

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**JUAN DIEGO FRUTOS**

**UM MODELO PARA CONFIGURAÇÃO DE PRODUTOS  
OFERECIDOS EM UM AMBIENTE DE CUSTOMIZAÇÃO EM  
MASSA**

**Porto Alegre  
2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**JUAN DIEGO FRUTOS**

**UM MODELO PARA CONFIGURAÇÃO DE PRODUTOS  
OFERECIDOS EM UM AMBIENTE DE CUSTOMIZAÇÃO EM  
MASSA**

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Administração.**

**Orientador: Prof. DENIS BORENSTEIN**

**Porto Alegre  
2006**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F945m Frutos, Juan Diego

Um modelo para configuração de produtos oferecidos em um ambiente de customização em massa / Juan Diego Frutos – Porto Alegre, 2006.  
162 f. : il.

Tese. (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2006.

“Orientador: Prof. Dr. Denis Borenstein”

1. Customização em massa. 2. Sistemas de apoio à decisão. 3. Projeto colaborativo. I. Título.

CDU 681.3

**Elaborada pela equipe da Biblioteca da Escola de Administração da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**JUAN DIEGO FRUTOS**

**UM MODELO PARA CONFIGURAÇÃO DE PRODUTOS  
OFERECIDOS EM UM AMBIENTE DE CUSTOMIZAÇÃO EM  
MASSA**

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Administração da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Doutor em Administração.**

Conceito final .....

Aprovado em .....de ..... de 2006.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dra. Carin Maria Schmitt – DECIV/UFRGS

---

Dr. Walter Fernando Araújo de Moraes – PROPAD/DCA/UFPE

---

Dr. Eduardo Ribas Santos – PPGA/EA/UFRGS

Orientador: Dr. Denis Borenstein – PPGA/EA/UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Denis Borenstein. Obrigado pela orientação, a contínua motivação e paciência. Ao Denis e ao professor Eduardo, pela colaboração e as idéias sugeridas. Obrigado pela oportunidade de trabalhar com vocês.

Aos colegas de doutorado e mestrado da área de sistemas: Marta, Maurício, Maurício Bahiano, Tatiana, Fabrizio e Cláudio. Muito obrigado por participar na pesquisa.

À Capes e ao PPGA pelo apoio econômico à pesquisa e a oportunidade de fazer o curso de doutorado.

Ao amigo André, pela amizade e companheirismo. Aos pais do André, obrigado pela freqüente atenção. Aos amigos Jorge, JC, Ana, Dori, Líria e Geovani.

À Natalia.

Aos meus pais e irmãos.

## RESUMO

A Customização em massa é um conceito emergente na indústria orientada a fornecer produtos e serviços customizados através de processos flexíveis, em grandes volumes e a custos razoavelmente baixos. A customização de produtos é uma estratégia chave para conseguir a satisfação do cliente com produtos exclusivos e preços razoáveis. Este trabalho de tese propõe um modelo de customização de produtos para facilitar o projeto e colaboração do cliente no processo de selecionar a configuração de um produto. O modelo integra as técnicas de modelagem orientada a objetos, análise de decisão multi-atributo e programação linear inteira. O objetivo do modelo é dar suporte à customização de produtos/serviços, em que as escolhas do cliente são gerenciadas pela relevância relativa de um conjunto de atributos sobre um conjunto de combinações de componentes oferecidas pela empresa, e com a limitação de restrições técnicas, estéticas e financeiras, que definem interativamente projetistas e consumidores. A integração das técnicas resulta em uma representação do processo de configuração que considera, simultaneamente, a abordagem técnica, explícita e objetiva dos projetistas e a abordagem baseada em intenções e preferências do consumidor. Com o modelo desenvolvido, o cliente pode definir regras e fornecer informação que pode ser utilizada para representar o conhecimento tácito em um modelo de programação linear que otimiza a sua utilidade específica. O modelo computacional é capaz de implementar o processo cognitivo que caracteriza a configuração de produtos em um ambiente de customização em massa de forma explícita, dinâmica e flexível. Experimentos foram realizados para exemplificar como é utilizado o programa e um estudo de caso foi desenvolvido para validar o modelo.

**Palavras Chave:** Customização de Massa, Configuração de Produtos, Intercâmbio de Conhecimento, Modelagem Orientada a Objetos, Sistemas de Apoio à Decisão.

## **ABSTRACT**

Mass customization is an emergent concept in industry intended to provide customized products or services through flexible process in high volumes and at reasonably low costs. Product customization is an important strategy for accomplishing customer's satisfaction with exclusive products at reasonable prices. This research proposes a product customization model for facilitating design and customer collaboration in the process of selecting product configuration. The model integrates object-oriented programming, multiattribute decision analysis, and integer linear programming. The integration of these techniques results in the representation of the MC business process taking into account simultaneously the technical, explicit, and objective view taken by designers and the customer's view based on intentions and perceptions. The main goal of the model is to support product/service customization where customer choice is managed by the relative relevance of a set of attributes as well as a set of component combinations offered by the company, and restrained by a set of technical, aesthetical, and financial constraints defined interactively by designers and customers. Using the developed model, the customer can define rules and provide information that can be used to represent tacit knowledge which is incorporated in an integer linear programming (ILP) model that optimizes the utility of a specific customer. The question of whether such computational model satisfies the requirements of users is examined on the basis of a validation process, in which an extensive number of qualitative tests were carried out. So far, it is shown that the model has enormous potential as a valuable prescriptive decision aid for mass customization environments.

**Key Words:** Mass Customization, Product Configuration, Knowledge, Object-Oriented Modeling, Decision Support Systems.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ranking de Alterações de Projeto mais encomendadas .....	57
Tabela 2 – Importância das Alterações .....	58
Tabela 3 – Opções oferecidas para configurar cada componente .....	89
Tabela 4 – Atributos Definidos para cada Opção .....	92
Tabela 5 – Pesos Definidos para cada Atributo .....	92
Tabela 6 – Valores Computados para cada Opção.....	93
Tabela 7 – Restrições .....	96
Tabela 8 – Resultados da Customização do Produto .....	96
Tabela 9 – Opções oferecidas para configurar a planta do Apartamento Tipo A ...	107
Tabela 10 – Opções oferecidas para configurar a planta do Apartamento Tipo B .	107
Tabela 11 – Opções oferecidas para configurar os pisos dos Apartamentos Tipo A e B .....	107
Tabela 12 – Atributos definidos para a Avaliação de cada Componente o os Pesos Relativos.....	111
Tabela 13 – Valores determinados para cada opção para o caso do proprietário A7 .....	112
Tabela 14 – Valores obtidos para cada Opção .....	113
Tabela 15 – Resultados da Customização.....	115
Tabela 16 – Resultados de FO e Orçamento para Customização .....	116
Tabela 17 – Importância da Customização .....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenvolvimento de Mercado .....	18
Figura 2 – Matriz de tipos de CM .....	21
Figura 3 – As quatro abordagens de Customização .....	22
Figura 4 – Exemplo de Abordagens Cosmética de Customização.....	23
Figura 5 – Um contínuo de estratégias .....	23
Quadro 1 – Níveis de Customização em massa .....	24
Figura 6 – Implicações econômicas da Customização em Massa .....	27
Figura 7– Tipos de modularidade.....	30
Figura 8 – Diferencias entre Necessidades Objetivas e Subjetivas dos Clientes.....	36
Quadro 2 – Principais características dos paradigmas Objetivista e Subjetivista.....	44
Figura 9 – Processo de Customização.....	51
Figura 10 – Método Proposto .....	53
Figura 11 – Processamento dos Requisitos do Cliente.....	55
Figura 12 – Diagrama de Classes para o Processo de Customização em Massa ....	62
Figura 13 – Exemplo de Diagrama de Classes para o Produto Mesa .....	63
Figura 14– Fluxograma de Atividades .....	66
Figura 15– Diagramas de Estados para o objeto Produto.....	67
Figura 16 – Modelo Dinâmico.....	68
Figura 17 – Valores de Entrada e Saída .....	70
Figura 18 – O Modelo Funcional (Diagrama de Fluxo de Dados a Nível Macro) ....	70
Figura 19 – Processo <b>Ler Entradas</b> .....	70
Figura 20 – Processo <b>Configurar</b> .....	71
Figura 21 – O Método do Modelo Multi-Atributo.....	76
Figura 22 – Arquitetura do Sistema.....	82
Figura 23 – Exemplo de Interface de Cliente para o caso de uma Empresa Construtora .....	82
Figura 24 – DB Manager – A Interface com a Empresa.....	84

Figura 25 – Sistema ACCESS / Gerenciador do Banco de Dados.....	85
Figura 26 – Sistema RANKING / Módulo de Elucidação de Preferências.....	86
Figura 27 – Sistema EXCELL / Ferramenta Solver .....	87
Figura 28 – Tela de Acesso para Clientes .....	90
Figura 29 – Informação sobre Componentes .....	91
Figura 30 – Exemplo de Função de Valor para o Atributo Preço .....	93
Figura 31 – Resumo de Alterações Realizadas .....	97
Figura 32 – Frente e Fundos do Condomínio Cramer.....	104
Figura 33 – Cortes do Condomínio Cramer.....	105
Figura 34 – Planta do Condomínio Cramer.....	106
Figura 35 – Planta do Edifício e Opções.....	109
Figura 36 – Entrevistado A7: Critérios definidos para o Piso da Sala.....	110
Figura 37 – Entrevistado A7: Pesos dos Critérios definidos para o Piso da Sala....	110
Figura 38 - Entrevistado A7: Coeficientes da Função de Valor para o Piso da Sala	111
Figura 39 – Opiniões dos Proprietários.....	119
Figura 40 – Orçamento da Customização e Receita Familiar .....	119

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1	CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA – DEFINIÇÕES E CONCEITO.....	15
2.2	CUSTOMIZAÇÃO.....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Tipologias</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Customização e Flexibilidade</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Análise Econômica da Customização</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Fatores de Sucesso</b> .....	<b>27</b>
2.3	INTRODUÇÃO À MODULARIDADE .....	28
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE TRABALHOS PRÉVIOS RELACIONADOS</b> .....	<b>31</b>
3.1	O DESENVOLVIMENTO DE VARIEDADE DE PRODUTOS MODULARES...32	
3.2	ENVOLVIMENTO E INTERAÇÃO DOS CLIENTES.....34	
3.3	SISTEMAS DE INTERAÇÃO E CONFIGURAÇÃO EM AMBIENTES DE CM.37	
<b>4</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	<b>41</b>
4.1	ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS .....	41
4.2	OBJETIVOS DA PESQUISA .....	44
<b>4.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>44</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>44</b>
4.3	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	44
4.4	PROCEDIMENTO DE PESQUISA .....	45
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO COLABORATIVO PARA A CONFIGURAÇÃO DE PRODUTOS CUSTOMIZÁVEIS</b> .....	<b>48</b>
5.1	O PROCESSO DE CUSTOMIZAÇÃO.....	48
5.2	O MÉTODO COLABORATIVO DESENVOLVIDO.....	52
5.3	DEFINIÇÃO DE REQUISITOS DE CUSTOMIZAÇÃO .....	53

5.4	O MODELO ORIENTADO A OBJETOS .....	57
<b>5.4.1</b>	<b>O Modelo Dinâmico .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4.2</b>	<b>O Modelo Funcional .....</b>	<b>69</b>
5.5	MODELO PARA ELUCIDAÇÃO DAS PREFERÊNCIAS .....	72
5.6	MODELO PARA CONFIGURAÇÃO ÓTIMA DO PRODUTO .....	76
5.7	DESCRIÇÃO DO SAD .....	79
6	EXEMPLO DE APLICAÇÃO .....	88
7	VALIDAÇÃO .....	99
7.1	REALIZAÇÃO DE TESTES COM OS CLIENTES .....	103
7.2	CONCLUSÕES SOBRE OS EXPERIMENTOS .....	116
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>121</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>125</b>
	<b>APENDICE A .....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>138</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>140</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Customização em Massa (CM) pode ser definida como a habilidade de prover produtos e serviços projetados individualmente para cada cliente através da implementação de processos em série, baseados em flexibilidade, agilidade e integração (PINE et al., 1993). O principal objetivo da CM é entregar produtos e serviços que melhor traduzam as escolhas individuais de clientes segundo as suas necessidade e preferências. A CM procura transformar as incertezas do mercado (incertezas sobre as tendências nas preferências de demanda) em recursos de vantagem competitiva, com a produção de itens significativos para os clientes, com mais valor que os produtos concorrentes e viáveis de projetar, manufaturar e distribuir (HART, 1995). A justificativa básica para o desenvolvimento da CM é a necessidade de trabalhar com uma demanda crescente por produtos inovadores e customizados (LAU, 1995). O sucesso desta estratégia depende do compromisso que se estabelece entre, de um lado, o sacrifício potencial que clientes farão para obter um produto customizado (quanto eles pagarão a mais e quanto terão que esperar por produtos oriundos da CM), e de outro lado, a habilidade da empresa de produzir e entregar produtos individualizados segundo padrões de tempo e custos aceitáveis pelo mercado.

A implementação da CM é uma tarefa complexa e intrigante que envolve a solução de um paradoxo: **produzir à maneira da produção em massa e tratar os clientes de forma individual**. Em outras palavras, o objetivo da CM é fornecer produtos e serviços que melhor sirvam às necessidades dos clientes enquanto mantém-se a eficiência da produção em massa (JIAO et al., 1998). Existe um consenso na literatura (PINE et al., 1993; ULRICH e TUNG, 1991) de que a implementação bem sucedida da CM requer o envolvimento dos clientes na especificação do produto e o uso efetivo de produtos modulares. O envolvimento do cliente fornece a **customização** enquanto que a modularidade fornece as bases para a escala ou **massa** na produção. Como resultado, a peculiaridade do conceito

**customização em massa** está na dicotomia entre os dois termos, o que só pode ser resolvido pelo uso extensivo de conhecimento acerca de como configurar produtos modulares para satisfazer necessidades individuais de clientes com diferentes preferências, anseios e desejos.

Embora a literatura descreva alguns sistemas desenvolvidos para auxiliar o projeto colaborativo em ambientes de CM (DU et al., 2002; TUROWSKI, 2002), esses sistemas têm foco apenas no aspecto da modularidade, relegando o completo aspecto de envolvimento do cliente. Considerando-se que é inadvertida a integração entre as preferências dos clientes e as habilidades técnicas dos projetistas em desenvolver produtos modulares, cria-se um vazio na literatura acadêmica. A principal contribuição desta pesquisa é a construção de um método, e sua implementação computacional, que enfatiza a integração destes dois aspectos em ambientes de CM. Esta integração entre dois aspectos em ambientes de CM permitirá uma troca de conhecimento, cujo principal resultado é fornecer um produto customizado que maximiza a utilidade do cliente a preços razoáveis.

Este trabalho de pesquisa aborda o envolvimento do cliente em um contexto de CM no qual configuram-se produtos como uma combinação modular e finita de componentes padronizados. A tarefa é complexa desde um ponto de vista informacional devido à necessidade de um alto nível de integração entre todos os agentes envolvidos (clientes, fabricantes e seus fornecedores). Aliás, grande parte do conhecimento requerido para a especificação do produto é tácito e precisa ser formalmente adquirido por clientes, alguns sem experiência neste processo. Em consequência, o processo de decisão envolvido na customização de produtos apresenta uma grande complexidade, decorrente do grande número de possíveis combinações de componentes ou módulos. Desta forma, o sucesso da implementação de um ambiente integrado de CM depende:

- da eficiência do fluxo de informações através de todos os agentes envolvidos; e
- de como as necessidades, preferências e restrições dos clientes são coletadas, armazenadas e processadas.

Este trabalho apresenta, especificamente, o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão (SAD) para o processo de configuração de produtos em ambientes de customização em massa. A ferramenta desenvolvida permite a troca de conhecimento entre clientes e projetistas, através da construção de um ambiente que captura e explicita as necessidades e aspirações dos clientes. O sistema foi modelado para aplicação no domínio específico da customização modular, de modo que suas características serão moldadas para contemplar produtos formados pela união de vários componentes padronizados. O sistema foi projetado utilizando uma combinação de programação orientada a objetos, análise de decisão multi-atributo e programação linear inteira. Enquanto a programação orientada a objetos facilita a operacionalidade do aspecto da modularidade (ADIGA, 1993; BROOCH, 1994), as outras técnicas dão suporte ao cliente no processo decisório relativo à escolha dos componentes disponíveis e as suas opções para a customização. Esta última tarefa é realizada com o cômputo de um conjunto de atributos associados a cada componente do produto. A importância relativa destes atributos é definida por cada cliente. O sistema inclui a possibilidade de definir regras para regular as combinações de componentes, levando em consideração os desejos e necessidades dos clientes e as especificações dos projetistas. Desta forma, o sistema permite a representação do processo de escolha de componentes sob a perspectiva técnica, explícita e objetiva dos projetistas e sob a perspectiva subjetiva orientada a percepções e intenções do cliente. O sistema também apresenta as relações lógicas entre opções de componentes que otimizam, em termos de satisfação, as escolhas dos clientes, tendo em conta restrições financeiras. Em outras palavras, o sistema implementa o processo cognitivo de especificação de um produto em forma explícita, dinâmica e interativa, a partir da definição dos seguintes aspectos:

- uma representação compacta capaz de capturar a estrutura do processo de customização, incluindo composição de produtos e preferências de clientes; e
- o desenvolvimento de modelos de análise para a identificação da melhor configuração para cada cliente baseada tanto em uma estrutura de preferências como em restrições técnicas, estéticas e financeiras.

O texto está organizado como segue. A próxima seção apresenta uma revisão bibliográfica sobre o conceito de CM, o contexto em que ele surge e se desenvolve, e alguns aspectos relacionados a sua implementação. O objetivo desta seção é apresentar os resultados da pesquisa bibliográfica e trabalhos de pesquisa precedentes para dar um marco conceitual ao desenvolvimento do trabalho de tese. Logo, complementa-se a revisão bibliográfica com uma revisão da literatura específica ao desenvolvimento de sistemas em contexto de CM. Os aspectos metodológicos e os objetivos da pesquisa estão definidos no Capítulo 3. O Capítulo 4 descreve o processo de CM modelado. O Capítulo 5 apresenta o método desenvolvido, bem como a sua implementação computacional. O Capítulo 6 propõe um exemplo de implementação do sistema. O Capítulo 7 desenvolve o método de solução e, finalmente, o Capítulo 8 expõe a conclusão do estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA – DEFINIÇÕES E CONCEITO

A Customização em Massa (CM) foi definida por Davis (1987) como **a habilidade de fornecer produtos projetados individualmente para cada consumidor através de processos de grande agilidade, flexibilidade e integração**. Segundo o autor, os resultados de sistemas de CM devem oferecer ao cliente o *desing* e o atendimento personalizados da economia pré-industrial, mantendo os padrões de custo e tempo da economia da produção em massa. Jiao et al. (2003) destacam o aumento de lucratividade das empresas que implementam a CM como uma consequência da sinergia entre o aumento do valor percebido pelo cliente e a redução ou manutenção de custo em produção e logística. Segundo este autor, o novo paradigma de CM impulsiona as empresas a satisfazer melhor as necessidades dos clientes, mantendo a eficiência da produção em massa.

Em definições de outros autores (HART 1996; JONEJA e LEE, 1998; KAY, 1993; KOTHA, 1995; ROSS, 1996), relaciona-se a CM com a utilização de Tecnologias de Informação (TI), processos flexíveis e adequadas estruturas organizacionais com o objetivo de oferecer uma grande variedade de produtos e serviços (geralmente representadas por uma gama de opções) que satisfaçam necessidades específicas de cada consumidor, com um custo aproximado ao custo dos itens da produção em massa.

A literatura (JIAO et al., 1998; KAY, 1993) ressalta a CM como um conceito sistêmico que envolve todos os aspectos de desenvolvimento, produção, venda e distribuição de produtos e serviços. Desta forma, salienta-se que a CM não deve ser visualizada como uma solução isolada proveniente da implementação de determinadas tecnologias, e sim como uma abordagem sistêmica que envolve o

ciclo completo desde o *design* de produtos com integração do cliente até a entrega do produto acabado.

O conceito CM surgiu pela primeira vez no livro ***Future Shock*** de Toffler e Toffler (1970), e os termos ***Mass Customization*** (tradução **Customização em Massa**) foram utilizados pela primeira vez por Davis (1987), no seu livro ***Future Perfect***. A leitura de alguns autores (AHLSTROM e WESTBROOK, 1999; HART, 1995; KOTHA, 1995; PINE et al., 1993) salienta que a justificativa para a emergência e o desenvolvimento do conceito de CM é baseada, fundamentalmente, em três aspectos:

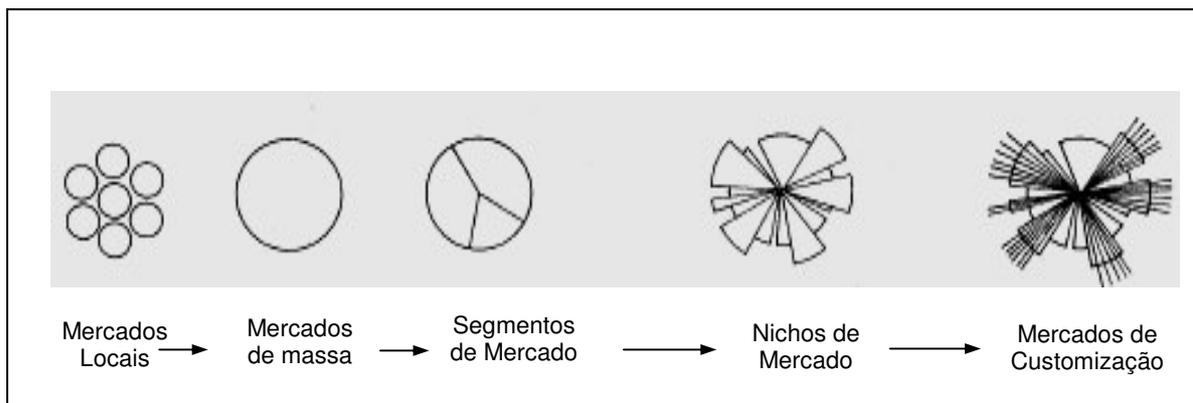
- o primeiro trata da emergência de tecnologias flexíveis de produção e informação que alavancam a produção em volumes variáveis de produtos a baixo custo;
- o segundo, da existência de uma crescente demanda por produtos personalizados;
- e o terceiro aspecto, da diminuição do tempo do ciclo de vida dos produtos e a expansão da concorrência que resultaram na falência de muitas empresas de produção em massa, ascendendo a necessidade de estratégias de produção focalizadas em consumidores individuais.

Os mercados de consumo têm evoluído desde mercados de massa até mercados com uma diferenciação de produtos cada vez mais pronunciada. Esta evolução começa com a lógica da agregação<sup>1</sup> (LAMPEL e MINTZBERG, 1996) da produção em massa, que visualiza os clientes como um grupo de pessoas que compartilham características em comum. Esta lógica permite dar ênfase às vantagens da economia de escala em todos os elos da cadeia de valor, começando com a padronização no desenvolvimento de produtos e abrangendo progressivamente a padronização em fabricação, montagem e distribuição.

---

<sup>1</sup> Entende-se **agregação** como um termo que envolve a padronização de produtos, a produção em massa e distribuição em massa.

A segmentação de mercado, surgida na década de '50, iniciou um afastamento gradual das formas extremas de agregação. Tanto as mudanças tecnológicas como as mudanças nos sistemas de transporte e na mídia de massa, encorajaram empresas a focar grupos específicos de consumidores. A lógica da agregação começava, então, a ser contestada pela **lógica da individualização**. Mais tarde, o surgimento do conceito de **nicho de mercado**, nos anos '80, marcou uma tendência em um nível ainda mais alto de individualização. E embora divididos em segmentos e sub-segmentos ou nichos, os mercados ainda podiam atingir um último nível de segmentação: o indivíduo. Assim, a CM foi retratada inicialmente como um conceito de marketing onde, segundo o paradigma da orientação para o consumidor, era resultado automático de uma crescente segmentação de mercado (KOTLER, 1989). Como salientado também por Turowski (2002), a CM resulta de uma crescente diferenciação de nichos de mercado para mercados individuais. Este desenvolvimento progressivo dos mercados entre os extremos **de massa** e de individualização ou **de customização** é visualizado na Figura 1.



**Figura 1 – Desenvolvimento de Mercado**

Fonte: adaptado de DAVIS, S. *Future perfect*. MA: Addison-Wesley Publishing, 1987. p. 20.

Embora exista uma tendência geral de mercados de massa transformarem-se para mercados de CM, cabe destacar que nem todos os setores produtivos são apropriados para acompanhá-la. A adoção da CM é lucrativa para aqueles setores onde uma oferta variada de produtos ou serviços gera valor para o cliente. Como exemplo desta limitação, Pine et al. (1993) citam que os clientes de *commodities* como petróleo, gás ou trigo, não demandam diferenciação. Portanto, antes de definir uma estratégia de atuação do negócio é fundamental analisar as expectativas dos clientes nas dimensões de customização e resposta. Na dimensão de customização,

mede-se a vontade dos clientes por produtos específicos. McCutcheon et al. (1994) salientam que as seguintes questões críticas podem ajudar a medir a necessidade pela customização:

- qual é a percepção dos clientes sobre os benefícios de produtos customizados?
- o cliente se decidirá por algum produto padronizado oferecido ou preferirá assumir opções que preencham as suas necessidades de forma particular?
- quanto o cliente está disposto a pagar por um determinado grau de customização?
- quanto tempo o cliente está disposto a esperar pela customização?

A dimensão de resposta é relativa ao tempo necessário para a manufatura dos produtos:

- quais benefícios são percebidos pelos clientes quando o tempo de entrega é diminuído?
- que *trade-off* é necessário considerar em relação ao preço para compensar a extensão do tempo de entrega?

Uma vez definida a estratégia a ser implementada, em qualquer um dos casos destaca-se a progressiva integração dos clientes aos processos da empresa, pode-se definir o nível de customização mais apropriado a um determinado produto e ao sistema de manufatura o qual o irá fabricar. O nível mais alto de integração sugere a definição em conjunto – empresa e clientes – da especificação dos produtos.

Como definido por Duray et al. (2000), os limites da CM podem ser delineados por dois aspectos: (i) a natureza básica de customização; e (ii) os meios para conseguir a customização com os mesmos custos da produção em massa. O primeiro aspecto está relacionado à personalização da oferta de produtos e ao envolvimento do cliente nos processos e na determinação do nível de customização. O segundo aspecto tem a ver com o conceito de modularidade.

Lampel e Mintzberg (1996) desenvolveram a idéia de que o nível de envolvimento do cliente no ciclo produtivo tem um papel crítico na determinação do

grau de customização. Duray et al. (2000) ratificam este argumento definindo quatro estágios ou pontos no ciclo produtivo: projeto, fabricação, montagem e uso. Quanto mais cedo ocorrer o envolvimento do cliente no ciclo produtivo, maior o grau de customização.

Com a justaposição dos dois fatores, envolvimento do cliente e modularidade, Duray et al. (2000) criam quatro tipos de implementação de CM: *fabricators*, *involvers*, *modularizers* e *assemblers*. Estes tipos são ilustrados na Figura 2. Os *fabricators* permitem o envolvimento do cliente nas primeiras instâncias do processo – projeto e fabricação – e empregam a modularidade para desenvolver componentes comuns a vários produtos. Os componentes modulares são alterados durante a fabricação para se ajustar às necessidades específicas de cada cliente. Os *involvers* também integram o cliente nas primeiras etapas, porém só utilizam mais tarde a modularidade, nas etapas de montagem e distribuição. Portanto, não existe a fabricação de novos módulos específicos para o cliente. Com os *modularizers*, a abordagem modular é desenvolvida nas etapas de projeto e fabricação, onde os clientes somente especificam seus requisitos nas etapas de montagem e uso. Por último, os *assemblers* utilizam componentes modulares para apresentar um leque de opções aos clientes. Este grupo permite tanto o envolvimento do cliente como a modularidade nos últimos estágios do processo produtivo.

Pine et al. (1995) e Ulrich (1995) ressaltam que o sucesso na implementação da CM requer o uso efetivo de produtos modulares baseados no projeto de plataformas de produtos. Desta forma, quando o envolvimento do cliente na especificação de produtos e a modularidade são combinadas, a CM pode ser efetivamente realizada na prática. O envolvimento do cliente fornece a **customização** enquanto que a modularidade fornece as bases para a escala da produção ou a **massa** da CM. Como resultado, a peculiaridade do conceito de CM é a dicotomia entre estes dois termos, que pode ser efetuada somente com o uso de conhecimento sobre como configurar produtos para satisfazer necessidades individuais. As seções seguintes tratam destes dois conceitos: customização e modularidade.

		Tipo de Modularidade			
		Projeto	Fabricação	Montagem	Uso
Ponto de envolvimento do cliente	Projeto	<i>Fabricators</i>		<i>Involvers</i>	
	Fabricação				
	Montagem	<i>Modularizers</i>		<i>Assemblers</i>	
	Uso				

**Figura 2 – Matriz de tipos de CM**

Fonte: adaptado de DURAY, Rebecca et al. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. **Journal of Operations Management**. Amsterdam, v. 18, n. 6, p. 605-625, nov. 2000. p. 612.

## 2.2 CUSTOMIZAÇÃO

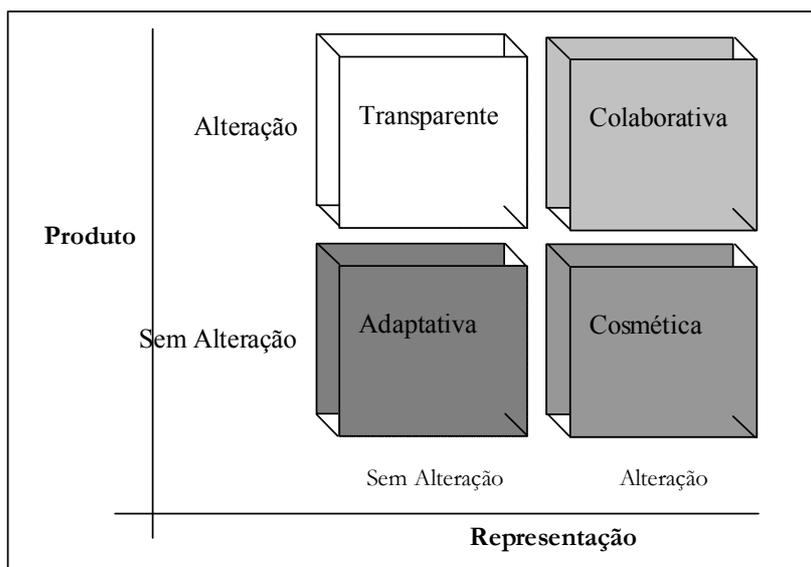
Nesta seção, serão abordados três tópicos relacionados com a customização: primeiro, sua classificação; segundo, uma análise econômica da customização de produtos; e, finalmente, os fatores de sucesso da sua implementação.

### 2.2.1 Tipologias

A bibliografia consultada identifica diversas classificações e taxonomias. Autores como Gilmore e Pine (1997) salientam que a customização é determinada tanto pela alteração do próprio produto, quanto pela alteração da sua forma de apresentação. Eles classificam a customização em quatro abordagens: colaborativa, transparente, cosmética e adaptativa (Figura 3).

Na abordagem colaborativa, os projetistas conduzem um diálogo individual com cada cliente, a fim de ajudá-lo a articular as suas necessidades e identificar respostas mais ajustadas às mesmas. Um exemplo da customização colaborativa acontece durante o projeto de uma casa, quando arquiteto e cliente se reúnem, periodicamente, para definir as características do produto de forma conjunta. A customização transparente fornece a cada cliente um produto único, conforme suas necessidades, mas difere da abordagem colaborativa pelo fato de que não existe um diálogo entre as partes, uma vez que as necessidades dos clientes são fáceis de

predizer ou, ainda, eles não estão interessados em expressá-las. De fato, quem projeta o produto não diz explicitamente ao cliente que o seu produto foi customizado para ele. A rede de hotéis Ritz-Carlton serve para exemplificar esta abordagem. Para evitar incomodar os clientes com enquetes intermináveis sobre preferências, a rede Ritz-Carlton estabeleceu um método de observação das preferências no comportamento de cada cliente durante a sua estada – comportamentos como pedidos de um travesseiro hipoalérgico ou um canal de rádio de música clássica, ou bolachas de chocolate. A empresa armazena a informação em bases de dados e usa a mesma para customizar o serviço na próxima vez que o mesmo cliente é recebido no hotel. Quanto maior o número de estadias de um determinado cliente, mais a rede aprende sobre os seus costumes e preferências e, conseqüentemente, mais personalizado pode ser o serviço. Já na abordagem cosmética, o produto é padrão e o que é customizado é a sua forma de apresentação. É o caso dos telefones celulares que permitem trocar a cobertura da frente do aparelho oferecendo um leque de diversas cores (Figura 4). Por último, a customização adaptativa trata do oferecimento de produtos padrão que permitem que o cliente faça alterações durante o uso. Como exemplo desta última modalidade, os aparelhos de telefonia celular de última geração permitem que os clientes determinem o som do toque, o idioma do *display* e outras configurações.



**Figura 3 – As quatro abordagens de Customização**

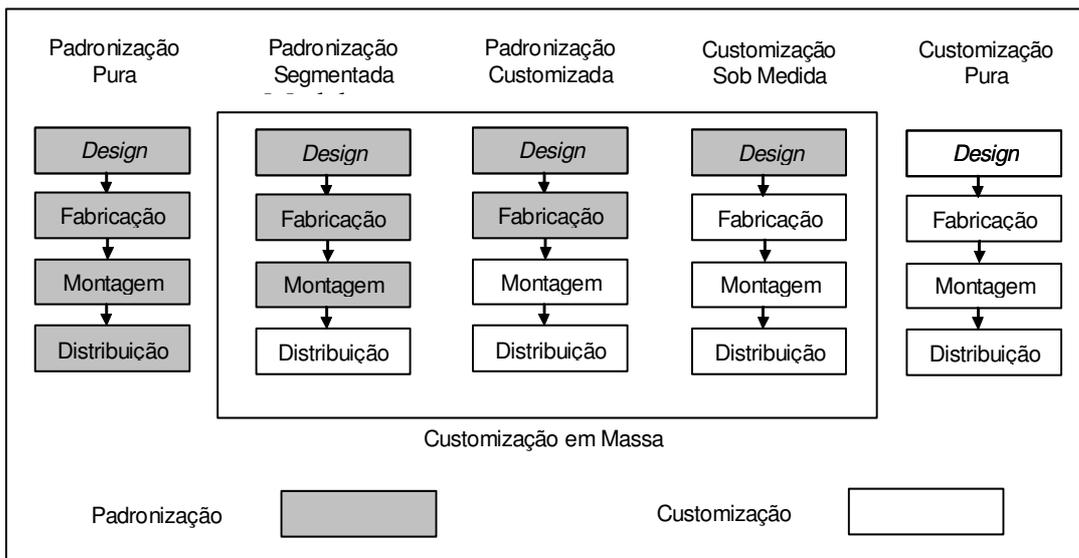
Fonte: adaptado de GILMORE, James H. PINE, Joseph. The four faces of mass customization. **Harvard Business Review**. Boston, v. 75, n. 1, p. 91-101, jan./feb. 1997. p. 95.



**Figura 4 – Exemplo de Abordagens Cosmética de Customização**

Fonte: ALCATEL.

Com outra perspectiva, Lampel e Mintzberg (1996) definem três estratégias de CM entre dois extremos: **padronização pura** e **customização pura**. Na representação dos autores, o nível de customização aumenta com a progressiva individualização da cadeia de valor; começando na venda, continuando na distribuição, na montagem, na fabricação até no desenvolvimento de produtos (Figura 5).



**Figura 5 – Um contínuo de estratégias**

Fonte: adaptado de LAMPEL, Joseph; MINTZBERG, Henry. Customizing Customization. **Sloan Management Review**, Cambridge, v. 38, n. 1, p. 21-30, fall 1996. p. 24.

Pine et al. (1993) sugerem cinco estágios desde a montagem de módulos de produtos até os serviços customizados e Spira (1996) desenvolveu uma classificação em quatro tipos de customização: embalagem customizada, serviços customizados, trabalhos adicionais de customização e montagem modular. Silveira et. al. (2001) combinaram todas estas classificações acima apresentadas e criaram uma classificação integradora de oito níveis de CM (Quadro 1).

Níveis de CM	Abordagens de CM (Gilmore e Pine, 1997).	Estratégias de CM (Lampel e Mintzberg, 1996).	Estágios de CM (Pine et al., 1993).	Tipos de CM (Spira, 1996).
Projeto	Colaborativa; Transparente.	Customização Pura		
Manufatura		Customização sob medida		
Montagem		Padronização Customizada	Produção Modular	Montagem de componentes em configurações únicas
Trabalhos Adicionais			Customização no ponto de entrega	Realização de trabalho adicional de customização
Serviços Adicionais			Serviços customizados	Fornecimento de serviços adicionais
Embalagem e Distribuição	Cosmética	Padronização Segmentada		Customização de embalagens
Uso	Adaptativa		Customização embutida	
Padronização		Padronização Pura		

### Quadro 1 – Níveis de Customização em massa

Fonte: adaptado de SILVEIRA, Giovani da; BORENSTEIN, Denis; FOGLIATTO, Flavio S. Mass customization: literature review and research directions. **International Journal of Production Economics**. Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 1-13, jun. 2001. p. 3.

### 2.2.2 Customização e Flexibilidade

Desde uma perspectiva estratégica, o conceito de CM está fortemente associado à dimensão competitiva de **flexibilidade** que, com o custo, a qualidade, e o tempo, compõe uma das quatro estratégias genéricas de negócios na função de manufatura (CORBETT e WASSENHOVE, 1993; SLACK, 1993; SKINNER, 1969; WHEELWRIGHT, 1984). A flexibilidade é definida por Corrêa e Slack (1994) como a

medida da habilidade de um sistema de produção para lidar eficazmente com os efeitos das mudanças não planejadas. Os autores Thomke e Reinertsen (1998) propõem a definição de flexibilidade como uma função do aumento de custo na modificação de um produto em resposta a mudanças externas ou internas; quanto mais alto o custo econômico de modificar um produto, mais baixa a flexibilidade.

Para muitos autores (GERWIN, 1993; KOTLER, 1989; PINE et al., 1993; PINE et al., 1995) a CM é um meio de atingir flexibilidade estratégica para poder oferecer grande variedade de produtos orientados a diversos nichos de mercado. Safizadeh et al. (1996) também destacam esta associação entre customização e flexibilidade quando validam, empiricamente, que na medida em que a produção é orientada à customização, existe maior ênfase na flexibilidade como critério prioritário de competitividade. Os resultados da pesquisa de Safizadeh et al. (1996) mostraram que a flexibilidade de produto é o critério competitivo com maior poder discriminante, quando investigada a associação entre os diversos critérios (custo, qualidade, tempo, velocidade, flexibilidade de produto e flexibilidade de volume), considerando-se uma empresa orientada para a customização.

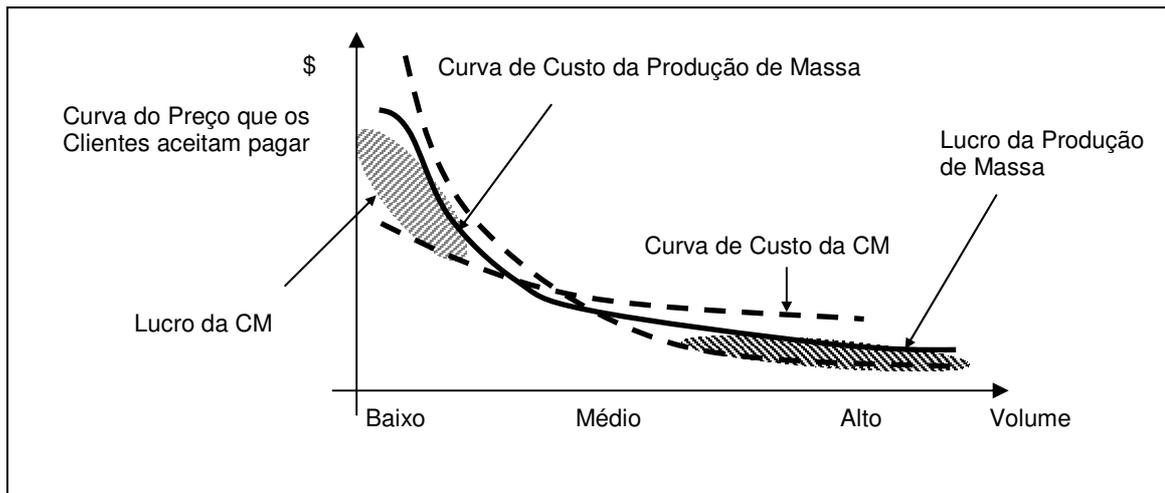
### 2.2.3 Análise Econômica da Customização

A Figura 6 ilustra as implicações econômicas da CM. Tradicionalmente, o sistema de produção em massa, originado no começo do século XX, vigente até hoje, tem apresentado grandes vantagens competitivas quando relacionado com altos volumes de produção. Neste sistema, a escala dos negócios pode absorver os altos custos de investimento necessários em equipamentos, tecnologia, treinamento, etc. Mas, a tentativa de satisfazer as necessidades individuais de cada cliente têm sempre acrescentado custos ao sistema, dado que os baixos volumes de produção requeridos não conseguem justificar os investimentos necessários. Em outras palavras, a produção em massa têm sido considerada incompatível com a customização de produtos – incompatibilidade que lembra o debate estabelecido por autores como Porter (1980) e Mintzberg (1988) sobre as **estratégias genéricas** de liderança em custo ou diferenciação. Em contraposição àquela perspectiva de *trade off* entre custo e diferenciação (PINE et al. , 1993) ou, como explicado por Ahlstrom

e Westbrook (1999), entre produtividade e variedade, a proposta da CM é incorporar flexibilidade ao sistema produtivo para atender aos anseios de cada consumidor, bem como manter os ganhos de escala da produção em massa. Desta forma, a CM se destaca como uma possibilidade de obter vantagem competitiva através da quebra do *trade off*, através de um maior alinhamento entre a capacidade dos fabricantes e as necessidades dos consumidores (JIAO et al., 2003). Nesta mesma direção, Davis (1987) aponta que a CM representa a **especificação customizada de produtos sem sacrifício da economia de escala**, e Kotha (1995) salienta que os paradigmas de produção em massa e customização em massa, não devem ser visualizados como proposições excludentes.

Para compreender a proposição de compatibilizar a produção em grande escala, a baixo custo, e a diferenciação de produtos, é preciso analisar alguns aspectos econômicos subjacentes. O primeiro aspecto é o reconhecimento de que, em primeira instância, há um aumento no custo de produção e fornecimento de produtos customizados em comparação com produtos padronizados. Este aumento reside, principalmente, nos custos de transação decorrentes da investigação e especificação das necessidades e desejos dos consumidores, e da transferência destas especificações para a configuração produtiva (PILLER e MOESLEIN, 2002). De outro lado, constata-se que os clientes apresentam disposição para pagar um preço mais alto quando são satisfeitos os seus requisitos individuais (Figura 6). Todavia, uma vez que a customização torna-se uma característica comum nas ofertas de empresas de um determinado setor, cresce a pressão do mercado em reduzir os preços da customização. E uma vez que aumenta o número de empresas que adotam a customização para ganhar clientes, o preço oferecido torna-se fator decisivo entre concorrentes.

A partir de uma perspectiva econômica específica das empresas, a possibilidade de ganhos adicionais pela oferta de produtos customizados também é desafiada pela perda de escala. Em resposta aos desafios acima colocados, alguns mecanismos, como o desenvolvimento modular de produtos e a integração do cliente aos processos, têm sido desenvolvidos para baixar os custos adicionais conseqüentes.



**Figura 6 – Implicações econômicas da Customização em Massa**

Fonte: Adaptado de JIAO, Jian; MA, Qin Hai; TSENG, Mitchell. Towards high value-added products and services: mass customization and beyond. **Technovation**. Inglaterra, v. 23, n. 10, p. 809-821, oct. 2003. p. 810.

#### 2.2.4 Fatores de Sucesso

O sucesso da estratégia de CM depende de uma série de fatores externos e internos às empresas que afetam a viabilidade econômica (SILVEIRA et al., 2001), quais sejam:

- os produtos devem ser customizáveis e o oferecimento de produtos customizados deve ser modularizado, versátil e constantemente renovado;
- deve existir uma demanda por variedade e customização; a customização deve agregar valor na opinião do consumidor;
- deve existir a vontade e aptidão de fornecedores, distribuidores e intermediários para atender as demandas do sistema. Fabricantes, intermediários e outros elementos da cadeia de valor devem ser parte de uma rede de informações, conectada eficientemente (HAGLIND e HELANDER, 1999; KOTHA, 1996);
- a tecnologia necessária deve estar disponível; e
- o conhecimento deve ser compartilhado. A CM é uma estratégia dinâmica e depende da habilidade de traduzir novas demandas dos clientes em produtos e serviços.

Contudo, para autores como Turowski (2002), o verdadeiro sucesso de um programa de CM é determinado pela eficiência dada na transferência de informação entre clientes e fabricantes. Em ambientes de CM, a transferência da informação entre clientes e empresas envolve duas macro-atividades (SILVEIRA et al., 2001): (i) a definição de um catálogo de opções oferecidas ao cliente, na qual a empresa é o principal ator; e (ii) a coleção e armazenamento de informação sobre as escolhas realizadas pelos clientes. A primeira define o grau de customização do produto, enquanto a segunda define a habilidade da empresa para processar com eficiência e eficácia o conhecimento gerado com a customização. Turowski (2002) também salienta que a CM é altamente dependente de sistemas de informação bem projetados, que forneçam conexão direta entre os agentes envolvidos no processo clientes, empresas e fornecedores.

### 2.3 INTRODUÇÃO À MODULARIDADE

De acordo com as seções anteriores, o desenvolvimento modular de produtos é um mecanismo que serve à redução dos custos decorrentes da customização.

Além da existência de uma demanda por produtos customizados, Duray et al. (2000) salientam, também, a necessidade de se desenvolver meios necessários para conseguir que a customização seja efetuada com custos próximos ou iguais aos custos da produção em massa. Nesse sentido, vários autores (BALDWIN e CLARK, 1997; MCCUTCHEON et. al., 1994; PINE et al., 1993; ULRICH e TUNG, 1991) destacam, igualmente, que o conceito de modularidade fornece as bases para impedir grandes desequilíbrios em relação a economia de escala.

De um modo geral, a modularidade pode ser definida como a habilidade de agregar, modificar e remover componentes de um conjunto, com pouca ou nenhuma consequência para o mesmo como um todo. Por sua vez, Pimmler e Eppinger (1994) definem a modularidade como o conceito de decomposição de um sistema em partes ou módulos que podem ser tratados como unidades lógicas independentes. O termo **modularidade** em produto é utilizado para descrever o uso de unidades comuns para criar variantes de produtos. A modularidade procura identificar unidades independentes, padronizadas ou intercambiáveis para satisfazer uma

variedade de funções. De forma mais específica, neste trabalho é adotada a definição que destaca a modularidade como uma estratégia de organização eficiente de processos ou produtos complexos a partir de pequenos sub-sistemas que podem ser desenvolvidos de forma independente e ainda funcionar logicamente unidos como um todo (BALDWIN e CLARK, 1997). Cabe ressaltar que esta independência dos sub-sistemas ou módulos de um sistema, fornece a flexibilidade necessária para permitir mudanças e facilitar as inovações, uma vez que é possível trabalhar em paralelo no desenvolvimento de cada módulo.

A Figura 7 apresenta os principais tipos de modularidade segundo Ulrich e Tung (1991).

A modularidade fornece a possibilidade de produzir em forma repetitiva, diversos componentes que, combinados ou modificados, estabelecem a diferenciação dos produtos. Assim, por um lado, a modularidade reduz o custo da combinação de componentes de produtos customizados. Por outro, os componentes ou módulos padronizados e fabricados em grandes volumes, mantêm os índices de eficiência das técnicas de produção em massa: qualidade e baixo custo. A abordagem modular no desenvolvimento de produtos promove os benefícios dos altos volumes de produção (de módulos padronizados) e, ao mesmo tempo, a viabilidade de fabricar grande variedade de produtos. Desta forma, a modularidade pode ser considerada como um fator crítico para os ganhos de escala e a justificativa do uso do termo **massa** na definição da CM.

No que respeita ao *design* de produtos em particular, uma abordagem modular permite oferecer a possibilidade de um escopo amplo de variedade de produtos acabados, ainda com uma série limitada de componentes. Nesse sentido, McCutcheon et al. (1994) salientam que o *design* modular é o melhor caminho para fornecer variedade e velocidade, uma combinação crítica para a CM, enquanto Huang (1999) destaca que reduz as dificuldades de projeto e produção próprias da fabricação de produtos customizados.

Em ambientes de manufatura, a modularidade é encontrada em diversas formas. Os autores Ulrich e Tung (1991) desenvolveram um trabalho de síntese inicial que compara a Arquitetura Integral (na qual existe uma complexa relação entre os elementos funcionais e os componentes físicos do produto) e Arquitetura Modular (que envolve uma relação um a um entre os elementos funcionais e os

componentes físicos do produto), e culmina com a classificação dos tipos de modularidade (Figura 7).

Os tipos de modularidade ilustrados podem ser usados combinados ou separadamente, visando prover produtos acabados customizados. Contudo, um elemento em comum pode ser identificado em quase todos os tipos de modularidade apresentados: a combinação das partes ou módulos se estabelece através das suas respectivas interfaces (fronteiras ou contornos). A modularidade determina padrões comuns de interface que minimizam a energia e o custo necessários para realizar a combinação, mantendo ainda a independência dos módulos.



**Figura 7– Tipos de modularidade**

Fonte: adaptado de ULRICH, K.; TUNG, K. Fundamentals of product modularity. In: ASME WINTER ANNUAL MEETING SYMPOSIUM ON ISSUES IN DESIGN/MANUFACTURING INTEGRATION, 1991, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: editora, 1991.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE TRABALHOS PRÉVIOS RELACIONADOS

Sendo a CM uma estratégia relativamente recente, a literatura acadêmica acerca deste tópico foi bastante escassa até o final do século passado. Segundo Kotha (1994), a literatura dos esforços realizados na área ressaltava os **benefícios** que seriam alcançados, e, ao mesmo tempo, negligenciava o estudo dos **meios** para atingir esses benefícios. Desde o início do século XXI, os artigos e as pesquisas científicas foram evoluindo de discussões conceituais para o estudo e desenvolvimento de tecnologias de suporte ao fluxo de informação característico da CM.

Várias pesquisas têm abordado o contraste entre a produção em massa e a CM (PINE et al., 1993; KOTLER, 1989) dentro de um contexto de administração estratégica de negócios. Algumas pesquisas têm ressaltado aspectos e mecanismos organizacionais referentes à criação de conhecimento em ambientes de CM (KOTHA, 1996). Outros trabalhos têm estudado a customização desde uma perspectiva de administração da produção. Safizadeh et al. (1996) e Hart (1995), especificamente, abordam seus aspectos logísticos. Do ponto de vista da implementação da CM, um grande número de investigações deram ênfase à importância da TI como instrumento de valor para o sucesso da CM (BLECKER et al., 2004; BYRD, 2001; TUROWSKI, 2002).

A expansão da CM nas empresas deve-se, essencialmente, aos avanços atingidos em arquiteturas modulares de produto e sistemas flexíveis de manufatura. Porém, os progressos conseguidos com a TI e, especificamente, com a Internet, podem ser considerados como os maiores facilitadores da implementação com sucesso da estratégia. Rautenstrauch et al. (2002) também destacam que os sistemas de informação (SI) desenvolvidos fornecem o suporte necessário para as empresas trabalharem em CM. Aliás, é a implementação de sistemas configuradores de produtos através da Internet que permite às empresas de CM fornecer aos clientes a possibilidade de projetar seus produtos mantendo baixos custos de interação.

### 3.1 O DESENVOLVIMENTO DE VARIEDADE DE PRODUTOS MODULARES

Diversas pesquisas que têm abordado assuntos relacionados ao *design* de variedade de produtos quanto aos aspectos informacionais, são provenientes das áreas de pesquisa operacional, ciências da computação, marketing ou engenharia de projeto (JIAO et al., 2003).

Em trabalhos relacionados à aplicação de TI e SI para o *design* modular de produtos em ambientes de CM, Myung e Han (2001) descrevem o *design* paramétrico de produtos baseado em conhecimento. Gonzalez-Zugasti et al. (2001) formularam um problema de otimização para o projeto de famílias de produtos derivados de plataformas comuns. O seu modelo de otimização consta de dois passos: o primeiro envolve o projeto de aspectos técnicos da família de produtos, o segundo quantifica os valores que representam para a empresa cada alternativa de projeto identificada. Gonzalez-Zugasti et al. (2001) pesquisaram o *design* de produtos com perspectivas técnico-econômicas do fabricante. O foco do estudo é o problema do equilíbrio entre o oferecimento de complexidade e variedade de produtos e a utilização dos recursos disponíveis em um ambiente de CM economicamente viável. Em outras palavras, os autores propõem um modelo para reduzir o custo de fabricar variedade selecionando apropriadamente as famílias de produtos. Embora tenham ressaltado aspectos muito importantes para o desenvolvimento de produtos, esses estudos tratam de forma muito limitada a capacidade dos projetistas em perceber e capturar as necessidades dos clientes, aspecto que, como já foi ressaltado, é essencial na CM.

Nelson et al. (2001) também trabalharam com o desenvolvimento de plataformas de produtos, mas como um problema de otimização multi-critério. Li e Azarm (2001) utilizaram um algoritmo genético multi-objetivo para *design* de linhas de produtos, e D'Souza e Simpson (2003) também utilizaram um algoritmo genético, mas para otimizar o desempenho dos produtos de uma família de produtos. Grafos e MOO – Modelagem Orientada a Objetos – foram combinados por Blostein et al. (1996) e Jones (1995), para sistemas de configuração de plataformas de produtos.

Mais tarde, Du et al. (2003) utilizaram formalismos da teoria dos grafos para representar plataformas de produtos e as suas variações derivadas.

Molina et al. (2005) apresentam outra contribuição ao desenvolvimento de produtos, com a modelagem de um ambiente de trabalho colaborativo virtual baseado na *web*. A pesquisa foca o processo de desenvolvimento de produtos com equipes de projeto de distintas organizações geograficamente distantes e utiliza *Quality Function Deployment* (QFD) e entrevistas para capturar os requisitos dos clientes.

Não obstante a utilização de uma variedade interessante de técnicas implementadas nestes últimos trabalhos, a percepção das necessidades dos clientes continuou sendo pouco aprofundada. Uma exceção é o trabalho de Jiao e Zhang (2005), os quais trabalharam com base em informação de vendas passadas, baseadas em um sistema de *data-mining* para identificação do portfólio de produtos. Infelizmente, este sistema agrega informações sobre os clientes, distanciando-se da idéia de personalização da CM.

Em resumo, a literatura apresentada descreve alguns sistemas desenvolvidos para ambientes de CM, mas esses sistemas têm o foco apenas no aspecto da modularidade de produtos customizáveis sem aprofundar no aspecto do envolvimento do cliente e, ainda, negligenciando a integração de ambos os aspectos. A ênfase dada à modularidade procura fornecer os meios para produzir variedade sem grandes custos adicionais. Porém, a grande quantidade de opções e alternativas de produto oferecida pelas empresas confunde os clientes carentes de suficiente conhecimento sobre *design*. Dada a limitação humana para processar informação e dada a falta de conhecimento técnico sobre os produtos, a excessiva variedade geralmente perturba os clientes, vencidos pela complexidade do processo decisório. Como resultado, os clientes abandonam repentinamente o processo de configuração ou realizam decisões que não atendem aos seus requisitos. Portanto, se os clientes não são adequadamente assistidos nem envolvidos no processo, o principal objetivo da CM não é atingido.

### 3.2 ENVOLVIMENTO E INTERAÇÃO DOS CLIENTES

A CM começa com o entendimento dos requisitos individuais de cada cliente e finaliza com o atendimento completo de suas necessidades, ressaltam autores como Lau (1995) e Pine et al. (1993). No mesmo sentido, Franke e Piller (2003) destacam a importância de desenvolver interfaces e sistemas interativos de clientes para dar suporte ao projeto colaborativo ou *co-design*. Muitas técnicas têm sido utilizadas para facilitar o *input* do cliente na fase de projeto do desenvolvimento de produtos.

Com a perspectiva de marketing, diversos trabalhos de investigação têm abordado o assunto de capturar a opinião de clientes. Alguns desses trabalhos utilizam técnicas como a análise de regressão (JENKINGS, 1995), *conjoint analysis* (GREEN e DESARBO, 1978), *fuzzy* (TURKSEN e WILLSON, 1992) e *focus groups* (LACHANCE-PORTER, 1993). Já com a perspectiva de desenvolvimento de produtos, Moore et al. (1999) utilizam a técnica de *conjoint-analysis* para o *design* de plataformas de produtos que sirvam de base para múltiplos produtos e derivados. Yu et al. (1999), paralelamente, propõem a análise das necessidades dos clientes para estabelecer as características desejadas dos produtos com vistas a desenvolver a arquitetura de um portfólio. Mas, o método implementado para captar a informação não é intrínseco a um processo de customização, exigindo dos usuários um nível de especialização dificilmente apresentado pelo cliente médio. Assim, tanto Moore et al. (1999) quanto Yu et al. (1999) utilizam uma abordagem indireta de coleta de informação prévia à customização de fato. Por exemplo, Yu et al. (1999) apresentam uma análise baseada no mercado para determinar a arquitetura de um produto mais apropriada. A captura das necessidades dos clientes ocorre independentemente da compra – e conseqüentemente da customização – do produto.

Uma contribuição para obter a participação direta dos clientes no processo de projeto foi apresentada por Frutos (2000). Os autores formularam o *design* de um modelo orientado a objetos para permitir uma interação ágil entre clientes e empresas através da Internet. Mas, embora o modelo orientado a objetos desenvolvido forneça uma ferramenta dinâmica e flexível para dar suporte ao

intercâmbio de informação entre empresas e clientes, sua aplicação carece de generalidade, estando restrita ao setor de construção de edifícios de apartamentos.

Ong et al. (2006) trabalharam, também, com uma abordagem orientada a objetos para customização de produtos provenientes de uma família de produtos. Basearam o contato cliente-empresa na Internet e acrescentaram a utilização de modelos de otimização para integrar a customização e as preferências dos consumidores. Siddique e Boddu (2005), igualmente, salientam a integração cliente-empresa através da Internet utilizando ferramentas CAD, em três dimensões, para gerar modelos dos produtos e grafos para a representação de produtos modulares.

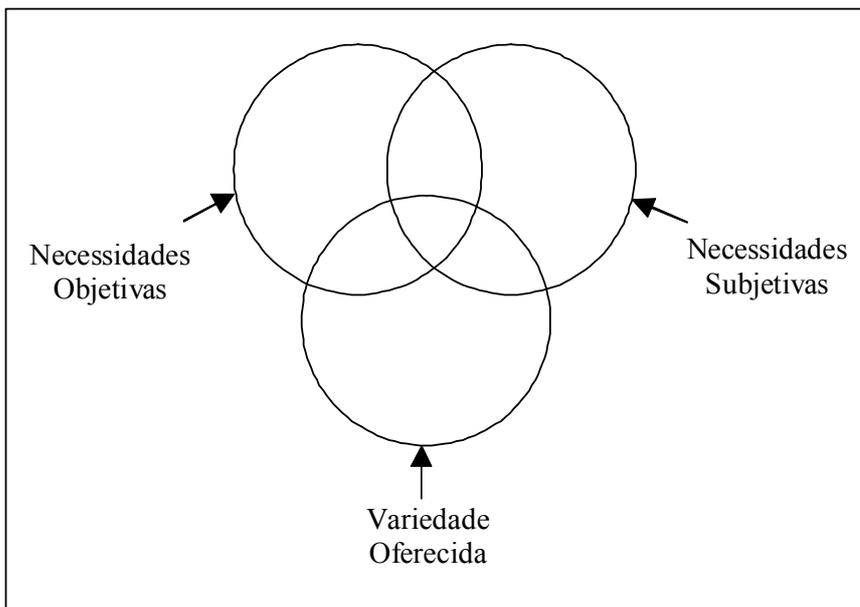
Jiao e Zhang (2005) apontam que, quando o cliente se envolve no processo de desenvolvimento de produtos, a principal dificuldade é que as variáveis definidas para descrever seus requisitos são quase sempre expressas em termos difusos, abstratos ou conceituais, o que levam a pressupostos vagos e inferências implícitas. Com vistas a enfrentar essa dificuldade, vários trabalhos tentaram estruturar os requisitos dos clientes. Por um lado, algumas pesquisas tentaram uma estrutura hierárquica em forma de árvore *and/or* para articular os requisitos dos clientes (HAUGE e STAUFFER, 1993; TSENG e JIAO, 1998; YAN et al., 2001). Por outro lado, Chen et al. (2002) aplicaram redes neurais para construir uma hierarquia de atributos de clientes com o objetivo de aprimorar a captura dos requisitos dos clientes.

A essência da CM está na habilidade das empresas em perceber e capturar nichos de mercado latentes e, conseqüentemente, desenvolver soluções técnicas para atingir a satisfação das várias necessidades de cada cliente. Perceber nichos latentes de mercado requer a exploração das necessidades dos clientes, e os trabalhos descritos no parágrafo anterior desenvolvem de forma muito limitada essa tarefa.

Blecker et al. (2004) aprofundaram o estudo da captura de necessidades dos clientes em ambientes de CM. Estes autores examinaram diversos sistemas de recomendação desenvolvidos em ambientes de comércio eletrônico, salientando que os clientes deveriam ser assistidos durante o processo de definição de requisitos. Com esse fim, criaram um modelo que diferencia entre necessidades subjetivas e necessidades objetivas (Figura 8). As necessidades objetivas são explicitamente formuladas pelos clientes, mas freqüentemente só conduzem a uma satisfação sub-

ótima. Porém, as necessidades subjetivas são implícitas, mas conduzem o resultado a um ponto de satisfação ótima. Os autores explicam que as discrepâncias entre as necessidades objetivas e subjetivas existem devido a três pressupostos: (i) os clientes não sabem as suas necessidades reais; (ii) os clientes não podem expressar corretamente as suas reais necessidades; e (iii) a empresa que trabalha com CM interpreta equivocadamente os requisitos dos clientes.

Outra linha de pesquisa que reconheceu os aspectos difusos, abstratos e subjetivos da linguagem dos clientes foi conduzida por Chen et al. (2001) que desenvolveram um protótipo de sistema baseado em *fuzzy-logic* permitindo a qualquer consumidor, não familiarizado com a operação de programas CAD<sup>2</sup>, customizar alguns parâmetros de um produto utilizando informação lingüística do tipo **pequeno, normal, grande, muito grande**, etc. O sistema proposto é efetivo para produtos de formas simples ou quando a customização ocorre somente sobre poucos parâmetros críticos de produtos complexos.



**Figura 8 – Diferenças entre Necessidades Objetivas e Subjetivas dos Clientes**

Fonte: Adaptado de BLECKER, T. et al. An advisory system for customer's objective needs elicitation in mass customization. In: WORKSHOP ON INFORMATION SYSTEMS FOR MASS CUSTOMIZATION (ISMC 2004) , INTERNATIONAL ICSC SYMPOSIUM ON ENGINEERING OF INTELLIGENT SYSTEMS (EIS 2004), 4., 2004, Portugal. **Proceedings...** Portugal: University of Madeira, 2004. p. 2.

<sup>2</sup> CAD: Projeto Assistido por Computador (*Computer Aided Design*)

Ainda com o objetivo de capturar os requisitos de cada indivíduo, algumas abordagens multi-atributo foram desenvolvidas. Embora não desenvolvidas com foco direto em ambientes de CM, os sistemas abaixo referenciados apresentam a abordagem multi-atributo como elemento em comum para explicitar as preferências dos clientes. Muramatsu et al. (1990) analisaram a importância que os consumidores dão a diferentes características de produtos, com o objetivo de conectar a determinação das necessidades dos clientes com a determinação tecnológica de produção. Benjamin e Yen (2000) desenvolveram uma estrutura para comércio eletrônico através de catálogos virtuais de produtos. Esta última abordagem incorpora aspectos do comércio eletrônico ao conceito de CM, considerando a seleção de atributos de projeto por parte dos clientes. Os consumidores podem escolher quais atributos desejam no produto, e o catálogo eletrônico permite que a customização do produto esteja de acordo com as opções escolhidas. Bichler et al. (2002) utilizam a programação matemática, lógica proposicional e análise de decisão para indicar preferências sobre atributos de produtos. O principal objetivo é construir um modelo que maximiza o lucro de uma empresa a partir de dados históricos de preferências de clientes e projetistas. Desta forma, o sistema por eles desenvolvido não tem o interesse de capturar os requisitos de cada cliente em particular, o que o torna inaplicável a ambientes de CM.

Sen (2001) destaca que o uso efetivo de ferramentas de decisão multi-critério requer uma análise detalhada do processo de decisão, pois em nenhum dos problemas da vida real será encontrada uma alternativa que combina os melhores escores para todos os atributos e, portanto, chega-se a uma **solução de compromisso**. Desta forma, cabe ao decisor estabelecer, explícita ou implicitamente, uma ordem de prioridades de objetivos ou atributos.

### 3.3 SISTEMAS DE INTERAÇÃO E CONFIGURAÇÃO EM AMBIENTES DE CM

O princípio mais distintivo da CM é o mecanismo de interação com o cliente e obtenção de informação específica para definir e traduzir as necessidades e desejos dos clientes em produtos concretos (ZIPKIN, 2001). Nesse sentido, as empresas que

oferecem produtos customizados devem desenvolver e operar novas formas de sistemas de interação e interfaces com os clientes.

Como já foi ressaltado na seção 2.2.4, um dos fatores que determina o sucesso na implementação da CM é compartilhar o conhecimento sobre como configurar produtos para cobrir as necessidades de cada indivíduo. De um lado, o fabricante precisa conhecer as necessidades, desejos, meios e limitações (orçamentárias, por exemplo) dos clientes. De outro, para tomar decisões respectivas à customização, o cliente tem que conhecer as opções disponíveis, as suas inter-relações e as conseqüências que correspondem à escolha de uma ou outra opção. Com vistas a facilitar essa troca de conhecimento, é possível trabalhar em um ambiente de transferência de informação que dê ênfase à criação e distribuição do conhecimento através da cadeia de valor.

Blecker et al. (2004) afirmam que os sistemas que disponibilizam muita informação são adequados apenas para especialistas em produtos mas não são adequados para clientes com pouco ou nenhum conhecimento sobre as características dos produtos. Aliás, os autores destacam que a linguagem na qual os clientes identificam e expressam suas necessidades é completamente diferente da linguagem utilizada pelos engenheiros e pelas ferramentas desenvolvidas.

As ferramentas desenvolvidas para o projeto em conjunto de empresas e clientes são, essencialmente, sistemas responsáveis por guiar o usuário através do processo de configuração. Esses sistemas representam visualmente as diferentes opções, seus preços e características e permitem uma interação dinâmica que favorece a aprendizagem. Blecker et al. (2004) criticam os sistemas de configuração utilizados que, em alguns casos (como a indústria automobilística e a montagem de PC) não permitem ao cliente **aprender** durante o processo de projeto ou simplesmente oferecem opções de componentes. Segundo os autores, a forte orientação ao produto que os sistemas configuradores apresentam, não facilita aos clientes o projeto ajustado às suas expectativas. As ferramentas de recomendação utilizam uma linguagem centrada no produto e correlacionam dados de clientes que, embora tenham adquirido o mesmo produto, possuem necessidades subjetivas bem diferentes. Os autores definem os sistemas *Advisory Systems* como ferramentas orientadas ao cliente, que interagem com uma linguagem mais próxima deste, diferente da utilizada para descrever as características de produtos e que seriam

implementadas em conjunto com os sistemas configuradores de produtos, e no lugar dos sistemas de recomendação. Estes sistemas capturariam melhor os requisitos objetivos dos clientes. Porém, o *Advisory System* proposto por Blecker et al. (2004) não dá garantias de um resultado validado do processo que leve à completa satisfação do cliente.

Yang et al. (2005) salientam, que a maioria das abordagens de customização envolvem a composição de produtos como computadores ou automóveis, que podem ser estruturados em componentes e sub-componentes de forma hierárquica. Os autores propõem um sistema para customização de produtos baseado em Internet, cujo diferencial está no fornecimento de diversas abordagens de customização para favorecer o tratamento de outros tipos de produtos, além dos facilmente estruturados em hierarquias de componentes. Yang et al. (2005) dão ênfase à integração do sistema de customização com os outros sistemas aplicados na empresa e nos fornecedores. Na prática, Yan et al. (2001) propõem uma abordagem descritiva baseada em duas perspectivas: um modelo geométrico, para capturar requisitos como estrutura, aparência e forma; e um modelo de informação, para capturar requisitos de qualidade, prazo de entrega e funções. Embora a proposta de Yan et al. (2001) seja ambiciosa e abrangente, a validação apresentada na prática é limitada e insuficiente para a complexidade do desafio pretendido.

Em síntese, a literatura destaca, recorrentemente, que os sistemas para ambientes de CM devem fornecer eficiência na transferência de informação entre empresas, fornecedores e clientes (TUROWSKI, 2002). Para que um sistema de informação tenha sucesso em apoiar o processo de customização, deverá apresentar as seguintes funcionalidades:

- projeto colaborativo de produtos – o sistema de informação deve oferecer flexibilidade para estabelecer relacionamentos cliente-empresa baseados em interações e que procuram um entendimento mútuo para encontrar soluções em conjunto (FRANKE e PILLER, 2003);
- captura do conhecimento dos clientes – o conhecimento e a informação são os principais fatores de diferenciação de uma empresa que trabalha em um ambiente de CM (YUSUF et al., 1999). O sucesso depende da habilidade de traduzir as demandas dos clientes e de transformar o conhecimento em soluções para os produtos e serviços. O sistema de

informação deve ser capaz de armazenar as necessidades e desejos dos consumidores, transformando-os em conhecimento para ser usado na criação de produtos e serviços;

- ambiente de empresa virtual que permita o acesso remoto ao projeto de produtos em qualquer momento e sem limitações geográficas;
- envolvimento do cliente – o cliente deve perceber que a empresa valoriza suas idéias e sugestões (BLECKER et al., 2004; ZIPKIN, 2001);
- arquitetura de sistema aberta – fornecedores e clientes devem manter a sua independência, mesmo estando conectados com a rede de manufatura da empresa. O sistema deve fornecer um esquema de cooperação flexível que considere os interesses e políticas de cada agente e mantenha a sua autonomia (SONG e NAGI, 1997).

Do ponto de vista estrutural, as ferramentas de configuração em ambientes de CM possuem, basicamente, três componentes principais, segundo Franke e Piller (2003), que também podem ser identificados no mecanismo de trabalho proposto por Yan et al. (2001) de forma a obter essas funcionalidades:

- um sistema de configuração que apresenta as possíveis opções e guiam o usuário através do processo de customização de produtos;
- uma ferramenta de análise que permite ao usuário avaliar as configurações selecionadas, facilitando o aprendizado do usuário através da tentativa-e-erro;
- uma ferramenta de comunicação eficaz que transmite a configuração definida pelos clientes aos setores de projeto de manufatura de uma empresa, permitindo o estabelecimento de *feedback* entre cliente e empresa.

Já nas primeiras discussões sobre CM, Lau (1995) salientava que a estrutura e a infra-estrutura eram aspectos críticos para a implementação com sucesso da estratégia, mas que, infelizmente, os requisitos da CM em termos de infra-estrutura informacional tinham sido tratados de uma forma fragmentada. Nos últimos tempos, a emergência de novas formas de acesso e comunicação, têm fornecido os meios

para atingir um processo unificado de desenvolvimento de produtos. Por este prisma, a Internet, a linguagem Java e a Metodologia Orientada a Objetos (MOO) têm recebido especial atenção de pesquisadores e analistas de sistemas, devido ao seu potencial para atender as funcionalidades acima destacadas (DEITZ, 1997).

A Internet é importante pela habilidade de conectar um número ilimitado de bases de dados em escala global. A linguagem Java fornece a habilidade de estender as funções de sistemas existentes para que eles fiquem mais adequados a produtos específicos. A MOO, por sua vez, tem sido adotada por usuários e analistas de sistemas porque pode reduzir o custo e a complexidade no desenvolvimento e manutenção destes. Além das funcionalidades, os componentes e as tecnologias descritas, as empresas devem procurar uma cultura de ênfase à criação e distribuição de conhecimento através da cadeia de valor. Para implementar uma estratégia de CM, os fabricantes devem distribuir conhecimento e poder de tomada de decisão tanto no ponto de abastecimento quanto na venda e pós-venda, o mais perto possível dos fornecedores e clientes. Para tanto, a implementação da CM é muito dependente de sistemas de informação bem desenvolvidos com conexão direta entre os agentes envolvidos no processo de customização. Embora os sistemas acima citados apresentem idéias interessantes, eles constituem um pequeno avanço na direção certa, no que respeita ao projeto, desenvolvimento e implementação de processos de administração da informação adequados para sistemas de CM. A bibliografia não descreve estruturas desenvolvidas para a implementação com sucesso de sistemas de informação de CM que integrem com eficiência e efetividade o intercâmbio de conhecimento entre clientes e empresas.

A maior contribuição deste trabalho de pesquisa é preencher este vazio, desenvolvendo um sistema computacional capaz de implementar, de forma explícita, dinâmica e flexível, o processo cognitivo que caracteriza a configuração de um produto em uma estratégia de CM.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Van Doren (1991) salienta que a ciência é uma atividade caracterizada por três aspectos. Primeiro, a ciência é praticada com uma visão específica do mundo; os cientistas tentam ser objetivos, deixando de lado sentimentos e emoções. Segundo, a ciência trabalha quase exclusivamente com objetos e fenômenos, não com idéias nem com sentimentos; a ciência trabalha com o mundo externo e as suas obras, não com estados internos. Como exemplos, Van Doren (1991) compara o corpo com a alma do homem: o corpo é considerado parte do mundo externo e é estudado pela ciência, a alma pertence ao **interior** do ser humano e não é estudada pela ciência. Terceiro, a ciência se ocupa dos objetos e fenômenos de um modo especial, empregando **métodos e linguagens especiais**.

O propósito dessa seção é descrever a pesquisa sobre a perspectiva oferecida pela terceira característica apresentada por Van Doren (1991), o **modo especial** que a ciência tem de se ocupar das coisas. Assim, descrevem-se nessa seção: os aspectos metodológicos do trabalho de pesquisa, a perspectiva filosófica, os objetivos, a estratégia e os passos implementados para o desenvolvimento da investigação.

### 4.1 ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS

A formulação de um método em particular para conduzir uma pesquisa depende de aspectos epistemológicos que definem a natureza do conhecimento, os caminhos apropriados para adquiri-lo e os meios para sua representação.

Todo cientista aborda um estudo com pressupostos explícitos ou implícitos sobre a natureza da realidade estudada, e a forma na qual deve ser investigada. Nesse sentido, Easterby-Smith et al. (1995) salientam que não é prudente conduzir

uma pesquisa sem o conhecimento dos aspectos filosóficos e políticos que residem nos seus fundamentos. Burrell e Morgan (1979) afirmam que é importante que o cientista conheça bem os pressupostos que fundamentam a sua própria perspectiva, inclusive para entender pontos de vista alternativos. Esse conhecimento demanda pela familiarização com todos os paradigmas científicos e deve ser produto de uma viagem intelectual para fora das fronteiras que determinam a sua perspectiva da realidade. Somente assim o cientista pode apreciar por completo a precisa natureza do seu ponto de partida.

O debate filosófico sobre a natureza das ciências sociais está polarizado em duas posições que, segundo Burrell e Morgan (1979), conformam a **dimensão objetiva-subjetiva**, também definida por outros autores como o **positivismo** e o **anti-positivismo ou fenomenologia**. A primeira posição é conhecida como o **clássico paradigma das ciências**. A idéia central do positivismo é que a realidade existe e é externa ao indivíduo e as suas propriedades podem ser mensuradas objetivamente. O esforço científico é direcionado na procura e análise de leis universais, regularidades e relações causa-efeito que explicam e governam a realidade observada assim como ao desenvolvimento de formas de expressar essas relações ou leis. Os métodos quantitativos, os experimentos baseados nas ciências naturais, as *surveys* e o uso de medições estatísticas constituem os métodos positivistas por excelência.

O paradigma subjetivista salienta a importância da experiência subjetiva do indivíduo na criação, modificação e interpretação da realidade da qual ele faz parte. A ênfase é dada ao que é único e particular ao indivíduo e não ao que é geral e universal. Em termos metodológicos, não são necessárias grandes amostras nem populações; os métodos mais apropriados são os estudos de caso e as técnicas qualitativas. O pesquisador faz parte do sistema social analisado e torna-se o instrumento de pesquisa mais importante.

O Quadro 2 apresenta um resumo das mais importantes diferenças entre os dois paradigmas.

OBJETIVISTA	SUBJETIVISTA
A realidade é externa, objetiva, concreta, independente do observador e pode ser isolada do contexto.	A realidade é construída (com nomes e conceitos) e subjetiva. O observador e o contexto são parte dessa realidade.
Procura de causalidade e leis universais Formula e testa hipóteses.	Procura o único e particular.
O homem é determinado pela situação ou entorno.	O homem é autônomo.
Métodos e técnicas da ciências naturais. Métodos quantitativos.	Investigação em profundidade de poucos casos.

### Quadro 2 – Principais características dos paradigmas Objetivista e Subjetivista

Fonte: o autor.

Na área de Pesquisa Operacional (PO), a tradição metodológica responde à modelagem quantitativa e, ocasionalmente, à análise estatística (MEREDITH et al., 1989). Adota-se o modelo de pesquisa das ciências naturais e aplicam-se técnicas quantitativas a problemas complexos com o pesquisador tão distante quanto é possível do problema estudado. O paradigma é tipicamente objetivista, prescritivo, com uma abordagem hipotético-dedutiva, não-contextual, e têm preferência por construtos racionais.

Na sua origem, a orientação da pesquisa na área de operações era totalmente pragmática e a unidade de análise era o gerente de operações. A partir da metade do século XX, a PO identificou-se plenamente com o uso de modelos matemáticos e algoritmos e tornou-se a ferramenta favorita dos cientistas da área ao mesmo tempo que ganhava prestígio acadêmico.

Perdura até hoje essa predominância da modelagem quantitativa e a grande maioria dos pesquisadores de PO adotam o modelo de pesquisa das ciências naturais. Porém, vários autores, como Meredith et al. (1989), Orden (1988), Amoako-Gyampah e Meredith (1989) e Buffa (1980), salientam a necessidade de integrar outros paradigmas de pesquisa alternativos, cujo **rigor científico** já foi aceito em outros campos de estudo.

## 4.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 4.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo da pesquisa é o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para a configuração de produtos em ambientes de CM de abordagem modular.

### 4.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- fornecer um ambiente informacional que dê ênfase à criação e distribuição do conhecimento entre clientes e empresas através de um modelo de apoio à decisão para customização de produtos;
- desenvolver um modelo conceitual para customização de produtos;
- formalizar matematicamente a representação do modelo desenvolvido;
- implementar computacionalmente o modelo;
- validar o modelo através de experimentos e analisar as conclusões da implementação computacional.

## 4.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

O modelo aplicado no trabalho de pesquisa é um **modelo modificado das ciências naturais**, descendente do positivismo e de aplicação nas ciências sociais. Nesse modelo modificado das ciências naturais, a fase final de aplicação de testes utiliza métodos qualitativos (pela dificuldade de reduzir todos os parâmetros envolvidos a um reduzido número de variáveis). Assim, a pesquisa mantém a estrutura tradicional das ciências naturais e introduz técnicas qualitativas na validação do sistema computacional desenvolvido. Cabe ressaltar que, se os

métodos qualitativos utilizados não têm suficiente valor para garantir completa consistência lógica e um total poder de predição, eles são relevantes para apresentar o potencial da metodologia de análise e avaliação no caso utilização do SAD em problemas reais.

Em resumo, a pesquisa utilizou métodos exploratórios, qualitativos e empíricos dentro de uma estrutura metodológica clássica, consistindo em uma seqüência de hipóteses, observação, teste, e confirmação ou negação de hipóteses. Particularmente, o protótipo do sistema de informação desenvolvido durante a pesquisa foi a ferramenta que facilitou o teste da hipótese.

A pesquisa utilizou um método experimental de desenvolvimento e avaliação de um sistema de informação que emula o processo de customização de produtos.

#### 4.4 PROCEDIMENTO DE PESQUISA

Para alcançar os objetivos descritos previamente, foi utilizado um delineamento de pesquisa experimental, em que o objetivo básico foi estudar as relações entre a satisfação do cliente e o projeto ou customização de produtos, testando a hipótese de que o sistema desenvolvido facilita o intercâmbio de conhecimento entre clientes e empresas. A pesquisa está estruturada da seguinte forma:

- *definição da situação problemática*: identificação e estudo do problema a ser modelado. Essa etapa consistiu, basicamente, na procura da bibliografia pertinente à CM e os modelos de sistema desenvolvidos para intercâmbio de conhecimento e customização de produtos. A pesquisa bibliográfica procurou, não somente relevar o trabalho dos autores mais reconhecidos na área de estudos sobre CM, mas, também, acrescentar o marco teórico com contribuições de pesquisas que, ainda sem referência explícita à CM, aplicam técnicas e desenvolvem conceitos subjacentes que têm conexão direta com a CM e o intercâmbio de conhecimento entre empresas e clientes. O resultado final desta etapa foi a definição precisa do problema estudado, a definição dos processos envolvidos e a

especificação dos requisitos para a solução. Os resultados do primeiro passo da pesquisa são apresentados nos Capítulos 1 a 4;

- *desenvolvimento da solução*: caracterizada pelo desenvolvimento de um modelo de Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que represente todos os elementos e relações existentes em um processo de customização. Esta fase foi desenvolvida com a definição de uma abordagem orientada a objetos para a representação, o método multi-atributo para o levantamento das preferências dos clientes e a programação linear inteira para a maximização da utilidade dos clientes. A integração destas técnicas e métodos permite a representação do processo cognitivo de customização de produtos modulares, mesclando a visão técnica dos projetistas e a visão caracterizada por intenções e necessidades dos clientes. O Capítulo 5 descreve o processo de modelagem realizado;
- *implementação operacional do modelo*: durante esta etapa da pesquisa, o método colaborativo desenvolvido na etapa anterior foi implementado computacionalmente. A simplicidade de implementação das técnicas de programação linear e multi-atributo facilitaram a operacionalidade do modelo. Para implementar a solução do problema, foi selecionada a tecnologia de SAD como ambiente computacional e a construção de um protótipo como método de implementação. A descrição completa do SAD encontra-se nos Capítulos 5 e 6;
- *teste da Solução ou Validação*: basicamente, esse passo consistiu na avaliação da representatividade da situação problemática real representada no SAD. A implementação da validação foi realizada através de métodos qualitativos: testes com potenciais usuários do sistema e pessoas com reconhecido domínio na aplicação. A validação consistiu no julgamento sobre se o modelo abstrato e a sua implementação computacional eram corretos e satisfizeram os requisitos identificados na Seção 3.3. Esta etapa é descrita no Capítulo 7.

## 5 DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO COLABORATIVO PARA A CONFIGURAÇÃO DE PRODUTOS CUSTOMIZÁVEIS

Neste capítulo é apresentado o processo que ilustra o problema de customização e o método de solução que aborda o envolvimento do cliente em um contexto de CM, no qual configuram-se produtos como uma combinação modular e finita de componentes padronizados. Na solução proposta, foi desenvolvido um Método para a Configuração de Produtos que permite a troca de conhecimento entre consumidores e projetistas, integrando as técnicas de Programação Orientada a Objetos, Análise de Decisão Multi-Atributo e Programação Matemática. As técnicas mencionadas facilitaram a operacionalidade do aspecto da modularidade e deram o suporte necessário ao cliente para o processo decisório em questões como a escolha dos componentes disponíveis e as suas opções para a customização. O objetivo final do método é facilitar o processo decisório do cliente usuário oferecendo resposta rápida, gerando conhecimento e melhorando o fluxo de informação sobre a customização de produtos.

Na primeira parte do capítulo, é apresentado o processo de customização que serve como base para o desenvolvimento do método. A seção 5.2 introduz o método proposto. As seções 5.3 à 5.6 descrevem os diversos módulos que compõem o método. Finalmente, a seção 5.7 ilustra a implementação computacional do método, utilizando a tecnologia de SAD.

### 5.1 O PROCESSO DE CUSTOMIZAÇÃO

Conforme os capítulos anteriores, o envolvimento do cliente no *design* de produtos é um dos principais aspectos que caracteriza os níveis mais altos de implementação da CM. A relevância dessa integração do cliente no *design* manifesta-se quando se estabelece a diferença entre **variedade** e **customização** de

produtos. A variedade pode ser identificada apenas com o simples oferecimento de diversas opções de produtos e serviços desenvolvidas internamente nas empresas, sem, necessariamente, pesquisar os requisitos do cliente. Já a customização requer a colaboração de empresas e clientes para projetar produtos e serviços que respondam de forma adequada a demandas específicas de cada cliente. Variedade de produtos não é customização, é uma estratégia competitiva para atingir as necessidades dos clientes fornecendo ao mercado alternativas do mesmo produto (MULBERGER & SIMPSON, 2004).

Para entender melhor como acontece o processo de customização, toma-se como ponto de partida e base a seqüência de passos definidos por Silveira et al. (2001) para caracterizar o processo de diálogo entre empresas e clientes em ambientes de CM, como segue:

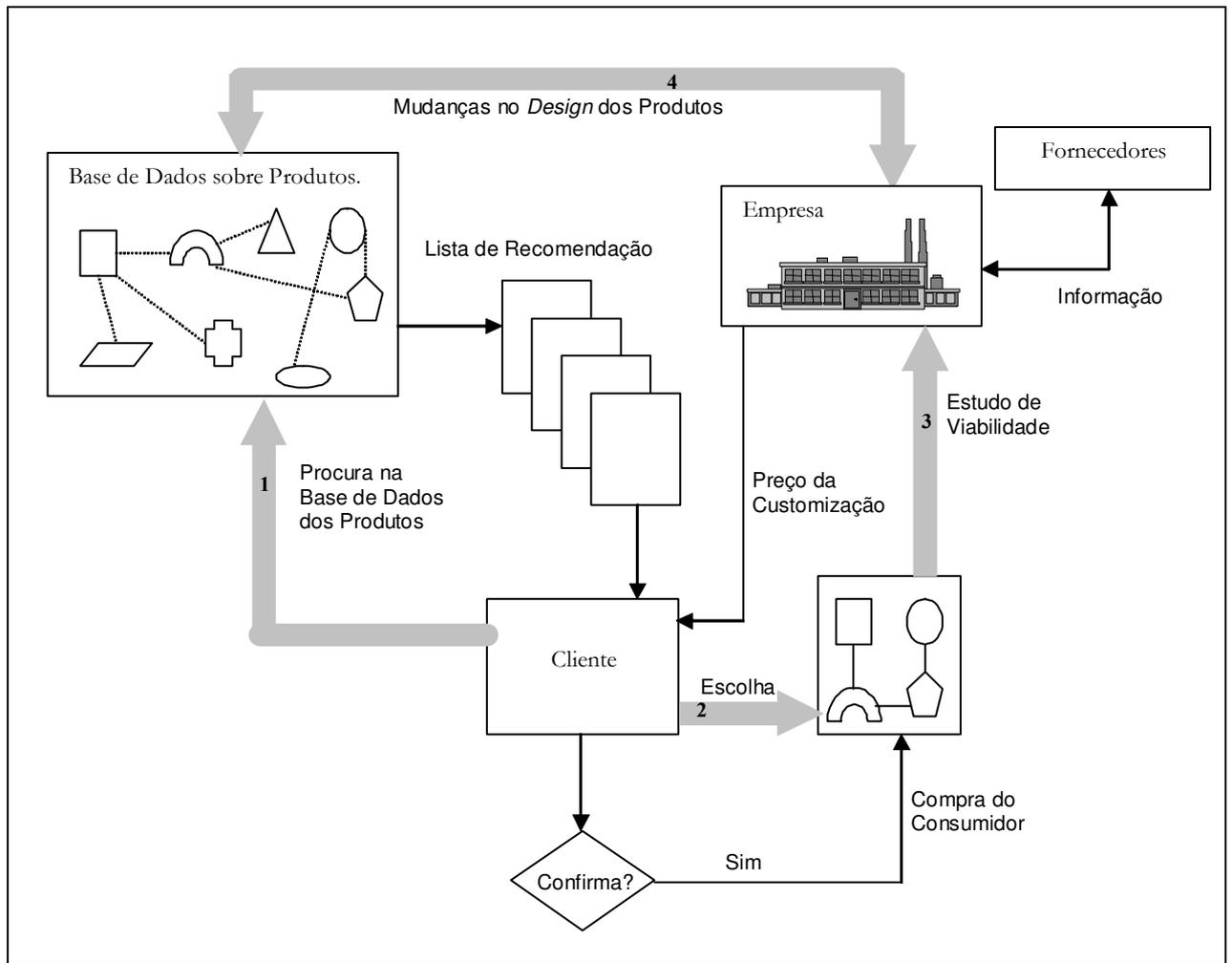
1. definição de um catálogo de opções a serem oferecidas aos clientes;
2. coleta e armazenamento da informação relacionado às escolhas dos clientes;
3. transferência de dados ao setor de manufatura; e
4. tradução das escolhas dos clientes em características do *design* dos produtos e processos de produção.

Com base nos passos definidos por Da Silveira et al. (2001), e considerando a **customização pura** de Lampel e Mintzberg (1996), as **abordagens colaborativa ou transparente** definidas por Gilmore e Pine (1997), a Figura 9 ilustra o processo de customização adotado na tese (FRUTOS e BORENSTEIN, 2004). Três atores principais estão envolvidos no processo considerado: empresa, clientes e fornecedores. Cada um deles tem um papel específico em cada passo do processo. O processo de customização começa com o cliente visualizando as opções oferecidas para customizar o produto, sujeitas à base de dados da empresa e em função das suas necessidades e desejos (Passo 1). O passo 1 caracteriza-se como um processo de busca para acessar as possíveis opções de componentes disponíveis para customização, as suas características e os preços correspondentes. O principal resultado gerado nessa etapa é uma lista consolidada de possíveis composições possíveis de customização. As composições referem-se a

tipos distintos de estruturas de componentes. Por exemplo, para o produto **avião**, possíveis composições são: hidroavião e avião a jato; para o produto **bicicleta**, possíveis composições são: *road bike* e *mountain bike*. A consequência mais importante desta etapa é que o processo de busca facilita o acesso ao conhecimento dos princípios que controlam as possibilidades de combinação dos componentes oferecidos, suas compatibilidades e o conjunto de opções oferecidas.

O segundo passo refere-se à seleção entre as possíveis composições daquela que melhor atende as necessidades do cliente. Esta etapa envolve a escolha entre os diversos componentes customizáveis de uma dada composição. Uma vez que a composição foi selecionada, a partir de um conjunto de restrições e características técnicas desejadas, as opções para cada componente poderão ser avaliadas com base em um conjunto de critérios ou atributos. Portanto, para cada componente, existe um conjunto de opções que serão avaliadas segundo atributos ou critérios apropriados, refletindo os requisitos dos clientes.

Assim, faz-se necessário que o cliente defina suas preferências através de valores para cada opção de cada componente. Com essa avaliação do cliente e as restrições previamente estabelecidas pelo fabricante do produto, o objetivo é chegar à melhor configuração (o melhor conjunto de opções, cada uma delas para cada um dos componentes de uma composição). Desta forma, a recomendação da **melhor configuração**, dadas as restrições técnicas e financeiras, caracteriza o passo 3 do processo ilustrado na Figura 9.



**Figura 9 – Processo de Customização**

Fonte: FRUTOS, Juan Diego; BORENSTEIN, Denis. A framework to support customer-company interaction in mass customization environment. **Computers in Industry**. Amsterdam, v. 54, n. 2, p. 115-135, jun. 2004. p. 119.

O cliente pode aceitar ou não essa recomendação e repetir indefinidamente os passos 1, 2 e 3 até achar a configuração mais satisfatória. Muito importante é destacar que a sucessão dos passos descritos (visualização das opções oferecidas, definição de critérios de avaliação, avaliação desses critérios e das opções e observação da recomendação) é um processo que, além de chegar a um resultado de customização, gera, para o cliente, um aprendizado sobre as variáveis que intervêm na customização do produto e as suas inter-relações. Aliás, o registro deste processo iterativo relacionado com o processo de escolha dos clientes serve como valiosa informação de mercado para a empresa. Já quando o cliente confirma a customização, as modificações resultantes provocam mudanças no processo de

produção e estas mudanças também são registradas na base de dados, pois serve como informação para futuros desenvolvimentos (Passo 4).

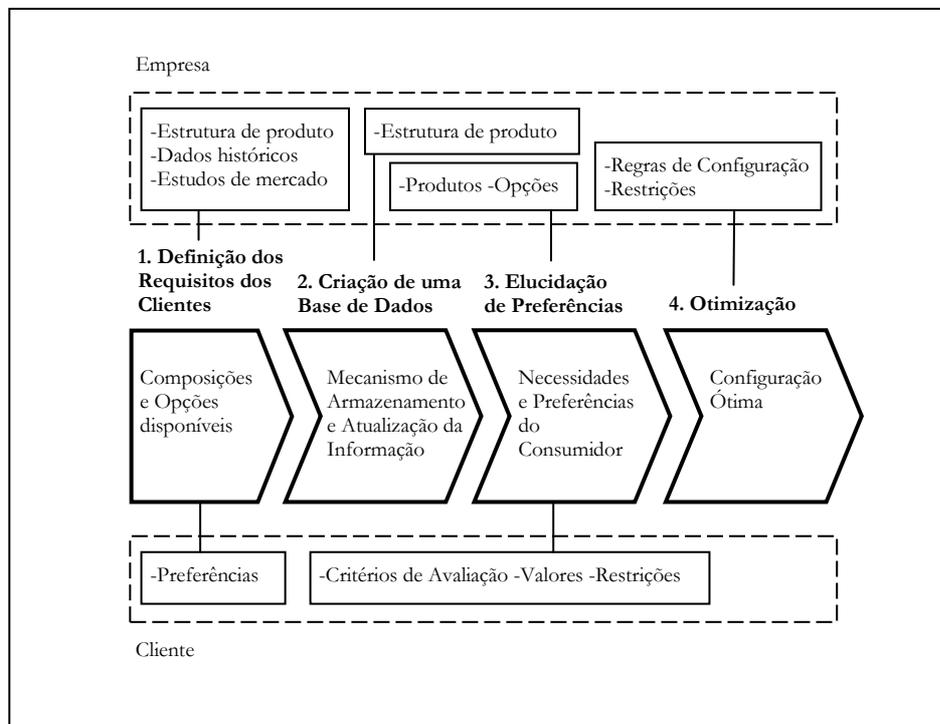
## 5.2 O MÉTODO COLABORATIVO DESENVOLVIDO

A configuração de um produto consiste em uma seqüência de escolhas de uma opção dentro de uma gama de alternativas oferecidas para cada um dos componentes de um produto. Essas escolhas são, na verdade, um processo decisório, no qual podem intervir muitas variáveis. Desta forma, os clientes se deparam com uma grande quantidade de alternativas para cada configuração. Portanto, pode se tornar muito complexo e até frustrante para o tomador das decisões trabalhar simultaneamente com tantas variáveis e alternativas. O método para a configuração de produtos proposto nesta tese oferece um conjunto de passos (implementados através de modelos) para facilitar ao cliente a representação, avaliação e seleção da melhor configuração de um produto customizável. Assim, o método foi desenvolvido para dar suporte ao processo de negócios apresentado na Figura 9. O resultado final do método é a definição da **configuração ótima** do produto para um cliente particular, considerando-se suas necessidades e anseios e as restrições técnicas da empresa. A Figura 10 ilustra o método.

Na primeira etapa do método, a **Definição dos Requisitos dos Clientes**, o principal objetivo é determinar o justo equilíbrio entre, de um lado, o sacrifício potencial que os clientes podem fazer por produtos customizados (por ex.: quanto aceitam pagar a mais e quanto tempo aceitam esperar em troca de um produto customizado) e, de outro, a habilidade da empresa para produzir e entregar produtos individualizados dentro de um tempo aceitável e com custos razoáveis. Em termos práticos, o primeiro passo procura definir um catálogo ou conjunto de composições e opções dos diversos componentes de um produto para serem oferecidas aos clientes estabelecendo, indiretamente, o grau de customização do produto.

A **Criação de uma Base de Dados** constitui a segunda etapa do método, na qual o objetivo é estabelecer os mecanismos de armazenamento, tratamento e atualização de toda a informação relativa ao processo de customização. Para tal, um Modelo Orientado a Objetos foi desenvolvido e implementado. Este modelo fornece

um esquema para descrever as composições dos produtos oferecidas pela empresa, comunicar essa informação aos clientes e garantir a integração de todos os sub-modelos ou módulos desenvolvidos que dão suporte a cada etapa do método.



**Figura 10 – Método Proposto**

A Etapa 3, **Elucidação das Preferências**, busca determinar as necessidades e preferências do consumidor, ou seja, **o que o cliente quer**. A idéia é estabelecer uma interação com o cliente, da qual irão surgindo os seus requisitos e preferências. Essa interação envolve as atividades de criar e estruturar critérios de avaliação, considerar as diversas opções de cada componente sob a perspectiva desses critérios, assim como a expressão de restrições pertinentes. Esta etapa apresenta a dificuldade de ter vários fatores de decisão, simultaneamente avaliados, devendo-se elencá-los conforme a sua importância. Para enfrentar essa dificuldade, utilizam-se técnicas de análise de decisão onde um número discreto de opções é avaliado por um conjunto discreto de atributos. O resultado final é a percepção de valor de cada opção dos componentes de um produto definido por cada cliente.

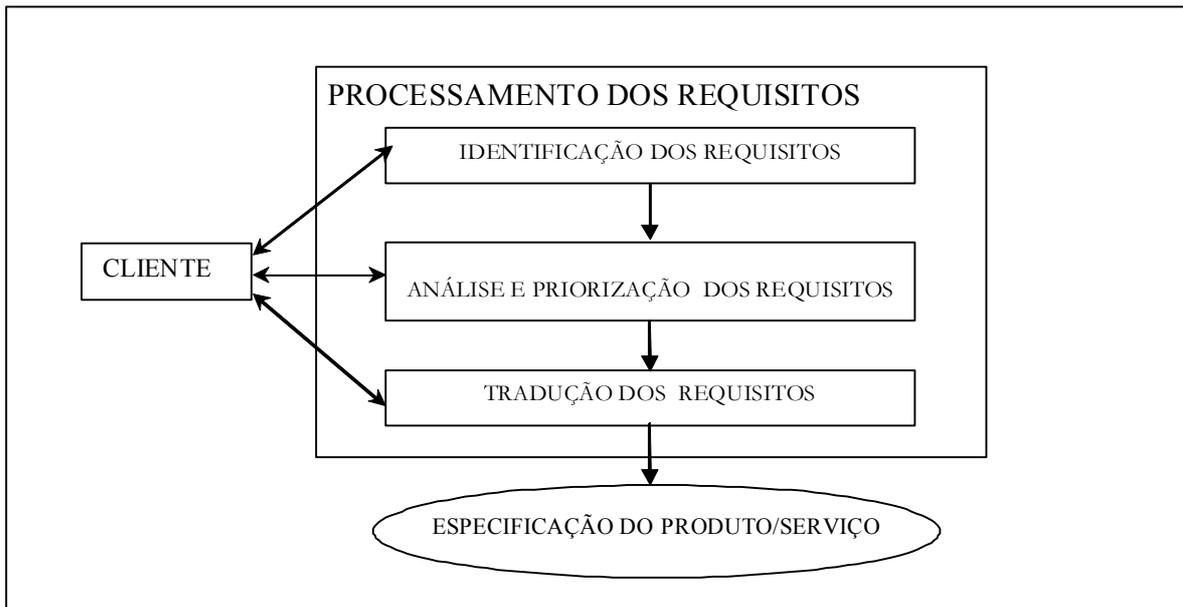
Na última etapa do método, **Otimização da Configuração do Produto**, o principal objetivo é a obtenção de uma configuração que maximiza a satisfação, ou

função de utilidade, associada a cada cliente, sujeita a uma série de restrições técnicas, econômicas, financeiras e estéticas, definidas pelos clientes e projetistas da empresa. Para a maximização das funções de utilidade para cada cliente, utiliza-se a programação matemática, na qual as regras de configuração de produto, respeitando as restrições mencionadas, são representadas por um conjunto de inequações lineares.

A partir de um modelo orientado a objetos, o método auxilia o projetista na representação dos produtos e das suas restrições de maneira que o cliente possa facilmente apropriá-las. Permite igualmente que, limitados pelas restrições estabelecidas no projeto dos produtos, a empresa aproprie as necessidades, desejos e intenções dos clientes de maneira formal. As seções seguintes descrevem as atividades de modelagem e implementação de forma detalhada em cada etapa do método desenvolvido.

### 5.3 DEFINIÇÃO DE REQUISITOS DE CUSTOMIZAÇÃO

Conforme salientado anteriormente, o objetivo desta primeira atividade é determinar, na prática, um catálogo de opções de produto para serem oferecidas aos clientes. A Figura 11 apresenta um processo sistemático baseado em Anumba e Evbuomwan (1997) para processar os requisitos dos clientes em relação à customização de produtos. O processo começa com a identificação dos mesmos. Primeiramente, devido ao grande número de possíveis características de um produto, é necessário saber quais dessas características o cliente deseja mudar para permitir à empresa limitar a gama de itens a serem customizados, o que facilita a definição precisa de um catálogo de opções customizáveis.



**Figura 11 – Processamento dos Requisitos do Cliente**

Fonte: adaptado de ANUMBA, C.; EVBUOMWAN, N. Concurrent engineering in design-build projects. **Construction Management and Economics**. London, v. 15, n. 3, p. 271-281, 1997. p. 279.

O passo seguinte é a análise e estabelecimento de prioridades dos requisitos. Os estudos de mercado são indicados como uma boa ferramenta para começar a identificar e dar prioridade aos macro-requisitos da customização. Para a empresa que decide pela primeira vez abordar uma estratégia de CM, o estudo do seu mercado serve como base para conhecer o que os clientes querem. Porém, por razões de custo e tempo, o método utilizado nos estudos de mercado é ineficiente para identificar o total de itens customizáveis e acompanhar em tempo real as mudanças e tendências do mercado. A definição dos requisitos pode ser aprimorada com a utilização de um sistema informacional, que permita aos clientes interagir dentro de um ambiente de navegação sobre todas as possíveis opções de customização, definindo interativamente, o que os mesmos querem customizar. Frutos e Borenstein (2004) apresentam tal estrutura.

A fim de exemplificar esta etapa, descreve-se o estudo de caso realizado por Frutos e Borenstein (2003) em uma empresa construtora de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, com o objetivo de definir os requisitos específicos de customização de um apartamento residencial. Os desafios da pesquisa foram: (i) coletar informação a respeito das necessidades e preferências dos clientes sobre a

customização do produto; e (ii) identificar as prioridades nas mudanças e aprimoramentos propostos sobre o produto.

A construtora de Santa Maria tinha implementado a possibilidade de customização de seus apartamentos em dois empreendimentos, respondendo às tendências de demanda do mercado. No primeiro condomínio, foi oferecido um processo limitado de customização desenvolvido informalmente e restringido a alguns poucos itens do produto. Já para o segundo condomínio, o conjunto de opções de customização foi ampliado. Neste caso, a empresa criou um procedimento mais formalizado, o qual continha instruções específicas aos proprietários sobre a forma como deviam agir para obter as modificações no projeto dos apartamentos.

A implementação da pesquisa foi realizada através de um questionário (Apêndice A) que capturava as características dos clientes, os componentes do produto mais customizados e o nível de satisfação atingido com o processo de customização. O questionário foi desenvolvido para capturar, especificamente, as necessidades e requisitos de customização durante a construção do imóvel. Quarenta e um proprietários distribuídos em dois edifícios, que representavam 72% da população, foram entrevistados.

Perto de 66% dos respondentes destacaram que tinham realizado alguma customização em seus apartamentos e houve uma média de três opções de componentes modificados por cada proprietário. Esta média cresceu para quatro, quando o respondente comprou o imóvel para sua moradia e não como investimento.

A Tabela 1 apresenta as modificações de projeto mais encomendadas. Este tipo de resumos serve de base para o desenvolvimento de futuros empreendimentos e o estabelecimento das diversas opções para customização, como foi salientado pelos empresários da firma entrevistados por Frutos e Borenstein (2003). Eles salientaram que a vantagem mais importante da customização realizada foi o nível de satisfação manifestado pelos clientes (Tabela 2) e o entendimento do que os clientes da empresa esperavam de um produto como o apartamento.

Com base na identificação e priorização dos requisitos, a empresa é a responsável pela tradução dos requisitos em novos produtos e serviços. Porém,

antes é preciso avaliar a viabilidade de realizar esses produtos e serviços. A viabilidade de customização de um item de produto depende, basicamente, da capacidade técnica da empresa. Existem diversos fatores a serem considerados para a viabilidade técnica da customização, como o nível de avanço do programa de produção, a disponibilidade de recursos (de fornecedores ou da própria empresa), e compatibilidade com outros itens. Como resultado dessa avaliação de viabilidade, a empresa define quais itens ou componentes podem ser customizados e quantifica o custo das modificações.

Tabela 1 – Ranking de alterações de projeto mais encomendadas

COMPONENTE	ALTERAÇÃO	FREQÜÊNCIA
Piso	Trocou o piso da sala	59%
	Trocou o piso dos dormitórios	56%
Paredes	Retirou a que existia em planta	15%
Esquadrias	Trocou as portas internas	15%
	Retirou e/ ou acrescentou janela na cozinha	15%
	Retirou porta(s) interna(s)	12%
Instalação elétrica	Criou ponto novo de tomada	10%
Água e esgoto	Criou novo ponto de água	7%
Instalação elétrica	Mudou de lugar ponto de luz	7%
	Mudou de lugar tomada	7%
	Mudou de lugar interruptor	7%
Louças sanitárias	Trocou a louça sanitária dos banheiros	7%
Tampos	Colocou tampo na pia da cozinha	7%
Segurança	Colocou grade(s) em janela(s)	7%
	Colocou tranca(s) na porta de entrada do apto.	7%
	Colocou olho mágico na porta de entrada	7%

Tabela 2 – Importância das Alterações

IMPORTÂNCIA DAS ALTERAÇÕES	FREQÜÊNCIA
Muito Importante	83%
4	15%
3	2%
2	-
Sem Importância	-

#### 5.4 O MODELO ORIENTADO A OBJETOS

A Metodologia Orientada a Objetos (MOO) é uma abordagem de processamento de informações especialmente indicada para o desenvolvimento e o gerenciamento eficiente de sistemas complexos (KARIM e ADELI, 1999a e 1999b). A metodologia oferece a oportunidade de reduzir o custo total do ciclo de desenvolvimento de sistemas. As suas características facilitam a extensibilidade e reutilização de sistemas já desenvolvidos. A reutilização é uma das principais preocupações na criação de sistemas de informações, sendo ressaltada como a principal vantagem da MOO (ADIGA, 1993; KARIM e ADELI, 1999a e 1999b; SONG e NAGI, 1997).

Esta abordagem concentra a maior parte do esforço de desenvolvimento de sistemas na análise e no projeto e dá mais atenção à estrutura de dados do que as funções a serem desenvolvidas (RUMBAUGH et al., 1994). O conceito básico deste paradigma de construção de sistemas computacionais é o **objeto** que representa entidades concretas e abstratas do mundo real através da encapsulação das suas características e funcionalidades. Os objetos são organizados numa hierarquia de classes que permite a transmissão ou sucessão de propriedades de objetos de classes superiores a objetos de classes inferiores. Um objeto é uma instância de uma classe; todos os objetos pertencem a alguma classe e uma classe pode ter múltiplas instâncias de objetos. Um objeto fornece uma interface para comunicação com outros objetos e as suas características facilitam a extensibilidade e reutilização

de objetos previamente desenvolvidos. O objeto funciona como um conceito unificador de todos os outros conceitos como funções, relacionamentos e eventos.

Os sistemas do mundo real são coleções de entidades interativas como pessoas, partes e máquinas. Para modelar os sistemas em uma abordagem orientada a objetos, a abstração e caracterização dessas entidades são feitas através de atributos e mudanças nos atributos como respostas a eventos externos. A MOO tem uma visão do mundo como uma coleção de objetos. Por exemplo, um componente fabricado e um produto montado são exemplos de objetos. Utilizando objetos, a MOO simula dinamicamente os mecanismos de um sistema e captura os atributos das entidades envolvidas. A MOO fornece uma visão unificada da informação e uma abordagem flexível para intercâmbio e transferência de dados; é especialmente apropriada para representação de sistemas em ambientes de CM (SONG e NAGI, 1997).

A MOO é uma técnica que tem por base a decomposição modular de um sistema em classes de objetos. Dessa forma, o sistema manipula objetos, e não funções – como ocorre nas técnicas de projeto funcional. Conseqüentemente, as técnicas clássicas de decomposição funcional, como a análise de dados estruturados (SADT) (PETERS, 1987) não são adequadas para o projeto de Modelos Orientados a Objetos. A literatura descreve diversas metodologias de desenvolvimento de Modelos OO (BOOCH, 1994). Para o desenvolvimento e a representação gráfica do Modelo OO desta pesquisa, foi selecionada a Linguagem de Modelagem Unificada (UML, do inglês *Unified Modeling Language*) (RUMBAUGH et al., 1994 e 1999), aceito como padrão internacional.

A técnica de modelagem implementada na tese é representada por três tipos de abstrações inter-relacionadas: o Modelo de Objetos, o Modelo Dinâmico e o Modelo Funcional. Cada modelo descreve um aspecto do sistema: o Modelo Funcional especifica **o que acontece**, o Modelo Dinâmico especifica **quando acontece** e o Modelo de Objetos **o que acontece a quem**. O Modelo de Objetos descreve a estrutura estática do sistema em termos de objetos e relacionamentos correspondentes a entidades do mundo real. O Modelo Dinâmico descreve a estrutura de controle do sistema em termos de eventos e de estados e, por último, o Modelo Funcional descreve a estrutura computacional do sistema em termos de valores e funções. O desenvolvimento do modelo OO é um processo iterativo. Uma

modificação realizada em um dos modelos resulta em sucessivas modificações nos demais modelos.

O principal objetivo do Modelo de Objetos em um ambiente de CM é obter dados estruturados do produto, dos componentes e de suas opções, em uma plataforma apropriada para o desenvolvimento da base de dados do produto, da interface com os consumidores, das regras de customização e dos modelos para análise/avaliação. O Modelo de Objetos atua como um ambiente conceitual original e estruturado, concebido para dar suporte ao desenvolvimento de todos os outros modelos desenvolvidos. Fundamentalmente, o Modelo de Objetos propicia a organização do conhecimento para a customização de produtos. Também é importante destacar que, com a estrutura dada ao Modelo, a principal idéia é oferecer flexibilidade à abordagem utilizada, tornando sua aplicação possível a diferentes tipos de produtos. Dentro dessa perspectiva, objetos podem ser criados e associados pelo modelador de modo a definir seu sistema particular de CM.

A Figura 12 apresenta o Modelo de Objetos desenvolvido para a pesquisa onde os quadros representam as classes de objeto. Nos quadros são colocados o nome, os atributos e operações características de cada classe. Por sua vez, os objetos mantêm associações (ou dependências) entre eles que são especificadas com linhas que unem os quadros de objetos. No Modelo de Objetos desenvolvido, o projeto de produtos é considerado a partir de diversas formas de montar componentes, definidas pela classe **Composição**. Desse modo, uma composição é formada por várias instâncias da classe **Componente**, e deve obedecer às especificações definidas pela empresa. A classe **Produto** representa um conjunto de possíveis tipos de montagens de componentes. Por sua vez, a classe **Opção** representa as diversas possibilidades em que pode ser apresentada cada instância da classe **Componente**. Por exemplo, uma mesa pode ser uma instância da classe **Produto** (Figura 13), e pode ser oferecida em dos tipos: **mesa metálica** e **mesa de madeira**, que constituem instâncias da classe **Composição**. As duas versões serão compostas por um conjunto de instâncias da classe **Componente** (patas, tábua, etc.) em conformidade com as especificações de projeto que caracterizam o produto **mesa**. E no caso da instância **tábua** da classe componente, ela é oferecida em três instâncias da classe **Opção**: **redonda**, **quadrada** e **retangular**.

Para o caso da classe **Componente**, existe o desdobramento de objetos como uma forma de estabelecer uma hierarquia de componentes, o que determina superclasses, classes e subclasses de objetos. As subclasses que venham a compor a hierarquia dos componentes serão beneficiadas pelo **polimorfismo**, característica própria da MOO. Polimorfismo significa que uma mesma operação ou mesmo método pode atuar de modo diverso em classes diferentes. Isso permite que cada classe redefina seu próprio método. Adotando como exemplo a customização de um apartamento residencial, quando o **Componente** for o **Revestimento de Parede**, o método **cálculo do preço** utiliza como parâmetro a superfície das paredes, porém, quando o **Componente** for **Rodapé**, o parâmetro de cálculo é o perímetro do local.

Por um lado, as classes **Produto**, **Composição**, **Componente** e **Opção** referem-se às especificações e conceitos do produto definidas pela empresa; somente os projetistas da empresa podem definir suas instâncias. Por outro lado, as classes **Configuração**, **Componente Customizado**, e **Atributo**, implementam as necessidades informacionais para que o consumidor possa especificar suas escolhas. Instâncias destas últimas classes são criadas e manipuladas pelo consumidor durante o processo de customização. Instâncias da classe **Atributo** são utilizadas para a avaliação de várias instâncias de **Opção** de um componente específico. Por exemplo, **custo** e **resistência** são exemplos de possíveis atributos para a avaliação das opções do componente **tábua** da mesa.

Instâncias da classe **Componente Customizado** surgem cada vez que é escolhida uma opção para um determinado componente; **tábua redonda** seria um exemplo dessa instância. Ainda, uma instância de **Componente Customizado** constitui uma opção selecionada pelo consumidor como resultado de um processo de avaliação empregado no Modelo de Elucidação (seção 5.5).

As instâncias da classe **Configuração** surgem cada vez que a customização de um produto é completada. Ou seja, quando o Modelo de Configuração Ótima escolhe uma opção para cada um dos componentes que integra um produto. O consumidor provavelmente criará várias instâncias dessa classe durante o processo de customização, cada uma caracterizando um produto customizado.

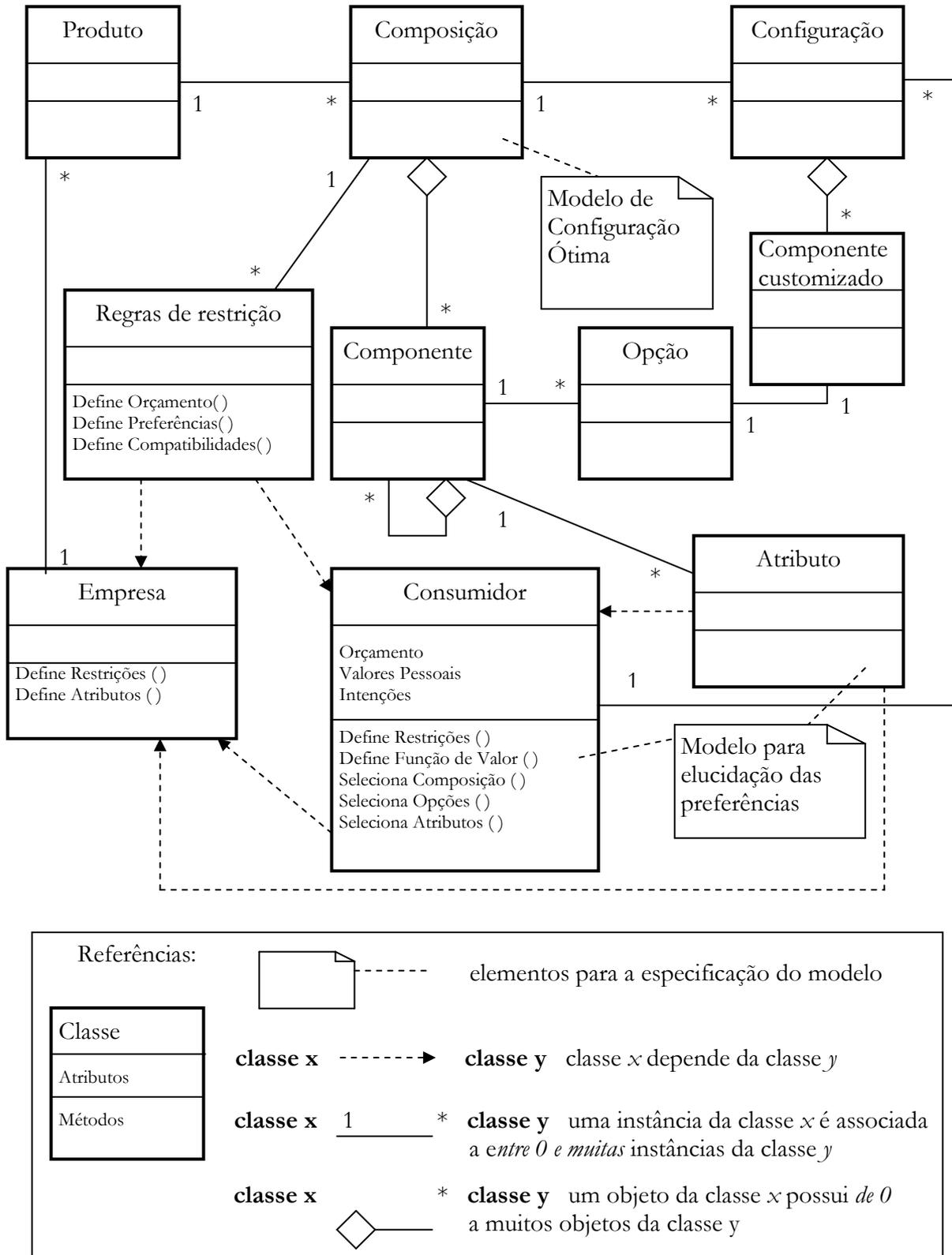


Figura 12 – Modelo de Objetos: Diagrama de Classes para o Processo de CM

A classe **Regras de Restrição** implementa a integração de duas perspectivas: restrições definidas tanto pela empresa quanto pelos consumidores, relacionadas a restrições de cunho técnico, estético, econômico ou financeiro. Por último, **Empresa** e **Consumidor** são classes de objetos que representam os atores do processo.

Os atributos e operações que aparecem na Figura 12 não representam cada objeto em toda a sua dimensão, senão que sintetizam as características de maior importância para a aplicação. Por exemplo, a classe **Consumidor** tem muitos atributos (nome, número de telefone, endereço de e-mail, número da carteira de identidade, senha, e outros parâmetros de identificação), porém na figura são destacados a **disponibilidade orçamentária**, os **valores pessoais** e as **preferências, intenções e necessidades**, atributos que são características do cliente que influenciam diretamente o processo de customização. O mesmo acontece com os métodos ou operações, apenas foram colocadas os de maior relevância.

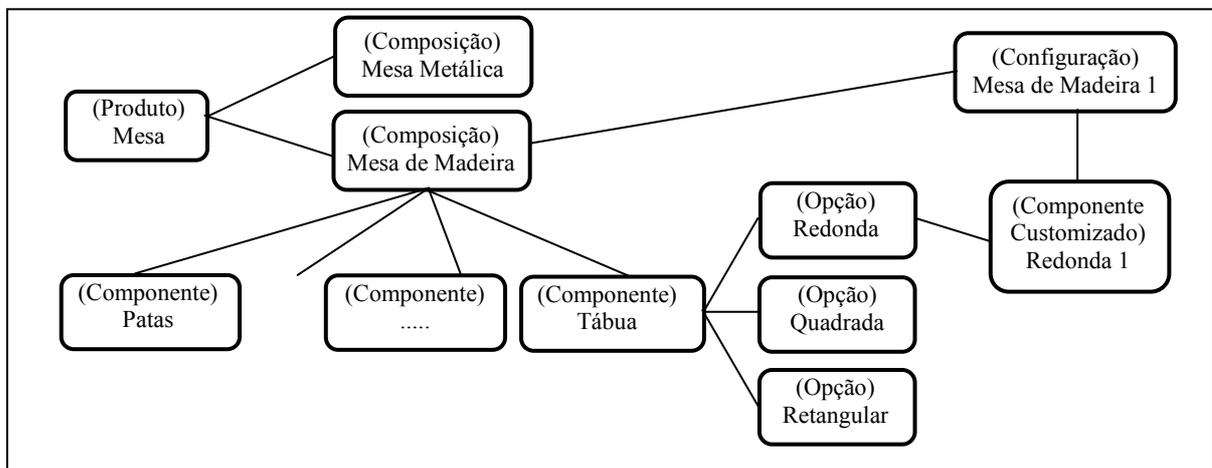


Figura 13 – Instâncias do Diagrama de Classes para o Produto Mesa

#### 5.4.1 O Modelo Dinâmico

Após a representação estática do sistema, examina-se as modificações ocorridas nos objetos e seus relacionamentos no decorrer do tempo. O Modelo

Dinâmico focaliza o comportamento **tempo-dependente** do sistema e os objetos nele existentes. Neste modelo, os principais conceitos utilizados são os **eventos**, que representam estímulos externos (como estímulos de um objeto para outro objeto) e os **estados** que representam valores de atributos e ligações de objetos, resultado da ocorrência de eventos. Um evento é uma transmissão de informação de um objeto para outro ou de um agente exterior para um objeto (em qualquer momento que uma informação é introduzida no sistema ou dele é retirada, um evento ocorre). Um evento é algo que acontece em um dado instante e altera o estado de um ou mais elementos do sistema.

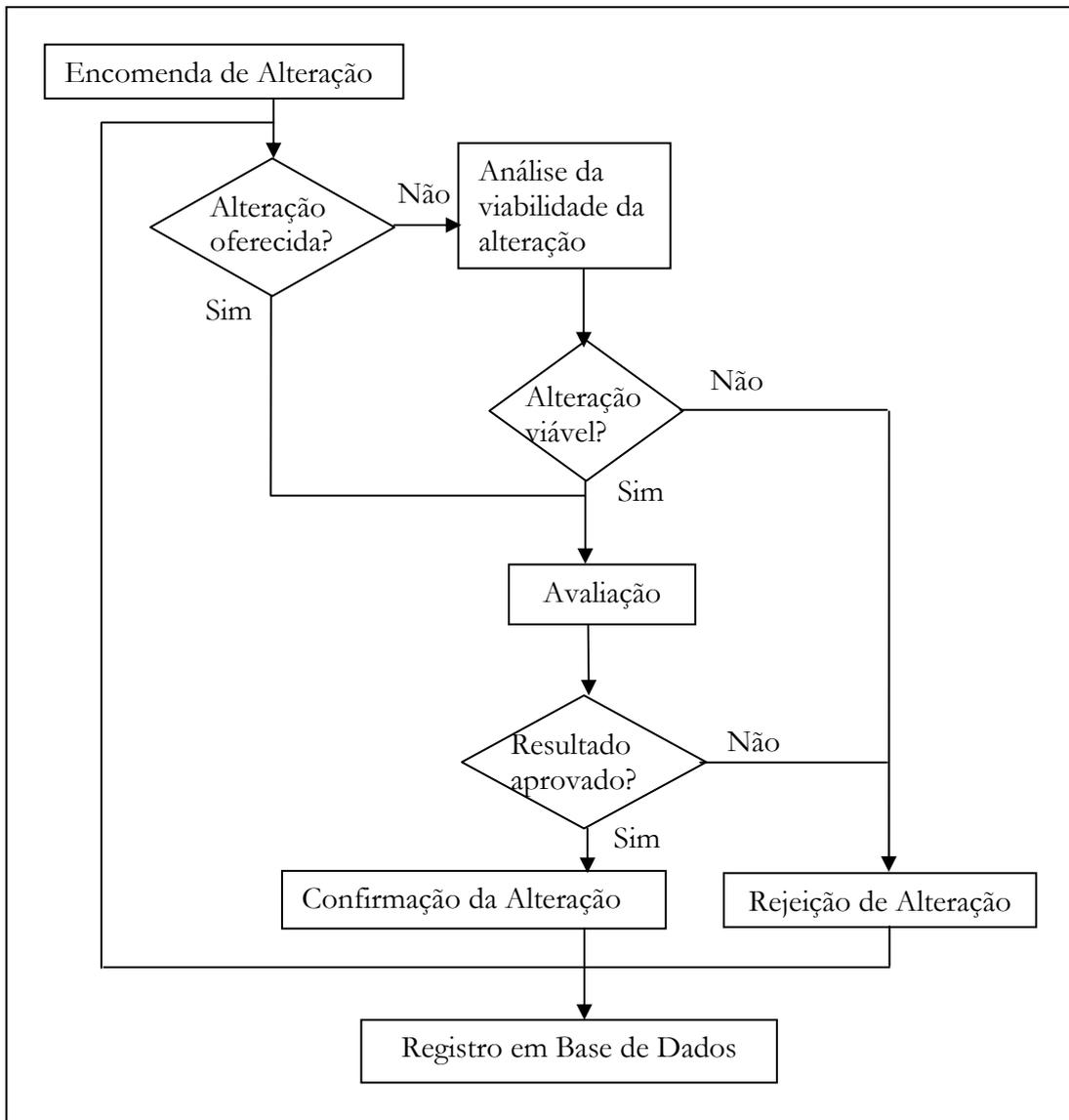
Eventos podem preceder ou suceder outros eventos, estabelecendo relacionamentos. **O consumidor define um critério de avaliação para estabelecer a função de valor para uma opção de um componente** são eventos relacionados de forma causal. Contudo, **a empresa define uma nova opção de customização para o componente A e o consumidor especifica o componente B para modificação** são exemplos de eventos concorrentes ou não-relacionados de forma causal. Eles não têm efeito um sobre o outro.

Para o modelo proposto neste trabalho, enumera-se uma lista dos eventos mais relevantes, identificando-se o ator (sistema ou usuário) que causou o evento:

- a empresa define uma nova opção de customização de um componente;
- o consumidor especifica o componente do produto que procura modificar;
- o consumidor define um critério de avaliação;
- o consumidor define a função de valor para uma opção de um componente;
- o sistema apresenta o resultado da avaliação da alteração encomendada;
- o sistema apresenta o valor do orçamento para realizar a alteração de projeto;
- o sistema apresenta o resultado da configuração ótima do produto;
- o usuário confirma ou não a nova configuração do produto.

Uma seqüência de eventos que ocorrem durante uma determinada execução do sistema constitui um **cenário**. Rumbaugh et al. (1994) recomendam abordar o Modelo Dinâmico por cenários antes de tentar escrever diretamente o modelo geral. Nesse sentido, foi construído primeiramente um fluxograma de atividades (Figura 14), que representa um resumo dos diferentes caminhos de diálogo ou macro-cenário entre usuário e sistema.

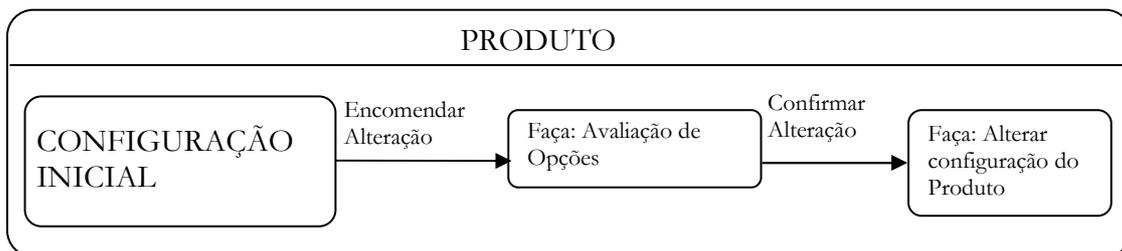
A propósito do fluxograma de atividades, cabe destacar a primeira bifurcação do caminho de diálogos que aparece quando o usuário encomenda uma alteração do projeto. Se a alteração é oferecida ou não pela empresa como opção *a priori*, terá mecanismos de avaliação diferentes. No primeiro caso, quando se trata de uma opção, previamente oferecida pela empresa, a análise da viabilidade será realizada de forma automática pelo sistema. No segundo caso, quando a alteração encomendada não está dentro da lista de opções, inicialmente oferecida pela empresa, a análise pode ser realizada pela empresa fora do âmbito do sistema. A seguir, a resposta com o resultado da análise é enviada ao cliente.



**Figura 14 – Fluxograma de Atividades**

O desenvolvimento do Modelo Dinâmico considera a construção de diagramas de estados depois do fluxograma de atividades, na qual cada estado especifica a reação de objetos aos eventos de entrada. Essa reação pode constituir-se de uma ação ou de uma modificação do estado pelo objeto. A Figura 15 é um exemplo de diagrama de estado, em que eventos e estados estão explicitamente relacionados para uma das principais classes de objetos: a classe **Produto**. O diagrama de estados para o objeto **Produto** começa com o estado **Configuração Inicial** que representa o produto na forma em que ele é oferecido pela empresa

antes de qualquer customização. Quando um cliente dispara o evento **encomendar alteração** de qualquer um dos seus componentes, o produto passa, automaticamente, para o estado de **Avaliação** (que envolve as atividades do Módulo de Elucidação das Preferências e do Módulo de Configuração Ótima do Produto, a serem descritos nas próximas seções). Por último, quando o cliente **confirma a aprovação da configuração**, realizada pelo sistema, o produto passa ao estado **modificação da configuração do produto**.



**Figura 15 – Diagramas de Estados para o objeto Produto**

Fonte: o autor.

O Modelo Dinâmico descreve um conjunto de objetos concorrentes com diagramas de estado próprios, e que podem mudar de estado de forma independente. Além de eventos e estados, no modelo dinâmico também são representadas **atividades** e **ações**. As atividades são operações que consomem tempo para serem completadas e estão associadas a estados. A notação **faça: A** dentro do quadro de estado (Figura 16) indica que a atividade **A** se inicia na entrada do estado e termina na saída ou quando completada. Uma ação é uma operação instantânea e está associada a um evento. A notação para uma ação é uma barra (/), e o nome ou descrição da ação segue o nome do evento que a ocasiona. O resultado da construção do Modelo Dinâmico é uma representação da seqüência de telas do sistema que indicam, passo a passo, o andamento do modelo.

A estrutura do Modelo Dinâmico é relacionada e restringida pela estrutura do Modelo de Objetos. O Modelo Dinâmico especifica seqüências possíveis de modificações nos objetos do Modelo de Objetos. O diagrama de estados descreve todo ou parte do comportamento de um objeto de uma determinada classe. Os estados são classes de equivalência de valores de atributos e de ligações para o objeto. Os eventos podem ser representados como operações no Modelo de

Objetos. Entretanto, os eventos são mais expressivos que as operações, porque o efeito de um evento não depende somente da classe do objeto, mas também de seu estado.

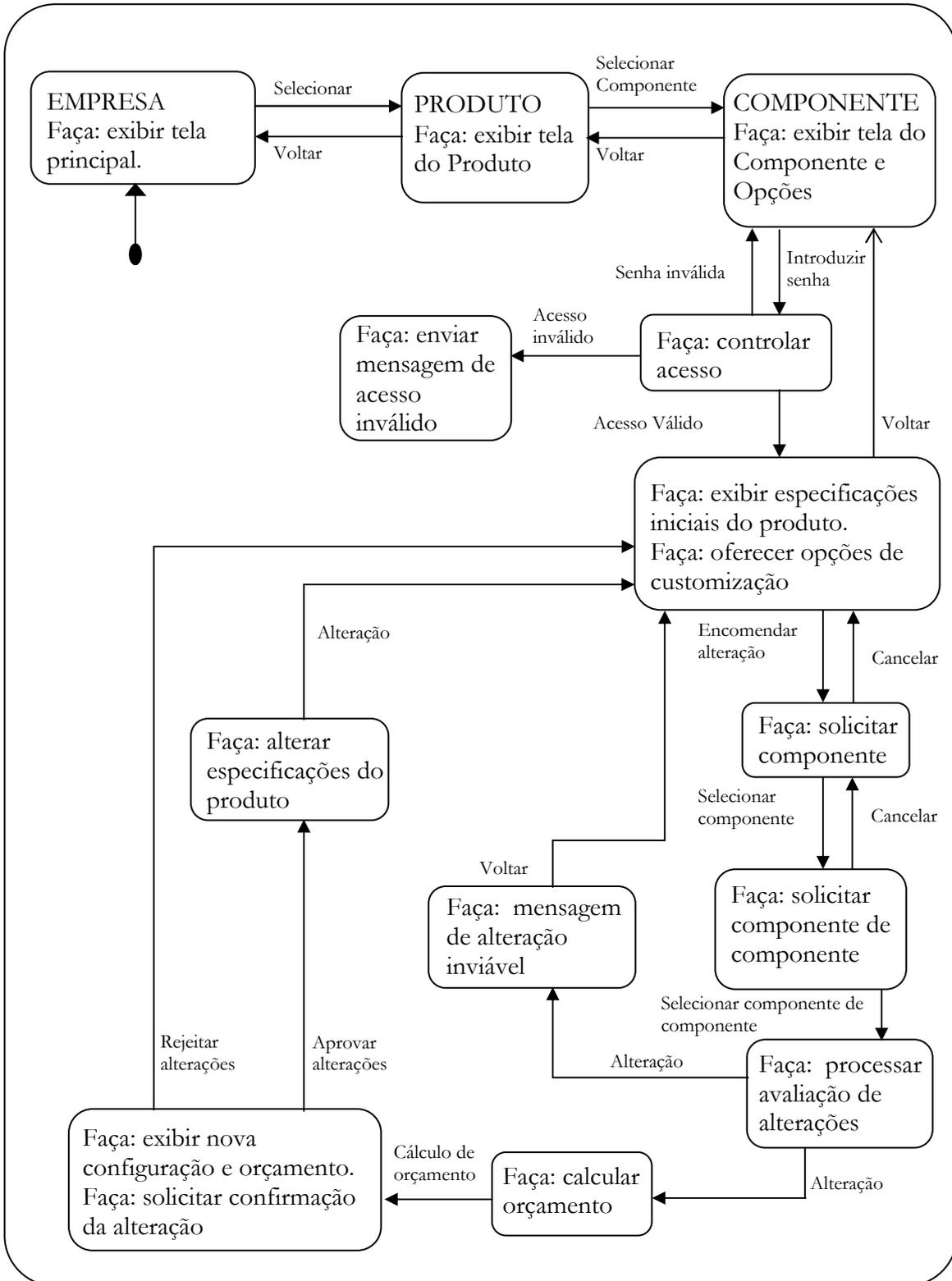


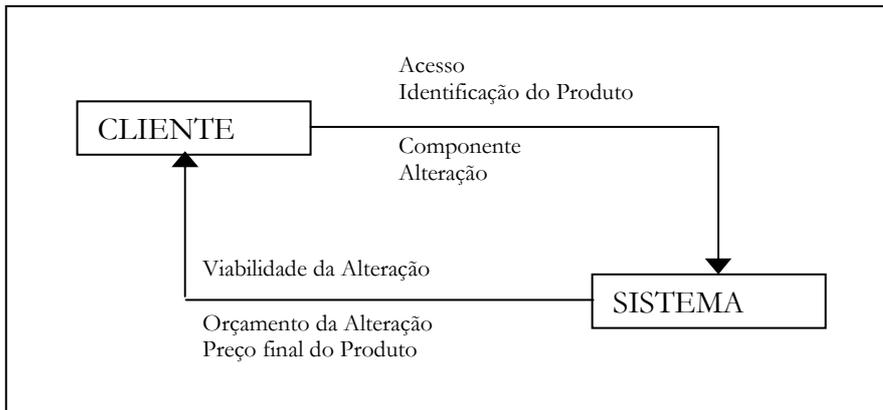
Figura 16 – Modelo Dinâmico

### 5.4.2 O Modelo Funcional

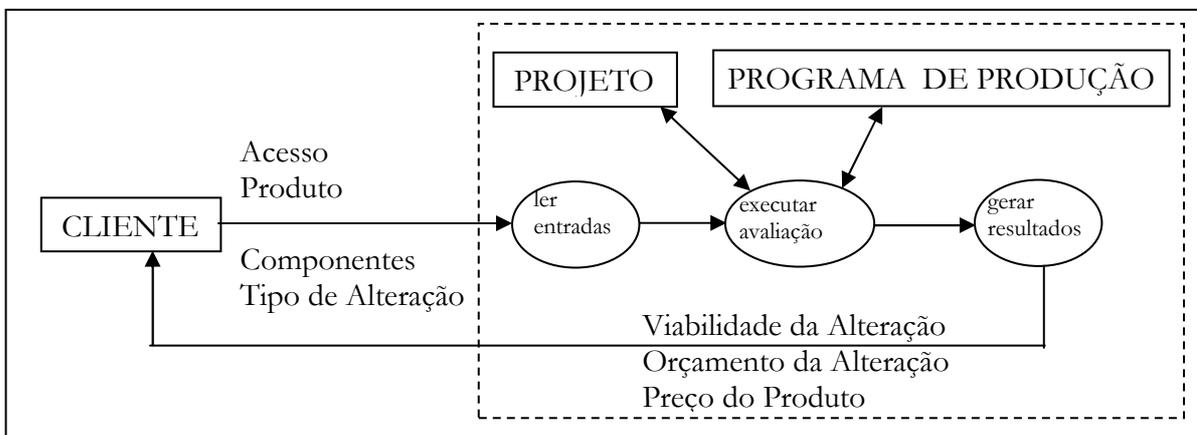
O Modelo Funcional descreve os cálculos executados em um sistema. Este modelo é o terceiro ponto de apoio da trípole da modelagem OO, juntamente com o Modelo de Objetos e o Modelo Dinâmico. Ele descreve como os valores de saída de um processamento derivam dos valores de entrada, sem preocupações com a ordem em que os valores são processados. O Modelo Funcional consiste em múltiplos diagramas de fluxos de dados que mostram o fluxo dos valores provenientes das entradas externas que passam por operações e depósitos internos de dados, a caminho das saídas externas. Esses valores são os parâmetros de eventos entre o sistema e o mundo externo. A Figura 17 apresenta as entradas e saídas do sistema no nível macro, e a Figura 18, o mesmo modelo em um nível mais detalhado.

O Modelo Funcional é composto por múltiplos diagramas de fluxo de dados que especificam o significado das operações e restrições, e mostram o fluxo dos valores de dados desde as origens nos objetos, através dos processos que os transformam, até seus destinos em outros objetos. O diagrama de fluxo de dados mostra como cada valor é processado a partir dos valores de entrada. Os processos do Modelo Funcional correspondem às operações do Modelo de Objetos. Por vezes, um processo corresponde a diversas operações e, em outras, uma operação corresponde a diversos processos. Os objetos podem ser **atores** (representados com retângulos) quando produzem ou consomem dados, ou **depósitos** (representados com um par de linhas paralelas) quando, simplesmente, armazenam dados. Os processos transformam valores de dados e são desenhados como elipses contendo o nome da transformação ocorrida.

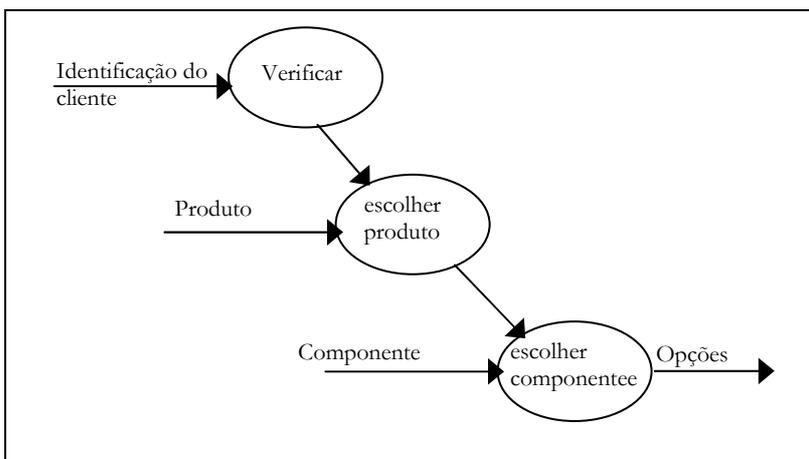
As Figuras 19 e 20 ilustram os processos de **ler entradas do sistema** e **configurar o produto**, respectivamente. Quanto à Figura 20, é importante lembrar que as restrições que limitam a avaliação, parte do processo de configuração, são definidas pela empresa proprietária/usuária do sistema e os seus clientes usuários.



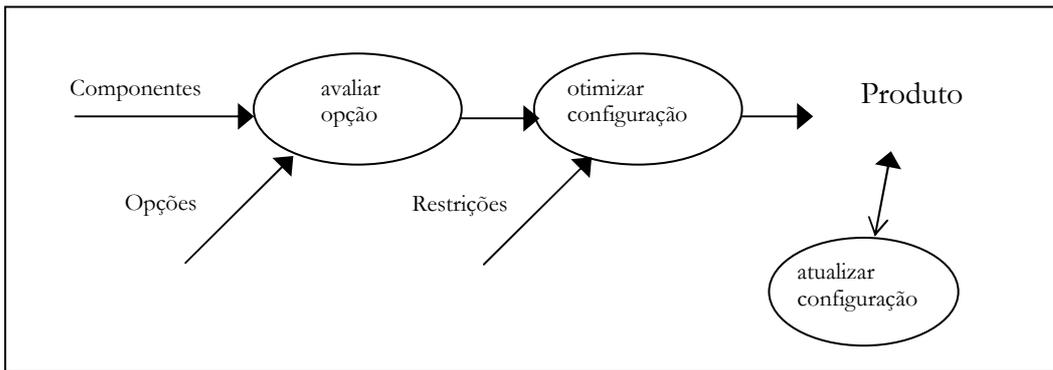
**Figura 17 – Valores de Entrada e Saída**



**Figura 18 – O Modelo Funcional (Diagrama de Fluxo de Dados a Nível Macro)**



**Figura 19 – Processo Ler Entradas**



**Figura 20 – Processo Configurar**

Fonte: o autor.

O Modelo Funcional mostra o que um sistema **deve fazer**. Os processos são operações sobre os objetos. O Modelo de Objetos mostra os objetos. Cada processo é implementado por um método sobre algum objeto. O Modelo Dinâmico mostra as seqüências em que as operações são executadas. Os três modelos se combinam na implementação de métodos. O Modelo Funcional é um guia para os métodos. Os atores são objetos explícitos no Modelo de Objetos e o Modelo Dinâmico indica quando eles atuam. Os depósitos também são objetos. Cada fluxo que chega a um depósito de dados é uma operação de atualização.

Com relação ao Modelo Funcional, o Modelo de Objetos mostra a estrutura dos atores, depósitos de dados e fluxos no Modelo Funcional. O Modelo Dinâmico mostra a seqüência em que os processos são executados. Com relação ao Modelo de Objetos, o Modelo Funcional mostra as operações sobre as classes e os argumentos de cada operação. Ele mostra, portanto, o relacionamento fornecedor-cliente entre classes. O Modelo Dinâmico mostra os estados de cada objeto e as operações que são executadas à medida que ele recebe eventos e altera o seu estado. Com relação ao Modelo Dinâmico, o Modelo Funcional mostra as ações e atividades que são indefinidas no Modelo Dinâmico. O Modelo de Objetos mostra o que muda nos estado pela ação de seus métodos.

## 5.5 MODELO PARA ELUCIDAÇÃO DAS PREFERÊNCIAS

Em termos informacionais, o processo de desenvolvimento de produtos é complexo. A integração dos clientes nessa atividade aumenta ainda mais a sua complexidade. No início do processo de customização, as empresas necessitam saber as necessidades e preferências do cliente. Em outras palavras: **o que o cliente quer**. Mas, muito dificilmente ele as expressa de forma clara. Nesse sentido, Tseng e Jiao (1998) salientam que, quando o cliente participa do desenvolvimento, os seus requisitos em relação ao produto são, normalmente, definidos qualitativamente, e tendem a ser imprecisos e ambíguos. Segundo os autores, na maioria dos casos, o desenvolvimento de produtos torna-se um processo de negociação e entendimento entre os desejos dos clientes e os recursos dos projetistas. Zipkin (2001) destaca que este processo é uma capacidade chave da CM, e está localizado na interface entre os clientes e a empresa, sendo determinante para os resultados da customização do produto.

A literatura pesquisada utiliza a expressão em inglês *elicitation process* para definir o processo no qual os clientes identificam o que querem. No presente estudo, adotou-se o termo em português, **elucidação**, com relação ao termo *elicitation*, mencionado.

O processo de decisão envolvido na elucidação de preferências apresenta a dificuldade típica da maioria dos problemas de interesse prático, como considerar vários fatores simultaneamente – alguns conflitantes entre si –, quando da avaliação das diversas opções para a customização de um dado componente. Infelizmente, o ser humano tem dificuldade de levar em consideração um número elevado de fatores ou critérios, de forma simultânea, e elencá-los conforme a sua importância. Decisões que envolvem a análise de vários fatores ou critérios envolvem um determinado grau de complexidade. As técnicas e métodos oriundos da teoria de decisão podem assumir um importante papel neste processo, com ênfase para os métodos multi-critérios.

Os métodos multi-critérios de apoio à decisão partem do pressuposto de que existe um dilema de objetivos conflitantes que dificulta a existência de uma solução ótima, e condiciona o processo ao encontro de uma solução de melhor compromisso

baseado nos valores e preferências do tomador de decisão. Para o específico problema da customização, o cliente é o tomador de decisão que precisa selecionar a opção mais apropriada a seus requisitos e preferências, a partir de um conjunto finito de alternativas e um conjunto discreto de atributos ou critérios. Na maioria dos casos, o cliente assume que todas as suas escolhas, por serem oferecidas por fabricantes respeitados, apresentarão a mesma probabilidade de serem boas escolhas, sendo entregues como especificadas. Este problema de decisão pode ser catalogado como o de tomada de decisão multi-criterial sob certeza. French (1988), ao revisar a literatura sobre métodos multi-critérios, concluiu que para estes casos, a grande maioria das abordagens práticas podem ser resumidas a duas abordagens: a abordagem de *Multi-Attributed Value Function* (MAVF) e o *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Belton (1986) comparou os aspectos teóricos e práticos dos dois métodos, destacando que existe um consenso na literatura de que, embora as duas abordagens sejam muito utilizadas, o MAVF é mais transparente e fácil de entender, o que é crítico para facilitar a participação de quem toma as decisões (ANGEHRN, 1991). Como resultado, o MAVF pode ser considerado uma escolha adequada para esta aplicação. As características do método MAVF são totalmente compatíveis com a principal função do modelo de elucidação de preferências, qual seja, facilitar o processo de tomada de decisão da escolha de opções para componentes e oferecer uma ferramenta extremamente flexível para que os clientes possam ganhar *insights* sobre o problema (EDWARDS e NEWMAN, 1982).

A aplicação da abordagem MAVF em problemas práticos, contudo, envolve alguns aspectos teóricos que são descritos por Keeney e Raiffa (1976). O aspecto mais importante é que os critérios ou atributos devem possuir a propriedade de independência mútua na preferência. A existência de independência mútua na preferência entre critérios significa que a ordem de preferência (importância ou contribuição) entre os níveis (escores) de qualquer critério não depende do nível fixado para os outros critérios (BEINAT, 1995). Os valores atribuídos a cada uma das opções para um determinado critério não devem estar vinculados a valores dos outro(s) critério(s). Ou seja, um critério tem independência na preferência dos demais se o ordenamento de seus níveis de impacto não se alteram, mediante uma mudança de nível de qualquer um dos demais critérios. Segundo esse conceito, o nível de *trade-offs* que o tomador de decisão está disposto a aceitar entre quaisquer

critérios deveria ser independente do valor de qualquer outro critério. Infelizmente, se a condição enunciada não é satisfeita, o método é inapropriado. Keeney e Raiffa (1976) discutem como a independência pode ser avaliada para um problema específico, bem como apresentam métodos que podem ultrapassar esta barreira, dadas condições especiais. Para a modelagem da elucidação de preferências, no contexto de CM, se assume que o tomador de decisão está disposto a aceitar a independência mútua na preferência dos critérios. Esse pressuposto se baseia em que (EDWARDS e NEWMAN, 1982): (i) a independência mútua de preferência é freqüentemente uma condição plausível; (ii) em geral, o MAVF é considerado um método robusto; e (ii) pode-se obter um bom entendimento do problema utilizando-se este modelo simples em lugar de uma representação mais complexa.

O método MAVF aplicado à configuração de componentes em ambientes de CM envolve as quatro etapas a seguir (Figura 21):

- definição de um conjunto  $c$  de componentes customizáveis;
- definição de um conjunto  $i$  de opções para cada um dos componentes  $c$  do produto e que o fabricante oferece ao cliente;
- definição de um conjunto  $j$  de atributos ou critérios, usualmente estruturados em uma hierarquia, junto com a atribuição dos correspondentes pesos  $w_j$ , de maneira que a importância relativa de cada atributo possa ser considerada;
- para cada um dos componentes  $c$ , avaliação de cada opção  $i$  a partir de cada atributo  $j$ .

Ou seja, a designação de valores para cada opção de maneira que esses valores representem uma medida do desempenho da opção para cada atributo. Este processo é realizado a partir da definição de uma função de valor adequada para representar a preferência do consumidor. A função de valor é uma função real  $v(\cdot)$ , com as seguintes propriedades: (i)  $v(\mathbf{x}^A) > v(\mathbf{x}^B)$  se, e somente se, prefere-se a opção cujo vetor de escores é  $\mathbf{x}^A$ , ao invés de outra opção com escores  $\mathbf{x}^B$ ; e (ii)  $v(\mathbf{x}^A) = v(\mathbf{x}^B)$  se, e somente se, é indiferente adotar  $\mathbf{x}^A$  ou  $\mathbf{x}^B$ . Dado que todos os atributos no vetor  $\mathbf{x}$  possuem a propriedade de independência mútua na preferência

na abordagem MAVF, a função de valor assume a forma que se detalha na equação:

$$v(x) = \sum_{j \in J} v_j(x_j)$$

Uma vez que a função de valor  $v_j(x_j)$  é definida, os escores de cada alternativa cujo desempenho no atributo é  $x^*$ , corresponderá ao valor de  $v_j(x^*)$ . A função de valor  $v_j(x_j)$  poderá, assim, assumir diferentes formas, dependendo das preferências do consumidor. Facilidades computacionais são previstas de maneira que a função de valor possa ser definida interativamente para cada atributo.

O escore completo de uma opção  $i$  de um componente  $c$  é determinado a partir da média ponderada dos escores correspondentes a cada um dos atributos. Para uma hierarquia que contenha apenas um nível de atributos, o escore completo pode ser determinado da seguinte forma:

$$V_{ci} = \sum_{j \in J} w_j v_{cij} \quad \dots(1)$$

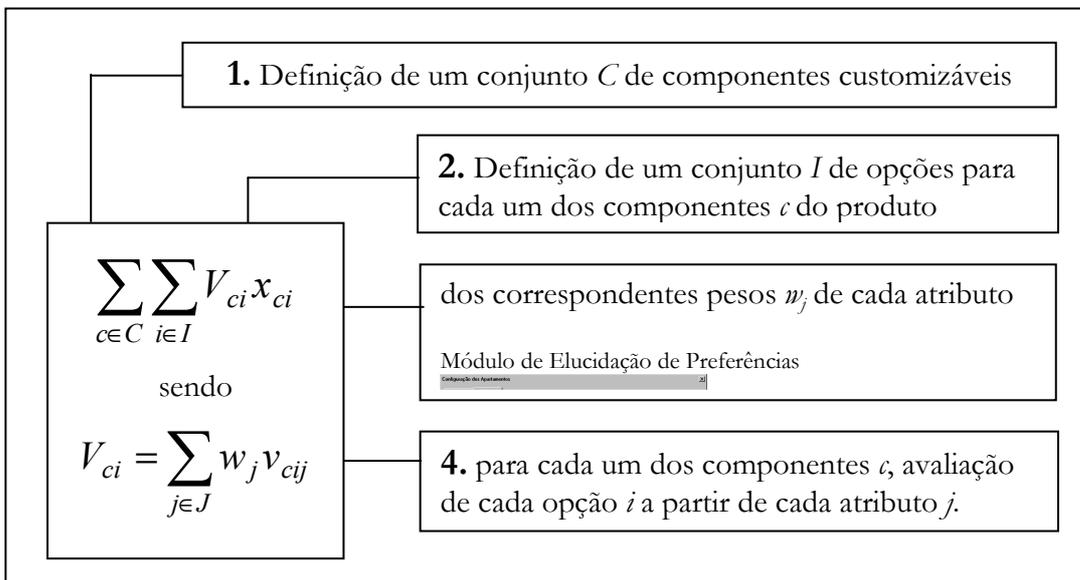
onde  $V_{ci}$  é o escore geral da opção  $i$  de um componente específico  $c$ ,  $v_{cij}$  é a função de valor da opção  $i$  do componente  $c$  para o atributo  $j$ , e

$$\sum_{j \in J} w_j = 1$$

Para hierarquias de atributos estabelecidas em vários níveis, a fórmula é mais complexa, porém o princípio é o mesmo. Belton e Vickers (1990) descrevem o processo para hierarquias múltiplas, como se segue: “Começando na base da hierarquia, realizar a avaliação de cada alternativa em relação ao critério-pai no nível superior imediato, utilizando a equação (1) até completar a avaliação de toda a família de critérios estabelecidos na hierarquia. O resultado será um conjunto de avaliações de cada alternativa em um nível da hierarquia. Com estas avaliações,

repetir o processo para as outras famílias de critérios no mesmo nível e continuar até atingir o topo da árvore”.

A aplicação do método com as quatro etapas descritas (Figura 21), leva à criação de um conjunto de funções de valor definidas para cada atributo nas diferentes opções, e que são próprias de cada consumidor. Este conjunto de funções de valor é a expressão das preferências do cliente de maneira formal. Desta forma, o modelo de elucidação estabelece um caminho formal para estruturar o processo decisório do cliente intrínseco à customização, e torna-se uma atividade chave para a partilha do conhecimento entre os consumidores e os fabricantes.



**Figura 21 – O Método MVFA**

## 5.6 MODELO PARA CONFIGURAÇÃO ÓTIMA DO PRODUTO

O principal objetivo do modelo para configuração ótima do produto é a obtenção da configuração que maximiza a função de utilidade associada a um consumidor específico, obtida com o Modelo de Elucidação de Preferências, condicionado por um conjunto de restrições técnicas, econômicas, financeiras ou restrições que expressam aspirações e intenções dos clientes. O modelo materializa, portanto, os anseios e preferências dos consumidores dentro de um marco estabelecido através de algumas regras de configuração. As regras representam

condições de compatibilidade entre opções e componentes, a condição de que somente uma opção dever ser escolhida para cada componente e limitações de orçamento, entre outras.

O Modelo para Configuração Ótima do Produto pode ser representado como um problema de programação linear inteira, onde a função-objetivo busca maximizar a utilidade do cliente, as regras de configuração são representadas por desigualdades lineares e as variáveis podem tomar somente valores inteiros binários. A programação inteira é muito utilizada em modelos de planejamento da produção para selecionar as unidades de equipamento que devem operar, calcular os tamanhos dos lotes a serem fabricados, em modelos de análise dos custos fixos de determinadas atividades, e em modelos de decisão sobre orçamento de capital.

O modelo de configuração ótima de um produto é baseado no famoso problema da mochila, no qual um montanhista – astronauta ou soldado – deve decidir quais objetos mais valiosos deve levar na sua mochila para a próxima viagem. O problema se desenvolve com uma mochila de  $W$  quilos de capacidade, a variável de decisão  $x_i$  que assume o valor 1 se o objeto  $i$  é levado na mochila e 0, caso contrário;  $c_i$  indicando o índice relativo à satisfação que cada objeto representa para o montanhista; e  $w_i$  o peso correspondente do objeto  $i$ . O problema da mochila é formulado como o programa linear inteiro que maximiza a função de satisfação ou utilidade do montanhista  $z(x)$ :

$$\text{Maximizar } z = x_1c_1 + x_2c_2 + \dots + x_nc_n$$

sujeito a

$$x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n \leq W$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n = 0, 1$$

O problema é um típico modelo de designação de recursos no qual um único recurso limitado é designado entre várias alternativas possíveis, tendo como objetivo maximizar a função de retribuição associada (TAHA, 2004). O paralelo entre o

problema da mochila e o problema de customização de um produto surge na configuração de alternativas – ou opções – de componentes que mais satisfazem ao cliente. A correspondente função objetivo, é a maximização da função de utilidade associada a cada atributo. A quantidade máxima de dinheiro que o cliente dispõe para a customização do produto representa o peso máximo da mochila. As opções de customização de cada componente assumem o papel das variáveis de decisão. Os coeficientes da função de valor de cada opção que o cliente criou através do modelo de elucidação de preferências, são os índices relativos de satisfação dos objetos levados na mochila. Por último, os pesos dos objetos da mochila são equivalentes aos preços correspondentes a cada opção oferecida. Além da restrição no orçamento, também existe o conjunto de regras técnico-econômicas da empresa.

A representação formal do problema de configuração de produto é definida como segue:

$C$  = conjunto de componentes de uma composição de um produto

$a_{ci}$  = coeficiente tecnológico de uma opção  $i$  de um componente  $c$  relacionado a um requerimento específico de design  $r \in R$ .

$b_r$  = valores para os requerimentos técnicos, financeiros ou estéticos específicos  $r$  definidos pelos clientes ou pelos projetistas.

$x_c$  = variável binária  $\begin{cases} 1 & \text{se a opção } i \in I \text{ é escolhida para o componente } c \in C \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

O modelo de PLI pode ser formulado com a função objetivo (FO):

$$\text{Max} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} V_{ci} x_{ci}$$

sujeito às restrições:

$$\sum_{i \in I} x_{ci} \leq 1 \quad \forall c \in C \quad \dots(2)$$

$$x_{lm} + x_{ks} \leq 1 \quad l, k \in C, m, s \in I, l \neq k \quad \dots(3)$$

$$x_{lm} + Mx_{ks} \leq 0 \quad l, k \in C, m, s \in I, l \neq k \quad \dots(4)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{i \in I} a_{cir} x_{ci} \leq (\geq) b_r \quad \forall r \quad \dots(5)$$

Onde  $M$  é um número grande, as restrições (2) garantem que apenas uma opção possa ser escolhida para cada componente. As restrições (3) e (4) constituem regras de configuração que representam restrições de compatibilidade ou de incompatibilidade de projeto entre as opções para um dado conjunto de componentes. Elas podem ser definidas por razões estéticas, técnicas, econômicas ou financeiras que o fabricante estabelece. Por último, as restrições (5) estipulam quando são atingidos os limites de valor para os requisitos específicos de *design*, como por exemplo: custo, consumo de energia, máximo desempenho, resistência ou tolerância.

Uma vez que as utilidades e os requisitos de *design* são específicos para cada cliente, existe pelo menos um modelo de PLI para cada cliente. A expectativa é que o modelo facilite a interação com clientes e projetistas na aquisição de conhecimento para ambos.

## 5.7 DESCRIÇÃO DO SAD

Nessa seção é apresentada a implementação computacional do método colaborativo descrito nas seções anteriores. O método colaborativo enfatiza a troca de conhecimento entre consumidores e projetistas, integrando as técnicas Programação Orientada a Objetos, Análise de Decisão Multi-Atributo e Programação Matemática. As técnicas mencionadas facilitaram a operacionalidade do aspecto da modularidade e deram o suporte necessário ao cliente para o processo decisório em questões como a escolha dos componentes disponíveis e as suas opções para a customização. O objetivo final do método é aumentar a satisfação dos clientes usuários através de resposta rápida, gerar conhecimento e melhorar o fluxo de informação sobre a customização de produtos. Com essas premissas, o sistema computacional resultante da implementação do método deve ser capaz de:

- registrar encomendas de alterações na configuração de produtos;

- avaliar a viabilidade das alterações encomendadas;
- sendo viáveis as alterações, quantificá-las em termos de valores monetários e registrá-las nas bases de dados para logo atualizar os programas de compras, produção e o projeto definitivo;
- oferecer ao cliente informação atualizada sobre as possibilidades de customização dos produtos, as opções e os componentes disponíveis.

Diversos autores (GUNESEKARAN, 1998; PARK e FAVREL, 1997) recomendam a Internet como o melhor meio de conexão entre empresas, fornecedores e consumidores em ambientes de CM. A acessibilidade universal, a homogeneidade técnica e os meios padronizados de conexão da Internet facilitam o compartilhamento da informação e comunicação em ambientes de CM. Muito além da presença que as empresas têm na Internet – o que vêm se tornando mais uma necessidade do que uma opção –, um portal pode permitir a um cliente potencial navegar por uma árvore de decisões sendo orientado pela empresa para chegar ao produto ou serviço que ele procura. A vantagem para o cliente é que ele pode pesquisar a vontade todos os produtos e serviços potenciais, sem sentir a pressão própria da presença de um vendedor. Para a empresa, esse aspecto é de muita importância, pois é possível registrar o roteiro exato que o cliente segue através do processo de customização ou venda, o que gera uma base de dados que oferece bons indícios das necessidades e interesses de cada cliente com um custo muito mais baixo, se comparado com os métodos tradicionais de estudos de mercado.

O sistema desenvolvido pode ser considerado como um protótipo de SAD. Para representar o processo de CM possui uma interface de conexão pensada para ser materializada através de um sítio *web* de Internet. Um detalhe a considerar é que a operação do processo de customização dos produtos é restrita a quem estiver cadastrado como cliente do proprietário do portal. Mas, a estrutura proposta integra não somente a Internet, como também a MOO para representar o processo de customização. O objetivo é fornecer um ambiente de rede aberto com o qual os clientes podem interagir acessando produtos customizáveis. Através da Internet e com a estrutura desenvolvida com a MOO, um cliente autorizado pode acessar de forma remota e interagir com o sistema utilizando seu próprio navegador desde o

seu próprio computador pessoal, e logo acessar os diversos serviços oferecidos por uma empresa que opera com CM. Esse sistema disponibilizado na Internet também pode oferecer suporte ao produto, gerenciamento da informação de projeto de manufatura, projeto colaborativo dentro da rede, controle remoto, seleção de opções customizáveis e monitoração de condições (tais como preços e eventos cronológicos).

A arquitetura do SAD desenvolvido para implementação do modelo envolve três componentes básicos: a Interface Usuário-Sistema, o Sub-sistema Base de Dados e o Sub-sistema Modelo. Porém, a implementação computacional do sistema é dividida em cinco módulos, onde todos os módulos se servem de meios gráficos de interação. Essa estratégia de implementação em cinco módulos tem facilitado o desenvolvimento do sistema durante a programação e a verificação. A Figura 22 apresenta a arquitetura do protótipo desenvolvido.

A Interface Usuário-Sistema é composta por dois módulos: o módulo da **Interface de Cliente**, através do qual os clientes têm acesso restrito ao banco de dados (Figura 23), e o módulo denominado **Interface DB Manager** (Figura 24), com o qual a empresa possui acesso direto ao banco de dados para agregar ou modificar informação. O primeiro módulo é uma ferramenta computacional para apoio da customização de produtos, desenvolvida em JAVA e implementada como um portal de Internet para acesso público (a Figura 23 é a Interface de Cliente para o exemplo desenvolvido no Capítulo 6). Com o funcionamento desse módulo, clientes podem navegar através de componentes e opções oferecidas pela empresa para customizar produtos, assim como, definir restrições e regras relacionadas às possíveis configurações de produto. Os clientes encontrarão as características dos produtos (dimensões, preços, características técnicas, etc.) armazenadas no módulo **Base de Dados**.

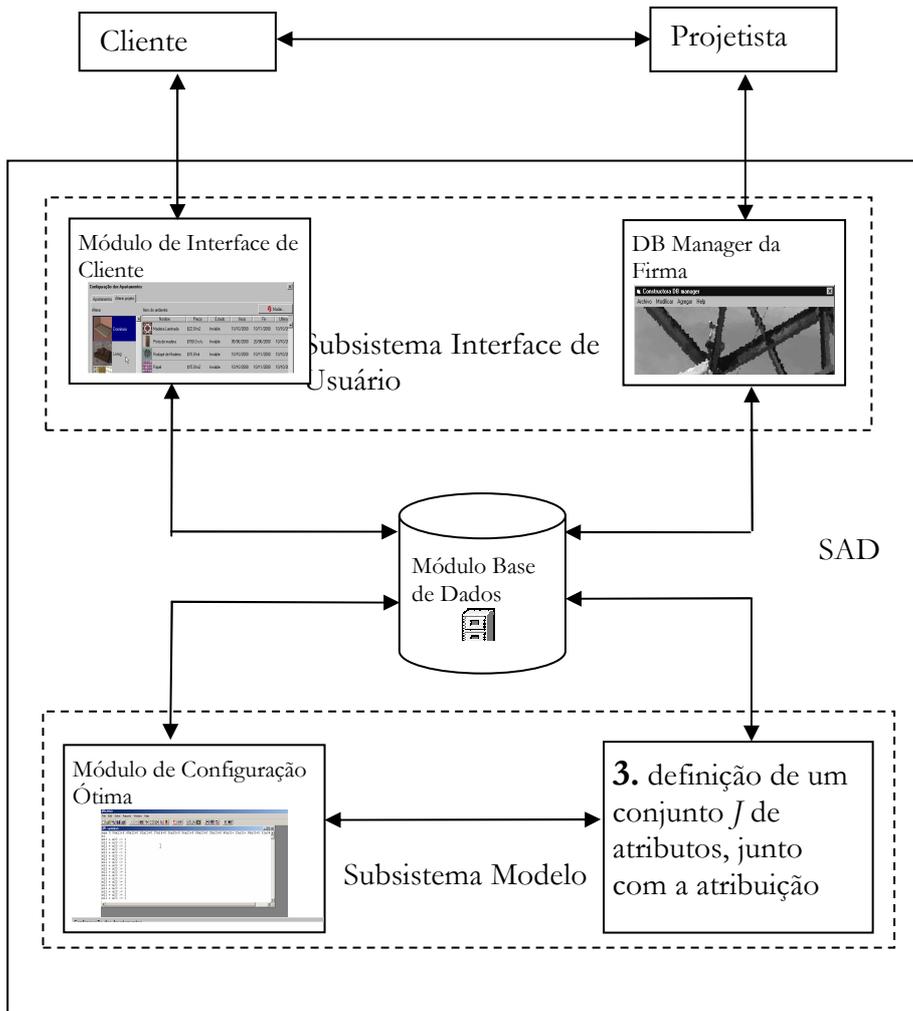


Figura 22 – Arquitetura do Sistema

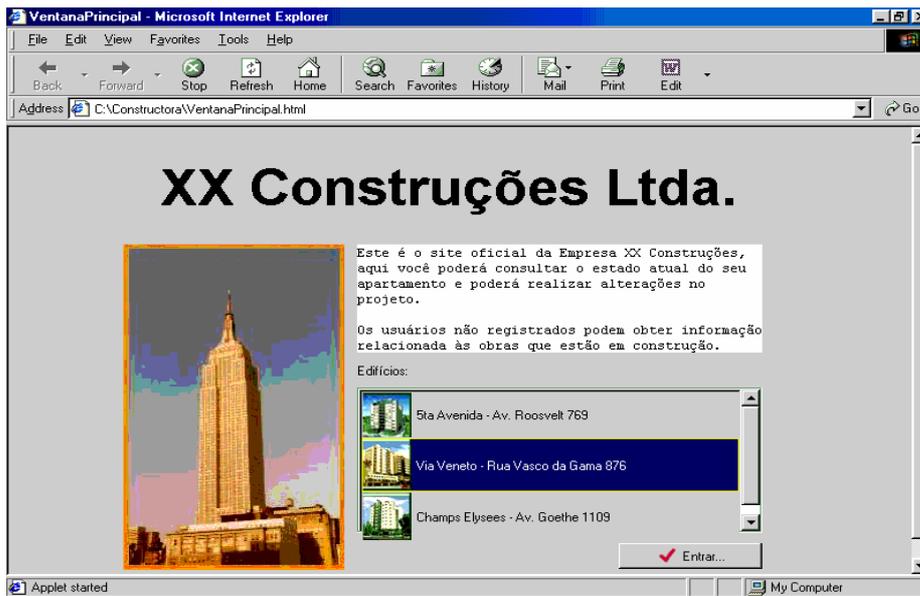
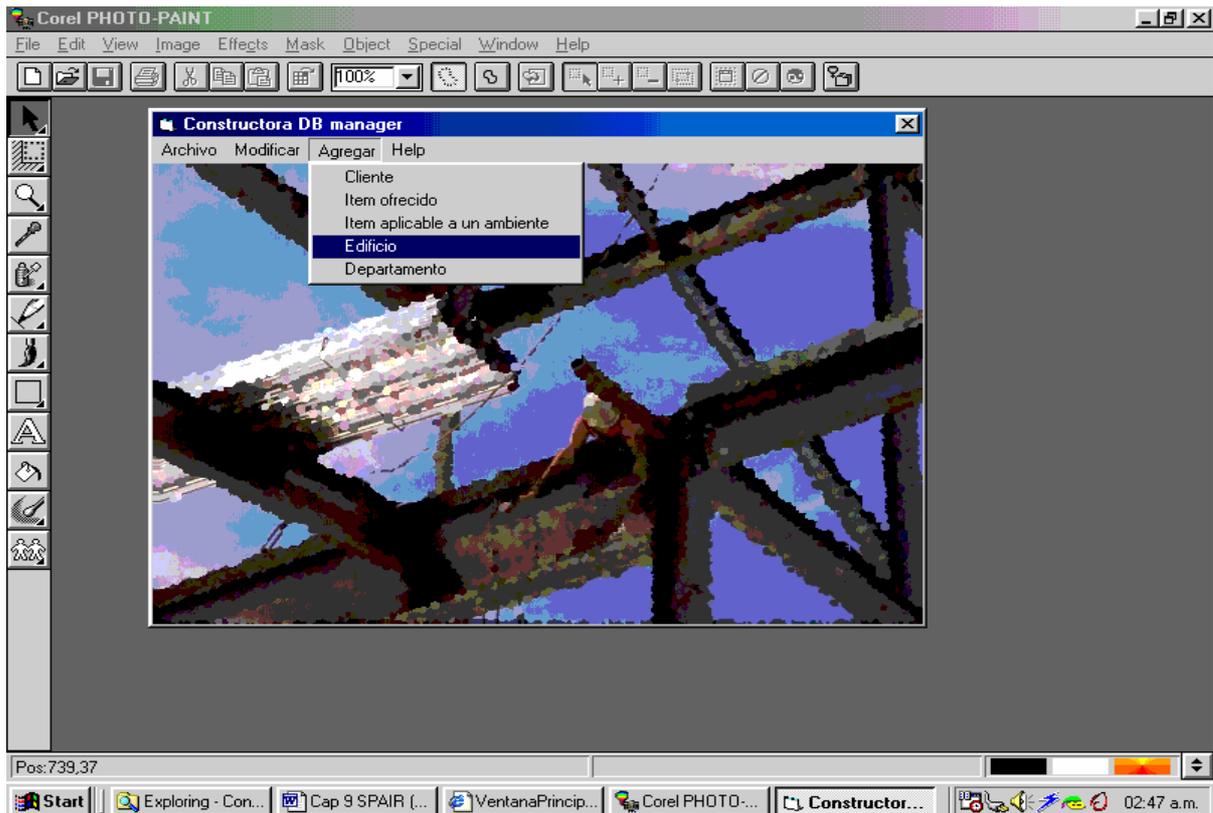


Figura 23 – Exemplo de Interface de Cliente para o caso de uma Empresa Construtora

A **Interface com a Empresa** é uma ferramenta computacional que facilita a definição de produtos customizáveis para a equipe de projeto da empresa. Através deste módulo, a empresa cria e atualiza toda a informação disponível para os clientes no módulo de **Interface de Cliente** armazenada na **Base de Dados**. Essa aplicação foi implementada em VISUAL BASIC e permite criar informação para novos produtos. A cada vez que é lançado um novo produto no mercado, a empresa utiliza o sistema para introduzir os dados correspondentes. Também é possível introduzir a informação referente a cada novo cliente. Aliás, toda vez que a empresa deseja criar uma nova opção de escolha para um componente de produto, basta entrar no sistema definindo a nova opção com um nome, um preço e o componente para o qual é apresentada como alternativa de configuração. É possível criar, não somente esses dados, referentes a novos produtos, mas também **modificar** os dados correspondentes a produtos já existentes. Desta forma, o DB Manager serve, também, como canal de atualização permanente das informações contidas no sistema.

O objetivo de desenvolver dois módulos diferentes para o sub-sistema **interface de usuário**, é garantir a integridade e segurança dos dados. Os dois módulos são responsáveis por controlar o fluxo de informação entre módulos do SAD, o funcionamento dos diferentes modelos e a descrição de resultados do processo de customização. Com o objetivo de facilitar a interação, ambos os módulos utilizam a representação através de ícones gráficos.



**Figura 24 – DB Manager: A Interface com a Empresa**

O módulo de **Base de Dados** armazena toda a informação necessária para a customização em massa de um produto, incluindo dados sobre os resultados das interações dos clientes como todas as composições, atributos e restrições definidas durante o processo de customização. A base de dados é, essencialmente, um conjunto de instâncias das classes de objetos definidas no Modelo de Objetos, cujos atributos adotam os valores ingressados por projetistas da empresa e por clientes através dos módulos **Interface DB Manager** e **Interface com o Cliente**, respectivamente. A modificação de dados ou a criação de novos dados sobre os produtos, opções, componentes, etc., é facilitada pelo Modelo de Objetos desenvolvido. Somente é necessário vincular ou desvincular os objetos no Modelo de Objetos, alterar os seus atributos convenientemente e, se necessário, criar novos objetos no mesmo modelo.

O banco de dados relacional configura-se, logicamente, como um simples conjunto de tabelas que representam os objetos, os seus atributos e as suas

conexões. Como gerenciador do banco de dados foi utilizado o sistema ACCESS™ (Figura 25), emulando uma linguagem OO.

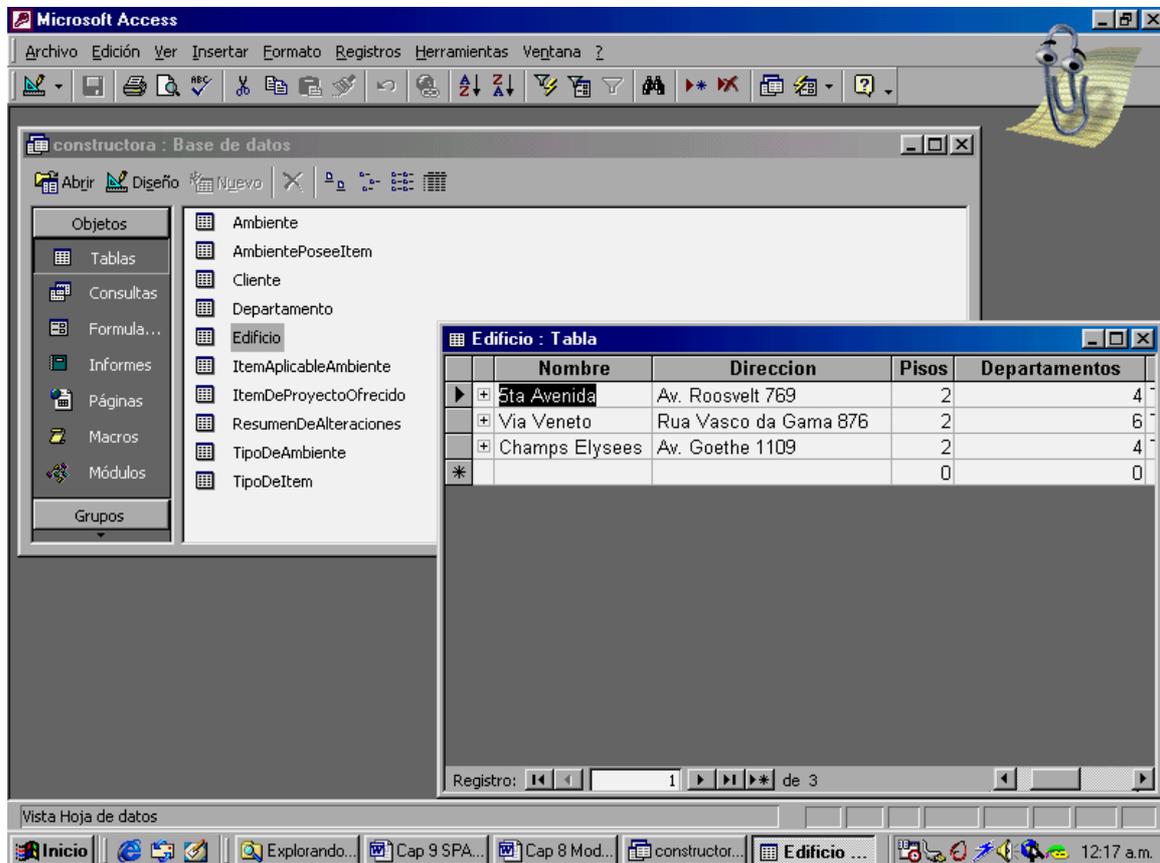


Figura 25 – Sistema ACCESS / Gerenciador do Banco de Dados

O Sub-sistema Modelo é composto por dois módulos, o **Módulo de Elucidação de Preferências** e o **Módulo de Configuração Ótima de Produto**. O primeiro é um sistema que opera o método de decisão multi-critério, denominado *Ranking* (Figura 26). *Ranking* é um sistema de apoio a decisões multicriteriais que foi desenvolvido por Borenstein et al. (1995) no Grupo de Estudos em Sistemas de Informação e Apoio à Decisão (GESID) do Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). *Ranking* é um programa centrado no usuário que utiliza dispositivos gráficos tanto na estruturação do problema (definição da hierarquia do modelo, pesos e escores dos critérios e definição interativa das funções de valor dos atributos) quanto na análise

do mesmo. O sistema também dá suporte à análise de diferentes situações de decisão para um mesmo problema permitindo a análise de sensibilidade.

O **Módulo de Configuração Ótima de Produto** pode ser definido e implementado por clientes/projetistas durante o processo de customização de um produto, através de programas comerciais reconhecidos como o LINDO™ ou o EXCEL™ da Microsoft™, que resolvem modelos de PLI. Na tese, foi utilizado o EXCEL™, com a implementação do dispositivo Solver (Figura 27).

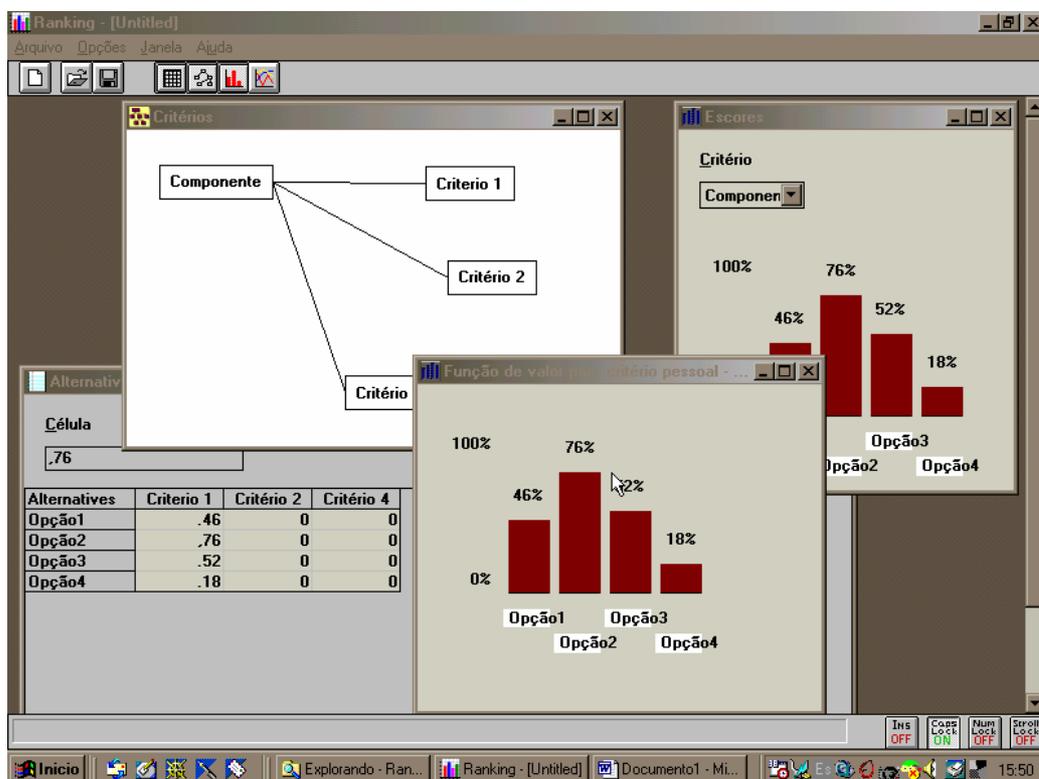


Figura 26 – Sistema RANKING / Módulo de Elucidação de Preferências

Em resumo, o SAD desenvolvido é um protótipo integrado projetado para funcionar em um ambiente de PC sob o sistema operativo Windows™. O sistema utiliza diversas linguagens de programação e pacotes comerciais: JAVA, Visual Basic, Microsoft EXCELL™ e/ou LINDO™.

O uso típico do protótipo durante a customização de um produto pode ser descrita sucintamente da seguinte forma: o processo começa com um cliente procurando diferentes composições – componentes e opções – de produto nas

bases de dados de uma empresa, utilizando o módulo de **Interface de Cliente**; uma vez que o cliente selecionou um conjunto de configurações possíveis, começa a avaliação de opções para cada componente com base em um conjunto de atributos e com a utilização do módulo de **Elucidação de Preferências**; o resultado da operação desse módulo é a função de valor para cada opção de cada componente; logo, o sistema cria um modelo de PLI que maximiza a utilidade do cliente utilizando o módulo de **Configuração Ótima de Produto** com a informação armazenada no módulo de **Base de Dados**; o resultado do problema de otimização é uma determinada configuração do produto que o cliente recebe como recomendação.

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet with a Solver Parameters dialog box open. The spreadsheet is titled "OTIMIZAÇÃO PRODUTO" and contains data for variables and constraints. The Solver dialog box is set to maximize the objective cell "\$H\$26" with a value of 0.00. The constraints listed are: "\$A\$32 = 1", "\$A\$33 = 1", "\$A\$34 = 1", "\$A\$35 = 1", "\$A\$36 = 1", and "\$A\$42 = 0".

Restrições Básicas	Equação
1	$x_{11} + x_{12} = 1$
1	$x_{21} + x_{22} = 1$
1	$x_{31} + x_{32} = 1$
1	$x_{41} + x_{42} = 1$

Figura 27 – Sistema EXCEL / Ferramenta Solver

## 6 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

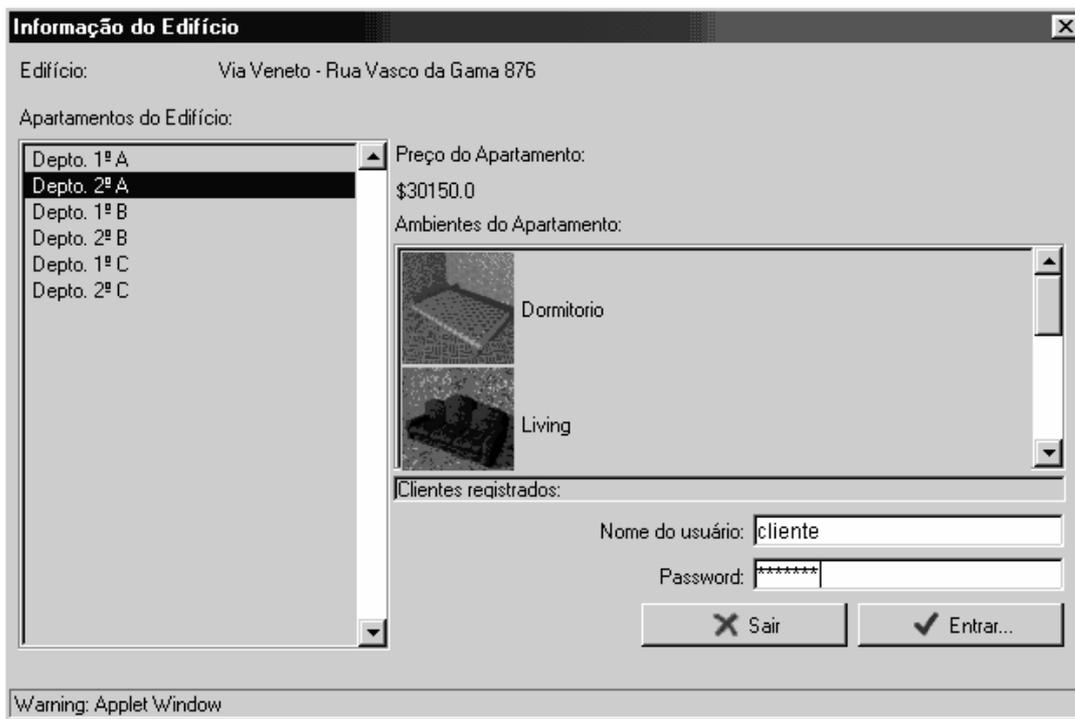
Neste capítulo é apresentada a implementação do SAD proposto através de um exemplo ilustrativo do uso do sistema em uma situação real. Neste caso, o SAD foi aplicado à customização de um apartamento residencial. Devido à grande quantidade de componentes e opções disponíveis que existem no mercado, os apartamentos residenciais podem ser considerados como um dos produtos com maior potencial para customização. Aliás, os apartamentos residenciais constituem produtos de valor elevado que precisam de uma interação intensiva entre a empresa construtora e o consumidor. Aliando-se essas características ao fato de o autor da pesquisa ter uma atuação profissional no mercado de construção civil, o que facilitou o tratamento do produto, o apartamento residencial foi escolhido como produto customizável. Apartamentos residenciais apresentam uma estrutura modular que se adequa às características do SAD desenvolvido.

Como exemplo de aplicação, são apresentados os resultados de seis experimentos realizados junto a consumidores potenciais (identificados como C1, C2, C3, C4, C5 e C6). Os consumidores potenciais foram representados por alunos dos cursos de mestrado e doutorado do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os experimentos centraram-se na customização de uma sala de estar de um apartamento fictício e, mais especificamente, nos seguintes componentes customizáveis: piso, rodapés e paredes. Portanto, na implementação, foi considerada apenas uma composição para o produto cujas opções com os correspondentes preços estão colocadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Opções oferecidas para configurar cada componente

Variável	Piso	Preço	Variável	Rodapé	Preço	Variável	Revestimento em paredes	Preço
X <sub>11</sub>	Madeira	\$ 700	X <sub>21</sub>	Madeira	\$ 56	X <sub>31</sub>	Tinta Branca	\$ 480
X <sub>12</sub>	Carpete	\$ 300	X <sub>22</sub>	Cerâmico	\$ 48	X <sub>32</sub>	Tinta Bege	\$ 576
X <sub>13</sub>	Cerâmico	\$ 400	X <sub>23</sub>	Granito	\$ 240	X <sub>33</sub>	Tinta Cinza	\$ 576
X <sub>14</sub>	Granito	\$ 3.000	X <sub>24</sub>	Mármore	\$ 320	X <sub>34</sub>	Papel Bege	\$ 960
X <sub>15</sub>	Mármore	\$ 4.000				X <sub>35</sub>	Papel Cinza	\$ 960

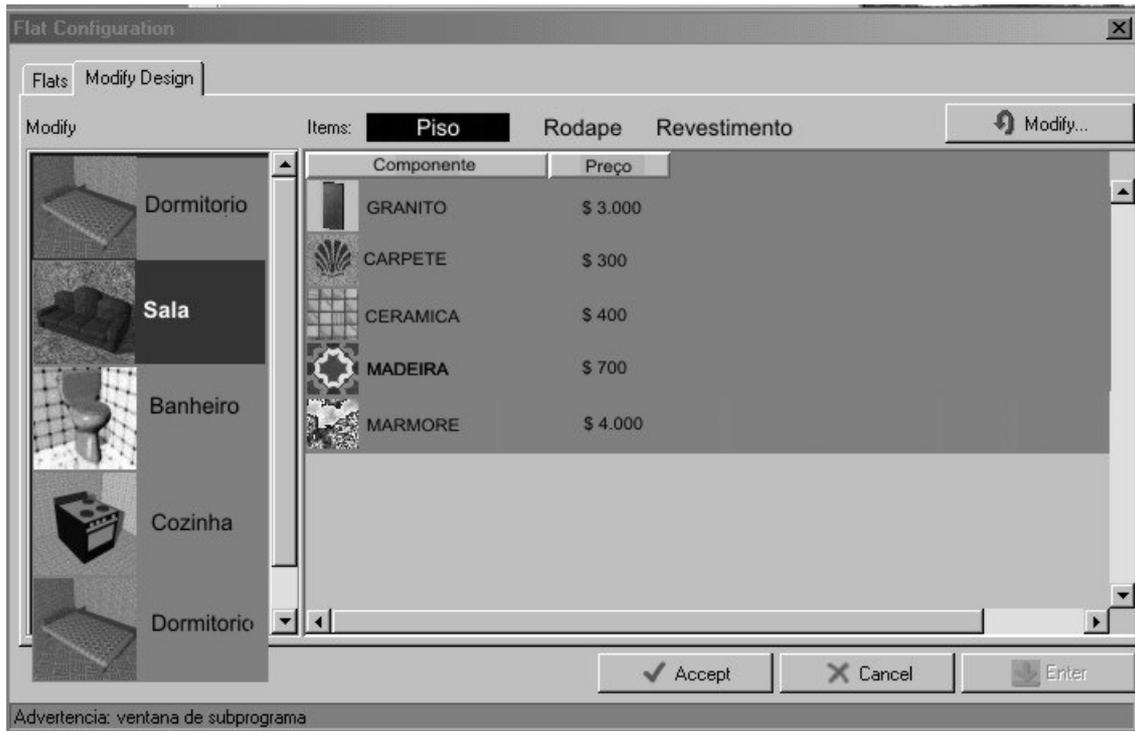
A tela de início da interface com o cliente é a da Figura 23. Trata-se de um portal de Internet, de acesso público, propriedade da empresa construtora **XX Construções Ltda.**, que possui vários empreendimentos em construção: os condomínios **5ta. Avenida, Via Veneto e Champs Elysées**. Cada uma das obras ilustradas possui uma identificação visual, cujo ícone é o canal de acesso à informação do empreendimento. Já dentro de um empreendimento (Figura 28), são apresentadas as suas características: nome e endereço do prédio, quantidade de apartamentos e a sua identificação correspondente, estado da sua comercialização (se a unidade foi vendida ou não) e preço de venda. Nesta etapa da operação do sistema, aparece uma restrição de uso: para poder continuar operando o programa é preciso ter um nome de usuário e uma senha. O nome e a senha do usuário funcionam como medida de segurança para que o público, em geral, não tenha acesso, tornando a página um portal de Internet **protegido**. Somente usuários específicos, que já tenham assinado o contrato de compra-venda com a empresa (tornando-se **clientes**), poderão entrar nas fases seguintes. Aquelas pessoas que não tenham relação comercial com a empresa, em princípio terão acesso somente a informações sobre os produtos que a construtora tem para oferecer no mercado.



**Figura 28 – Tela de Acesso para Clientes**

Posteriormente, o usuário-cliente deve escolher o apartamento em construção de sua propriedade. Com a seleção do imóvel e apertando no botão **Alterar Projeto**, na parte de cima à esquerda da tela (Figura 29), aparecem os componentes (dependências) que compõem o apartamento. Cada um desses componentes possui características previamente definidas pelo projeto **base** u pré-determinado, inclusive o preço orçado previamente. Tais características determinam todos os sub-componentes (piso, rodapé e revestimento em parede) com a sua configuração pré-determinada, e podem ser acessadas apertando nos ícones que os representam.

O usuário pode, também, marcar a linha correspondente a qualquer item e clicar no ícone **mudar**, para conhecer as outras opções de projeto oferecidas pela empresa. Juntamente com a enumeração das opções oferecidas, visualiza-se a informação do preço correspondente para cada opção. Quando é escolhida uma outra definição, de algum item diferente do pré-determinado, o SAD calcula o orçamento correspondente e recalcula o preço final do imóvel.



**Figura 29 – Informação sobre Componentes**

Definidas as opções customizadas componentes, dá-se início a definição das preferências e necessidades de cada usuário, utilizando-se o Modelo de Elucidação das Preferências.

Com a operação do Modelo de Elucidação das Preferências, cada usuário definiu um conjunto de atributos para cada componente. Todos os usuários identificaram um conjunto de atributos (Tabela 4) em um só nível hierárquico para o caso estudado (o que não é uma limitação do SAD desenvolvido). Logo, os usuários definiram o peso de cada atributo na hora de avaliar as opções dos componentes (Tabela 5). Portanto, baseados nas suas próprias necessidades e preferências, cada cliente definiu valores para cada atributo na consideração de cada componente, estabelecendo, indiretamente, suas próprias funções de valor.

A Figura 30 apresenta um exemplo da janela do sistema onde é definida a função de valor de um atributo (no exemplo apresentado, trata-se do atributo **Preço** para o componente **Piso**). Cabe ressaltar que o sistema fornece todo o suporte necessário ao usuário para definir de forma precisa a função e os valores finais da escala. Através da ferramenta *Ranking*, foi possível definir valores discretos de cada

atributo ou desenhar o gráfico de uma função de valor contínua (Figura 30) para um atributo (em relação a uma opção). Assim, cada usuário definiu diferentes funções de valor para cada atributo. As funções definidas foram, em sua maioria, do tipo linear. A Tabela 6 exibe os valores de preferência ou utilidade para cada opção de cada componente, computados através do processo de elucidação das preferências para todos os consumidores.

Tabela 4 – Atributos Definidos para cada Opção

	Piso						Rodapé						Revestimento Paredes					
	Consumidores																	
Atributos	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Preço	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Estética	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Durabilidade	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Limpeza	•		•		•		•				•		•			•	•	
Intercambiabilidade		•						•						•				
Tempo de Entrega	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Revenda				•					•	•						•		

Tabela 5 – Pesos Definidos para cada Atributo

	Piso						Rodapé						Revestimento em Paredes					
	Consumidores																	
Atributos	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Preço	0.56	0.29	0.32	0.4	0.44	0.3	0.46	0.32	0.33	0.38	0.45	0.3	0.32	0.25	0.62	0.34	0.55	0.25
Estética	0.2	0.27	0.25	0.15	0.26	0.36	0.22	0.3	0.21	0.15	0.25	0.34	0.24	0.24	0.21	0.2	0.22	0.36
Durabilidade	0.06	0.15	0.16	0.18	0.09	0.21	0.11	0.11	0.16	0.2	0.1	0.21	0.23	0.19	0.09	0.13	0.02	0.24
Limpeza	0.16		0.16		0.11		0.17		0.16		0.12		0.12			0.21	0.09	
Intercambiabilidade		0.21						0.19						0.2				
Tempo de Entrega	0.02	0.08	0.11	0.07	0.1	0.13	0.04	0.08	0.14	0.09	0.08	0.15	0.09	0.12	0.08	0.09	0.12	0.15
Revenda				0.2						0.18						0.03		

Tabela 6 – Valores Computados para cada Opção

Componente	Opção	Variável	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Piso	Madeira	X <sub>11</sub>	0.54	0.61	0.73	0.48	0.62	0.34
	Carpete	X <sub>12</sub>	0.49	0.57	0.40	0.46	0.58	0.17
	Cerâmico	X <sub>13</sub>	0.82	0.34	0.58	0.51	0.59	0.24
	Granito	X <sub>14</sub>	0.37	0.34	0.45	0.22	0.40	0.69
	Mármore	X <sub>15</sub>	0.36	0.33	0.40	0.28	0.32	0.87
Rodapé	Madeira	X <sub>21</sub>	0.56	0.77	0.77	0.46	0.81	0.39
	Cerâmico	X <sub>22</sub>	0.88	0.37	0.49	0.53	0.57	0.26
	Granito	X <sub>23</sub>	0.35	0.15	0.35	0.17	0.38	0.73
	Mármore	X <sub>24</sub>	0.34	0.15	0.31	0.14	0.29	0.76
Revestimento de paredes	Tinta Branca	X <sub>31</sub>	0.40	0.39	0.67	0.40	0.45	0.30
	Tinta Bege	X <sub>32</sub>	0.15	0.22	0.41	0.33	0.39	0.34
	Tinta Cinza	X <sub>33</sub>	0.08	0.33	0.38	0.31	0.35	0.38
	Papel Bege	X <sub>34</sub>	0.32	0.49	0.39	0.42	0.31	0.75
	Papel Cinza	X <sub>35</sub>	0.32	0.63	0.39	0.40	0.23	0.81

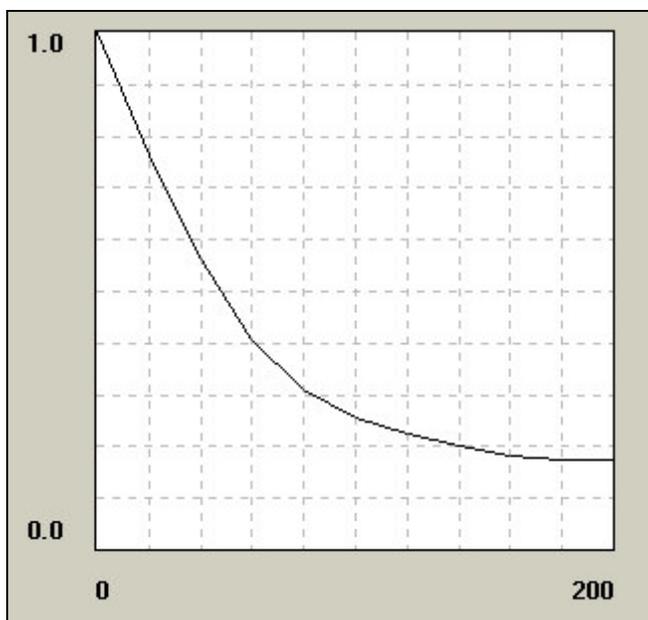


Figura 30 – Exemplo de Função de Valor para o Atributo Preço

Uma vez definido o valor para cada opção e cada componente, foi possível estabelecer o conjunto de funções de valor para cada cliente. Agora, o objetivo do

sistema era maximizar esse conjunto de funções, o que pode ser expresso matematicamente como:

$$Max \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} V_{ci} x_{ci}$$

onde  $x_{ci}$  é a variável binária que assume valor 1 (um) se a opção  $i$  para o componente  $c$  é escolhida, e 0, caso contrário. O escore  $V_{ci}$  da opção  $i$  para o componente  $c$ , é dado por:

$$V_{ci} = \sum_{j \in J} w_j v_{cij}$$

e  $v_{cij}$  é a função de valor da opção  $i$  do componente  $c$  para o atributo  $j$ , e  $w_j$  é o peso do atributo  $j$ .

No exemplo desenvolvido com os experimentos, a função ficou da seguinte forma geral:

$$Max \sum_{j \in J} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} w_j v_{cij} x_{ci} \quad \dots(6)$$

Porém, para completar o modelo de PLI que otimiza a configuração do produto, é necessário definir as restrições. As seguintes restrições, incluídas nos modelos de PLI de cada cliente, foram definidas pelo projetista responsável pelo processo:

$$x_{11} + x_{22} \leq 1; x_{11} + x_{23} \leq 1; x_{11} + x_{24} \leq 1 \quad \dots(7)$$

$$x_{12} + x_{22} \leq 1; x_{12} + x_{23} \leq 1; x_{12} + x_{24} \leq 1 \quad \dots(8)$$

$$x_{13} + x_{23} \leq 1; x_{13} + x_{24} \leq 1 \quad \dots(9)$$

$$x_{14} + x_{22} \leq 1; x_{14} + x_{24} \leq 1 \quad \dots(10)$$

$$x_{15} + x_{22} \leq 1; x_{15} + x_{23} \leq 1 \quad \dots(11)$$

onde o conjunto de restrições (7) refere-se às opções de rodapé (cerâmico, granito e mármore), que são incompatíveis com a opção **piso de madeira**. O conjunto de restrições (8) refere-se às opções de rodapé (cerâmico, granito e mármore), que são incompatíveis com a opção **piso de carpete**. O conjunto de restrições (9) refere-se à incompatibilidade entre opções de rodapé (**granito e mármore**) e a opção **piso de cerâmica**. As restrições sobre a combinação de **piso de granito** são representadas pelo conjunto de restrições (10), enquanto que o conjunto de restrições (11) representa as incompatibilidades entre diversos tipos de rodapé e o **piso de mármore**.

A Tabela 7 apresenta as principais restrições definidas pelos usuários em relação às preferências estéticas e disponibilidades financeiras. Por exemplo, analisando o caso do consumidor C2, as restrições de projeto, por ele estabelecidas, indicam que piso cerâmico é indesejável, assim como a combinação **piso de madeira e papel de cor cinza nas paredes** na sua sala de estar. O mesmo cliente não definiu um valor máximo de orçamento em suas customizações, a ser gasto no acabamento da sala.

Para o tratamento dos dados e cálculos do problema de otimização, utilizou-se a ferramenta *Solver* do programa *Microsoft Excel*. Os resultados finais da sala de estar, customizada para cada um dos seis consumidores, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 – Restrições

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Restrições de Projeto	$x_{12} = 0$	$x_{13} = 0$	$x_{12} = 0$	$x_{12} = 0$	$x_{12} = 0$	$x_{11} + x_{35} \leq 1$
	$x_{34} = 0$	$x_{11} + x_{35} \leq 1$	$x_{11} + x_{35} \leq 1$	$x_{11} + x_{35} \leq 1$	$x_{21} = 0$	$x_{11} + x_{24} \leq 1$
	$x_{35} = 0$					
Restrições de orçamento	< \$1000		< \$3000	< \$3500	< \$3500	

Tabela 8 – Resultados da Customização do Produto

Componentes	Opções	Variável	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Piso	Madeira	$x_{11}$		▪	▪			
	Carpete	$x_{12}$						
	Cerâmica	$x_{13}$	▪			▪	▪	
	Granito	$x_{14}$						
	Mármore	$x_{15}$						▪
Rodapé	Madeira	$x_{21}$		▪	▪			
	Cerâmica	$x_{22}$	▪			▪	▪	
	Granito	$x_{23}$						
	Mármore	$x_{24}$						▪
Paredes	Tinta Branca	$x_{31}$	▪		▪		▪	
	Tinta Bege	$x_{32}$						
	Tinta Cinza	$x_{33}$						
	Papel Bege	$x_{34}$				▪		
	Papel Cinza	$x_{35}$		▪				▪
Orçamento			\$ 928	\$ 1716	\$ 1236	\$ 1408	\$ 928	\$ 5280

Uma vez realizadas cada uma das avaliações das opções, o SAD apresenta ao usuário um resumo com a recomendação da configuração ótima, a configuração substituída e o componente correspondente (Figura 31). Essa informação é transmitida à base de dados do sistema e fica definida como a nova configuração do projeto da unidade recém customizada.



**Figura 31 – Resumo de Alterações Realizadas**

Com a conclusão dos experimentos, os resultados finais das salas customizadas foram diferentes para cada um dos seis alunos que participaram dos experimentos, revelando que, mesmo para um exemplo simples, o processo de customização é orientado às necessidades e preferências de clientes. O SAD conseguiu integrar com sucesso as intenções dos potenciais clientes em um processo de decisão formal e objetivo, e os seis clientes ficaram satisfeitos com os resultados obtidos.

Embora o processo tenha sido considerado trabalhoso, tanto os projetistas quanto os usuários responderam positivamente ao protótipo. Para os projetistas, a principal vantagem da utilização do SAD foi a obtenção de conhecimento tácito (de difícil captura) sobre as preferências dos consumidores. Para os potenciais clientes, a vantagem mais importante foi ser co-partícipe da definição do seu produto. Os participantes do experimento disseram que sentiram-se co-projetistas do produto. As

possibilidades de determinar atributos relacionados a produtos, de avaliar a importância de cada atributo, de expressar restrições e de obter a melhor recomendação para a configuração do produto caracterizam o SAD desenvolvido como uma ferramenta de enorme potencial para a CM. Outro aspecto importante é que, a maioria dos usuários que participaram dos experimentos manifestaram a vontade de participar de futuros testes com vistas a aprender mais sobre o processo de customização. Enfatizaram a capacidade do sistema de apropriar conhecimento sobre as possibilidades de configuração, e as conseqüentes condições para estabelecer restrições e definir escolhas relacionadas aos atributos de avaliação.

## 7 VALIDAÇÃO

Uma vez elaborado o modelo conceitual do sistema e construído o respectivo modelo formal, é necessário mensurar a consistência entre os dois modelos, realizando a sua validação. Do ponto de vista epistemológico, validar é “avaliar a representatividade de uma situação problemática real em determinados construtos” (LANDRY et al., 1983) ou “medir a consistência entre a visão captada sobre o problema estudado e a visão dos usuários potenciais e especialistas no assunto” (O’KEEFE et al., 1987).

Na pesquisa, o sistema foi validado utilizando-se a **validação de face** (ou *face validation*). A validação de face procura garantir que a solução formulada contém totalmente o problema estudado e é suficientemente bem estruturada para conseguir credibilidade antes de continuar com o desenvolvimento detalhado do sistema (BORENSTEIN, 1998). Em geral, a validação de face é realizada ao longo da modelagem, ocorrendo após a construção do modelo conceitual e no início do desenvolvimento do modelo formal. Para O’Keefe et al. (1987), é um método preliminar de validação, no qual membros da equipe de projeto, usuários potenciais e especialistas sobre o assunto focalizado comparam, subjetivamente, o desempenho do sistema criado contra o desempenho da situação anterior ao sistema. Nesse sentido, Landry et al. (1983) definem a validação de face como uma coleção de opiniões sobre o raciocínio e o grau de precisão de um modelo. Os autores ressaltam que, para garantir a utilidade do processo de validação, deve-se dar ênfase à participação ativa dos principais atores e à delimitação clara do contexto do problema. Embora a validação de face ofereça resultados subjetivos em relação à validação do sistema, ainda é o método mais adequado, dadas as restrições de tempo da pesquisa.

O processo de validação foi implementado através de métodos qualitativos em forma de testes e entrevistas. A validação ocorreu em duas etapas distintas. A primeira foi realizada com alunos do Programa de Pós-Graduação em

Administração. Embora, nenhum dos participantes dos experimentos houvesse adquirido um apartamento residencial recentemente, os mesmos já haviam vivenciado um processo de aquisição de imóvel, com ou sem a finalização da compra, portanto foram considerados aptos a participarem dos experimentos. O principal objetivo dos experimentos foi validar a lógica e a nomenclatura do sistema, bem como a sua capacidade de capturar e exprimir as preferências de possíveis clientes. Os experimentos foram descritos no capítulo 6. Após este primeiro conjunto de experimentos, o sistema foi validado por clientes que haviam, recentemente, adquirido um imóvel em uma construtora, ocorrido mediante um processo muito tímido de customização e sem o apoio de nenhum sistema computacional. A customização, quando da construção do imóvel, foi realizada de maneira informal.

Os experimentos de validação da segunda etapa foram desenvolvidos levando em consideração as seguintes orientações de O'Keefe et al. (1987):

- os clientes ou potenciais usuários do sistema foram clientes consumidores e empresários;
- o custo da validação foi reduzido aos custos de deslocamento e tempo empregado pelo pesquisador para as entrevistas e aplicação dos testes;
- procurou-se minimizar a participação do entrevistador sobre os entrevistados, evitando-se a introdução de viés no processo de validação;
- o resultado ou **desempenho aceitável** do sistema foi consultado junto aos respondentes através de um questionário (Apêndice B) contendo perguntas abertas, passíveis de respostas subjetivas, e com perguntas fechadas, múltiplas, para testar a validade das respostas.

Na prática, o processo de validação resultou na coleta de depoimentos de potenciais usuários do sistema que julgaram, em linhas gerais: (i) se o modelo e a sua implementação computacional eram funcionais; (ii) a vantagem de conduzir o processo de customização através de um sistema computacional formal; e (iii) a importância da customização para a aquisição de um produto.

A etapa de pesquisa que correspondeu à validação foi realizada na Argentina e o produto escolhido para customização foi, novamente, o apartamento residencial. A população-alvo da pesquisa foi um grupo de proprietários de apartamentos de um condomínio residencial de quatorze andares localizado em Belgrano, um dos bairros mais antigos da cidade de Buenos Aires. É, também, um dos bairros mais residenciais e refinados, composto de grandes e antigas casas, típicas do final do século XX. Embora essa paisagem tradicional ainda predomine, durante as últimas décadas têm-se construído edifícios de apartamentos modernos e sofisticados, tornando-o um dos pontos mais atrativos do mercado imobiliário.

O valor dos terrenos e das propriedades tem aumentado paulatinamente, e hoje Belgrano é uma das zonas mais caras da cidade (o preço de venda do metro quadrado construído está em torno de 1000 dólares). Durante 2004, o preço dos terrenos aumentou 89% (quando a média da cidade cresceu 47,6%) e, atualmente, o bairro concorre pela liderança com outras zonas de alto poder aquisitivo, como Recoleta e Palermo. Paralelamente, Belgrano possui os melhores indicadores de qualidade de vida: existem três escolas privadas por cada escola pública, 84% dos vizinhos tem cobertura médica privada (a média *porteña* – oriundo da cidade de Buenos Aires – é de 73,8%) e 34,5% das pessoas de mais de 25 anos completou um curso universitário (a média da cidade é de 23,6%), segundo o *Centro de Estudios para el Desarrollo Económico Metropolitano* (CEDEM). O alto padrão de vida que caracteriza a população do bairro, também se pode identificar através de outros indicadores como: **quantidade de propriedades com um único morador e média de pessoas por residência**. Esse último indicador caiu mais em Belgrano que no resto da cidade, e hoje é de 2,53 pessoas por propriedade.

Nos últimos anos, a construção civil foi um dos setores mais favorecidos com o crescimento econômico do país, e, justamente, foi uma das atividades que mais cresceram no bairro de Belgrano. Aliás, dez por cento do total de empreendimentos

autorizados pela prefeitura da capital argentina durante o ano de 2003 foram para projetos localizados em Belgrano. Hoje, a grande maioria das obras em andamento são projetos de alto padrão, cujo valor de venda é de 1.000 a 1.500 dólares por metro quadrado. O público alvo pertence às classes média e alta e são, em sua maioria, jovens ou pequenas famílias que compram o seu primeiro imóvel. O produto mais vendido é a unidade de dois quartos.

Voltando a pesquisa, o projeto do empreendimento Cramer (o nome é fictício), em que foram realizadas as entrevistas para a validação, foi lançado em abril de 2003. Sua construção finalizou em agosto de 2004, e a totalidade das unidades foram vendidas entre o lançamento do projeto e junho de 2005. O edifício foi construído pela empresa Edificar S.A., que atua no mercado de construção civil de condomínios residenciais na cidade de Buenos Aires desde 2002. A maioria dos seus empreendimentos foi construído nos bairros de Belgrano e Nuñez, e alguns projetos estão situados no bairro de Palermo. Todos os seus projetos são direcionados ao mercado de famílias de classe média-alta, de costumes fortemente tradicionais, e que procuram apartamentos de dois e três quartos. A empresa não oferece a possibilidade de customização dos seus apartamentos de forma institucionalizada, e os poucos casos de clientes que personalizaram a unidade comprada ocorreram em função de pedido especial durante a fase de construção, anterior à fase dos acabamentos. Pode-se dizer que, em termos gerais, a customização não é uma prática de uso comum no mercado de construção de edifícios de apartamentos da cidade de Buenos Aires.

Dado que a população alvo da pesquisa era de 22 proprietários, necessitava-se de uma amostra relativamente grande para a geração de resultados confiáveis (BARBETTA, 1998). Foram entrevistados 15 proprietários que representam 68% da população. Dos 7 proprietários não entrevistados, 2 não moram no país, um deles foi contatado, mas não foi possível marcar uma data de entrevista e os 4 restantes declararam falta de tempo ou interesse em colaborar com a pesquisa. Do total dos proprietários, a maioria deles (17) mora no mesmo edifício, enquanto que 5 pessoas compraram os apartamentos como investimento e alugam as unidades a terceiros.

## 7.1 REALIZAÇÃO DE TESTES COM OS CLIENTES

O trabalho de campo consistiu na realização de entrevistas previamente agendadas com os proprietários dos apartamentos do edifício Cramer. Os dados foram levantados diretamente dos elementos da população, através de entrevistas pessoais realizadas entre os dias 22 de novembro de 2005 e 10 de janeiro de 2006.

Dado que no momento da pesquisa o produto já tinha sido vendido, fabricado e entregue, os experimentos consistiram em simular, junto ao proprietário, o processo de customização do apartamento, como se o mesmo estivesse ocorrendo durante a construção do imóvel. Ao término dos experimentos, o questionário apresentado no Apêndice B foi aplicado, objetivando capturar as características dos respondentes (idade, grau de instrução, renda mensal familiar, etc.), a relevância da possibilidade de customizar o apartamento, os resultados obtidos com o sistema apresentado e o grau de satisfação atingido com a customização simulada. O questionário foi desenvolvido contendo algumas questões fechadas, bem como questões abertas para comentários ou observações relevantes.

O roteiro dos experimentos tinha como primeiro passo uma apresentação do objeto de pesquisa (o desenvolvimento de um modelo de customização de produtos) junto com a explicação do objetivo da entrevista (a validação do modelo desenvolvido), destacando-se a importância da participação do entrevistado. Logo, foi descrita a forma e as etapas em que seria conduzido o processo de customização simulado. Dado que se tratava de proprietários que já tinham comprado o produto com anterioridade à entrevista, a situação simulada correspondia à compra e customização do apartamento no momento em que o empreendimento imobiliário estava em fase de construção.

A primeira etapa do processo simulado procurou enumerar e descrever os componentes e as opções disponíveis para customização. Os experimentos realizados junto aos proprietários centraram-se na customização do produto apartamento nos seguintes componentes customizáveis: planta, piso da sala e piso dos quartos. Cada andar do edifício tinha dois tipos de apartamentos: A e B. Tanto os apartamentos do tipo A quanto os apartamentos do tipo B eram unidades cuja

composição básica (aquela que é oferecida antes da customização) é de três quartos. As vistas, corte e planta do edifício Cramer são ilustradas nas Figura 32, 33 e 34, respectivamente.



**Figura 32 – Frente e Fundos do Condomínio Cramer**

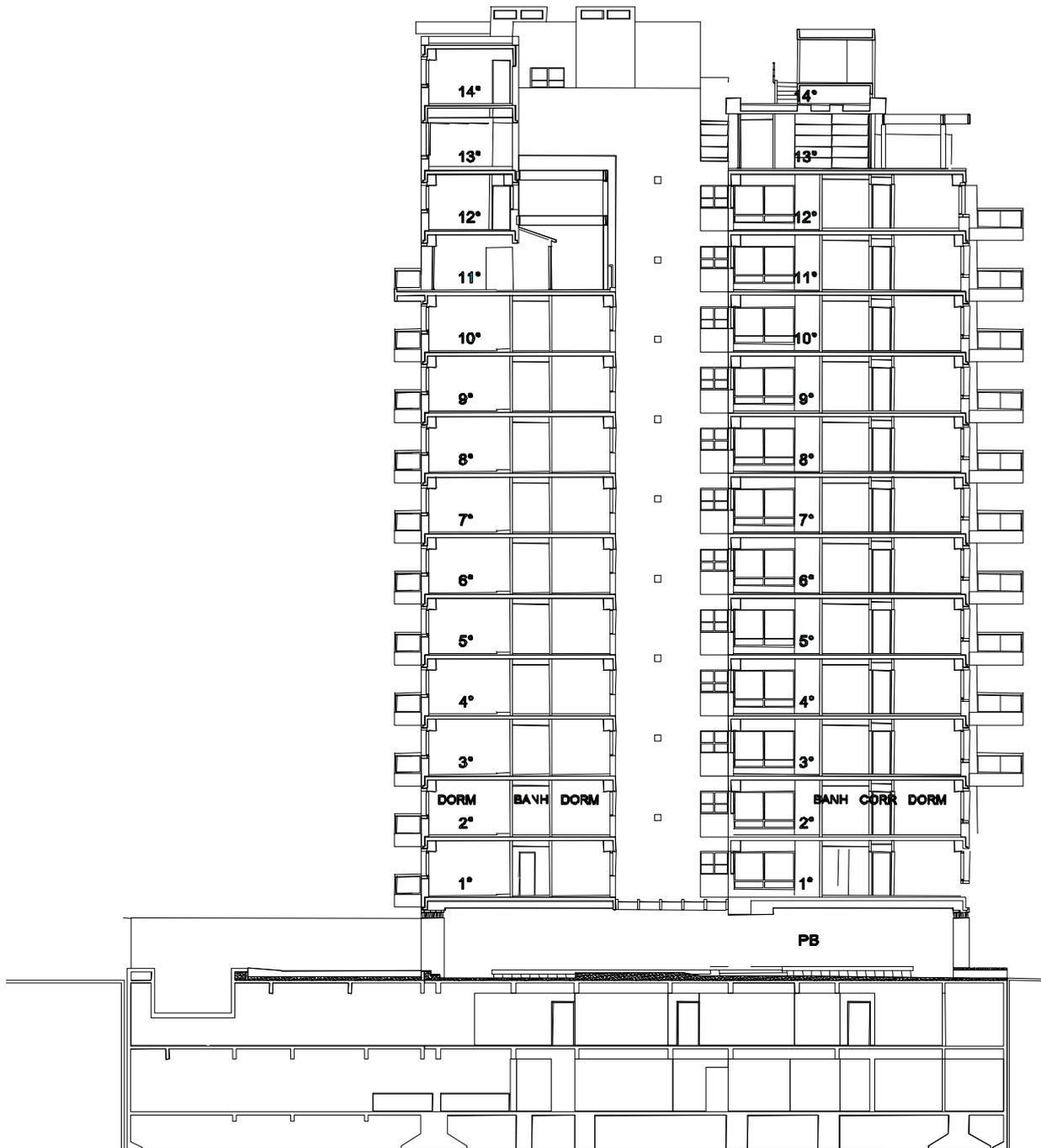


Figura 33 – Cortes do Condomínio Cramer

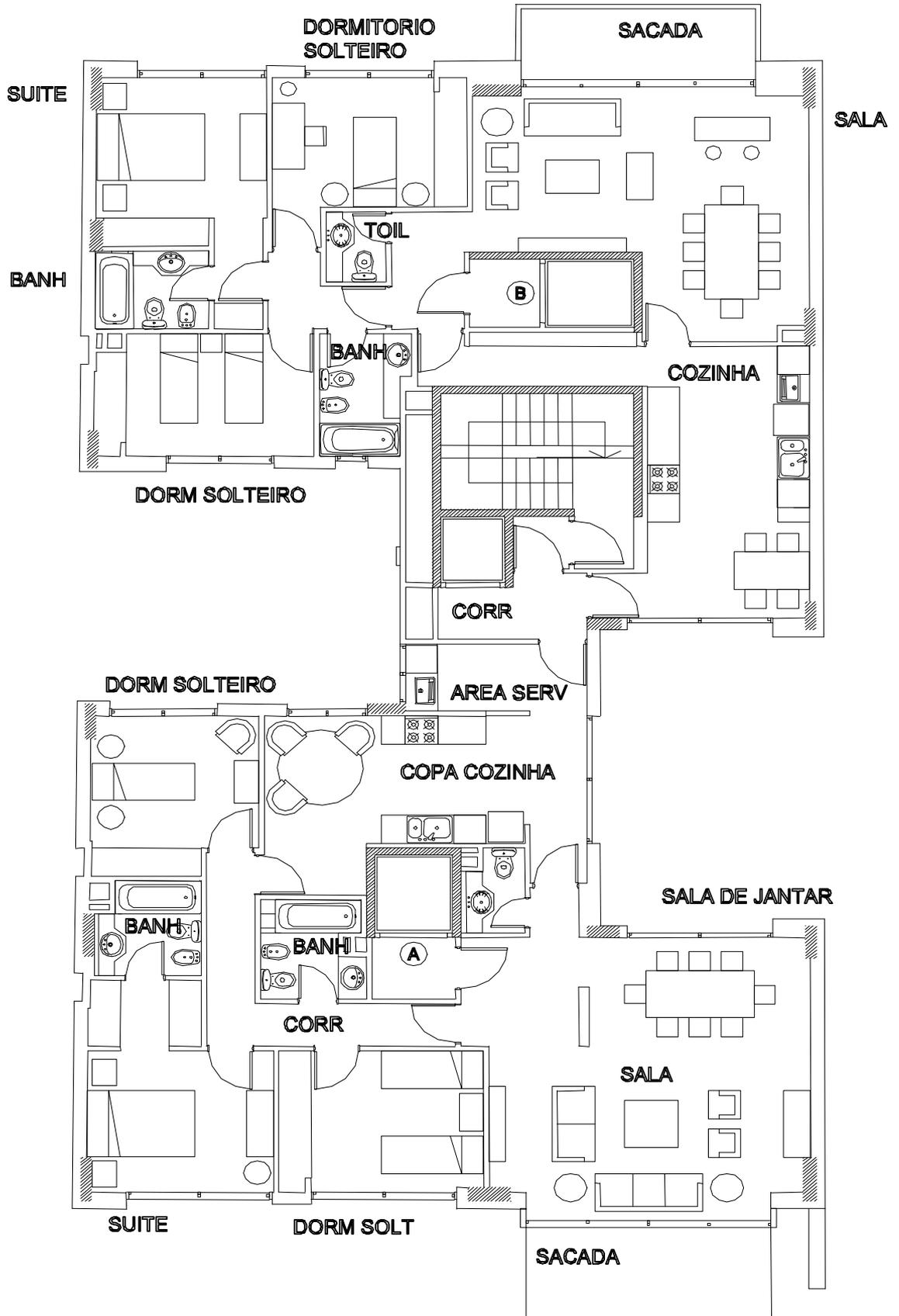


Figura 34 – Planta Tipo do Condomínio Cramer

O conjunto de opções de plantas oferecidas para cada unidade surge das combinações dos componentes e suas opções, definidas como variáveis  $x_{ij}$ , detalhadas nas Tabela 9 e 10.

Tabela 9 – Opções oferecidas para configurar a planta do Apartamento Tipo A

QUARTO 1		QUARTO 2		COZINHA	
$x_{11}$	Solteiro	$x_{21}$	Solteiro	$x_{31}$	Área de Serviço Incorporada
$x_{12}$	Suite	$x_{22}$	Escritório	$x_{32}$	Área de Serviço Separada

Tabela 10 – Opções oferecidas para configurar a planta do Apartamento Tipo B

QUARTO 1		QUARTO 2		SALA	
$x_{11}$	Solteiro	$x_{21}$	Solteiro	$x_{31}$	Sala Jantar
$x_{12}$	Sala Jantar	$x_{22}$	Escritório	$x_{32}$	Home Theater

Com a mesma informação das tabelas precedentes (9 e 10) foi construída a Figura 35 que expõe as opções disponíveis para os componentes da planta. Essa figura foi apresentada aos proprietários durante a realização dos testes para melhor compreensão das opções disponíveis nas plantas. Já para o piso da sala e dos quartos, o conjunto de opções oferecidas para cada unidade são apresentadas nas combinações dos componentes e suas opções da Tabela 11.

Tabela 11 – Opções oferecidas para configurar os pisos dos Apartamentos

Tipo A e B

PISOS DOS QUARTOS		PISO DA SALA	
$x_{41}$	Carpete	$x_{51}$	Carpete
$x_{42}$	Madeira	$x_{52}$	Madeira
		$x_{53}$	Granito
		$x_{54}$	Cerâmica

Uma vez apresentadas e descritas as opções de customização disponíveis, cada respondente definiu um conjunto de atributos que considerava relevante na avaliação de cada componente (a Figura 36 contém o exemplo dos atributos definidos pelo entrevistado A7 para o componente **piso da sala**). A definição de atributos foi implementada com a operação do Módulo de Elucidação das Preferências. O módulo permitiu ao usuário identificar os atributos relevantes (organizados em um único nível hierárquico, para simplificar a posterior definição do modelo de programação linear) e, também, estabelecer o peso que cada atributo tinha na avaliação geral de cada componente (Figura 37).

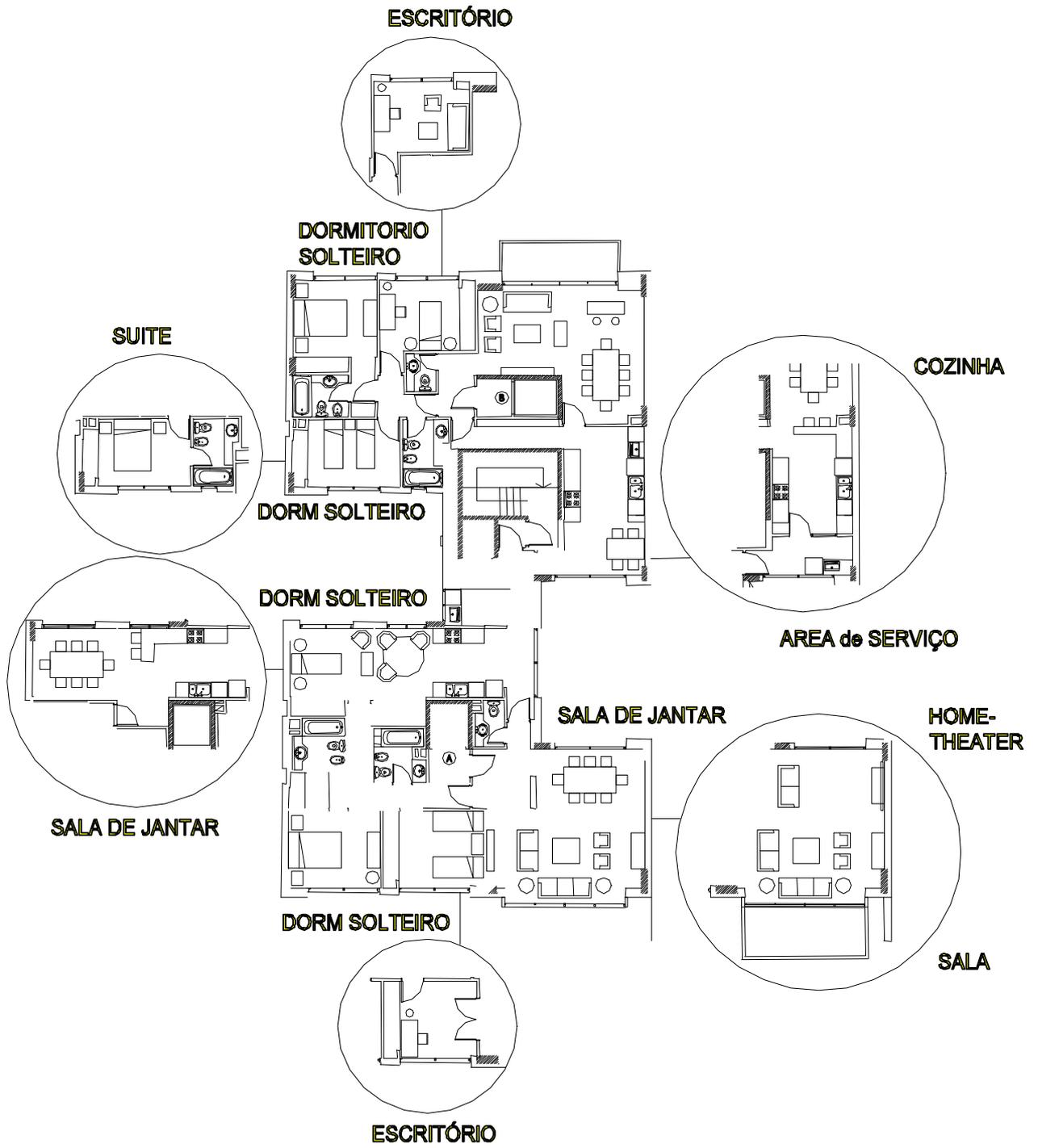


Figura 35 – Planta Tipo do Edifício e Opções

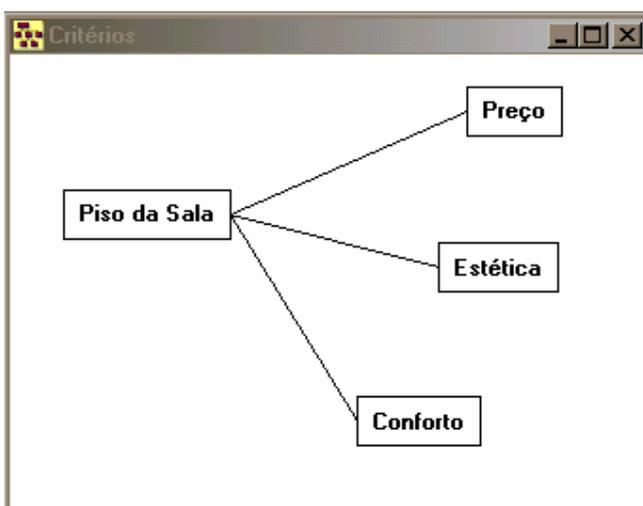


Figura 36 – Entrevistado A7: Critérios definidos para o Piso da Sala



Figura 37 – Entrevistado A7: Pesos dos Critérios definidos para o Piso da Sala

A Tabela 12 apresenta todos os atributos definidos pela totalidade dos respondentes e os seus pesos relativos para cada componente.

Tabela 12 – Atributos definidos para a Avaliação de cada Componente e os Pesos Relativos

Proprietários de Apartamentos A																								
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
Atributos	Planta								Piso dos Quartos								Piso da Sala							
Preço	.10	.3	.5	.4		.28	.25	.37		.54	.3	.17		.25	.44	.24		.32	.21	.22		.21	.33	.18
Funcionalidade	.34		.3	.5	.46	.28	.35	.21	.45			.03	.18	.04		.09	.32		.22		.19	.03		.06
Estética	.28				.17	.28	.18	.21	.16	.3	.9	.13	.33	.44	.33	.12	.23	.42	.16	.22	.25	.37	.44	.14
Durabilidade									.12	.15	.4	.26	.08		.24	.08	.25	.22	.18	.23			.26	
Conforto	.26	.7	.19	.09	.36	.15	.2	.2	.24		.19	.13	.4	.25	.21	.13	.17		.17	.26	.3	.21	.22	.15
Limpeza												.26				.15	.18			.11		.16	.18	

Proprietários de Apartamentos B																							
	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7		
Atributos	Planta							Piso dos Quartos							Piso da Sala								
Preço	.52	.32	.21	.33		.39		.36	.21	.21	.2		.29		.34	.16	.21	.2		.23			
Funcionalidade	.31		.27	.33	.5	.21	.63	.18		.27							.27						
Estética		.31	.33		.5		.35	.12	.35	.33	.29	.34		.4	.26	.35	.33	.31	.34	.23	.66		
Durabilidade								.15	.24		.22	.23	.2	.26	.13	.27		.24	.23	.15	.33		
Conforto	.16	.36	.18	.33		.39		.16		.18	.15	.34	.29	.33	.26		.18	.14	.34	.22			
Limpeza									.18		.12	.07	.2			.21		.09	.07	.15			

Além da definição de atributos, os clientes avaliaram cada opção com referência aos atributos definidos. Isso significa que, por exemplo, para completar a customização do piso da sala do seu apartamento, o proprietário identificado como **A7** teve que determinar uma pontuação para cada uma das opções (carpete, madeira, granito e cerâmica) segundo o **preço**, a **estética** e o **conforto** que cada tipo de piso oferece. A Tabela 13 exhibe todas as pontuações determinadas pelo proprietário identificado como **A7** (todas as pontuações dadas por cada entrevistado estão no Apêndice C).

Tabela 13 – Valores determinados para cada opção para o caso do proprietário A7

Proprietário a7													
Atributos	Planta						Pisos						
	Quarto 1		Quarto 2		Cozinha		Quarto		Sala				
	Suite	Solt	Solt	Escr	ASin	Asse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer	
Preço	.5	.5	.7	.4	.7	.4	.8	.3	.7	.5	.34	.7	
Funcionalidade	.5	.5	.86	.4	.5	.70							
Estética	.5	.5	.3	.8	.4	.9	.7	.8	.14	.8	.6	.08	
Conforto	.5	.5	.76	.44	.6	.7	.8	.7	.1	.8	.7	.4	

Tendo os pesos de cada atributo e as pontuações de cada opção em cada atributo, foi possível obter os coeficientes para constituir as funções de valor que caracterizavam as preferências de cada proprietário. Na prática, a operação do Módulo de Elucidação das Preferências foi implementada com a ferramenta *Ranking* e o resultado foi a definição de diferentes funções de valor para cada atributo definido por cada respondente. A Tabela 14 mostra os valores dos coeficientes para cada opção de cada componente em cada caso e a Figura 38 apresenta os coeficientes resultantes para a função de valor que representa ao piso da sala para o caso específico do entrevistado A7.

Tabela 14 – Valores obtidos para cada Opção

Componente	Opção	Respondentes														
		a1	a2	a3	A4	A5	a6	a7	a8	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
Quarto 1	Solteiro	.47	.43	.6	.5	.62	.58	.5	.64							
	Suite	.69	.58	.45	.5	.76	.65	.5	.75							
Quarto 2	Solteiro	.37	.52	.48	.5	.68	.61	.69	.63							
	Escritório	.64	.71	.66	.5	.57	.52	.48	.68							
Cozinha	AS Incorp	.41	.23	.49	.52	.5	.55	.64	.66							
	AS Separada	.69	.69	.56	.56	.5	.71	.56	.63							
Quarto 1	Solteiro									.45	.7	.66	.5	.75	.73	.69
	Sala Jantar									.63	.63	.62	.5	.63	.74	.79
Quarto 2	Solteiro									.58	.62	.69	.5	.65	.76	.62
	Escritório									.66	.8	.77	.5	.79	.59	.83
Sala	Sala Jantar									.69	.5	.73	.5	.78	.58	.79
	H Theater									.39	.5	.73	.5	.72	.65	.36
Piso dos Quartos	Carpete	.48	.5	.53	.44	.56	.82	.76	.61	.7	.52	.71	.73	.74	.56	.5
	Madeira	.6	.5	.57	.47	.75	.52	.55	.64	.56	.73	.75	.7	.76	.68	.5
Piso da Sala	Carpete	.31	.47	.34	.59	.47	.74	.31	.21	.49	.49	.48	.59	.38	.57	.13
	Madeira	.53	.36	.54	.64	.7	.46	.69	.58	.65	.64	.76	.66	.78	.72	.79
	Granito	.49	.5	.54	.59	.71	.45	.53	.67	.64	.76	.68	.73	.71	.57	.67
	Cerâmica	.32	.3	.43	.6	.39	.32	.35	.57	.7	.7	.59	.79	.75	.63	.39



Figura 38 – Entrevistado A7: Coeficientes da Função de Valor para o Piso da Sala

Já com os coeficientes para cada opção de cada componente, foi possível construir a função objetivo do modelo de PLI que maximiza as preferências de cada cliente:

$$Max \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} V_{ci} x_{ci} \quad \dots(12)$$

onde  $x_{ci}$  é a variável que representa a opção  $i$  de um componente específico  $c$ , cujo score geral  $V_{ci}$  é dado por:

$$V_{ci} = \sum_{j \in J} w_j v_{cij}$$

onde  $v_{cij}$  é a função de valor da opção  $i$  do componente  $c$  para o atributo  $j$ , e  $w_j$  é o peso do atributo  $j$ .

Porém, para completar o modelo de PLI que otimiza a configuração do produto, é preciso definir as restrições. No modelo desenvolvido, foram definidas três tipos de restrições: (i) restrições básicas, que indicam que só pode ser escolhida uma opção para cada componente; (ii) restrições de compatibilidade, que indicam quando opções de distintos componentes são incompatíveis por motivos técnicos e/ou arquitetônicos e/ou orçamentários e; (iii) restrições de cliente, através das quais os usuários expressam as suas preferências e/ou limitações financeiras. Ao primeiro tipo de restrições, as básicas, respondem as expressões (13) à (17). Para as restrições de compatibilidade, foi definida a expressão (18) indicando que o apartamento tipo B não pode ter mais de uma sala de jantar.

$$x_{11} + x_{12} = 1 \quad \dots(13)$$

$$x_{21} + x_{22} = 1 \quad \dots(14)$$

$$x_{31} + x_{32} = 1 \quad \dots(15)$$

$$x_{41} + x_{42} = 1 \quad \dots(16)$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \quad \dots(17)$$

$$X_{12} + X_{31} \leq 1 \quad \dots(18)$$

Por último, o conjunto de restrições de cliente foi definida, particularmente, por cada proprietário entrevistado. Apresentam-se, como exemplo, as inequações que representam as restrições definidas pelo proprietário do apartamento A7, onde (19) expressa um limite no orçamento familiar para a customização, (20) e (21) condicionam o piso dos quartos para que seja diferente do piso da sala e (22) elimina a possibilidade de um dos quartos ser suíte. Todas as restrições definidas por cada participante estão no Apêndice C.

$$\text{Orçamento} \leq \$ 6000 \quad \dots(19)$$

$$X_{41} + X_{51} \leq 1 \quad \dots(20)$$

$$X_{42} + X_{52} \leq 1 \quad \dots(21)$$

$$X_{12} = 0 \quad \dots(22)$$

Os resultados finais dos componentes customizados, obtidos dos proprietários entrevistados, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados da Customização

Componente	Opção	Respondentes																	%		
		a1	a2	a3i	a3ii	a4	a5	a6	a7i	a7ii	a8	b1	b2	b3i	b3ii	b4	b5i	b5ii		b6	b7
QUARTO 1	Solteiro																				40
	Suíte	.	.	.				.	.												60
QUARTO 2	Solteiro	.						.	.	.	.	.	.								70
	Escritório		.	.	.																30
COZINHA	AS Incorp			.	.					.	.	.									50
	AS Separada	.	.				.	.	.												50
QUARTO 1	Solteiro											.	.	.		.	.	.	.	.	89
	Sala Jantar													.							11
QUARTO 2	Solteiro														.						22
	Escritório											.	.	.	.		.	.	.	.	78
SALA	Sala Jantar											.	.	.		.	.	.	.	.	89
	H Theater													.							11
PISO QUARTOS	Carpete		.	.	.			.	.	.	.	.	.			.		.	.	.	58
	Madeira	.					.	.					.	.	.		.			.	42
PISO DA SALA	Carpete			.				.													11
	Madeira	.			.	.			.					.	.		.	.		.	47
	Granito		.				.			.	.		.							.	26
	Cerâmica											.			.					.	16

Os resultados das configurações para os componentes dos apartamentos customizados diferem de proprietário para proprietário, evidenciando a heterogeneidade do pessoal e das suas necessidades e preferências. Quanto a isso, as percentagens na coluna à direita da Tabela 15 indicam a frequência com que foi escolhida cada opção e dão uma orientação do **grau de aceitação** que essas opções têm dentro do público alvo. A Tabela 16 apresenta os valores resultantes da função objetivo (FO) e do orçamento correspondente às modificações introduzidas no projeto original de cada apartamento. O valor médio dos orçamentos obtidos foi de \$2.196,00 (dois mil cento e noventa e seis pesos) por proprietário.

Tabela 16 – Resultados da FO e Orçamento para Customização

Proprietários de Apartamentos A										
	a1	a2	a3i	a3ii	a4	a5	a6	a7i	a7ii	a8
Função Objetivo	2,88	2,98	2,49	2,23	2,67	3,40	3,53	3,28	3,12	3,32
Orçamento	\$ 4.760	\$ 2.700	-\$ 450	\$ 1.100	\$ 4.560	\$ 5.260	\$ 850	\$ 1.500	\$ 2.000	\$ 2.200

Proprietários de Apartamentos B									
	b1	b2	b3i	b3ii	b4	b5i	b5ii	b6	b7
Função Objetivo	3,20	3,49	3,67	3,63	3,02	3,86	3,84	3,26	3,60
Orçamento	-\$ 400	\$ 3.760	\$ 3.260	\$ 3.010	\$ 0	\$ 3.260	\$ 1.100	\$ 0	\$ 3.260

## 7.2 CONCLUSÕES SOBRE OS EXPERIMENTOS

O SAD desenvolvido para customização de produtos, proposto nessa pesquisa, mostrou-se capaz de converter intenções subjetivas e abstratas dos consumidores em um processo decisório formal e objetivo. Nos testes realizados para a validação do sistema, todos os proprietários manifestaram satisfação com os resultados obtidos a partir da sua interação com o sistema. Embora os participantes consideraram o processo um pouco demorado e algo complexo, em geral, eles reagiram positivamente à implementação. As possibilidades dadas para a definição

dos atributos dos produtos, para avaliar a importância relativa de cada atributo, para expressar suas restrições, e apresentar os resultados de forma objetiva, validam o SAD como uma ferramenta potencial para a customização de produtos.

A análise dos resultados obtidos com a aplicação do questionário, referentes ao perfil dos respondentes, permite traçar uma série de conclusões. As conclusões mais importantes são:

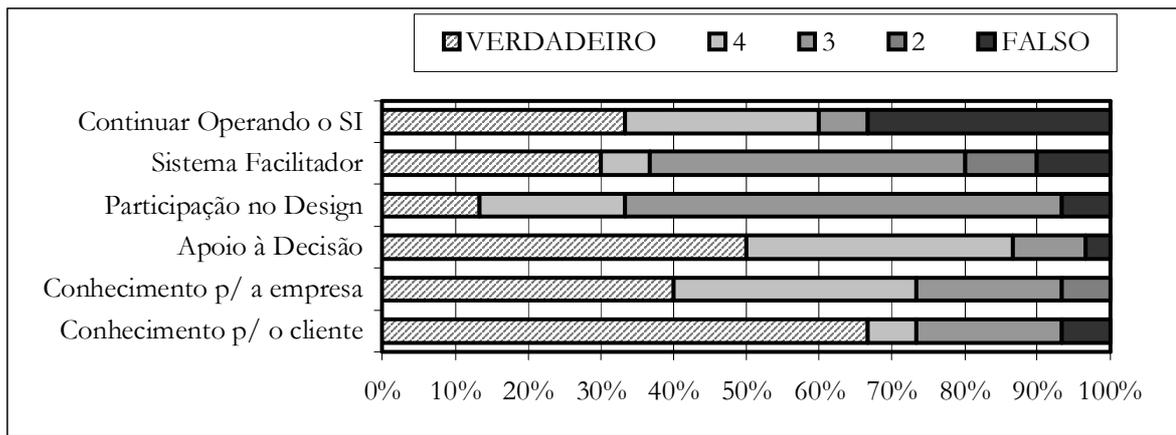
- o empreendimento do edifício Cramer foi um projeto orientado para um padrão sócio-econômico médio-alto da população do bairro de Belgrano na cidade de Buenos Aires cuja média de renda mensal familiar é de \$ 8800 (oito mil oitocentos pesos);
- a média de moradores por unidade é de 2,57, um valor apenas maior ao indicador que caracteriza o bairro, de 2,53;
- a média de idade dos proprietários entrevistados é de 51 anos;
- há uma forte necessidade de personalização por parte dos proprietários, pois mais de 80% dos entrevistados declarou que o fato de personalizar um produto é importante ou muito importante (tabela 17).

Tabela 17 – Importância da Customização

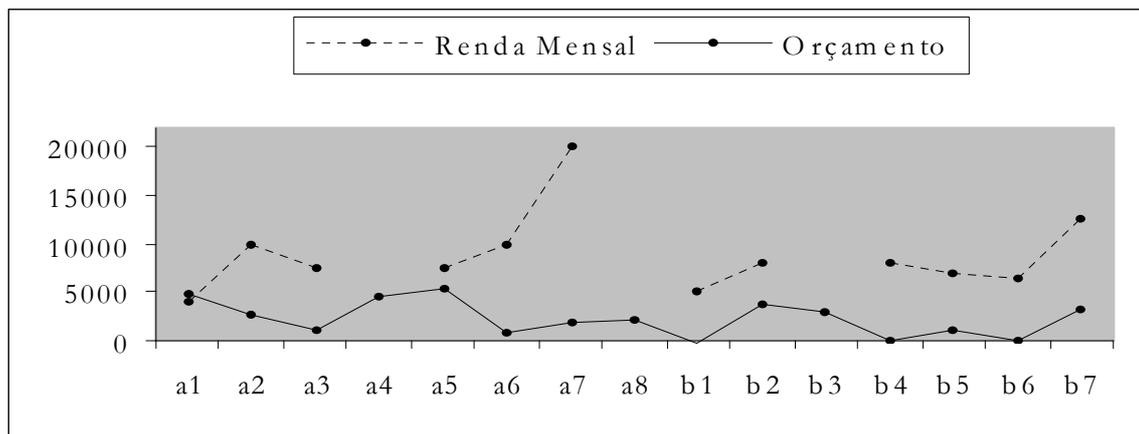
	No. cit.	Freq.
Muito importante	6	43%
4	6	43%
3	2	14%
2	0	0%
Sem importância	0	0%
<b>TOTAL OBS.</b>	<b>14</b>	<b>100%</b>

Com relação à validação do sistema, os principais resultados obtidos pela aplicação do questionário junto aos clientes e empresários podem ser resumidos como se segue:

- 64% reconhecem fortemente o sistema como **gerador de conhecimento sobre as características do produto e as opções de customização**. Já não com tanta ênfase, uma quantidade similar de respondentes também reconhece que o sistema gera para a empresa **conhecimento sobre as necessidades e preferências dos clientes** (figura 39);
- perto de 60% dos proprietários entrevistados manifesta indiferença quando consultados sobre se foram partícipes do processo de *design* do produto (figura 39);
- curiosamente, a maioria das respostas (43%) é indiferente a considerar o sistema como uma ferramenta facilitadora do processo de customização, porém, 87% das respostas reconhecem que sistema é uma ferramenta de apoio à decisão (figura 39);
- 4 respondentes pediram para repetir o processo de customização depois de introduzir alguma modificação ao conjunto inicial de restrições por eles definido. Todos esses proprietários manifestaram que sentiram vontade de continuar experimentando o sistema e vendo os resultados obtidos, aos quais qualificaram de bons ou muito bons.
- a relação entre a receita familiar de cada entrevistado e o orçamento da customização por ele realizada sugere uma correspondência entre os respectivos valores (figura 40).



**Figura 39 – Opiniões dos Proprietários**



**Figura 40 – Orçamento da Customização e Receita Familiar**

Os comentários ou observações negativos que surgiram dos entrevistados ressaltam principalmente dois aspectos:

- a grande quantidade de passos e o excessivo tempo necessários para completar o processo de customização e;
- a pouca quantidade de opções oferecidas.

É interessante ressaltar que a quantidade de opções oferecidas e de componentes disponíveis para customização tem incidência direta – quase proporcional – com a quantidade de passos e o tempo necessários para completar o a customização. Evidentemente, os usuários não perceberam essa relação, ou

mesmo a reconhecendo, insistem na importância de aumentar a variedade de oferta e, simultaneamente, diminuir o tempo de análise. Quando consultados sobre possíveis melhorias para o sistema, a maioria sugere aumentar as opções oferecidas e melhorar a visualização das mesmas. Percebe-se que **funcionalidade** foi um item que, em alguns casos, representou um conjunto de atributos formado por **limpeza** e/ou **conforto** ou **durabilidade**. Em outros casos, **funcionalidade** parece ter substituído algum dos outros atributos já mencionados. A evidência, para essas hipóteses, surgiu em exemplos como o caso do respondente A4, que havia determinado um conjunto de atributos para o piso da sala, incluindo a funcionalidade, mas no momento de definir escores para os atributos, foi adotando os mesmos valores para todos os atributos e, finalmente, acabou pedindo para eliminar o atributo **funcionalidade**. Quando o usuário definia alguma restrição que selecionava, *a priori*, alguma opção, era indiferente qualificar os seus atributos, já que somente um coeficiente (o coeficiente da opção já selecionada) teria peso na função **geral** de valor. Nestes casos, não houve oportunidade de definição de atributos ou necessidade de determinação dos seus respectivos pesos e avaliações, dado que o cliente definia exatamente a(s) opção(ões) que queria.

Somente em três casos (A7, B4 e B6), as avaliações realizadas deram o resultado de uma configuração de produto que coincidiu exatamente com a configuração oferecida originalmente pela empresa construtora.

## 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na estratégia de CM, as empresas precisam ter um ambiente de trabalho flexível e dinâmico, para cooperar com os clientes no projeto e produção de produtos customizados. Com base em requisitos identificados na pesquisa, foi desenvolvido um método para apoiar o processo de customização de produtos modulares, especialmente orientado a interação do cliente em ambientes de CM. O método proposto tem como principal objetivo proporcionar a partilha de conhecimento entre projetistas e consumidores para a configuração de produtos que levem em conta os desejos e necessidades de cada cliente específico. Para viabilizar o objetivo, o método integra programação orientada a objetos, análise de decisão multicriterial e programação linear inteira, de forma a otimizar a utilidade de um cliente para as opções dos componentes submetidas a restrições técnicas, estéticas e econômicas.

A utilização da MOO para a modelagem do sistema permitiu estabelecer uma relação direta entre o que acontece no sistema informatizado e a realidade, resultando no fato de que a customização ocorra dentro de um processo natural de entendimento para os atores envolvidos. A MOO aumenta o potencial de utilização do sistema porque facilita a sua expansão e desdobramento para níveis de maior grau de detalhamento. Assim, o modelo de objetos não precisaria de modificações para ser adaptado e aplicado a outros produtos (fora do âmbito da indústria da construção civil, por exemplo). Bastaria criar novas instâncias dos objetos já desenvolvidos. A MAVF e a PLI provaram ser de simples compreensão aos clientes, facilitando o entendimento do processo por parte dos mesmos. Acredita-se que, na interação constante com o sistema, o consumidor descobre intuitivamente a forma como funcionam o Modelo de Elucidação de Preferências e o Modelo de Configuração Ótima.

As contribuições mais importantes do método são: (i) facilitar o desenvolvimento de ambientes de customização que são eficientes, poderosos e facilmente modificáveis (este fato é uma consequência natural da Abordagem Orientada a Objeto); (ii) permitir a fácil extensão do modelo de configuração, já que define um conjunto de construtos básicos (chamados de classes) que podem ser adaptados em um modelo conceitual que atinge o

domínio de qualquer produto específico (um modelo conceitual pode ser criado através de instâncias das classes definidas no MOO); (iii) aumentar o conhecimento sobre os clientes, fornecendo às empresas valiosas informações sobre as suas necessidades e desejos, permitindo o desenvolvimento de produtos mais orientados às necessidades e intenções dos clientes; (iv) dar suporte à configuração de produtos com base nas necessidades e preferências dos clientes, permitindo aos mesmos explorar de forma intuitiva todas as opções de cada componente por todo o espaço de customização; e (v) dar suporte à participação dos clientes no processo de *design* permitindo mudanças instantâneas.

O método foi ilustrado através do desenvolvimento de um protótipo de SAD para a customização de apartamentos residenciais, baseado na Internet. O sistema apresenta como principal contribuição, a especificação de mecanismos adequados para a consideração das preferências e anseios dos projetistas e consumidores envolvidos no processo de customização de produtos. Julgamentos pessoais e criatividade são enfatizados no intercâmbio de conhecimento entre estes dois agentes. O sucesso e efetividade do processo para a configuração dos produtos, dependem, conseqüentemente, da cooperação ativa entre o agente projetista e o consumidor, cooperação esta que é facilitada pelos sub-modelos desenvolvidos e as ferramentas gráficas interativas incorporadas ao sistema.

O sistema desenvolvido permite ao cliente interagir com produtos e empresas dentro de um ambiente amigável e padronizado. Isto libera os clientes da pressão que significa a presença de um vendedor, e permite às empresas conhecer o caminho exato – das idas e vindas– que o cliente seguiu através do processo de customização, gerando informação sobre necessidades e interesses. Os clientes podem utilizar o sistema para analisar as diversas opções de customização, encomendar modificações de projeto, como suporte à decisão de compra e consulta de informação sobre os produtos. O sistema facilita e otimiza a interação entre a visão técnica e de custos dos projetistas com as necessidades e intenções dos clientes. É a dinâmica de configuração oferecida pelo sistema, que, repetida quantas vezes o cliente queira, gera mais e mais conhecimento sobre o produto, seus componentes e opções.

O sistema representa, para a empresa, um canal de comunicação de baixo custo para obter respostas dos clientes. Com o sistema, obtém-se valiosa informação a respeito do mercado que, por outros métodos, resultaria mais custosa. A empresa também pode atender a uma gama maior de perfis de consumidores, uma vez que maior variedade de

produtos oferecidos pode atingir maior quantidade de segmentos de clientes. A customização de produtos é uma forte tendência do mercado e o SAD desenvolvido, inserido nesta tendência, facilita a adequação do produto ao tipo de consumidor.

Constatou-se que a construção de um protótipo facilitou enormemente a validação do método, pois se tornou uma ferramenta de representação física perante os usuários. Os testes realizados para validar o método, apresentados no capítulo 7 e efetuados através de um estudo de caso dentro de uma empresa construtora argentina, permitiram captar a opinião de clientes sobre um caso hipotético de customização do produto, direcionando de forma efetiva o processo de modelagem conceitual do sistema. Embora o protótipo tenha experimentado um processo limitado de validação (o objetivo do protótipo não foi o de apresentar um programa computacional definitivo, senão demonstrar a viabilidade da utilização de conceitos de CM através da tecnologia de informação), os testes executados permitem afirmar que o método e sua implementação têm um enorme potencial como ferramenta para apoiar a implementação da CM no setor de construção civil de apartamentos residenciais. A validação de face gerou críticas relevantes que serão consideradas para aperfeiçoamentos futuros da implementação, já que se acredita que ainda existe um longo caminho de desenvolvimento. Evidências de aprendizado foram encontradas conforme os clientes progrediam durante os experimentos. Alguns consumidores solicitaram a repetição dos experimentos para realizar novamente a customização, baseando-se nos resultados conhecidos da primeira tentativa.

É importante ressaltar, também, algumas limitações do estudo realizado. Primeiramente, cabe lembrar que os consumidores do experimento de validação realizaram uma customização hipotética e expressaram as suas opiniões em termos de intenção de customização. Outro aspecto importante é que o processo de customização foi realizado dentro do contexto de um produto só. Portanto, embora fossem utilizados consumidores reais, e tomou-se o devido cuidado de criar condições experimentais realistas, as decisões dos consumidores no mundo real poderiam ser diferentes. Seria de muita utilidade testar o modelo em outros contextos para determinar se os efeitos observados poderiam ser generalizados.

Embora os modelos desenvolvidos sejam de simples formulação e o SAD implementado fornece ferramentas visuais interativas que facilitam a operação, a aplicação prática a um processo de customização real está longe de ser simples. Na medida em que o número de componentes, opções e critérios de avaliação aumenta, a complexidade do processo de customização cresce substancialmente. A determinação

das funções de valor, a definição das condições de independência de critérios e a comparação das diversas alternativas para os diversos componentes, tornam-se tarefas tediosas e complexas. Este fato foi corroborado durante a aplicação dos experimentos prévios e dos testes de validação. Todavia, não há dúvidas de que o SAD, quando utilizado como ferramenta de apoio, pode ter um importante papel na customização de produtos, permitindo, tanto aos projetistas quanto aos clientes, aprofundar e aprender sobre seus problemas específicos de um jeito interativo e construtivo.

O programa desenvolvido deve ser considerado como um protótipo que tem diversas limitações computacionais e de modelagem. Por enquanto, o sistema não pode captar as bases de dados de fornecedores nem é compatível com projetos desenvolvidos em programas comerciais de CAD.

Pesquisas futuras deverão ser orientadas no sentido do desenvolvimento de interfaces com fornecedores, assim como a aplicação do SAD em sistemas de manufatura de CM do mundo real. Essas aplicações em diversas áreas industriais, procurarão confirmar ou refutar determinados pressupostos do SAD. Os resultados serão utilizados para levantar novas questões e aprimorar os potenciais de modelagem do sistema.

É importante ressaltar que o desenvolvimento desta pesquisa abre a possibilidade da realização de vários trabalhos de pesquisa, orientados no sentido de aproveitar a estrutura e a dinâmica estabelecidas com o modelo de objetos e materializadas no sistema. A reutilização e adaptabilidade, características próprias do modelo, permitirá expandir as capacidades do SAD em outras indústrias. A idéia é adaptar e reutilizar os objetos já desenvolvidos para criar uma biblioteca de objetos que pode ser, facilmente, utilizada por analistas de sistemas em ambientes de CM. Acredita-se que a aplicação do modelo descrito pode ser interessante, especialmente em produtos cuja informação é menos acessível ao conhecimento dos consumidores. Nesse tipo de produtos, o cliente desconhece ou conhece muito pouco as qualidades funcionais que cada componente do produto possui para responder às suas necessidades. Assim, o valor da recomendação adquire maior importância dentro de um processo de externalização do conhecimento da empresa para o cliente.

## REFERÊNCIAS

ADIGA, S. Object-oriented software for manufacturing systems. Londres: Chapman & Hall, 1993.

AHLSTROM, Par; WESTBROOK, Roy. Implications of mass customization for operations management: an exploratory survey. **International Journal of Operations and Production Management**. Brandford, v. 19, n. 3, p. 262-275, 1999.

AMOAKO-GYAMPAH, Kwasi; MEREDITH, Jack R. The operations management research agenda: an update. **Journal of Operations Managements**. Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 250-262, Aug. 1989.

ANGEHRN, Albert A. Designing humanized systems for multiple criteria decision making. **Human Systems Management**. Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 221-231, 1991.

ANUMBA, C.; EVBUOMWAN, N. Concurrent engineering in design-build projects. **Construction Management and Economics**. London, v. 15, n. 3, p. 271-281, 1997.

BALDWIN, Carliss Y.; CLARK, Kim B. Managing in an age of modularity. **Harvard Business Review**. Boston, v. 75, n. 5, p. 84-93, Sept./Oct. 1997.

BARBETTA, P. **Estatística aplicada às ciências sociais**. Florianópolis: UFSC, 1998.

BEINAT, E. Multi attribute value function for environmental management. Amsterdam: Institute Research Series, 1995.

BELTON, Valerie; VICKERS, S. Use of a simple multi-attribute value function incorporating visual interactive sensitivity analysis for multiple criteria decision making. In: COSTA, C. A. B. (Ed.) **Readings In Multiple Criteria Aid**. Portugal: Springer-Verlag, 1990. p. 319-334.

BELTON, Valerie. A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 7-21, July 1986.

BENJAMIN, P.; YEN, C. Web-based virtual reality catalog in electronic commerce. In: IEEE 33RD HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE OF SYSTEM SCIENCES, 33., 2000, Hawaii. **Proceedings...** Hawaii: IEEE Computer Society , 2000.

BICHLER, M.; KALAGNANAM, J.; LEE, H. RECO: representation and evaluation of configurable offers. **IBM Research Report**. RC 22288, Jan. 2002.

BLECKER, T. et al. An advisory system for customer's objective needs elicitation in mass customization. In: WORKSHOP ON INFORMATION SYSTEMS FOR MASS CUSTOMIZATION (ISMC 2004) , INTERNATIONAL ICSC SYMPOSIUM ON

ENGINEERING OF INTELLIGENT SYSTEMS (EIS 2004), 4., 2004, Portugal.  
**Proceedings...** Portugal: University of Madeira, 2004.

BLOSTEIN, Dorothea, FAHMY, Hoda; GRBAVEC, A. Issues in the practical use of graph rewriting. In: WORKSHOP ON GRAPH GRAMMARS AND THEIR APPLICATION TO COMPUTER, 5., 1996, Berlin. **Anais...** Berlin: Springer-Verlag, 1996. p. 38–55.

BOOCH, G. **Object-oriented analysis and design with applications**. 2.ed. Redwood City: The Benjamin/Cummings, 1994.

BORENSTEIN, Denis. Towards a practical method to validate decision support systems. **Decision Support Systems**. Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 227-239, July 1998.

BORENSTEIN, Denis; MACHADO, A. A.; BIZARRO, F. Ranking: um sistema de apoio a decisões multicriteriais. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 1995, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: FURG/UFPEL/UCPEL, 1995, p. 34.

BORENSTEIN, Denis; BECKER, João L. Validating decision support systems. In: **Encyclopedia of Microcomputers**. New York: Marcel Dekker, 2000. p. 323-341.

BUFFA, Elwood S. Research in operations management. **Journal of Operations Management**. Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 1-8, Aug. 1980.

BURREL, G.; MORGAN, G. **Sociological paradigms and organizational analysis**. Londres: Heinemann, 1979.

BYRD, Terry A. Information technology, core competencies, and sustained competitive advantage. **Information Resources Management Journal**. Hersey, v. 4, n. 2, p. 27-36, Apr./June. 2001.

CHEN, C.; KHOO, L; YAN, W. A strategy for acquiring customer requirement patterns using laddering technique and ART2 Neural Network. **Advance Engineering Informatics**. Oxford, v. 16, n. 3, p. 229-240, 2002.

CHEN, Y.; WANG, Y.; WONG, M. A web-based fuzzy mass customization system. **Journal of Manufacturing Systems**. Dearborn, v. 20, n. 4, p. 280-287, 2001.

CORBETT, Charles; WASSENHOVE, Luk Van. Trade-offs? What trade-offs? Competence and competitiveness in manufacturing strategy. **California Management Review**. Berkeley, v. 35, n. 4, p. 107-123, Summer, 1993.

CORRÊA, Henrique Luiz; SLACK, Nigel D. C. Flexibilidade estratégica na manufatura: incertezas e variabilidade de saídas. **Revista de Administração**. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 33-41, Jan./Mar. 1994.

DAVIS, S. **Future perfect**. MA: Addison-Wesley Publishing, 1987.

\_\_\_\_\_. From future perfect: mass customization. **Planning Review**. Oxford, v. 17, n. 2, p. 16-21, Mar./Abr. 1989.

DEITZ, Dan. Product development on the web. **Mechanical Engineering**. New York, v. 119, n. 1, p. 66-70, Jan. 1997.

D'SOUZA, B.; SIMPSON, T. A genetic algorithm based method for product family design optimization. **Engineering Optimization**. London, v. 35, n. 1, p. 1-18, 2003.

DU, X.; JIAO, J.; TSENG, M. Graph-based product family modeling. **Concurrent Engineering Research and Applications**. London, v. 10, n. 2, p. 113-128, 2002.

\_\_\_\_\_. Modelling platform-based product configuration using programmed attributed graph grammars. **Journal of Engineering Design**. Abingdon, v. 14, n. 2, p. 145-167, 2003.

DURAY, Rebecca et al. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. **Journal of Operations Management**. Amsterdam, v. 18, n. 6, p. 605-625, Nov. 2000.

EASTERBY-SMITH, Mark; THORPE, Richard; LOWE, Andy. **Management research: an introduction**. Londres: Sage, 1995.

EDWARDS, Ward.; SNAPPER, Kurt; SEAVER, David. **Multiattribute evaluation**. Newbury Park: Sage, 1982.

EDWARDS, W.; NEWMAN, J. **Multiattribute Evaluation**, California: Sage, 1982.

FRANKE, N.; PILLER, F. Key research issues in user interaction with configuration toolkits in a mass customization system. **International Journal of Technology Management**. Geneva, v. 26, p. 578-599, 2003.

FRENCH, S. **Decision theory: an introduction to the mathematics of rationality**. Chischester: Ellis Horwood, 1988.

FRUTOS, Juan Diego. **Desenvolvimento de um Sistema de Informação para a Interação Ágil entre Clientes e Empresas Construtoras-Incorporadoras de Prédios Residenciais**. 2000.101f. Dissertação (Mestrado em Administração) – PPGA - UFRGS, Porto Alegre, 2000.

FRUTOS, Juan Diego; BORENSTEIN, Denis. A framework to support customer-company interaction in mass customization environment. **Computers in Industry**. Amsterdam, v. 54, n. 2, p. 115-135, Jun. 2004.

\_\_\_\_\_. Object-oriented model for customer-building interaction in mass customization environment. **Journal of Construction Engineering and Management**. New York, v. 129, n. 3, p. 302-313, May/June 2003.

GERWIN, Donald. Manufacturing flexibility: a strategic perspective. **Management Science**. Linthicum, v. 39, n. 4, p. 395-411, Apr. 1993.

GILMORE, James H.; PINE, Joseph. The four faces of mass customization. **Harvard Business Review**. Boston, v. 75, n. 1, p. 91-101, Jan./Feb. 1997.

GONZALEZ-ZUGASTI, J.; OTTO, K.; BAKER, J. Assessing value in platformed product family design. **Research in Engineering Design-Theory Applications and Concurrent Engineering**. London, v. 13, n. 1, p. 30-41, 2001.

- GREEN, Paul E.; DESARBO, Wayne S. Additive decomposition of perceptions data via conjoint analysis. **Journal of Consumer Research**. Gainesville, v. 5, n. 1, p. 58-65, June 1978.
- GUNESEKARAN, A. Agile manufacturing enablers: an implementation framework. **International Journal of Production Research**. London, v. 36, n. 5, p. 1223-1247, 1998.
- HAGLIND, Magnus; HELANDER, Johan. Development of value networks - an empirical study of networking in swedish manufacturing industries. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY MANAGEMENT, 1999, Puerto Rico. **Proceedings...** Puerto Rico: Royal Institute of Tecnology, Departament of Industrial Control Systems, 1999. p. 350-358
- HART, Christopher W. Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. **International Journal of Service Industry Management**. Bradford, v. 6, n. 2, p. 36-45, 1995.
- \_\_\_\_\_. Made to order. **Marketing Management**. Chicago, v. 5, n. 2, p. 10-23, Summer 1996.
- HAUGE, P.; STAUFFER, L. ELK: a method for eliciting knowledge from customers. **Design and Methodology**. Amsterdam, v. 53, p. 73-81, 1993.
- HUANG, Chun-Che. Overview of Modular Product Development, Proc. In: NATIONAL SCIENCE COUNCIL ROC(A), 2000. **Proceedings...** Taiwan: Laboratory of Intelligent Systems and Information Management, Department of Information Management, 2000. v. 24, n. 3, p. 149-165, 2000.
- JIAO, Jian et al. Product family modeling for mass customization. **Computers & Industrial Engineering**. New York, v. 35, n. 3-4, p. 495-498, Dec. 1998.
- JIAO, Jian; MA, Qin Hai; TSENG, Mitchell. Towards high value-added products and services: mass customization and beyond. **Technovation**. Inglaterra, v. 23, n. 10, p. 809-821, Oct. 2003.
- JIAO, Jian; ZHANG, Y. Product portfolio identification based on association rule mining. **Computer-Aided Design**. Cleveland, v. 37, n. 2, p. 149-172, 2005.
- JONEJA, Ajay; LEE, Neville K. S. Automated configuration of parametric feeding tools for mass customization. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 35, n. 3-4, p. 463-469, Dec. 1998.
- JONES, Christopher V. Developments in graph-based modeling for decision support. **Decision Support Systems**. Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 61-74, Jan. 1995.
- KARIM, A.; ADELI, H. CONSCOM: an OO construction scheduling and change management system. **Journal of Construction Engineering and Management**. New York, v. 125, n. 5, p. 368-376, Sept./Oct. 1999b.
- \_\_\_\_\_. OO information model for construction project management. **Journal of Construction Engineering and Management**. New York, v. 125, n. 5, p. 361-367, Sept./Oct. 1999a.

KAY, Michael J. Making mass customization happen: lessons for implementation. **Planning Review**. Oxford, v. 21, n. 4, p. 14-18, July/Aug. 1993.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision with multiple objectives**: preferences and value trade-offs. New York: Wiley, 1976.

KOTHA, Suresh. From mass production to mass customization: the case of the national industry bicycle company of Japan. **European Management Journal**. London, v. 14, n. 5, p. 442-450, Oct. 1996.

\_\_\_\_\_. Mass customization: implementing the emerging paradigm for competitive advantage. **Strategic Management Journal**. Chichester, v. 16, p. 21-42, Summer 1995.

\_\_\_\_\_. Mass customization: the new frontier in business competition. **Academy of Management Review**. Briarcliff Manor, v. 19, n. 3, p. 588-592, July 1994.

KOTLER, Philip. From mass marketing to mass customization. **Planning Review**. Oxford, v. 17, n. 5, p. 10-13, Sept./Oct. 1989.

LACHANCE-PORTER, S. Impact of user porter groups on the design of new products. In: NATIONAL ON-LINE MEETING, 14., 1993, New York. **Proceedings...** New York: Learned Information, 1993. p. 265-271.

LAMPEL, Joseph; MINTZBERG, Henry. Customizing Customization. **Sloan Management Review**, Cambridge, v. 38, n. 1, p. 21-30, Fall 1996.

LANDRY, Maurice; MALOUIN, Jean-Louis; ORAL, Muhittin. Model validation in operations research. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 207-220, Nov. 1983.

LAU, Ronald S. M. Mass customization: the next industrial revolution. **Industrial Management**. Norcross, v. 37, n.5, p.18-19, Sep./Oct. 1995.

LI, H.; AZARM, S. Product line design selection under uncertainty and with competitive advantage. **Asme Design Engineering Technical Conferences - Design Automation Conference**. Pittsburgh, n. DETC2000/DAC-21022, 2001.

McCUTCHEON, David M.; RATURI, Amitabh; MEREDITH, Jack R. The customization responsiveness squeeze. **Sloan Management Review**. Cambridge, v. 35, n. 2, p. 89-99, Winter 1994.

MEREDITH, J. et al. Alternative research paradigms in operations. **Journal of Operation Management**. Amsterdam, v. 8, n. 4, p 297-326, Oct. 1989.

MINTZBERG, H. Generic strategies: towards a comprehensive framework. In: LAMB, R.; SHRIVITAVA, P. **Advances in Strategic Management**. Greenwich: JAI Press, 1988. p. 1-67.

MOLINA, A.; ACA, J.; WRIGHT, P. Global collaborative engineering environment for integrated product development. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**. London, v. 18, n. 8, p. 635-651, 2005.

MOORE, William L.; LOUVIERE Jordan J.; VERMA, Rohit. Using conjoint analysis to help design product platforms. **Journal of Product Innovation Management**. New York, v. 16, n. 1, p. 27-39, Jan. 1999.

MULBERGER Jessica L.; SIMPSON Timothy W. Advancements in a Web-Based Framework in Product Family Optimization and Visualization. In: DETC'04 ASME 2004 INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE. **Proceedings...** Salt Lake City, Utah, USA, September 28-October 2, 2004.

MURAMATSU, R.; ICHIMURA, T.; ISHII, K. An analysis of needs assessment and information behavior in product development based on the fusion model. **Technovation**. Inglaterra, v. 10, n. 5, p. 305-317, July 1990.

MYUNG, S.; HAN, S. Knowledge-based parametric design of mechanical products on configuration design method. **Expert Systems With Application**. New York, v. 21, p. 99-107, 2001.

NELSON, S.; PARKINSON, M.; PAPALAMBROS, P. Multicriteria optimization in product platform design. **Journal of Mechanical Design**. New York, v. 123, n. 2, p. 199-204, 2001.

O'KEEFE, R.; BALCI, O.; SMITH, E. P. Validating expert system performance. **IEEE Expert**. Los Alamitos, v. 2, n. 4, p. 80-90, Winter 1987.

ONG, S.; LIN, Q.; NEE, A. Web-based configuration design system for product customization. **International Journal of Production Research**. London, v. 44, n. 2, p. 351-382, 2006.

ORDEN Alex. Model assessment objectives in operations research. **Mathematical Programming**. Berlin, v. 42, n. 1-3, p. 85-97, Apr. 1988.

PARK, K.; FAVREL, J. A network - centric information system infra-structure for extended (or virtual) enterprises. In: IFAC/IFIP CONFERENCE ON MANAGEMENT AND CONTROL OF PRODUCTION AND LOGISTICS, 1997, Campinas - São Paulo. **Proceedings...** Campinas - São Paulo: Technological Center for Informatics Foundation, 1997. p. 83-88.

PETERS, L. **Advanced structured analysis and design**. Englewood: Prentice-Hall, 1987.

PILLER, F.; MOESLEIN, K. From economies of scale towards economies of customer integration; value creation in mass customization based electronic commerce. In: BLED ELECTRONIC COMMERCE CONFERENCE E REALITY: CONSTRUCTING THE ECONOMY. 15., 2002, Slovenia. **Proceeding...** Slovenia: Dept. of General and Industrial Management, Technische Universität München, 2002. p. 214-228.

PIMMLER, T.; EPPINGER, S. Integration analysis of product decompositions. In: ASME DESIGN THEORY AND METHODOLOGY CONFERENCE. 1994, Minneapolis. **Proceeding...** Minneapolis: Sloan School of Management, 1994. p. 343-351.

PINE, B. Joseph; VICTOR, Bart; BOYTON, Andrew C. Making mass customization work. **Harvard Business Review**. Boston, v. 71, n. 5, p. 108-119, Sept./Oct. 1993.

PINE, B. Joseph. **Personalizando produtos e serviços**: customização maciça. São Paulo: Makron Books, 1994.

PINE, B. Joseph; PEPPERS, Don; ROGERS, Martha. Do you want to keep your customers forever? **Harvard Business Review**. Boston, v. 73, n. 2, p. 103-114, Mar./Apr. 1995.

PORTER, M. **Competitive strategy**: techniques for analyzing industries and competitors. New York: Free Press, 1980.

RAUTENSTRAUCH, C.; TAGGERMANN, H.; TUROWSKI, K. Manufacturing planning and control content management in virtual enterprises pursuing mass customization. In: RAUTENSTRAUCH, C.; SEELMAN-EGGEBERT, R.; TUROWSKI, K. **Moving into mass customization**: information systems and management principles. Berlin: Heidelberg, 2002. p. 103-118.

ROSS, A. Selling uniqueness. **Manufacturing Engineer**. Dearborn, v. 75, n. 6, p. 260-263, Dec. 1996.

RUMBAUGH, J. et al. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G. **The unified modeling language reference manual**. Reading: Addison-Wesley, 1999.

SAFIZADEH, M. Hossein et al. An empirical analysis of the product-process matrix. **Management Science**. Linthicum, v. 42, n. 11, p. 1576-1592, Nov. 1996.

SEN, P. Communicating preferences in multiple-criteria decision-making: the role of the designer. **Journal of Engineering Design**. Abingdon, v. 12, n. 1, p.15–24, 2001.

SIDDIQUE, Z.; BODDU, K. A mass customization information framework for integration of customer in the configuration/design of a customized product. **Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing**. London, v. 10, n. 1, p. 71-85, 2004.

SILVEIRA, Giovani da; BORENSTEIN, Denis; FOGLIATTO, Flavio S. Mass customization: literature review and research directions. **International Journal of Production Economics**. Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 1-13, June 2001.

SKINNER, Wickham. Manufacturing – missing link in corporate strategy. **Harvard Business Review**. Boston, v. 47, p. 136-145, May/June 1969.

SLACK, N. Vantagem competitiva em manufatura. São Paulo: Atlas, 1993.

SONG, Liugen; NAGI, Rakars. Design and implementation of a virtual information system for agile manufacturing. **IIE Transactions**. Norcross, v. 29, n. 10, p. 839-857, Oct. 1997.

SPIRA, J. Mass Customization Through Training at Lutron Electronics, **Computers in Industry**, v. 30, n. 3, p. 171-174, 1996.

TAHA, H. **Investigación de operaciones**. 7.ed. México: Pearson Educación, 2004.

THOMKE, Stefan; REINERTSEN, Donald. Agile product development: managing development flexibility in uncertain environments. **California Management Review**. Berkeley, v. 41, n. 1, p. 8-31, Fall 1998.

TOFFLER, A.; TOFFLER, H. **Future shock**. New York: Random House, 1970.

TSENG, M.; JIAO, J. Computer-aided requirement management for product definition: a methodology and implementation. **Concurrent Engineering: Research and Applications**. London, v. 6, n. 2, p. 145-160, 1998.

TURKSEN, I.; WILLSON, I. Customer preferences models: fuzzy theory approach. In: SPIE – INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING. 1992, Boston. **Proceedings...** Boston: [s.n.], 1992. p. 203-211.

TUROWSKI, Klaus. Agent-based e-commerce in case of mass customization. **International Journal of Production Economics**. Amsterdam, v. 75, n. 1-2, p. 69-81, Jan. 2002.

ULRICH, K.; TUNG, K. Fundamentals of product modularity. In: ASME WINTER ANNUAL MEETING SYMPOSIUM ON ISSUES IN DESIGN/MANUFACTURING INTEGRATION, 1991, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: [s.n.], 1991.

ULRICH, Karl. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research Policy**. Amsterdam, v. 24, n. 3, p. 419-440, May 1995.

VAN DOREN, C. **A history of knowledge: past, present and future**. New York: Ballantine Books, 1991.

WHEELWRIGHT, Steven. Manufacturing strategy: defining the missing link: summer. **Strategic Management Journal**. Chichester, v. 5, n. 1, p. 77-92, Jan./Mar. 1984.

YAN, Wei; CHEN, Chun-Hsien; KHOO, Li Pheng. A radial basis function neural network multicultural factors evaluation engine for product concept development. **Expert System**. Oxford, v. 18, n. 5, p. 219-232, Nov. 2001.

YANG, Yu et al. An internet-based product customization system for CIM. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. Oxford, v. 21, n. 2, p. 109-118, Apr. 2005.

YU, J.; GONZALEZ-ZUGASTI, J.; OTTO, K. Product architecture definition based upon customer demands. **Journal of Mechanical Design**. New York, v. 121, n. 3, p. 329-335, 1999.

YUSUF Y. Y.; SARHADI, M.; GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing: the drivers, concepts and attributes. **International Journal of Production Economics**. Amsterdam, v. 62, n. 1-2, p. 33-43, May 1999.

ZIPKIN, Paul. The limits of mass customization. **Sloan Management Review**. Cambridge, v. 42, n. 3, p. 81-87, Spring 2001.

## APÊNDICE A. QUESTIONÁRIO DE PESQUISA SOBRE ALTERAÇÕES DE PROJETO

Prezado Proprietário,

Somos um grupo de estudantes dos cursos de Arquitetura da UFSM e da Pós-graduação em Administração da UFRGS que, através desta pesquisa, pretendemos analisar as alterações de projeto solicitadas pelos clientes. Para tanto, solicitamos sua colaboração.

Desde já agradecemos sua valiosa contribuição.

1	NOME DO PRÉDIO	<input type="checkbox"/> Pedras Brancas	<input type="checkbox"/> Águas Claras
2	APARTAMENTO Nº	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
3	DATA DE NASCIMENTO	<input type="text"/> <input type="text"/> / <input type="text"/> <input type="text"/> / <input type="text"/> <input type="text"/>	
4	SEXO	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F	
5	OCUPAÇÃO PRINCIPAL	<input type="text"/>	
6	ESTADO CIVIL	<input type="checkbox"/> Solteiro <input type="checkbox"/> Casado(a) <input type="checkbox"/> Desquitado(a) / Divorciado(a) <input type="checkbox"/> Viuvo(a) <input type="checkbox"/> União Estável	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7	GRAU DE INSTRUÇÃO	<input type="checkbox"/> 1º grau completo <input type="checkbox"/> 2º grau completo <input type="checkbox"/> 2º grau incompleto <input type="checkbox"/> Curso superior completo <input type="checkbox"/> Curso superior incompleto <input type="checkbox"/> Curso de pós-graduação completo <input type="checkbox"/> Curso de pós-graduação incompleto	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	RENDA MENSAL FAMILIAR	<input type="checkbox"/> Até 5 salários mínimos <input type="checkbox"/> De 5 à 10 salários mínimos <input type="checkbox"/> De 11 à 20 salários mínimos <input type="checkbox"/> Mais de 20 salários mínimos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9	NÚMERO DE PESSOAS QUE RESIDEM (OU IRÃO RESIDIR) NO IMÓVEL	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> Mais de 6	
10	TIPO DE MORADIA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> Casa	<input type="checkbox"/> Apartamento
11	PROPRIEDADE DA MORADIA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> Própria <input type="checkbox"/> Alugada <input type="checkbox"/> Emprestada <input type="checkbox"/> Com os pais	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
12	QUANTOS APARTAMENTOS VISITOU, EM MÉDIA, ATÉ DECIDIR-SE POR ESTE?	<input type="checkbox"/> Até 10 imóveis <input type="checkbox"/> De 11 à 20 imóveis <input type="checkbox"/> De 21 à 40 imóveis <input type="checkbox"/> De 41 à 60 imóveis <input type="checkbox"/> De 61 à 80 imóveis <input type="checkbox"/> De 81 à 100 imóveis <input type="checkbox"/> Mais de 100	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

COMO CONSIDERA CADA UM DOS SEGUINTEs ITEMS EM RELAÇÃO AO IMÓVEL QUE VOCÊ COMPROU?

13	Preço	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
14	Localização	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
15	Distribuição das peças	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
16	Condições de pagamento	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
17	Credibilidade da construtora	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
18	Aparência externa do prédio	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
19	Possibilidade de fazer alterações	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
20	Qualidade dos materiais de acabamento	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
21	Fácil acesso ao transporte	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
22	Área útil	Muito satisfatório	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
23	Outro: _____	Muito importante	5	4	3	2	1	Muito insatisfatório
24	EM QUE FASE DA OBRA COMPROU O APARTAMENTO?	Na planta						<input type="checkbox"/>
		Nas fundações (alicerces)						<input type="checkbox"/>
		Na estrutura (pilares e vigas)						<input type="checkbox"/>
		Na alvenaria (paredes, reboco)						<input type="checkbox"/>
		Nos acabamentos (janelas, portas, piso, pintura)						<input type="checkbox"/>
		Já concluído						<input type="checkbox"/>
25	EM QUE MOMENTO FOI COMUNICADO SOBRE A POSSIBILIDADE DE REALIZAR ALTERAÇÕES NO APARTAMENTO?	Nunca foi comunicado						<input type="checkbox"/>
		Antes da compra						<input type="checkbox"/>
		Por ocasião da compra						<input type="checkbox"/>
		Depois da compra						<input type="checkbox"/>
26	REALIZOU ALTERAÇÕES NO APARTAMENTO?	<input type="checkbox"/> Sim						<input type="checkbox"/> Não
	CASO A RESPOSTA ANTERIOR SEJA "NÃO", CONTINUE NA PERGUNTA 39.							
	CASO A RESPOSTA ANTERIOR SEJA "SIM", QUAIS ALTERAÇÕES REALIZOU? (SE NECESSÁRIO MARQUE VÁRIAS ALTERNATIVAS).							
27	PAREDES	Retirou o que existia em planta						<input type="checkbox"/>
		Colocou o que não existia em planta						<input type="checkbox"/>
		Mudou de lugar						<input type="checkbox"/>
		Outra: _____						<input type="checkbox"/>
28	ÁGUA E ESGOTO	Mudou de lugar ponto de água						<input type="checkbox"/>
		Criou novo ponto de água						<input type="checkbox"/>
		Mudou de lugar ponto de esgoto						<input type="checkbox"/>
		Criou novo ponto de esgoto						<input type="checkbox"/>
		Outra: _____						<input type="checkbox"/>
29	INSTALAÇÃO ELÉTRICA	Mudou de lugar ponto de luz						<input type="checkbox"/>
		Criou novo ponto de luz						<input type="checkbox"/>
		Mudou de lugar tomada						<input type="checkbox"/>
		Criou ponto novo de tomada						<input type="checkbox"/>
		Mudou de lugar interruptor						<input type="checkbox"/>
		Criou novo interruptor						<input type="checkbox"/>
		Instalou ar condicionado						<input type="checkbox"/>
		Outra: _____						<input type="checkbox"/>
30	PISO	Trocou o piso da cozinha						<input type="checkbox"/>

		Trocou o piso dos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Trocou o piso da área de serviço	<input type="checkbox"/>
		Trocou o piso dos dormitórios	<input type="checkbox"/>
		Trocou o piso da sala	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
31	ESQUADRIAS (JANELAS E PORTAS)	Trocou a porta de entrada do apartamento	<input type="checkbox"/>
		Trocou as portas internas	<input type="checkbox"/>
		Retirou porta(s) interna(s)	<input type="checkbox"/>
		Retirou e/ ou acrescentou janela na cozinha	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
32	ACABAMENTO DE PAREDE	Trocou azulejos na cozinha	<input type="checkbox"/>
		Trocou azulejos nos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Trocou azulejos na área de serviço	<input type="checkbox"/>
		Acrescentou faixas decoradas nos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Acrescentou faixas decoradas na cozinha	<input type="checkbox"/>
		Trocou a cor da tinta nos dormitórios	<input type="checkbox"/>
		Trocou a cor da tinta na sala	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
33	LOUÇAS SANITÁRIAS	Trocou a louça sanitária dos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Trocou o tanque	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
34	METAIS SANITÁRIOS (TORNEIRAS, REGISTROS)	Trocou os metais sanitários dos banheiros (registros, torneiras)	<input type="checkbox"/>
		Trocou os metais sanitários da área de serviço	<input type="checkbox"/>
		Trocou os metais sanitários da cozinha	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
35	TAMPOS (BANCADA, BALCÃO)	Acrescentou o tampo da pia do(s) banheiro(s)	<input type="checkbox"/>
		Trocou o tampo da pia da cozinha	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
36	FECHADURAS E TRINCOS	Trocou as fechaduras e trincos das portas internas	<input type="checkbox"/>
		Trocou as fechaduras e trincos da porta de entrada do apartamento	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
37	SEGURANÇA	Colocou grade(s) em janela(s)	<input type="checkbox"/>
		Colocou tranca(s) na porta de entrada do apartamento	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
38	OUTRA ALTERAÇÃO	<input type="text"/>	
39	PRETENDE REALIZAR ALGUMA OUTRA ALTERAÇÃO NO SEU APARTAMENTO?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
	CASO A RESPOSTA ANTERIOR SEJA "NÃO", CONTINUE NA PERGUNTA 52.		
	CASO A RESPOSTA ANTERIOR SEJA "SIM", QUAIS ALTERAÇÕES PRETENDE REALIZAR? (SE NECESSÁRIO MARQUE MAIS DE UMA ALTERNATIVA)		
40	PAREDES	Retirar o que existe em planta	<input type="checkbox"/>
		Colocar o que não existe em planta	<input type="checkbox"/>
		Mudar de lugar	<input type="checkbox"/>

		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
41	ÁGUA E ESGOTO	Mudar de lugar ponto de água	<input type="checkbox"/>
		Criar novo ponto de água	<input type="checkbox"/>
		Mudar de lugar ponto de esgoto	<input type="checkbox"/>
		Criar novo ponto de esgoto	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
42	INSTALAÇÃO ELÉTRICA	Mudar de lugar ponto de luz	<input type="checkbox"/>
		Criar novo ponto de luz	<input type="checkbox"/>
		Mudar de lugar tomada	<input type="checkbox"/>
		Criar ponto novo de tomada	<input type="checkbox"/>
		Mudar de lugar interruptor	<input type="checkbox"/>
		Criar novo interruptor	<input type="checkbox"/>
		Instalar ar condicionado	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
43	PISO	Trocar o piso da cozinha	<input type="checkbox"/>
		Trocar o piso dos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Trocar o piso da área de serviço	<input type="checkbox"/>
		Trocar o piso dos dormitórios	<input type="checkbox"/>
		Trocar o piso da sala	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
44	ESQUADRIAS (JANELAS E PORTAS)	Trocar a porta de entrada do apartamento	<input type="checkbox"/>
		Trocar as portas internas	<input type="checkbox"/>
		Retirar porta(s) interna(s)	<input type="checkbox"/>
		Retirar e/ ou acrescentou janela na cozinha	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
45	ACABAMENTO DE PAREDE	Trocar azulejos na cozinha	<input type="checkbox"/>
		Trocar azulejos nos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Trocar azulejos na área de serviço	<input type="checkbox"/>
		Acrescentar faixas decoradas nos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Acrescentar faixas decoradas na cozinha	<input type="checkbox"/>
		Trocar a cor da tinta nos dormitórios	<input type="checkbox"/>
		Trocar a cor da tinta na sala	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
46	LOUÇAS SANITÁRIAS	Trocar a louça sanitária dos banheiros	<input type="checkbox"/>
		Trocar o tanque	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
47	METAIS SANITÁRIOS (TORNEIRAS, REGISTROS)	Trocar os metais sanitários dos banheiros (registros, torneiras)	<input type="checkbox"/>
		Trocar os metais sanitários da área de serviço	<input type="checkbox"/>
		Trocar os metais sanitários da cozinha	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>
48	TAMPÓS (BANCADA, BALCÃO)	Acrescentar o tampo da pia do(s) banheiro(s)	<input type="checkbox"/>
		Trocar o tampo da pia da cozinha	<input type="checkbox"/>
		Outra: _____	<input type="checkbox"/>

- 49 FECHADURAS E TRINCOS Trocar as fechaduras e trincos das portas internas
- Trocar as fechaduras e trincos da porta de entrada do apartamento
- Outra: \_\_\_\_\_
- 50 SEGURANÇA Colocar grade(s) em janela(s)
- Colocar tranca(s) na porta de entrada do apartamento
- Outra: \_\_\_\_\_

51 OUTRA ALTERAÇÃO

- 52 HOUVE ALGUMA ALTERAÇÃO QUE VOCÊ PRETENDIA REALIZAR E NÃO FOI APROVADA PELA EMPRESA?  Sim  Não

53 CASO A RESPOSTA ANTERIOR SEJA "SIM", QUAIS ALTERAÇÕES NÃO FORAM APROVADAS?

54 O FATO DE VOCÊ PODER REALIZAR ALTERAÇÕES NO PROJETO É:

Muito importante  5  4  3  2  1 Sem importância

COMO VOCÊ AVALIA A ATUAÇÃO DA EMPRESA EM RELAÇÃO À :

- 55 Solicitação de alterações Muito Satisfatório  5  4  3  2  1 Muito Insatisfatório
- 56 Registro de alterações Muito Satisfatório  5  4  3  2  1 Muito Insatisfatório
- 57 Orçamento de alterações Muito Satisfatório  5  4  3  2  1 Muito Insatisfatório

58 POR QUE ?

59 OBSERVAÇÕES / COMENTÁRIOS

## APÊNDICE B. QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO

Nº \_\_\_\_\_

- 1 DATA DE NASCIMENTO  /  /
- 2 SEXO  M  F
- 3 OCUPAÇÃO PRINCIPAL
- 4 ESTADO CIVIL
- |                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| Solteiro                        | <input type="checkbox"/> |
| Casado (a)                      | <input type="checkbox"/> |
| Desquitado (a) / Divorciado (a) | <input type="checkbox"/> |
| Viúvo (a)                       | <input type="checkbox"/> |
| União Estável                   | <input type="checkbox"/> |
- 5 GRAU DE INSTRUÇÃO
- |                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1º grau completo                  | <input type="checkbox"/> |
| 2º grau incompleto                | <input type="checkbox"/> |
| 2º grau completo                  | <input type="checkbox"/> |
| Curso superior incompleto         | <input type="checkbox"/> |
| Curso superior completo           | <input type="checkbox"/> |
| Curso de pós-graduação incompleto | <input type="checkbox"/> |
| Curso de pós-graduação completo   | <input type="checkbox"/> |
- 6 RENDA MENSAL FAMILIAR
- 7 Nº DE PESSOAS QUE MORAM NO APARTAMENTO
- 8 POR FAVOR, COLOQUE OS PONTOS FORTES DO SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO
- 
- 9 POR FAVOR, ENUMERE OS PONTOS FRACOS DO SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO
- 
- 10 POR FAVOR, QUALIFIQUE AS SEGUINTE FUNÇÕES DO SISTEMA:
- |                                 |           |                          |     |                          |         |                          |      |                          |            |                          |
|---------------------------------|-----------|--------------------------|-----|--------------------------|---------|--------------------------|------|--------------------------|------------|--------------------------|
| Definição de critérios          | Muito bom | <input type="checkbox"/> | Bom | <input type="checkbox"/> | Regular | <input type="checkbox"/> | Ruim | <input type="checkbox"/> | Muito Ruim | <input type="checkbox"/> |
| Avaliação de critérios e opções | Muito bom | <input type="checkbox"/> | Bom | <input type="checkbox"/> | Regular | <input type="checkbox"/> | Ruim | <input type="checkbox"/> | Muito Ruim | <input type="checkbox"/> |
| Resultado de customização       | Muito bom | <input type="checkbox"/> | Bom | <input type="checkbox"/> | Regular | <input type="checkbox"/> | Ruim | <input type="checkbox"/> | Muito Ruim | <input type="checkbox"/> |
| Orçamento de customização       | Muito bom | <input type="checkbox"/> | Bom | <input type="checkbox"/> | Regular | <input type="checkbox"/> | Ruim | <input type="checkbox"/> | Muito Ruim | <input type="checkbox"/> |
- 11 POR FAVOR, ESPECIFIQUE ALGUMA/S POSSÍVEL/IS MELHORIA/S PARA O SISTEMA:

--

- 12 EM GERAL, COMO VOCÊ AVALIA O DESEMPENHO DO SISTEMA? POR FAVOR, JUSTIFIQUE A SUA RESPOSTA:

--

- 13 COMO CONSIDERA CADA UMA DAS SEGUINTE FRASES ?

O sistema permite conhecer mais sobre o produto e as opções de customização	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso
O sistema ajuda ao processo decisório de customização do produto	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso
Eu fiz parte do processo de <i>design</i> do meu produto	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso
Sem o sistema, o processo de customização ficaria mais simples	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso
O sistema permite à empresa saber mais sobre minhas necessidades e preferências a respeito do produto	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso
Fiquei com vontade de voltar atrás e começar de novo a customização do produto	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso
Se eu fizesse a customização sem o sistema, não levaria em conta tantos aspectos do produto.	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso
Com o sistema, consegui analisar a customização sob muitos e diferentes pontos de vista.	Verdadeiro	5	4	3	2	1	Falso

- 14 O FATO DE VOCÊ PODER PERSONALIZAR UM PRODUTO COMO O DO EXEMPLO É:

Muito importante	5	4	3	2	1	Sem importância
------------------	---	---	---	---	---	-----------------

## APÊNDICE C. TESTES DE VALIDAÇÃO

### Atributos Definidos por cada Cliente

Apartamento A																									
Cliente	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	
Atributos	Planta								Piso dos Quartos								Pisos da Sala								
Preço	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x	
Funcionalidade	x		x	x	x	x	x	x	x			x	x	x		x	x			x	x	x	x		x
Estética	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Durabilidade									x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x				x
Conforto	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x
Limpeza												x					x	x				x			x

Apartamento B																					
Cliente	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
Atributos	Planta							Piso dos Quartos							Pisos da Sala						
Preço	x	x	x	x		x		x	x	x	x		x		x	x	x	x		x	
Funcionalidade	x		x	x	x	x	x	x		x							x				
Estética		x	x		x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Durabilidade						x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Conforto	x	x	x	x		x		x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	
Limpeza										x	x	x	x				x		x	x	x

### Pesos Definidos por cada Cliente para cada Atributo

Apartamento A																									
Cliente	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	
Atributos	Planta								Piso dos Quartos								Pisos da Sala								
Preço	.10	.3	.5	.4		.28	.25	.37		.54	.3	.17		.25	.44	.24		.32	.21	.22		.21	.33	.18	
Funcionalidade	.34		.3	.5	.46	.28	.35	.21	.45			.03	.18	.04	.09	.32			.22		.19	.03		.06	
Estética	.28				.17	.28	.18	.21	.16	.3	.9	.13	.33	.44	.33	.12	.23	.42	.16	.22	.25	.37	.44	.14	
Durabilidade									.12	.15	.4	.26	.08		.24	.08	.25	.22	.18	.23				.26	
Conforto	.26	.7	.19	.09	.36	.15	.2	.2	.24		.19	.13	.4	.25	.21	.13	.17			.17	.26	.3	.21	.22	.15
Limpeza												.26					.15	.18				.11	.16	.18	

Apartamento B																							
Cliente	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7		
Atributos	Planta							Piso dos Quartos							Pisos da Sala								
Preço	.52	.32	.21	.33		.39		.36	.21	.21	.2		.29		.34	.16	.21	.2		.23			
Funcionalidade	.31		.27	.33	.5	.21	.63	.18		.27							.27						
Estética		.31	.33		.5		.35	.12	.35	.33	.29	.34		.4	.26	.35	.33	.31	.34	.23	.66		
Durabilidade								.15	.24		.22	.23	.2	.26	.13	.27		.24	.23	.15	.33		
Conforto	.16	.36	.18	.33		.39		.16		.18	.15	.34	.29	.33	.26		.18	.14	.34	.22			
Limpeza								.18		.12	.07	.2				.21		.09	.07	.15			

## Avaliações dos Clientes para Cada Opção de Cada Componente

## Apartamento A

Atributos	a1							a2																
	Planta			Pisos				Planta			Pisos													
	Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala		Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala							
	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer		
Preço	0,10	0,80	0,50	0,60	0,80	0,50						0,70	0,40	0,80	0,74	0,70	0,20	0,70	0,30	0,70	0,20	0,10	0,50	
Funcionalidade	0,70	0,50	0,40	0,60	0,50	0,56	0,50	0,60	0,38	0,66	0,22	0,32												
Estética	0,80	0,20	0,20	0,80	0,10	0,90	0,40	0,80	0,30	0,60	0,80	0,10						0,50	0,60	0,46	0,52	0,70	0,04	
Durabilidade							0,30	0,80	0,10	0,50	0,90	0,60						0,40	0,60	0,20	0,30	0,70	0,50	
Conforto	0,80	0,60	0,50	0,50	0,50	0,70	0,60	0,40	0,60	0,40	0,10	0,20	0,50	0,30	0,40	0,70	0,40	0,90						
Limpeza									0,06	0,40	0,80	0,60												

Atributos	a3 e a3i							a4																
	Planta			Pisos				Planta			Pisos													
	Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala		Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala							
	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer		
Preço	0,20	0,70	0,40	0,80	0,60	0,50	0,70	0,30	0,70	0,30	0,14	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,80	0,10	0,70	0,50	0,38	0,70		
Funcionalidade	0,70	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60			0,20	0,50	0,80	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,40	0,60						
Estética							0,50	0,70	0,04	0,70	0,54	0,40					0,40	0,60	0,70	0,30	0,80	0,70	0,76	0,70
Durabilidade							0,30	0,70	0,10	0,60	0,80	0,50					0,10	0,70	0,20	0,70	0,98	0,40		
Conforto	0,70	0,50	0,70	0,40	0,24	0,70	0,80	0,70	0,70	0,70	0,40	0,20	0,50	0,50	0,30	0,70	0,70	0,40	0,80	0,70	0,20	0,40		
Limpeza																	0,30	0,60	0,30	0,60	1,00	1,00		

Atributos	a5							a6																
	Planta			Pisos				Planta			Pisos													
	Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala		Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala							
	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer		
Preço												0,50	0,60	0,40	0,70	0,70	0,50	0,80	0,50	0,80	0,30	0,10	0,60	
Funcionalidade	0,80	0,70	0,70	0,40	0,50	0,50	0,40	0,80	0,36	0,70	0,90	0,70	0,60	0,90	0,30	0,60	0,70	0,80	0,60	0,22	0,36	0,48	0,70	
Estética	0,60	0,50	0,60	0,80	0,50	0,50	0,40	0,80	0,20	0,70	0,90	0,40	0,70	0,60	0,40	0,90	0,40	0,90	0,80	0,50	0,90	0,44	0,60	0,10
Durabilidade							0,50	0,70	0,22	0,70	0,90	0,22												
Conforto	0,60	0,80	0,70	0,70	0,50	0,50	0,80	0,70	0,80	0,70	0,30	0,50	0,80	0,50	0,90	0,50	0,50	0,80	0,90	0,60	0,90	0,60	0,32	0,18
Limpeza																				0,18	0,60	0,76	0,60	

Atributos	a7 e a7i							a8																
	Planta			Pisos				Planta			Pisos													
	Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala		Quarto 1		Quarto 2	Cozinha		Quarto		Sala							
	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer	Suite	Solt	Escr	ASin	ASse	Carp	Mad	Carp	Mad	Gran	Cer		
Preço	0,50	0,50	0,70	0,40	0,70	0,40	0,80	0,30	0,70	0,50	0,34	0,70	0,60	0,70	0,60	0,70	0,90	0,40	0,80	0,40	0,60	0,30	0,10	1,00
Funcionalidade	0,50	0,50	0,86	0,40	0,50	0,70							0,74	0,74	0,70	0,80	0,50	0,80	0,70	0,60	0,10	0,42	.8	.66
Estética	0,50	0,50	0,30	0,80	0,40	0,90	0,70	0,80	0,14	0,80	0,60	0,08	0,90	0,50	0,90	0,50	0,60	0,80	0,70	0,80	0,14	0,80	0,68	0,30
Durabilidade																			0,40	0,70	0,12	0,70	0,90	0,44
Conforto	0,50	0,50	0,76	0,44	0,60	0,70	0,80	0,70	0,10	0,80	0,70	0,40	0,90	0,60	0,50	0,60	0,50	0,70	0,90	0,82	0,30	0,82	0,72	0,38
Limpeza																			0,30	0,70	0,02	0,42	0,84	0,68



### Coefficientes das Funções de Valor Obtidas para Cada Cliente

Componente	Opção	Coeficientes														
		a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
Quarto 1	Solteiro	.47	.43	.6	.5	.62	.58	.5	.64							
	Suite	.69	.58	.45	.5	.76	.65	.5	.75							
Quarto 2	Solteiro	.37	.52	.48	.5	.68	.61	.69	.63							
	Escritório	.64	.71	.66	.5	.57	.52	.48	.68							
Cozinha	AS Incorp	.41	.23	.49	.52	.5	.55	.64	.66							
	AS Separada	.69	.69	.56	.56	.5	.71	.56	.63							
Quarto 1	Solteiro									.45	.7	.66	.5	.75	.73	.69
	Sala Jantar									.63	.63	.62	.5	.63	.74	.79
Quarto 2	Solteiro									.58	.62	.69	.5	.65	.76	.62
	Escritório									.66	.8	.77	.5	.79	.59	.83
Sala	Sala Jantar									.69	.5	.73	.5	.78	.58	.79
	H Theater									.39	.5	.73	.5	.72	.65	.36
Piso dos Quartos	Carpete	.48	.5	.53	.44	.56	.82	.76	.61	.7	.52	.71	.73	.74	.56	.5
	Madeira	.6	.5	.57	.47	.75	.52	.55	.64	.56	.73	.75	.7	.76	.68	.5
Piso da Sala	Carpete	.31	.47	.34	.59	.47	.74	.31	.21	.49	.49	.48	.59	.38	.57	.13
	Madeira	.53	.36	.54	.64	.7	.46	.69	.58	.65	.64	.76	.66	.78	.72	.79
	Granito	.49	.5	.54	.59	.71	.45	.53	.67	.64	.76	.68	.73	.71	.57	.67
	Cerâmica	.32	.3	.43	.6	.39	.32	.35	.57	.7	.7	.59	.79	.75	.63	.39

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A1

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,47 x_{11} + 0,69 x_{12} + 0,37 x_{21} + \\ & 0,64 x_{22} + 0,41 x_{31} + 0,69 x_{32} + \\ & 0,48 x_{41} + 0,60 x_{42} + 0,31 x_{51} + \\ & 0,53 x_{52} + 0,49 x_{53} + 0,32 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$0 \text{ Não quero escritorio} \quad x_{22} = 0$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço		
				Un	Tot	
Quarto 1 Solteiro	x11	0	0,47	0,00	\$ -	\$ -
Suite	x12	1	0,69	0,69	\$ 200	\$ 200
Quarto 2 Solteiro	x21	1	0,37	0,37		\$ -
Escritório	x22	0	0,64	0,00	\$ -400	\$ -
Cozinha AS Incorporada	x31	0	0,41	0,00		\$ -
AS Separada	x32	1	0,69	0,69	\$ 900	\$ 900
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
Piso Quartos Carpete	x41	0	0,48	0,00		\$ -
Madeira	x42	1	0,60	0,60	\$ 2.160	\$ 2.160
Piso Sala Carpete	x51	0	0,31	0,00	\$ -250	\$ -
Madeira	x52	1	0,53	0,53	\$ 1.500	\$ 1.500
Granito	x53	0	0,49	0,00	\$ 2.000	\$ -
Cerâmica	x54	0	0,32	0,00		\$ -
				<b>2,88</b>		
					<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 4.760</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A2

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,43 x_{11} + 0,58 x_{12} + 0,52 x_{21} + \\ & 0,71 x_{22} + 0,23 x_{31} + 0,69 x_{32} + \\ & 0,50 x_{41} + 0,50 x_{42} + 0,47 x_{51} + \\ & 0,36 x_{52} + 0,50 x_{53} + 0,30 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$\# \text{ Orçamento Limitado } \leq 3000$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço		
				Un	Tot	
Quarto 1 Solteiro	x11	0	0,43	0,00	\$ -	\$ -
Suite	x12	1	0,58	0,58	\$ 200	\$ 200
Quarto 2 Solteiro	x21	0	0,52	0,00		\$ -
Escritório	x22	1	0,71	0,71	\$ -400	\$ -400
Cozinha AS Incorporada	x31	0	0,23	0,00		\$ -
AS Separada	x32	1	0,69	0,69	\$ 900	\$ 900
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
Piso Quartos Carpete	x41	1	0,50	0,50		\$ -
Madeira	x42	0	0,50	0,00	\$ 2.160	\$ -
Piso Sala Carpete	x51	0	0,47	0,00	\$ -250	\$ -
Madeira	x52	0	0,36	0,00	\$ 1.500	\$ -
Granito	x53	1	0,50	0,50	\$ 2.000	\$ 2.000
Cerâmica	x54	0	0,30	0,00		\$ -
				<b>2,98</b>		
					<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 2.700</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A3i

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,60 \ x11 + 0,45 \ x12 + 0,48 \ x21 + \\ & 0,66 \ x22 + 0,49 \ x31 + 0,56 \ x32 + \\ & 0,53 \ x41 + 0,57 \ x42 + 0,34 \ x51 + \\ & 0,54 \ x52 + 0,54 \ x53 + 0,43 \ x54 \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x11 + x12 = 1 \\ 1 \quad & x21 + x22 = 1 \\ 1 \quad & x31 + x32 = 1 \\ 1 \quad & x41 + x42 = 1 \\ 1 \quad & x51 + x52 + x53 + x54 = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$\# \text{ Orçamento Limitado } \leq 0$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço	
				Un	Tot
Quarto 1 Solteiro	x11	1	0,6	0,60 \$	- \$
Suite	x12	0	0,45	0,00 \$	200 \$
Quarto 2 Solteiro	x21	0	0,48	0,00 \$	- \$
Escritório	x22	1	0,66	0,66 \$	-400 \$
Cozinha AS Incorporada	x31	1	0,49	0,49 \$	- \$
AS Separada	x32	0	0,56	0,00 \$	900 \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
Piso Quartos Carpete	x41	1	0,53	0,53 \$	- \$
Madeira	x42	0	0,57	0,00 \$	2.160 \$
Piso Sala Carpete	x51	0	0,34	0,00 \$	-250 \$
Madeira	x52	0	0,54	0,00 \$	1.500 \$
Granito	x53	0	0,54	0,00 \$	2.000 \$
Cerâmica	x54	1	0,43	0,43 \$	- \$
				<b>2,71</b>	
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ -400</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A3ii

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,60 x_{11} + 0,45 x_{12} + 0,48 x_{21} + \\ & 0,66 x_{22} + 0,49 x_{31} + 0,56 x_{32} + \\ & 0,53 x_{41} + 0,57 x_{42} + 0,34 x_{51} + \\ & 0,54 x_{52} + 0,54 x_{53} + 0,43 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$\begin{aligned} \# \text{ Orçamento Limitado} & \leq 1200 \\ 1 \quad & x_{52} = 1 \end{aligned}$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço	
				Un	Tot
Quarto 1 Solteiro	x11	1	0,6	0,60 \$	- \$
Suite	x12	0	0,45	0,00 \$	200 \$
Quarto 2 Solteiro	x21	0	0,48	0,00 \$	- \$
Escritório	x22	1	0,66	0,66 \$	-400 \$
Cozinha AS Incorporada	x31	1	0,49	0,49 \$	- \$
AS Separada	x32	0	0,56	0,00 \$	900 \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
Piso Quartos Carpete	x41	1	0,53	0,53 \$	- \$
Madeira	x42	0	0,57	0,00 \$	2.160 \$
Piso Sala Carpete	x51	0	0,34	0,00 \$	-250 \$
Madeira	x52	1	0,54	0,54 \$	1.500 \$
Granito	x53	0	0,54	0,00 \$	2.000 \$
Cerâmica	x54	0	0,43	0,00 \$	- \$
				<b>2,82</b>	
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 1.100</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A4

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,50 x_{11} + 0,50 x_{12} + 0,50 x_{21} + \\ & 0,52 x_{22} + 0,56 x_{31} + 0,00 x_{32} + \\ & 0,47 x_{41} + 0,59 x_{42} + 0,64 x_{51} + \\ & 0,59 x_{52} + 0,60 x_{53} + 0,00 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$\begin{aligned} \# \text{ Orçamento Limitado} & \leq 5000 \\ 1 \quad \text{Quarto 1: Solteiro} & x_{11} = 1 \\ 1 \quad \text{Quarto 2: Solteiro} & x_{21} = 1 \end{aligned}$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço	
				Un	Tot
Quarto 1 Solteiro	x11	1	0,50	0,50 \$	- \$
Suite	x12	0	0,50	0,00 \$	200 \$
Quarto 2 Solteiro	x21	1	0,50	0,50 \$	- \$
Escritório	x22	0	0,50	0,00 \$	-400 \$
Cozinha AS Incorporada	x31	0	0,52	0,00 \$	- \$
AS Separada	x32	1	0,56	0,56 \$	900 \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
Piso Quartos Carpete	x41	0	0,44	0,00 \$	- \$
Madeira	x42	1	0,47	0,47 \$	2.160 \$
Piso Sala Carpete	x51	0	0,59	0,00 \$	-250 \$
Madeira	x52	1	0,64	0,64 \$	1.500 \$
Granito	x53	0	0,59	0,00 \$	2.000 \$
Cerâmica	x54	0	0,60	0,00 \$	- \$
				<b>2,67</b>	
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 4.560</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A5

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,62 x_{11} + 0,76 x_{12} + 0,68 x_{21} + \\ & 0,57 x_{22} + 0,50 x_{31} + 0,50 x_{32} + \\ & 0,56 x_{41} + 0,75 x_{42} + 0,47 x_{51} + \\ & 0,70 x_{52} + 0,71 x_{53} + 0,39 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

Orçamento Sem Limite

$$1 \quad x_{32} = 1$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço	
				Un	Tot
Quarto 1 Solteiro	x11	0	0,62	0,00 \$	- \$
Suite	x12	1	0,76	0,76 \$	200 \$
Quarto 2 Solteiro	x21	1	0,68	0,68 \$	- \$
Escritório	x22	0	0,57	0,00 \$	-400 \$
Cozinha AS Incorporada	x31	0	0,50	0,00 \$	- \$
AS Separada	x32	1	0,50	0,50 \$	900 \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
				0,00 \$	- \$
Piso Quartos Carpete	x41	0	0,56	0,00 \$	- \$
Madeira	x42	1	0,75	0,75 \$	2.160 \$
Piso Sala Carpete	x51	0	0,47	0,00 \$	-250 \$
Madeira	x52	0	0,70	0,00 \$	1.500 \$
Granito	x53	1	0,71	0,71 \$	2.000 \$
Cerâmica	x54	0	0,39	0,00 \$	- \$
				<b>3,40</b>	
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 5.260</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A6

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,58 x_{11} + 0,65 x_{12} + 0,61 x_{21} + \\ & 0,52 x_{22} + 0,55 x_{31} + 0,71 x_{32} + \\ & 0,82 x_{41} + 0,52 x_{42} + 0,74 x_{51} + \\ & 0,46 x_{52} + 0,45 x_{53} + 0,32 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$\# \text{ Orçamento Limitado } \leq 3000$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço	
				Un	Tot
Quarto 1 Solteiro	x11	0	0,58	0,00 \$	- \$
Suite	x12	1	0,65	0,65 \$	200 \$
Quarto 2 Solteiro	x21	1	0,61	0,61	\$
Escritório	x22	0	0,52	0,00 \$	-400 \$
Cozinha AS Incorporada	x31	0	0,55	0,00	\$
AS Separada	x32	1	0,71	0,71 \$	900 \$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
Piso Quartos Carpete	x41	1	0,82	0,82	\$
Madeira	x42	0	0,52	0,00 \$	2.160 \$
Piso Sala Carpete	x51	1	0,74	0,74 \$	-250 \$
Madeira	x52	0	0,46	0,00 \$	1.500 \$
Granito	x53	0	0,45	0,00 \$	2.000 \$
Cerâmica	x54	0	0,32	0,00	\$
				<b>3,53</b>	
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 850</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A7i

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max } (z) = & 0,50 x_{11} + 0,50 x_{12} + 0,69 x_{21} + \\ & 0,48 x_{22} + 0,64 x_{31} + 0,56 x_{32} + \\ & 0,76 x_{41} + 0,55 x_{42} + 0,31 x_{51} + \\ & 0,69 x_{52} + 0,53 x_{53} + 0,35 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

# Orçamento Limitado  $\leq 6000$

Piso Q = P Sala NAO!

$$1 \quad x_{41} + x_{51} \leq 1$$

$$1 \quad x_{42} + x_{52} \leq 1$$

Suite NAO!

$$0 \quad x_{12} = 0$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço	
				Un	Tot
Quarto 1 Solteiro	x11	1	0,50	0,50 \$	- \$
Suite	x12	0	0,50	0,00 \$	200 \$
Quarto 2 Solteiro	x21	1	0,69	0,69	\$
Escritório	x22	0	0,48	0,00 \$	-400 \$
Cozinha AS Incorporada	x31	1	0,64	0,64	\$
AS Separada	x32	0	0,56	0,00 \$	900 \$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
				0,00	\$
Piso Quartos Carpete	x41	1	0,76	0,76	\$
Madeira	x42	0	0,55	0,00 \$	2.160 \$
Piso Sala Carpete	x51	0	0,31	0,00 \$	-250 \$
Madeira	x52	1	0,69	0,69 \$	1.500 \$
Granito	x53	0	0,53	0,00 \$	2.000 \$
Cerâmica	x54	0	0,35	0,00	\$
				<b>3,28</b>	
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 1.500</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A7ii

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max } (z) = & 0,50 x_{11} + 0,50 x_{12} + 0,69 x_{21} + \\ & 0,48 x_{22} + 0,64 x_{31} + 0,56 x_{32} + \\ & 0,76 x_{41} + 0,55 x_{42} + 0,31 x_{51} + \\ & 0,69 x_{52} + 0,53 x_{53} + 0,35 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$\begin{aligned} \# \text{ Orçamento Limitado } & \leq 6000 \\ \text{Piso Q} & = \text{P Sala} \quad \text{NAO!} \\ 1 \quad & x_{41} + x_{51} \leq 1 \\ 0 \quad & x_{42} + x_{52} \leq 1 \\ \text{Suite} & \text{NAO!} \\ 0 \quad & x_{12} = 0 \\ \text{Piso Sala} & = \text{Granito} \\ 1 \quad & x_{53} = 1 \end{aligned}$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

					Preço		
			Coef		Un	Tot	
Quarto 1 Solteiro	x11	1	0,50	0,50	\$ -	\$ -	-
Suite	x12	0	0,50	0,00	\$ 200	\$ -	-
Quarto 2 Solteiro	x21	1	0,69	0,69	\$ -	\$ -	-
Escritório	x22	0	0,48	0,00	\$ -400	\$ -	-
Cozinha AS Incorporada	x31	1	0,64	0,64	\$ -	\$ -	-
AS Separada	x32	0	0,56	0,00	\$ 900	\$ -	-
				0,00	\$ -	\$ -	-
				0,00	\$ -	\$ -	-
				0,00	\$ -	\$ -	-
				0,00	\$ -	\$ -	-
				0,00	\$ -	\$ -	-
				0,00	\$ -	\$ -	-
Piso Quartos Carpete	x41	1	0,76	0,76	\$ -	\$ -	-
Madeira	x42	0	0,55	0,00	\$ 2.160	\$ -	-
Piso Sala Carpete	x51	0	0,31	0,00	\$ -250	\$ -	-
Madeira	x52	0	0,69	0,00	\$ 1.500	\$ -	-
Granito	x53	1	0,53	0,53	\$ 2.000	\$ 2.000	-
Cerâmica	x54	0	0,35	0,00	\$ -	\$ -	-
				<b>3,12</b>			
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 2.000</b>		

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO A8

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z) = } & 0,64 x_{11} + 0,75 x_{12} + 0,63 x_{21} + \\ & 0,68 x_{22} + 0,66 x_{31} + 0,63 x_{32} + \\ & 0,61 x_{41} + 0,64 x_{42} + 0,21 x_{51} + \\ & 0,58 x_{52} + 0,67 x_{53} + 0,57 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

#### Restrições do Cliente

$$\begin{aligned} \# \text{ Orçamento Limitado } & \leq 3000 \\ 1 \text{ Quarto Sol SIM!} & \\ 1 \quad & x_{11} + x_{21} = 1 \end{aligned}$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

					Preço	
		Coef		Un	Tot	
Quarto 1 Solteiro	x11	0	0,64	0,00 \$	-	\$ -
Suite	x12	1	0,75	0,75 \$	200	\$ 200
Quarto 2 Solteiro	x21	1	0,63	0,63		\$ -
Escritório	x22	0	0,68	0,00 \$	-400	\$ -
Cozinha AS Incorporada	x31	1	0,66	0,66		\$ -
AS Separada	x32	0	0,63	0,00 \$	900	\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
				0,00		\$ -
Piso Quartos Carpete	x41	1	0,61	0,61		\$ -
Madeira	x42	0	0,64	0,00 \$	2.160	\$ -
Piso Sala Carpete	x51	0	0,21	0,00 \$	-250	\$ -
Madeira	x52	0	0,58	0,00 \$	1.500	\$ -
Granito	x53	1	0,67	0,67 \$	2.000	\$ 2.000
Cerâmica	x54	0	0,57	0,00		\$ -
				<b>3,32</b>		
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$</b>	<b>2.200</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO B1

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,45 x_{11} + 0,63 x_{12} + 0,58 x_{21} + \\ & 0,66 x_{22} + 0,69 x_{31} + 0,39 x_{32} + \\ & 0,70 x_{41} + 0,56 x_{42} + 0,49 x_{51} + \\ & 0,65 x_{52} + 0,64 x_{53} + 0,70 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

1 Só Sala de Jantar (ou pelo menos 2 quartos)

$$1 \quad x_{12} + x_{31} \leq 1$$

#### Restrições do Cliente

# Orçamento Limitado  $\leq$  1500

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

				Preço			
				Coef	Un	Tot	
				0,00	\$	-	\$ -
				0,00	\$	200	\$ -
				0,00			\$ -
				0,00	\$	-400	\$ -
				0,00			\$ -
				0,00	\$	900	\$ -
Quarto 1	Solteiro	x11	<b>1</b>	0,45	0,45		\$ -
	Sala Jantar	x12	<b>0</b>	0,63	0,00	\$ -1.200	\$ -
Quarto 2	Solteiro	x21	<b>0</b>	0,58	0,00		\$ -
	Escritório	x22	<b>1</b>	0,66	0,66	\$ -400	\$ -400
	Sala Sala Jantar	x31	<b>1</b>	0,69	0,69		\$ -
	H Theater	x32	<b>0</b>	0,39	0,00	\$ 950	\$ -
Piso Quartos	Carpete	x41	<b>1</b>	0,70	0,70		\$ -
	Madeira	x42	<b>0</b>	0,56	0,00	\$ 2.160	\$ -
Piso Sala	Carpete	x51	<b>0</b>	0,49	0,00	\$ -250	\$ -
	Madeira	x52	<b>0</b>	0,65	0,00	\$ 1.500	\$ -
	Granito	x53	<b>0</b>	0,64	0,00	\$ 2.000	\$ -
	Cerâmica	x54	<b>1</b>	0,70	0,70		\$ -
				<b>3,20</b>			
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$</b>	<b>-400</b>	

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO B2

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,70 x_{11} + 0,63 x_{12} + 0,62 x_{21} + \\ & 0,80 x_{22} + 0,50 x_{31} + 0,50 x_{32} + \\ & 0,52 x_{41} + 0,73 x_{42} + 0,49 x_{51} + \\ & 0,64 x_{52} + 0,76 x_{53} + 0,70 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

$$\begin{aligned} 1 \text{ Só Sala de Jantar (ou pelo menos 2 quartos)} \\ 1 \quad & x_{12} + x_{31} \leq 1 \end{aligned}$$

#### Restrições do Cliente

$$\begin{aligned} \text{Pelo menos 2 quartos} \\ 1 \quad & x_{11} + x_{21} \geq 1 \\ & \text{Home Theater NAO!} \\ 0 \quad & x_{32} = 0 \\ & \text{SIM ou SIM Escritorio} \\ 1 \quad & x_{22} = 1 \\ \# \text{ Orçamento Limitado } & \leq 6000 \end{aligned}$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

			Coef	Preço		
				Un	Tot	
				0,00 \$	- \$	-
				0,00 \$	200 \$	-
				0,00	\$	-
				0,00 \$	-400 \$	-
				0,00	\$	-
				0,00 \$	900 \$	-
Quarto 1 Solteiro	x11	1	0,70	0,70	\$	-
Sala Jantar	x12	0	0,63	0,00 \$	-1.200 \$	-
Quarto 2 Solteiro	x21	0	0,62	0,00	\$	-
Escritório	x22	1	0,80	0,80 \$	-400 \$	-400
Sala Sala Jantar	x31	1	0,50	0,50	\$	-
H Theater	x32	0	0,50	0,00 \$	950 \$	-
Piso Quartos Carpete	x41	0	0,52	0,00	\$	-
Madeira	x42	1	0,73	0,73 \$	2.160 \$	2.160
Piso Sala Carpete	x51	0	0,49	0,00 \$	-250 \$	-
Madeira	x52	0	0,64	0,00 \$	1.500 \$	-
Granito	x53	1	0,76	0,76 \$	2.000 \$	2.000
Cerâmica	x54	0	0,70	0,00	\$	-
				<b>3,49</b>		
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$</b>	<b>3.760</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO B3i

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,66 x_{11} + 0,62 x_{12} + 0,69 x_{21} + \\ & 0,77 x_{22} + 0,73 x_{31} + 0,73 x_{32} + \\ & 0,71 x_{41} + 0,75 x_{42} + 0,48 x_{51} + \\ & 0,76 x_{52} + 0,68 x_{53} + 0,59 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

Pelo Menos 1 Sala de Jantar

$$1 \quad x_{12} + x_{31} = 1$$

#### Restrições do Cliente

Orçamento Nao Limitado

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

				Preço			
				Coef	Un	Tot	
				0,00	\$	-	\$ -
				0,00	\$	200	\$ -
				0,00			\$ -
				0,00	\$	-400	\$ -
				0,00			\$ -
				0,00	\$	900	\$ -
Quarto 1 Solteiro	x11	<b>1</b>	0,66	0,66			\$ -
Sala Jantar	x12	<b>0</b>	0,62	0,00	\$	-1.200	\$ -
Quarto 2 Solteiro	x21	<b>0</b>	0,69	0,00			\$ -
Escritório	x22	<b>1</b>	0,77	0,77	\$	-400	\$ -400
Sala Sala Jantar	x31	<b>1</b>	0,73	0,73			\$ -
H Theater	x32	<b>0</b>	0,73	0,00	\$	950	\$ -
Piso Quartos Carpete	x41	<b>0</b>	0,71	0,00			\$ -
Madeira	x42	<b>1</b>	0,75	0,75	\$	2.160	\$ 2.160
Piso Sala Carpete	x51	<b>0</b>	0,48	0,00	\$	-250	\$ -
Madeira	x52	<b>1</b>	0,76	0,76	\$	1.500	\$ 1.500
Granito	x53	<b>0</b>	0,68	0,00	\$	2.000	\$ -
Cerâmica	x54	<b>0</b>	0,59	0,00			\$ -
				<b>3,67</b>			
				<b>Orçamento da Customização</b>		<b>\$</b>	<b>3.260</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO B3ii

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,66 x_{11} + 0,62 x_{12} + 0,69 x_{21} + \\ & 0,77 x_{22} + 0,73 x_{31} + 0,73 x_{32} + \\ & 0,71 x_{41} + 0,75 x_{42} + 0,48 x_{51} + \\ & 0,76 x_{52} + 0,68 x_{53} + 0,59 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

Pelo Menos 1 Sala de Jantar

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{12} + x_{31} = 1 \\ & \text{Home Theater SIM!} \\ 1 \quad & x_{32} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições do Cliente

Orçamento Nao Limitado

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

				Preço			
		Coef		Un		Tot	
			0,00	\$	-	\$	-
			0,00	\$	200	\$	-
			0,00			\$	-
			0,00	\$	-400	\$	-
			0,00			\$	-
			0,00	\$	900	\$	-
Quarto 1	Solteiro	x11	0	0,66	0,00	\$	-
	Sala Jantar	x12	1	0,62	0,62	\$	-1.200
Quarto 2	Solteiro	x21	0	0,69	0,00	\$	-
	Escritório	x22	1	0,77	0,77	\$	-400
	Sala Sala Jantar	x31	0	0,73	0,00	\$	-
	H Theater	x32	1	0,73	0,73	\$	950
Piso Quartos	Carpete	x41	0	0,71	0,00	\$	-
	Madeira	x42	1	0,75	0,75	\$	2.160
Piso Sala	Carpete	x51	0	0,48	0,00	\$	-250
	Madeira	x52	1	0,76	0,76	\$	1.500
	Granito	x53	0	0,68	0,00	\$	2.000
	Cerâmica	x54	0	0,59	0,00	\$	-
				<b>3,63</b>			
				<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$</b>	<b>3.010</b>	

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO B4

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max } (z) = & 0,50 x_{11} + 0,50 x_{12} + 0,50 x_{21} + \\ & 0,50 x_{22} + 0,50 x_{31} + 0,50 x_{32} + \\ & 0,73 x_{41} + 0,70 x_{42} + 0,59 x_{51} + \\ & 0,66 x_{52} + 0,73 x_{53} + 0,79 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

3 Quartos SIM ou SIM

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} = 1 \\ & \text{Sala de Jantar SIM!} \\ 1 \quad & x_{31} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições do Cliente

$$\$ 0 \text{ Orçamento Limitado } \leq 3500$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

						Preço		
			Coef			Un		Tot
					0,00	\$	-	\$ -
					0,00	\$	200	\$ -
					0,00			\$ -
					0,00	\$	-400	\$ -
					0,00			\$ -
					0,00	\$	900	\$ -
Quarto 1	Solteiro	x11	<b>1</b>	0,50	0,50			\$ -
	Sala Jantar	x12	<b>0</b>	0,50	0,00	\$	-1.200	\$ -
Quarto 2	Solteiro	x21	<b>1</b>	0,50	0,50			\$ -
	Escritório	x22	<b>0</b>	0,50	0,00	\$	-400	\$ -
	Sala Sala Jantar	x31	<b>1</b>	0,50	0,50			\$ -
	H Theater	x32	<b>0</b>	0,50	0,00	\$	950	\$ -
Piso Quartos	Carpete	x41	<b>1</b>	0,73	0,73			\$ -
	Madeira	x42	<b>0</b>	0,70	0,00	\$	2.160	\$ -
Piso Sala	Carpete	x51	<b>0</b>	0,59	0,00	\$	-250	\$ -
	Madeira	x52	<b>0</b>	0,66	0,00	\$	1.500	\$ -
	Granito	x53	<b>3E-16</b>	0,73	0,00	\$	2.000	\$ 0
	Cerâmica	x54	<b>1</b>	0,79	0,79			\$ -
					<b>3,02</b>			
					<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$</b>		<b>0</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO B5i

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,75 x_{11} + 0,63 x_{12} + 0,65 x_{21} + \\ & 0,79 x_{22} + 0,78 x_{31} + 0,72 x_{32} + \\ & 0,74 x_{41} + 0,76 x_{42} + 0,38 x_{51} + \\ & 0,78 x_{52} + 0,71 x_{53} + 0,75 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

2 Quartos SIM ou SIM

$$1 \quad x_{11} + x_{21} \geq 1$$

Sala de Jantar Si

$$1 \quad x_{31} = 1$$

#### Restrições do Cliente

# Orçamento Limitado  $\leq$  4500

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

						Preço	
			Coef		Un		Tot
				0,00	\$	-	\$ -
				0,00	\$	200	\$ -
				0,00			\$ -
				0,00	\$	-400	\$ -
				0,00			\$ -
				0,00	\$	900	\$ -
Quarto 1 Solteiro	x11	<b>1</b>	0,75	0,75			\$ -
Sala Jantar	x12	<b>0</b>	0,63	0,00	\$	-1.200	\$ -
Quarto 2 Solteiro	x21	<b>0</b>	0,65	0,00			\$ -
Escritório	x22	<b>1</b>	0,79	0,79	\$	-400	\$ -400
Sala Sala Jantar	x31	<b>1</b>	0,78	0,78			\$ -
H Theater	x32	<b>0</b>	0,72	0,00	\$	950	\$ -
Piso Quartos Carpete	x41	<b>0</b>	0,74	0,00			\$ -
Madeira	x42	<b>1</b>	0,76	0,76	\$	2.160	\$ 2.160
Piso Sala Carpete	x51	<b>0</b>	0,38	0,00	\$	-250	\$ -
Madeira	x52	<b>1</b>	0,78	0,78	\$	1.500	\$ 1.500
Granito	x53	<b>0</b>	0,71	0,00	\$	2.000	\$ -
Cerâmica	x54	<b>0</b>	0,75	0,00			\$ -
						<b>3,86</b>	
						<b>Orçamento da Customização</b>	<b>\$ 3.260</b>

## OTIMIZAÇÃO APARTAMENTO B5ii

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} = & 0,75 x_{11} + 0,63 x_{12} + 0,65 x_{21} + \\ & 0,79 x_{22} + 0,78 x_{31} + 0,72 x_{32} + \\ & 0,74 x_{41} + 0,76 x_{42} + 0,38 x_{51} + \\ & 0,78 x_{52} + 0,71 x_{53} + 0,75 x_{54} \end{aligned}$$

### Restrições

#### Restrições Básicas

$$\begin{aligned} 1 \quad & x_{11} + x_{12} = 1 \\ 1 \quad & x_{21} + x_{22} = 1 \\ 1 \quad & x_{31} + x_{32} = 1 \\ 1 \quad & x_{41} + x_{42} = 1 \\ 1 \quad & x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1 \end{aligned}$$

#### Restrições de Compatibilidade

2 Quartos SIM ou SIM

$$1 \quad x_{11} + x_{21} \geq 1$$

Sala de Jantar Si

$$1 \quad x_{31} = 1$$

#### Restrições do Cliente

$$\# \text{ Orçamento Limitado } \leq 3000$$

### Variáveis - Resultados Obtidos com o Modelo de Configuração Ótima

						Preço		
		Coef		Un		Tot		
				0,00	\$	-	\$	-
				0,00	\$	200	\$	-
				0,00			\$	-
				0,00	\$	-400	\$	-
				0,00			\$	-
				0,00	\$	900	\$	-
	Quarto 1 Solteiro	x11	<b>1</b>	0,75	0,75		\$	-
	Sala Jantar	x12	<b>0</b>	0,63	0,00	\$ -1.200	\$	-
	Quarto 2 Solteiro	x21	<b>0</b>	0,65	0,00		\$	-
	Escritório	x22	<b>1</b>	0,79	0,79	\$ -400	\$	-400
	Sala Sala Jantar	x31	<b>1</b>	0,78	0,78		\$	-
	H Theater	x32	<b>0</b>	0,72	0,00	\$ 950	\$	-
	Piso Quartos Carpete	x41	<b>1</b>	0,74	0,74		\$	-
	Madeira	x42	<b>0</b>	0,76	0,00	\$ 2.160	\$	-
	Piso Sala Carpete	x51	<b>0</b>	0,38	0,00	\$ -250	\$	-
	Madeira	x52	<b>1</b>	0,78	0,78	\$ 1.500	\$	1.500
	Granito	x53	<b>0</b>	0,71	0,00	\$ 2.000	\$	-
	Cerâmica	x54	<b>0</b>	0,75	0,00		\$	-
				<b>3,84</b>				
				<b>Orçamento da Customização</b>		<b>\$</b>		<b>1.100</b>



