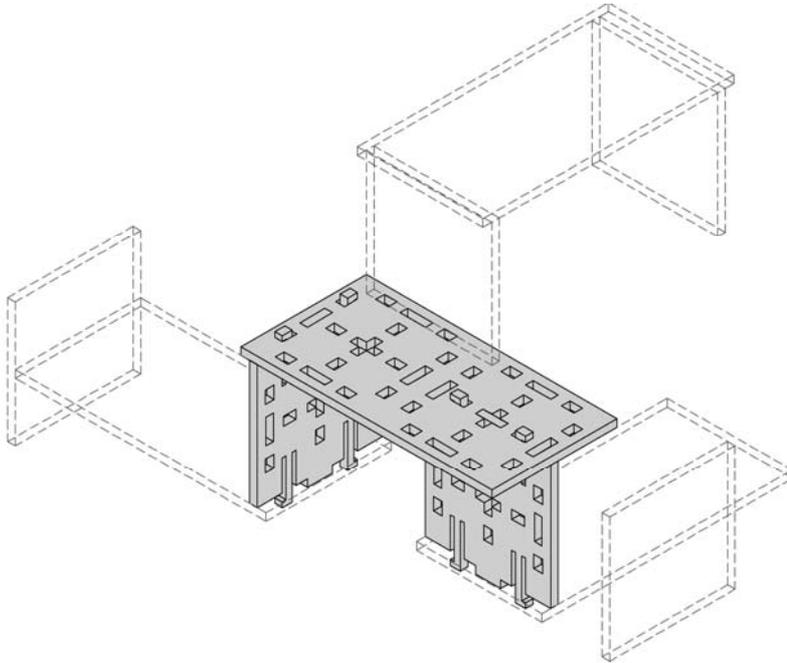


Cr terios para Sele o de Conex es em Mobili rio orientado para Adaptabilidade



CRISTINA GONDIM

Autora

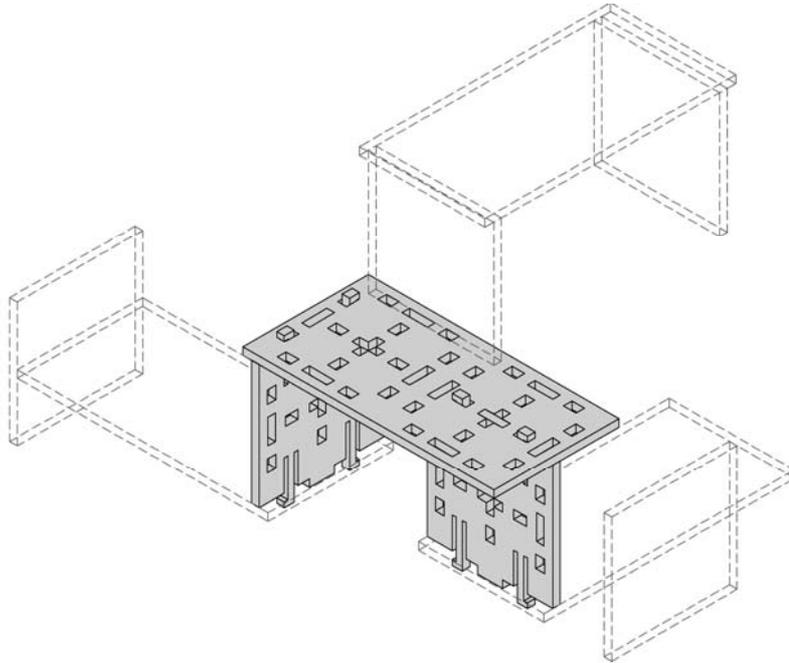
Disserta o apresentada ao Programa de P s
Gradua o em Design da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul como requisito parcial
para a obten o do grau de mestre em design

Prof. Dr. BENAMY TURKIENICZ

Orientador

PORTO ALEGRE, 2010

Cr terios para Sele o de Conex es em Mobili rio orientado para Adaptabilidade



CRISTINA GONDIM

Autora

Disserta o apresentada ao Programa de P s
Gradua o em Design da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul como requisito parcial
para a obten o do grau de mestre em design

Prof. Dr. BENAMY TURKIENICZ

Orientador

PORTO ALEGRE, 2010

G637c Gondim, Cristina
Critérios para seleção de conexões em mobiliário orientado para adaptabilidade / Cristina Gondim. – 2010.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Design. Porto Alegre, BR-RS, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Benamy Turkienicz

1. Mobiliário. 2. Design de produto. 3. Análise multicritério. I. Turkienicz, Benamy, orient. II. Título.

CDU-744(043)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Design
Mestrado em Design e Tecnologia

CRISTINA GONDIM

Crítérios para Seleção de Conexões em Mobiliário orientado para Adaptabilidade

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benamy Turkienicz (orientador)
[UFRGS]

Prof^a Dr^a Gabriela Celani
[UNICAMP]

Prof. Dr. Márcio Minto Fabrício
[EESC/USP]

Prof. Dr. Maurício Moreira e Silva Bernardes
[UFRGS]

Porto Alegre, 13 de dezembro de 2010.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Benamy Turkienicz, pelo incentivo e dedicação. E por proporcionar a estrutura e o ambiente para a realização de pesquisa através do trabalho pautado pelo rigor e qualidade da produção científica.

Aos amigos e colegas do PGDesign e Simmlab pelo convívio, interesse e participação nas diferentes etapas de desenvolvimento do trabalho.

Aos bolsistas Mario e Pablo pela colaboração na realização dos vários testes para execução dos protótipos.

Aos professores e funcionários do PGDesign.

Ao Régis pela parceria e dedicação constantes.

Aos meus pais que sempre apoiaram todas as minhas escolhas.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro para a elaboração deste estudo.

"The connections, the connections. It will in the end be these details that give the product its life."

Charles and Ray Eames

RESUMO

Principais investimentos no Design para Adaptabilidade do mobiliário contemporâneo têm envolvido características como multiplicidade de funções, capacidade de atualização, personalização e compartilhamento de componentes. Tais características vêm permitindo a adaptação do mobiliário às rápidas transformações comportamentais e tecnológicas surgidas nos espaços domésticos e de trabalho. As conexões entre componentes do projeto do mobiliário são fortemente responsáveis por sua adaptabilidade tanto na fase criativa como na fase de uso. Esta dissertação parte da hipótese de que o processo de escolha das conexões, hoje pouco estruturado, pode ser feito a partir de métodos que não só estimulem a fase criativa do projeto como também contribuam para ampliar o desempenho adaptativo do mobiliário. Para avaliar diferentes tipos de conexão foram elaborados critérios para identificar o potencial compositivo de arranjos entre componentes (flexibilidade) relacionando-o à gama de funções emergentes (versatilidade). O resultado desta identificação foi testado por especialistas e validado através de ferramenta multi-critério (Método Analítico Hierárquico). O teste com especialistas demonstrou que metodologias adotadas para seleção de conexões, quando estruturadas a partir de objetivos de projeto, podem aumentar o potencial de adaptabilidade e, ao mesmo tempo converterem-se em valioso apoio ao Design do mobiliário contemporâneo.

Palavras-chave: mobiliário, adaptabilidade, conexões, escolha multi-critério, Método Analítico Hierárquico

ABSTRACT

Manufacturers of contemporary furniture have made significant investments in the Design for Adaptability, particularly in the development of characteristics such as the multiplicity of functions, updating, customization and the share of components. These investments increased the potential of contemporary furniture to adapt to the observed transformations of behavior in domestic and working spaces. The adaptation has been made possible thanks to role played by the development of different types of connections between furniture components. This dissertation departs from the Idea that today's processes involving the choice of connections are poorly structured and can be improved with a support decision's methodology. This upgrade may well lead to the increment of creative attitudes during design process and to the development of higher levels of response to adaptability requests in furniture design. In order to evaluate and to select amidst the different types of connections a set of criteria were designed as to identify number of potential arrays of components (flexibility) and correlating this potential to the possible number of emergent functions (versatility). The result of this identification has been tested by specialists and then validated by a multi-criteria method (AHP). The test with specialists confirmed that structured methodologies can be successfully used to improve the Design for Adaptability and, at the same time, constitute a valuable tool for the contemporary furniture's Design.

Keywords: furniture, adaptability, connections, multi-criteria choice, AHP

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de vida de produtos industriais.	27
Figura 2: Categorias do Design para Adaptabilidade.....	28
Figura 3: Conceito de produção em série.....	30
Figura 4: Inserção de novos processos no sistema de produção.	31
Figura 5: Conceito de fabricação digital e personalização.....	32
Figura 6: Conceito de design generativo para criação de variantes de projeto.	33
Figura 7: Variações de objetos.	34
Figura 8: Exploração da forma no design de produto.....	35
Figura 9: <i>Breeding Tables</i>	35
Figura 10: Leitões de cabines de trens e navios.	39
Figura 11: Sofá-cama, 1868.	40
Figura 12: “Armários-cama”.....	41
Figura 13: Cama de embutir do conjunto habitacional Praunheim, 1926.	41
Figura 14: Mesa dobrável, Gustav Hassenpflug, 1928.....	42
Figura 15: Cadeira dobrável, “Apartamento do Povo”, 1929.....	42
Figura 16: <i>Ulmer Hocker</i> , Max Bill, 1954.	43
Figura 17: “Móveis Container”.	44
Figura 18: Cadeiras fabricadas pela fábrica de móveis Thonet.....	45
Figura 19: Móveis Combinados Luterma.	45
Figura 20: Móveis desenhados por Charles e Ray Eames.....	46
Figura 21: Sistema para estante Plattenbau.	48
Figura 22: <i>Xylem co-creation software</i>	49
Figura 23: Diferentes formas de fixação entre dois componentes.....	51
Figura 24: Graus de liberdade translacionais e rotacionais.	52
Figura 25: Redução dos graus de liberdade entre elementos.	52

Figura 26: Diferentes soluções para conectar elementos.	53
Figura 27: Cinco soluções para o mesmo problema de fixação.	54
Figura 28: Princípios de união não recomendados pelo DfD.....	57
Figura 29: Esquema de um processo de conexão reversível.....	59
Figura 30: Elementos de fixação padronizados.....	62
Figura 31: Justaposição de elementos por geometria.	63
Figura 32: Estrutura de madeira executada por encaixes.	64
Figura 33: Desenho esquemático de um <i>snap-fit</i>	66
Figura 34: Brinquedos de montar com conexões integradas.	66
Figura 35: Super Box, Designers Irmãos Adriano, Fabricante Lazzari.	67
Figura 36: Play Shelving, Designer Antoine Phelouzat, Fabricante Movisi.....	68
Figura 37: Encaixes japoneses.....	69
Figura 38: Encaixes digitais em madeira maciça (<i>Digital Wood Joints</i>).	69
Figura 39: Encaixes digitais em chapas de madeira industrializada (<i>Digital Wood Joints</i>).	70
Figura 40: Encaixes em superfícies curvas.	71
Figura 41: Estrutura da pesquisa.	74
Figura 42: Piktograma Atualização.	76
Figura 43: Piktograma Versatilidade.....	78
Figura 44: Piktograma Variedade.	79
Figura 45: Piktograma Personalização.....	80
Figura 46: Conexão CLIP.	83
Figura 47: Utilização do princípio do <i>snap fit</i> em mobiliário.	84
Figura 48: Conexão SLOT.....	84
Figura 49: <i>Rib</i> ou <i>Egg-crate Structures</i>	85
Figura 50: Conexão FINGER.	86
Figura 51: Variantes da conexão Finger Joint.	86
Figura 52: Conexão TUSK.....	87
Figura 53: Detalhes de mobiliário com a conexão <i>Tusk Tenon</i>	87

Figura 54: Módulo básico e variantes por combinação entre módulos.	89
Figura 55: Elementos combinados e manipulados para formar objetos funcionais.....	90
Figura 56: Relações espaciais.	90
Figura 57: Definição das regras de combinação entre elementos simples e duplos.	91
Figura 58: Combinações entre 2 módulos simples e 1 duplo.	92
Figura 59: Quantificação das combinações considerando as mesmas regras. .	93
Figura 60: Quantificação das combinações regras diferentes.	93
Figura 61: Posições do objeto.....	94
Figura 62: Critérios de análise das conexões.....	94
Figura 63: Movimentos translacionais.....	97
Figura 64: Conexão FINGER executada com a fresadora.	99
Figura 65: Conexão SLOT executada com a fresadora.	100
Figura 66: Conexão CLIP executada com a fresadora.....	101
Figura 67: Ampliação das possibilidades combinatórias.	105
Figura 68: Definição da localização dos pontos de conexão.....	105
Figura 69: Pontos de união para formar o módulo duplo.....	109
Figura 70: Processo de criação de objetos funcionais.	119
Figura 71: Mesmo objeto com função de assento revela diferentes possibilidades de uso.	119
Figura 72: Estrutura do AHP para seleção do melhor design conceitual.	125
Figura 73: Representação esquemática da aplicação do AHP.	127
Figura 74: Matriz recíproca de comparações.	131
Figura 75: Exemplo de hierarquia para aplicação do AHP.....	131
Figura 76: Estrutura hierárquica da pesquisa.	138
Figura 77: Formulário para comparações entre alternativas.....	140
Figura 78: Formulário para comparações entre critérios.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Restrições das conexões relativas às posições do objeto.	96
Tabela 2: Graus de liberdade com as diferentes conexões.	98
Tabela 3: Variantes da conexão FINGER executadas com diferentes processos.	100
Tabela 4: Esquema de representação das combinações possíveis com cada conexão.....	102
Tabela 5: Quantificação das combinações considerando as restrições relativas a posição.....	103
Tabela 6: Definição dos elementos.	106
Tabela 7: Matriz para geração de pontos de conexão no módulo simples. ...	108
Tabela 8: Matriz para geração de pontos de conexão no módulo duplo.....	109
Tabela 9: Quantificação dos elementos com o módulo simples.	110
Tabela 10: Quantificação dos elementos com o módulo duplo.....	111
Tabela 11: Grau de otimização.	112
Tabela 12: Objetos executados com diferentes alternativas de conexão.....	113
Tabela 13: Quantificação dos elementos otimizados.	114
Tabela 14: Elementos fabricados para o experimento.....	117
Tabela 15: Número de arranjos criados por participante e por conexão.....	120
Tabela 16: Objetos multifuncionais.....	121
Tabela 17: Grupos de função de mobiliário.	122
Tabela 18: Níveis da estrutura hierárquica do AHP.	128
Tabela 19: Escala de valores do Método Analítico Hierárquico.	130
Tabela 20: Matrizes de comparação.	132
Tabela 21: Tabela de composição do calculo do CR.	133
Tabela 22: Matriz com seus respectivos autovetor, autovalor e razão de consistência.....	133

Tabela 23: Questionário preenchido.	134
Tabela 24: Solução final.	135
Tabela 25: Sistematização dos resultados da análise.	136
Tabela 26: Resultado das avaliações na eleição da melhor alternativa de conexão.....	142
Tabela 27: Resultado da eleição do critério mais importante na avaliação das conexões.....	142

LISTA DE ABREVIATURAS

BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
DIY	<i>do it yourself</i>
DfX	Design para X (<i>Design for X</i>)
AD	Design para Adaptabilidade (<i>Adaptable Design</i> ou <i>Design for Adaptability</i>)
CN	Controle Numérico (<i>Numerical Control</i>)
CNC	Controle Numérico por Computador (<i>Computer Numerical Controlled</i>)
CAD	Desenho Assistido por Computador (<i>Computer Aided Design</i>)
CAM	Fabricação Assistida por Computador (<i>Computer Aided Manufacturing</i>)
JIT	Sistema <i>Just-In-Time</i>
TPS	Sistema Toyota de Produção (<i>Toyota Production System</i>)
DOF	Grau de liberdade (<i>Degree of Freedom</i>)
DOI	Grau de integração (<i>Degree of Integration</i>)
DfM	Design para Manufatura (<i>Design for Manufacturability</i>)
DfA	Design para Montagem (<i>Design for Assembly</i>)
DfD	Design para Desmontagem (<i>Design for Disassembly</i>)
ADSM	Desmontagem Ativa através de Materiais Inteligentes (<i>Active Disassembly through Smart Materials</i>)
SMA	Conexão com um único material (<i>Single Material Assembly</i>)
SAD	Sistema de Apoio à Decisão (<i>Decision Support System – DSS</i>)
AHP	Método Analítico Hierárquico (<i>Analytic Hierarchy Process</i>)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1. ADAPTABILIDADE.....	24
1.1 Design para Adaptabilidade	26
1.2 Adaptabilidade do Projeto: <i>Design Adaptability</i>	29
1.3 Adaptabilidade do Objeto: <i>Product Adaptability</i>	36
1.4 Emergência de Função	38
1.5 Mobiliário Adaptável	39
1.5.1 Multifuncionalidade, racionalização e otimização de espaços	39
1.5.2 Modulação, standardização e padronização de elementos.....	44
1.5.3 Variantes de produtos e personalização	46
1.5.4 Design Paramétrico	48
2. CONEXÕES	50
2.1 Propriedades e Características.....	50
2.2 Processos de conexão e desconexão	58
2.3 Conexão por Componentes.....	61
2.4 Conexão por Geometria	63
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	73
3.1 Categorização de Atributos.....	75
3.1.1 Atualização	75
3.1.2 Versatilidade	77
3.1.3 Variedade.....	78
3.1.4 Personalização	79

3.2 Seleção das Conexões	81
3.2.1 Clip	83
3.2.2 Slot	84
3.2.3 Finger.....	85
3.2.4 Tusk	87
3.3 Modelagem do Experimento.....	88
3.3.1 Modelo de Análise.....	89
3.3.2 Critérios de Análise.....	94
3.4 Análise das Conexões	96
3.4.1 Desempenho	96
3.4.2 Flexibilidade	101
3.4.3 Otimização.....	104
3.4.4 Versatilidade	115
3.5 Método Analítico Hierárquico.....	123
3.5.1 Fundamentos do AHP	125
3.5.2 Estruturação da hierarquia	127
3.5.3 Julgamentos	129
3.5.4 Síntese dos resultados	130
4. RESULTADOS DA ANÁLISE	136
4.1 Avaliação com o AHP	137
4.2 Estruturação da hierarquia da pesquisa	137
4.3 Julgamentos	138
4.4 Solução final	141
5. CONCLUSÕES	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
APÊNDICES.....	155

INTRODUÇÃO

O mobiliário como bem móvel tem a finalidade auxiliar as pessoas nas suas atividades cotidianas como dormir, comer, estudar, entre outras. Sua evolução vem acompanhando transformações culturais, artísticas e tecnológicas da sociedade através das quais emergem novos hábitos, necessidades e demandas de produtos. Os novos produtos vão, por sua vez, povoar os espaços habitáveis e influenciar o comportamento das pessoas e seus modos de viver, trabalhar e socializar (TRAMONTANO, 1993).

Segundo Riccetti (1999), é pela transição física de artefatos e equipamentos no ambiente doméstico que os espaços, assim como os costumes, se modificam proporcionando o redimensionamento dos sistemas de arranjo e por conseqüência de ambiência. A evolução tecnológica traz, como conseqüência, o desaparecimento de alguns objetos e o surgimento de novos. Sugere espaços a partir de objetos que integram vários usos bem como determina a extinção definitiva de outros. Neste contexto, observa-se que os espaços habitáveis são continuamente alterados para se adequarem a novas necessidades ou atividades através da substituição de produtos e equipamentos ainda em condições de uso abreviando a sua vida útil.

O arranjo da paisagem doméstica é conseqüência da interação do indivíduo com o ambiente e os artefatos, estabelecendo uma nova relação entre **espaço – homem – objeto** (RICETTI, 1999). Para Franceschi (2006) esta relação coloca o homem como centro de referência enquanto o mobiliário deve satisfazer diferentes exigências, transformar-se em termos funcionais e dimensionais para aparecer e desaparecer conforme a necessidade.

Com relação ao espaço arquitetônico, observa-se que a casa adquire, cada vez mais, novas funções. Atividades de entretenimento que até pouco tempo só eram possíveis em espaços públicos, agora passam a integrar o cotidiano doméstico. O deslocamento do local de trabalho para a habitação tornou-se possível através da inédita possibilidade de interagir à distância em tempo real (DE MASI, 2000). O ambiente doméstico é hoje equipado com os meios de comunicação necessários para se exercer diversas atividades, receber, produzir e transmitir informações em conexão com o mundo exterior.

A distribuição de atividades domésticas a partir de mobiliário convencional traz dificuldades para adaptar ambientes às necessidades futuras. Folz (2002) argumenta sobre a importância de repensar o habitar contemporâneo em função das profundas transformações na área tecnológica e nas relações sociais que envolvem novas formas de trabalho e de socialização.

Novas estruturas familiares e relações inter-pessoais caracterizam mudanças no perfil doméstico do Brasil e do mundo industrializado. Além da composição tradicional da família, observa-se o surgimento de novos grupos como *singles*, casais sem filho, uniões livres, grupos sem laços conjugais ou de parentesco. O surgimento destes novos grupos aliados a dados estatísticos, como queda na taxa de natalidade em famílias da classe média e aumento da longevidade, apontam para uma necessidade de reconfiguração das tipologias tradicionais de habitação para contemplar diferentes modos de vida. (TRAMONTANO, 1993)

Estas transformações tecnológicas, sociais e comportamentais ocorrem em velocidade superior à transformação física dos espaços habitáveis, transferindo para os objetos que guarnecem nossas residências o papel de promover adaptações às constantes mudanças a que estamos sujeitos. Segundo Montaner

(1998) a arquitetura deixa de ser protagonista na configuração do ambiente doméstico, que passa a ser definido como um espaço mediático povoado por sistemas de objetos conferindo uma nova condição ao design de produto.

Pesquisas sobre história do mobiliário mostram que o conceito de adaptabilidade remonta a períodos que antecedem a produção industrial (WERNER, 1994), (FOLZ, 2002), (SALEIRO FILHO, 2009). Antes mesmo da Revolução Industrial observa-se em peças de mobiliário doméstico atributos enquadrados nos princípios do **Design para Adaptabilidade** como versatilidade, modulação e personalização.

Móveis projetados para adaptarem-se a espaços reduzidos como camas escamoteáveis, mesas e cadeiras dobráveis, superfícies que se desdobram ou recolhem conforme a necessidade do usuário geralmente necessitam de mecanismos capazes de desempenhar estas operações como dobradiças, corrediças, trilhos entre outros. No entanto, produtos que compartilham componentes entre diferentes modelos ou são compostos por elementos modulares que se combinam em diferentes arranjos para adequação a diferentes necessidades de uso e espaço, necessitam de soluções de conexão específicas e pré-definidas para compatibilização das partes.

A capacidade de adaptação do mobiliário passa, em grande parte, por soluções de conexão entre as partes do produto. Mais do que unir elementos, as conexões permitem atualizações e multiplicam funções através de uniões reversíveis ou articuláveis. Esta pesquisa parte da hipótese de que o processo de escolha das conexões, hoje pouco estruturado, pode ser feito a partir de métodos que não só estimulem a criatividade durante a fase de concepção do objeto como contribuam para ampliar o potencial adaptativo do mobiliário. A escolha estruturada pode assim oferecer, não só mais confiabilidade na seleção

de conexões para adaptabilidade, como também aproximar a escolha das conexões dos objetivos do projeto.

Soma-se à preocupação com as transformações tecnológicas e culturais a crescente preocupação com questões ambientais a partir do aumento do consumo e da frequente substituição de produtos por novos modelos. Ações de prevenção ao descarte prematuro estimularam o desenvolvimento de estratégias para extensão da vida útil de produtos através de manutenção, reparação, atualização e refabricação dos seus componentes. Conexões viabilizam a extensão da vida dos materiais através da separação das partes dos produtos para destinação correta dos diferentes materiais nos centros de triagem como reciclagem, compostagem, incineração ou tornar inertes materiais tóxicos e danosos (MANZINI, 2002). Assim, algumas soluções de união irreversíveis são consideradas não recomendadas como cola, solda entre outras por não permitirem a desmontagem ou separação das partes de produtos.

Observa-se que o produto da indústria moveleira vem deixando de ser um bem durável. Um estudo desenvolvido pelo BNDES mostrou que no Brasil o setor moveleiro está em expansão devido às exportações e da ampliação do segmento de móveis populares (GORINI, 1998). Um dos principais motivos que leva ao abreviamento da vida útil do móvel popular é a falta de qualidade dos seus componentes. Atualmente, estes móveis são produzidos em larga escala por indústrias com maquinário de alta tecnologia e grande produtividade, para clientes das redes atacadistas nacionais que comercializam os produtos com condições de pagamento facilitadas (VENZKE, 2002). Para manter este mercado, que depende da extrema economia de recursos, a indústria enfrenta dificuldades. O comércio do mobiliário popular resiste à implementação de melhorias na qualidade caracterizadas pela introdução de novos desenhos. A resistência deve-se ao receio de que propostas de inovação possam não

apresentar resultado comercial a curto prazo semelhante às soluções convencionais (DEVIDES, 2006).

Segundo Gorini (1998), nos Estados Unidos e Europa novos conceitos de mobiliário tornaram-se muito populares reduzindo custos sem perda de qualidade. Projetados para uma montagem fácil e intuitiva, os móveis *ready to assemble* e *do it yourself*¹ eliminam tanto a figura do revendedor como a do montador. Adicionalmente, ao serem transportados desmontados em volumes compactos reduzem o custo do frete, obtendo vantagens competitivas no comércio internacional.

As vantagens produzidas por conexões estrategicamente utilizadas expõem a necessidade de uma abordagem sistemática onde diversos fatores devem ser considerados na seleção de conexões para um determinado produto. A literatura descreve diferentes formas de selecionar conexões para produtos nas quais são observados, entre os fatores que ponderam a escolha, o desempenho, processos de fabricação e requisitos funcionais. Em grande parte dos casos o designer recorre a um repertório de soluções pré-definidas ou já utilizadas em casos semelhantes. A escolha não estruturada de conexões estreita o potencial de adaptabilidade e limita as possibilidades de criação de soluções inovadoras.

Nesta pesquisa são avaliadas as possibilidades e limitações de diferentes conexões integradas a partes de mobiliário compostos por elementos planos como soluções possíveis para a concepção não de um produto, mas de um

¹ O conceito *do it yourself* (DIY) começou nos Estados Unidos na década de 50, período em que o público feminino foi identificado como um novo nicho de mercado. Materiais e equipamentos de fácil aplicação, com embalagens atrativas e auto-explicativas surgiram adaptados para este segmento. Baseado na experiência norte-americana o DIY tornou-se popular na Europa nos anos 70 recebendo o nome *bricolage* na França (GORINI, 1998).

processo capaz de gerar produtos adaptáveis. As conexões selecionadas contêm princípios universais com os quais variantes podem ser geradas para cumprir requisitos específicos de projeto.

A pesquisa volta-se para a definição das prioridades na escolha das melhores alternativas de conexão em produtos orientados para adaptabilidade. Para aferir o desempenho das alternativas foi desenvolvido um modelo para analisar as combinações potencializadas por diferentes conexões. O modelo de análise consiste em um sistema generativo que envolve um número restrito de elementos para permitir o controle do processo e quantificação de resultados. Os dados obtidos poderão servir de base para a criação de um algoritmo capaz de aumentar a capacidade generativa e de análise deste sistema.

Os critérios de análise foram estabelecidos a fim de explorar o potencial compositivo gerado pela utilização de uma ou outra opção, ou seja, a alternativa que ofereça mais possibilidades de arranjos (flexibilidade) aos quais podem ser atribuídas funções de mobiliário (versatilidade). Outros critérios relevantes para a avaliação de conexões, como aspectos estruturais e de usabilidade, foram identificados para estudo e desenvolvimento em etapas subsequentes a esta investigação.

As alternativas de conexão analisadas apresentaram desempenhos desiguais com relação aos critérios de análise, mas não díspares o bastante para que uma se destaque sobre as demais. A pesquisa trata da definição de pesos de importância para os critérios de análise a fim de tornar mais aparentes as variações de desempenho no do processo de avaliação.

Para a ponderação dos fatores que concorrem para a seleção das conexões utilizou-se uma ferramenta de análise multi-critério (Método Analítico

Hierárquico) que incorpora aos dados quantitativos aspectos subjetivos a partir de experiências, impressões e opiniões de especialistas. O método contribuiu para aferir a consistência dos resultados obtidos no experimento desenvolvido na pesquisa e apoiou a validação do processo de seleção.

A pesquisa é dividida em quatro capítulos: o primeiro e o segundo tratam da revisão da literatura sobre adaptabilidade e conexões e dos fundamentos teóricos para análise das conexões selecionadas para a pesquisa. O terceiro, Materiais e Métodos, apresenta o método utilizado para avaliação e aferição dos resultados da análise assim como os procedimentos realizados desde a seleção das alternativas de conexões para análise, passando pela modelagem do experimento, definição dos critérios de análise, sistematização, resultados e avaliação. No quarto e último capítulo são sugeridos caminhos futuros de investigação e desdobramentos possíveis da pesquisa.

1. ADAPTABILIDADE

O impacto das transformações sobre a cultura material vem ocorrendo em um ritmo crescente. A velocidade das mudanças caracteriza uma situação em que nada parece ser definitivo exigindo a necessidade de prever mais do que soluções simples, é necessário prever espaço para adaptações das mais diversas naturezas nos mais variados contextos. Bauman (2001) retrata este cenário em seu livro *Modernidade Líquida*, fazendo uma analogia do comportamento instável e imprevisível dos fluidos com este contexto no qual a **adaptabilidade** emerge como uma característica fundamental.

Independentemente da natureza da aplicação, o conceito de adaptabilidade remete à questão da permanência e sobrevivência, trazendo à tona a origem desta expressão na biologia. Segundo a teoria evolucionista de Darwin (1859) a adaptação é uma consequência do processo evolutivo que capacita organismos a sobreviverem às transformações do ambiente através da alteração de características anatômicas, fisiológicas ou comportamentais.

O processo evolutivo parte do princípio da hereditariedade (MENDEL, 1866), no qual informações genéticas são transmitidas entre gerações de indivíduos que, apesar de apresentarem uma vasta gama de variações que os diferenciam uns dos outros, mantêm características comuns. Esta diversidade ocorre através de recombinações ou mutações dos genes que podem gerar novas características que são colocadas à prova pelo meio. Através de um processo de seleção natural as características que representam um incremento de eficiência serão transmitidas às gerações futuras, o que explica a adaptação e a especialização dos seres vivos.

A teoria de Darwin relacionada às leis da hereditariedade de Mendel associa as unidades de evolução (genes) ao mecanismo de evolução (seleção natural). A combinação destas teorias fundamenta e constitui o pilar central da biologia moderna, oferecendo uma explicação científica para a diversidade de espécies na natureza com um grande poder preditivo.

A dimensão ontológica do termo adaptabilidade e a sua aplicabilidade em sistemas de origem e complexidade diversas convergem para a idéia de que existe uma tendência de integração das várias ciências naturais e sociais. Este pensamento levou o biólogo Bertalanffy (1937) a desenvolver a Teoria Geral dos Sistemas, que propõe a busca de formulações abstratas que permitam correlacionar fenômenos através de uma abordagem global. Sistemas são caracterizados como conjunto de partes coordenadas, formando um todo complexo ou unitário cujo comportamento é o resultado da atividade de indivíduos que atuam e reagem constantemente à atuação de outros indivíduos. Colônias de formigas, estruturas sociais, clima, células de organismos vivos, sistema econômico, bem como de energia, telecomunicações e infra-estruturas são alguns exemplos.

Com base na teoria de Bertalanffy, Holland (1975) realizou estudos sobre Sistemas Complexos², especialmente os Sistemas Adaptativos Complexos (*Complex Adaptive Systems*) que apresentam um conceito essencialmente evolutivo em que elementos inter-relacionados têm a capacidade de mudar e

² Um Sistema Complexo é composto de elementos interligados cujo comportamento não é óbvio a partir das propriedades das partes individuais. Diferentes sistemas interagem de modo a formar sistemas mais amplos e com propriedades emergentes. A área de Sistemas Complexos é formada por diversas áreas do conhecimento como Autômatos Celulares, Computação Científica, Geometria Fractal, Inteligência Artificial, Nanotecnologia, Teoria da Informação, entre outros.

aprender com a experiência. Esta linha de pesquisa conduziu ao desenvolvimento dos Algoritmos Genéticos³ como um método para programar a busca das melhores soluções para um dado problema dentre uma coleção de soluções possíveis (HOLLAND, 1975).

Assim como no processo evolutivo da natureza, a evolução dos sistemas e processos desenvolvidos pelo homem está condicionada a mecanismos para seleção das alternativas mais eficientes e ferramentas que auxiliam na definição de critérios para tomada de decisões. Neste sentido, a adaptabilidade pressupõe a existência de métodos para avaliação de soluções possíveis para uma determinada questão.

1.1 Design para Adaptabilidade

Para abordar problemas específicos de design, vem se tornando cada vez mais comum o desenvolvimento de diretrizes que orientam e propõem métodos para gerar e aplicar conhecimentos técnicos a fim de controlar, melhorar ou implementar características que afetam a produção ou utilização de um produto. Genericamente utiliza-se o termo *Design for X* para nomear estes instrumentos, onde X é uma variante que determina o objetivo do projeto. O DfX auxilia designers no desenvolvimento de produtos quando se deseja melhor desempenho com respeito à característica X (HUANG, 1996).

³ Os Algoritmos Genéticos são uma classe particular de algoritmos evolutivos que usam técnicas inspiradas pela biologia evolutiva como hereditariedade, mutação, seleção natural e recombinação (ou *crossing over*) como técnica de busca através de simulação computacional.

demandas de mercado. Do ponto de vista do **usuário**, as características da vida contemporânea demandam produtos capazes de atender a diferentes expectativas e necessidades. Muitos produtos ainda em condições de uso são descartados prematuramente e substituídos por outros que podem também ter sua vida útil abreviada pela obsolescência em função da falta de capacidade de atualização. A aplicação dessas diretrizes na fase de desenvolvimento tem reflexos em todo o ciclo de vida do produto, aumentando seu tempo de vida útil e desta forma trazendo **benefícios ambientais**.

Segundo Hashemian (2005) o Design para Adaptabilidade pode ser definido em quatro categorias exemplificadas na figura 2 e descritas a seguir.



Variabilidade: família de produtos
ex: compartilhamento de componentes



Versatilidade: multiplicidade de funções
ex: multiprocessador de alimentos

Personalização: preferências do usuário
ex: opções de cores



Atualização: novas necessidades
ex: componentes com novas tecnologias



Figura 2: Categorias do Design para Adaptabilidade.

- **Varietade:** muitas empresas vêm desenvolvendo famílias de produtos para oferecer uma maior variedade de produtos com tempo e custos reduzidos (ERENS, VERHULST, 1997). A oferta de opções consiste em desenvolver elementos modulares que possam se compartilhados por diferentes modelos de produtos.
- **Personalização:** a Customização em Massa é um modelo de produção cujo objetivo é fabricar produtos com características individuais para atender necessidades específicas dos usuários mantendo o baixo custo dos produtos produzidos em série (PINE, 1993).
- **Atualização:** a adaptação de produtos a novas necessidades ou adequações a novas tecnologias são possíveis através da substituição de elementos ou componentes (HASHEMIAN, 2005).
- **Versatilidade:** um produto versátil integra múltiplas funções oferecendo ao usuário diferentes possibilidades de uso (HAINTZ, BEVEREN, 2004). Objetos multifuncionais são planejados quando suas funções adicionais são conhecidas na fase de projeto ou fruto de emergência de função.

1.2 Adaptabilidade do Projeto: *Design Adaptability*

A adaptação em projetos consiste em adequar as condições de produção para a fabricação de novos produtos com eficiência de tempo, custo e qualidade. No contexto produtivo se observa que a evolução dos modelos de produção se deve a fatores de ordem tecnológica para atender a um mercado cada vez maior, diversificado e com alta demanda por produtos individualizados.

O modelo de **produção em série** instituiu-se a partir da revolução industrial como uma prática produtiva para viabilizar a fabricação de produtos a custos reduzidos permitindo o acesso de diferentes camadas da população a todos os tipos de bens de consumo. O conceito de produção seriada é baseado na reprodução de um mesmo produto em grande escala. Para tanto o ferramental adequado é desenvolvido especificamente para um único projeto (figura 3).



Figura 3: Conceito de produção em série.

Dois fatores foram determinantes na qualificação da produção seriada, desde o processo do projeto à execução (MITCHELL, MCCULLOUGH, 1995). Um destes foi a utilização da **prototipagem rápida**⁴ para antecipar problemas na fase de desenvolvimento do produto (figura 4a). O outro foi a evolução das máquinas de Comando Numérico (CN)⁵ para o Controle Numérico por

⁴ O termo Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping*) refere-se aos métodos de produção de protótipos por sistemas aditivos, contudo algumas vezes esses métodos são utilizados também na produção de produtos finais. (CELANI, PUPO, 2008, p. 34). A prototipagem rápida é utilizada principalmente no processo de desenvolvimento de produtos. Alguns exemplos de processos aditivos são a estereolitografia, a impressão tridimensional e a moldagem por fusão e deposição.

⁵ As máquinas de Controle Numérico (CN) são ajustadas mecanicamente a partir de informações geométricas e dimensionais contidas em um projeto a ser executado, conhecidas por meio de desenhos e cotas (números).

Computador (CNC)⁶, permitindo diversos processos automáticos de fabricação, tais como fresamento, torneamento, corte a Laser, corte com jato de água, entre outros, para execução dos produtos com maior precisão e em menos tempo (figura 4b).

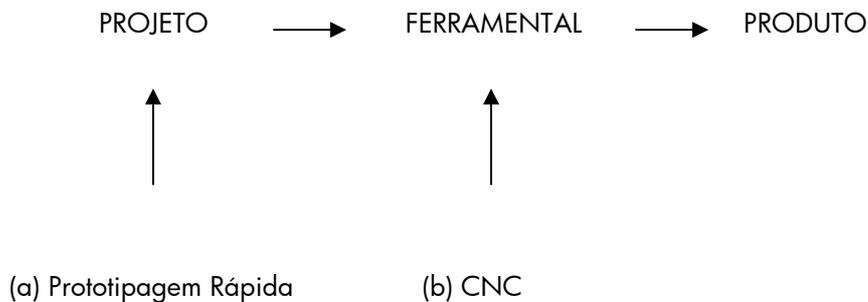


Figura 4: Inserção de novos processos no sistema de produção.

(a) Prototipagem Rápida na fase de desenvolvimento do produto. (b) Máquinas de Controle Numérico Computadorizado para automatizar processos de fabricação.

A integração das tecnologias computacionais e de fabricação constituem os sistemas **CAD/CAM**⁷ que caracterizam-se por centralizar a execução de diversas atividades relacionadas ao processo produtivo a partir de uma linguagem de programação comum ao projeto e à fabricação. Os softwares de apoio ao projeto vêm agregando funções que vão além da representação e visualização. Atualmente esses sistemas compreendem desde o desenho técnico

⁶ Máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC) são equipamentos que recebem informações por meio de linguagem computacional, processam e devolvem essas informações ao sistema através de impulsos elétricos responsáveis pelo acionamento das máquinas para realizar a operação na sequência programada sem a intervenção do operador.

⁷ A tecnologia CAD/CAM (*Computer Aided Desing / Computer Aided Manufacturing*) corresponde à integração das técnicas de projeto e fabricação assistidos por computador num sistema único. Desta forma a informação de projeto é transmitida por meio de interfaces de comunicação entre o computador e o sistema de fabricação para ser produzido automaticamente em uma máquina CNC.

e modelagem tridimensional, passando pela análise estrutural, escolha adequada dos processos de manufatura e a consequente geração automática das trajetórias das máquinas.

Através desses sistemas torna-se possível flexibilizar a produção uma vez que o ferramental é capaz de produzir diferentes objetos sem a necessidade de ajustes mecânicos nos equipamentos. Desta forma, a partir de uma única máquina é possível fabricar diferentes produtos ou partes de produtos sob demanda sem custo excedente (figura 5). A **fabricação digital**, como é denominada a execução do produto final com máquinas de comando numérico, cria as condições técnicas para o desenvolvimento de produtos com características individuais. Este conceito supera as práticas produtivas existentes até hoje, instituindo a **personalização em massa** como um novo sistema de gestão de produção que viabiliza economicamente a produção de produtos únicos (PINE, 1993).

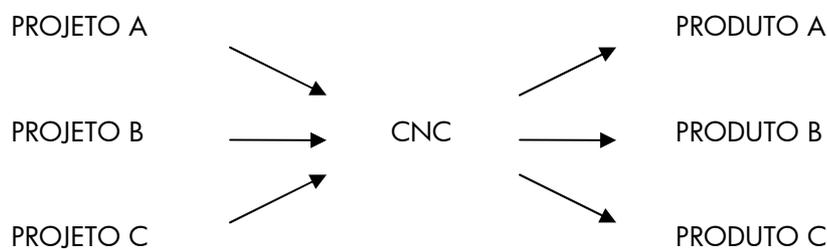


Figura 5: Conceito de fabricação digital e personalização.

Com um mesmo equipamento é possível fabricar diferentes produtos.

Uma vez que as condições operacionais permitem novas formas de produção flexível, a abordagem projetual também passou a ser objeto de estudo e reflexão. Se até então, a individualização de objetos era alcançada através de diferentes combinações de elementos padronizados, as novas ferramentas permitiram a fabricação de elementos com formas e dimensões variadas sem prejuízo da produtividade. Neste sentido, novas formas de projetar estão sendo

exploradas a fim de aproveitar o potencial e as possibilidades que o avanço da tecnologia vem proporcionando no que se refere a métodos computacionais associados a equipamentos de produção (CARDOSO, SASS, 2008).

O projeto deixa de ser visto como a concepção de um único objeto, transformando-se em um sistema capaz de gerar variantes de produtos, caracterizando o **design generativo** (FISCHER, HERR, 2001) (figura 6). Através desta nova estratégia de projeto o designer passa a pensar o produto como um processo, no qual o computador deixa de ser uma ferramenta de desenho para processar dados e automatizar funções. Utilizando-se a potência de cálculo do computador para fins de geração de alternativas de soluções possíveis no desenvolvimento de produtos no que se refere à exploração da forma (PRATS, 2007).

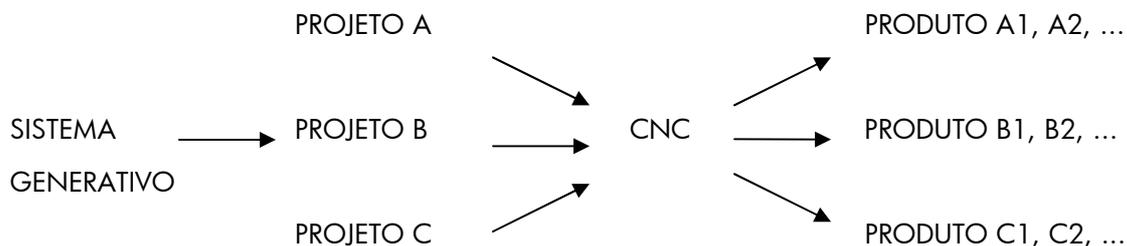


Figura 6: Conceito de design generativo para criação de variantes de projeto.

A fabricação digital permite que um determinado projeto seja adaptado para oferecer características especiais (personalização).

Estratégias generativas em projeto partem do princípio de que a partir de um elemento original é possível criar infinitas variantes de objetos que mantêm uma linguagem comum como mostra a figura 7. Este processo exige uma lógica de processo criativo na qual a manipulação dos elementos ocorre a partir da definição de regras e criação de rotinas próprias para geração de novas formas (MITCHELL, 1977).



Figura 7: Variações de objetos.

Fonte: <http://generativedesign.wordpress.com/category/mass-customisation/>

Para tanto foi necessária a compreensão das formas elementares e operações básicas com as quais arquitetos e designers trabalham no processo compositivo (MITCHELL, 1989). A identificação das características e princípios geométricos fundamentais que regem a exploração da forma permite que os processos sejam descritos matematicamente e traduzidos da linguagem formal para linguagem de programação. Com o desenvolvimento de *scripts*⁸ e algoritmos é possível programar ações que vão resultar em infinitas possibilidades produzindo estruturas complexas baseadas em regras computacionais simples.

Esta lógica transforma computadores em ferramentas criativas para a geração de formas (figura 8). O controle deste processo é ainda mais abrangente com a utilização de *softwares* paramétricos (MONEDERO, 2000). O **design paramétrico** é um processo baseado não em medidas e quantificações fixas, mas em relações entre variáveis, permitindo que mudanças em um único elemento se propaguem por todo o sistema (MEREDITH, LASCH, SASAKI, 2008). Os parâmetros a partir de relações, possibilidades e restrições pré-definidas, podem representar dimensões, medidas de propriedades materiais ou de esforços que incidem em uma estrutura.

⁸ Conjunto de instruções em linguagens de programação desenvolvidas para estender a funcionalidade de um programa e/ou controlá-lo através da execução automática de rotinas criadas com uma finalidade específica.

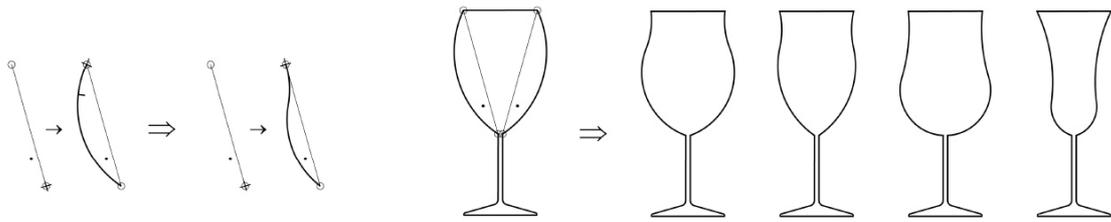


Figura 8: Exploração da forma no design de produto.

A modificação de uma linha cria diferentes modelos do produto. Fonte: Prats (2007)

Alterações de parâmetros para adaptação de modelos existentes ou criação de variantes de produtos a partir de soluções comuns já são possíveis inclusive com a intervenção dos usuários. Através de interfaces computacionais a forma ou estrutura de produtos podem ser modificadas interativamente através da manipulação de parâmetros em tempo real contemplando o desejo de individualização de produtos como pode ser observado na figura 9.

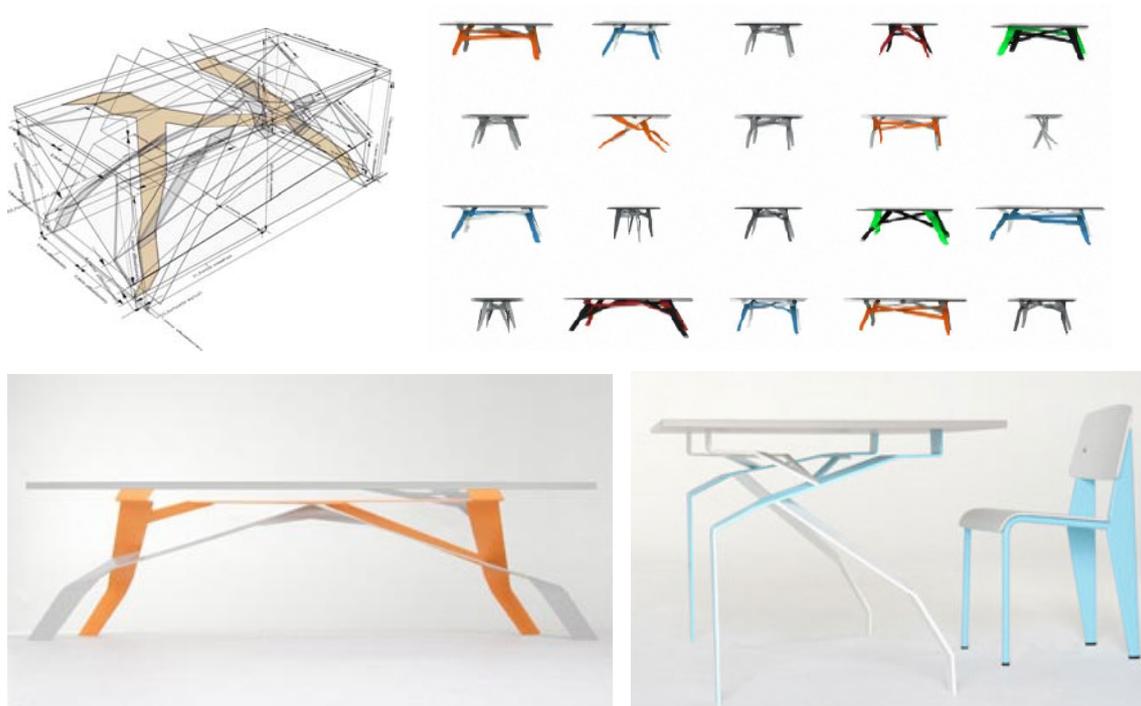


Figura 9: *Breeding Tables*.

Fonte: <http://www.kramweisshaar.com/projects/breeding-tables.html>

Com as Breeding Tables os designers Clemens Weisshaar e Reed Kram desenvolveram um sistema paramétrico que permite variações na altura, profundidade, largura e capacidade de carga do objeto para gerar variantes do produto.

Na medida em que equipamentos estão se tornando acessíveis, integrando as instalações de escolas de design e arquitetura, aumenta o desenvolvimento de pesquisa e investigações de novas aplicações associadas à produção com efeito sobre a otimização de recursos, tempo de execução e sobre melhoramentos substanciais na qualidade da produção. A capacidade crescente de controle sobre os processos e a superação das dificuldades de materialização de objetos permite que projetos sejam desenvolvidos sob circunstâncias adaptáveis de produção e conseqüentemente de utilização.

1.3 Adaptabilidade do Objeto: *Product Adaptability*

No contexto de uso, adaptabilidade consiste em estender a funcionalidade dos objetos permitindo ao usuário utilizar um mesmo produto sob variação de circunstâncias, alterando a sua configuração, substituindo ou adicionando novos componentes. A adaptabilidade do objeto está condicionada a decisões do projeto e pode ser caracterizada de duas maneiras: como adequação a uma nova necessidade ou como a integração de mais de uma função no mesmo objeto.

Um produto adaptável pode ser planejado para permitir **atualizações** que se pressupõem necessárias, como por exemplo, elementos ou componentes que sofrem desgaste com o tempo (componentes automotivos), aumento de capacidade tecnológica (memória de computador), aumento de capacidade de

armazenamento (módulos de armário) ou até mesmo o acompanhamento de uma criança em crescimento (berço se transforma em cama).

Se as funções adicionais que são esperadas de um produto são conhecidas durante o seu processo de desenvolvimento, este pode ser projetado para cumprir múltiplas funções. Um produto é criado visando **versatilidade** quando as adaptações de uma função para outra ocorrem freqüentemente e o planejamento ocorre de forma que estas adaptações não requeiram alterações significantes na estrutura do produto e geralmente envolvem procedimentos simples que pode ser executado pelo usuário (HASHEMIAN, 2005). Um produto versátil é um objeto multifuncional resultante da integração de vários usos, oferecendo aos consumidores uma variedade de experiências possíveis (HAINTZ, BEVEREN, 2004).

O produto versátil resulta de uma intenção projetual, na qual a convergência de tecnologias viabiliza tecnicamente a transposição de uma função para outra. Por exemplo, no celular atualmente ocorre a integração de diferentes mídias em um mesmo aparelho cuja função principal é a de comunicação verbal.

No entanto, alguns produtos podem sugerir funções não planejadas a partir da percepção de um novo contexto ou novo comportamento em relação ao objeto através de um processo de **emergência de função** (GIBSON, 1986), (TVERSKY, 2004). A identificação de possibilidades não previstas tem um potencial ainda maior em sistemas de objetos modulares e componíveis.

1.4 Emergência de Função

Compreende-se por emergência de função as possibilidades de interpretação que um objeto em um determinado contexto sugerem a um indivíduo. Das novas relações estabelecidas entre usuário e produto podem emergir novos usos caracterizando a multifuncionalidade que, segundo Gibson, 1986, é determinada pelo grau de ***affordances*** do objeto.

O conceito de *affordances* parte do princípio de que o usuário identifica possibilidades de ação em um ambiente, não pelas suas qualidades e características físicas, mas pelas informações disponíveis que regulam o seu comportamento (GIBSON, 1986). A percepção de usos potenciais de um objeto envolve o seu contexto de utilização, relacionando o ambiente à interpretação de uma nova função.

Para Tversky, 2004 a relação entre percepção e ações em potencial que caracterizam as *affordances* envolvem não só as propriedades espaciais dos ambientes, mas também as propriedades funcionais dos objetos. Segundo a autora, aspectos visuais, formais e funcionais são referências com as quais o usuário estabelece novas relações.

No desenvolvimento de sistemas de mobiliário adaptável, onde relações entre elementos são pré-estabelecidas para permitirem o maior número de possibilidades de uso, a infinidade de combinações possíveis é proporcional ao universo de possibilidades de criação de objetos funcionais.

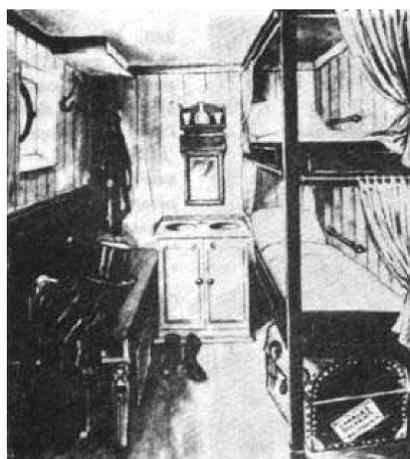
Por mais que se almeje antecipar configurações e funções para testar a versatilidade de um sistema, quando este é concebido para permitir novas interpretações no contexto de uso, é desejável explorar suas possibilidades a fim

de descobrir soluções inusitadas ainda durante o processo projetual. Neste sentido, o conceito de emergência de função foi utilizado nesta pesquisa para explorar o potencial compositivo de um modelo que representa um sistema adaptável (adaptabilidade do projeto) com o qual, através do uso de conexões, se pretende gerar objetos adaptáveis (adaptabilidade do produto).

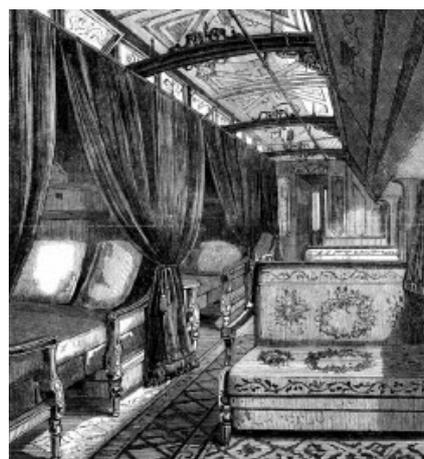
1.5 Mobiliário Adaptável

1.5.1 Multifuncionalidade, racionalização e otimização de espaços

Muitas soluções de mobiliário adaptável surgiram da necessidade de otimização e racionalização de espaços. Com superfície insuficiente para acomodar mais passageiros, a aproveitamento dos espaços exíguos das cabines de trens e navios deu-se através da verticalização dos leitos originando os beliches como mostram as figuras 10a e 10b (WERNER, 1994), (FOLZ, 2002).



(a) Beliche em cabine de navio, 1840.



(b) Vagão leito Pullman.

Figura 10: Leitos de cabines de trens e navios.

Fonte: (a) Folz (2002). (b) http://udleditions.cast.org/GLOSSARY,call_of_the_wild,pullman.html#P

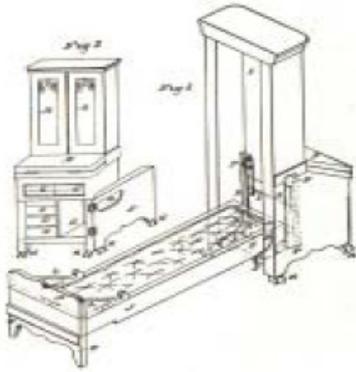
Segundo Folz (2002) algumas idéias originais de mobiliário adaptável foram desenvolvidas nos Estados Unidos entre 1850 e 1880, conhecidos como “Móveis Patente”. A invenção de mecanismos protegidos sob patentes buscavam conforto através da adequação postural, oferta de diferentes funções, além de economia de espaço nas residências como mostra o exemplo da figura 11.



Figura 11: Sofá-cama, 1868.

Fonte: Folz (2002)

Através de exemplos de espaços cujos modelos funcionais são baseados em variações reversíveis, Werner (1994) identifica o conceito de adaptabilidade nos usos cotidianos desde os séculos VII e VIII. A alteração do mobiliário através de rápidos manuseios permite a transformação da espacialidade de um ambiente permitindo que seu usuário use o espaço à noite para dormir e para outras atividades ao longo do dia (SALEIRO FILHO, 2009), como pode ser observado nas figuras 12a e 12b, os “armários-cama” liberavam espaço durante o dia guardando o volume da cama na posição vertical (FOLZ, 2002).



(a) Armário-cama, 1859.



(b) Cama de Salão, 1891.

Figura 12: "Armários-cama".

Fonte: Folz (2002)

A mesma solução de cama escamoteável foi revisitada anos mais tarde em projetos de habitação social na Alemanha (FRANCESCHI, 2006). A recessão e os problemas sociais enfrentados pela sociedade industrial entre guerras foram refletidos em investigações e programas de desenvolvimento de conjuntos habitacionais na Europa. O Siedlung Praunheim em Frankfurt am Main fez parte de um grande projeto de construção de moradias cujo desafio era equacionar as necessidades dos moradores em espaços reduzidos para suprir a carência habitacional (figura 13).



Figura 13: Cama de embutir do conjunto habitacional Praunheim, 1926.

Fonte: Folz (2002)

Os estudos realizados na Bauhaus foram fortemente orientados para as questões sociais: “as necessidades do povo primeiro, luxo depois” (NASCIMENTO, 2001). No atelier de mobiliário da Bauhaus o objetivo era desenvolver objetos adequados à nova realidade das habitações e acessíveis às classes baixas da população através da produção em série. O estilo dos produtos era despido de ornamentos, funcional e econômico. Este ideal de racionalização era perseguido também na utilização dos materiais, exigindo um profundo conhecimento de suas possibilidades e aplicações na indústria.

Os exemplos de mobiliário desenvolvidos no *Workshop for Interior Design – Joinery* da Bauhaus para a exposição “Apartamento do Povo” (*Volkswohnung*, 1929) apresentavam soluções para adequação a espaços mínimos que eram extremamente flexíveis, podendo ser dobrados, desmontados e ajustados em diferentes níveis como mostram as figuras 14 e 15 (DROSTE, 1990).



Figura 14: Mesa dobrável, Gustav Hassenpflug, 1928.

Fonte: Droste (1990)

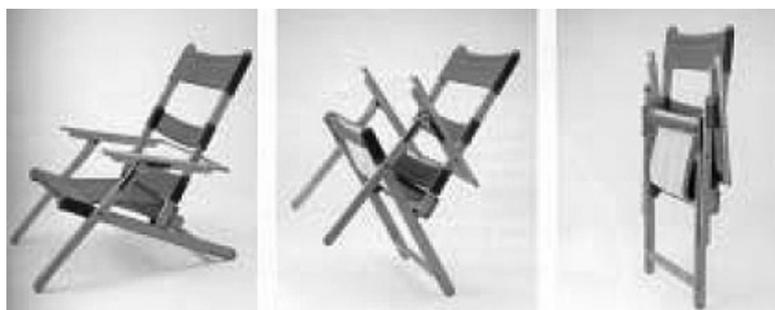


Figura 15: Cadeira dobrável, “Apartamento do Povo”, 1929.

Fonte: Droste (1990)

O conceito de “Habitação para existência mínima” foi promovido pelo movimento moderno através de manifestações em diferentes cidades europeias: *Wohnung für Des Existenzminimum*, Munique e Frankfurt, 1928; *Minimum Apartment Exhibition*, Helsinki, 1930; *Lawn Road Flats (Isokon Flats - Isometric Unit Construction)*, Londres, 1933. Assim como na arquitetura moderna, o mobiliário desenvolvido nesse período continha princípios de racionalismo, funcionalismo e pureza formal, rompendo definitivamente com os estilos vigentes até então.

Após a segunda guerra foi criada a Hochschule für Gestaltung Ulm, escola que sucedeu a Bauhaus por seus métodos de ensino, disciplinas, ideais políticos e por também acreditar que o design tinha um importante papel social a desempenhar. Um dos objetos símbolo da escola é uma peça de mobiliário multifuncional que foi desenvolvido por Max Bill em 1954 para ser utilizado em diversas situações do ambiente acadêmico (figura 16). Trata-se de um objeto minimalista cuja estrutura baseia-se nos princípios de carga e suporte sem qualquer elemento excedente. Os detalhes da sua construção são exibidos propositalmente, sua simplicidade e leveza permitiam que fosse carregado de um lado a outro e suas proporções permitiam que fossem criadas diversos arranjos para reuniões em grupos (SEELE, 2007).



Figura 16: *Ulmer Hocker*, Max Bill, 1954.

Fonte: <http://www.bauhaus.de/museum/archiv/2008-2009/>; [http://www.hfg-](http://www.hfg-archiv.ulm.de/die_hfg_ulm/geschichte_5.html)

[archiv.ulm.de/die_hfg_ulm/geschichte_5.html](http://www.hfg-archiv.ulm.de/die_hfg_ulm/geschichte_5.html); http://designmatcher.com/nl/gallery_detail.php?galleryID=533

Ainda no âmbito da racionalização dos espaços foram realizadas experiências visando à integração dos equipamentos necessários para a realização das funções cotidianas de um ambiente residencial. Folz (2006) analisa os projetos experimentais que buscavam integrar diferentes artefatos necessários à realização das atividades domésticas em um objeto compacto definindo-o como “Móvel Container” (figuras 17a e 17b). A autora sugere que tais concepções podem auxiliar no desenvolvimento de projetos alternativos para habitação de baixa renda com melhores soluções de aproveitamento de espaço.



(a) *Total Furnishing Unit*, Joe Colombo, 1970.



(b) *Crate House*, Allan Wexler, 1991.

Figura 17: “Móveis Container”.

Fonte: Folz (2006)

1.5.2 Modulação, standardização e padronização de elementos

No século XIX o alemão Michael Thonet desenvolveu uma tecnologia para a fabricação de móveis com madeira curvada para criar elementos com princípio modular que poderiam ser combinados em diferentes modelos (figuras 18a e 18b).



(a) Cadeira Thonet nr. 1, 1849.



(b) Cadeira Thonet nr. 14, 1859.

Figura 18: Cadeiras fabricadas pela fábrica de móveis Thonet.

Diferentes modelos de cadeira compartilham componentes comuns. Fonte: (a) [HTTP://www.thonet.de/de/moebel_bugholz](http://www.thonet.de/de/moebel_bugholz). (b) <http://www.formguide.de/geschichte/uebersicht/1815-1897/chronologie-1815-1897/>

A primeira mobília com elementos padronizados feita pelas *Werkstätten*, que ficou conhecida na Inglaterra como *Unit*, foi exibida em 1910 sob o nome de *Typenmöbel* (NIEMAYER, 2000). Na década de 1920 várias empresas europeias e americanas começaram a comercializar “móveis combinados” (*combination furniture*) (figura 19). Sua concepção era baseada em componentes intercambiáveis, tamanhos modulares, um número limitado de conexões e acabamentos opcionais que permitia aos usuários criar combinações de caráter individual (KEMIK, 2002).



KOMBINATSIOON	
Die Bill 710	
Kõrgus —	127,5 cm.
Laius —	101,8 cm.
Sügavus —	45 cm.
LUTERMA TUUP	

Figura 19: Móveis Combinados Luterma.

Com o slogan “Móveis para Todos” a empresa Luterma, Estônia desenvolveu móveis modulares. Fonte: http://www.einst.ee/Ea/2_99/kermik.html

Com o mesmo princípio de compartilhamento de elementos e componentes os designers americanos Charles e Ray Eames projetaram as primeiras cadeiras de plástico produzidas em série cuja base metálica pode ser alternada com diferentes modelos de assento (figura 20a). Da mesma forma, através de elementos modulares combinados em diferentes arranjos, os designers criaram um sistema de mobiliário flexível e adaptável possibilitando a geração de variantes de projeto (figura 20b).



(a) *Eames Molded Plastic Chairs*, 1948.



(b) *Eames Desk and Storage Units*, 1949.

Figura 20: Móveis desenhados por Charles e Ray Eames.

Fonte: <http://www.atecnet.com.br/classicos.asp>, <http://www.hermanmiller.com/Products/Eames-Desk-and-Storage-Units>

1.5.3 Variantes de produtos e personalização

O modelo de produção em série instituído a partir da Revolução Industrial foi superado por novos conceitos de gestão de produção como o modelo de Produção Enxuta que, através do sistema *Just-in-Time*⁹, no qual produtos são

⁹ *Just-In-Time* (JIT) é a base do Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System* – TPS), também referenciado como “Sistema de Produção Enxuta” (do termo em inglês “Lean

fabricados sob demanda, além de melhorar a qualidade, a eficiência e a produtividade, trouxe à tona a questão da exclusividade e individualização de produtos.

Em reação aos produtos industrializados e repetitivos, as necessidades dos usuários passaram a incorporar aspectos não apenas práticos e funcionais. A identificação deste contexto, no qual produtos passam a adquirir valores simbólicos influenciados por idéias e atitudes, exigiu uma nova postura dos fabricantes. Esta nova demanda de consumo fez surgir um conceito de produção inovador, a **personalização em massa**, cujo objetivo é satisfazer preferências específicas dos usuários mantendo o custo baixo da fabricação em série.

Móveis e equipamentos domésticos já podem ser realizados no sistema *just-in-time* criado pela Toyota (COSTA, 2007) através da fabricação sob demanda na qual o usuário tem a possibilidade de escolher cores, materiais, acabamentos e até mesmo a configuração de objetos como mostra o exemplo da figura 21.

Production”). O TPS é um sistema de produção muito mais eficiente, flexível, ágil e inovador do que a produção em massa, habilitado a enfrentar melhor um mercado em constante mudança. O objetivo do JIT é identificar, localizar e eliminar as perdas, garantindo um fluxo contínuo de produção no qual cada processo deve ser suprido com os itens certos, no momento certo, na quantidade e local certos (GHINATO, 2000).

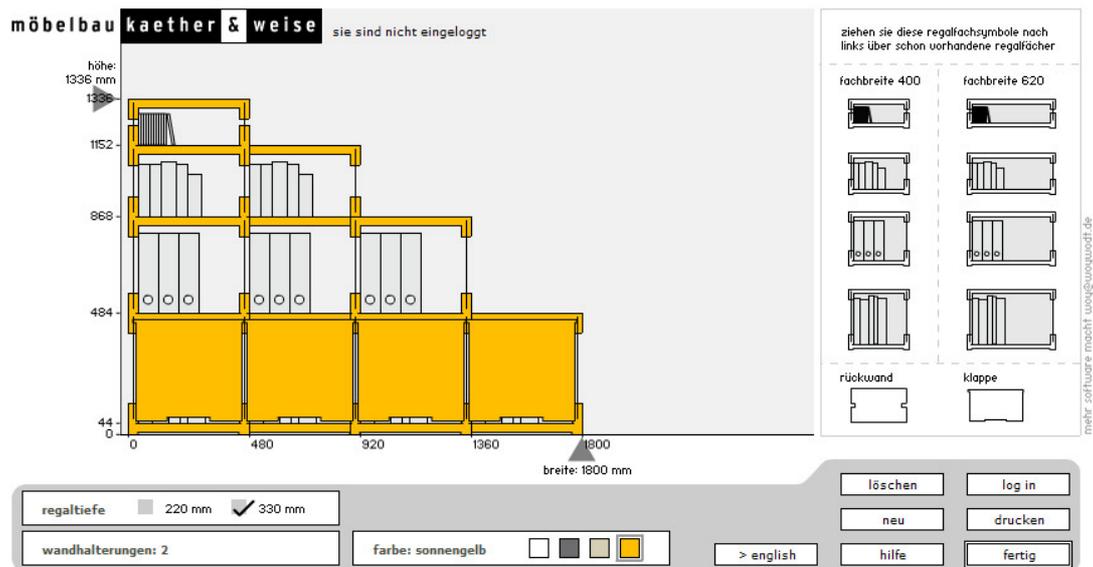


Figura 21: Sistema para estante Plattenbau.

Sistema de mobiliário adaptável com o qual, através de uma interface computacional, o usuário pode definir cores e configuração.

Fonte: <http://www.kaetherundweise.de/138/>

1.5.4 Design Paramétrico

Novos métodos e tecnologias de fabricação controladas por computador (sistemas CAD/CAM) vêm permitindo o desenvolvimento de projetos que possam ser adaptados a uma necessidade específica ainda no modelo virtual através de uma interface computacional e então produzidos com características únicas.

Neste sentido o designer passa a projetar não um objeto, mas um sistema capaz de gerar variantes de produtos no qual o usuário é convidado a interagir através de um processo de co-criação. Além da oferta de características opcionais alguns produtos vêm sendo desenvolvido de forma que o usuário possa participar de forma mais atuante na definição não apenas dos aspectos externos, mas também na morfologia do objeto. A criação de sistemas envolvendo variáveis e restrições permite certa liberdade de manipulação de parâmetros gerando variantes de produtos como mostra a figura 22.

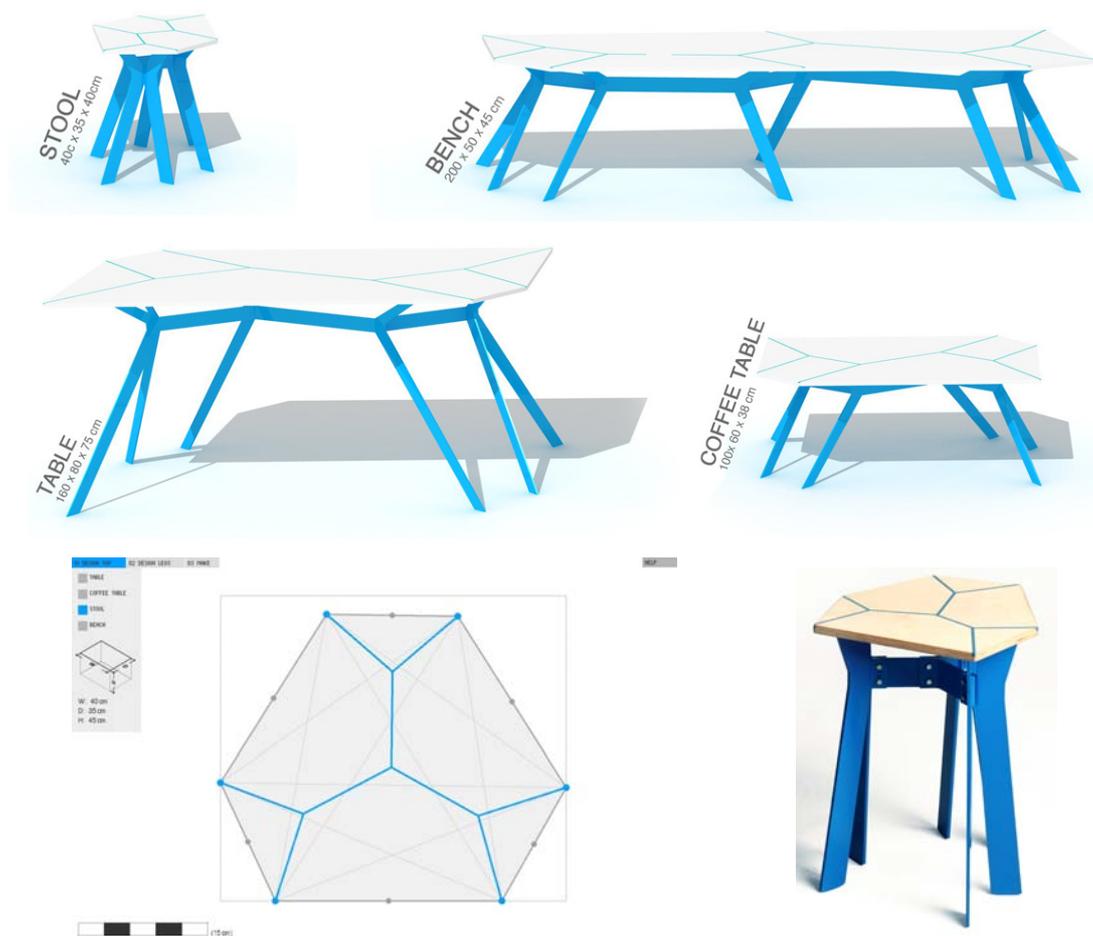


Figura 22: Xylem co-creation software.

Sistema para adaptação do projeto com interação do usuário na fase anterior a produção.

Designer: Frederico Weber, 2009. Fonte: <http://federicoweber.com/xylem/2009/11/>

2. CONEXÕES

A importância do desenvolvimento de elementos de união como dobradiças para usos especiais, junções articuláveis, ligações de plástico e metal entre outros materiais foi enfatizada por Munari (1998, p.18-19) ao apontar setores onde o design era pouco explorado.

Conexões são definidas como áreas de um produto onde os movimentos entre os componentes são restritos (KLETT, BLESSING 2005). São vitais para qualquer produto composto por dois ou mais elementos. Por um lado são responsáveis por sua confiabilidade e integridade, por outro determinam questões funcionais e operacionais da utilização de produtos.

2.1 Propriedades e Características

Além de fixar elementos, conexões têm a função de transferir esforços, momentos e movimentos. Eventualmente possuem funções adicionais como absorver movimentos relativos, vedar contra fluidos, isolar ou transmitir energia térmica ou elétrica. Cada tipo de união possui características e propriedades particulares que determinam seu comportamento assim como os processos e custos de montagem e desmontagem de produtos (PAHL et al., 2005).

Conexões podem ser empregadas em arranjos fixos e móveis. Em arranjos móveis trata-se de articulações com diferentes graus de liberdade (rotacionais e translacionais), como rótulas ou deslizantes sobre perfis, entre outros. A sistematização de informações sobre conexões, como os graus de liberdade e restrição de movimentos, permite a criação de um sistema informatizado de busca ou verificação de diferentes soluções possíveis através de uma matriz

alimentada por dados que representam tais informações em código binário (PAHL et al., 2005).

O processo de conexão pode ocorrer por união (*joining*) dos componentes em um conjunto ou por travamento (*locking*) para prevenir que os componentes se separem. As conexões podem ser realizadas utilizando recursos dos próprios componentes (ex.: *snap fit*) ou utilizando componentes adicionais (ex.: parafuso e porca), estes são definidos como fixadores (*fasteners*) ou aditivos (figura 23).

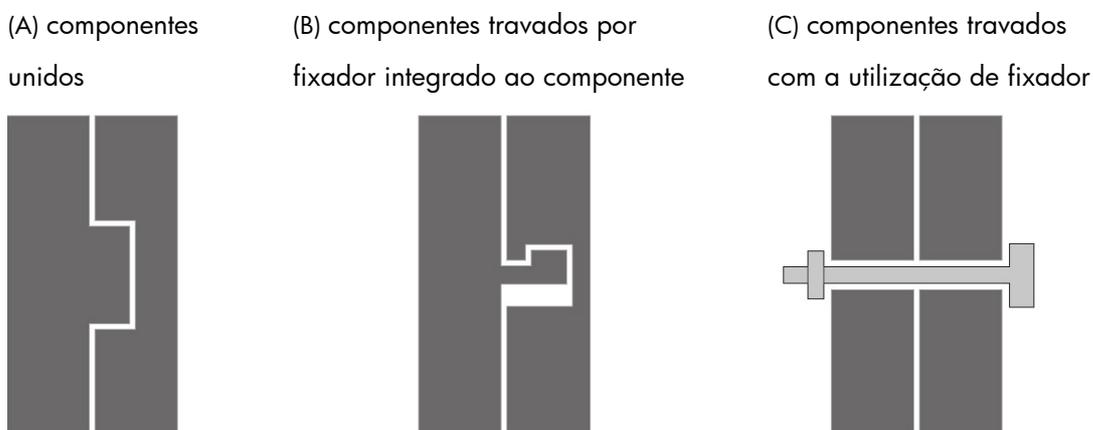


Figura 23: Diferentes formas de fixação entre dois componentes.

Uma conexão é determinada pelo bloqueio dos movimentos indesejados e pela constituição dos elementos necessários para realizá-la. É possível analisar o desempenho da conexão com relação a estas duas características através da determinação do grau de liberdade e o grau de integração.

O **grau de liberdade** ou DOF (*degree of freedom*) é determinado pelo movimento entre elementos. Um objeto sem restrições no espaço tem seis graus de liberdade cada um com dois sentidos de movimento (positivo e negativo) como mostra a figura 24:

- Três translacionais quando ele se move ao longo dos seus eixos X, Y e Z;
- Três rotacionais quando se move em torno dos seus eixos X, Y e Z.

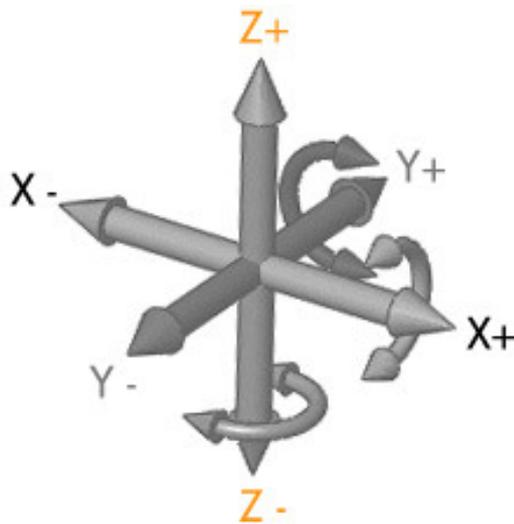


Figura 24: Graus de liberdade translacionais e rotacionais.

Quando uma restrição é adicionada entre dois corpos, como um posicionamento concêntrico, ocorre um bloqueio de movimentos entre eles. Os dois corpos permanecem restritos, posicionados em relação um ao outro, sejam quais forem os movimentos ou forças no mecanismo. A redução do grau de liberdade através do bloqueio de movimentos indesejados pode ocorrer de duas maneiras: por geometria dos elementos ou pela utilização de elementos adicionais como mostra a figura 25 (ROTH, 1996 apud KLETT, BLESSING 2004).

Bloqueio de movimentos:

Translacional eixo X (+) e (-)

Rotacional eixo X (+) e (-)

Translacional eixo X (+) e (-)

Translacional eixo X (+)

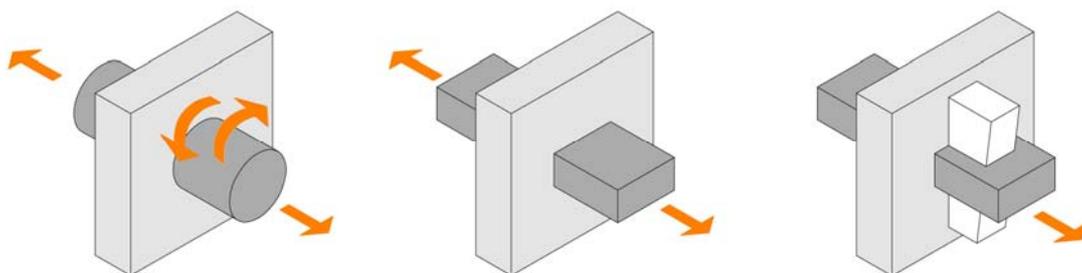


Figura 25: Redução dos graus de liberdade entre elementos.

O **grau de integração** ou DOI (*degree of integration*) está relacionado a quantidade de elementos necessários para realizar a conexão. Um alto grau de integração significa a redução do número de elementos a serem controladas, reduzindo tempo e custo de fabricação e montagem (KLETT, BLESSING 2004). A figura 26 ilustra duas soluções possíveis para a mesma configuração com diferentes graus de integração.

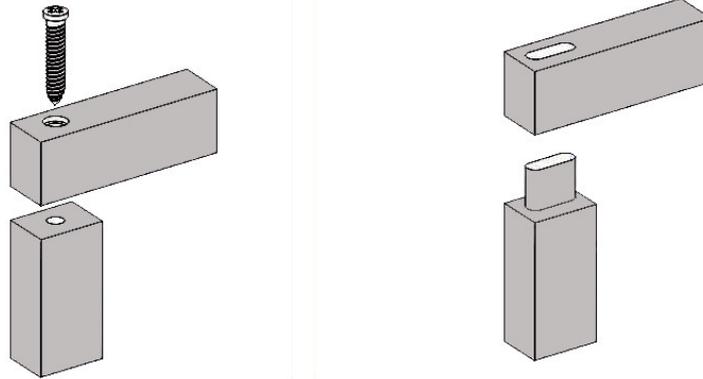


Figura 26: Diferentes soluções para conectar elementos.

A atividade de montagem e desmontagem de produtos industriais vem se desenvolvendo e tornando-se cada vez mais especializada. Nos anos 70 o objetivo era o aumento da eficiência na produção através da automatização. Foi neste período que surgiram as conexões tipo *snap fit*¹⁰. Nos anos 80 o enfoque estava na redução do desperdício e economia de recursos (KLETT, 2009). Atualmente o uso de conexões está relacionada à produtividade da linha de montagem e ao ciclo de vida dos produtos industriais. Para cada abordagem são elaboradas orientações específicas para o desenvolvimento e seleção de

¹⁰ *Snap fits* são conexões utilizadas para peças injetadas, os fixadores são integrados aos componentes do produto eliminando a necessidade de elementos adicionais como parafusos ou adesivos. Com a necessidade de simplificação da linha de montagem para aumentar a produtividade na indústria este tipo de conexão ganhou importância nos últimos anos. O *snap fit* pode ser permanente para peças descartáveis ou permitir a desmontagem e remontagem do produto.

conexões para produtos, constituindo-se em uma área na qual o projetista pode e deve ter papel fundamental (MANZINI, 2002).

O desenvolvimento de conexões vem sendo explorada através da adoção de princípios que orientam o desenvolvimento de produtos considerando seu ciclo de vida. São diretrizes que apontam para uma especialização da atividade de montagem (como meio de aumento de produtividade e redução de custos) e desmontagem de produtos (por questões ambientais relativas à extensão da vida dos produtos e materiais).

O processo de montagem de produtos visando à redução do tempo e custo de produção está estabelecido através das diretrizes do **DfMA** com suas regras bem resumidas por diferentes autores, em especial Boothroyd e Dewhurst (2002). A combinação das siglas DfM (*Design for Manufacturability*) e DfA (*Design for Assembly*) estabelece critérios para orientação a projetos visando à simplificação tanto da manufatura como da montagem através da redução do número de componentes (figura 27).

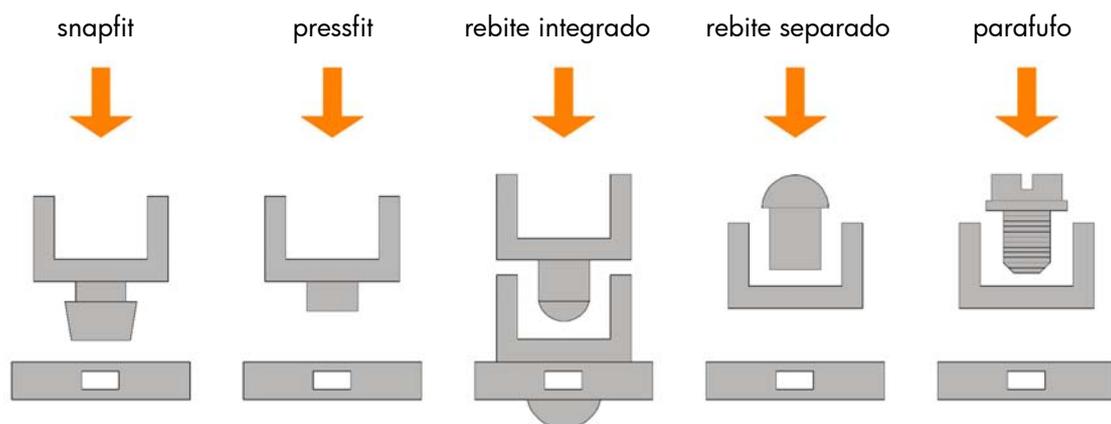


Figura 27: Cinco soluções para o mesmo problema de fixação.

As alternativas diferenciam tanto na quantidade de elementos como no tempo de montagem.

Fonte: adaptado de Boothroyd e Dewhurst (2002).

O DfMA é utilizado pelas empresas em três atividades principais (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2002):

- Como base para estudos de engenharia concorrente ou simultânea¹¹ para fornecer orientação para a equipe de design;
- Como um instrumento de referência para estudar produtos;
- Como ferramenta de auxílio na negociação com fornecedores de suprimentos.

O DfMA visa portanto otimizar as fases de desenvolvimento de produto buscando reduzir custos, promover a melhoria contínua e aumentar a produtividade e competitividade com base no trabalho de equipes multidisciplinares. No que se refere à composição dos produtos, o DfA parte da premissa de que o produto ideal tem apenas uma peça. Dessa forma, considera-se que o número de peças é o maior fator de influência quando se leva em consideração a eficiência da linha de montagem. Assim sendo, o primeiro passo para a melhoria na montagem do produto é a eliminação das peças desnecessárias, removendo as redundâncias ou, se possível, combinando peças para formar um único componente que possua todas as funções requeridas das peças em separado.

Horta e Rozenfeld (1999) sugerem algumas recomendações a serem observadas no desenvolvimento de produtos:

- Projetar para um número mínimo de componentes;

¹¹ Engenharia Concorrente ou Simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado de produtos que enfatiza o atendimento às expectativas dos clientes. Inclui valores de trabalho em equipe, tais como cooperação, confiança e compartilhamento de forma que as decisões sejam tomadas no início do processo em grandes intervalos de trabalho paralelo incluindo todas as perspectivas do ciclo de vida e sincronizadas com pequenas modificações para produzir consenso (PRASAD, 1996).

- Projetar componentes para serem multifuncionais;
- Utilizar componentes e processos padronizados;
- Desenvolver uma abordagem de Projeto Modular;
- Utilizar uma montagem empilhada/uni-direcional;
- Facilitar alinhamento e inserção de todos os componentes;
- Eliminar parafusos, molas, roldanas, chicotes de fios;
- Eliminar ajustes;
- Procurar padronizar materiais, acabamentos e componentes;
- Ter sempre em mente as possibilidades de automação;
- Utilizar e promover o trabalho em equipe.

Outra ferramenta é o **DfD** (*Design for Disassembly*), desenvolvida a partir de preocupações ambientais orienta o desenvolvimento de produtos para desmontagem. O DfD é utilizado como estratégia para extensão da vida dos produtos e dos Materiais. A desmontagem permite a manutenção, reparação, atualização de produtos, assim como a separação dos diferentes materiais para que sejam reciclados ou descartados corretamente através de compostagem, incineração ou ainda, tornando inertes materiais tóxicos e danosos.

A literatura descreve diferentes pesquisas voltadas para a identificação de princípios de união que permitem a desmontagem de produtos para separação dos seus componente e materiais. Através de experiências de desmontagem de produtos fica clara a dificuldade encontrada nos centros de triagem e a impossibilidade de reutilização de produtos ou partes de produtos (MARQUES, 2008). Neste sentido algumas formas de união tradicionalmente utilizadas na indústria passaram a ser não recomendadas na fabricação de produtos por tratarem-se de soluções definitivas como, por exemplo, pregos, solda e adesivos (figura 28).

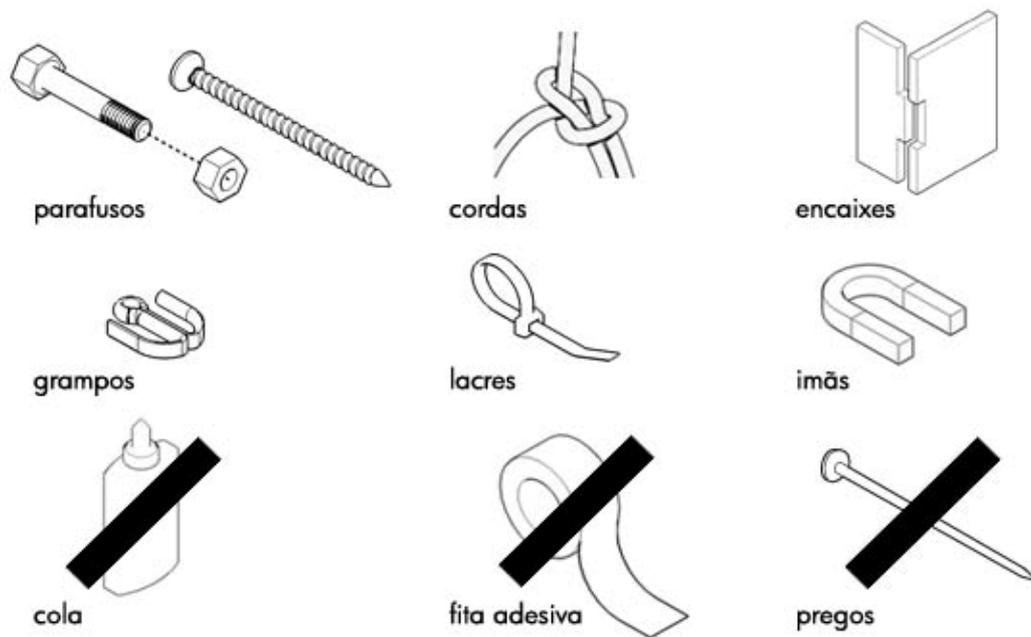


Figura 28: Princípios de união não recomendados pelo DfD.

Fonte: www.openstructures.net

Dentre diferentes princípios de conexão identificados são reversíveis os descritos a seguir (KINDLEIN et al, 2002):

- Ação magnética: a atração magnética pode ocorrer com a utilização de ímãs naturais ou induzidos, que podem ser controlados, proporcionando uma união limpa que não gera resíduos nem contamina os materiais.
- Amarração: os elementos são unidos por meio de fios, fitas, cordas ou cintas que envolvem ou transpassam os elementos a serem unidos. A união envolve diferentes técnicas de nós e amarras, é limpa e de fácil separação.
- Rosqueamento: consiste em fixar as partes por intermédio de uma espiral conhecida por rosca. Utilizam-se normalmente duas peças com rosca para possibilitar o aperto (torque), a peça externa conhecida como porca e a interna como parafuso. É um método de junção não permanente, resistente à tração.

- Travamento: este princípio baseia-se o bloqueio dos movimentos através da inserção de anteparos ou desenvolvimento de características geométricas que limitam os graus de liberdade entre as peças conectadas.

Uma das orientações do DfD é desenvolver conexões que suportem uso repetitivo para minimizar danos e deformações nos componentes e materiais através da montagem e desmontagem contínua (CROWTHER, 2002). Desta forma surge a necessidade de observação e estudo dos processos de conexão e desconexão.

2.2 Processos de conexão e desconexão

O processo de conexão apresenta resultados que demonstram os benefícios do atual estágio de conhecimento visando à facilitação da montagem de produtos. O processo de desconexão, que visa facilitar a desmontagem, ainda não tem o mesmo desenvolvimento e é objeto de pesquisa e investigação de diferentes autores (CHIODO et al, 2002), (KLETT, 2009).

A figura 29 demonstra, esquematicamente, como ocorrem os processos e subprocessos de conexão e desconexão entre dois componentes, neste caso através da utilização de um conector para o travamento. Esses processos podem ser descritos como união, fixação e travamento, destravamento, desprendimento e separação.

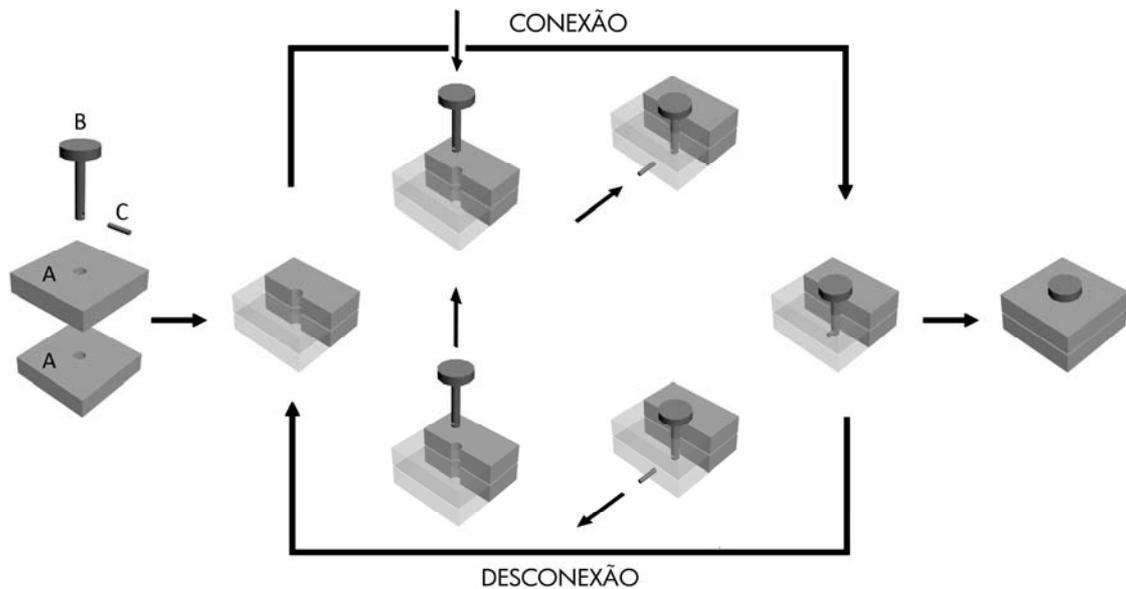


Figura 29: Esquema de um processo de conexão reversível.

Elementos A unidos e travados pela interposição dos componentes B e C. Fonte: adaptado de Klett e Blessing (2003).

Outras formas de travamento podem ser classificadas de acordo com os efeitos físicos e sua causa (KLETT, 2009):

- *Material (material locking)*: causado pelo efeito físico coesão, ou seja, atração intermolecular entre componentes do mesmo material (ex: conexão soldada);
- *Forma (form locking)*: causado pela geometria dos componentes e o efeito físico é o movimento realizado para separar os componentes (ex: *snap fit*);
- *Força (force locking)*: causado através de diferentes tipos de forças resultantes de efeitos físicos como, por exemplo, elasticidade, gravidade, inércia, magnetismo, adesão e fricção.

Dependendo do processo utilizado na montagem, a desconexão pode ser classificada das seguintes formas, considerando a manutenção dos componentes:

- Destrutivo: elementos e conectores são danificados, o processo de remontagem fica impossibilitado;
- Parcialmente-destrutivo: somente os conectores são danificados, a remontagem é possível com a reposição destes.
- Não destrutivo: nenhum dos componentes é danificado, possibilitando a remontagem.

O processo de conexão e desconexão pode ser classificado também quanto ao nível de automação que pode ser: manual sem ferramenta, manual com ferramenta, manual com ferramenta mecânica ou processo automatizado.

O Processo de desconexão por contato, também chamado de Desconexão Ativa (*Active Disassembly*), é realizado por movimento e força, requer ferramentas assim como informações como a direção do movimento de torque (ex: rotação do parafuso e o movimento e pressão exercida no gancho do *snap fit*). O processo de desconexão sem contato (*Contactless Disconnecting*) é desencadeado através de um sinal externo sem contato físico com o produto, estes processos são classificados de acordo com sua transmissibilidade que pode ocorrer através de meios específicos (ex: condutores elétricos) ou sem meios específicos (ex: alteração do campo magnético). Outros exemplos de desconexão sem contato são: alteração da temperatura combinada com a utilização de determinados materiais (*Shape Memory Material*) ou elementos solúveis em determinados meios como água ou outras soluções.

Novas abordagens estão sendo desenvolvidas para viabilizar economicamente e tornar efetivamente possível o processo de desmontagem de produtos industriais em grande escala. Denominado Desconexão Ativa através de Materiais Inteligentes (*Active Disassembly through Smart Materials - ADSM*) este conceito de processo de desconexão investiga princípios que dispensam o uso

de ferramentas e o contato com a conexão. O benefício está na baixa complexidade do processo que não requer nenhuma adequação em função de diferentes tipos de produtos e possibilita a desconexão simultânea de várias conexões diferentes.

Com relação aos princípios básicos que regem o funcionamento de conexões, podem ser divididos em duas categorias: por travamento com a utilização de conectores e pela geometria dos elementos (POTTMANN, 2007, pg. 595). Em cada classificação as propriedades dos materiais e as características geométricas dos elementos vão influenciar no estabelecimento das restrições que vão determinar a aplicação de cada tipo de conexão.

2.3 Conexão por Componentes

A utilização de componentes para conexão como pregos e mais recentemente parafusos tem uma longa tradição, especialmente em objetos e estruturas de madeira e metal. Desde seu surgimento, o parafuso, cujas primeiras evidências o descrevem feito de madeira, vem sendo desenvolvido e especializado para diferentes aplicações e materiais.

A partir da Revolução Industrial estes conectores passaram a ser padronizados e produzidos em grande escala, evolução acompanhada pelo desenvolvimento de ferramentas para o manuseio (figuras 30a e 30b), máquinas de precisão para sua fabricação e também para automatização do processo de montagem de produtos. Da mesma forma os rebites inicialmente utilizados na construção naval ampliaram suas aplicações (figura 30c). A standardização destes componentes contribuiu com a racionalização e previsibilidade de desempenho destas conexões sob esforços assim como para a simplificação de muitos detalhes.

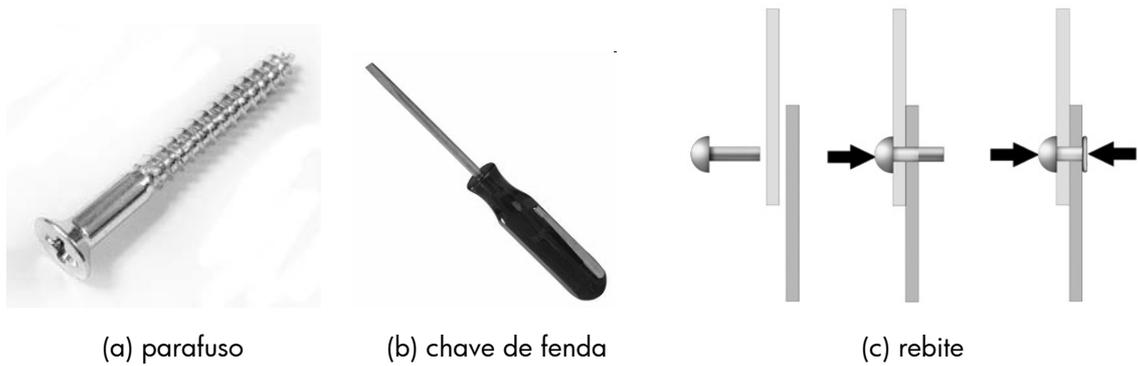


Figura 30: Elementos de fixação padronizados.

A padronização de elementos iniciada na Revolução Industrial contribuiu para simplificação da geometria dos elementos construtivos. Componentes repetitivos e de baixo custo substituíram soluções individuais sofisticados, pois representavam uma vantagem naquele contexto.

Atualmente a fabricação digital aumenta a precisão para a execução de elementos, componentes e conectores, não havendo a necessidade de ajustes. Com a execução a partir de arquivos CAD com máquinas de comando numérico é possível criar elementos com geometria e formas complexas.

Desta forma existe a possibilidade de revisitar antigas técnicas de união, como da marcenaria tradicional com peças interconectadas, utilizando geometria espacial. Algumas destas técnicas podem voltar a ser usadas em versões adaptadas do trabalho artesanal para a fabricação de alta precisão. A personalização de componentes vem se tornando possível à medida que os equipamentos tornam-se acessíveis. Em função disso, habilidades relativas ao desenvolvimento de conexões de estruturas complexas devem ser ainda mais desenvolvidas.

2.4 Conexão por Geometria

As técnicas construtivas desenvolvidas pelas antigas civilizações utilizavam materiais provenientes da natureza na forma como eram encontrados. Estradas e pontes, por exemplo, eram executadas com pedras selecionadas e justapostas em função da geometria que apresentavam (figura 31a). Com o desenvolvimento de ferramentas de metal os materiais naturais foram trabalhados para unir elementos de forma mais elaborada produzindo novas tecnologias construtivas como a alvenaria Inca, estruturas capazes de resistir a abalos sísmicos (figura 31b).



(a) Via Appia, Itália, 312 a.C.



(b) Muro Inca, Cusco, Peru, Sec. XIII

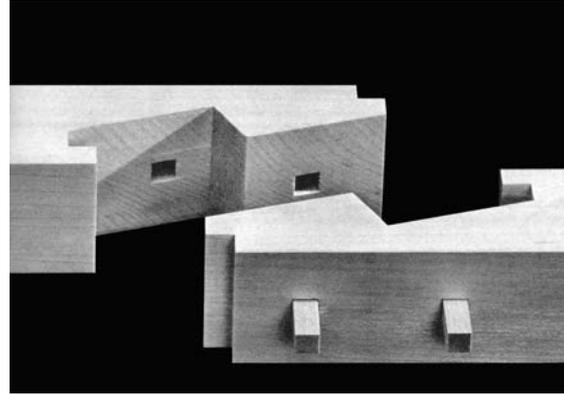
Figura 31: Justaposição de elementos por geometria.

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Appian_Way e Pottman (2007, p. 596).

Técnicas de marcenaria desenvolveram várias soluções de encaixes com madeira que podem ser observados na arquitetura dos templos chineses e japoneses como mostram as figuras 32a e 32b. Sem a utilização de elementos especiais para conexão, as estruturas eram compostas exclusivamente pelos elementos estruturais interconectados.



(a) Estrutura de madeira de um templo japonês



(b) encaixe de madeira

Figura 32: Estrutura de madeira executada por encaixes.

Fonte: SEIKE (1977)

Se a utilização de conectores tem longa tradição, conexões baseadas em princípios geométricos têm uma história ainda mais antiga. Com o surgimento de novas tecnologias e o aumento de especificações e requisitos de projetos, muitas soluções que respondem com eficiência a questões como longevidade de produtos e facilidade de montagem e desmontagem, vêm surgindo dentro do que se classifica como **conexões integradas** (*Integral Mechanical Attachment*) cujo princípio é a geometria associada a materiais (MESSLER, 2006).

Conexões integradas geralmente são feitas de um mesmo material que tira partido de suas propriedades e tipos de processamento para atender aos requisitos funcionais e de desempenho. Cardodo e Sass (2008) definem estas conexões como **SMA** (*Single Material Assembly*) e argumentam que produtos confeccionados de um único material apresentam como vantagem o fato de serem fabricados utilizando uma única máquina. A lógica SMA consiste em explorar o potencial de materiais e técnicas de fabricação digital para criar conexões através de fendas e saliências ao longo das peças produzindo um sistema de junção comparável ao Lego em termos de simplificação da

montagem, onde a união ocorre por atrito (cola, pregos ou parafusos são desnecessários). Segundo estes autores, o acesso a dispositivos para fabricação digital terá efeito na indústria de médio e pequeno porte, possibilitando o emprego de processos mais rápidos de design para construção. Neste sentido a exploração criativa em design utilizando SMAs, assim como a definição de métodos, procedimentos e a constituição de uma sólida fundamentação teórica revela-se como um campo fértil para pesquisa.

Com relação aos materiais, observa-se na área dos polímeros um campo muito abrangente de desenvolvimento de conexões integradas. Novas tecnologias de processamento de plásticos e o aprimoramento de certas características próprias desse material tornaram viável economicamente e tecnicamente a execução de formas complexas. Da capacidade de moldagem desses materiais associada a propriedades como a elasticidade, surgiram os ***snap fits*** como uma solução prática e eficiente de conexão para diversas aplicações, como na indústria de eletro eletrônicos e componentes automotivos.

Trata-se de um mecanismo de fixação integrado às partes de produtos, não havendo a necessidade de elementos adicionais ou ferramentas, e cujo princípio baseia-se na flexibilidade relativa do material (BONENBERGER, 2005). O que ocorre durante o processo de conexão é que os ***snap fits*** são submetidos a uma deflexão para permitir o acoplamento e recuperação para realizar a retenção ou travamento (figura 33). Este processo é acompanhado de uma pressão audível ou tátil, "***snap***", que origina sua denominação (GENC, 1997).



Figura 33: Desenho esquemático de um *snap-fit*.

Fonte: Marques (2008)

O grande benefício destes dispositivos é a facilidade na montagem e desmontagem de produtos, o dimensionamento e uso corretos do material pode permitir a realização dos processos de conexão e desconexão inúmeras vezes sem prejuízo para os elementos. Em função disso uma das aplicações mais comuns do *snap fit* está nos brinquedos como, por exemplo, o K'nex (figura 34a) que, através dos seus elementos e conexão tipo *snap fit* anular, constitui um sistema construtivo bastante versátil.



(a) K'nex



(b) Lego

Figura 34: Brinquedos de montar com conexões integradas.

A união entre elementos no K'nex ocorre através da conexão tipo *snap fit* anular. No Lego ocorre através do princípio da interferência.

Fonte: (a) http://www.walden.com/blogpost/enter_the_knex_challenge/

(b) <http://architoys.blogspot.com/>

Em função da capacidade elástica dos polímeros, além dos *snap fits* outro princípio de junção característico da utilização de plásticos é a **interferência**. Baseia-se na diferença de dimensões nas áreas de junção, da peça externa chamada de "furo" e da peça interna é chamada de "eixo". A dimensão do eixo deve ser maior do que a dimensão do furo antes da montagem. A conexão ocorre por pressão do eixo no furo, provocando interferência entre as áreas de contato e impedindo que se soltem. Em outros materiais para que se realize este princípio de junção é necessário aquecer o furo e/ou resfriar o eixo (MARQUES, 2008).

O exemplo mais conhecido da utilização deste tipo de conexão é o sistema Lego (figura 34b). É um brinquedo cujo conceito se baseia em partes que se encaixam permitindo inúmeras combinações. Tanto o conceito da conexão como da flexibilidade em termos de possibilidade de combinação inspiram a criação de objetos com características similares. A ocorrência desta aplicação em mobiliário demonstra a possibilidade de utilização em estruturas de maior porte como mobiliário.



Figura 35: Super Box, Designers Irmãos Adriano, Fabricante Lazzari.

Fonte: <http://www.adriano.design.it/superbox.htm>

Super Box (figura 35) é um sistema componível e modular feito de polipropileno expandido. Possui dois componentes, A e B, que quando combinados podem

criar ambientes, paredes e prateleiras. A união ocorre por interferência sob pressão proporcionada pela geometria dos componentes e propriedades do material. O Play Shelving (figura 36) utiliza os mesmos princípios de conexão e modulação para formar um sistema que pode compor estantes e divisórias de ambiente.



Figura 36: Play Shelving, Designer Antoine Phelouzat, Fabricante Movisi.

Fonte: http://www.movisi.com/pages/product_play

Messler (2006) considera as conexões integradas um retorno aos métodos mais antigos de união entre elementos. Esta constatação fica evidente quando se observa as possibilidades que o avanço da tecnologia vem permitindo no processamento da madeira e seus produtos derivados.

As técnicas ancestrais de encaixes de madeira desenvolvidos pelos japoneses (figura 37) que dependiam da experiência e conhecimentos de artesãos podem ser revisitadas uma vez que máquinas de alta precisão podem executar facilmente as geometrias que na época dependiam de habilidades manuais.

O professor Jochen Gros, 1997 juntamente com o designer Friedrich Sulzer, realizou um trabalho no C...Lab da Hochschule für Gestaltung Offenbach que consistiu na organização um repertório com 50 tipos de encaixes para madeira adaptados das técnicas de encaixes japoneses para a fabricação digital com fresa CNC.

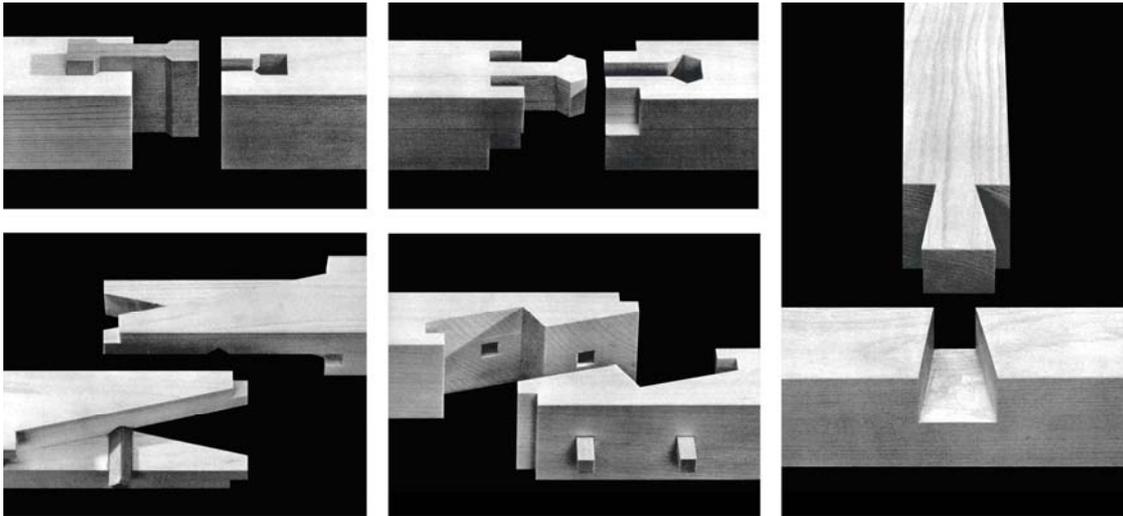


Figura 37: Encaixes japoneses.

Fonte: SEIKE (1977)

O material intitulado *Digital Wood Joints* (figura 38) é uma compilação de diversos tipos de conexões em formato digital, organizadas e classificadas por tipos de aplicação (*frame joints*, *board joints* e *carcass joints*). Além da reprodução de soluções existentes, novas metodologias permitem a adaptação e criação de variantes ampliando ainda mais as possibilidades de aplicação.

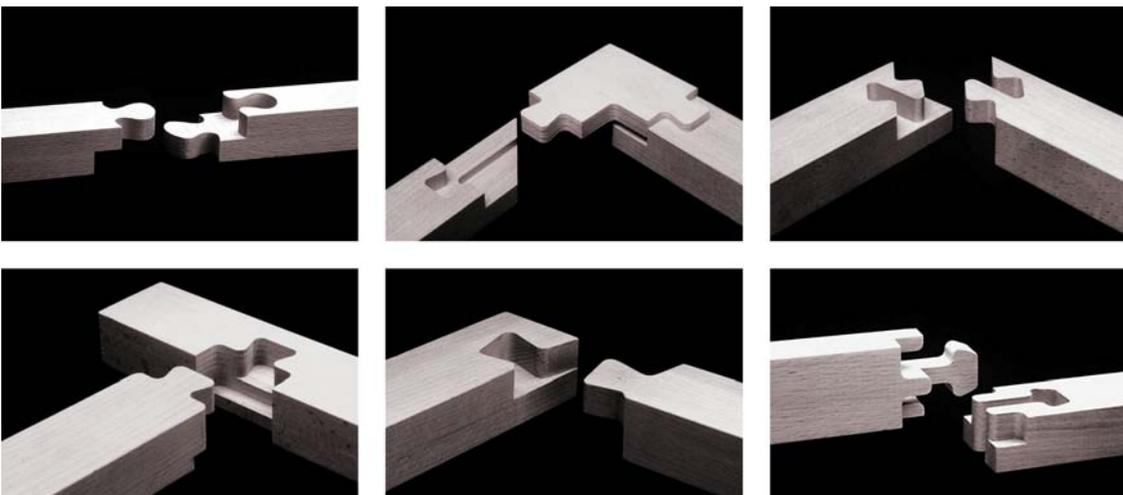


Figura 38: Encaixes digitais em madeira maciça (*Digital Wood Joints*).

Fonte: Digital Wood Joints CD ROM.

Também para utilização em materiais derivados da madeira, principalmente chapas de compensado multilaminado, foram desenvolvidas e adaptadas alternativas de conexão entre elementos planos como mostra a figura 39.

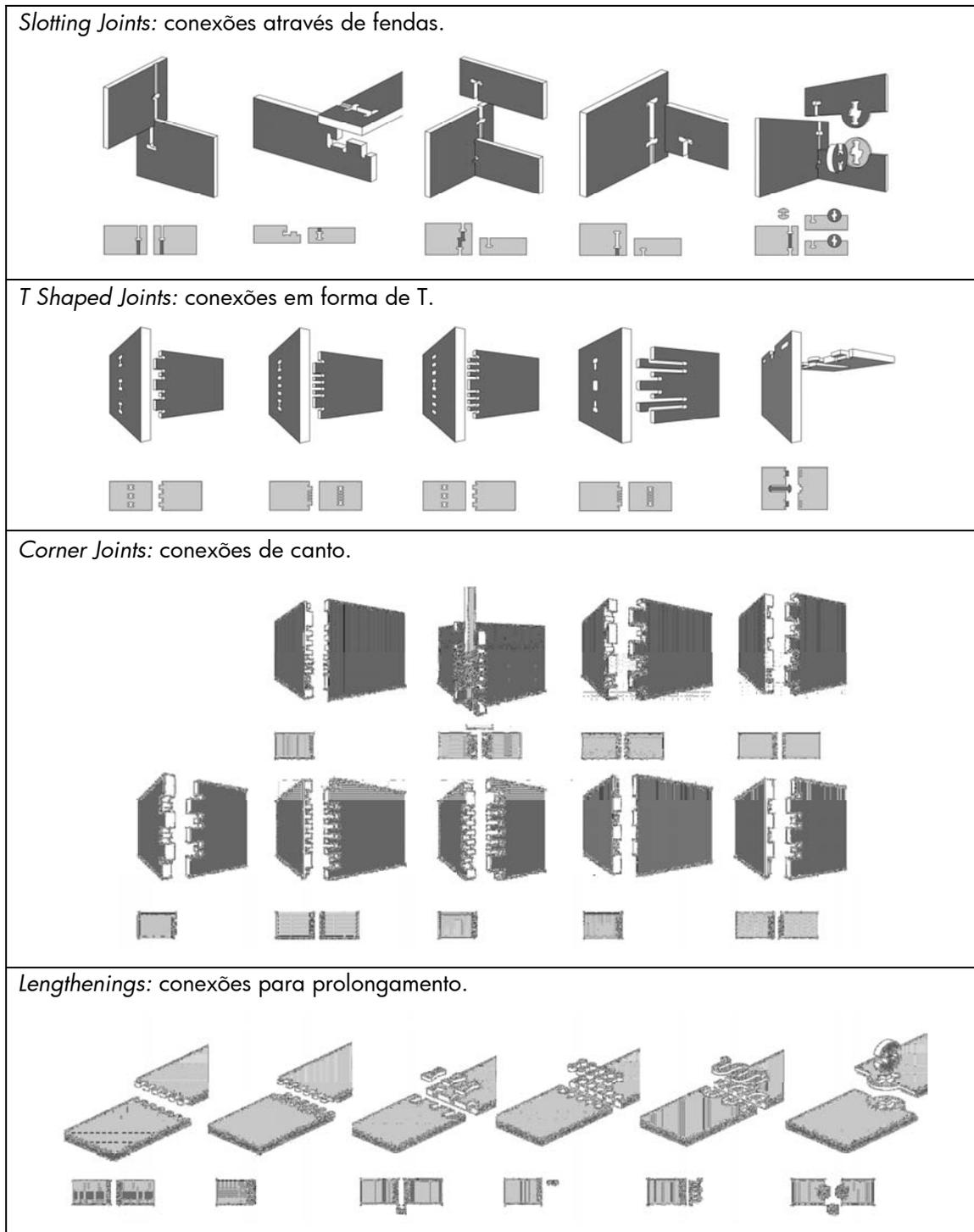


Figura 39: Encaixes digitais em chapas de madeira industrializada (*Digital Wood Joints*).

Fonte: Digital Wood Joints CD ROM.

A madeira industrializada provém de reflorestamento e foi desenvolvida como alternativa à utilização de madeiras nativas em extinção. São chapas de madeira laminada colada, aglomerado e mdf entre outras. As características físicas (resistência) e a estabilidade do material resultam da composição e orientação das fibras. É relevante a realização de pesquisa sobre conexões integrada a materiais desta natureza, uma vez que são largamente utilizados como matéria prima no setor moveleiro nacional (GIUSTINA, 2001).

Uma vez que a fabricação digital facilita e viabiliza a execução de geometrias complexas, emerge a possibilidade de exploração destas formas com intenções de materialização. A compatibilização entre os sistemas computacionais de representação (CAD) e de produção (CAM) permite experimentações formais sem limites tanto para a modelagem como para a fabricação. Kilian (2003) argumenta sobre a utilização deste potencial no desenvolvimento de conexões uma vez que, através da manipulação da geometria do objeto, é possível adaptar as características geométricas da conexão à forma desejada, como a adaptação de encaixes em superfícies curvas (figura 40).

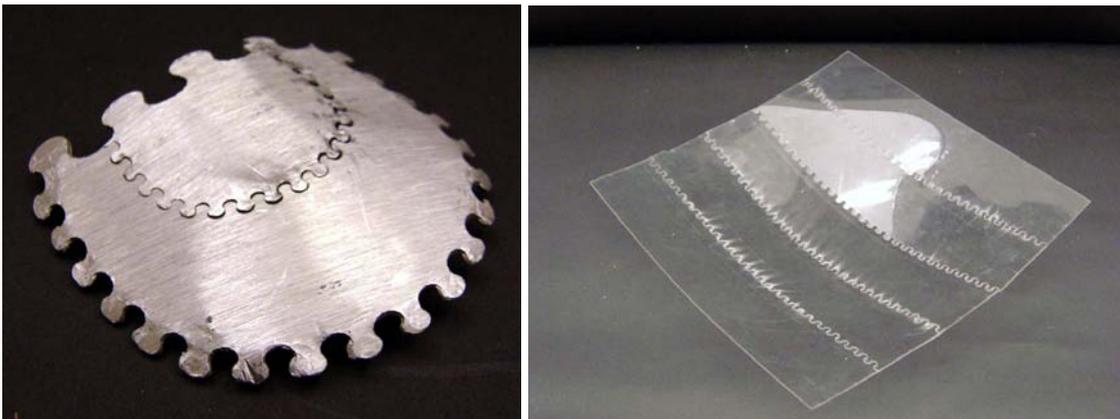


Figura 40: Encaixes em superfícies curvas.

Utilização de softwares de design paramétrico para criação de encaixes.

Fonte: KILIAN (2003)

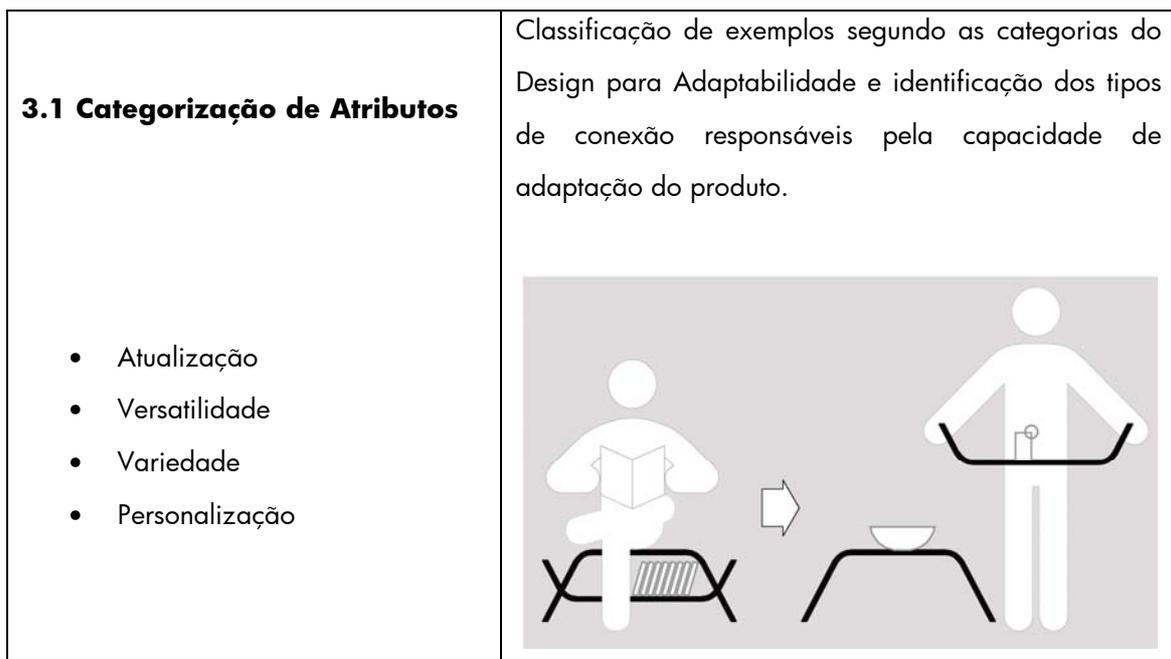
Outro fenômeno decorrente da exploração formal que aponta para a necessidade de recursos de conexão é o desenvolvimento de soluções universais entre elementos construtivos não padronizados para a execução de estruturas com formas livres em escala ampliada.

Em última análise, observa-se a ampliação da discussão para a questão da linguagem resultante da utilização de conexões a partir de princípios geométricos. Ao assumir visualmente uma conexão, um produto promove suas características construtivas a uma função estética. Conexões desenvolvidas para sistemas construtivos determinam a forma como os elementos se relacionam para formar estruturas. Em ambos os casos a composição e o aspecto geral do produto ou sistema são influenciadas pelo tipo de solução de conexão adotada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão do estado da arte iniciou pela análise de vários exemplos de mobiliário contemporâneo em sites e publicações especializadas em design. Dentre as características que conferem capacidade de adaptação aos exemplos foram observadas modularidade, transformações formais (expansão e compactação) e funcionais (multiplicidades de funções), entre outras. A partir do levantamento que contou com mais de cem exemplos analisados foi possível observar atributos comuns que permitiam o agrupamento destes objetos em subcategorias. Como fundamentação teórica para a classificação dos exemplos com propriedades comuns foram adotados os conceitos do Design para Adaptabilidade: atualização, versatilidade, variedade e personalização.

A sequência deste capítulo está estruturada de acordo com a figura 41:



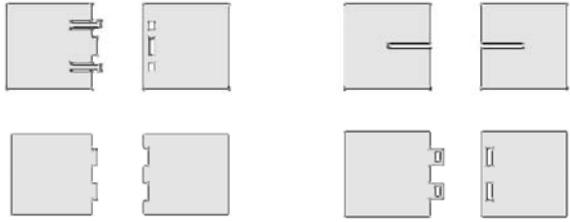
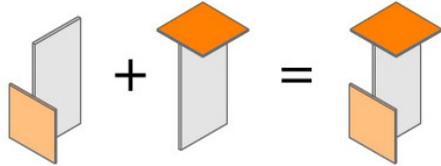
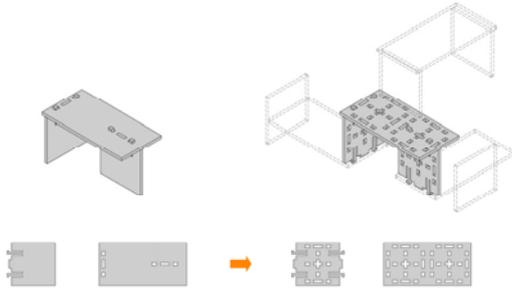
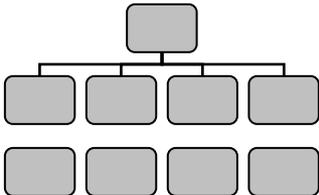
<p>3.2 Seleção das Conexões</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projeto • Material • Conexões integradas • Processos de conexão e desconexão • Processos de fabricação 	<p>Estabelecimento dos requisitos de projeto para definição da abordagem e seleção de alternativas para análise a partir de um repertório de conexões.</p> 										
<p>3.3 Modelagem do Experimento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelo de análise • Critérios de análise 	<p>Descrição dos procedimentos realizados para criação das condições de análise das alternativas de conexão.</p> 										
<p>3.4 Análise das Conexões</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desempenho • Flexibilidade • Otimização • Versatilidade 	<p>Procedimentos de análise das alternativas com relação aos critérios e demonstração dos resultados parciais que serão utilizados no processo de avaliação.</p> 										
<p>3.5 Método Analítico Hierárquico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objetivo • Critérios • Alternativas 	<p>Introdução ao método de análise multi-critério para conclusão do processo de avaliação das alternativas de conexão.</p>  <table border="1" data-bbox="1066 1666 1369 1921"> <thead> <tr> <th>Alternativas</th> <th>Pesos de importância</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CLIP</td> <td>0,25</td> </tr> <tr> <td>SLOT</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>FINGER</td> <td>0,30</td> </tr> <tr> <td>TUSK</td> <td>0,13</td> </tr> </tbody> </table>	Alternativas	Pesos de importância	CLIP	0,25	SLOT	0,32	FINGER	0,30	TUSK	0,13
Alternativas	Pesos de importância										
CLIP	0,25										
SLOT	0,32										
FINGER	0,30										
TUSK	0,13										

Figura 41: Estrutura da pesquisa.

3.1 Categorização de Atributos

O objetivo desta primeira etapa foi identificar dentre os vários exemplos analisados aqueles em que as conexões são responsáveis pelas operações que atribuem ao objeto a qualidade de ser adaptável. A partir de então foi possível focar nas soluções de conexão entre as partes dos produtos para identificação dos seus princípios de funcionamento, assim como criar um repertório de soluções como recurso de pesquisa para o desenvolvimento de novos produtos. Como resultado desta primeira análise foram elaborados pictogramas adaptados de exemplos de mobiliário contemporâneo para síntese do processo realizado no qual novos exemplares podem ser enquadrados. Imagens dos produtos utilizados para exemplificar as subcategorias podem ser vistos no APÊNDICE I.

3.1.1 Atualização: através da observação em exemplos de mobiliário no que se refere à capacidade de atualização de um objeto a uma nova necessidade (HASHEMIAN, 2005) conclui-se que:

- Intervenções para **modificação de elementos** (figura 42a) tornam possíveis adaptações a um novo uso ou necessidade, no entanto pode consistir em uma operação definitiva fazendo com que um objeto não possa retornar ao estado inicial. Exemplo: uma cadeira de bebê pode ser adaptada para cadeira de criança acompanhando seu crescimento através de sucessivas reduções no comprimento dos apoios;
- Através da **substituição** (figura 42b) ou **modificação da posição de elementos** (figura 42d) é possível obter adequação postural ou ergonômica por meio de uma alteração reversível. Exemplo: uma cadeira

baixa pode ser elevada através da substituição dos pés. A cadeira de balanço pode ter o encosto ajustado para uma posição mais confortável de acordo com a anatomia do usuário;

- Objetos podem ter sua função ampliada ou reduzida tendo em vista a necessidade de uso ou aproveitamentos de espaço através da **adição ou subtração de elementos** (figura 42c). Exemplo: uma estante composta de elementos modulares pode ter sua configuração alterada através da adição de elementos para expandir a capacidade de armazenamento ou subtração de elementos para adequação a uma nova situação espacial.

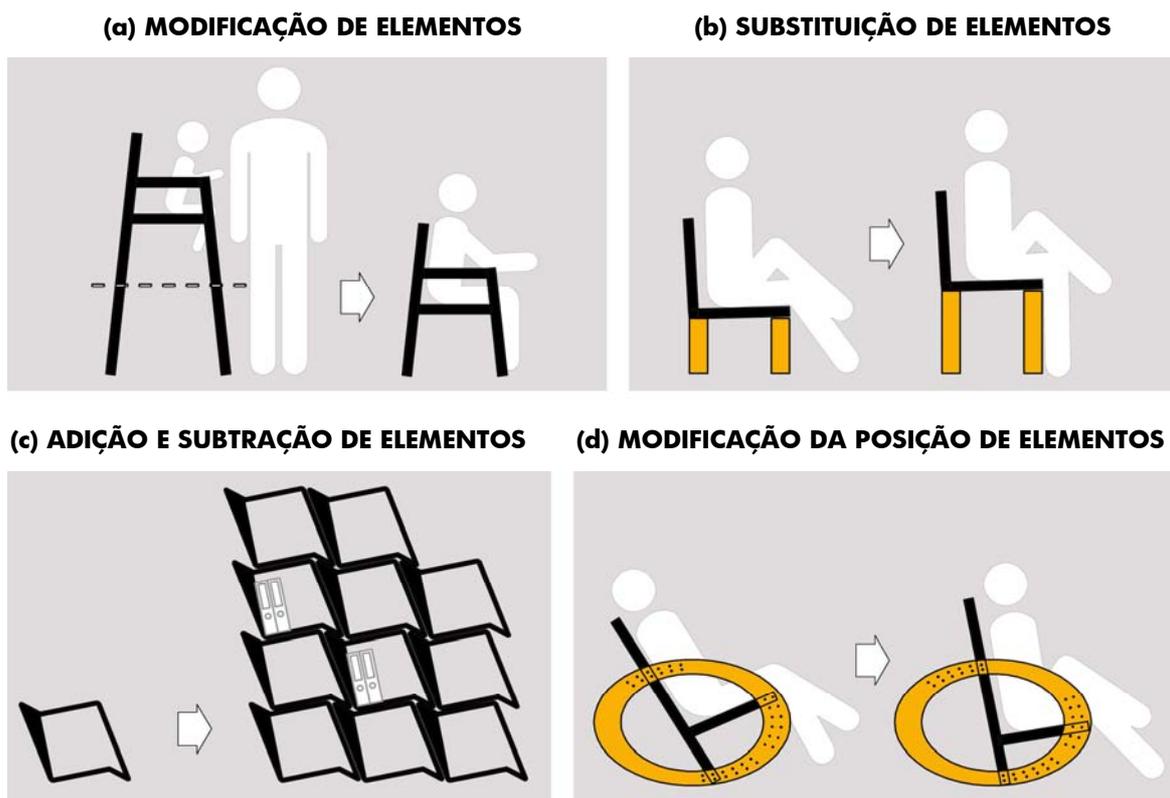
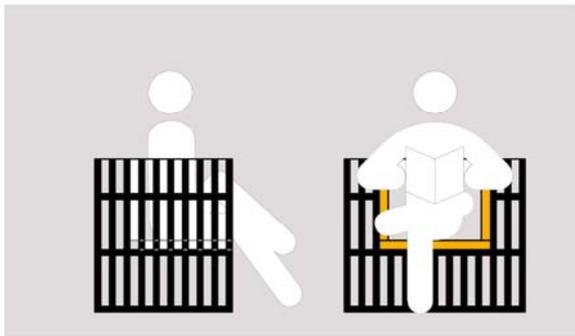


Figura 42: Piktograma Atualização.

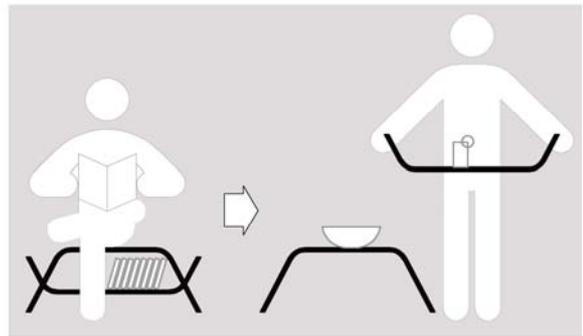
3.1.2 Versatilidade: relacionada à multiplicidade de funções (HAINTZ, BEVEREN, 2004) pode ser observada em mobiliário nas seguintes situações:

- Um objeto pode cumprir **funções simultâneas** (figura 43a) sem a necessidade de operações de qualquer natureza. Exemplo: a própria estrutura física do objeto, como a de uma poltrona, é concebida com compartimento para armazenamento de livros;
- Outros objetos apresentam características ergonômicas e estruturais que permitem ter sua **configuração alterada** (figura 43b) para assumir uma nova função. Exemplo: elementos quando conectados e intertravados podem servir de assento e apoio para objetos pesados, quando separados perdem resistência, no entanto assumem novas funções;
- O objeto assume nova função simplesmente através da **modificação de sua posição** (figura 43c) sem implicar na alteração de sua estrutura ou relação entre partes. Exemplo: a forma e as proporções de uma cadeira podem ser as mesmas de uma mesa quando rotacionada em relação ao solo;
- **Articulações** (figura 43d) entre partes são responsáveis pela transformação de uma função para outra, consistem em soluções elaboradas envolvendo equipes especializadas no desenvolvimento de componentes especiais. Exemplo: através de articulações elementos são ajustados em diferentes posições para assumir funções como banco, mesa, revestido e cadeira.

(a) SOBREPOSIÇÃO DE FUNÇÕES



(b) MODIFICAÇÃO DA POSIÇÃO DE ELEMENTOS



(c) MODIFICAÇÃO DA
POSIÇÃO DO OBJETO



(d) ARTICULAÇÃO ENTRE ELEMENTOS

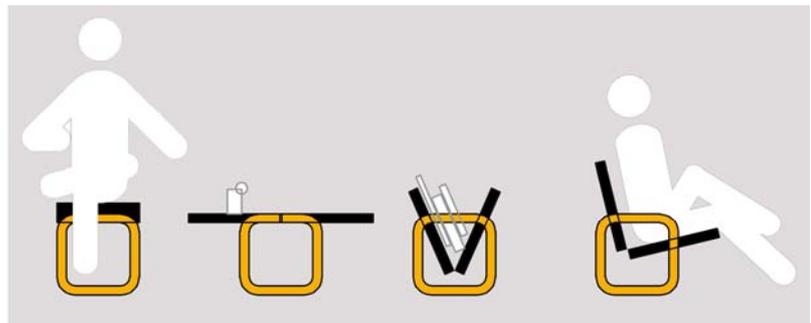


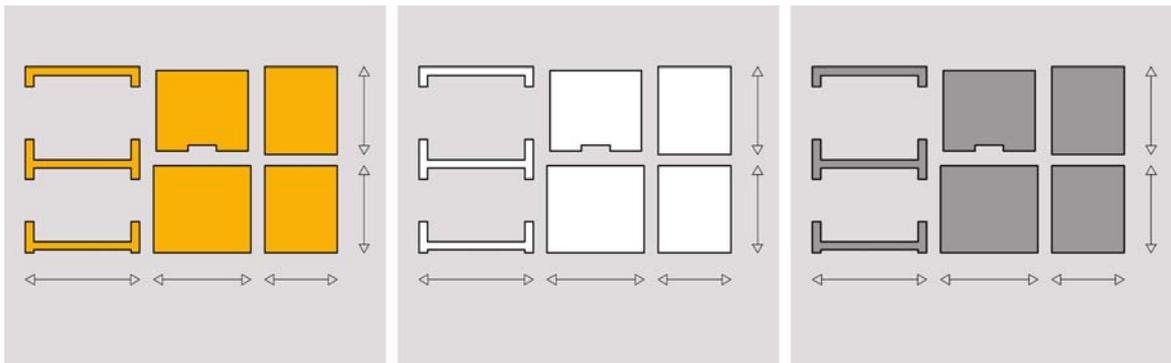
Figura 43: Piktograma Versatilidade.

3.1.3 Variedade: em diversos exemplos de mobiliário se observa que os projetos são desenvolvidos de forma que são possíveis variações de características para ampliar as opções de oferta, constituindo uma família ou portfólio de produtos (SIMPSON, 1998). Dentre os aspectos identificados estão:

- Aspectos externos relacionados à oferta de **diferentes opções** de materiais, cores, texturas e acabamentos (figura 44).
- Possibilidade de **manipulação de parâmetros** ainda na fase de projeto dentro de um sistema que envolve variáveis e restrições permitindo certa liberdade como, por exemplo, a alteração de medidas como largura, altura e profundidade.

- O desenvolvimento de um sistema permite que variações pré-definidas sejam realizadas a partir da utilização ou não de recursos ou elementos opcionais. Exemplo: uma cadeira de escritório pode ou não ter braço de apoio.

OPÇÕES DE CORES E VARIAÇÃO DE PARÂMETROS DIMENSIONAIS



DIFERENTES CONFIGURAÇÕES

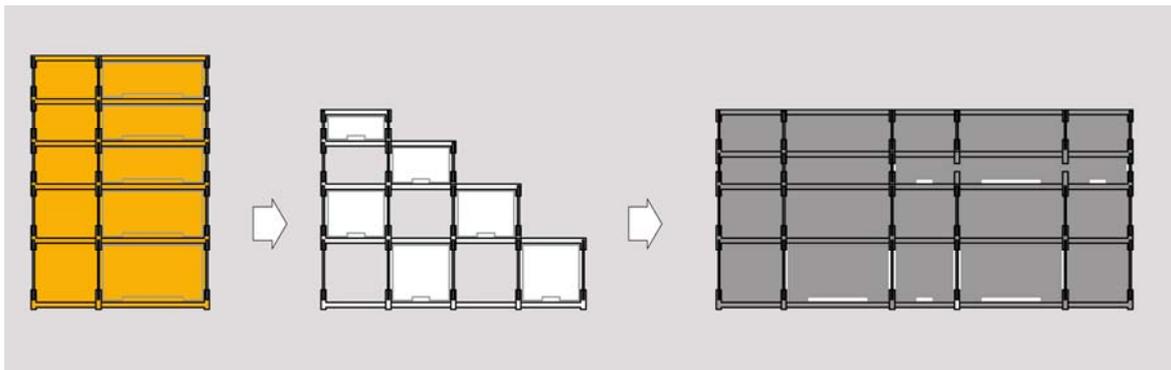
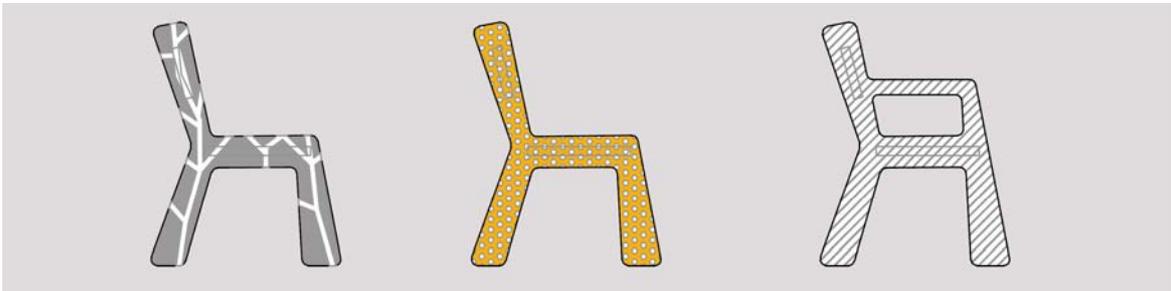


Figura 44: Piktograma Variedade.

3.1.4 Personalização: conceito esta relacionado ao atendimento de preferências e necessidades específicas de usuários (PINE, 1993). A personalização esta relacionada ao conceito de variedade uma vez que, a partir da oferta de opções, é possível individualizar produtos. Dentre as particularidades observadas nos exemplos pode-se citar:

- O objeto pode assumir diversas configurações a partir da utilização de **diferentes elementos**, recursos opcionais, permitir combinação entre cores, materiais ou acabamento. Estes aspectos são determinados por questões de necessidade, funcionalidade, custo e preferências pessoais (figura 45).
- É comum a utilização de interfaces computacionais onde o usuário pode configurar o objeto em função de suas necessidade ou preferências individuais enviando as informações diretamente para o fabricante.
- Interfaces em que o usuário pode intervir na forma dos produtos também permitem a individualização de objetos dentro de limites impostos pelo sistema.

VARIEDADE DE ELEMENTOS



DIFERENTES CONFIGURAÇÕES

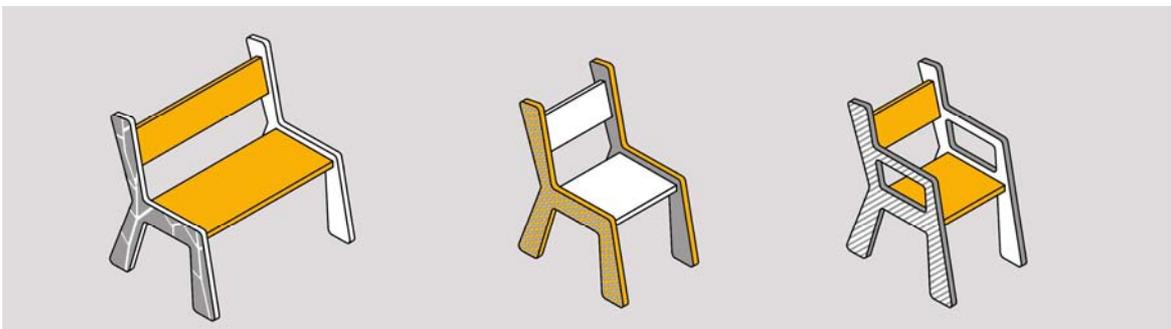


Figura 45: Piktograma Personalização.

Com relação à utilização de conexões para criar variantes e personalizar produtos percebe-se a necessidade de compatibilização de entre diferentes partes que podem ou não fazer parte do produto. Quando existe a possibilidade de intervenção na forma do objeto através da manipulação de parâmetros as restrições podem estar relacionadas as soluções de conexão como forma de garantir a integridade do produto.

3.2 Seleção das Conexões

Na definição das alternativas de conexões válidas para análise foram considerados os fatores descritos a seguir:

- **Produto:** o segmento de móveis retilíneos ou lineares¹² representa grande parte da produção moveleira nacional. O comércio de móveis populares é o maior mercado deste tipo de produto que apresenta dois sérios problemas: a) falta de adequação às necessidades dos usuários e b) redução no ciclo de reposição por falta de qualidade dos componentes utilizados (GORINI, 1998). Estas constatações levaram o foco da pesquisa para as conexões entre elementos planos.
- **Material:** a simplicidade formal é característica do mobiliário retilíneo decorrente das características geométrica do material que é fornecido sob

¹² Móveis retilíneos ou lineares são produtos com linhas retas, estruturados a partir de planos ortogonais resultantes da utilização de chapas de MDF, aglomerado ou compensado como matéria prima. Atualmente a maioria dos fabricantes de móveis utiliza estes materiais, mas a fabricação em larga escala fica por conta das empresas que possuem maquinário com tecnologia de ponta. O processo é simplificado eliminando ou automatizando etapas como o acabamento e a usinagem. A montagem final é feita pelo varejista.

a forma de chapas, placas e painéis com dimensões e espessuras variáveis. Os materiais mais utilizados na fabricação de móveis são o MDF, MDP, aglomerado, compensado multilaminado e OSB. No entanto, outros materiais comercializados em condições similares como, por exemplo, o acrílico e até mesmo o papelão, podem fazer uso destas soluções de conexão através de adequações.

- **Conexões integradas:** foram selecionadas quatro alternativas de conexão para unir os planos estruturais, não havendo a necessidade de componentes adicionais como pregos e parafusos para realizar a fixação entre os elementos. As alternativas foram selecionadas a partir da análise de exemplos de mobiliário e do repertório organizado pelo professor Jochen Gros (1997). São princípios elementares que podem ser adaptados a diferentes projetos e cumprem os mesmos requisitos: são conexões reversíveis, integradas a elementos planos e que podem ser executadas em materiais fornecidos em chapas e painéis.
- **Processo de conexão e desconexão:** para possibilitar que adaptações previstas no projeto sejam realizadas pelos próprios usuários, foram selecionadas conexões cujos processos de conexão e desconexão possam ser realizados sem a necessidade de uso de ferramentas.
- **Processo de Fabricação:** foram consideradas as duas possibilidades mais utilizadas no processamento do material em função da forma como ele é fornecido (chapas e painéis), o corte (laser) e a usinagem (fresa), ambos com tecnologia CNC que garante a precisão dos encaixes.

As conexões selecionadas são apresentadas e descritas a seguir:

3.2.1 Clip

O desenvolvimento de novos materiais e a transferência de técnicas de conexão entre diferentes disciplinas conduz ao desenvolvimento de soluções inovadoras. A conexão CLIP (figura 46) é um tipo de união reversível cujo princípio parte de uma propriedade física do material, a elasticidade. Esta conexão consiste em dois ganchos na extremidade de um dos elementos que são flexionados para assumir a posição de encaixe no outro elemento. Ao passar pelos orifícios o gancho volta à posição de origem. É uma conexão desenvolvida para ser desconectada manualmente através do processo inverso ao da conexão.

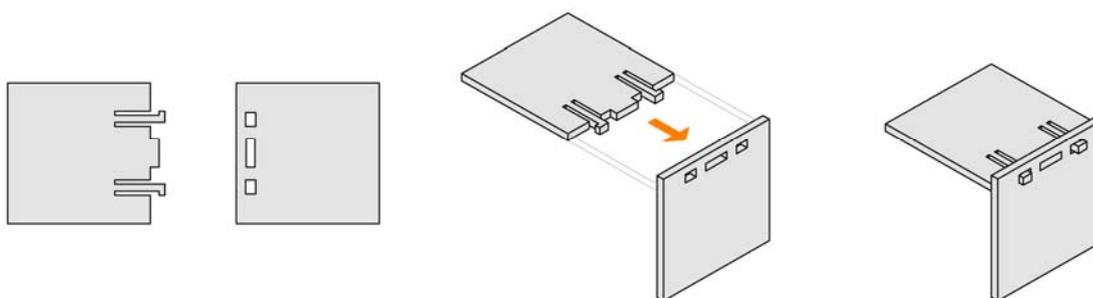
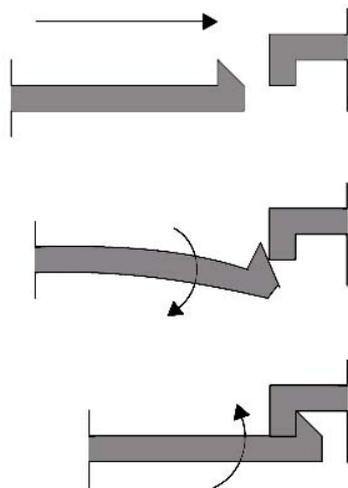
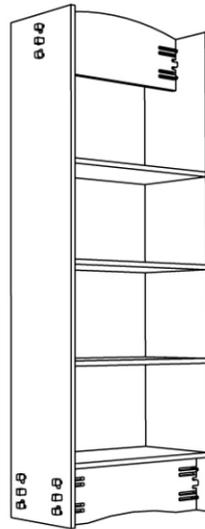


Figura 46: Conexão CLIP.

O modelo para este tipo de conexão encontra-se no campo dos materiais sintéticos, dentre eles os polímeros com os quais se desenvolvem as conexões integradas tipo *snap-fit* (figura 47a). As aplicações mais comuns são em produtos plásticos como brinquedos, eletro-eletrônicos, componentes automotivos, entre outros. A utilização do mesmo princípio em produtos derivados da madeira como o compensado multilaminado foi proposta por Gros e Sulzer, 1998 em trabalho realizado no laboratório C...Lab da escola Hochschule für Gestaltung Offenbach, Alemanha (figura 47b).



(a) Esquema de um *Snap fit*



(b) *Clip Shelf*

Figura 47: Utilização do princípio do *snap fit* em mobiliário.

Fonte: (a) Marques (2008). (b) Digital Wood Joints CD ROM

3.2.2 Slot

A conexão SLOT (figura 48) se dá a partir de fendas localizadas ao longo dos elementos. É uma conexão simétrica, não havendo distinção entre macho e fêmea. Através das fendas os elementos são unidos por intersecção.

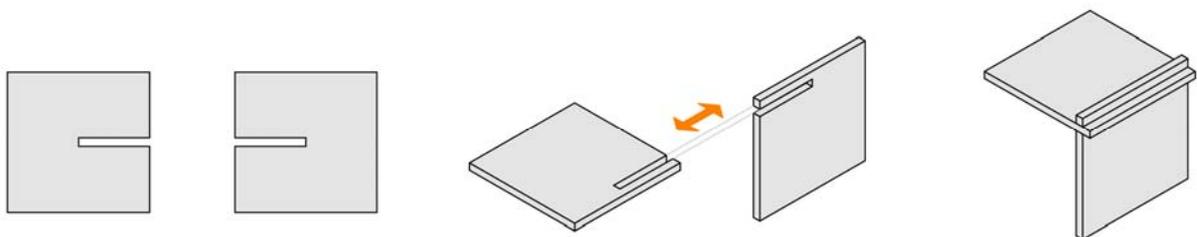


Figura 48: Conexão SLOT.

Este tipo de conexão tem sido muito utilizada em objetos fabricados digitalmente para decompor formas orgânicas em elementos construtivos gerando estruturas tridimensionais rígidas intertravados a partir de planos. Essas estruturas são

conhecidas como *Rib Structures* ou *Egg-crate Structures* (figura 49). O processo ocorre através do seccionamento de um sólido em dois sentidos para obter os perfis e gerar o plano de corte para ser executados em máquinas de comando numérico, corte a laser ou fresa. As fendas podem ser geradas automaticamente através de *plug-ins* desenvolvidos para softwares específicos.

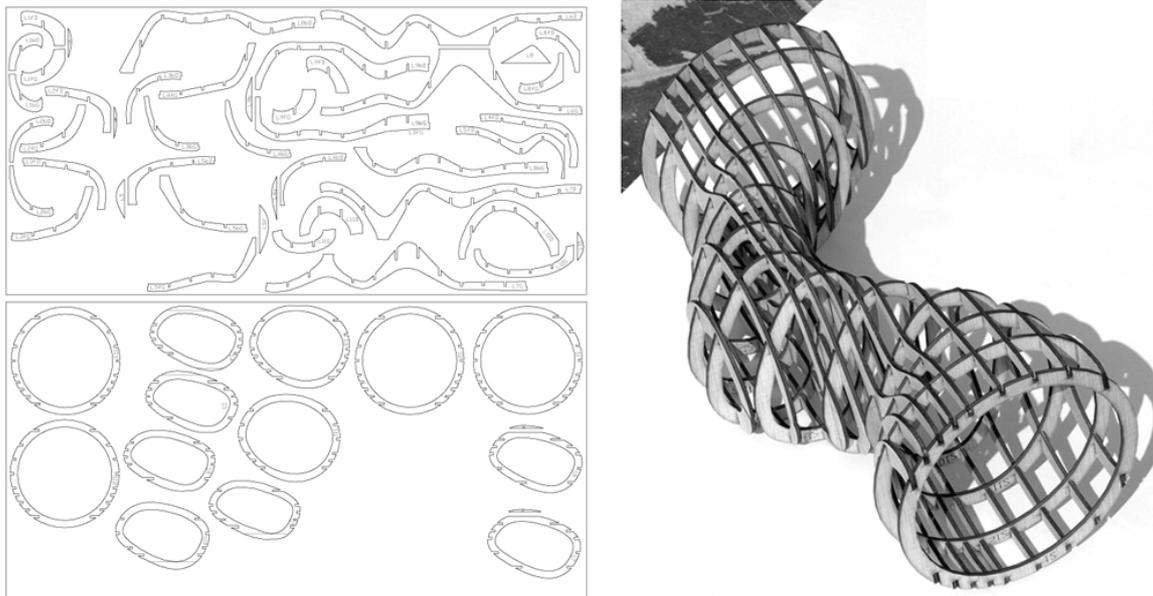


Figura 49: *Rib* ou *Egg-crate Structures*.

Fonte: <http://workshopsfactory.com/category/digital-fabrication/page/3/>

3.2.3 Finger

A *Finger Joint* (figura 50) é uma conexão dentada muito usada na marcenaria tradicional conhecida também por malhete de dentes retos. Este encaixe é resultante da interpenetração de dois elementos com extremidades congruentes e é muito utilizado na composição de painéis e vigas de madeira maciça colada.

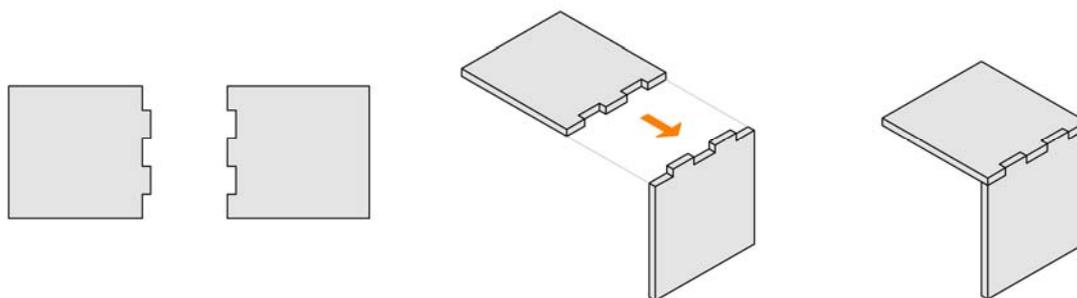


Figura 50: Conexão FINGER.

Variantes deste tipo de conexão podem ser executadas principalmente com a fresadora que oferece a possibilidade de execução de baixo relevo para criação de características geométricas que reduzem os graus de liberdade (figura 51). A precisão da fabricação digital permite ajustes de tolerância para que a conexão seja efetuada por pressão, sem a necessidade de adesivos ou fixadores.

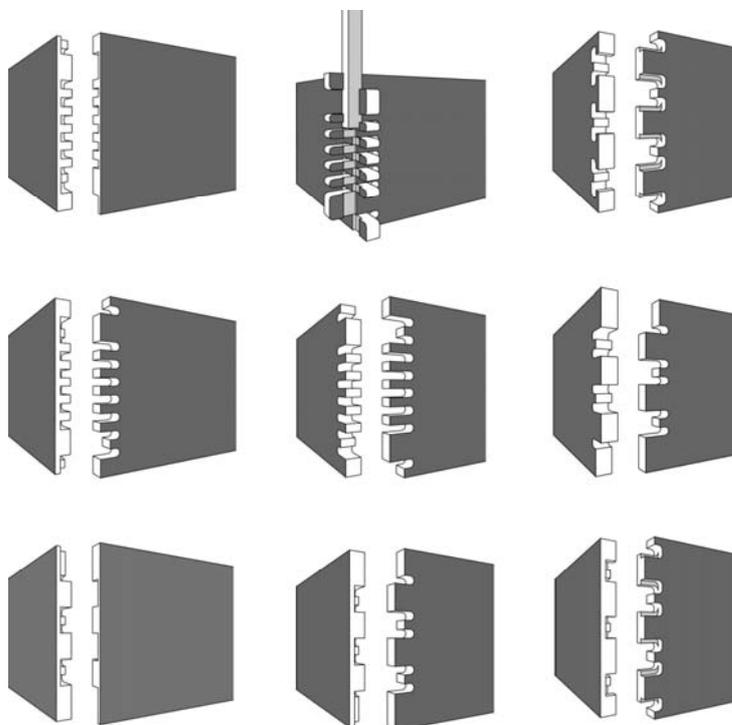


Figura 51: Variantes da conexão Finger Joint.

Fonte: Digital Wood Joints CD ROM

3.2.4 Tusk

Tusk Tenon (figura 52) é um tipo de encaixe em que dois elementos (macho e fêmea) se conectam pela interposição de um terceiro elemento conhecido como cunha ou chave pressionando os elementos entre si para aumentar a resistência e estabilidade do conjunto. Este processo é facilmente revertido e por este motivo indicado para objetos que precisam desmontados frequentemente.

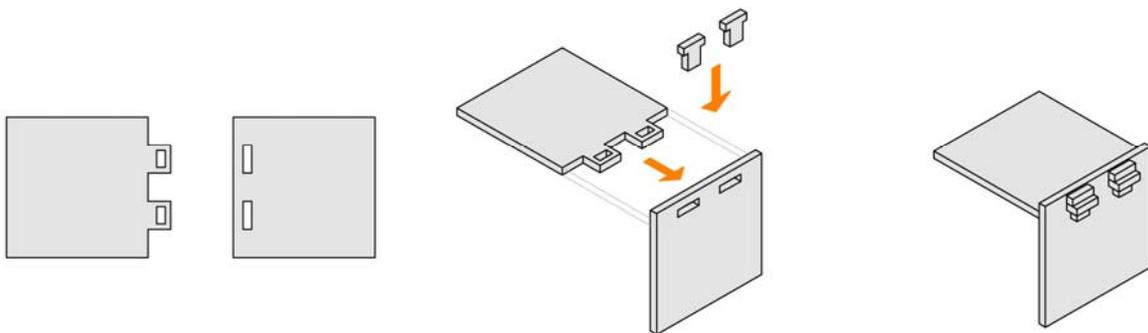


Figura 52: Conexão TUSK.

O uso desta conexão remonta a períodos bastante antigos como o dos vikings que, em função do seu etilo de vida nômade, necessitavam de objetos portáteis e desmontáveis.



(a) Estante Lean Shelves, Unto This Last.



(b) Poltrona Kilin, Sérgio Rodrigues.

Figura 53: Detalhes de mobiliário com a conexão *Tusk Tenon*.

Fonte: (a) <http://www.untothislust.co.uk/> (b) <http://www.sergiorodrigues.com.br/>

3.3 Modelagem do Experimento

Uma vez selecionadas as conexões que cumprem os requisitos definidos para a pesquisa, teve início o processo de análise e avaliação. Os procedimentos descritos a seguir foram realizados a fim de criar as condições necessárias tanto para análise das limitações e potencialidades como para avaliação das alternativas de conexão.

As conexões isoladas não são passíveis de análise. Com o objetivo de criar um contexto no qual as alternativas pudessem ser aplicadas e testadas, foi desenvolvido um modelo para representar as condições de utilização das conexões, como representação de um sistema construtivo para mobiliário adaptável.

A modelagem do experimento é dividida em duas partes. Na primeira ocorre a criação de um **modelo de análise** através da definição dos elementos modulares a serem conectados, assim como das relações espaciais e regras de combinação entre os elementos. Através da mesma estrutura do modelo de análise criando para a pesquisa é possível analisar outras alternativas ou versões adaptadas das conexões selecionadas.

Na segunda parte são estabelecidos os **critérios de análise** das conexões em função do objetivo da pesquisa. Nesta etapa são expostas as considerações que definem o recorte da pesquisa justificando a escolha dos critérios para análise.

3.3.1 Modelo de Análise

O modelo de análise é suporte para a estruturação de conhecimento e estabelecimento das relações envolvidas na seleção de diferentes alternativas de conexão para uma mesma situação. Não se trata de um projeto modelo, mas de um modelo para estruturar projetos de mobiliário.

A criação do modelo de análise partiu da **definição do módulo** como elemento básico no qual a conexão será aplicada. A forma foi definida em função de suas relações proporcionais para permitir variações e combinações com outros módulos como mostra a figura 54.



Figura 54: Módulo básico e variantes por combinação entre módulos.

Após a definição dos módulos a serem combinados (módulos simples e duplos), foi desenvolvido o sistema com o qual, através de operações de simetria e transformações paramétricas para adequação das proporções, é possível criar objetos funcionais (figura 55).

combinações → criação de objetos funcionais (mobiliário)

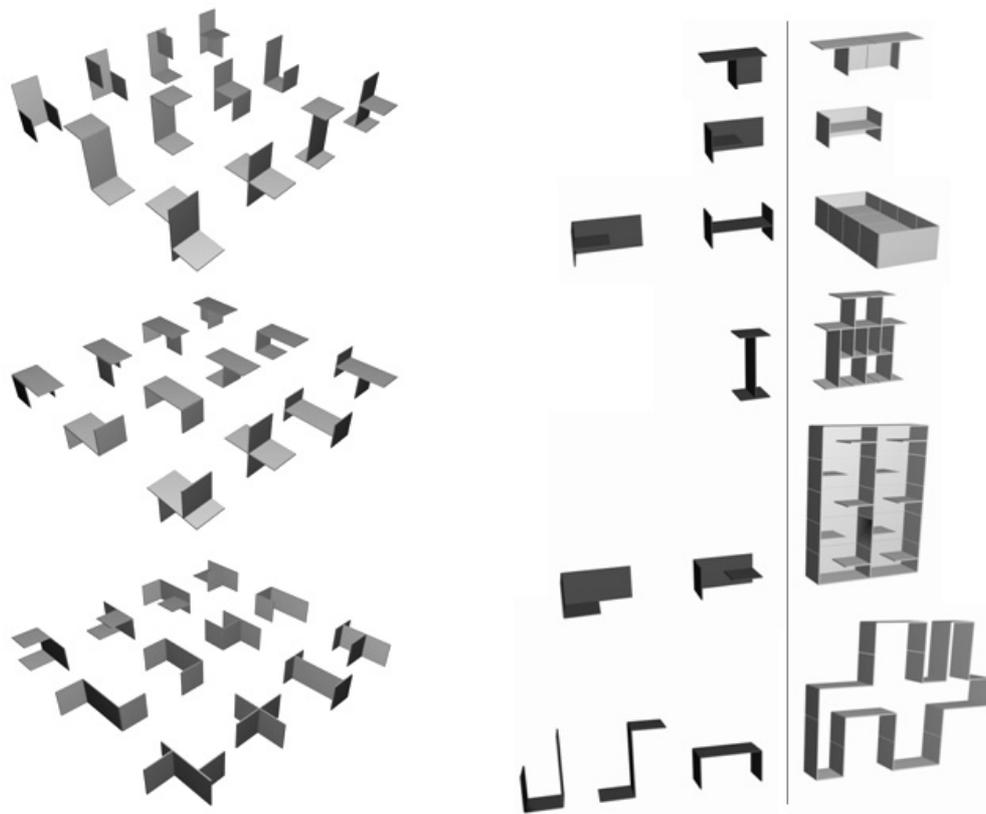
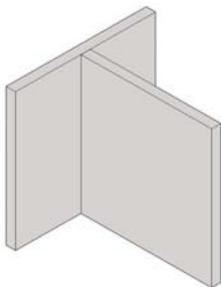


Figura 55: Elementos combinados e manipulados para formar objetos funcionais.

Para realizar as combinações, duas **relações espaciais** foram estabelecidas entre módulos. Os elementos encontram-se em ângulos retos em duas posições: no centro do módulo formando um T (figura 56a) ou no canto formando um L (figura 56b).

(a) relação espacial T



(b) relação espacial L

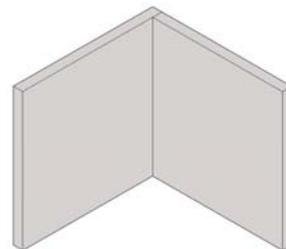


Figura 56: Relações espaciais.

Considerando as relações espaciais estabelecidas foram criadas **regras de combinação** (figura 57) entre dois elementos (um módulo simples e um módulo duplo) gerando um sistema para aplicação e análise de cada tipo de conexão.

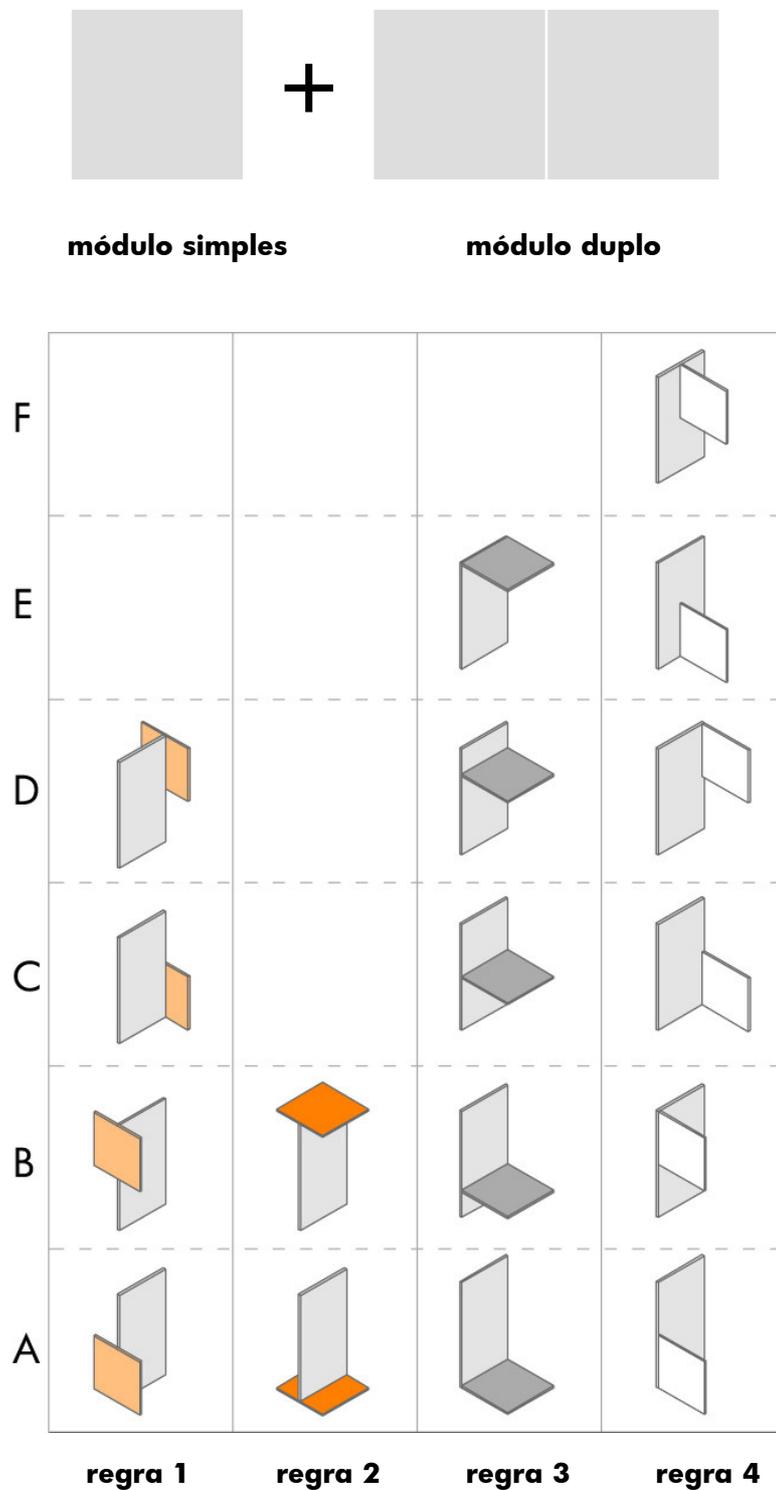


Figura 57: Definição das regras de combinação entre elementos simples e duplos.

Com o sistema gerado foi feita a **quantificação** das combinações entre três elementos (dois módulos simples e um módulo duplo). Os elementos foram combinados a partir das regras estabelecidas produzindo uma nova geração de elementos através de combinações que obedecem as mesmas regras (figura 58a) ou regras diferentes (figura 58b)

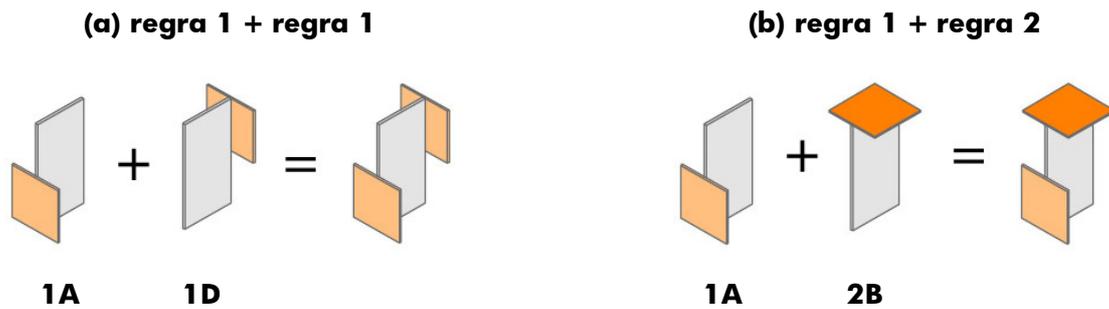
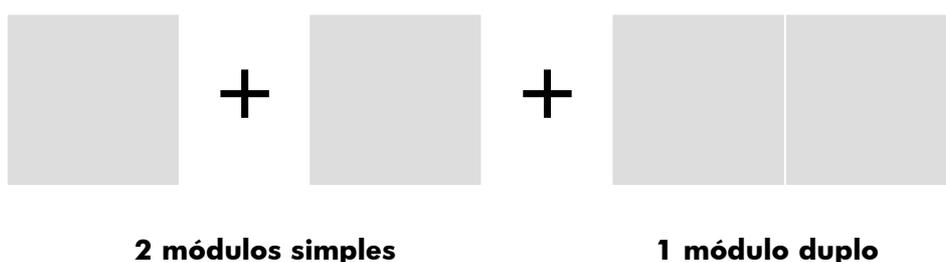


Figura 58: Combinações entre 2 módulos simples e 1 duplo.

A definição da quantidade de módulos a serem conectados ficou restrita a capacidade de quantificação das combinações sem a utilização de recursos computacionais, estabelecendo uma base para o desenvolvimento de um sistema capaz de gerar infinitas combinações.

A combinação dos três elementos considerando as mesmas regras gerou um total de 30 resultados representados na figura 59. A combinação entre regras diferentes resultou em 86 possibilidades combinatórias, sendo que algumas combinações não são possíveis de serem realizadas pela sobreposição de elementos como mostra a figura 60.



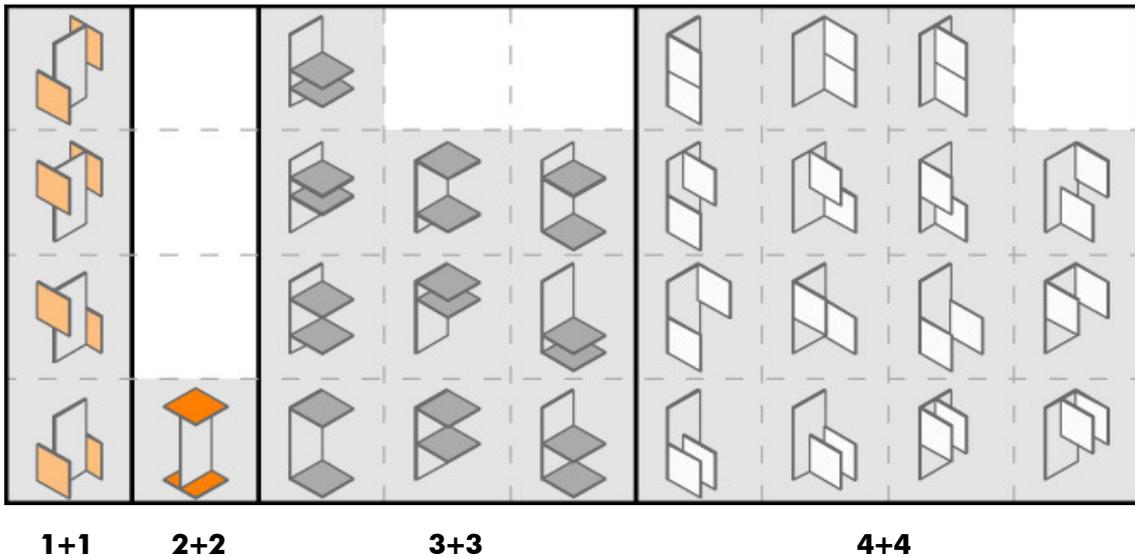


Figura 59: Quantificação das combinações considerando as mesmas regras.
 Resulta em 30 possibilidades combinatórias.

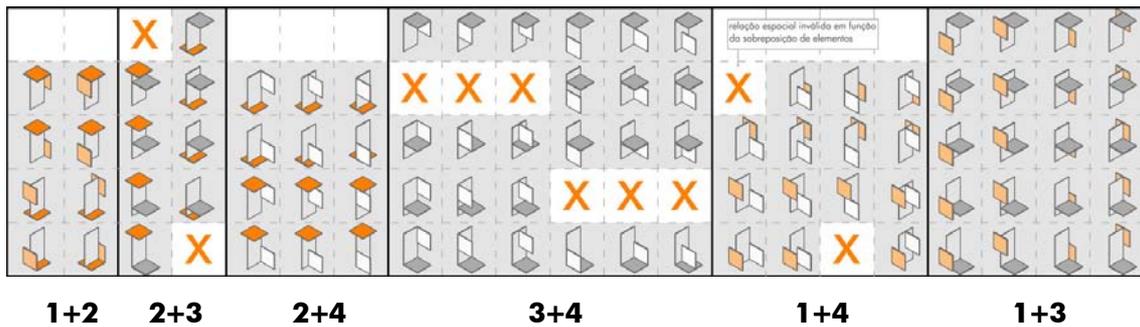


Figura 60: Quantificação das combinações regras diferentes.
 Resulta em 86 possibilidades combinatórias.

A quantificação total considera ainda três posições do objeto que, a partir da posição inicial, é rotado com relação aos eixos X e Y como demonstra a figura 61. O resultado final das possibilidades combinatórias entre dois módulos simples e um módulo duplo considerando as três posições chega a **348 combinações possíveis.**

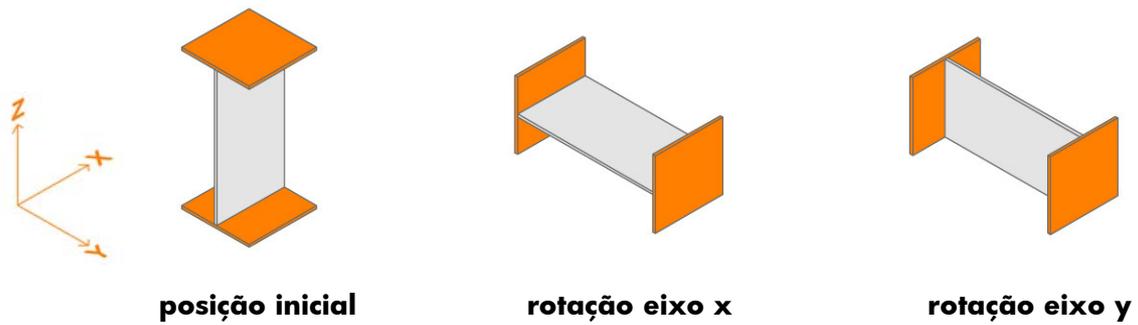


Figura 61: Posições do objeto.

3.3.2 Critérios de Análise

Uma análise completa deve levar em conta diversos aspectos para avaliar as limitações e possibilidades de cada alternativa de conexão. Considerando o nível experimental da pesquisa, foram eleitos critérios relacionados a aspectos passíveis de análise a partir de modelos virtuais e protótipos em escala reduzida. Os resultados do experimento são relevantes para fases preliminares do desenvolvimento de produtos contribuindo principalmente com dados sobre o potencial compositivo proporcionado pelas conexões visando o desenvolvimento de um sistema adaptável capaz de gerar objetos adaptáveis.

O recorte nesta etapa da pesquisa selecionou quatro dos critérios identificados para análise das conexões como mostra a figura 62.



Figura 62: Critérios de análise das conexões.

Os critérios selecionados para análise das conexões são:

- **Desempenho:** análise das propriedades e características das conexões (KLETT, 2009) que influenciam na **fixação** entre os elementos. Na análise do desempenho das conexões são consideradas restrições, graus de liberdade, processo de fabricação entre outros fatores.
- **Flexibilidade:** possibilidades de **combinações** entre elementos a partir da utilização das diferentes alternativas de conexão. A flexibilidade é medida pela quantificação das possibilidades combinatórias pré-definidas possíveis de serem realizadas com as conexões.
- **Otimização:** relação entre **economia** e **rendimento**. A otimização objetiva a redução de variantes de elementos e a ampliação das possibilidades de combinação através da inserção de novos pontos de conexão em um mesmo elemento.
- **Versatilidade:** criação de **objetos funcionais** ou **multifuncionais** (HAINTZ, BEVEREN, 2004) a partir dos elementos (módulos simples e duplos). O experimento para avaliar versatilidade utiliza princípios da Emergência de Função (GIBSON, 1986), (TVERSKY, 2004) para quantificar e avaliar a diversidade de objetos (mobiliário) gerados a partir do sistema.

Resistência, usabilidade e estética são critérios identificados para análise em etapas subsequentes desta pesquisa. A delimitação do escopo do trabalho determinou, nesta etapa, que fosse somente abordado o potencial compositivo gerado pela aplicação das diferentes alternativas de conexão no sistema.

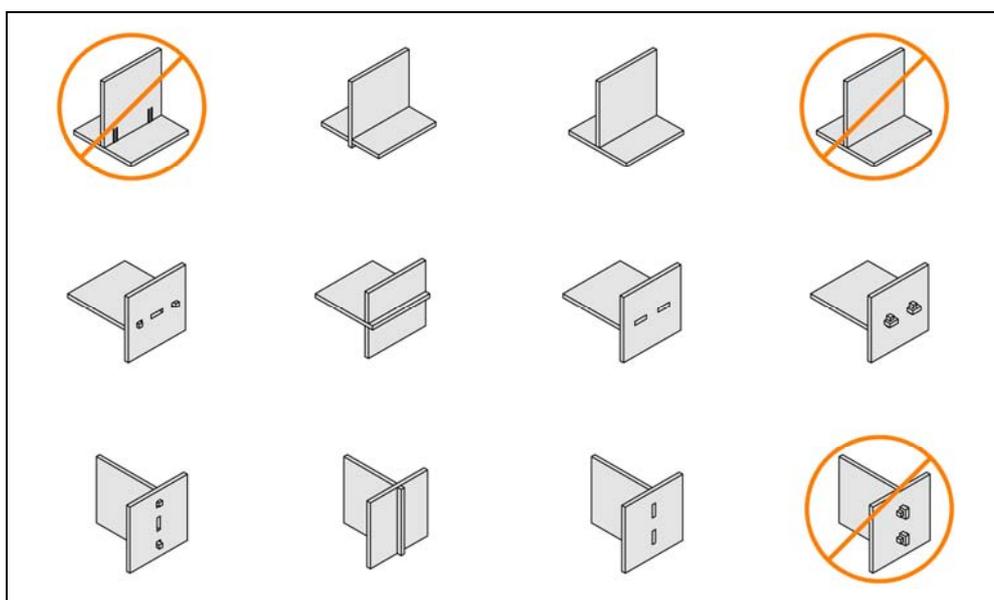
3.4 Análise das Conexões

Cada alternativa de conexão será analisada com relação aos critérios estabelecidos para esta fase da investigação. A cada etapa são apresentados resultados parciais que servirão como dados para a avaliação.

3.4.1 Desempenho

A análise quanto ao desempenho são observadas as **restrições** relacionadas à posição dos elementos conectados e em função de suas propriedades e características. Na tabela 1 é possível observar a ocorrência ou não de restrições com cada tipo de conexão. Com a conexão CLIP não são consideradas as relações espaciais com os ganchos voltados para baixo, e na TUSK adotou-se como convenção que a chave ou cunha deve ser introduzida em um único sentido, de cima para baixo.

Tabela 1: Restrições das conexões relativas às posições do objeto.



A análise dos **graus de liberdade** refere-se às propriedades de fixação da conexão relacionadas aos bloqueios dos movimentos entre os elementos conectados. O Grau de Liberdade ou DOF (*Degree of Freedom*) pode assumir diferentes valores dependendo dos movimentos bloqueados. Considerando os movimentos translacionais (figura 63) na análise das conexões, o DOF pode variar de 0 a 2.

- Bloqueio total dos movimentos entre elementos conectados: $DOF = 0$;
- Bloqueio parcial dos movimentos entre elementos, o movimento realizado para conexão se mantém livre para desconexão: $DOF = 1$;
- Não existe bloqueio de movimentos: $DOF = 2$.

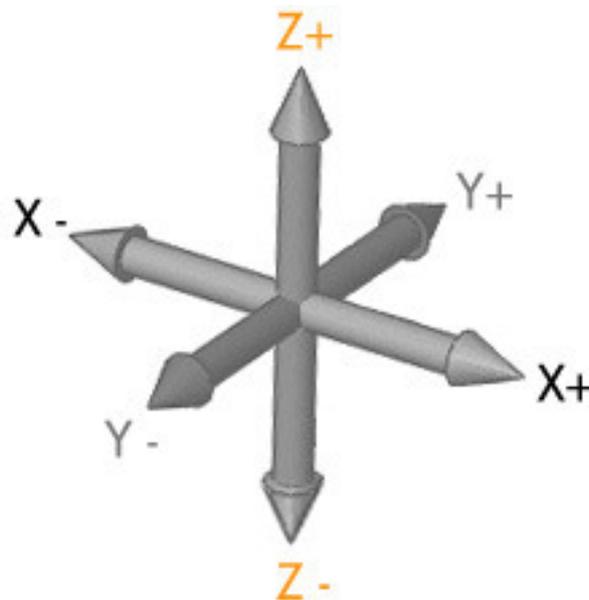
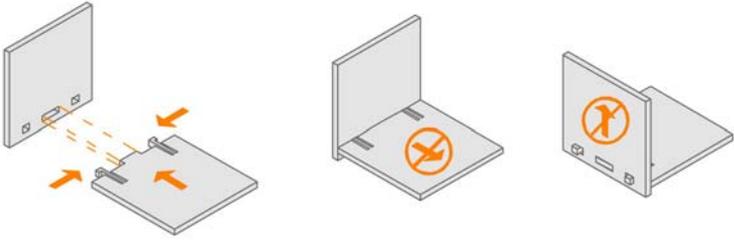
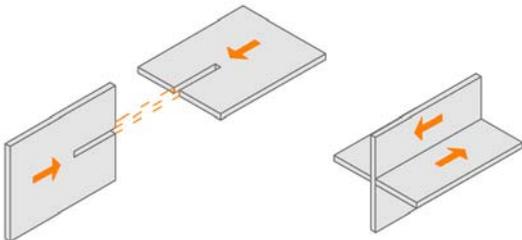
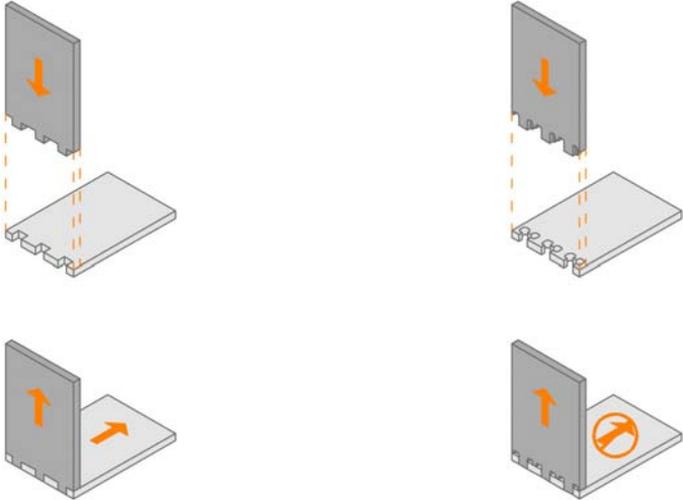
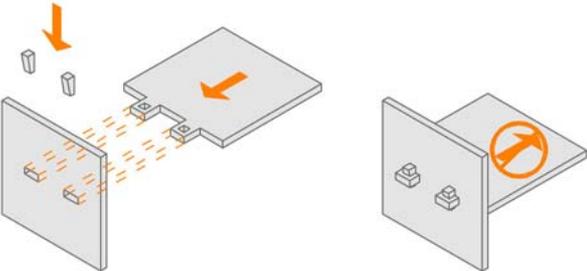


Figura 63: Movimentos translacionais.

Na tabela 2 estão ilustradas as conexões com seus respectivos graus de liberdade considerando os movimentos bloqueados.

Tabela 2: Graus de liberdade com as diferentes conexões.

Conexão	Graus de liberdade
CLIP	<p>DOF = 0</p> 
SLOT	<p>DOF = 2</p> 
FINGER	<p>DOF = 2</p> <p>DOF = 1</p> 
TUSK	<p>DOF = 0</p> 

A análise esclareceu que os graus de liberdade podem variar de acordo com características geométricas da conexão que, por sua vez, são consequência do **processo de fabricação** adotado. A observação da influência que a utilização de diferentes processos pode exercer sobre as propriedades de fixação das conexões são relevantes para sua execução. Nesta pesquisa, que analisa conexões integradas a elementos planos, são considerados os processos de corte a laser e usinagem com a fresadora na análise das propriedades de fixação das conexões.

A conexão FINGER executada com a fresadora (figura 64), além de apresentar os cantos arredondados em função da utilização da broca para usinagem do material, permite a execução de baixo relevo possibilitando a execução de recursos para reduzir o grau de liberdade.

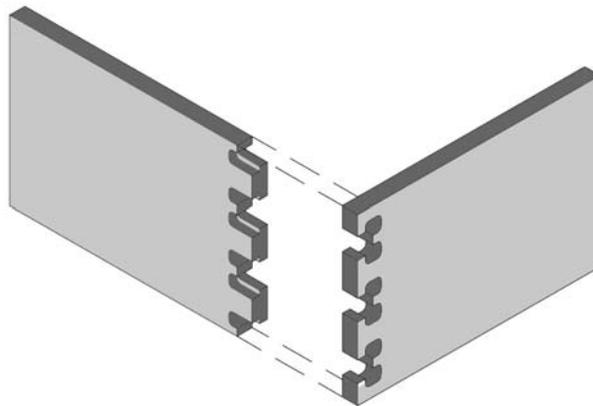
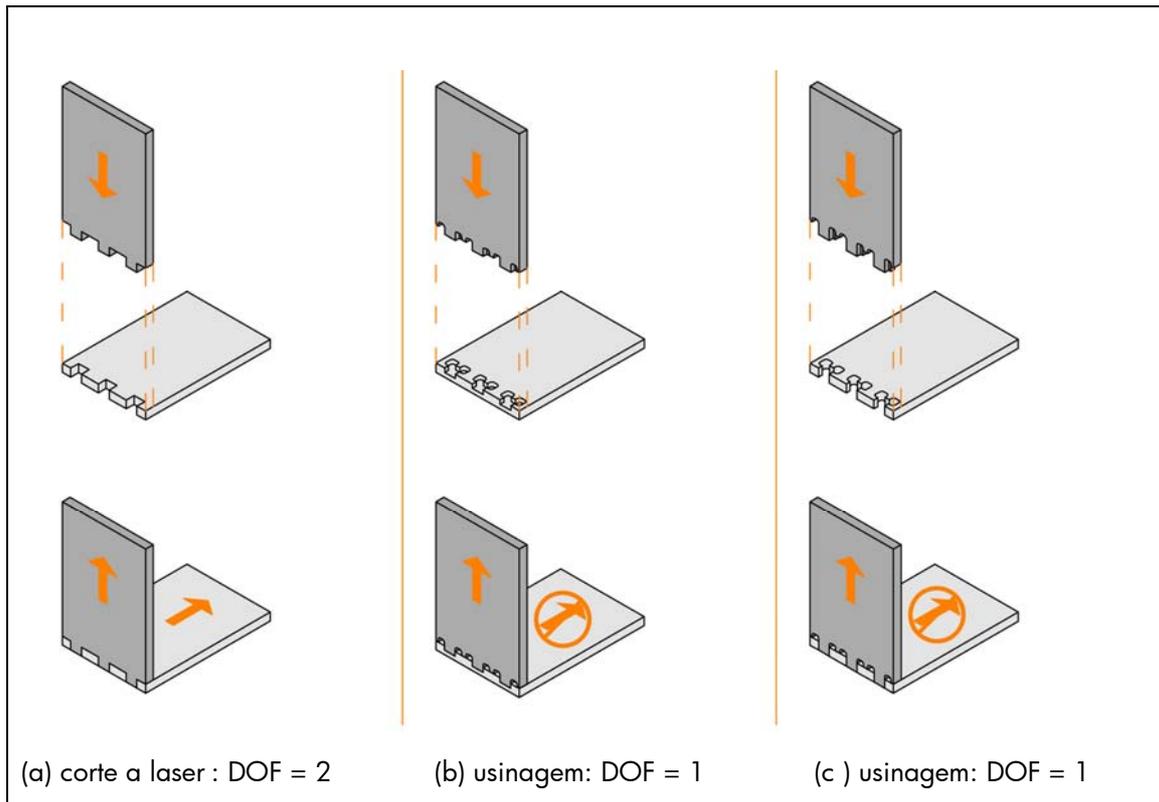


Figura 64: Conexão FINGER executada com a fresadora.

Na tabela 3 é possível observar a influência dos diferentes dos diferentes processos na realização de variantes da conexão FINGER. Com os dentes retos executados com a cortadora laser, os elementos são unidos por pressão sem bloqueio dos movimentos. Já nas variantes da conexão executadas com a fresadora, é possível observar características que restringem movimentos entre elementos. Na execução de baixo relevo com a fresa, o grau de liberdade entre os elementos é reduzido aumentando a confiabilidade da conexão com relação a fixação, além de permitir a possibilidade de ocultar o encaixe.

Tabela 3: Variantes da conexão FINGER executadas com diferentes processos.



Na conexão SLOT a execução da conexão com a fresadora pode corrigir eventuais variações na espessura do material que prejudicam a precisão dos encaixes através da execução de ranhuras no eixo das fendas por onde os elementos se interseccionam (figura 65).

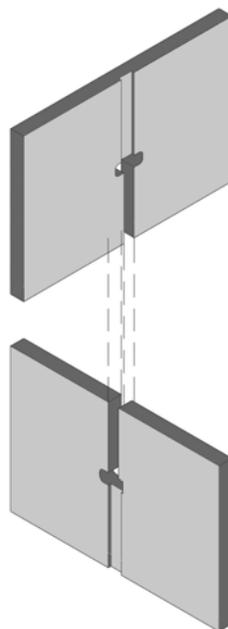


Figura 65: Conexão SLOT executada com a fresadora.

Nas conexões CLIP e TUSK o processo de fabricação não influencia no desempenho, porém altera características geométricas da conexão. Através da usinagem é necessário considerar que, em função do diâmetro da broca, as fendas e orifícios apresentam cantos arredondados (figura 66).

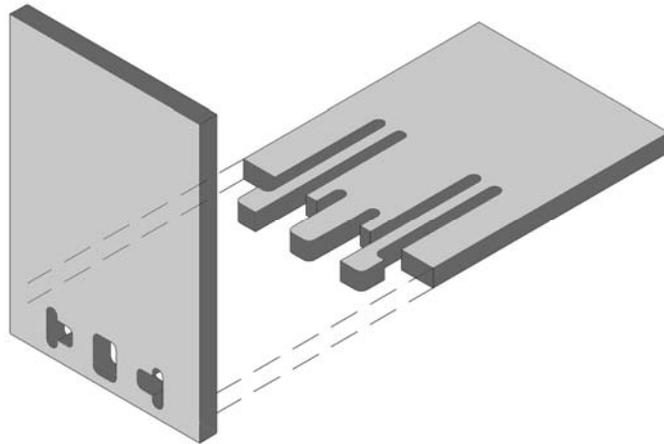


Figura 66: Conexão CLIP executada com a fresadora.

3.4.2 Flexibilidade

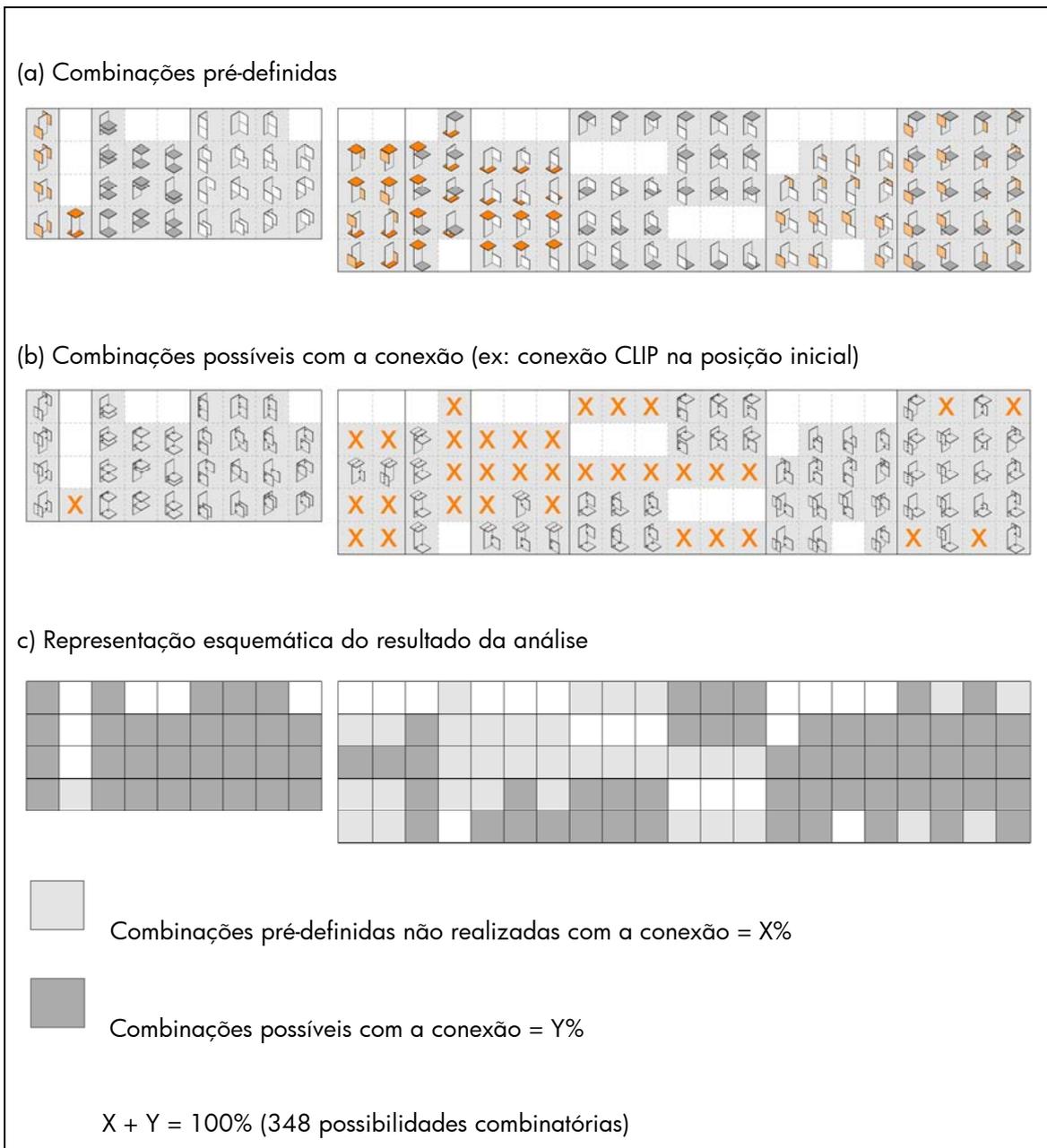
O modelo descrito no item 3.3.1 cria as condições para análise da flexibilidade através do estabelecimento de regras e quantificação das possibilidades combinatórias entre três elementos (dois módulos simples e um módulo duplo) contabilizando um total de 348 combinações.

O resultado da análise quanto à flexibilidade estabelece uma relação entre as combinações pré-definidas pelo sistema e as combinações possíveis de serem realizadas com cada conexão¹³. As tabelas que demonstram graficamente todas as combinações com as conexões encontram-se no APÊNDICE II.

¹³ Levando em conta as restrições relativas à posição dos elementos conectados (tabela 1).

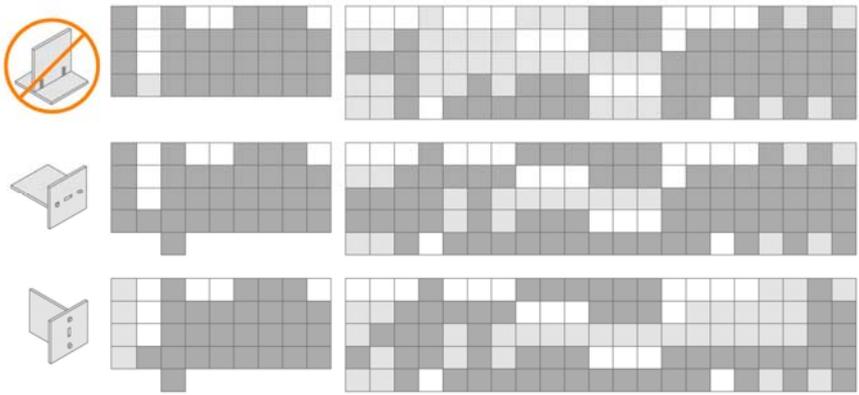
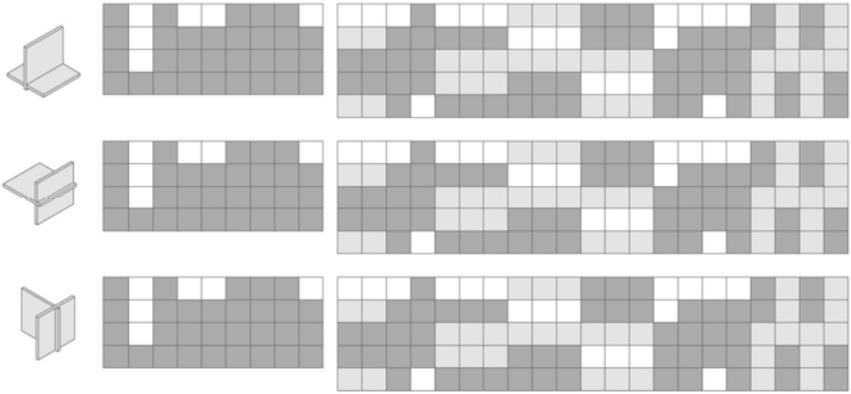
A partir das tabelas produzidas para visualizar a combinações foram gerados esquemas de representação para demonstrar graficamente os resultados da análise. A tabela 4 descreve e exemplifica o esquema de representação da quantificação dos resultados da análise no qual as diferentes tonalidades representam as conexões possíveis de serem realizadas do total quantificado.

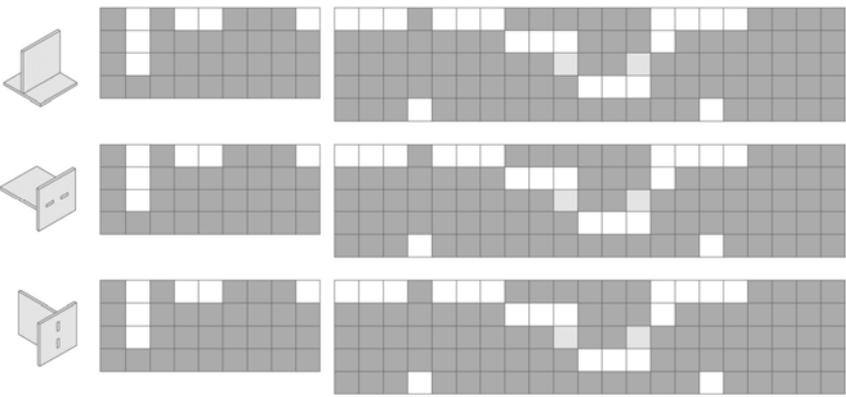
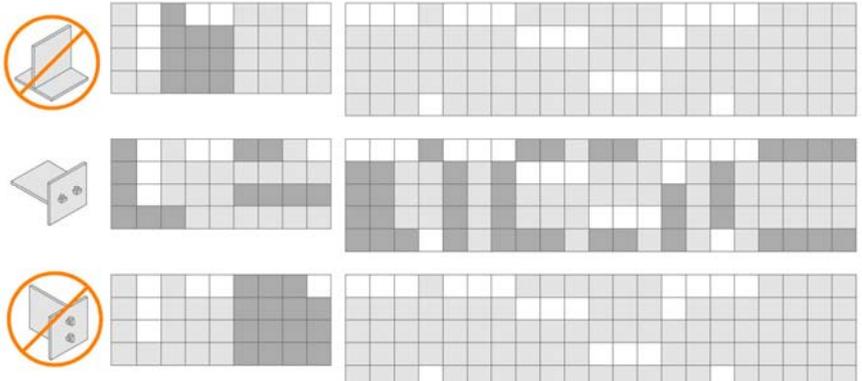
Tabela 4: Esquema de representação das combinações possíveis com cada conexão.



Na tabela 5 estão representados esquematicamente os resultados da análise. O grau de flexibilidade é medido pela porcentagem de combinações possíveis de serem realizadas com cada conexão considerando as restrições relativas tanto a posição do objeto como a geometria da conexão.

Tabela 5: Quantificação das combinações considerando as restrições relativas a posição.

Conexão	Restrições e resultados
<p data-bbox="225 725 277 757">CLIP</p>	<p data-bbox="384 725 967 757">245 possibilidades combinatórias = 70% do total</p> 
<p data-bbox="225 1279 293 1310">SLOT</p>	<p data-bbox="384 1279 967 1310">249 possibilidades combinatórias = 71% do total</p> 

Conexão	Restrições e resultados
FINGER	<p>342 possibilidades combinatórias = 98% do total</p> 
TUSK	<p>77 possibilidades combinatórias = 22% do total</p> 

3.4.3 Otimização

O resultado das combinações gera uma grande variedade de elementos que se distinguem por apresentarem pontos de conexão em diferentes posições. A otimização passa por um processo de definição dos eixos e posições onde podem estar localizados os pontos de conexão observando a possibilidade de inserção de novos pontos para ampliar as possibilidades de combinação entre elementos (figura 67).

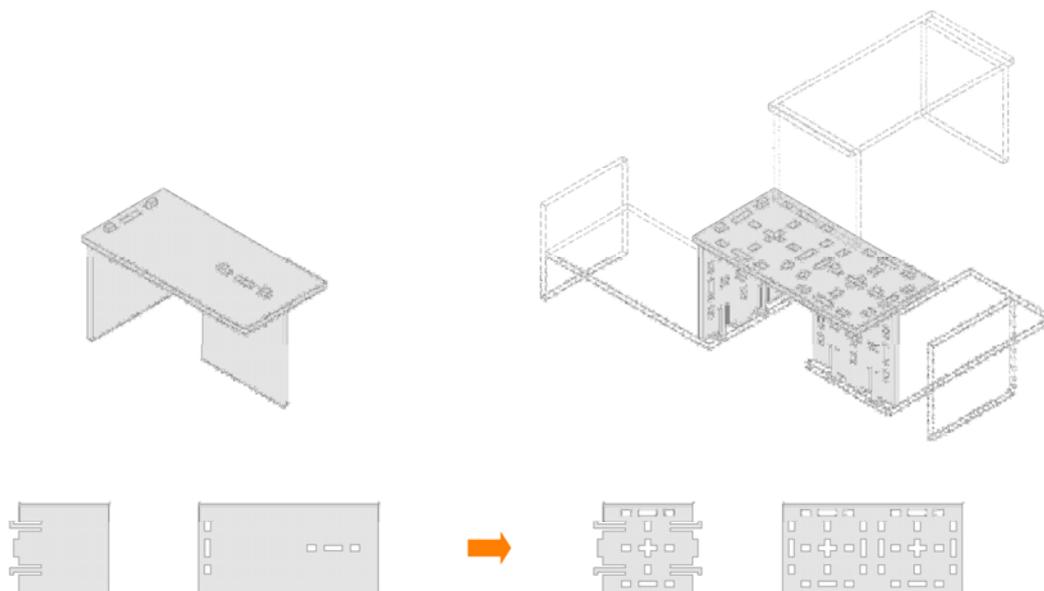
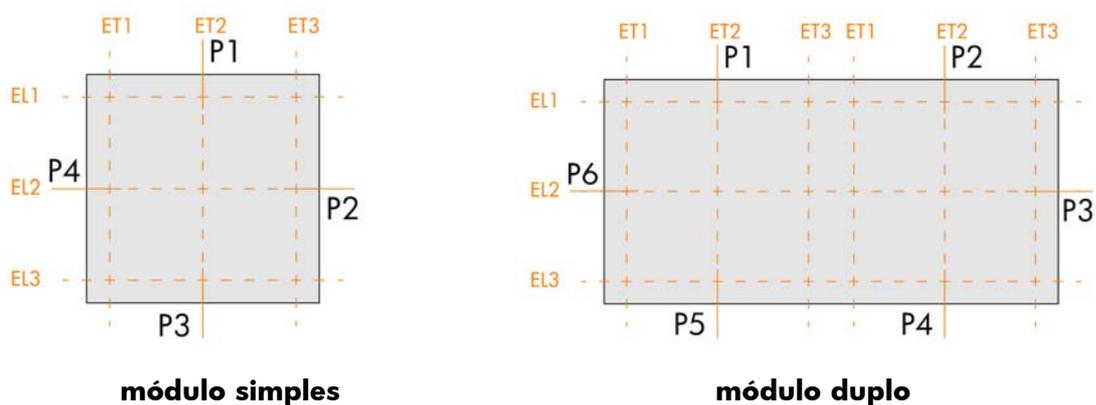


Figura 67: Ampliação das possibilidades combinatórias.

Para determinação dos **pontos de conexão** foram definidos eixos e posições para inserção de novos pontos no elemento como base para aplicação das quatro alternativas de conexão. Este processo foi realizado nos módulos simples e duplos (figura 68) podendo ser aplicado a quaisquer variantes do módulo.



P = posição

ET = eixo transversal

EL = eixo longitudinal

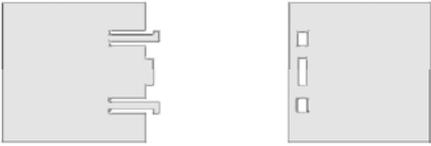
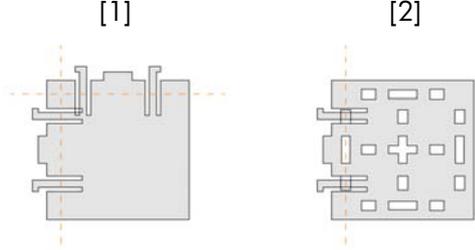
Figura 68: Definição da localização dos pontos de conexão.

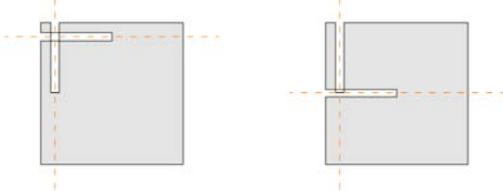
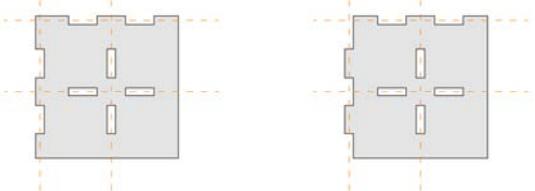
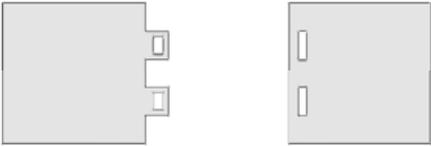
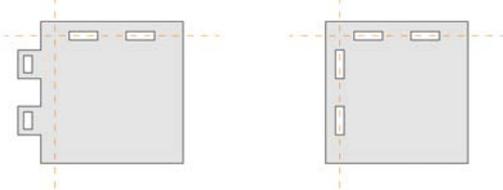
Uma vez definidos os pontos de conexão é possível realizar a **definição dos elementos** através da análise das restrições e possibilidades relativas à geometria da conexão para configuração do módulo com o maior número de pontos de conexão possível. Para identificação, convencionaram-se dois tipos de elementos:

- **Macho [M]:** com ocorrência de positivos, saliências, protuberâncias ou qualquer variação da forma que exceda os limites do perímetro do módulo.
- **Fêmea [F]:** com ocorrência de negativos, orifícios, fendas, recortes, furos, rebaixos, ranhuras compreendidas dentro do perímetro do módulo.

Na tabela 6 estão identificados os tipos de elementos e as respectivas restrições envolvidas na definição dos módulos e seus pontos de conexão. As restrições são resultantes da geometria que caracteriza as diferentes alternativas e ocorrem basicamente em função da sobreposição de pontos de conexão.

Tabela 6: Definição dos elementos.

Conexão	Tipos de elementos: M ou F	Restrições por geometria
CLIP	 <p data-bbox="459 1832 657 1861">Macho ≠ Fêmea</p>	 <p data-bbox="863 1832 1453 1912">[1] posições adjacentes com ângulo de 90 graus entre M e M</p> <p data-bbox="863 1935 1177 1966">[2] sobreposição de F e M</p>

Conexão	Tipos de elementos: M ou F	Restrições por geometria
SLOT	 <p data-bbox="459 562 655 595">Macho = Fêmea</p>	<p data-bbox="986 300 1023 333">[1]</p> <p data-bbox="1270 300 1307 333">[2]</p>  <p data-bbox="863 562 1409 595">[1] sobreposição de fendas em duas situações</p>
FINGER	 <p data-bbox="459 887 655 920">Macho ≠ Fêmea</p>	 <p data-bbox="863 887 1453 1077">Sem restrições: permite todas as possibilidades de inserção de pontos de conexão M e F no perímetro do módulo, podendo inclusive ter M e F no mesmo elemento.</p>
TUSK	 <p data-bbox="459 1424 655 1458">Macho ≠ Fêmea</p>	<p data-bbox="986 1158 1023 1191">[1]</p> <p data-bbox="1270 1158 1307 1191">[2]</p>  <p data-bbox="863 1424 1366 1458">[1] M e F sempre em elementos separados</p> <p data-bbox="863 1476 1241 1509">[2] F sempre em eixos paralelos</p> <p data-bbox="863 1527 1453 1673">Obs: restrições decorrentes da definição do sentido de inserção de elementos de conexão (cunha ou chave) de cima para baixo.</p>

A geração de **variantes dos elementos** otimizados consiste no aproveitamento máximo da superfície do módulo para inserção de pontos de conexão. Cada ponto de conexão representa uma possibilidade de combinação entre dois elementos.

O método utilizado para representar e quantificar as variantes de elementos foi a análise combinatória por matrizes. A demonstração de todas as matrizes encontra-se no anexo APÊNDICE III.

Na geração do **módulo simples** foi realizada a combinação de elementos respeitando as restrições geométricas de cada alternativa de conexão, conforme o exemplo a seguir com a conexão CLIP (tabela 7).

Tabela 7: Matriz para geração de pontos de conexão no módulo simples.

MATRIZ 4 x 4

4 elementos com um ponto de conexão (1P)

RESULTADO

4 elementos com 2 pontos de conexão (2P)

2 elementos assimétricos 2P

1P 1P	M1	M2	M3	M4
M1			M1,3	
M2				M2,4
M3	M3,1			
M4		M4,2		

Para gerar os **módulos duplos** através das matrizes, dois módulos simples foram unidos pelas posições P2 e P4 (figura 69). Na tabela 8 é demonstrada a matriz para formação dos elementos duplos com a conexão CLIP.

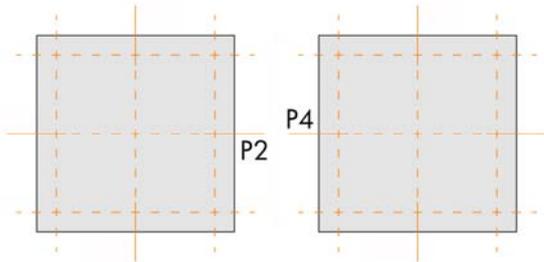


Figura 69: Pontos de união para formar o módulo duplo.

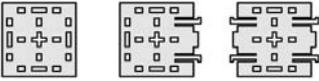
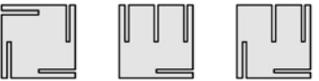
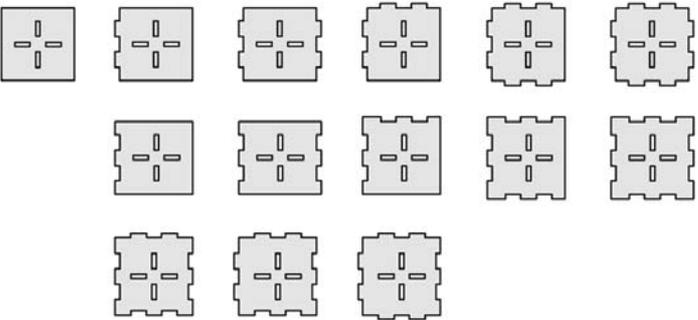
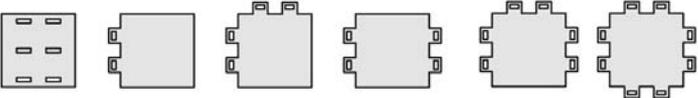
Tabela 8: Matriz para geração de pontos de conexão no módulo duplo.

MATRIZ 7 x 7	RESULTADO							
1 elementos 0P	1 elemento 0P							1 elemento 0P
4 elementos 1P	6 elementos 1P							2 elementos 1P
2 elementos 2P	11 elementos 2P							5 elementos 2P
	6 elementos 3P							2 elementos 3P
	<u>1 elemento 4P</u>							<u>1 elemento 4P</u>
	total = 25 elementos							total = 11 elementos assimétricos

	F	M1	M2	M3	M4	M1,3	M2,4
F	F	F M1	F M2	F M3		F M1,3	
M1	M1 F	M1 M1	M1 M2	M1 M3		M1 M1,3	
M2							
M3	M3 F	M3 M1	M3 M2	M3 M3		M3 M1,3	
M4	M4 F	M4 M1	M4 M2	M4 M3		M4 M1,3	
M1,3	M1,3 F	M1,3 M1	M1,3 M2	M1,3 M3		M1,3 M1,3	
M2,4							

O conjunto final de elementos resultante das matrizes considerando todas as possibilidades de configuração do **módulo simples** esta representada e quantificada na tabela 9.

Tabela 9: Quantificação dos elementos com o módulo simples.

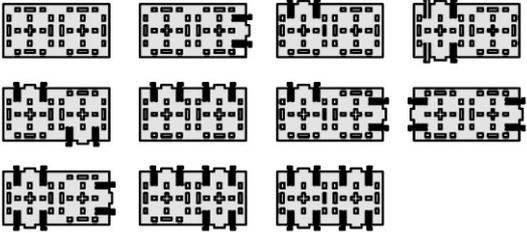
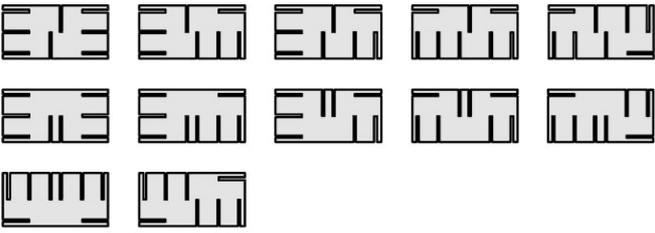
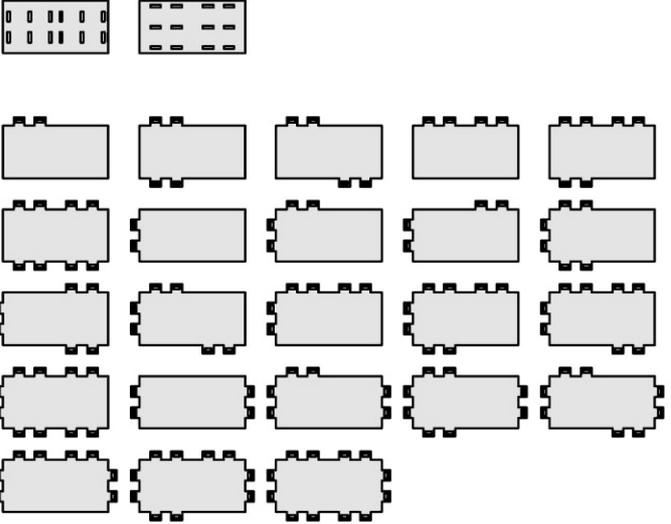
Conexão	Elementos	M	F	MF	Total
CLIP *		-	1	2	3
SLOT *		-	-	3	3
FINGER **		-	1+5	5+3	14
TUSK **		5	1	-	6

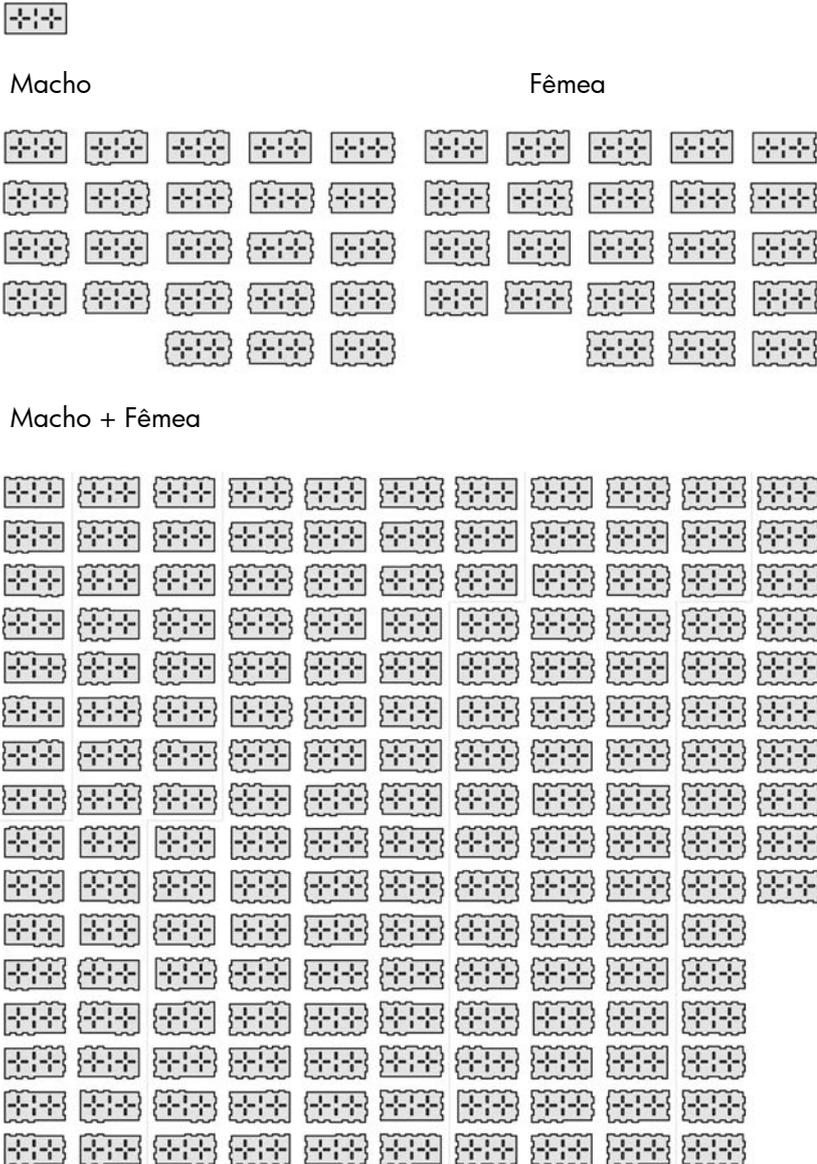
* Macho e Fêmea no mesmo elemento: otimização máxima, todos os pontos de conexão possíveis em um mesmo elemento.

** Macho e Fêmea em elementos separados: demonstração de todas as possibilidades.

O conjunto final de elementos resultante das matrizes considerando todas as possibilidades de configuração do **módulo duplo** esta representada e quantificada na tabela 10.

Tabela 10: Quantificação dos elementos com o módulo duplo.

Conexão	Elementos	M	F	MF	Total
CLIP		-	1	10	11
SLOT		-	-	12	12
TUSK		23	2	-	25

Conexão	Elementos	M	F	MF	Total
FINGER		-	1+23	23+170	217

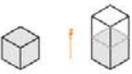
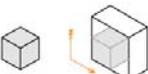
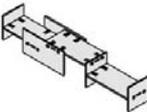
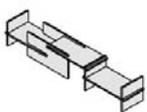
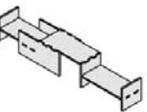
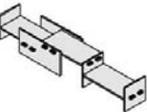
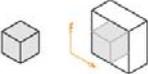
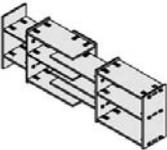
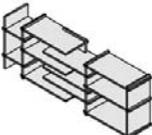
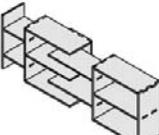
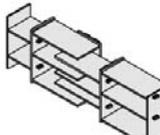
Através da relação entre a quantificação das variantes de elementos e possibilidades combinatórias é possível estabelecer o **grau de otimização** conforme tabela 11. Como resultado a conexão CLIP gerou um total de 14 variantes de elementos com os quais é possível realizar 245 combinações entre 2 módulos simples e um duplo, apresentando o melhor resultado na análise quanto a otimização.

Tabela 11: Grau de otimização.

	FLEXIBILIDADE	OTIMIZAÇÃO	PROPORÇÃO
	nr. combinações	nr. elementos	FLEXIB/OTIM
CLIP	245	14	17,5
SLOT	249	15	16,6
FINGER	342	242	1,4
TUSK	77	31	2,4

Outra análise relativa ao critério otimização refere-se à relação entre **economia e rendimento** na criação de objetos com as diferentes conexões através da observação da quantidade de variantes de elementos necessária para realizar determinadas configurações. Para esta análise foram criadas cinco configurações executadas utilizando as alternativas de conexão (tabela 12).

Tabela 12: Objetos executados com diferentes alternativas de conexão.

Configurações	CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1. 				
2. 				
3. 				
4. 				
5. 				

A seguir foram relacionados e quantificados os elementos necessários para realizar cada configuração. Para conclusão do processo de análise foi identificada a conexão com a qual foi possível executar todas as configurações utilizando a menor quantidade e o menor número de variantes de elementos (tabela 13).

Tabela 13: Quantificação dos elementos otimizados.

Configurações	CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
Total de elementos	36	38	37	38
Total de elementos otimizados	 21 5 módulos simples 16 módulos duplos	 26 8 módulos simples 18 módulos duplos	 27 9 módulos simples 18 módulos duplos	 24 7 módulos simples 17 módulos duplos
Total de variantes de elementos	6	12	11	8

Como resultado geral da análise quanto o critério otimização observou-se que a conexão CLIP apresentou melhor desempenho tanto no que se refere ao grau de otimização como na relação entre rendimento e economia. A conexão CLIP é a alternativa que proporciona mais possibilidades de combinação com o menor número de elementos.

3.4.4 Versatilidade

O critério versatilidade está relacionado a questões funcionais, ou seja, um objeto ou sistema versátil tem a capacidade de assumir ou gerar múltiplas funções. Para avaliação deste critério foram realizados procedimentos com modelos físicos com os quais participantes foram solicitados a criar objetos com função de mobiliário. O experimento realizado ocorreu em duas fases descritas a seguir.

A primeira fase consistiu na **fabricação dos modelos** que foram utilizados no experimento. A partir da definição dos elementos com seus respectivos pontos de conexão foi selecionada uma quantidade limitada de módulos de cada alternativa de conexão para a fabricação de peças. O material selecionado para a confecção dos módulos foi o mdf com espessura de 3mm e o processo de fabricação foi o corte a laser. Nesta proporção os elementos assumiram as dimensões de 5 x 5 cm (módulo simples) e (5 x 10 cm) módulo duplo.

Para os ajustes das tolerâncias necessárias para o funcionamento de cada tipo de conexão foram realizados testes com protótipos produzidos em cortadora a laser. Conjuntos de elementos foram fabricados com variações milimétricas nas fendas e orifícios característicos de cada tipo de conexão para determinar as dimensões exatas necessárias para a montagem de objetos. Cada conexão

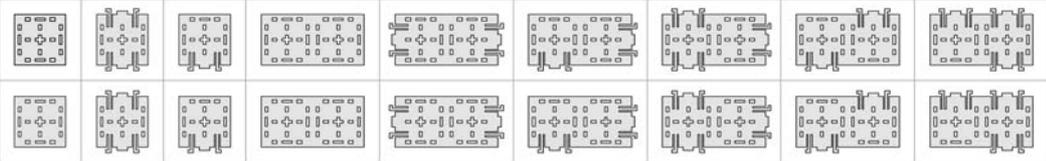
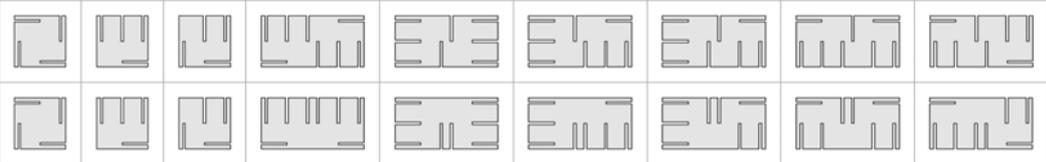
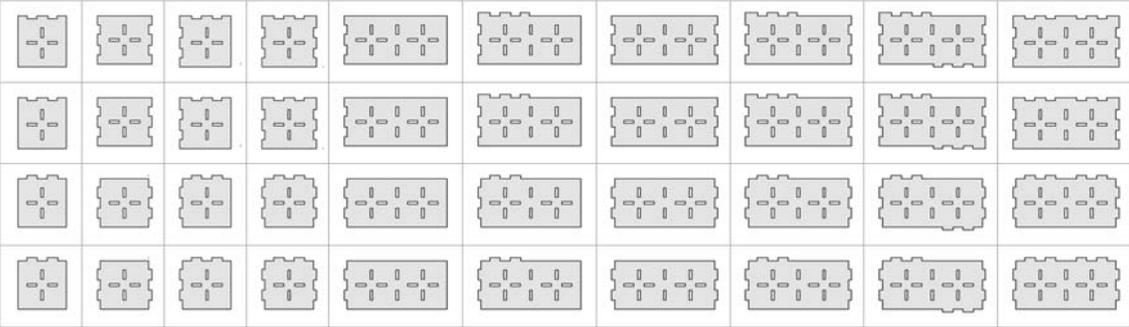
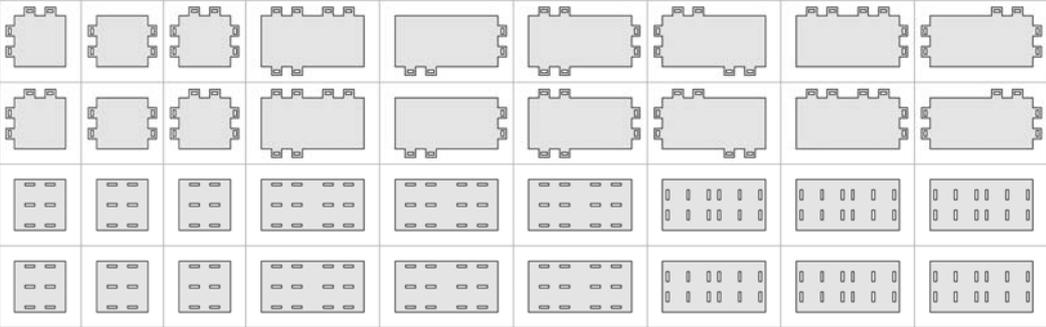
envolveu variação dimensional própria para tornar os arranjos estáveis, ou seja, os elementos deveriam estar justos o suficiente para manter os elementos conectados, ao mesmo tempo em que permitissem que o processo de conexão fosse realizado sem dificuldades.

Softwares paramétricos, embora não utilizados, poderiam auxiliar o processo de produção em que a definição de parâmetros como dimensão dos orifícios, profundidade das fendas e comprimento dos ganchos, permitiria manipular e ajustar a geometria do objeto agilizando a realização de testes e a definição das dimensões exatas necessárias para o funcionamento de cada conexão. Este processo viabiliza variações na escala dos módulos e dimensões do material. Neste caso o parâmetro “espessura do material” pode estar associado aos demais parâmetros para que as alterações sejam realizadas automaticamente pelo programa.

Uma vez definidas as dimensões necessárias ao funcionamento de cada tipo de conexão, testes preliminares de montagem foram realizados para auxiliar na definição dos elementos que seriam fabricados. As peças apresentam o povoamento máximo de pontos de conexão na sua superfície tratando-se de uma espécie de “gabarito” que oferece todas as possibilidades de crescimento.

Foi definido um número equivalente de elementos repetidos para cada conexão (pelo menos dois de cada) para permitir a execução de arranjos simétricos. A quantidade de elementos fabricados variou em função das características de cada conexão. Nas conexões CLIP e SLOT é possível obter “macho” e “fêmea” no mesmo elemento. Nas conexões FINGER e TUSK é necessário produzir o dobro da quantidade de elementos para obter as mesmas condições de possibilidades combinatórias. Na tabela 14 é possível visualizar os elementos que foram fabricados para o experimento.

Tabela 14: Elementos fabricados para o experimento.

<p>CLIP</p>	<p>6 módulos simples + 6 módulos duplos</p> 
<p>SLOT</p>	<p>6 módulos simples + 6 módulos duplos</p> 
<p>FINGER</p>	<p>16 módulos simples (machos e fêmeas) + 12 módulos duplos (machos e fêmeas)</p> 
<p>TUSK</p>	<p>12 módulos simples (machos e fêmeas) + 12 módulos duplos (machos e fêmeas)</p> 

Na segunda fase do experimento foi realizado um exercício de **emergência de função** utilizando as peças produzidas. Esta etapa contou com a participação de alunos de graduação e pós-graduação em arquitetura e design solicitados a criar arranjos de mobiliário com os elementos disponibilizados. Os participantes convidados a realizar esta etapa da pesquisa foram selecionados pela familiaridade com processo de projeto e os conceitos de emergência de função (GIBSON, 1986), (TVERSKY, 2004) envolvidos no experimento.

O objetivo desta etapa foi verificar a incidência de objetos funcionais criados com os elementos e suas respectivas conexões. Foram observadas as relações entre o tipo de conexão, a função atribuída e a multifuncionalidade do objeto.

O experimento foi realizado com cada um dos sete participantes em seções individuais. Cada participante recebeu quatro conjuntos de elementos para criação dos arranjos (um conjunto de cada conexão). Na orientação para a realização do exercício foi feita uma demonstração dos processos de conexão e desconexão com cada alternativa e informadas as restrições relativas à posição do objeto.

O tempo estabelecido para a criação dos arranjos foi de 15 minutos para cada conexão totalizando 60 minutos de experimento. A cada arranjo formado o participante declarava a função do objeto, que era registrado por foto. Em seguida o arranjo era desfeito, disponibilizando as peças para uma nova configuração. A figura 70 ilustra o processo de criação de arranjos para obtenção dos objetos funcionais.

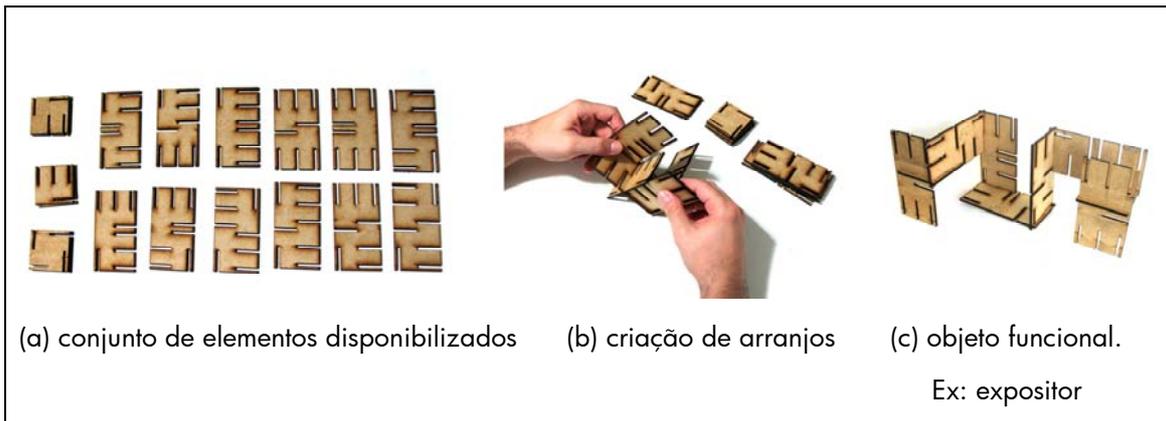


Figura 70: Processo de criação de objetos funcionais.

Observou-se um comportamento comum entre os participantes no qual, após o reconhecimento preliminar dos elementos, iniciaram espontaneamente o processo de montagem experimentando e descobrindo as relações estabelecidas entre os elementos a partir das conexões. Em geral o participante iniciava um arranjo e, a partir dos resultados obtidos, passava a atribuir uma função para o objeto. Deve ser ressaltado que muitos dos arranjos e funções emergentes não teriam sido obtidos sem o recurso do protótipo como mostra a figura 71.



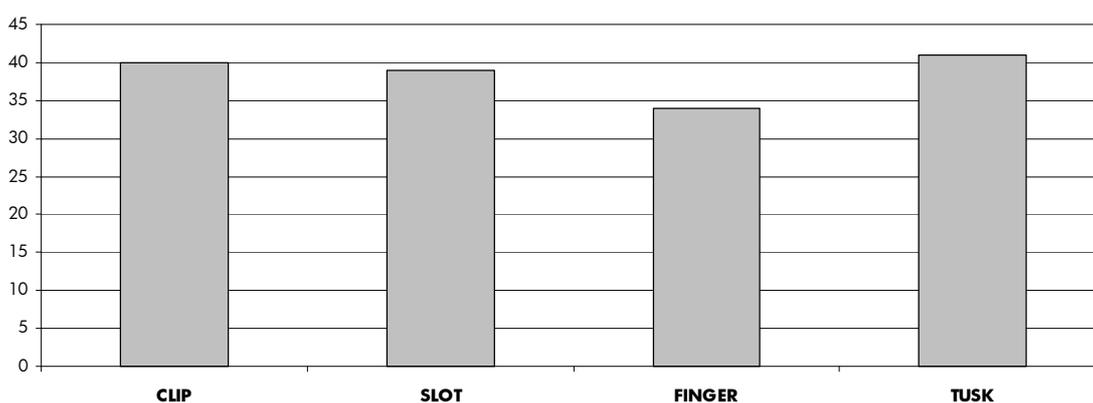
Figura 71: Mesmo objeto com função de assento revela diferentes possibilidades de uso.

O registro fotográfico dos arranjos criados pelos participantes encontra-se no APÊNDICE IV. A quantificação dos resultados do experimento é demonstrada na tabela 15 e nos gráficos que seguem.

Tabela 15: Número de arranjos criados por participante e por conexão.

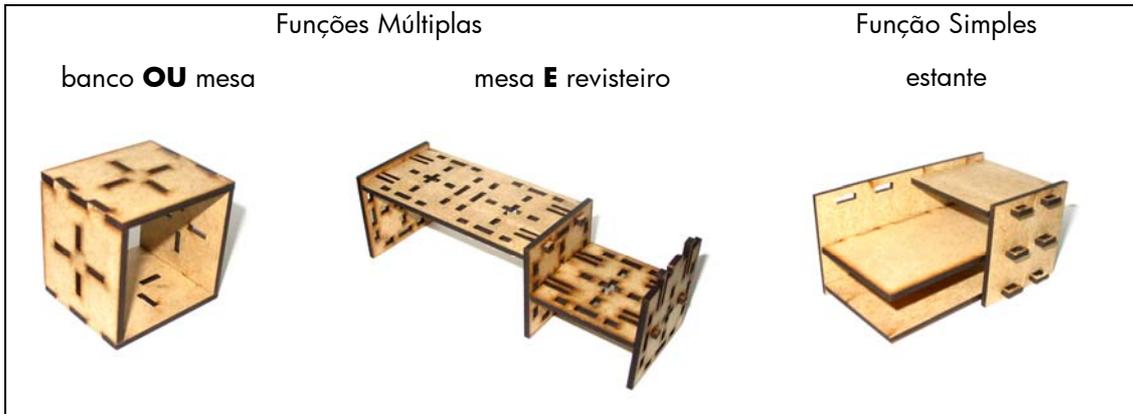
Participante	CLIP	SLOT	FINGER	TUSK	Total de arranjos por participante
P1	5	7	3	3	18
P2	3	4	2	5	14
P3	5	3	3	5	16
P4	5	4	4	7	20
P5	5	4	3	5	17
P6	4	6	6	7	23
P7	7	6	6	3	22
Total de arranjos por conexão	34	34	27	35	130

Com relação à quantidade de arranjos criados observou-se um equilíbrio entre os diferentes tipos de conexão. A conexão TUSK apresenta uma pequena vantagem com relação às demais alternativas quanto ao número de arranjos criados, não representando um resultado significativo.

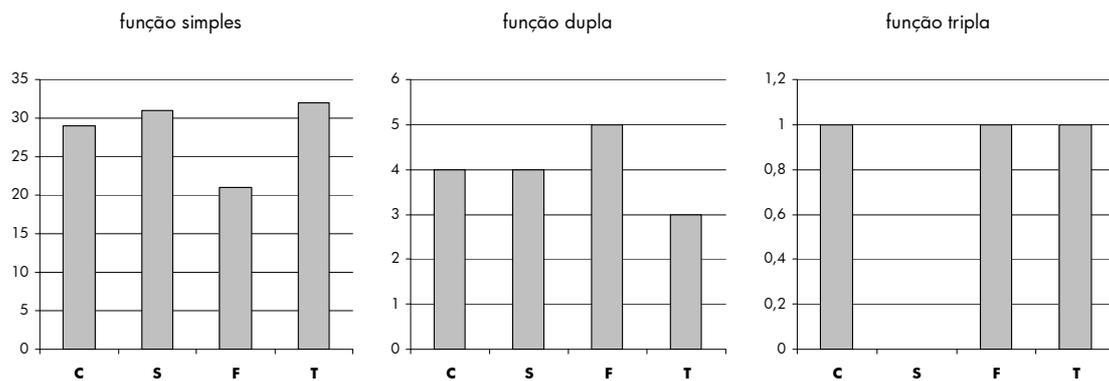


A partir da quantificação dos objetos foi observada a incidência de funções emergentes simples e múltiplas. Nos objetos multifuncionais percebe-se ainda que as funções podem ser complementares ou excludentes, ou seja, podem ocorrer simultaneamente ou em momentos distintos (tabela 16).

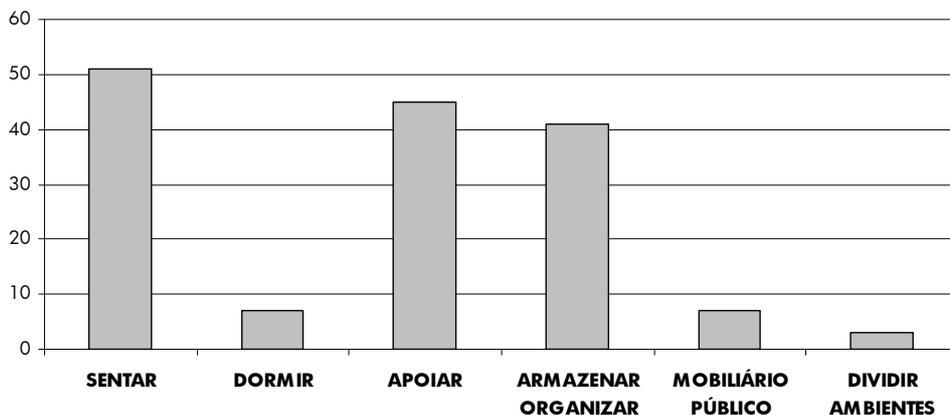
Tabela 16: Objetos multifuncionais.



Do total de funções emergentes a conexão FINGER demonstrou maior versatilidade na criação de objetos com funções múltiplas.



No que se refere aos grupos de função, ou seja, analisando a recorrências de funções agrupadas por tipos de atividades observa-se maior incidência das funções: sentar, apoiar, armazenar e organizar.

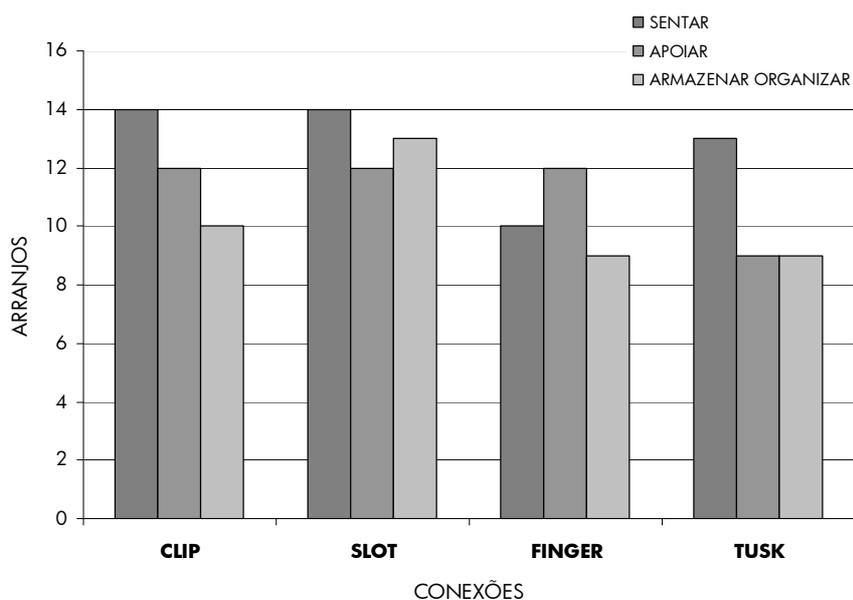


Na tabela 17 estão relacionadas as funções emergentes por grupos de função.

Tabela 17: Grupos de função de mobiliário.

SENTAR	Banco, namoradeira, cadeira, cadeira de praia, cadeira de bebê, <i>chaise long</i> , sofá.
DORMIR	Cama de solteiro, beliche, bi-cama, berço, cama de criança.
APOIAR	Ilha / estação de trabalho, criado mudo, altar, mesa apoio para cama, aparador, mesa, mesa de centro, mesa de canto, mesa para telefone, mesa de trabalho, mesa para computador, base de mesa.
ARMAZENAR/ ORGANIZAR	Estante, prateleiras, expositor, baú, revisteiro, guarda roupa.
MOBILIÁRIO PÚBLICO	Quiosque, parada de ônibus, <i>play ground</i> , guichês de atendimento, confessionário, banco público.
DIVISÃO DE AMBIENTES	Biombo, divisória de ambientes.

Das funções com maior incidência a conexão SLOT é responsável por 28% do total de arranjos apresentando uma ligeira vantagem com relação as demais alternativas.



3.5 Método Analítico Hierárquico

O desenvolvimento de produtos pode ser caracterizado como uma sequência de tomadas de decisão na qual diferentes alternativas de solução para um dado problema são consideradas para resolver questões específicos de design. Muitas vezes as alternativas candidatas apresentam desempenhos desiguais com relação aos critérios de análise, satisfazendo plenamente um determinado requisito de projeto e contemplando parcialmente outro. Neste sentido, existe a necessidade por parte de designers e empresas da utilização de ferramentas para auxiliar na definição de pesos de importância entre os critérios estabelecidos para atingir um determinado objetivo de projeto. Estas ferramentas são conhecidas por **Sistemas de Apoio à Decisão – SAD** (*Decision Support Systems – DSS*) (BURSTEIN, HOLSAPPLE, 2008).

Na resolução de problemas de design, onde diversos fatores devem ser considerados, é comum a utilização de ferramentas tanto para orientação no desenvolvimento de produtos como de seleção de alternativas de solução. Estes métodos vêm tornando-se especialmente úteis na medida em que questões de natureza subjetiva assumem importância na composição das características de produtos, pois leva em conta tanto fatores quantitativos como qualitativos. Desta forma questões de ordem técnica (seleção de materiais e processos de fabricação) e fatores intangíveis (estética, valor simbólico, responsabilidade social e ambiental) podem ser avaliados conjuntamente através **Métodos de Decisão Multi-critérios** ou **Multi-atributos**.

A utilização de métodos de apoio à decisão multi-critério auxilia na redução do grau de incertezas em fases preliminares do projeto, quando definições importantes com conseqüências para todo processo podem ser avaliadas. A

organização de bancos de dados com informações pode auxiliar decisões como seleção de materiais e processos de fabricação através da compatibilização entre as preferências do designer, perfil do produto, propriedades dos materiais e requisitos de produção possibilitando alterações nas especificações para melhoria de todo o processo (GIACHETTI, 1998).

Um dos métodos mais utilizados para apoiar a tomada de decisão, não apenas em questões relacionadas ao design de produto, mas para uma ampla variedade de aplicações em diversas áreas é o **Método Analítico Hierárquico** (*Analytic Hierarchy Process* - AHP) (SAATY, 1980). Este método auxilia em avaliações subjetivas e objetivas, proporcionando um mecanismo útil para verificar a consistência das medidas de avaliação. O AHP permite minimizar problemas comuns de tomada de decisão, tais como falta de foco e de planejamento que em última análise podem trazer consequências dispendiosas através de escolhas não acertadas.

Dentre as aplicações do AHP no processo de desenvolvimento do produto destaca-se a sua utilização durante fase de projeto conceitual na qual decisões podem ser cruciais para o sucesso do produto (ARIFF e tal, 2008). A utilização do AHP minimiza, portanto os riscos no desenvolvimento de novos produtos que incorporam cada vez mais atributos para melhorar seu desempenho no menor tempo possível. Uma vez que estes critérios devem ser considerados e avaliados em estágios precoces, sem dados suficientes ou concretos, o método torna-se uma valiosa ferramenta (CHIN et al., 2008).

Na literatura podem ser encontradas diversas aplicações do método no desenvolvimento de produtos. A figura 72 ilustra a utilização do AHP para selecionar o melhor design conceitual para o desenvolvimento de uma cadeira de rodas (ARIFF et al, 2008). A hierarquia foi estruturada através da identificação do objetivo bem como dos critérios e sub-critérios de análise.

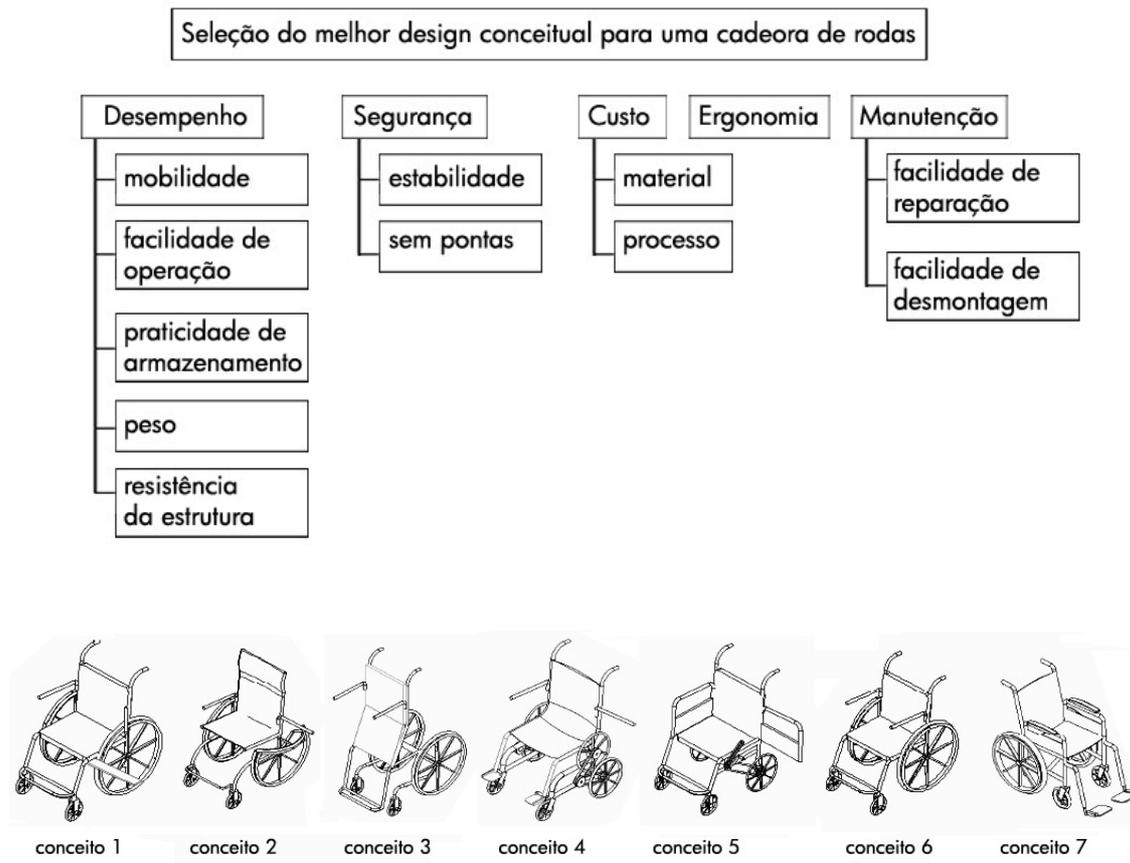


Figura 72: Estrutura do AHP para seleção do melhor design conceitual.

Fonte: Adaptado de ARIFF et al, 2008

3.5.1 Fundamentos do AHP

O AHP é uma metodologia utilizada para auxiliar a tomada de decisões através da definição de prioridades na escolha da melhor alternativa de solução para um dado problema quando aspectos qualitativos e quantitativos devem ser levados em conta.

O método foi criado por Thomas L. Saaty na década de 1970 e foi um dos primeiros métodos de apoio à decisão multi-critério amplamente utilizado em diversas disciplinas. Foi desenvolvido com o intuito de promover a superação

das limitações cognitivas daqueles que tomam decisões através da decomposição de problemas complexos em vários níveis facilitando assim a sua compreensão e avaliação.

O método propõe o tratamento de problemas através da estruturação de seus componentes e variáveis segundo uma ordem hierárquica para visualização de um sistema que representa uma situação real. Esta estrutura permite estudar as relações entre os componentes determinando o impacto e a influência relativa que os mesmos exercem entre si, nos diferentes níveis do sistema e sobre o objetivo geral.

O método está baseado nos princípios do pensamento analítico, no qual alternativas de solução para um problema são avaliadas a partir de critérios relacionados a um objetivo geral. Como resultado da aplicação do método obtém-se pesos de importância que apontam qual a melhor alternativa para cumprir o objetivo.

A figura 73 descreve esquematicamente uma estrutura hierárquica típica do AHP e a forma como o resultado final é apresentado. Como solução final para o problema em questão obtém-se um ranking das alternativas em função dos pesos de importância resultantes da aplicação do método, no exemplo a alternativa C é a pontada como melhor solução por ter o maior peso de importância.

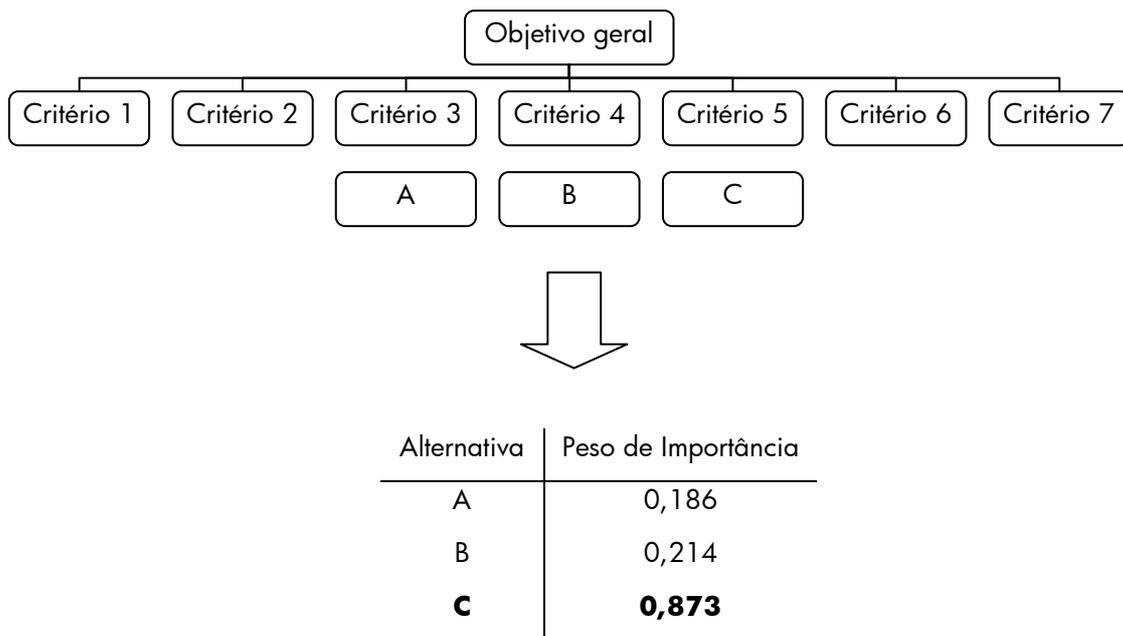


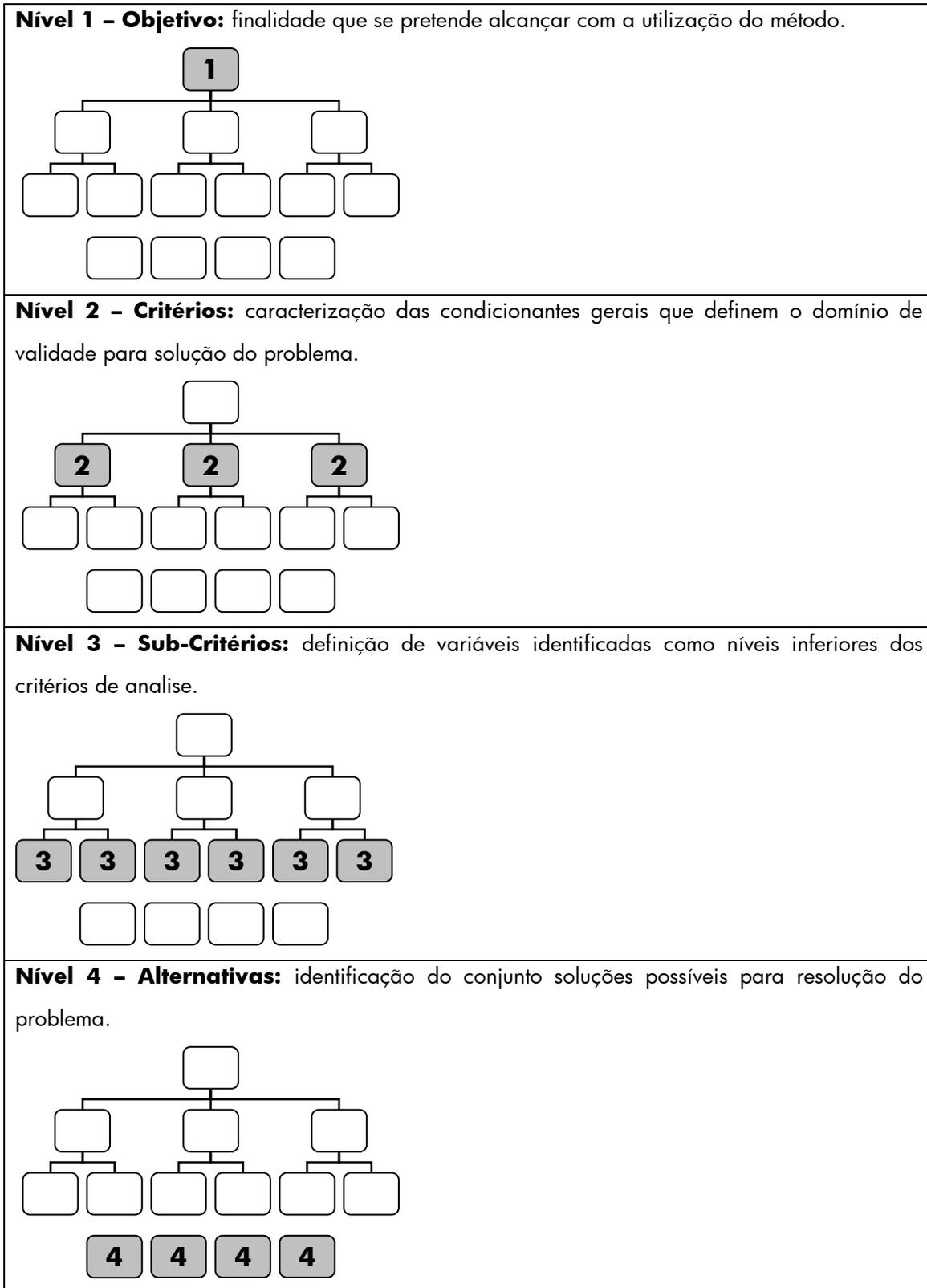
Figura 73: Representação esquemática da aplicação do AHP.

O processo de aplicação do método ocorre em três fases, iniciando pela estruturação da hierarquia, seguido pelo julgamento dos avaliadores e finalizando com a síntese dos resultados da avaliação.

3.5.2 Estruturação da hierarquia

Construção de um modelo de estabelecimento de prioridades onde o problema é decomposto em níveis hierárquicos como forma de buscar uma melhor compreensão e avaliação do mesmo. Não existe um procedimento padrão para a construção da estrutura hierárquica podendo esta ser moldada a diferentes realidades e situações. Os componentes do sistema devem ser organizado de modo descendente onde o objetivo principal deve estar no primeiro nível, seguido dos critérios, sub-critérios e por fim das alternativas (tabela 18).

Tabela 18: Níveis da estrutura hierárquica do AHP.



3.5.3 Julgamentos

O julgamento consiste na eleição de prioridades através do relacionamento entre alternativas analisadas e comparadas aos pares com foco em determinado critério ou objetivo.

Os julgamentos são realizados por avaliadores, integrantes de equipes de projetos, especialistas no assunto ou relacionados ao problema em questão. A emissão dos julgamentos de valor ocorre através de comparações paritárias entre as alternativas à luz de cada critério, e entre os critérios à luz do objetivo geral. O avaliador deve mostrar a intensidade de suas preferências atribuindo valores numéricos a julgamentos subjetivos em função da importância relativa de cada variável. Os resultados da avaliação devem satisfazer condições de reciprocidade e os julgamentos emitidos devem ser submetidos à verificação de coerência através de um cálculo que determina o grau de consistência das comparações.

A comparação está fundamentada em uma escala de importância com valores de 1 a 9. A utilização da escala para avaliar a importância de uma alternativa em relação a outra foi proposta com definições comparativas entre os elementos analisados. A utilização de cinco valores, correspondentes aos números ímpares, é justificada pelo autor em função da limitação da capacidade do avaliador de discriminação entre a intensidade de importância na suas preferências (SAATY, 1980). No entanto, como pode ser observado na tabela 19, quaisquer valores intermediários entre 1 e 9 podem ser utilizados para expressar variações de prioridades no julgamento.

Tabela 19: Escala de valores do Método Analítico Hierárquico.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Pequena importância	O julgamento favorece levemente uma alternativa sobre a outra.
5	Grande importância	O julgamento favorece fortemente uma alternativa sobre a outra.
7	Importância muito grande	O favorecimento de uma alternativa em detrimento de outra é absoluto.
9	Extrema importância	As evidências que favorecem uma alternativa sobre outra é da ordem mais elevada possível.
Intensidades de 2, 4, 6 e 8 podem ser usados para expressar valores intermediários.		
1.1, 1.2, 1.3, etc. podem ser usados para elementos que são muito próximos em importância.		

3.5.4 Síntese dos resultados

O cálculo das prioridades para obter o resultado final é feito através de **matrizes**, os dados obtidos nas comparações são inseridos em uma planilha programada ou *software* específico. O preenchimento das matrizes com os valores atribuídos pelos avaliadores é determinado pela seguinte condição:

- Sendo um dos valores atribuídos o elemento a_{ij} ;
- Se $a_{ij} = x$, então $a_{ji} = 1/x$;
- Um elemento é igualmente importante comparado a ele próprio, $a_{ii} = 1$.
Portanto, a diagonal principal de uma matriz é constituída pelo número 1.

Desta forma as matrizes de comparação são recíprocas, ou seja, a diagonal principal apresenta valores unitários e os elementos acima da diagonal são recíprocos dos elementos abaixo da diagonal (figura 74).

$$\text{Matriz } n \times n = \begin{vmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{a}_{12} & \mathbf{a}_{13} & \mathbf{a}_{1n} \\ \mathbf{1/a}_{12} & \mathbf{1} & \mathbf{a}_{23} & \mathbf{a}_{2n} \\ \mathbf{1/a}_{13} & \mathbf{1/a}_{23} & \mathbf{1} & \mathbf{a}_{3n} \\ \mathbf{1/a}_{1n} & \mathbf{1/a}_{2n} & \mathbf{1/a}_{3n} & \mathbf{1} \end{vmatrix}$$

Figura 74: Matriz recíproca de comparações.

Em uma hierarquia, cada critério e sub-critério de análise gera uma matriz de comparação. O número de comparações a serem feitas em cada matriz é determinado em função do número de elementos (n):

- N° de comparações = $n(n-1) / 2$

A figura 75 representa uma estrutura hierárquica em três níveis onde quatro alternativas são analisadas com relação a quatro critérios como soluções possíveis para um dado problema.

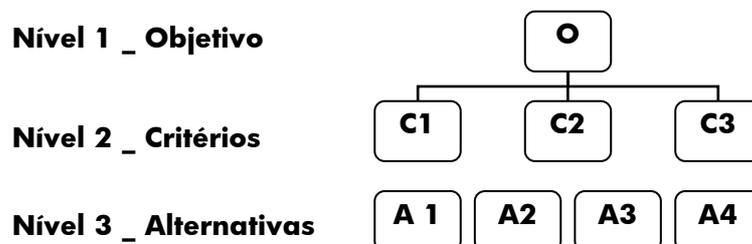


Figura 75: Exemplo de hierarquia para aplicação do AHP.

Na aplicação do método cada alternativa (A) será analisada segundo todos os critérios (C) gerando um total de três matrizes, cada uma a partir de seis comparações. Da mesma forma os critérios serão comparados em importância entre si gerando a matriz O, neste nível o balizador das comparações é o objetivo geral da análise (tabela 20).

Tabela 20: Matrizes de comparação.

<p>Nº de elementos (n) = 3 Nº de comparações = 3</p>	<p>Matriz O</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td></td> <td>C1</td> <td>C2</td> <td>C3</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td></td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table>				C1	C2	C3	C1	1			C2		1		C3			1																																																											
	C1	C2	C3																																																																											
C1	1																																																																													
C2		1																																																																												
C3			1																																																																											
<p>Nº de elementos (n) = 4 Nº de comparações = 6</p>	<p>Matriz C1</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td></td> <td>A1</td> <td>A2</td> <td>A2</td> <td>A4</td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td></td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table>		A1	A2	A2	A4	A1	1				A2		1			A3			1		A4				1	<p>Matriz C2</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td></td> <td>A1</td> <td>A2</td> <td>A2</td> <td>A4</td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td></td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table>		A1	A2	A2	A4	A1	1				A2		1			A3			1		A4				1	<p>Matriz C3</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td></td> <td>A1</td> <td>A2</td> <td>A2</td> <td>A4</td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td></td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td>A4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table>		A1	A2	A2	A4	A1	1				A2		1			A3			1		A4				1
	A1	A2	A2	A4																																																																										
A1	1																																																																													
A2		1																																																																												
A3			1																																																																											
A4				1																																																																										
	A1	A2	A2	A4																																																																										
A1	1																																																																													
A2		1																																																																												
A3			1																																																																											
A4				1																																																																										
	A1	A2	A2	A4																																																																										
A1	1																																																																													
A2		1																																																																												
A3			1																																																																											
A4				1																																																																										

Cada matriz será preenchida com os valores de intensidade de importância atribuídos pelos avaliadores em seus julgamentos para então calcular os pesos dos componentes dentro de cada estrato da hierarquia resultando na ordem de prioridade. Porém antes é preciso verificar a consistência das avaliações, como as comparações são avaliadas em uma escala numérica, é possível derivar uma média de transitividades:

- Coerência lógica: se $A > B$ e $B > C$, logo $A > C$
- Média de transitividade: com $B = 4A$ e $B = 6C$, logo $A = 3/2C$

O **cálculo de consistência (CR)** consiste na verificação da coerência dos julgamentos dos avaliadores, julgamentos inconsistentes devem ser refeitos. O procedimento simplificado (WINSTON, 1997) de cálculo do **autovalor (λ_{max})** auxilia na identificação das comparações problemáticas (tabela 21):

- Razão de consistência: $CR \leq 0,1$ (valores até 0,2 são aceitáveis)

Tabela 21: Tabela de composição do calculo do CR.

$CR = \frac{CI}{RI}$	CI = Índice de Consistência $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$																			
	RI = Índice aleatório de consistência Tabela de valores de RI: <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td>n</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>RI</td> <td>0</td> <td>0,58</td> <td>0,90</td> <td>1,12</td> <td>1,24</td> <td>1,32</td> <td>1,41</td> <td>1,45</td> <td>1,51</td> </tr> </table>	n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RI	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
RI	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51											

Na tabela 22 podem ser observados os resultados dos cálculos para verificação da consistência (CR) e obtenção do vetor de pesos que é dada pelo **autovetor principal (W)** e fornece a hierarquia das alternativas analisadas.

Tabela 22: Matriz com seus respectivos autovetor, autovalor e razão de consistência.

Matriz de comparações das alternativas (A) com relação ao critério (C1)					Autovetor	Autovalor	CR	
C1 =		A1	A2	A3	A4	WC1	λ_{max}	0,082
	A1	1	1/8	1/6	1/3	0,05	4,15757259	
	A2	8	1	3	6	0,57	4,15302555	
	A3	6	1/3	1	4	0,28	4,13068618	
	A4	3	1/6	1/4	1	0,10	4,13456564	

Através da elaboração de um questionário para guiar os avaliadores nos seus julgamentos serão obtidos os valores para preenchimento das matrizes e tabelas de cálculo (tabela 23).

Tabela 23: Questionário preenchido.

AVALIADOR 1: _____

Matriz O

	C1	C2	C3
C1	1	2	3
C2	1/2	1	1
C3	1/3	1	1

WO
0,20
0,72
0,08

CR = 0,10

Matriz C1

	A1	A2	A2	A4
A1	1	1/8	1/6	1/3
A2	8	1	3	6
A3	6	1/3	1	4
A4	3	1/6	1/4	1

WC1
0,05
0,57
0,28
0,10

CR = 0,053

Matriz C2

	A1	A2	A2	A4
A1	1	3	1/3	2
A2	1/3	1	1/5	1/2
A3	3	5	1	4
A4	1/2	2	1/4	1

WC2
0,23
0,08
0,54
0,14

CR = 0,018

Matriz C3

	A1	A2	A2	A4
A1	1	1/4	3	1/2
A2	4	1	8	2
A3	1/3	1/8	1	1/4
A4	2	1/2	4	1

WC3
0,14
0,52
0,05
0,26

CR = 0,007

Uma vez verificada a consistência de todas as matrizes, o próximo passo é combinar os vetores de pesos para obtenção da solução final. O **vetor de solução** é dado pelo seguinte cálculo:

- $WC = WC1 \cdot WC2 \cdot WC3$
- Vetor de solução = $WC \cdot WO$

Na tabela 24 pode ser observada a combinação de todos os vetores de peso resultando na hierarquia final que, neste exemplo, elegeu a alternativa A3 como melhor solução para o problema do ponto de vista do avaliador 1.

Tabela 24: Solução final.

WC			x	WO	=	SOLUÇÃO FINAL	
WC1	WC2	WC3					
00,5	0,23	0,14	x	0,20	=	A1	0,18
0,57	0,08	0,52		0,72		A2	0,21
0,28	0,54	0,05		0,08		A3	0,87
0,01	0,14	0,26				A4	0,14

Para obter o resultado final da análise é necessário ainda calcular a média dos julgamentos de todos os avaliadores. A alternativa que apresentar o maior peso de importância ao final da avaliação pode não corresponder a escolhas individuais por se tratar de uma atividade de equipe.

O detalhamento dos cálculos pelo método simplificado (WINSTON, 1997), utilizado no exemplo, encontra-se no APENCIDE V.

4. RESULTADOS DA ANÁLISE

A sistematização dos resultados parciais das análises realizadas demonstra que as alternativas de conexão apresentam desempenhos desiguais com relação aos critérios de análise. Algumas características que representam uma vantagem de acordo com um determinado critério têm consequências indesejáveis com relação a outro, como pode ser observado na tabela 25. Esse é o caso da conexão FINGER que, com relação à flexibilidade permite realizar quase que a totalidade das possibilidades combinatórias pré-definidas (98%). No entanto, o fato de não apresentar restrições geométricas que limitam a quantidade de variantes possíveis de cada elemento fazem com que a proporção do número de elementos possíveis para realizar as combinações seja de 1,4 elementos para cada arranjo de três elementos combinados.

Tabela 25: Sistematização dos resultados da análise.

	DESEMPENHO					FLEXIBILIDADE		OTIMIZAÇÃO			VERSATILIDADE			
	restrição	grau de liberdade	grau de integração	processo de fabricação	material		número de combinações	número de elementos	nr. combinações nr. elementos	- elementos + objetos	funções emergentes	múltiplas funções	funções recorrentes	
CLIP	+	++	+	+		5	245	70%	14	17,5	21	34	5	26%
SLOT	++		+	++	+	6	249	71%	15	16,6	26	34	4	28%
FINGER	++		+	++	+	6	342	98%	242	1,4	27	27	6	23%
TUSK		++		+	+	4	77	22%	31	2,4	24	35	4	23%

Para tornar aparentes as variações de desempenho das alternativas com relação aos critérios, e dos critérios com relação ao objetivo da pesquisa, os resultados parciais subsidiaram a avaliação realizada com o Método Analítico Hierárquico para a conclusão do resultado do experimento.

4.1 Avaliação com o AHP

Com base nas análises realizadas foi possível apurar resultados que revelam desempenhos desiguais das alternativas com relação aos critérios, mas não díspares o suficiente para que uma se destaque sobre as demais. As alternativas de conexão selecionadas cumprem de uma forma ou outra os requisitos necessários para a situação descrita, porém a quantificação dos resultados não adquire uma proporção que crie condições para um julgamento definitivo.

O objetivo da avaliação foi atribuir pesos de importância para os critérios e alternativas através da utilização de uma ferramenta multi-critério, o AHP (Método Analítico Hierárquico), para concluir o processo de avaliação. Além do julgamento individual a partir do conhecimento gerado ao longo do processo de investigação, considerou-se importante incorporar ponderações que levassem em conta critérios qualitativos, experiências, impressões e opiniões de avaliadores externos.

4.2 Estruturação da hierarquia da pesquisa

A primeira etapa realizada para aplicação do método foi criar uma estrutura hierárquica na qual o objetivo é declarado no primeiro nível, seguido dos critérios de análise e por fim das alternativas (figura 76).

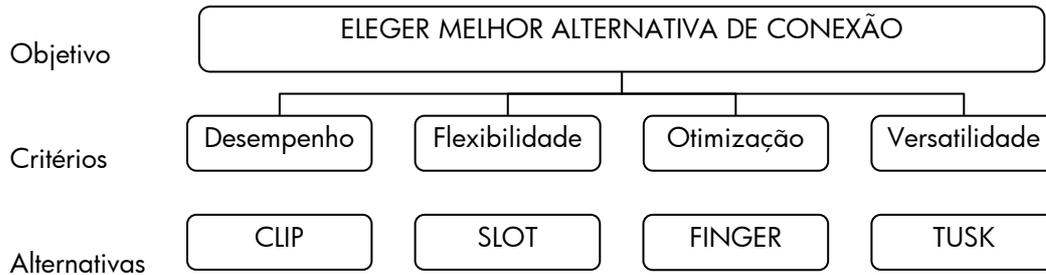


Figura 76: Estrutura hierárquica da pesquisa.

4.3 Julgamentos

Para realização dos julgamentos foram convidados a participar como avaliadores quatro profissionais das áreas de design e arquitetura com experiência em design de produtos, detalhamento e execução de projetos. Os encontros foram realizados individualmente com cada avaliador para demonstração das conexões através da utilização de modelos, esclarecimentos sobre os objetivos da pesquisa, instruções sobre a utilização do método e aplicação do questionário.

Com a hierarquia dividida em dois níveis, o questionário foi conduzido em duas etapas. Primeiramente foi realizada a comparação entre alternativas com relação aos critérios. A apresentação das alternativas de conexão foi acompanhada da demonstração do seu funcionamento através dos modelos fabricados para o experimento, o avaliador recebeu quatro pequenos objetos, cada um com um tipo de conexão. Embora constituídos dos mesmos elementos e combinados a partir das mesmas relações espaciais, através da manipulação dos objetos foi possível perceber as diferentes relações estabelecidas em função dos tipos de conexão.

Os quatro critérios de análise foram apresentados com a utilização dos modelos e os dados obtidos nas análises foram expostos de forma sintética como subsídio para as avaliações. Ao comparar alternativas com relação a critérios acompanhados de resultados quantitativos, o avaliador era solicitado a atribuir pesos de importância de acordo com suas impressões e experiência. Os julgamentos não se restringiram aos aspectos analisados na pesquisa incorporando aspectos subjetivos, ampliando a discussão e antecipando questões relativas a execução de objetos em escala real.

Juntamente com o material produzido com a síntese das informações sobre as conexões analisadas, foi fornecido um formulário para preenchimento com os valores numéricos a partir da escala de valores de intensidade de importância proposta no método. As comparações entre as alternativas de conexão foram realizadas na medida em que os critérios eram expostos. Cada avaliador comparou as alternativas de conexão aos pares atribuindo valores correspondentes ao grau de importância de uma sobre a outra. Foram realizadas um total de seis comparações de todas as alternativas entre si com relação a cada critério de análise.

A figura 77 exemplifica umas das comparações realizadas. No exemplo, a conexão SLOT é considerada melhor que a conexão CLIP no que diz respeito ao critério Flexibilidade recebendo o valor 5.

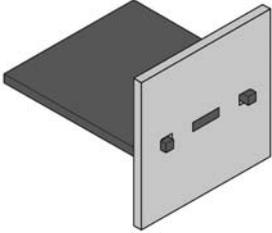
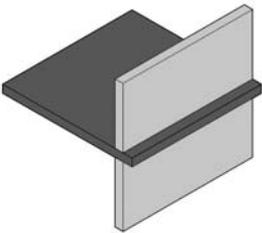
ELEGER MELHOR ALTERNATIVA DE CONEXÃO			
Desempenho	Flexibilidade	Otimização	Versatilidade
CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
			
ESCALA DE VALORES	IMPORTÂNCIA [+] OU [-]		VALOR
[1] C e S são igualmente bons	[-] CLIP	[+] SLOT	[5]
[3] C é um pouco melhor que S	[] CLIP	[] FINGER	[]
[5] C é melhor que S	[] CLIP	[] TUSK	[]
[7] C é muito melhor que S	[] SLOT	[] FINGER	[]
[9] C é absolutamente melhor que S	[] SLOT	[] TUSK	[]
	[] FINGER	[] TUSK	[]

Figura 77: Formulário para comparações entre alternativas.

Após a comparação das alternativas, os critérios são ponderados em importância com relação ao objetivo através do mesmo procedimento. No exemplo da figura 78 considera-se que o critério Desempenho tem importância levemente superior ao critério Otimização na avaliação das alternativas de conexão.

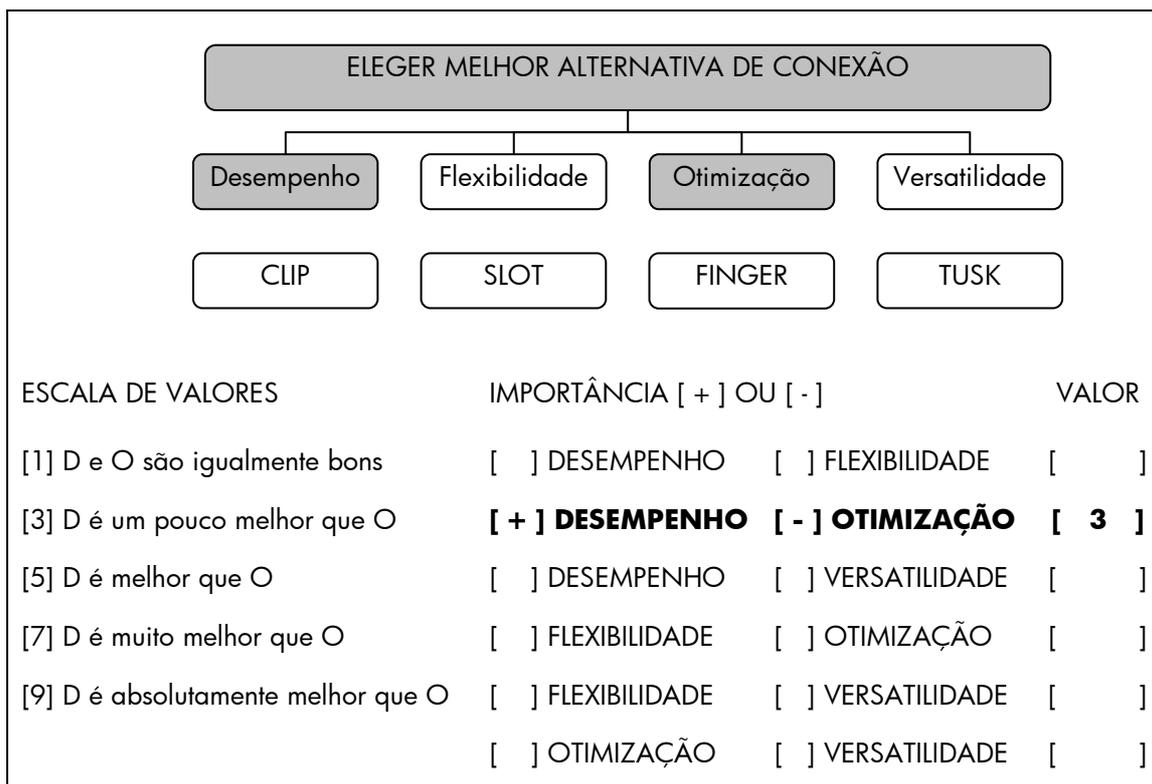


Figura 78: Formulário para comparações entre critérios.

A conclusão desta etapa ocorreu com a inserção dos valores em uma planilha já programada para calcular os pesos de importância e o índice de consistência das respostas. As avaliações e as planilhas com os cálculos de cada avaliador encontram-se no APÊNDICE VI.

4.4 Solução final

Para obter a solução final na eleição da melhor alternativa de conexão foi feita uma média com os resultados individuais dos avaliadores. À média resultante dos julgamentos foi incorporado o resultado da avaliação pela utilização do método (AHP) realizada a partir dos dados levantados nas etapas de análise da investigação.

O resultado dos julgamentos confirmou o resultado da pesquisa elegendo a conexão SLOT como a alternativa com melhor desempenho em relação aos critérios de análise (tabela 26).

Tabela 26: Resultado das avaliações na eleição da melhor alternativa de conexão.

PESQUISA	AVALIADORES						ALTERNATIVAS
	avaliador 1	avaliador 2	avaliador 3	avaliador 4	soma	média	
0,24110	0,08230	0,26200	0,38150	0,28710	1,25400	0,25	CLIP
0,43030	0,34290	0,43610	0,14130	0,23390	1,58450	0,32	SLOT
0,27700	0,48750	0,18240	0,18110	0,38650	1,51450	0,30	FINGER
0,05160	0,08730	0,11960	0,29620	0,09250	0,64720	0,13	TUSK

O resultado da integração das avaliações apontou também o critério considerando mais importante nesta etapa de investigação, elegendo a FLEXIBILIDADE como fator que mais influencia na obtenção de um sistema adaptável (tabela 27).

Tabela 27: Resultado da eleição do critério mais importante na avaliação das conexões.

PESQUISA	AVALIADORES						CRITÉRIOS
	avaliador 1	avaliador 2	avaliador 3	avaliador 4	soma	média	
0,12009	0,25943	0,52978	0,20366	0,56381	1,67677	0,42	DESEMPENHO
0,55309	0,59676	0,32014	0,64402	0,11779	2,23180	0,56	FLEXIBILIDADE
0,26852	0,08906	0,09672	0,09447	0,26338	0,81215	0,20	OTIMIZAÇÃO
0,05830	0,05475	0,05336	0,05785	0,05502	0,27928	0,07	VERSATILIDADE

Desta forma o método contribuiu para aferir a consistência dos resultados obtidos na pesquisa e apoiou a validação do processo de avaliação das alternativas para eleger a melhor conexão para mobiliário orientado para adaptabilidade segundo os critérios analisados nesta etapa de investigação.

5. CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como principal argumento a necessidade de estruturação do conhecimento relacionado à geração de soluções de conexão para as demandas de adaptabilidade de produtos. O estudo foi realizado através de casos de conexão entre elementos planos. A avaliação das conexões foi realizada a partir do estabelecimento de critérios de análise correlacionando as possibilidades de combinação entre os elementos planos e quatro tipos básicos de conexão.

O método AHP, utilizado preliminarmente na escolha de alternativas, foi validado através da participação de especialistas que não só aferiram a consistência dos seus resultados, mas atribuíram confiabilidade ao processo desenvolvido para seleção das conexões.

A utilização de estratégias generativas e conceitos de emergência de função na avaliação dos especialistas abriram caminho para o desenvolvimento de um modelo paramétrico (algoritmo) de criação de alternativas de projeto de produto em sua fase preliminar. Este modelo, quando aplicado, permitirá automatizar tarefas de projeto, ampliando a capacidade de análise de alternativas de solução para problemas dados. Neste sentido, confirma-se a hipótese de que uma análise estruturada pode oferecer, não só mais confiabilidade na seleção de conexões para adaptabilidade, como também aproximar a escolha dos objetivos do projeto.

O aumento da complexidade é uma consequência natural da continuidade desta investigação que, a partir deste ponto, deve incorporar novos critérios de análise. Desta forma, a utilização de ferramentas de apoio à decisão multi-

critério mantém-se como um importante subsídio para verificação da consistência das medidas de avaliação.

A abstração do modelo criado para análise sugere a utilização do sistema em outras aplicações além do mobiliário, como brinquedos educativos, embalagens, sistemas construtivos, entre outros. Através do experimento de emergência de função com a utilização dos protótipos para verificação da versatilidade ficou explícito o potencial deste recurso para a criação de objetos e soluções improváveis de serem reveladas sem a experimentação e manipulação de protótipos.

Como caminhos futuros de investigação foram identificados critérios relevantes para integrar a análise das conexões, tais como testes de resistência para avaliar o atrito entre os elementos nos pontos de conexão, a influência das características geométricas das conexões na resistência dos elementos (fendas, ranhuras e orifícios), solicitações externas à estrutura, entre outros. Aos aspectos relativos as questões estruturais somam-se ainda a ampliação da escala do objeto e as conseqüentes implicações na especificação dos materiais.

A análise de aspectos de usabilidade relacionados à facilidade do processo de conexão e desconexão para montagem, desmontagem, manutenção, reconfiguração e atualização do sistema, assim como atributos estéticos para avaliação da interferência visual da conexão no aspecto geral do sistema podem também ser apontados como possibilidades de continuidade da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIFF, Hambali. SALIT, M. Sapuan. ISMAIL, Napsiah. NUKMAN, Y. **Use of Analytical Hierarchy Process (AHP) for selecting the best Design Concept.** Jurnal Teknologi, 49(A) Dis. 2008: 1–18. Universiti Teknologi Malaysia. Disponível em: <http://www.penerbit.utm.my/onlinejournal/49/A/49siria1.pdf>. Acesso em: 27.06.2010

BAUMAN, Zigmunt. **Modernidade Líquida.** Trad. Plínio Dentzien. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas.** Volume 2 de Coleção Teoria de sistemas. Editora Vozes, 1975.

BOOTHROYD, Por Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston Anthony. **Product Design for Manufacture and Assembly.** CRC Press, 2002.

BONENBERGER, Paul R. **The first snap-fit handbook: creating and managing attachments for plastic parts.** 2ed. 2005.

BURSTEIN, F., HOLSAPPLE, C. W. **Handbook on Decision Support Systems 1: Basic Themes.** Springer, 2008.

CARDOSO, D; SASS, L. Generative **Fabrication: Discussing Creativity in the Age of Digital Machinery.** Third International Conference on Design Computing and Cognition (DCC'08), 2008.

CELANI, Gabriela. PUPO, Regiane Trevisan. **Prototipagem Rápida e Fabricação Digital para Arquitetura e Construção: definições e estado da arte no Brasil.** Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. 2008.1. Disponível

em: <http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/cpgau/article/viewFile/244/103>.

Acesso em: 25.11.2009

CHIN, Kwai-Sang Chin. XU, Dong-ling. YANG, Jian-Bo Yang. LAM, James Ping-Kit. **Group-based ER-AHP system for product project screening**. Expert Systems with Applications. Volume 35, Issue 4, November 2008, Pages 1909-1929. Disponível em: http://php.portals.mbs.ac.uk/Portals/49/docs/jyang/ChinXuYang_Group-ER-AHP_ESWA.pdf. Acesso em: 22.06.2010

GHINATO, P. **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**. 2o. cap. Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

CHIODO, J. JONES, N. BILLET, E. HARRISON, D. **Shape Memory Alloy Actuators for Active Disassembly using Smart Materials of Consumer Electronic Products**, Materials and Design, 23:471- 478, 2002. Disponível em: <http://dspace.brunel.ac.uk/bitstream/2438/2315/1/Shape%20memory%20alloy%20actuators%20for%20active%20disassembly%20using%20%E2%80%98smart%E2%80%99%20materials%20of%20consumer%20electronic%20products.pdf>.

COSTA, Carlos Zibel. **Tendências Projetuais em Design Contemporâneo e Conceitos Pós-estruturalistas**. 4º Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 2007.

CROWTHER, Philip. **Design For Buildability and the Deconstruction Consequences**. Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting. Karlsruhe, Germany, 2002. Disponível em: <http://eprints.qut.edu.au/2885/1/Crowther-TG39-2002.PDF>. Acesso em: 12.08.2010

DE MASI, D. **O futuro do trabalho: fadiga e ócio na sociedade pós-industrial**. São Paulo: Ed. UNB, 4 ed. 2000.

DEVIDES, Maria Tereza Carvalho. **Design, Projeto e Produto: O desenvolvimento de móveis nas indústrias do Pólo Moveleiro de Arapongas, PR.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Desenho Industrial, da FAAC-UNESP, Bauru, 2006. Disponível em: <http://www.faac.unesp.br/posgraduacao/design/dissertacoes/pdf/mariatereza.pdf>. Acesso em: 04.08.2008

DROSTE, Magdalena. 1990. **Bauhaus, 1919-1933.** Taschen, 2002

ERENS, Freek. VERHULST, Karel. **Architectures for product families.** Computers in Industry 33 (1997) 165-178, Elsevier. Disponível em: <http://www.adapcare.nl/docs/Architectures%20for%20Product%20Families.pdf>. Acesso em: 15.09.2010

FREDERICK S. Wright Gallery, University of California, **Connections: The Work of Charles and Ray Eames,** UCLA Arts Council, Los Angeles 1976

FISCHER, T. HERR, C. M. **Teaching Generative Design.** International Conference on Generative Art, 4., 2001, Milan, Italy. GA 2001. Disponível em: <http://www.generativeart.com>. Acesso em: 17.04.2009

FOLZ, Rosana Rita. **Mobiliário na habitação popular.** Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), 2002. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/> Acesso em: 22.01.2008

FRANCESCHI, Roberta Barban. **A relação entre moradia, profissional autônomo e mobiliário: diretrizes projetuais para estação de trabalho residencial ligada as atividade de projeto.** 2006. Disponível em: <http://www.faac.unesp.br/posgraduacao/design/dissertacoes/pdf/roberta.pdf>. Acesso em: 16.10.2010

GENC, Suat; W., Robert; JR., Messler; GABRIELE, Gary A. **Methodology for Locking Feature Selection in Integral Snap-Fit Assembly.** Proceedings of DETC '97 - 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences. 1997, Sacramento, California. Disponível em: http://cadcam.yonsei.ac.kr/abstract_system/200301_processplan_pdf/methodology.pdf. Acesso em: 21.011.2008

GIACHETTI, Ronald. E. **A decision support system for material and manufacturing process selection.** Journal of Intelligent Manufacturing (1998) 9, 265±276. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/k6814v08lhk8q142/>. Acesso em: 18.02.2010

GIBSON, James J. **The Ecological Approach to Visual Perception.** Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates, 1986. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=DrhCCWmJpWUC&pg=PA127&dq=theory+of+affordances&ei=AP88Ss3qI4-6ygT4z8C6BQ>>. Acesso em: 20.06.2009

GIUSTINA, Mara Della. **As Madeiras alternativas como opção Ecológica para o Mobiliário Brasileiro.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção de grau de Mestre em Engenharia de Produção, 2001.

GORINI, Ana Paula Fontenelle. **Panorama do Setor Moveleiro no Brasil, com ênfase na competitividade externa a partir do desenvolvimento da cadeia industrial de produtos sólidos de madeira.** Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set801.pdf> Acesso em: 03/12/2008

GROS, Jochen. **New tools could bring the craft trade out of the defensive.** Politische Ökologie, Sonderheft 9, Jan. /Feb. 1997. Disponível em: <http://flexiblestream.org/Digital-Wood-Joints-001.php>. Acesso em: 28.09.2009

GROS, Jochen Gros. SULZER, Friedrich. **Holzverbindungen / Digital Wood Joint**. CD Rom. C...Labor an der Hochschule für Gestaltung Offenbach and Edition dds / Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart. 1998. Disponível em: <http://flexiblestream.org/Digital-Wood-Joints-001.php>. Acesso em: 28.09.2009

GU, P., HASHEMIAN, M. and NEE, A.Y.C. (2004). **Adaptable Design**. Annals of CIRP, 53(2): 539–557. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>

GU, P; WUE, D; NEE, A Y C. **Adaptable Design: concepts, methods and applications**. Proc. IMechE Vol.223 Part B: J. Engineering Manufacture. JEMI387 IMechE 2009. Disponível em: <http://journals.pepublishing.com/content/15419k1n1m240564/>. Acesso em: 19.01.2010

HAINTZ, Christine; BEVEREN, John Van. **Consumer Adoption of Versatile Products**. Proceedings of ANZMAC 2004 - Australian and New Zealand Marketing Academy Conference. Disponível em: <http://smib.vuw.ac.nz:8081/WWW/ANZMAC2004/CDsite/papers/Haintz1.PDF>. Acesso em: 27.09.2009

HASHEMIAN, M. **Design for Adaptability**. Thesis Submitted to the College of Graduate Studies and Research in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in the Department of Mechanical Engineering. University of Saskatchewan, Saskatoon. Jun 2005. Disponível em: <http://library2.usask.ca/theses/available/etd-06072005-120001/>. Acesso em: 01.12.2009

HOLLAND, John Henry. **Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence**. University of Michigan Press, 1975

HORTA, L. C.; ROZENFELD, H. (1999). **Design For Manufacturing and Assembly**. Disponível em:

http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/dfma_v2.html

HUANG, George Q. **Design for X: concurrent engineering imperatives**. Springer, 1996

KEMIK, J. , **A. M. Luther 1877-1940. Materjalist võrsunud vormiuuendus (Form innovation risen from the material)**, Tallinn: Sild, 2002.
<http://artsresearch.brighton.ac.uk/research/academic/kermik/portfolio>

KIERAN, Stephen; TIMBERLAKE, James. **Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction**. McGraw-Hill Professional, 2004

KILIAN, A. **Fabrication of partially double-curved surfaces out of flat sheet materials through a 3d puzzle approach**. In: Association for Computer Aided Design in Architecture - ACADIA`03, 2003. Indianápolis, p. 73-83. Disponível em: http://designexplorer.net/newscreens/proto/Axel_Kilian_acadia2003.pdf. Acesso em: 20.09.2010.

KINDLEIN, Wilson Junior, BALBINOTTI, Roberto Rosário; SILVA, Everton Amaral; PEREIRA, Carlos Alvariz. **Princípios básicos de junção utilizados em sistemas e subsistemas de produtos industriais e sua importância no desenvolvimento sustentável**. Artigo apresentado na ANPRAS, Campinas-SP, 2002. Disponível em: <http://www.ndsm.ufrgs.br/> Acesso em: 12.11.2008

KLETT, J. ; BLESSING, L. **An approach to create customized connections**. ASME Washington D.C., 2003.

_____, J. ; BLESSING, L. **Selection and Modification of Connections**. International Design Conference - DESIGN 2004 Dubrovnik, May 18 - 21, 2004.

_____, J. ; BLESSING, L. **Designing connections considering connecting and disconnecting process characteristics and the number of required fasteners**, Proceedings of the ICED, DS 35 CD-ROM, 2005.

_____, Jan. **Systematic Design of Connections under Consideration of Assembly and Disassembly related Properties**. Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin zur Erlangung des akademischen Grades, 2009. Disponível em: <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2009/2356/> Acesso em: 13.10.2009

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2002.

MARQUES, André Canal. **Análise de similares: contribuição ao desenvolvimento de uma metodologia de seleção de materiais e ecodesign**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. PPGEM. Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13782>. Acesso em: 02.12.2008.

MENDEL, G. **Experiments on Plant Hybridizationshed**. Proceedings of the Natural History Society of Brünn, 1866.

MEREDITH, Michael. LASCH, Aranda. SASAKI, Mutsuro Sasaki. **From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture**. Actar, 2008.

MESSLER, Robert W. **Integral mechanical attachment: a resurgence of the oldest method of joining**. Butterworth-Heinemann, 2006

MITCHELL, W. J. **The Logic of Architecture**. MIT Press, Cambridge, MA. 1989
Pág(209-239)

_____, W. J. e McCullough M. **Digital Design Media**. N. York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

_____, William J. (1977). **Computer-Aided Architectural Design**. Van Nostrand Reinhold, NY.

MUNARI, Bruno. **Das Coisas Nascem Coisas**. Ed Martins Fontes, 1998, 1ª edição.

MONEDERO, Javier. **Parametric design: a review and some experiences**. Automation in Construction 9 (2000)369–377. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>

MONTANER, J. M. **Arquitectura, arte y Pensamiento Del Siglo XX**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

NASCIMENTO, Marilzete Basso do. **A Incorporação do Design por uma Indústria Moveleira voltada ao Segmento Popular: Um Estudo de Caso no Pólo Moveleiro de Arapongas – PR**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Disponível em: <http://webmail.faac.unesp.br/~paula/Paula/6361.pdf>. Acesso em: 20.11.2008

NIEMEYER, Lucy. **Design no Brasil: origens e instalações**. 2AB, 2000.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.H. **Projeto na engenharia: fundamento no desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 1ª edição. Edgard Blücher, 2005

PINE, B. J. **Mass Customization - The New Frontier in Business Competition**. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1993.

POTTMANN, Helmut. **Architectural geometry**, Volume 10. Bentley Institute Press, 2007.

PRASAD, B. **Concurrent engineering fundamentals: integrated product development**. v. 2. New Jersey, Prentice Hall. 1997.

PRATS, Miquel. **Shape Exploration in Product Design: Assisting Transformation in Pictorial Representations**. Thesis Submitted in Accordance with the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. The Open University Department of Design and Innovation, Faculty of Technology. 2007. Disponível em: <http://design.open.ac.uk/research/documents/PhDThesisMiquelPratsMay2007.pdf>. Acesso em: 10.12.2008

RICCETTI, Teresa Maria. **A Paisagem Doméstica: a relação do homem com sua morada**. Dissertação de Mestrado: São Paulo: FAU USP, Universidade de São Paulo, 1999.

SAATY, T.L. (1980). **The Analytic Hierarchy Process**. New York, McGraw-Hill, New York.

SALEIRO FILHO, Mário de Oliveira. **A Gênese da Flexibilidade Espacial**. Cadernos do PROARQ (UFRJ), v. 1, p. 19-24, 2009. Disponível em: http://www.proarq.fau.ufrj.br/site/cadernos_proarq/cadernos-proarq_13.pdf Acesso em: 01.10.2010

SEIKE, Kiyosi. **The Art of Japanese Joinery**. Tamkosa, 1º ed. 1977

SELLE, Gert. **Design im Alltag: vom Thonetstuhl zum Mikrochip**. Campus Verlag, 2007

SIMPSON, Timothy W. **A Concept Exploration Method for Product Family Design**. A Thesis Presented to the Academic Faculty In Partial Fulfillment of the

Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology, 1998. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.116.3258&rep=rep1&type=pdf> Acesso em: 28.11.2008

SULZER, Friedrich. **Towards a new, digital era! The interplay of design and computer technology**. BM 12/96. Disponível em: <http://flexiblestream.org/Digital-Wood-Joints-001.php>. Acesso em: 28.09.2009

_____, Friedrich. It's not a trick - digital wood joints. dds - das magazin für möbel und ausbau 9/96. Disponível em: <http://flexiblestream.org/Digital-Wood-Joints-001.php>. Acesso em: 28.09.2009

TRAMONTANO, M. **Novos Modos de Vida, Novos espaços de morar**. São Carlos: EESC USP. 1993.

VENZKE, Cláudio Senna. **A situação do Ecodesign em empresas da Região de Bento Gonçalves, RS: análise das posturas e práticas ambientais**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Escola de Administração, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2086/000314080.pdf?sequence=1> Acesso em: 11.11.2007

TVERSKY, B. **Form and Function**. In L. A. Carlson & E. van der Zee (Editors, Functional features in language and space: Insights from perception, categorization and development. Pp. 331-347. Oxford: Oxford University Press. 2004.

WERNER, J. **Adaptaciones Cotidianas**. Quaderns, n° 202, 1994.

WINSTON, Wayne L. **Operations Research Applications and Algorithms**. 3a. Ed., Duxbury Press. 1997.

APÊNDICES

- I Imagens dos produtos utilizados na elaboração dos pictogramas

- II Combinações com as conexões

- III Matrizes para definição dos elementos

- IV Experimento Versatilidade – formação dos arranjos

- V Demonstração dos cálculos do AHP

- VI Avaliação AHP – julgamentos dos avaliadores

APÊNDICE I

Imagens dos produtos utilizados na elaboração dos piktogramas:

ATUALIZAÇÃO

(a) Modificação de elementos



Highchair, Designer Maartje Steenkamp

Fonte: http://www.babygadget.net/2006/07/childrens_highchair_by_maartje.php;

<http://www.droog.com/products/furniture/highchair/>

(b) Substituição de elementos



Adjust Chair, Designer Fitorio Leksono

Fonte: <http://www.designspotter.com/product/2008/04/adjustchair.html?PHPSESSID=n3td9ilanaliele8n92ghi7hv4>

(c) Adição e subtração de elementos



Bookmark Vol.1 – the modular Bookshelf, Design Underpartner

Fonte: http://www.designspotter.com/product/2008/04/lesezeichen_boo.php;

http://www.undpartner.at/index.php/undpartner/work/done/lesezeichen_das_modulare_buchregal/

(d) Modificação da posição de elementos

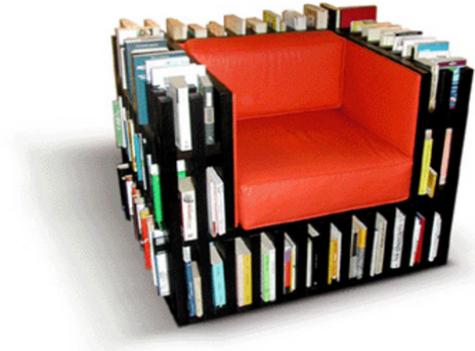


CNC Adjustable Rocking Chair, Designer Hongtao Zhou

Fonte: <http://hongtaozhou.com/artwork/747699.html>

VERSATILIDADE

(a) Sobreposição de funções



Bibliochaise, Designer nobody&co

Fonte: <http://www.nobodyandco.it/nobodyandco/homepageingl.html>

(b) Modificação da posição de elementos



Embrace, Designer John Green

Fonte: <http://johngreendesigns.co.uk/work/Pages/embrace.html>

(c) Modificação da posição do objeto



Also Chair, Designer Akin Bacioglu

Fonte: <http://www.thedesignblog.org/entry/also-chair-transforms-into-a-table/>

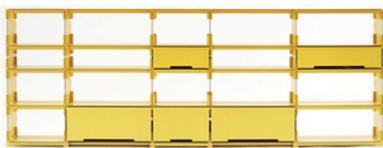
(d) Articulação entre elementos



Blockseat, Designers Thomas Mascal

Fonte: <http://www.mascdesign.co.uk/#/blockseat/4536704067>

VARIEDADE



Plattenbau, Designer Möbelbau Kaether & Weise

Fonte: <http://www.kaetherundweise.de/>

PERSONALIZAÇÃO



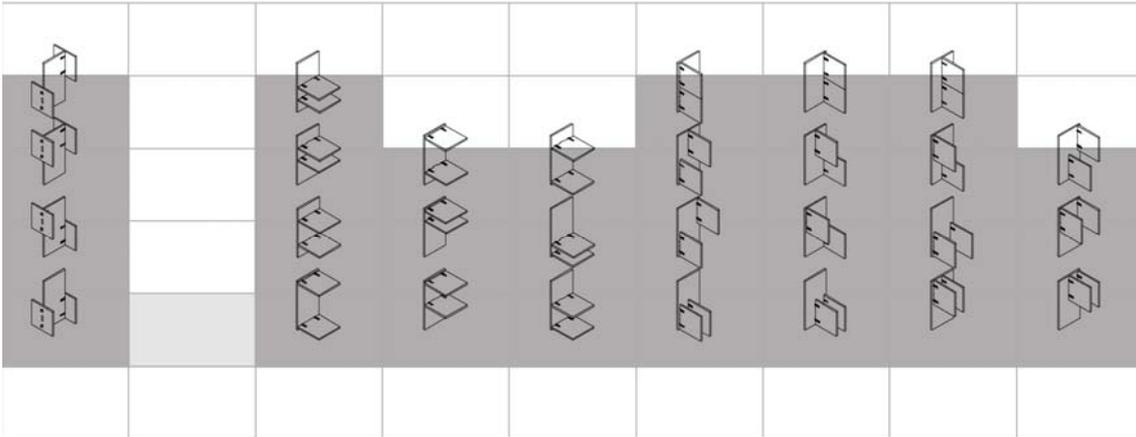
Furniture VolumeZero, Designer Kidsonroof

Fonte: http://www.kidsonroof.com/new/index.php?cat_id=5

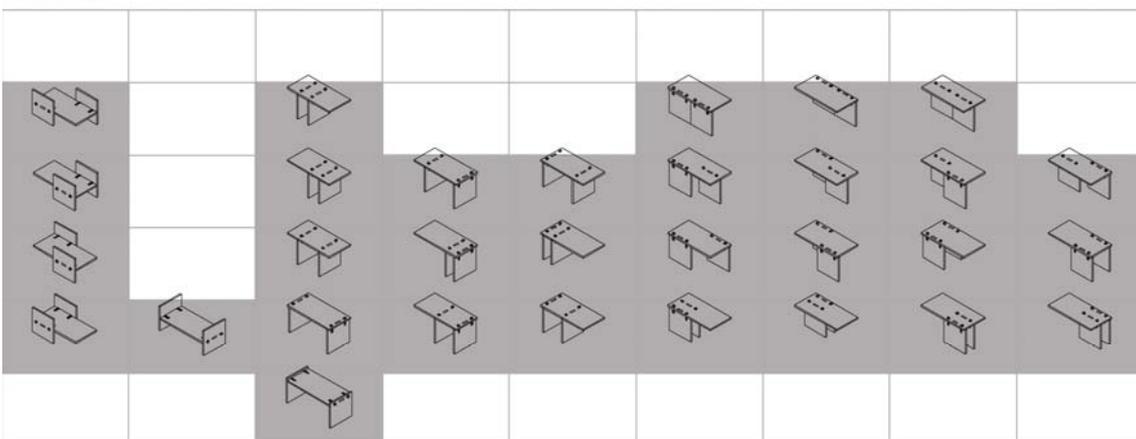
APÊNDICE II

Conexão CLIP: Combinações utilizando as mesmas regras

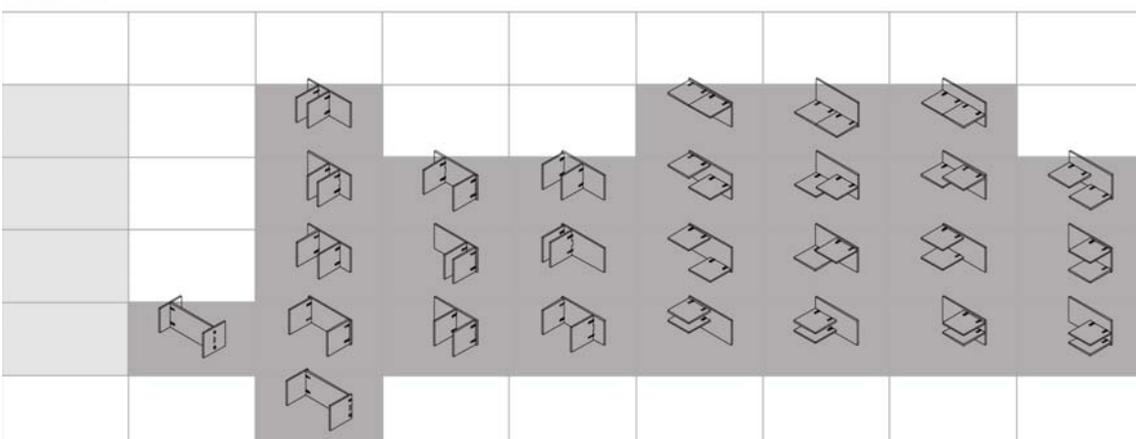
eixo x



eixo y

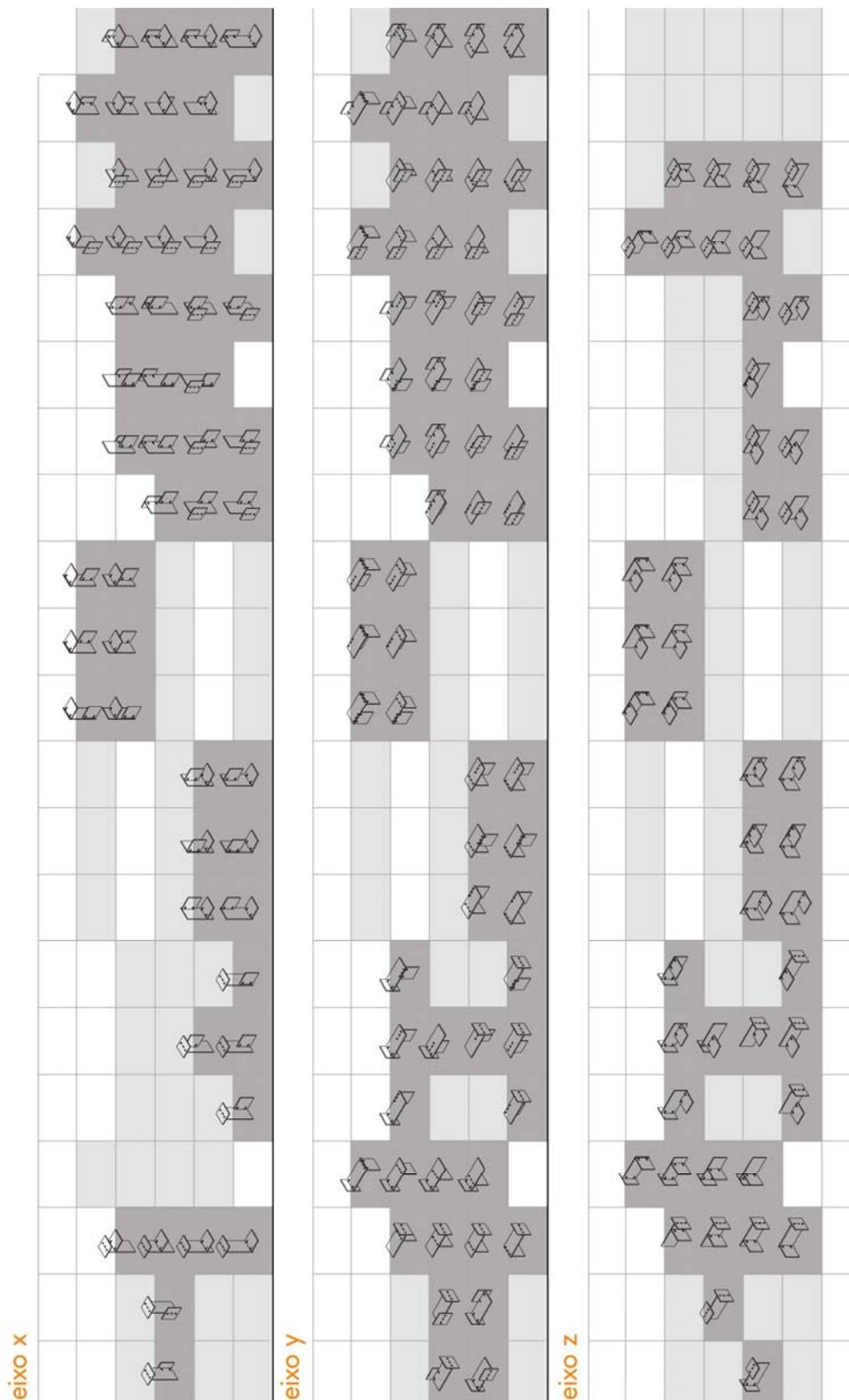


eixo z



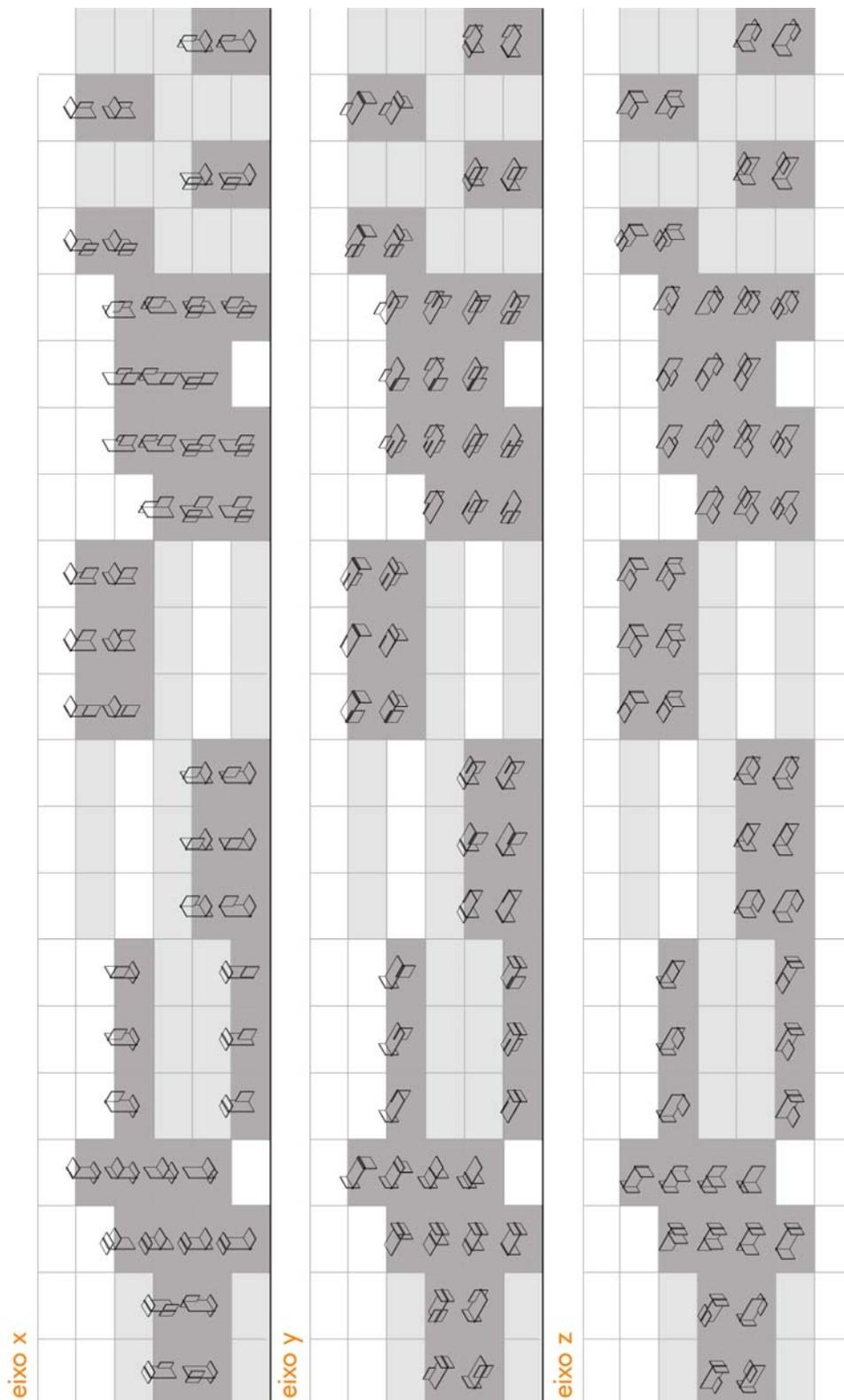
APÊNDICE II

Conexão CLIP: Combinações entre regras



APÊNDICE II

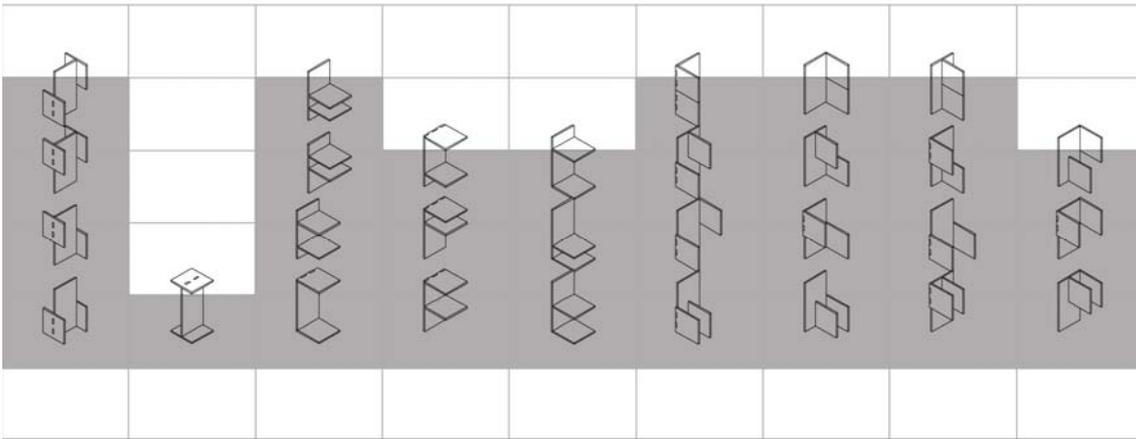
Conexão SLOT: Combinações entre regras



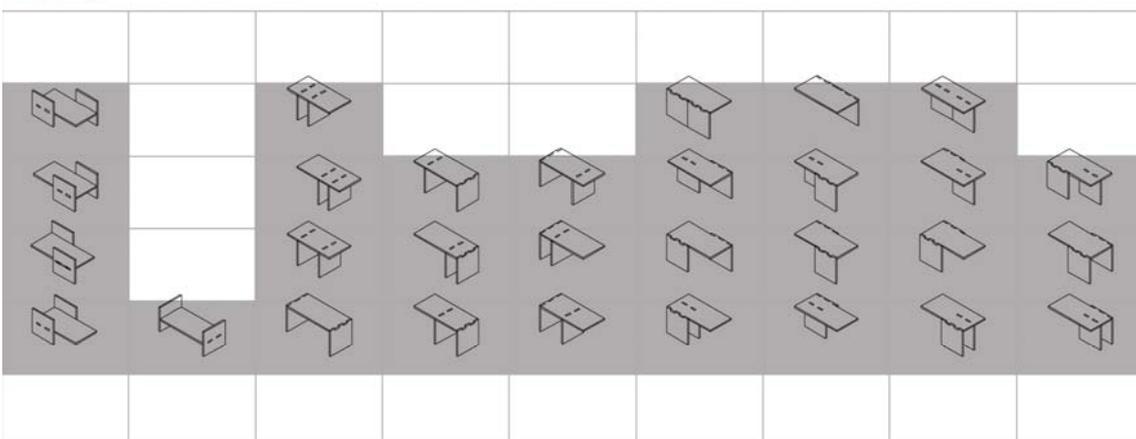
APÊNDICE II

Conexão FINGER: Combinações utilizando as mesmas regras

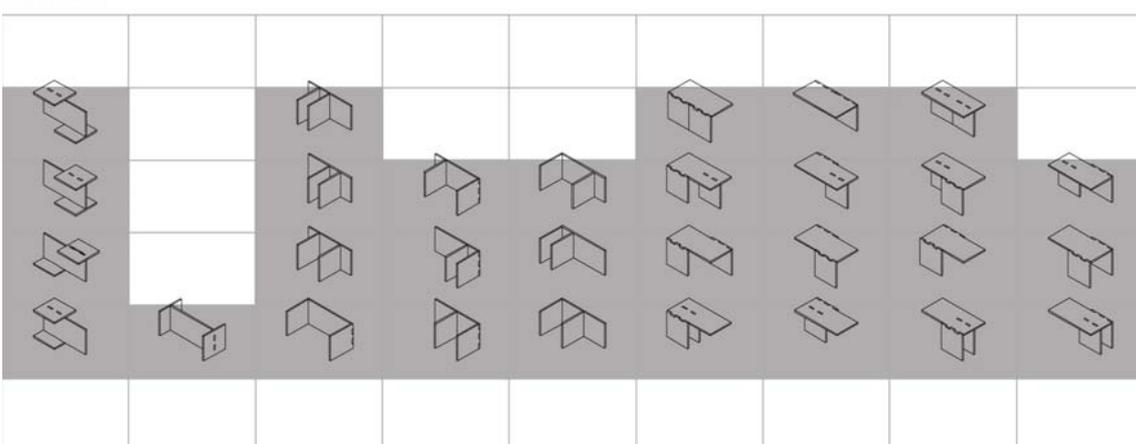
eixo x



eixo y

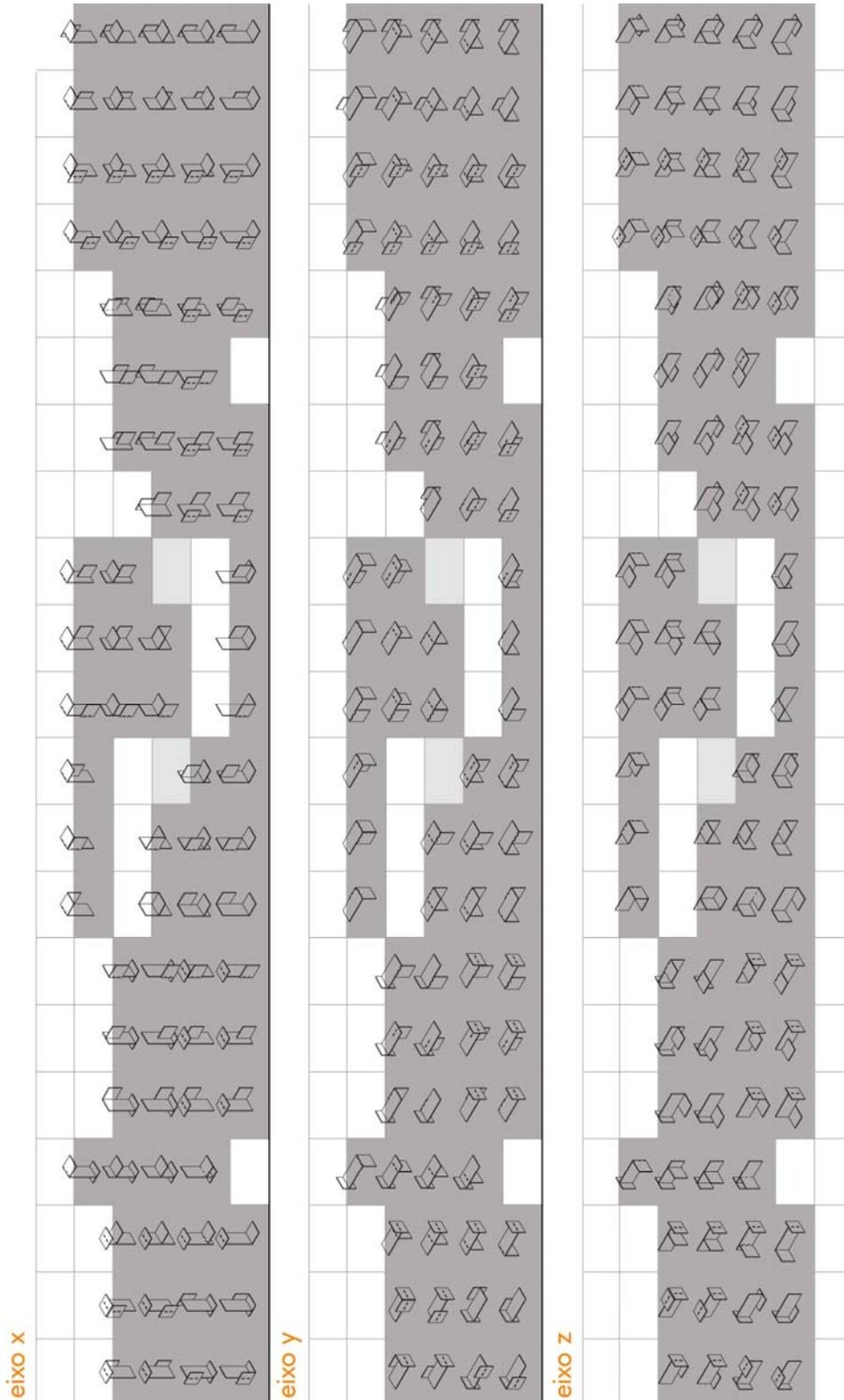


eixo z



APÊNDICE II

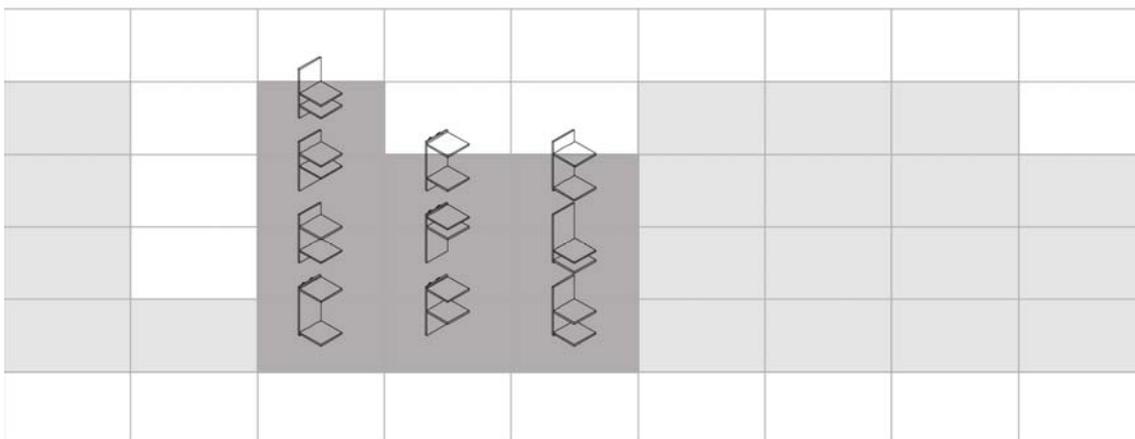
Conexão FINGER: Combinações entre regras



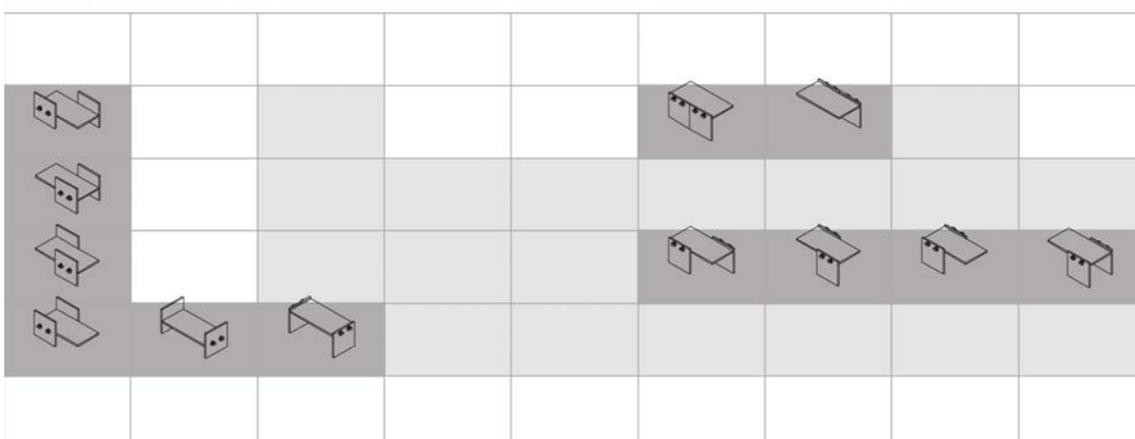
APÊNDICE II

Conexão TUSK: Combinações utilizando as mesmas regras

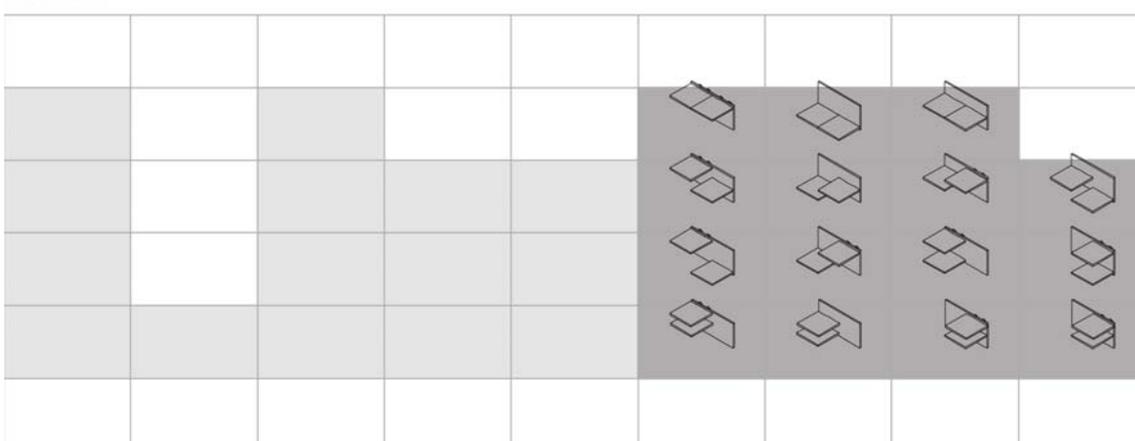
eixo x



eixo y

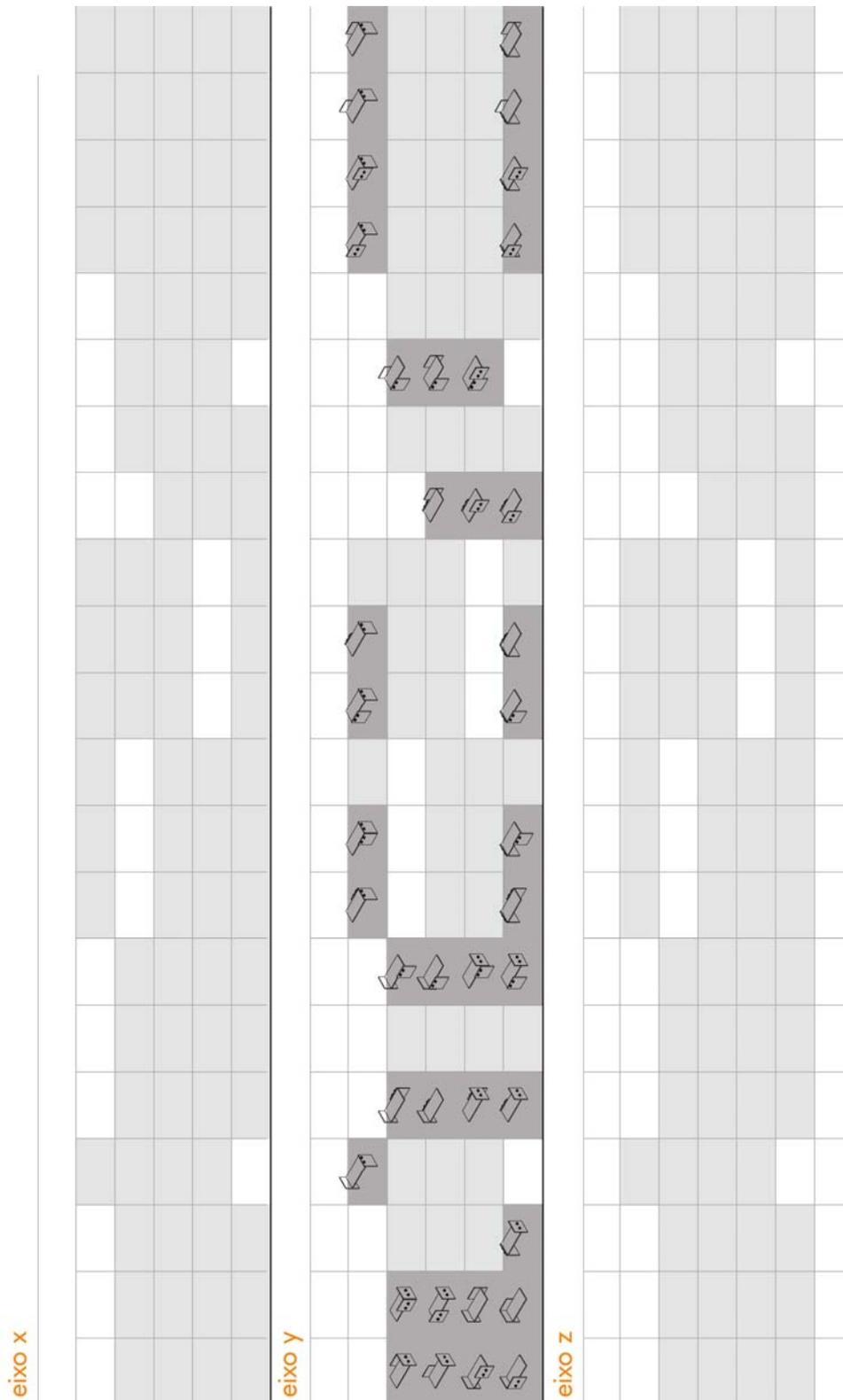


eixo z



APÊNDICE II

Conexão TUSK: Combinações entre regras



APÊNDICE III

LEGENDA

1P:	elemento com conexão em uma posição
M1:	macho na posição 1
M1,3:	macho nas posições 1 e 3
M1,3 = M3,1	elemento simétricos
[HATCH]:	diagonal não gera novos elementos, combinações impossíveis pelas restrições
[CINZA ESCURO]	elementos resultantes desconsiderando os resultados iguais, conexões nas mesmas posições.

CLIP: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo simples:

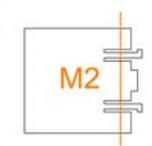
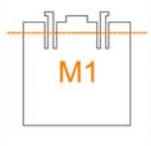
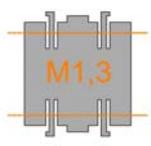
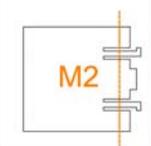
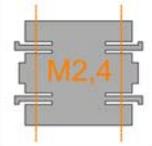
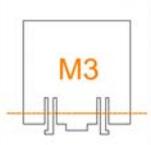
MATRIZ 4 x 4

4 elementos 1P

RESULTADO

4 elementos 2P

2 elementos assimétricos 2P

 1P	 M1	 M2	 M3	 M4
 M1	[HATCH]	[HATCH]	 M1,3	[HATCH]
 M2	[HATCH]	[HATCH]	[HATCH]	 M2,4
 M3	 M3,1	[HATCH]	[HATCH]	[HATCH]
 M4	[HATCH]	 M4,2	[HATCH]	[HATCH]

APÊNDICE III

CLIP: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo duplo

MATRIZ 7 x 7

1 elementos OP
4 elementos 1P
2 elementos 2P

RESULTADO

1 elemento OP
6 elementos 1P
11 elementos 2P
6 elementos 3P
1 elemento 4P
total = 25 elementos

1 elemento OP
2 elementos 1P
5 elementos 2P
2 elementos 3P
1 elemento 4P
total = 11 elementos
assimétricos

	F	M1	M2	M3	M4	M1,3	M2,4
F	F F	F M1	F M2	F M3		F M1,3	
M1	M1 F	M1 M1	M1 M2	M1 M3		M1 M1,3	
M2							
M3	M3 F	M3 M1	M3 M2	M3 M3		M3 M1,3	
M4	M4 F	M4 M1	M4 M2	M4 M3		M4 M1,3	
M1,3	M1,3 F	M1,3 M1	M1,3 M2	M1,3 M3		M1,3 M1,3	
M2,4							

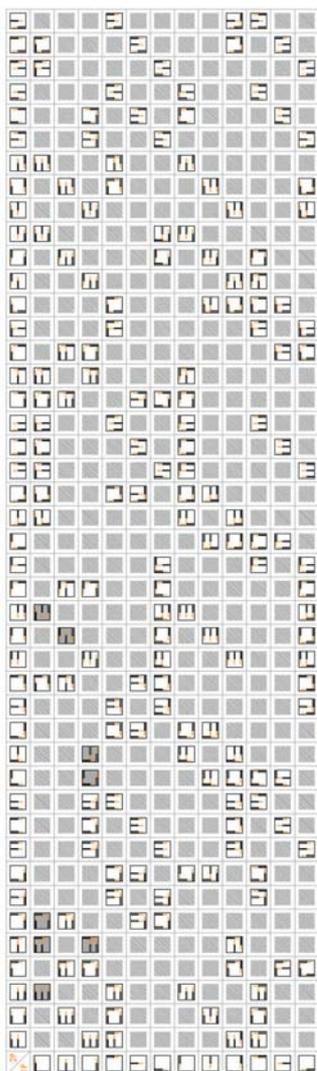
APÊNDICE III

SLOT: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo simples

MATRIZ 12 x 44

12 elementos 1P

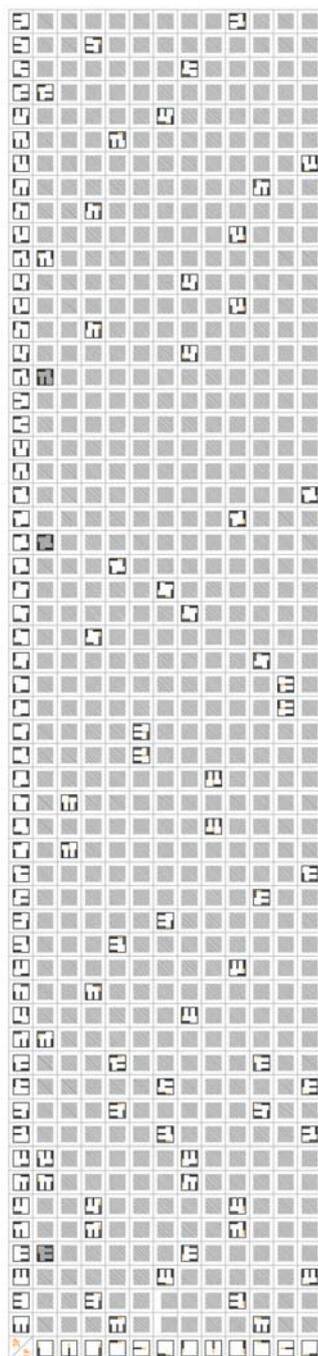
44 elementos 2P



MATRIZ 12 x 56

12 elementos 1P

56 elementos 3P



APÊNDICE III

SLOT: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo duplo

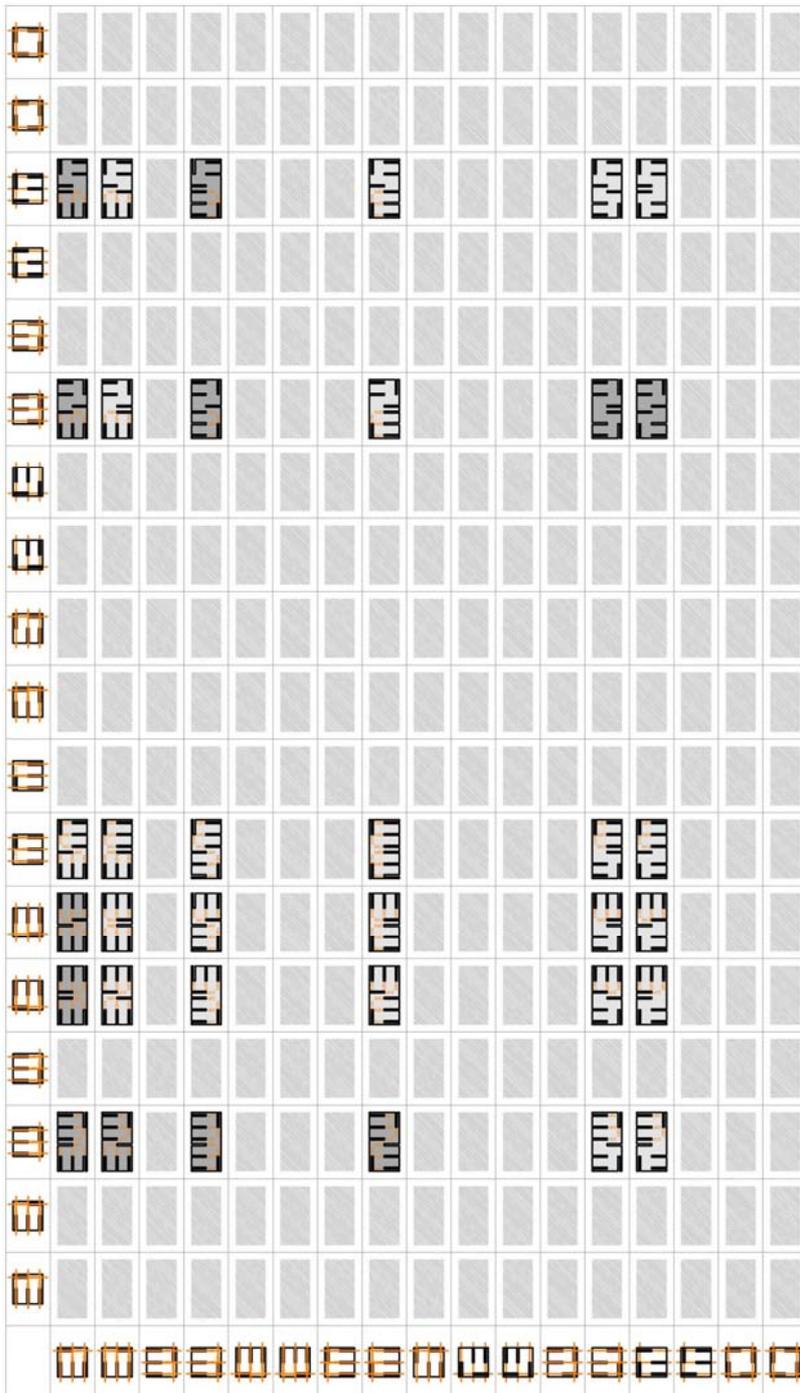
MATRIZ 8 x 8

8 elementos 4P

RESULTADO

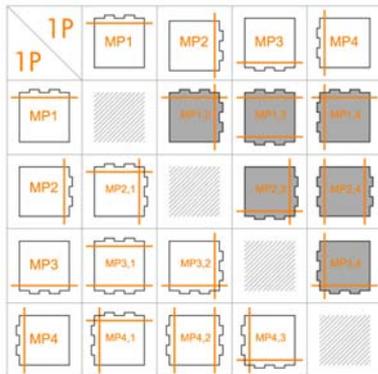
16 elementos 8P

8 elementos assimétricos 8P



APÊNDICE III

FINGER: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo simples



(Macho | Fêmea)

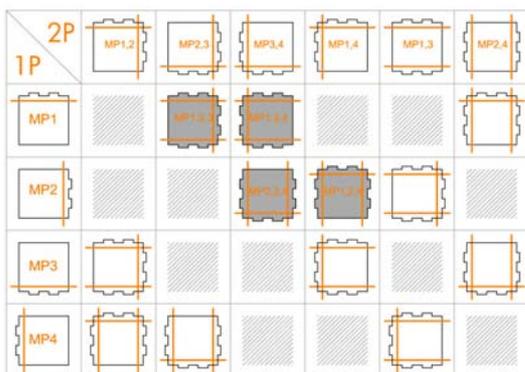
MATRIZ 4 x 4

elementos 1P

RESULTADO

12 elementos 2P

6 elementos assimétricos 2P



MATRIZ 4 x 6

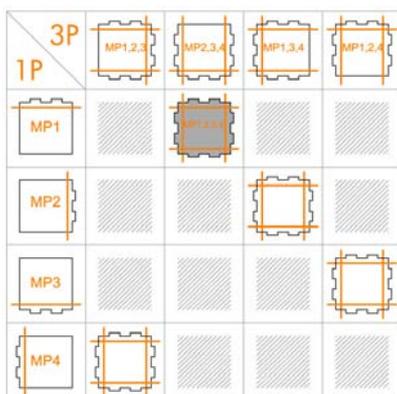
4 elementos 1P

6 elementos 2P

RESULTADO

12 elementos 3P

4 elementos assimétricos 3P



MATRIZ 4 x 4

4 elementos 1P

4 elementos 3P

RESULTADO

4 elementos 4P

1 elemento assimétrico 4P

APÊNDICE III

FINGER: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo simples

(Macho + Fêmea)

MATRIZ

RESULTADO

15 macho x 15 fêmea

elementos P1 = 4

elementos 2P = 12

elementos 2P [M+F] = 2

elementos P2 = 6

elementos 3P = 24

elementos 3P [2M+F] = 2

elementos P3 = 4

elementos 4P = 14

elementos 3P [M+2F] = 2

elemento P4 = 1

total = 50 elementos

elemento 4P [3M+1F] = 1

total = 15

elemento 4P [M+3F] = 1

elemento 4P [2M+2F] = 1

total = 9 elementos assimétricos

	1P 2P 3P	MP1	MP2	MP3	MP4	MP1,2	MP2,3	MP3,4	MP1,4	MP1,3	MP2,4	MP1,2,3	MP2,3,4	MP1,3,4	MP1,2,4	MP1,2,3,4
1P 2P 3P																
FP1																
FP2																
FP3																
FP4																
FP1,2																
FP2,3																
FP3,4																
FP1,4																
FP1,3																
FP2,4																
FP1,2,3																
FP2,3,4																
FP1,3,4																
FP1,2,4																
FP1,2,3,4																

APÊNDICE III

FINGER: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo duplo

(Macho | Fêmea)

MATRIZ 15 x 15

RESULTADO

1 elemento OP

elemento OP = 1

elemento OP = 1

4 elementos 1P

elemento 1P = 6

elemento 1P = 2

6 elementos 2P

elemento 2P = 15

elemento 2P = 6

4 elementos 3P

elemento 3P = 20

elemento 3P = 6

total = 15

elemento 4P = 15

elemento 4P = 6

elemento 5P = 6

elemento 5P = 2

elemento 6P = 1

elemento 6P = 1

total = 64 elementos

total = 24 elementos a assimétricos

APÊNDICE III

FINGER: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo duplo

(Macho + Fêmea)

MATRIZ

63 macho x 63 fêmea

elemento 1P = 6

elemento 2P = 15

elemento 3P = 20

elemento 4P = 15

elemento 5P = 6

elemento 6P = 1

total = 63

RESULTADO

elementos P2 = 30

elementos P3 = 120

elementos P4 = 212

elementos P5 = 172

elementos P6 = 62

total = 596 elementos

elementos P2 = 8

elementos P3 = 32

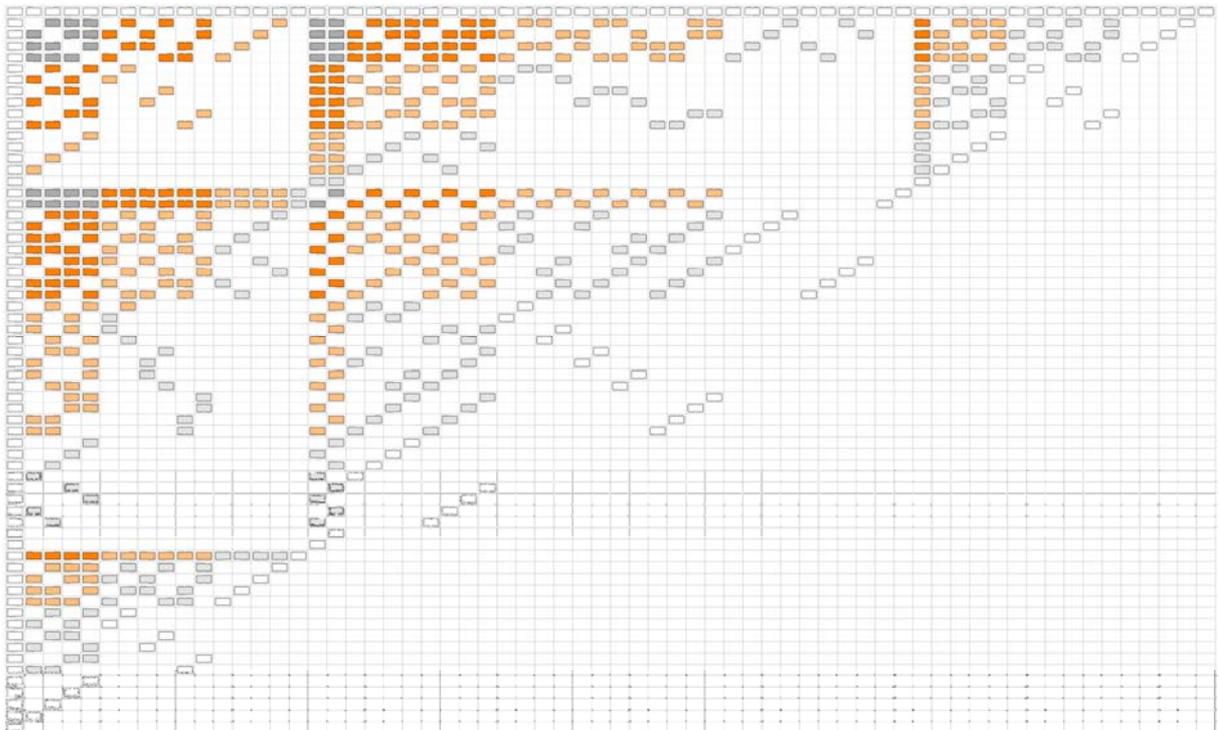
elementos P4 = 59

elementos P5 = 48

elementos P6 = 23

total = 170 elementos

assimétricos



APÊNDICE III

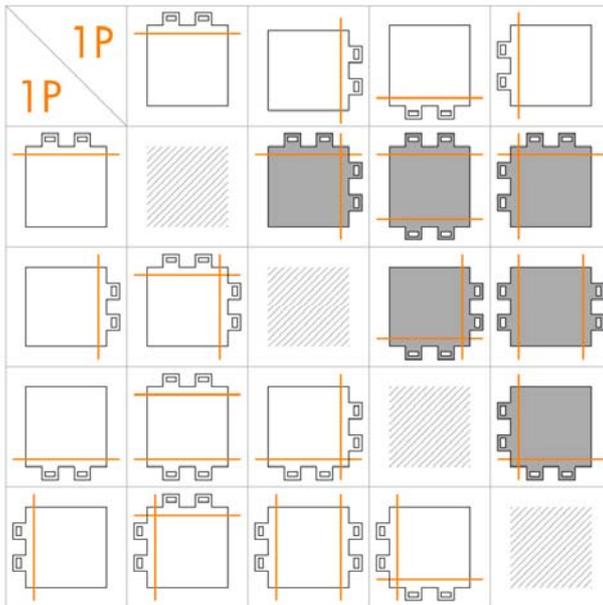
TUSK: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo simples

MATRIZ 4 x 4

RESULTADO

4 elementos 1P

6 elementos 2P



MATRIZ 4 x 6

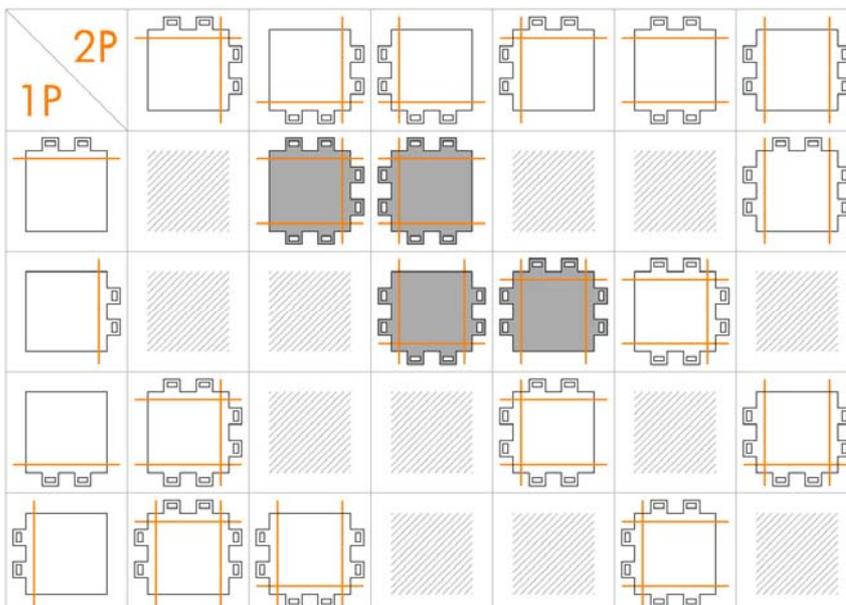
RESULTADO

4 elementos 1P

12 elementos 3P

6 elementos 2P

4 elementos 3P



APÊNDICE III

TUSK: Matrizes para geração de pontos de conexão no módulo duplo

MATRIZ 15 x 15

1 elemento 0P

4 elementos 1P

6 elementos 2P

4 elementos 3P

RESULTADO

1 elemento 0P

6 elemento 1P

15 elemento 2P

20 elemento 3P

15 elemento 4P

6 elemento 5P

1 elemento 6P

total = 64 elementos

1 elemento 0P

2 elemento 1P

6 elemento 2P

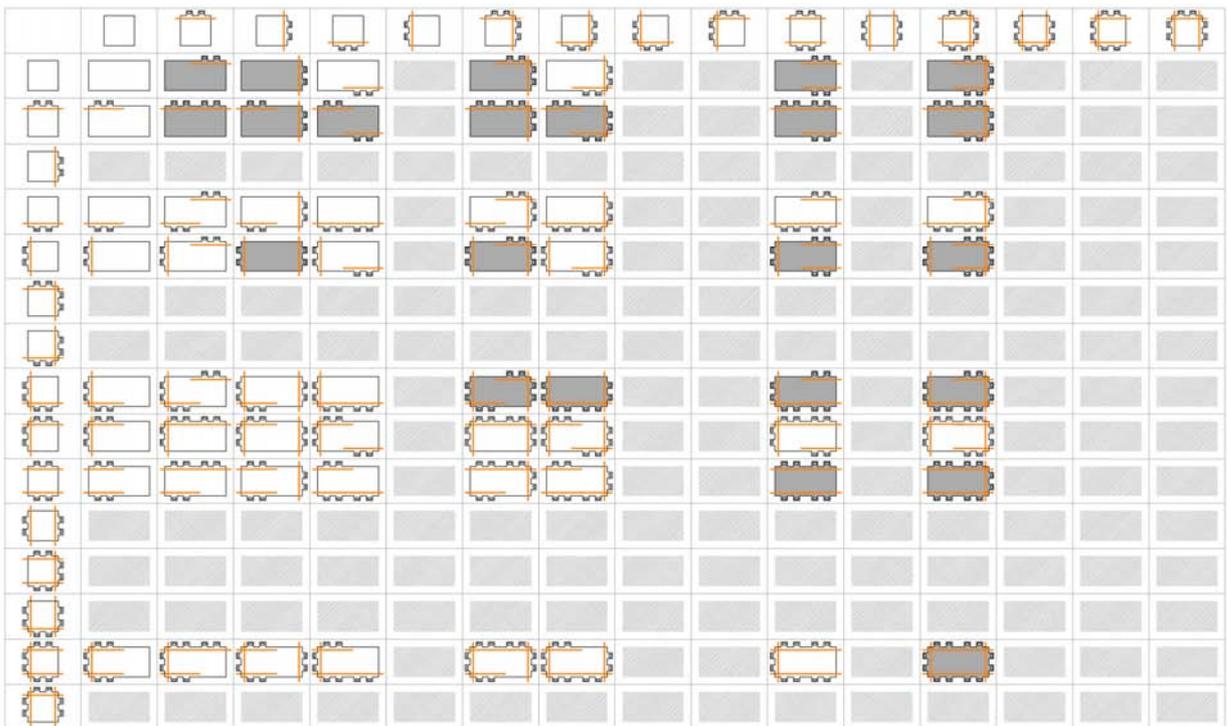
6 elemento 3P

6 elemento 4P

2 elemento 5P

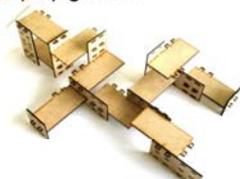
1 elemento 6P

total = 24 elementos a assimétricos



APÊNDICE IV

PARTICIPANTE 1

CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1 estante 	1 banco 	1 estante 	1 divisória de ambientes 
2 mesa + bancos 	2 estante 2 posições 	2 estante 	2 estante 
3 assento + bancada 	3 mesa + cadeiras 	3 móvel escritório + div ambientes 	3 play ground 
4	4 banco público 	4	4
5	5 móvel multiuso 	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7

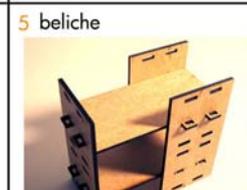
APÊNDICE IV

PARTICIPANTE 2

CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1 mesa 	1 estante 	1 mesa banco 	1 cadeira 
2 banco + mesa 	2 banco + mesa 	2 mesa 	2 banco 
3 mesa + prateleira + estante 	3 banco mesa 	3 	3 estante 
4	4 estante 	4	4 estante 
5	5	5	5 banco + mesa + prateleira 
6	6	6	6
7	7	7	7

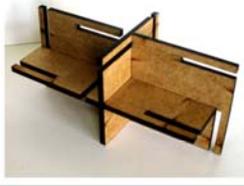
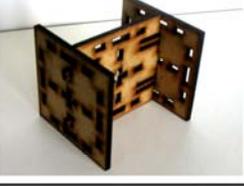
APÊNDICE IV

PARTICIPANTE 3

CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1 cadeira 	1 banco 	1 prateleira-estante-base mesa 	1 quiche de atendimento 
2 namoradeira 	2 mesa jantar 	2 banco aparador 	2 módulo quiche atendimento 
3 mesa 	3 mesa de centro 	3 estante livros 	3 cama casal 
4 aparador 	4	4	4 cadeira 
5 aparador 	5	5	5 beliche 
6	6	6	6
7	7	7	7

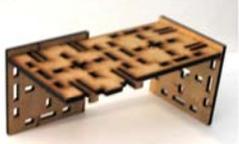
APÊNDICE IV

PARTICIPANTE 4

CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1 criado mudo 	1 estante 	1 mesa para computador 	1 estante 
2 estante 	2 mesa de trabalho 	2 banco 	2 banco 
3 banco 	3 estante 	3 estante 	3 mesa de canto 
4 estante 	4 ilha de trabalho 	4 aparador 	4 estante 
5 base de mesa 	5	5	5 mesa de centro 
6	6	6	6 cadeira 
7	7	7	7 banco 

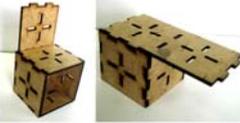
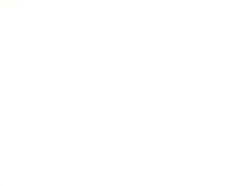
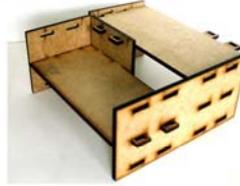
APÊNDICE IV

PARTICIPANTE 5

CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1 parada de ônibus 	1 cadeira 	1 banco 	1 cama criança 
2 cadeira 	2 mostruario roupas 	2 mobiliário público 	2 estante + estação de trabalho 
3 estante 	3 mesa 2 lados 	3 baissa escritório cama 	3 mesa 
4 sofá 	4 estante 	4	4 roupeiro 
5 banco + revisteiro 	5	5	5 estante 
6	6	6	6
7	7	7	7

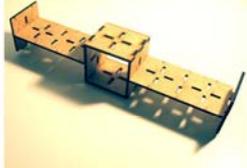
APÊNDICE IV

PARTICIPANTE 6

CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1 cadeira + baú 	1 cadeira bebê 	1 banco 	1 bancos 
2 quiosque 	2 estante 	2 armário 	2 chaise long 
3 cadeira 	3 mesa de centro 	3 estante 	3 beliche 
4 banco 	4 cadeira de praia 	4 banco 	4 bicama 
5 	5 mesa para cama 	5 banquinho 	5 estante escada 
6 	6 mesa de centro 	6 mesa 	6 banco mesa 
7 	7 	7 	7 

APÊNDICE IV

PARTICIPANTE 7

CLIP	SLOT	FINGER	TUSK
1 confessionario 	1 banco alto 	1 mesa 	1 mesa 
2 mesa 	2 cadeira 	2 banco 	2 aparador 
3 banco alto 	3 banco público 	3 mesa centro 	3 banco 
4 estante modular 	4 estante 	4 banco 	4 sofá-cama 
5 mesa tv 	5 mesa 	5 altar 	5
6 prateleiras 	6 prateleiras 	6 mesa 	6
7 biombo 	7 banco revestido 	7	7

APÊNDICE V

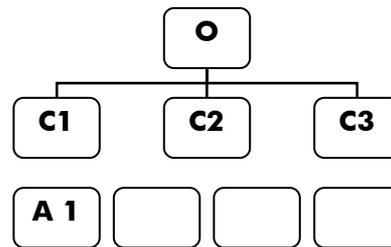
Exemplo para demonstração dos cálculos do Método Analítico Hierárquico:

1. Hierarquia

Nível 1 _ Objetivo

Nível 2 _ Critérios

Nível 3 _ Alternativas



2. Julgamentos

AVALIADOR 1: _____

Matriz O

	C1	C2	C3
C1	1	2	3
C2	1/2	1	1
C3	1/3	1	1

Matriz C1

	A1	A2	A2	A4
A1	1	1/8	1/6	1/3
A2	8	1	3	6
A3	6	1/3	1	4
A4	3	1/6	1/4	1

Matriz C2

	A1	A2	A2	A4
A1	1	3	1/3	2
A2	1/3	1	1/5	1/2
A3	3	5	1	4
A4	1/2	2	1/4	1

Matriz C3

	A1	A2	A2	A4
A1	1	1/4	3	1/2
A2	4	1	8	2
A3	1/3	1/8	1	1/4
A4	2	1/2	4	1

2.1 Método Simplificado para Cálculo do Vetor de Pesos de uma Matriz de Comparações:

Ex: Matriz de comparações das alternativas (A) com relação ao critério (C3).

Passo1: Multiplique todos os n elementos em cada linha da matriz.

	A1	A2	A3	A4	(1)
A1	1	1/4	3	1/2	3/8
A2	4	1	8	2	64
A3	1/3	1/8	1	1/4	1/96
A4	2	1/2	4	1	4

Passo2: Extraia a enésima raiz do produto obtido em (1).

	A1	A2	A3	A4	(2)
A1	1	1/4	3	1/2	0,78
A2	4	1	8	2	2,83
A3	1/3	1/8	1	1/4	0,32
A4	2	1/2	4	1	1,41

Passo3: Normalize (divida cada número pela soma dos números) obtidos em (2) para obter o vetor de pesos (W).

	A1	A2	A3	A4	(2)	(3) = W
A1	1	1/4	3	1/2	0,78	0,15
A2	4	1	8	2	2,83	0,53
A3	1/3	1/8	1	1/4	0,32	0,06
A4	2	1/2	4	1	1,41	0,26

Soma = 5,34

2.2 Método Simplificado para cálculo do autovalor principal de uma matriz de comparações:

Passo 1: Multiplique cada linha da matriz C3 por W.

$$1^{\text{a}} \text{ linha} = 1 \times 0,15 + \frac{1}{4} \times 0,53 + 3 \times 0,06 + \frac{1}{2} \times 0,26 = 0,59$$

$$2^{\text{a}} \text{ linha} = 4 \times 0,15 + 1 \times 0,53 + 8 \times 0,06 + 2 \times 0,26 = 2,13$$

$$3^{\text{a}} \text{ linha} = \frac{1}{3} \times 0,15 + \frac{1}{8} \times 0,53 + 1 \times 0,06 + \frac{1}{4} \times 0,26 = 0,24$$

$$4^{\text{a}} \text{ linha} = 2 \times 0,15 + \frac{1}{2} \times 0,53 + 4 \times 0,06 + 1 \times 0,26 = 1,06$$

Passo 2: Divida o valor obtido em (1) por W obtendo um novo vetor Z. Calcule a média dos valores em Z. Este será o autovetor principal λ_{\max} de C3.

C3 =		A1	A2	A3	A4		(1)	W	Z
	A1	1	1/4	3	1/2		3/8	0,15	4,03
	A2	4	1	8	2		64	0,53	4,01
	A3	1/3	1/8	1	1/4		1/96	0,06	4,03
	A4	2	1/2	4	1		4	0,26	4,01

$$\text{Média} = (4,03 + 4,01 + 4,03 + 4,01) / 4 = 4,02$$

$$\lambda_{\max} = 4,02$$

2.3 Cálculo do Índice de Consistência (CR):

$CR = \frac{CI}{RI}$	CI = Índice de Consistência									
	$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$									
	RI = Índice aleatório de consistência									
	Tabela de valores de RI:									
	n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	RI	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

$$CI = (4,02 - 4) / (4 - 1) = 0,006$$

$$CR = 0,006 / 0,9 = 0,007$$

$CR \leq 0,1$ = matriz consistente! Valores até 0,2 são aceitáveis.

3. Síntese dos resultados

AVALIADOR 1: _____

<p>Matriz O</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td>C1</td><td>C2</td><td>C3</td><td></td></tr> <tr><td>C1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>WO</td></tr> <tr><td>C2</td><td>1/2</td><td>1</td><td>1</td><td>0,20</td></tr> <tr><td>C3</td><td>1/3</td><td>1</td><td>1</td><td>0,72</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,08</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">CR = 0,10</p>		C1	C2	C3		C1	1	2	3	WO	C2	1/2	1	1	0,20	C3	1/3	1	1	0,72					0,08	<p>Matriz C1</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td>A1</td><td>A2</td><td>A2</td><td>A4</td><td></td></tr> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>1/8</td><td>1/6</td><td>1/3</td><td>WC1</td></tr> <tr><td>A2</td><td>8</td><td>1</td><td>3</td><td>6</td><td>0,05</td></tr> <tr><td>A3</td><td>6</td><td>1/3</td><td>1</td><td>4</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>A4</td><td>3</td><td>1/6</td><td>1/4</td><td>1</td><td>0,28</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,10</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">CR = 0,053</p>		A1	A2	A2	A4		A1	1	1/8	1/6	1/3	WC1	A2	8	1	3	6	0,05	A3	6	1/3	1	4	0,57	A4	3	1/6	1/4	1	0,28						0,10											
	C1	C2	C3																																																																						
C1	1	2	3	WO																																																																					
C2	1/2	1	1	0,20																																																																					
C3	1/3	1	1	0,72																																																																					
				0,08																																																																					
	A1	A2	A2	A4																																																																					
A1	1	1/8	1/6	1/3	WC1																																																																				
A2	8	1	3	6	0,05																																																																				
A3	6	1/3	1	4	0,57																																																																				
A4	3	1/6	1/4	1	0,28																																																																				
					0,10																																																																				
<p>Matriz C2</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td>A1</td><td>A2</td><td>A2</td><td>A4</td><td></td></tr> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>3</td><td>1/3</td><td>2</td><td>WC2</td></tr> <tr><td>A2</td><td>1/3</td><td>1</td><td>1/5</td><td>1/2</td><td>0,23</td></tr> <tr><td>A3</td><td>3</td><td>5</td><td>1</td><td>4</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>A4</td><td>1/2</td><td>2</td><td>1/4</td><td>1</td><td>0,54</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,14</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">CR = 0,018</p>		A1	A2	A2	A4		A1	1	3	1/3	2	WC2	A2	1/3	1	1/5	1/2	0,23	A3	3	5	1	4	0,08	A4	1/2	2	1/4	1	0,54						0,14	<p>Matriz C3</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td>A1</td><td>A2</td><td>A2</td><td>A4</td><td></td></tr> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>1/4</td><td>3</td><td>1/2</td><td>WC3</td></tr> <tr><td>A2</td><td>4</td><td>1</td><td>8</td><td>2</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>A3</td><td>1/3</td><td>1/8</td><td>1</td><td>1/4</td><td>0,52</td></tr> <tr><td>A4</td><td>2</td><td>1/2</td><td>4</td><td>1</td><td>0,05</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,26</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">CR = 0,007</p>		A1	A2	A2	A4		A1	1	1/4	3	1/2	WC3	A2	4	1	8	2	0,14	A3	1/3	1/8	1	1/4	0,52	A4	2	1/2	4	1	0,05						0,26
	A1	A2	A2	A4																																																																					
A1	1	3	1/3	2	WC2																																																																				
A2	1/3	1	1/5	1/2	0,23																																																																				
A3	3	5	1	4	0,08																																																																				
A4	1/2	2	1/4	1	0,54																																																																				
					0,14																																																																				
	A1	A2	A2	A4																																																																					
A1	1	1/4	3	1/2	WC3																																																																				
A2	4	1	8	2	0,14																																																																				
A3	1/3	1/8	1	1/4	0,52																																																																				
A4	2	1/2	4	1	0,05																																																																				
					0,26																																																																				

4. Solução final

			WC			WO	SOLUÇÃO FINAL	
			WC1	WC2	WC3	avaliador 1		
00,5	0,23	0,14	x	0,20	=	A1	0,18	
0,57	0,08	0,52		0,72		A2	0,21	
0,28	0,54	0,05		0,08		A3	0,87	
0,01	0,14	0,26				A4	0,14	

						SOLUÇÃO FINAL	
avaliador 1	avaliador 2	avaliador 3				média avaliadores	
0,18	0,43	0,63				A1	0,63
0,21	0,12	0,32				A2	0,32
0,87	0,33	0,19	÷ 3			A3	0,19
0,14	0,27	0,22				A4	0,12

APÊNDICE VI _ AVALIAÇÃO AHP

AVALIAÇÃO PESQUISA

COMPARAÇÃO ENTRE ALTERNATIVAS COM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS - NÍVEL 2									
FLEXIBILIDADE				Autovetor (pesos)			Autovalor (Lambdamax)		
	C	S	F	T	1	2	W21	1	2
C	1,00	0,50	0,33	5,00	0,83333	0,955443	0,1749	0,7345651	4,19989202
S	2,00	1,00	0,25	4,00	2	1,189207	0,21769	0,9189126	4,22113536
F	3,00	4,00	1,00	7,00	84	3,0274	0,55419	2,3221873	4,19025041
T	0,20	0,25	0,14	1,00	0,0	0,290715	0,05322	0,2217909	4,16762086
					Soma	5,46277		Média=	4,19472466
								CI=	0,06490822
									CR
									0,0721

DESEMPENHO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W22	1	2
C	1,00	0,20	0,20	5,00	0,2	0,66874	0,11413	0,4983692	4,3665748
S	5,00	1,00	2,00	7,00	70	2,892508	0,49366	2,0644296	4,18189156
F	5,00	0,50	1,00	7,00	17,5	2,045312	0,34907	1,4685301	4,20698098
T	0,20	0,14	0,14	1,00	0,0	0,25276	0,04314	0,1863546	4,31995003
					Soma	5,85932		Média=	4,26884934
								CI=	0,08961645
									CR
									0,0996

OTIMIZAÇÃO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W23	1	2
C	1,00	2,00	9,00	8,00	144	3,464102	0,52373	2,1543131	4,11343476
S	0,50	1,00	9,00	8,00	36	2,44949	0,37033	1,5221198	4,11016845
F	0,11	0,11	1,00	0,50	0,00617	0,280299	0,04238	0,1735001	4,09416164
T	0,13	0,13	2,00	1,00	0,0	0,420448	0,06357	0,2600781	4,09145456
					Soma	6,61434		Média=	4,10230485
								CI=	0,03410162
									CR
									0,0379

VERSATILIDADE									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W24	1	2
C	1,00	0,33	4,00	4,00	5,33333	1,519671	0,28025	1,1693031	4,17229797
S	3,00	1,00	5,00	5,00	75	2,942831	0,54271	2,268654	4,18023621
F	0,25	0,20	1,00	2,00	0,1	0,562341	0,10371	0,4289728	4,13644878
T	0,25	0,20	0,50	1,00	0,0	0,397635	0,07333	0,3037891	4,14271518
					Soma	5,42248		Média=	4,15792454
								CI=	0,05264151
									CR
									0,0585

COMPARAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS - NÍVEL 1									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	D	F	O	V	1	2	W11	1	2
D	1,00	0,20	0,33	3,00	0,2	0,66874	0,12009	0,4951146	4,12298718
F	5,00	1,00	3,00	6,00	90	3,08007	0,55309	2,3088929	4,17452345
O	3,00	0,33	1,00	5,00	5	1,495349	0,26852	1,104649	4,11382244
V	0,33	0,17	0,20	1,00	0,0	0,324668	0,0583	0,2442159	4,18888375
					Soma	5,56883		Média=	4,1500542
								CI=	0,05001807
									CR
									0,0556

SOLUÇÃO FINAL

W21	W22	W23	W24		W11			
0,174901	0,114133	0,523726	0,280254		0,120086	0,2411	C	3°
0,217693	0,493659	0,37033	0,54271	x	0,553091	0,4303	S	1°
0,554188	0,34907	0,042377	0,103706		0,268521	0,2770	F	2°
0,053218	0,043138	0,063566	0,073331		0,058301	0,0516	T	4°

APÊNDICE VI _ AVALIAÇÃO AHP

AVALIADOR 1

COMPARAÇÃO ENTRE ALTERNATIVAS COM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS - NÍVEL 2									
FLEXIBILIDADE				Autovetor (pesos)			Autovalor (Lambdamax)		
	C	S	F	T	1	2	W21	1	2
C	1,00	0,50	0,17	5,00	0,41667	0,803428	0,1318	0,5499027	4,17236988
S	2,00	1,00	0,25	6,00	3	1,316074	0,21589	0,8822087	4,08634613
F	6,00	4,00	1,00	8,00	192	3,722419	0,61063	2,5984002	4,25524777
T	0,20	0,17	0,13	1,00	0,0	0,254066	0,04168	0,1803481	4,3272163
					Soma	6,09599		Média=	4,21029502
								CI=	0,07009834
									CR
									0,0779

DESEMPENHO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W22	1	2
C	1,00	0,14	0,13	0,25	0,00446	0,258487	0,04456	0,1846955	4,14494419
S	7,00	1,00	0,50	5,00	17,5	2,045312	0,35258	1,4846895	4,21091449
F	8,00	2,00	1,00	4,00	64	2,828427	0,48758	2,0103384	4,12310586
T	4,00	0,20	0,25	1,00	0,2	0,66874	0,11528	0,4859287	4,2151725
					Soma	5,80097		Média=	4,17353426
								CI=	0,05784475
									CR
									0,0643

OTIMIZAÇÃO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W23	1	2
C	1,00	0,14	3,00	5,00	2,14286	1,209897	0,17767	0,752126	4,23339266
S	7,00	1,00	8,00	9,00	504	4,738137	0,69576	2,9996688	4,31133679
F	0,33	0,13	1,00	2,00	0,08333	0,537285	0,0789	0,3204392	4,06150739
T	0,20	0,11	0,50	1,00	0,0	0,324668	0,04768	0,1999636	4,19428398
					Soma	6,80999		Média=	4,20013021
								CI=	0,06671007
									CR
									0,0741

VERSATILIDADE									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W24	1	2
C	1,00	0,20	0,20	3,00	0,12	0,588566	0,10436	0,4597023	4,40510766
S	5,00	1,00	0,33	3,00	5	1,495349	0,26514	1,1649135	4,39365903
F	5,00	3,00	1,00	7,00	105	3,201086	0,56757	2,3253047	4,09692224
T	0,33	0,33	0,14	1,00	0,0	0,354948	0,06293	0,2671805	4,24536541
					Soma	5,63995		Média=	4,28526359
								CI=	0,09508786
									CR
									0,1057

COMPARAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS - NÍVEL 1									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	D	F	O	V	1	2	W11	1	2
D	1,00	0,25	4,00	6,00	6	1,565085	0,25943	1,0933686	4,21458019
F	4,00	1,00	6,00	7,00	168	3,600206	0,59676	2,5520877	4,2765525
O	0,25	0,17	1,00	2,00	0,08333	0,537285	0,08906	0,3628812	4,07460362
V	0,17	0,14	0,50	1,00	0,0	0,330316	0,05475	0,2277716	4,16001542
					Soma	6,03289		Média=	4,18143793
								CI=	0,06047931
									CR
									0,0672

SOLUÇÃO FINAL

W21	W22	W23	W24	x	W11			
0,131796	0,044559	0,177665	0,104357		0,259425	0,0823	C	3°
0,215892	0,352581	0,695763	0,265135		0,596763	0,3429	S	2°
0,610634	0,487579	0,078897	0,567574		0,089059	0,4875	F	1°
0,041678	0,115281	0,047675	0,062935		0,054753	0,0873	T	4°

APÊNDICE VI _ AVALIAÇÃO AHP

AVALIADOR 2

COMPARAÇÃO ENTRE ALTERNATIVAS COM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS - NÍVEL 2									
FLEXIBILIDADE				Autovetor (pesos)			Autovalor (Lambdamax)		
	C	S	F	T	1	2	W21	1	2
C	1,00	0,14	0,33	5,00	0,2381	0,698534	0,10472	0,4498224	4,2955687
S	7,00	1,00	6,00	9,00	378	4,409334	0,66101	2,9106318	4,40333337
F	3,00	0,17	1,00	6,00	3	1,316074	0,19729	0,8435074	4,27539113
T	0,20	0,11	0,17	1,00	0,0	0,246694	0,03698	0,1642531	4,44141947
					Soma	6,67064		Média=	4,35392817
								CI=	0,11797606
									CR
									0,1311

DESEMPENHO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W22	1	2
C	1,00	6,00	9,00	3,00	162	3,567621	0,567	2,3969872	4,22747675
S	0,17	1,00	5,00	0,20	0,16667	0,638943	0,10155	0,4434172	4,36661218
F	0,11	0,20	1,00	0,14	0,00317	0,237368	0,03772	0,1629954	4,32063193
T	0,33	5,00	7,00	1,00	11,7	1,848148	0,29373	1,2545369	4,27111252
					Soma	6,29208		Média=	4,29645834
								CI=	0,09881945
									CR
									0,1098

OTIMIZAÇÃO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W23	1	2
C	1,00	0,25	0,14	5,00	0,17857	0,650059	0,10004	0,4328414	4,32687772
S	4,00	1,00	0,25	7,00	7	1,626577	0,25031	1,0594271	4,23248521
F	7,00	4,00	1,00	9,00	252	3,984283	0,61313	2,643361	4,31126975
T	0,20	0,14	0,11	1,00	0,0	0,237368	0,03653	0,1604186	4,39168573
					Soma	6,49829		Média=	4,31557961
								CI=	0,1051932
									CR
									0,1169

VERSATILIDADE									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W24	1	2
C	1,00	0,33	4,00	6,00	8	1,681793	0,28735	1,2222433	4,25343383
S	3,00	1,00	5,00	7,00	105	3,201086	0,54694	2,3272831	4,2550671
F	0,25	0,20	1,00	5,00	0,25	0,707107	0,12082	0,5264646	4,35751317
T	0,17	0,14	0,20	1,00	0,0	0,262691	0,04488	0,1950747	4,34620592
					Soma	5,85268		Média=	4,303055
								CI=	0,10101833
									CR
									0,1122

COMPARAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS - NÍVEL 1									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	D	F	O	V	1	2	W11	1	2
D	1,00	3,00	5,00	6,00	90	3,08007	0,52978	2,2939494	4,32997125
F	0,33	1,00	6,00	6,00	12	1,86121	0,32014	1,3972145	4,36445039
O	0,20	0,17	1,00	3,00	0,1	0,562341	0,09672	0,4161052	4,30194573
V	0,17	0,17	0,33	1,00	0,0	0,310202	0,05336	0,2272507	4,25915054
					Soma	5,81382		Média=	4,31387948
								CI=	0,10462649
									CR
									0,1163

SOLUÇÃO FINAL

W21	W22	W23	W24	x	W11			
0,104718	0,567002	0,100035	0,287354		0,529784	0,2620	C	2°
0,661006	0,101547	0,250309	0,546944		0,320135	0,4361	S	1°
0,197294	0,037725	0,613128	0,120818		0,096725	0,1824	F	3°
0,036982	0,293726	0,036528	0,044884		0,053356	0,1196	T	4°

APÊNDICE VI _ AVALIAÇÃO AHP

AVALIADOR 3

COMPARAÇÃO ENTRE ALTERNATIVAS COM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS - NÍVEL 2									
FLEXIBILIDADE				Autovetor (pesos)			Autovalor (Lambdamax)		
	C	S	F	T	1	2	W21	1	2
C	1,00	1,00	0,20	3,00	0,6	0,880112	0,15189	0,6224767	4,09820803
S	1,00	1,00	0,33	7,00	2,333333	1,235931	0,2133	0,8870936	4,15895226
F	5,00	3,00	1,00	9,00	135	3,408658	0,58827	2,4065171	4,09085607
T	0,33	0,14	0,11	1,00	0,0	0,269702	0,04655	0,1930094	4,14669962
					Soma	5,7944		Média=	4,12367899
								CI=	0,04122633
									CR
									0,0458

DESEMPENHO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W22	1	2
C	1,00	7,00	6,00	1,00	42	2,54573	0,45899	1,8594621	4,05120701
S	0,14	1,00	1,00	0,33	0,04762	0,467138	0,08422	0,3492718	4,14694045
F	0,17	1,00	1,00	0,14	0,02381	0,392815	0,07082	0,2866834	4,04784937
T	1,00	3,00	7,00	1,00	21,0	2,140695	0,38596	1,5933898	4,12835128
					Soma	5,54638		Média=	4,09358703
								CI=	0,03119568
									CR
									0,0347

OTIMIZAÇÃO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W23	1	2
C	1,00	2,00	9,00	7,00	126	3,350369	0,52832	2,1672191	4,10209614
S	0,50	1,00	8,00	6,00	24	2,213364	0,34903	1,4313791	4,101073
F	0,11	0,13	1,00	0,33	0,00463	0,260847	0,04113	0,1706373	4,14842313
T	0,14	0,17	3,00	1,00	0,1	0,516973	0,08152	0,3385659	4,1530852
					Soma	6,34155		Média=	4,12616937
								CI=	0,04205646
									CR
									0,0467

VERSATILIDADE									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W24	1	2
C	1,00	0,50	0,33	0,20	0,03333	0,427287	0,08683	0,3516475	4,04979634
S	2,00	1,00	1,00	0,33	0,66667	0,903602	0,18363	0,7359445	4,00786632
F	3,00	1,00	1,00	0,33	1	1	0,20321	0,8227754	4,04880304
T	5,00	3,00	3,00	1,00	45,0	2,59002	0,52633	2,1210026	4,02979933
					Soma	4,92091		Média=	4,03406626
								CI=	0,01135542
									CR
									0,0126

COMPARAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS - NÍVEL 1									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	D	F	O	V	1	2	W11	1	2
D	1,00	0,20	3,00	4,00	2,4	1,244666	0,20366	0,847269	4,16025374
F	5,00	1,00	6,00	8,00	240	3,935979	0,64402	2,6919261	4,17985879
O	0,33	0,17	1,00	2,00	0,11111	0,57735	0,09447	0,385392	4,07957246
V	0,25	0,13	0,50	1,00	0,0	0,353553	0,05785	0,2365018	4,08818716
					Soma	6,11155		Média=	4,12696804
								CI=	0,04232268
									CR
									0,047

SOLUÇÃO FINAL

W21	W22	W23	W24		W11			
0,15189	0,45899	0,52832	0,086831	x	0,203658	0,3815	C	1º
0,213297	0,084224	0,349025	0,183625		0,644023	0,1413	S	4º
0,588267	0,070824	0,041133	0,203214		0,094469	0,1811	F	3º
0,046545	0,385963	0,081522	0,52633		0,05785	0,2962	T	2º

APÊNDICE VI _ AVALIAÇÃO AHP

AVALIADOR 4

COMPARAÇÃO ENTRE ALTERNATIVAS COM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS - NÍVEL 2									
FLEXIBILIDADE				Autovetor (pesos)			Autovalor (Lambdamax)		
	C	S	F	T	1	2	W21	1	2
C	1,00	1,00	0,20	7,00	1,4	1,087757	0,17358	0,7145109	4,11639296
S	1,00	1,00	0,20	7,00	1,4	1,087757	0,17358	0,7145109	4,11639296
F	5,00	5,00	1,00	9,00	225	3,872983	0,61802	2,6671893	4,31566984
T	0,14	0,14	0,11	1,00	0,0	0,218218	0,03482	0,1530845	4,39623522
					Soma	6,266672		Média=	4,23617274
								CI=	0,07872425
									CR
									0,0875

DESEMPENHO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W22	1	2
C	1,00	7,00	5,00	3,00	105	3,201086	0,56381	2,3280372	4,12909626
S	0,14	1,00	0,33	0,20	0,00952	0,312394	0,05502	0,227505	4,13476313
F	0,20	3,00	1,00	0,33	0,2	0,66874	0,11779	0,4834092	4,1041179
T	0,33	5,00	3,00	1,00	5,0	1,495349	0,26338	1,0797876	4,09975811
					Soma	5,67757		Média=	4,11693385
								CI=	0,03897795
									CR
									0,0433

OTIMIZAÇÃO									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W23	1	2
C	1,00	1,00	9,00	9,00	81	3	0,45	1,8	4
S	1,00	1,00	9,00	9,00	81	3	0,45	1,8	4
F	0,11	0,11	1,00	1,00	0,01235	0,333333	0,05	0,2	4
T	0,11	0,11	1,00	1,00	0,0	0,333333	0,05	0,2	4
					Soma	6,66667		Média=	4
								CI=	0
									CR
									0

VERSATILIDADE									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	C	S	F	T	1	2	W24	1	2
C	1,00	0,33	0,33	0,20	0,02222	0,386097	0,07759	0,3156614	4,06832083
S	3,00	1,00	1,00	0,33	1	1	0,20096	0,8081868	4,02163221
F	3,00	1,00	1,00	0,33	1	1	0,20096	0,8081868	4,02163221
T	5,00	3,00	3,00	1,00	45,0	2,59002	0,52049	2,1141999	4,06194036
					Soma	4,97612		Média=	4,0433814
								CI=	0,01446047
									CR
									0,0161

COMPARAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS - NÍVEL 1									
Autovetor (pesos)				Autovalor (Lambdamax)					
	D	F	O	V	1	2	W11	1	2
D	1,00	5,00	3,00	7,00	105	3,201086	0,56381	2,3280372	4,12909626
F	0,20	1,00	0,33	3,00	0,2	0,66874	0,11779	0,4834092	4,1041179
O	0,33	3,00	1,00	5,00	5	1,495349	0,26338	1,0797876	4,09975811
V	0,14	0,33	0,20	1,00	0,0	0,312394	0,05502	0,227505	4,13476313
					Soma	5,67757		Média=	4,11693385
								CI=	0,03897795
									CR
									0,0433

SOLUÇÃO FINAL

W21	W22	W23	W24	x	W11			
0,173577	0,563813	0,45	0,07759		0,563813	0,2871	C	2°
0,173577	0,055022	0,45	0,20096		0,117786	0,2339	S	3°
0,618024	0,117786	0,05	0,20096		0,263378	0,3865	F	1°
0,034822	0,263378	0,05	0,52049		0,055022	0,0925	T	4°