mecânicos

- a. Substitua um sistema mecânico por um sistema óptico, acústico ou de odor.
- b. Use um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interação com o objeto.
- c. Substitua campos.
- d. Use um campo em conjunção com partículas ferromagnéticas.

Exemplos:

1. Campos parados mudam para campos de movimento.
2. Campos fixos tornam-se campos que mudam no tempo.
3. Campos randômicos mudam para campos estruturais.
4. Para aumentar o vínculo de um revestimento metálico a um material termoplástico, o processo é realizado dentro de um campo eletromagnético, para aplicar força ao metal.

29. Construção pneumática ou hidráulica

Substitua partes sólidas de um objeto por gás ou líquido. Essas partes podem usar ar ou água para inflar ou usar ar ou amortecimentos hidrostáticos.

Exemplos:

1. Para aumentar a vazão de uma chaminé industrial, um tubo espiral com bocais é instalado. Quando o ar assopra através dos bocais, cria uma parede de ar que reduz o arrasto.

30. Uso de filmes finos e membranas flexíveis

- a. Substitua a construção habitual por membranas e filmes flexíveis.
- b. Isole um objeto do meio ambiente externo com um filme ou membrana finos.

Exemplos:

Para impedir a perda de água de evaporação das folhas das plantas, um spray de poliestileno é aplicado. O poliestileno endurece e o crescimento da planta melhora, porque o filme de poliestileno passa oxigênio melhor que o vapor de água.

31. Uso de materiais porosos

- a. Torne um objeto poroso ou use elementos porosos adicionais (inserts, tampas, etc.)
- b. Se um objeto já é poroso, preencha os poros antecipadamente com alguma substância.

Exemplo:

Para evitar refrigeração do bombeamento para uma máquina, algumas partes da máquina são preenchidas com material poroso (pó férreo poroso), encharcados em líquido refrigerante, que evapora quando a máquina está funcionando, produzindo, a curto prazo, refrigeração uniforme.

32. Mudança de cor

- a. Mude a cor de um objeto ou do seu entorno.
- b. Mude a translucidez de um objeto ou do seu entorno.
- c. Use aditivos coloridos para observar objetos ou processos difíceis de ver.
- d. Se tais aditivos já são usados, empregue traços luminescentes ou elementos radioativos.

Exemplos:

- 1. Uma bandagem transparente facilita a inspeção de uma ferida, sem ter que ser removida.
- 2. Em usinas siderúrgicas, uma cortina de água é usada para proteger os trabalhadores do superaquecimento. Porém, essa cortina protege somente dos raios infravermelhos; o brilho de luz do aço fundido pode facilmente atravessar a cortina. Uma cor é adicionada à água para criar um efeito de filtro, permanecendo transparente.

33. Homogeneidade

Faça os objetos interagirem com um objeto primário do mesmo material, ou de um material similar em comportamento.

Exemplo: A superfície de um alimentador para grãos abrasivos é constituída do mesmo material que passa pelo alimentador, permitindo a restauração contínua da superfície, sem desgastá-la.

34. Descarte e regeneração

- a. Depois que completou a sua função ou tornou-se inútil, rejeite ou modifique (por exemplo descarte, dissolva ou evapore) um elemento de um objeto.
- b. Restaure diretamente qualquer parte já usada de um objeto.

Exemplos:

1. Coberturas de balas são ejetadas depois que a arma atira.
2. Propulsores de foguetes separam-se depois de realizarem a sua função.

35. Mudança de parâmetros e propriedades

Mude o estado agregado de um objeto, a concentração de densidade, o grau de flexibilidade ou a temperatura.

Exemplo: Em um sistema para quebrar materiais frágeis, a superfície da rosca de avanço é feita de um material elástico com duas molas espirais. A fim de controlar o processo, o passo da rosca pode ser alterado.

36. Mudança de fase

Implemente um efeito desenvolvido durante a fase de transição de uma substância. Por exemplo, durante a mudança de volume ou durante a liberação ou absorção de calor.

Exemplo:

Para controlar a expansão de canos sanfonados, eles são cheios de água e esfriados para uma temperatura fria.

37. Expansão térmica

- a. Use expansão ou contração de um material por calor.
- b. Use vários materiais com diferentes coeficientes de expansão de calor.

Exemplo:

Para controlar a abertura de janelas na cobertura, em uma estufa, placas bimetálicas são conectadas às janelas. Com a mudança de temperatura, as placas se deformam e fazem a janela abrir ou fechar.

38. Uso de oxidantes fortes

- a. Substitua ar normal por ar enriquecido.
- b. Substitua ar enriquecido por oxigênio.
- c. No oxigênio ou no ar, trate um material com radiação iônica.
- d. Use oxigênio ionizado.

Exemplo:

Para obter mais calor de uma tocha, é adicionado oxigênio à tocha, ao invés de ar atmosférico.

39. Uso de atmosferas inertes

- a. Substitua o meio ambiente normal por um inerte.
- b. Realize um processo no vácuo.

Exemplo:

Para prevenir que o algodão pegue fogo em um depósito, ele é tratado com gás inerte durante o transporte para a área de armazenagem.

40. Uso de materiais compostos

Substitua um material homogêneo por um composto.

Exemplo:

Asas de aviões militares são feitos de compostos de plásticos e fibras de carbono para que tenham alta resistência e pouco peso.

Anexo B: 39 Parâmetros de Engenharia (e Arquitetura)¹⁴

A utilização da Matriz de Contradições (anexo C) para projetos de arquitetura exige a abstração de alguns parâmetros de Engenharia formulados por Altshuller. A seguir, apresentamos a definição dos 39 parâmetros, seguidos, conforme necessário, de breve explicação para a aplicação em arquitetura.

1. Peso do objeto em movimento:

é a força mensurável, resultante da gravidade, que um corpo exerce sobre a superfície, que o impede de cair. Um objeto em movimento é aquele que muda de posição por si só ou como o resultado de alguma força externa.

Em arquitetura, "objeto em movimento" pode ser substituído por "edificação (ou elemento construtivo) em funcionamento", ou seja, considerando a edificação (construção) com a sua lotação máxima. Por exemplo, o peso de um estádio, considerado com a sua capacidade máxima de lotação e movimentação das pessoas sobre a arquibancada.

2. Peso do objeto parado:

é a força mensurável, resultante da gravidade, que um objeto estacionado exerce sobre a superfície sobre a qual ele está posicionado. Um objeto estacionado é aquele que não pode mudar a sua posição por si só ou como o resultado de alguma força externa.

Em arquitetura, considera-se "objeto parado" a própria edificação (ou o conjunto de elementos arquitetônicos).

3. Comprimento do objeto em movimento

é a medida linear do comprimento, altura ou espessura de um objeto, na direção do movimento observado deste objeto. O movimento pode ser causado por forças externas ou internas.

Em arquitetura, substitui-se "objeto em movimento" por "edificação (ou elemento construtivo) em funcionamento". Assim, o comprimento de uma porta de correr é a

¹⁴ Adaptado de Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998).

medida do vão de abertura, mais o comprimento da porta, necessário para deixar o vão totalmente aberto. O comprimento pode se referir também à altura da edificação.

4. Comprimento do objeto parado

é a medida linear do comprimento, altura ou espessura de um objeto, na direção em que nenhum movimento deste objeto é observado.

Em arquitetura, refere-se ao comprimento ou altura da edificação (ou elemento construtivo).

5. Área do objeto em movimento

é a medida quadrada de qualquer plano ou porção de plano de um objeto, o qual, sob a ação de forças internas ou externas, pode mudar a sua posição no espaço.

Em arquitetura, é a área necessária para a realização da Função Útil do projeto, ou seja, o espaço considerado com circulação de pessoas, veículos, etc...

6. Área do objeto parado

é a medida quadrada de qualquer plano ou porção de plano de um objeto, o qual, sob a ação de forças internas ou externas, não pode mudar a sua posição no espaço.

Em arquitetura, é a área da edificação em si.

7. Volume do objeto em movimento

é a medida cúbica de um objeto que pode mudar a sua posição no espaço, sob a ação de forças internas ou externas.

Em arquitetura, é o volume considerado juntamente com o seu meio ambiente de funcionamento (entorno).

8. Volume do objeto parado

é a medida cúbica de um objeto que não pode mudar a sua posição no espaço, sob a ação de forças internas ou externas.

Em arquitetura, é a volumetria da edificação em si.

9. Velocidade

é a taxa em que uma ação ou processo é completado sobre o tempo.

Em arquitetura, pode-se referir ao processo de projeto ou ao processo de execução.

10. Força

é a capacidade de causar mudança física em um objeto ou sistema. A mudança pode ser total ou parcial, permanente ou temporária.

Em arquitetura, pode-se considerar a força proveniente de: cargas, ventos, movimentações, etc.

11. Tensão ou Pressão

é a intensidade de forças que atuam sobre um objeto ou sistema, medida como a força de compressão ou tensão por unidade de área.

12. Forma

é a aparência ou contorno externo de um objeto ou sistema. A forma pode ser mudada total, parcial, permanente ou temporariamente, devido às forças que atuam sobre o objeto ou sistema.

13. Estabilidade da composição

é a resistência do objeto ou sistema à mudança causada pelas interações dos seus objetos ou sistemas associados.

Em arquitetura, diz respeito à flexibilidade da forma, do uso, etc... da edificação.

14. Resistência

sob condições e limites definidos, é a habilidade de um objeto ou sistema absorver os efeitos de força, velocidade, tensão, etc... sem quebrar.

Em arquitetura, considera-se a resistência do projeto em relação à força, velocidade e tensão, conforme definidos anteriormente.

15. Duração da ação do objeto em movimento

é o prazo de tempo no qual um objeto, mudando de posição no espaço, é capaz de realizar a sua função, com sucesso.

Em arquitetura, refere-se à durabilidade, tanto da construção em si (considerando o seu uso contínuo), quanto do propósito da edificação com o passar do tempo.

16. Duração da ação do objeto parado

é o prazo de tempo no qual um objeto, não mudando de posição no espaço, é capaz de realizar a sua função, com sucesso.

Em arquitetura, refere-se à durabilidade da construção ou elemento construtivo.

17. Temperatura

é a perda ou acréscimo de calor a um objeto ou sistema durante as funções requeridas, que podem causar mudanças potencialmente indesejáveis ao objeto, sistema ou produto (*conforto térmico*).

18. Brilho

é a razão entre energia de luz e a área que está sendo iluminada no sistema. Brilho inclui a qualidade da luz, o grau de iluminação e outras características da luz (*fatores de insolação e luminotécnica*).

19. Energia gasta pelo objeto em movimento

são os requisitos de energia do objeto ou sistema que mudam de posição no espaço, por seus próprios meios ou por forças externas.

Em arquitetura, pode-se substituir "objeto em movimento" por "edificação (ou elemento construtivo) em funcionamento". Assim, este parâmetro refere-se a todos os tipos de energia gastos pela edificação em uso (ou elemento construtivo em funcionamento).

20. Energia gasta pelo objeto parado

são os requisitos de energia do objeto ou sistema que não mudam de posição no espaço, por seus próprios meios ou por forças externas.

Refere-se a todos os tipos de energia gastos pela edificação (ou elemento construtivo) em si, quando não está em uso. Por exemplo, a energia consumida por um edifício iluminado durante a noite.

21. Potência

é a razão entre o trabalho (*função*) e o tempo requerido para realizar este trabalho. É utilizada para medir as mudanças requeridas, mas potencialmente indesejáveis, evidentes em um objeto ou sistema, sob determinadas condições.

Em arquitetura, pode-se considerar a potência como um recurso associado ao espaço necessário para acomodar as funções. Quanto maior a “potencialidade”, maior capacidade de acomodação de funções em um mesmo espaço.

22. Perda de energia

é o aumento na inabilidade de um objeto ou sistema de exercer força, especialmente quando nenhum trabalho (*função*) ou produto é produzido.

Em arquitetura, diz respeito aos recursos desperdiçados, tanto naturais quanto artificiais (tecnológicos).

23. Perda de substância

é a diminuição ou eliminação de material de um objeto ou sistema, especialmente quando nenhum trabalho (*função*) ou produto é produzido.

Em arquitetura, pode-se considerar: a) desgaste, contração ou retração de material; b) falta de segurança, que facilita furtos e perdas; c) diminuição de material ou substância devido ao aumento de consumo, com o passar do tempo.

24. Perda de informação

é a diminuição ou eliminação de dados ou "input" de um sistema.

Em arquitetura, refere-se à qualidade do projeto (dados informacionais).

25. Perda de tempo

é o aumento na quantidade de tempo necessário para completar uma determinada ação.

Em arquitetura, refere-se ao tempo que o usuário gasta para obter a Função Útil (UF). O tempo pode estar atrelado, dessa forma, à complexidade do sistema ou ao espaço percorrido.

26. Quantidade de substância

é o número de elementos ou a quantidade de um elemento utilizada para criar um objeto ou sistema. (*quantidade de material ou processo construtivo*)

27. Confiabilidade

é a habilidade de um objeto ou sistema de, adequadamente, realizar a sua função requerida, durante algum período de tempo, ou ciclos.

28. Precisão de medição

é o grau em que uma medição é aproximada ao valor real da quantidade que está sendo medida.

29. Precisão de fabricação

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

30. Fatores externos indesejados atuando no objeto

são influências externamente produzidas, que atuam sobre um objeto ou sistema, que reduzem eficiência e qualidade.

Podem ser fatores da natureza ou produzidos pelo Homem, que atuam sobre a edificação ou elemento construtivo.

31. Fatores indesejados causados pelo objeto

são influências internamente produzidas, que atuam sobre um objeto ou sistema, que reduzem eficiência e qualidade.

Podem ser: impactos ambientais causados pela edificação, pólos geradores de tráfego, etc.

32. Manufaturabilidade

é a conveniência e facilidade pela qual um objeto ou sistema é produzido.

33. Conveniência de uso

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

34. Manutenção

é a conveniência e facilidade pela qual um objeto é restaurado para condição de operação, após algum dano ou uso intenso.

35. Adaptabilidade

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

36. Complexidade do objeto

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

37. Complexidade de controle

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

38. Nível de automação

é a habilidade do sistema realizar operações, sem interação humana.

39. Capacidade ou Produtividade

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

Anexo C: Matriz de Contradições¹⁵

Resultado Indesejado	Característica a alterar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Peso do objeto em movimento	Peso do objeto parado	Comprimento do objeto em movimento	Comprimento do objeto parado	Área do objeto em movimento	Área do objeto parado	Volume do objeto em movimento	Volume do objeto parado	Velocidade	Força	Tensão ou Pressão	Forma	Estabilidade da composição
1	Peso do objeto em movimento			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39
2	Peso do objeto parado				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40
3	Comprimento do objeto em movimento	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34
4	Comprimento do objeto parado		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35
5	Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39
6	Área do objeto parado		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39						1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37		2, 38
7	Volume do objeto em movimento	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17				29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39
8	Volume do objeto parado		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14						2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40
9	Velocidade	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34			13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18
10	Força	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12		18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21
11	Tensão ou Pressão	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 25	10, 15, 35, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21		35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40
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	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14		3, 1, 18, 4
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	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	
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	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35
15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35
16	Duração da ação do objeto parado		6, 27, 19, 16		1, 10, 35				35, 34, 38					39, 3, 35, 23
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	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32
18	Brilho	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30	32, 3, 27
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	12, 18, 28, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24
20	Energia gasta pelo objeto parado		19, 9, 6, 27								36, 37			27, 4, 29, 18
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	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31
22	Perda de energia	15, 16, 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	16, 35, 38	36, 38			14, 2, 39, 6
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	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40
24	Perda de informação	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32				
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		10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5
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		35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40

¹⁵ Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998).

<div>Resultado Indesejado</div> <div>Característica a alterar</div>		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		Resistência	Duração da ação do objeto em movimento	Duração da ação do objeto parado	Temperatura	Brilho	Energia gasta pelo objeto em movimento	Energia gasta pelo objeto parado	Potência	Perda de energia	Perda de substância	Perda de informação	Perda de tempo	Quantidade de substância
1	Peso do objeto em movimento	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35		6, 20, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31		12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31
2	Peso do objeto parado	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35		18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26
3	Comprimento do objeto em movimento	8, 35, 29, 34	19		10, 15, 19	32	8, 35, 24		1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35
4	Comprimento do objeto parado	15, 14, 28, 26		1, 40, 35	3, 35, 38, 18	3, 25			12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	30, 29, 14	
5	Área do objeto em movimento	3, 15, 40, 14	6, 3		2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32		19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13
6	Área do objeto parado	40		2, 10, 19, 30	35, 39, 38				17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4
7	Volume do objeto em movimento	9, 14, 15, 7	6, 35, 4		34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35		35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7
8	Volume do objeto parado	9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4				30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32, 18	35, 3
9	Velocidade	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5		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		18, 19, 29, 38
10	Força	35, 10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21		19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36
11	Tensão ou Pressão	9, 18, 3, 40	19, 3, 27		35, 39, 19, 2		14, 24, 10, 37		10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37		37, 36, 4	10, 14, 36
12	Forma	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		14, 10, 34, 17	36, 22
13	Estabilidade da composição	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	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		35, 27	15, 32, 35
14	Resistência		27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27
15	Duração da ação do objeto em movimento	27, 3, 10			19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40
16	Duração da ação do objeto parado				19, 18, 36, 40				16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31
17	Temperatura	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40		32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39
18	Brilho	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19		32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18		19, 24, 3, 14	2, 15, 19			6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18
20	Energia gasta pelo objeto parado	35				19, 2, 35, 32					28, 27, 18, 31			3, 35, 31
21	Potência	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37			10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19
22	Perda de energia	26			19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38		35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25
23	Perda de substância	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31			15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24
24	Perda de informação		10	10		19			10, 19	19, 10			24, 26, 28, 32	24, 28, 35
25	Perda de tempo	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32		35, 38, 18, 16
26	Quantidade de substância	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39		34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	

Resultado Indesejado Característica a alterar		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Confiabilidade	Precisão de medição	Precisão de fabricação	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	Fatores indesejados causados pelo objeto	Manufaturabilidade	Conveniência de uso	Manutenção	Adaptabilidade	Complexidade do objeto	Complexidade de controle	Nível de automação	Capacidade ou produtividade
1	Peso do objeto em movimento	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2	Peso do objeto parado	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
3	Comprimento do objeto em movimento	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
4	Comprimento do objeto parado	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
5	Área do objeto em movimento	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
6	Área do objeto parado	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
7	Volume do objeto em movimento	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8	Volume do objeto parado	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
9	Velocidade	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
10	Força	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11	Tensão ou Pressão	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
12	Forma	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
13	Estabilidade da composição		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
14	Resistência	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
15	Duração da ação do objeto em movimento	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
16	Duração da ação do objeto parado	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	10, 20, 16, 38
17	Temperatura	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
18	Brilho		11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
20	Energia gasta pelo objeto parado	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4					19, 35, 16, 25		1, 6
21	Potência	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
22	Perda de energia	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22		35, 22, 1	2, 19		7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
23	Perda de substância	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 40	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23
24	Perda de informação	10, 28, 23			22, 10, 1	10, 21, 22	32	27, 22				35, 33	35	13, 23, 15
25	Perda de tempo	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	
26	Quantidade de substância	18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27

Resultado Indesejado Característica a alterar		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Peso do objeto em movimento	Peso do objeto parado	Comprimento do objeto em movimento	Comprimento do objeto parado	Área do objeto em movimento	Área do objeto parado	Volume do objeto em movimento	Volume do objeto parado	Velocidade	Força	Tensão ou Pressão	Forma	Estabilidade da composição
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	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	
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, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13
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	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18
30	Fatores ext. 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	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18
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	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39
32	Manufaturabilidade	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1
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, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30
34	Manutenção	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35
35	Adaptabilidade	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 29, 2	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14
36	Complexidade do objeto	26, 30, 34, 36	2, 36, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 25, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19
37	Complexidade de controle	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 15, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30
38	Nível de automação	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1
39	Capacidade ou produtividade	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2		28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39

Resultado Indesejado Característica a alterar		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		Resistência	Duração da ação do objeto em movimento	Duração da ação do objeto parado	Temperatura	Brilho	Energia gasta pelo objeto em movimento	Energia gasta pelo objeto parado	Potência	Perda de energia	Perda de substância	Perda de informação	Perda de tempo	Quantidade de substância
27	Confiabilidade	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	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	10, 30, 4	21, 28, 40, 3
28	Precisão de medição	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32		3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32
29	Precisão de fabricação	3, 27	3, 27, 40		19, 26	3, 32	32, 2		32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24		32, 26, 28, 18	32, 30
30	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	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	35, 18, 34	35, 33, 29, 31
31	Fatores indesejados causados pelo objeto	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 1
32	Manufaturabilidade	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	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	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24
33	Conveniência de uso	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24		35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35
34	Manutenção	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16		15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27		32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25
35	Adaptabilidade	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13		19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13		35, 28	3, 35, 15
36	Complexidade do objeto	2, 13, 28	10, 4, 28, 15		2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28		20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29		6, 29	13, 3, 27, 10
37	Complexidade de controle	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 24, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 13, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18
38	Nível de automação	25, 13	6, 9		26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13		28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13
39	Capacidade ou produtividade	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		35, 38

Resultado Indesejado Característica a alterar		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Confiabilidade	Precisão de medição	Precisão de fabricação	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	Fatores indesejados causados pelo objeto	Manufaturabilidade	Conveniência de uso	Manutenção	Adaptabilidade	Complexidade do objeto	Complexidade de controle	Nível de automação	Capacidade ou produtividade
27	Confiabilidade		32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26		27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
28	Precisão de medição	5, 11, 1, 23			28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
29	Precisão de fabricação	11, 32, 1			26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10		26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
30	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18			24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24
31	Fatores indesejados causados pelo objeto	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26							19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
32	Manufaturabilidade		1, 35, 12, 18		24, 2			2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
33	Conveniência de uso	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39		2, 5, 12		12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28
34	Manutenção	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16		1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15		7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10
35	Adaptabilidade	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31		1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4		15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
36	Complexidade do objeto	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37		15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
37	Complexidade de controle	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28		22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28		34, 21	35, 18
38	Nível de automação	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25		5, 12, 35, 26
39	Capacidade ou produtividade	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRÓPOLE: arquitetura, urbanismo, decoração. Setor Residencial da Cidade Universitária. São Paulo: Técnicas Brasileiras, n. 303, p. 93-101, fev. 1964.

ALENCAR, E.M.L.S. **Criatividade**. Brasília: ed. UNB; 1995. 149p.

ALEXANDER, C. **Ensayo sobre la síntesis de la forma**. Buenos Aires: Infinito, 1969. 222p.

ARCHER, L.B. **Systematic method for designers**. São Paulo: FAU, 1973.

AU. Arquitetura e Urbanismo. Estrutura em madeira: três partidos. São Paulo: Pini, n. 36, p.27-29, jun-jul. 1991.

CAMPBELL, B. Brainstorming and TRIZ. **TRIZ Journal**, Feb., 2003. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/2003/02/a/01.pdf>>. Acesso em: 12 Mar. 2004.

CAO, Q.; PROTZEN, J.P. Managing design information: Issue-Based Information Systems and Fuzzy Reasoning System. **Design Studies**, Great Britain, v. 20, n. 4, p. 343-362, 1999.

CASTELLS, E.; HEINECK, L.F.M. A aplicação dos conceitos de qualidade de projeto no processo de concepção arquitetônica - uma revisão crítica. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, São Carlos, 2001. **Anais eletrônicos**. São Carlos: EESC - USP, 2001. Disponível em: <http://www.lem.ep.usp.br/gpse/es23/Anais_T.htm>. Acesso em: 25 jul.2002.

CROSS, N. **Engineering Design Methods: strategies for product design**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. 179p.

CROSS, N.; CHRISTIAANS, H.; DORST, K. (ed.) **Analysing design activity**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. 463p.

DE BONO, E. **Lateral thinking: creativity step by step**. New York: Perennial Library, 1990. 300p.

DE CARVALHO, M.A. **Modelo Prescritivo para a solução de problemas nas etapas iniciais do desenvolvimento de produtos**. 1999. 167p. Dissertação

(Mestrado) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1999. Disponível em: <<http://www.nupes.cefetpr.br/~marco/producao.html>>. Acesso em: 16 jan. 2003.

DE CARVALHO, M.A.; BACK, N. Solução Criativa de Problemas no Desenvolvimento de Produto com TRIZ. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAIS DE TECNOLOGIA DA MOBILIDADE (SAE Brasil'98), 7., São Paulo, 1998. **Anais eletrônicos**. São Paulo, 1998. Disponível em: <<http://www.nupes.cefetpr.br/~marco/producao.html>>. Acesso em: 21 jul. 2002.

DESIGN METHODS: Theories, Research, Education and Practice. Impressions of Architecture 130. Notes and Observations on Professor Horst W.J. Rittel's Classic Design Methods Course at Berkeley circa-1969-71. California: The Design Methods Institute, v. 32, n.1, p.2599-2638, Jan-Mar. 1998.

DÜLGEROGLU-YÜKSEL, Y. Design Methods Theory & Its Implications for Architectural Studies. **Design Methods: Theories, Research, Education and Practice**, v. 33, n. 3, p.2870-2877, July-Sept. 1999.

ESCRITÓRIO PILOTO. Projeto de reforma e urbanização do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo. Memorial Descritivo da primeira fase. São Paulo, ago-out. 1984.

GERO, J.S. Computacional Models of Innovative and Creative Design Processes. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, n. 64, p. 183-196, 2000.

GLENN MAZUR, Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ). 1995. Disponível em: <<http://www.mazur.net/triz/index.html>>. Acesso em: 10 Jan.2003.

GOEL, V. **Sketches of Thought**. Cambridge: MIT Press, 1995. 279p.

GOEL, P.S.; SINGH, N. Creativity and Innovation in Durable Product Development. **Computers & Industrial Engineering**, Great Britain, v. 35, n. 1-2, p. 5-8, 1998.

GOLDSHMIDT, G. The dialectics of sketching. **Creativity Research Journal**, v. 4, n. 2, p. 123-143, 1991.

GORDON, W.J.J. **Synectics**, the development of creative capacity. New York: Harper, 1961. 180p.

GRAÇA, V.A.C. **O uso da metodologia de projeto axiomático para projetos arquitetônicos**: estudo de caso das Escolas Municipais de Educação Infantil de São Paulo (EMEI). 2002. 155p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

GRANT, D.P. **Design by objectives**: multiple objective design analysis and evaluation in architectural, environmental, and product design. California: The Design Methods Group, 1982. 51p.

GUILFORD, J.P. **The nature of human intelligence**. New York: Mc-Graw-Hill, 1967. 538p.

HARMON, P.; SAWYER, B. **Creating Expert Systems for Business and Industry**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 329p.

HYMAN, B. **Fundamentals of Engineering Design**. New Jersey: Prentice Hall; 1998. 499p.

JONES, J.C. **Design Methods**: seeds of human futures. London: Wiley-Interscience, 1970. 407p.

KIATAKE, M. et al. Representação e Quantificação das informações subjetivas no processo de projeto arquitetônico: uma aplicação do sistema IBIS-FRS. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU'2002: Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. São Paulo, 2002. **Anais**. São Paulo: FAU-USP, 2002.

LIU, Y.T. Is designing one search or two? A model of design thinking involving symbolism and connectionism. **Design Studies**, Great Britain, v. 17, n. 4, p. 435-449, 1996.

_____. Creativity or novelty? **Design Studies**, Great Britain, v. 21, n. 3, p. 261-276, 2000.

MALMQUIST, J.; AXELSSON, R.; JOHANSSON, M.A. Comparative Analysis of the Theory of Inventive Problem Solving and the Approach of Pahl and Beitz. In: ASME-DETC, 1996. Irvine, 1996. Proceedings. Irvine: ASME, 1996.

MANN, D. Application of Triz Tools in a non-technical problem context. **TRIZ Journal**, Aug., 2000. Disponível em:

<www.triz-journal.com/archives/2000/08/a/index.htm>. Acesso em: 04 Apr. 2003.

MANN, D.; DOMB, E. 40 Inventive (Business) Principles with examples. **TRIZ Journal**, Sept., 1999. Disponível em:

<www.triz-journal.com/archives/1999/09/a/index.htm>. Acesso em: 04 Apr. 2003.

MANN, D.; Ó CATHÁIN, C. 40 Inventive (Architecture) Principles with Examples. **TRIZ Journal**, July, 2001a. Disponível em:

<http://www.triz-journal.com/archives/2001/07/b/index.htm>. Acesso em: 20 Jan. 2002.

_____. Computer-based TRIZ - Systematic Innovation Methods for Architecture. In: COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN FUTURES 2001, 9., Eindhoven, 2001b. **Anais**. London: Kluwer Academic, 2001b. p. 561-575.

MCMILLAN, S. et al. Development and verification of a generic framework for conceptual design. **Design Studies**, Great Britain, v. 22, n. 2, p. 169-191, 2001.

MELHADO, S.B. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios**: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. 1994. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994. p. 124-138.

_____. **Gestão, cooperação e Integração para um novo modelo voltado à Qualidade do Processo de Projeto na Construção de Edifícios**. 2001. 235p. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

MILES, L.D. **Techniques of Value Analysis and Engineering**. New York: McGraw Hill, 1972. 366p.

MIZUNO, S.; AKAO, Y. **QFD: The Customer-Driven Approach to Quality to Planning and Deployment**. Trad. Glenn Mazur. Tokio: Asian Productivity Inc., 1994. 365p.

MONICE, S. **Projeto Axiomático de Arquitetura**: estudo para implantação em sistemas CAD. 2003. 246p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

MUMFORD, M.D.; REITER-PALMON, R.; REDMOND, M. Problem Construction and Cognition: Applying Problem Representations in Ill-Defined Domains. In:

RUNCO, M.A. (ed) **Problem Finding, Problem Solving, and Creativity**. New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1994. p. 3-39.

NAKAMURA, Y. The effective use of TRIZ with Brainstorming. **TRIZ Journal**, Feb., 2003. Disponível em:

<<http://www.triz-journal.com/archives/2001/02/e/index.htm>>. Acesso em: 12 Mar. 2004.

OSBORN, A.F. **Applied imagination**: principles and procedures of creative thinking. Rev. ed. New York: Saibner, 1957. 379p.

OXMAN, R. Prior knowledge in design: a dynamic knowledge-based model of design and creativity. **Design Studies**, Great Britain, v. 11, n. 1, p. 17-28, 1990.

_____. The thinking eye: visual re-cognition in design emergence. **Design Studies**, Great Britain, v. 23, n. 2, p. 135-164, 2002.

PAHL, G; BEITZ, W. **Engineering Design**: a Systematic Approach. Trad. Ken Wallace, Lucienne Blessing e Frank Bauert. London: Springer, 1996. 544p.

PEREIRA, J.C.R. **Análise de dados Qualitativos**. São Paulo: EDUSP, 2001. 156p.

PER GALLE. Design as intentional action: a conceptual analysis. **Design Studies**. Great Britain, v. 20, n. 1, p. 57-81, 1999.

POPPER K. **Logic of scientific discovery**. New York: Harper Torchbooks, 1968. 479p.

RAWLINSON, G. Every day TRIZ (decorating with TRIZ). **TRIZ Journal**, Feb., 2001. Disponível em:

<www.triz-journal.com/archives/2001/02/d/index.htm>. Acesso: em 9 Dez. 2002.

ROMANO, F.V.; BACK, N.; OLIVEIRA, R. A importância do processo de projeto para o desenvolvimento integrado de edificações. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, São Carlos, 2001. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <http://www.lem.ep.usp.br/gpse/es23/Anais_T.htm>. Acesso em: 25 jul. 2002.

SAVRANSKY, S.D. **Engineering of Creativity**: introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving. Boca Raton: CRC Press, 2000. 394p.

SOUFI, B.; EDMONDS, E. The cognitive basis of emergence: implications for design support. **Design Studies**, Great Britain, v. 17, n. 4, p. 451-463, 1996.

SUH, N.P. **The Principles of design**. New York: Oxford University Press, 1990. 401p.

SUSHKOV, V.V.; MARS, J.I.; WOGNUM, P.M. Introduction to TIPS: a theory for creative design. **Artificial Intelligence in Engineering**, Great Britain, n. 9, p. 177-189, 1995.

TAGUCHI, G. **Introduction to Quality Engineering**: designing quality into products and processes. Translated by Asian Productivity Organization. Tokyo: The organization, 1986. 191p.

TERNINKO, J; ZUSMAN, A.; SLOTIN, B. **Systematic Innovation**: an introduction to TRIZ (Theory of inventive problem solving). Boca Raton: St Lucie Press, 1998. 208p.

WRIGHT, F.L.; PFEIFFER, B.B. **Frank Lloyd Wright**, the Guggenheim correspondence, selected and with comentary by Bruce Brooks Pfeiffer. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1986. 308p.

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

Metodologia de Projeto:

ALEXANDER, C. **The timeless way of building**. New York: Oxford University Press, 1979. 552p.

BROADBENT, G. **Design in architecture**. London: John Wiley & Sons, 1973. 504p.

CROSS, N. (ed.) **Developments in Design Methodology**. Chichester: John Wiley & Sons, 1984. 357p.

_____. Natural intelligence in design. **Design Studies**, Great Britain, v. 20, n. 1, p. 25-39, 1999.

KRÜGER, M.J.T. **Teorias e Analogias em Arquitetura**. São Paulo: Projeto, 1986. 57p.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978. 257p.

LAWSON, B. **How Designers Think**. London: Architectural Press, 1986. 215p.

SCHON, D.A.; WIGGINS, G. Kinds of seeing and their functions in designing. **Design Studies**, Great Britain, v. 13, n. 2, p. 135-156, 1992.

SIMON, H.A. **The sciences of the artificial**. Massachussets: MIT Press, 1969. 123p.

SUH, N.P. **The Principles of Design**. New York: Oxford University Press, 1990. 401p.

TATE, D. **A roadmap for decomposition**: activities, theories, and tools for system design. 1999. 210p. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Mecânica, Massachussets Institute of Technology. Massachussets. 1999.

Criatividade:

BODEN, M. **The Creative Mind**: myths and mechanisms. New York: Basic Books, 1991. 303p.

CSIKSZENTMIHALYI, M.; GETZELS, J.W. Discovery-oriented behavior and the originality of creative products: a study with artists. **Journal of Personality and Social Psychology**, n 19, p. 47-52. 1971.

CSIKSZENTMIHALYI, M. Society, culture, and person: a systems view of creativity. In STEMBERG, R.J. (ed). **The nature of creativity**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. p. 325-339.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Creativity**: flow and the psychology of discovery and invention. New York: Harper Collin, 1996. 456p.

KNELLER, G.F. **Arte e Ciência da Criatividade**. Trad. J. Reis. São Paulo: IBRASA, 1978. 121p.

LANGLEY et al. **Scientific Discovery**: computations on the Creative Processes. Cambridge: MIT Press, 1987. 357p.

MONTENEGRO, G. **A invenção do Projeto**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987. 131p.

TORRANCE, E.P. **Guiding Creative Talent**. New Jersey: Prentice-Hall, 1962. 278p.

TRIZ:

ALTSHULLER, G.S. (sob o pseudônimo de Altov, H.). **And Suddenly the Inventor Appeared**. Trad. Lev Shulyak. Worcester: Technical Innovation Center, 1996. 171p.

_____. **Creativity as an exact science**: the theory of the solution of inventive problems. Trad. Anthony Willians. Netherlands: Gordon and Breach, 1984. 320p.

DE CARVALHO, M.A.; BACK, N. Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do Método dos Princípios Inventivos no Desenvolvimento de Produtos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 3., Florianópolis, 2001. **Anais eletrônicos**. Florianópolis, 2001. Disponível em: <<http://www.nupes.cefetpr.br/%7Emarco/macartigoiiicbgdp.pdf>> Acesso em: 21 jul. 2001.

MANN, D. Axiomatic Design and TRIZ: Compatibilities and Contradictions. **Triz Journal**, June, 1999. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/1999/06/a/index.htm>>. Acesso em: 06 Feb. 2002.

_____. Axiomatic Design and TRIZ: Compatibilities and Contradictions. **Triz Journal**, July, 1999. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/1999/07/f/index.htm>>. Acesso em: 06 Feb. 2002.

_____. Strength versus Weight Contradictions in Bridge Design. **Triz Journal**, Mar., 2000. Disponível em: <<http://www.triz-journal.com/archives/2000/03/a/index.htm>>. Acesso em: 22 Mar. 2003.

Apêndice: 40 Princípios, de acordo com a frequência de uso¹⁶

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

¹⁶ Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998) – Princípios em *ordem decrescente* da frequência de uso.