

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

WALKYSO DOS SANTOS JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS
DA TECNOLOGIA CAD3D-BIM NA INDÚSTRIA MOVELEIRA

NATAL, RN

2012

WALKYSO DOS SANTOS JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS
DA TECNOLOGIA CAD3D-BIM NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências (MSc) em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR

Prof. D.Sc. Carlos Magno de Lima

NATAL, RN

2012

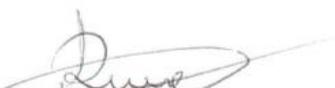


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ATA N° 301

Aos vinte e três dias do mês de Março do ano de dois mil e doze, às 09:00 horas, na Sala 94 do Centro de Tecnologia - CT/UFRN, instalou-se a banca examinadora de dissertação de mestrado do(a) aluno(a) **WALKYSO DOS SANTOS JÚNIOR**. A banca examinadora foi composta pelos professores Dr. Koje Daniel Vasconcelos Mishina, UFPB, examinador externo, Dr. Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, UFRN, examinador interno, e Dr. Carlos Magno de Lima, UFRN, orientador. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do professor Dr. Carlos Magno de Lima, que, após apresentar os membros da banca examinadora, solicitou a(o) candidato(a) que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada "DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA TECNOLOGIA CAD3D-BIM NA INDÚSTRIA MOVELEIRA", marcando um tempo de quarenta minutos para a apresentação. Concluída a exposição, Dr. Carlos Magno de Lima, orientador, passou a palavra ao examinador externo, Dr. Koje Daniel Vasconcelos Mishina, para argüir o(a) candidato(a) e, em seguida, ao examinador interno, Dr. Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, para que fizesse o mesmo; após o que fez suas considerações sobre o trabalho em julgamento; tendo sido APROVADO o(a) candidato(a), conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A versão final da dissertação deverá ser entregue ao PPGEM, no prazo de 30 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa. Conforme o Artigo 35 do Regimento Interno do PPGEM, o(a) candidato(a) não terá o título se não cumprir as exigências acima.


Dr. Koje Daniel Vasconcelos Mishina, UFPB
Examinador Externo


Dr. Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, UFRN
Examinador Interno


Dr. Carlos Magno de Lima, UFRN
Orientador


WALKYSO DOS SANTOS JÚNIOR
Mestrando

Aos meus pais por todo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por todo o esforço para garantir as condições necessárias que possibilitaram o meu crescimento, através de uma educação de qualidade e um lar feliz.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Magno de Lima, pela dedicação e pelo auxílio dado na elaboração desta dissertação.

À coordenação do PPGEM por todo suporte concedido ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, pela confiança e palavras de incentivo.

Aos colegas do Laboratório de Informática do PPGEM, pela amizade e apoio.

RESUMO

No desenvolvimento deste trabalho foi desenvolvido um sistema que permite a aplicação de conceitos da tecnologia CAD3D-BIM em projetos da indústria moveleira. Para desenvolver o sistema foi concebida uma arquitetura composta por dois módulos: uma interface web para gerenciamento dos metadados dos componentes existentes em uma biblioteca de móveis e uma ferramenta CAD tridimensional que utiliza um plugin específico para acessar as informações referentes a cada um destes componentes.

Na construção do sistema também foi utilizado um SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) projetado para armazenar as informações dos componentes de uma forma hierárquica, baseada nos conceitos da Tecnologia de Grupo. A concentração de informações em um único banco de dados permite que qualquer mudança realizada seja disponibilizada automaticamente para todos os participantes envolvidos no projeto. Os dois módulos que compõem o sistema possui uma conexão com esta base de dados.

Finalmente, foi desenvolvido o protótipo de um ambiente virtual 3D com o objetivo de auxiliar a criação de projetos de Realidade Virtual na *web*. Para embasar o desenvolvimento, foi feito um estudo sobre as tecnologias disponíveis para criação de aplicações 3D *web* executadas diretamente em navegadores.

Com a interligação de todos os componentes foi criada uma arquitetura de sistema para dar suporte à construção e exibição de projetos da indústria moveleira, de acordo com os conceitos propostos pela tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), tendo como objeto de estudo a indústria moveleira do estado do Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: *CAD3D-BIM, Tecnologia de Grupo, Indústria Moveleira, Google SketchUp*

ABSTRACT

In this work was developed an information system to apply the concepts of CAD3D-BIM technology for the design activities of the furniture industry. The development of this system was based in an architecture comprised of two modules: a web interface to management the metadata of models from furniture's library and the combination of three-dimensional CAD software with a specific plugin to access the information from this model.

To develop this system was also used a Data Base Management System (DBMS) designed to storage the information from models in a hierarchical way, based on concepts of Group Technology (GT). The centralization of information in a single database allows the automatic availability of any changes to all participants involved in a particular project when it's happens. Each module from system has its own connection to this database.

Finally was developed a prototype from a 3D virtual environment to help create Virtual Reality projects in the web. A study from available technologies to create 3D web applications for execution in websites was done to support this development.

The interconnection between modules and the database developed allowed the assembly of a system architecture to support the construction and exhibition of projects of the furniture industry in accordance with the concepts proposed by *BIM (Building Information Modeling)*, using as object of study the furniture industry of state of Rio Grande do Norte.

Keywords: *CAD3D-BIM, Group Technology, Furniture Industry, Google SketchUp*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Blocos da Metodologia Utilizada.....	15
Figura 2 - Etapas da Manufatura	23
Figura 3 - O Processo CAD.....	25
Figura 4 - O Processo CAM.....	26
Figura 5 - Geometria Original e Malha de Triângulos Gerada para Transferência de Dados..	27
Figura 6 - Diagrama de Contexto - CAD/CAM/CAE.....	28
Figura 7 - O Mundo em Três Dimensões e Seis Graus de Liberdade (6GDL)	32
Figura 8 – Classificação Hierárquica de Entidades Utilizadas em Móveis Modelados	36
Figura 9 - Exemplo do Esquema Hierárquico de Classificação	36
Figura 10 – DER Simplificado do Banco de Dados para os Metadados dos Modelos	39
Figura 11 - Tela Inicial do Google SketchUp 8 Pro.....	41
Figura 12 - Relacionamento Entre os Módulos que Compõe o Sistema.....	45
Figura 13 - Tela Inicial da Interface <i>WEB</i> para Gerenciamento dos Metadados das Peças	46
Figura 14 - Diagrama MVC Utilizado na Criação do Sistema <i>WEB</i>	47
Figura 15 - Formulário para Cadastro de um Novo Acessório via Sistema <i>WEB</i>	48
Figura 16 - Formulário para Cadastro de uma Nova Parte via Sistema <i>WEB</i>	49
Figura 17 - Formulário para Cadastro de um Novo Conjunto Via Sistema <i>WEB</i>	49
Figura 18 - Formulário para Cadastro da Composição de um Conjunto.....	50
Figura 19 - Formulário para Cadastro de um Novo Módulo Via Sistema <i>WEB</i>	50
Figura 20 - Formulário para Cadastro da Composição de um Módulo.....	51
Figura 21 - Formulário para Cadastro de Revestimento.....	51
Figura 22- Formulário para Edição de uma Parte.....	52
Figura 23 - Formulário para Exclusão de um Conjunto	53
Figura 24 – Menu Principal do Plugin BIMobile na Aba Superior do Google SketchUp	54
Figura 25 - Arquitetura do Plugin BIMobile.....	55
Figura 26 – Utilização da Opção 'Modelar Acessório' Disponível no Plugin BIMobile	56
Figura 27- Utilização da Função 'Buscar Acessório' do Plugin BIMobile.....	57
Figura 28 - Geração de Relatório de um Projeto com o BIMobile	58
Figura 29 - Tela Inicial do Ambiente 3D <i>WEB</i> para Criação de Projetos Online	61
Figura 30 - Lista de Conjuntos Disponíveis para Criação de Projetos Online.....	62
Figura 31 - Criação de um Projeto Através do Ambiente 3D <i>Web</i>	63
Figura 32 - Sistema de Administração do Ambiente Virtual 3D <i>WEB</i>	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção e consumo aparente de móveis dos principais países produtores do setor industrial moveleiro em 2006.....	19
Tabela 2 - Exportações e Importações Mobiliárias dos Principais Países Exportadores de Móveis em 2006	19

LISTA DE ABREVIATURAS

API	Application Programming Interface - Interface de Programação de Aplicativos
APL	Arranjo Produtivo Local
BIM	Building Information Modeling - Modelagem de Informação da Construção
CAD	Computer Aided Design – Desenho Auxiliado por Computador
CAE	Computer Aided Engineering - Engenharia Auxiliada por Computador
CAI	Computer Aided Inspection – Inspeção Auxiliada por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing – Manufatura Auxiliada por Computador
CAPP	Computer Aided Process Planning - Planejamento do Processo Assistido por Computador
CNC	Controle Numérico Computadorizado
FTP	File Transfer Protocol – Protocolo de Transferência de Arquivos
MVC	Model-View-Controller
SGBD	Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivo Geral	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
1.3 Metodologia Aplicada	14
1.4 Estrutura da Dissertação	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 A INDÚSTRIA MOVELEIRA	18
2.1.1 A Indústria Moveleira Mundial	19
2.1.2 A Indústria Moveleira no Brasil	20
2.1.3 A Indústria Moveleira no Rio Grande do Norte	21
2.2 Tecnologias CAx.....	22
2.2.1 Tecnologia CAD.....	24
2.2.2 Tecnologia CAM.....	25
2.2.3 Tecnologia CAE	27
2.3 Tecnologia BIM.....	28
2.3.1 Vantagens do BIM.....	30
2.4 Realidade Virtual	31
3. ARQUITETURA DO SISTEMA.....	33
3.1 Levantamento de Requisitos e Concepção do Software.....	33
3.2 Estudo da Viabilidade e Projeto Lógico	35
3.3 Sistema de Codificação dos Móveis Modulados	37
3.4 Projeto Físico	38
3.3.1 MySQL.....	40
3.3.2 Google SketchUp.....	40
3.3.3 Linguagem de Programação <i>Ruby</i>	42
4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	45
4.1 Módulo 1: Sistema WEB para Gerenciamento de Componentes	46
4.1.1 Cadastrar Acessório.....	48
4.1.2 Cadastrar Parte	48

4.1.3 Cadastrar Conjunto	49
4.1.4 Cadastrar Módulo	50
4.1.5 Cadastrar Revestimento	51
4.1.6 Editar Componente	52
4.1.7 Excluir Componente	52
4.2 Módulo 2: Google SketchUp + <i>plugin</i> BIMobile	53
4.2.1 O Plugin BIMobile	53
4.2.2 Arquitetura do Plugin BIMobile.....	54
4.2.3 Opções de Modelagem do Plugin BIMobile	55
4.2.4 Opções de Busca do Plugin BIMobile.....	56
4.2.5 Geração de Relatórios com o Plugin BIMobile.....	57
4.3 Implantação do Sistema.....	58
5. AMBIENTE WEB PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS.....	59
5.1 Tecnologias 3D para Criação de Ambientes Virtuais na Web.....	59
5.1.1 Biblioteca O3D.....	60
5.1.2 Biblioteca WebGL.....	60
5.2 Funcionamento do Ambiente 3D WEB	61
6. RESULTADOS E CONCLUSÕES	65
6.1 Resultados Obtidos.....	65
6.2 Conclusões.....	66
6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	68
REFERÊNCIAS	70

1. INTRODUÇÃO

Com o constante avanço do hardware e do software desde 1950, quando foi criado o primeiro computador que permitia a geração de imagens gráficas simples, o desenvolvimento da computação gráfica possibilitou que sistemas gráficos cada vez mais complexos fossem criados. Quando estes sistemas tornaram-se alvo da indústria, na década de 1960, sendo aplicados na área automobilística e aeroespacial, o desenvolvimento tornou-se mais efetivo, dando origem aos sistemas CAD (VALENTIM e CORREIA, 2002).

A utilização de sistemas CAD (*Computer Aided Design*) é uma forma de modernizar as atividades da indústria moveleira sem a necessidade de um grande investimento. Os sistemas CAD se propõem a auxiliar a manipulação e criação de informações e conhecimentos, sistematizando os dados de projeto envolvidos, possibilitando uma rápida reutilização de informações quando necessário (KERRY, 1997). Scheer *et al* (2007) afirmam que a tecnologia CAD é a mais importante inovação de Tecnologia da Informação dos últimos 40 anos. Eles identificaram três diferentes gerações na evolução da utilização dos computadores em projetos de construção: o desenho auxiliado por computador, a modelagem geométrica e a modelagem do produto.

Com as várias mudanças na economia, globalização dos mercados e a pressão constante sobre as companhias no final da década de 1970, a concepção de modelagem do produto ganhou força. Este campo de estudo engloba tudo o que está relacionado a qualquer atividade entre o desenho e o produto final. A modelagem do produto foi criada para integrar dois conjuntos de informações ao longo de todo o ciclo de vida do produto: as informações geométricas (formas, posições, tamanhos) e as informações não-geométricas: (custos, pesos, resistência). Os softwares que apoiam os sistemas CAD baseados na modelagem de produtos incorporam o conceito BIM (*Building Information Modeling*) e são chamados de softwares paramétricos. Dessa maneira, esses softwares conseguem capturar todas as informações necessárias para o ciclo de vida do projeto, abrangendo desde a concepção até operação e manutenção. Neste processo de projeto, todos os envolvidos da construção participam de modo integrado e simultâneo, contribuindo para a rápida análise dos dados e para tomada de decisão (AZUMA e SCHEER, 2007).

Os maiores fabricantes do setor moveleiro nacional utilizam sistemas CAD com o intuito de simplificar a criação de projetos e automatizar sua produção, melhorando a

qualidade dos mesmos e reduzindo o tempo de desenvolvimento. Com o apoio destes sistemas é possível simular situações reais de utilização, resultando na validação dos produtos (TORREBLANCA, 2010).

A indústria moveleira do Estado do Rio Grande do Norte é um setor que ainda utiliza processos de manufatura tradicionais, com pouca ou quase nenhuma automação (CARVALHO, 2010). Como é composto por pequenos fabricantes isolados, este segmento de mercado não possui recursos suficientes para investir na aquisição de novas tecnologias, como softwares modernos, que poderiam dar suporte à criação de projetos e auxiliar os processos de fabricação.

Neste trabalho foram utilizados os conceitos da tecnologia CAD3D-BIM no desenvolvimento de uma ferramenta de software para proporcionar uma melhor integração entre as etapas de projeto e de fabricação de móveis modulados. Esta ferramenta permite a reutilização de modelos e o gerenciamento dos metadados de cada componente, para aplicação nas indústrias moveleiras locais de pequeno e médio porte.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é conceber uma arquitetura e implementar um sistema para criação e gerenciamento de modelos de móveis modulados, com o auxílio de um software CAD tridimensional, através da utilização de conceitos da tecnologia CAD3D-BIM.

1.2 Objetivos Específicos

- Levantamento do conteúdo bibliográfico referente às tecnologias empregadas no desenvolvimento da arquitetura do sistema;
- Estudo da documentação de softwares CAD tridimensionais, verificando o funcionamento de suas estruturas internas e como estas estruturas podem ser acessadas e manipuladas através das API's (Application Programming Interface) disponibilizadas por seus desenvolvedores, através de modernas linguagens de programação orientadas a objeto;

- Estudo da integração entre softwares CAD tridimensionais e Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) para o armazenamento das informações dos projetos desenvolvidos;
- Acréscimo de novas funcionalidades em softwares CAD a partir da utilização de suas API's para dar suporte aos conceitos da tecnologia CAD3D-BIM, incluindo o acesso a banco de dados e a repositórios de modelos distribuídos;
- Desenvolvimento de um sistema compatível com a WEB 2.0 para armazenar as informações não-geométricas (metadados) de cada modelo criado em um SGBD e também gerenciar estas informações;
- Estudo das tecnologias disponíveis para a construção de ambientes virtuais 3D na *internet* que permitam a criação de projetos a partir da utilização dos modelos dos móveis modulados, provendo ao usuário uma experiência baseada nos conceitos da Realidade Virtual.

1.3 Metodologia Aplicada

As atividades realizadas na indústria moveleira, que envolvem pessoas, materiais, equipamentos e procedimentos, necessitam que estes elementos estejam bem organizados para garantir um melhor desempenho. A união de software, hardware, pessoas e das metodologias aplicadas nas rotinas de trabalho visando atender uma finalidade específica compõem um sistema de informações.

Neste trabalho foi utilizado o processo de análise e projeto estruturado de sistemas seguindo uma disciplina de desenvolvimento *top-down*, ou seja, do geral para o particular, iniciando-se com o projeto lógico e progredindo gradativamente para o projeto físico.

A utilização deste tipo de abordagem permitiu o levantamento das informações realmente necessárias, com a consequente supressão de informações redundantes e/ou irrelevantes, reavaliando a forma como os processos são realizados. Com estas informações foi possível a criação de um modelo para integrar um sistema de informações como apoio às atividades de criação de projetos e fabricação de móveis de uma empresa moveleira.

Esta metodologia é fundamentada numa estrutura e abordagem proposta por Prince (1975) para o desenvolvimento de sistemas de informações e reforçada por Pressman (2006)

que afirma que o processo de engenharia de um sistema geralmente começa com uma “visão de mundo”, ou seja, todo o domínio do negócio ou do produto é examinado para garantir que o contexto adequado do negócio ou da tecnologia possa ser estabelecido. Então esta visão de mundo é refinada para focar em um domínio de interesse específico. Neste domínio as necessidades do público-alvo (hardware, software e pessoas) são analisadas e então se dá início a análise, o projeto e a construção de um sistema. A representação da metodologia utilizada é ilustrada na figura 1 e resumidamente descrita nos itens seguintes.

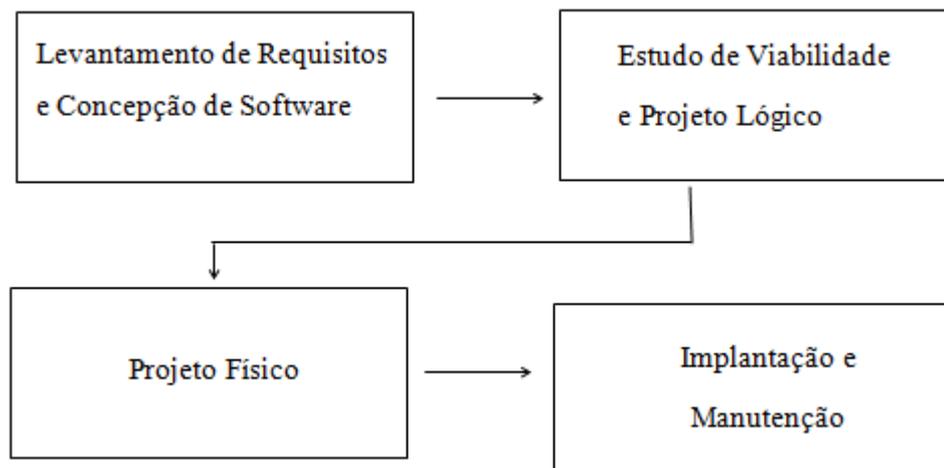


Figura 1 - Diagrama de Blocos da Metodologia Utilizada

Primeiramente foi realizado o levantamento de requisitos, onde as necessidades do usuário foram detectadas. Este levantamento ocorreu através da identificação de quais são os anseios dos usuários que utilizam sistemas voltados para a criação e gerenciamento de projetos de móveis, através de conversas com os mesmos, e quais são as regras de negócios, além da observação das rotinas realizadas por eles no exercício de suas funções. Neste momento foram analisados formulários e documentos que são gerados pelos membros da organização além da definição de quais pessoas devem ser questionadas e entrevistadas, visando prever qual impacto o sistema de informações terá sobre as pessoas. Esta técnica é conhecida como amostragem.

“Amostragem é o processo de seleção sistemática de elementos representativos de uma população. Quando os elementos selecionados em uma amostragem são analisados, pode-se assumir que esta análise revelará informações úteis acerca da população como um todo” (CARVALHO, 2009).

Com essas informações deu-se início a concepção do software, onde são definidos quais procedimentos são capazes de adotar as funcionalidades necessárias através de uma solução informatizada. Para isso foram observadas as ferramentas disponibilizadas atualmente para os usuários que são o alvo deste trabalho, ou seja, pequenas e médias empresas da indústria moveleira local, identificando quais são seus problemas, quais são os possíveis melhoramentos e que influência o novo sistema terá sobre os seus usuários.

Na etapa seguinte foi feito um estudo de viabilidade técnica e econômica, onde se buscou ferramentas que pudessem dar suporte ao sistema, não exigissem um hardware com alto custo de aquisição, fossem capazes de realizar as operações com um desempenho aceitável e fossem isentas de custos com licenças (softwares livres), podendo atender a realidade econômica dos clientes. Na elaboração do projeto lógico foram identificados os procedimentos que fazem parte do fluxo normal de trabalho, definindo o escopo do sistema, ou seja, qual a abrangência que o sistema terá e quais operações serão incluídas no sistema. Este modelo teórico abrange os relacionamentos entre os diferentes atores do processo e os fluxos das informações relevantes, gerando um conjunto de procedimentos para que o sistema apresente um melhor desempenho na realização das rotinas existentes.

Na fase do projeto físico o enfoque ocorreu na escolha dos softwares que seriam utilizados. Neste momento foi elaborada a especificação de como serão realizados os processos identificados na fase do projeto lógico, além da modelagem física dos dados e sua implementação, e, na sequência, a codificação e os testes. A modelagem física do banco de dados levou em consideração os conceitos da Tecnologia de Grupo para permitir o cadastro de móveis de acordo com uma organização hierárquica de componentes, conforme será mostrado mais adiante. Esta base será acessada pelo software CAD utilizado para a criação de projetos e pelo sistema *web* para gerenciamento dos modelos, permitindo o fluxo de dados necessário para o correto funcionamento do sistema.

Após a conclusão do projeto físico se iniciou a implantação do sistema, fase onde o mesmo foi disponibilizado para o funcionamento em situações reais. O *feedback* dos usuários permitiu que mudanças, ajustes e correções fossem realizadas.

1.4 Estrutura da Dissertação

O capítulo 2 possui uma revisão da literatura que serviu de base para o desenvolvimento deste trabalho. Neste capítulo são abordadas algumas informações sobre a indústria moveleira nos âmbitos mundial, nacional e local, incluindo a apresentação de alguns dados estatísticos sobre os maiores produtores, além das características e necessidades identificadas na indústria moveleira do Rio Grande do Norte. Em seguida são descritas as tecnologias utilizadas para automatizar e tornar mais ágil o desenvolvimento de projetos através da utilização de sistemas computacionais (CAD/CAM/CAE), uma nova abordagem para o gerenciamento de informações durante todo o ciclo de vida de um projeto – BIM (*Building Information Modeling*) e alguns conceitos da Realidade Virtual, que dá suporte às simulações realizadas em sistemas que implementam o BIM.

O capítulo 3 descreve a concepção da arquitetura do sistema, trazendo informações sobre as tecnologias utilizadas no desenvolvimento das aplicações propostas neste trabalho, como os conceitos da Tecnologia de Grupo, características do sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL, informações sobre o ambiente CAD tridimensional *Google SketchUp* e sobre a sua API, que utiliza a linguagem de programação *Ruby*.

O capítulo 4 traz as informações sobre os módulos que compõe a arquitetura proposta neste trabalho: o módulo que possui o sistema *web* desenvolvido para armazenar e gerenciar os metadados dos modelos que irão compor a biblioteca de móveis modulados e o módulo que abrange o ambiente CAD tridimensional *Google SketchUp*, bem como a criação e o funcionamento do *plugin* desenvolvido para este ambiente.

O capítulo 5 descreve a construção de um ambiente 3D *web* a partir da utilização de tecnologias que dão sustentação à criação de projetos diretamente pela *internet*, através do uso de um navegador *web*, apresentando-o como uma alternativa mais elegante e prática de apresentação de um projeto aos clientes.

O capítulo 6 apresenta os resultados e as conclusões deste trabalho, além de sugestões de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A INDÚSTRIA MOVELEIRA

A indústria de móveis se caracteriza pela reunião de diversos processos envolvidos em sua fase de produção, além da enorme variedade de matéria-prima utilizada na confecção dos mais diferentes produtos. Geralmente as empresas restringem suas atividades para atender somente algumas linhas de móveis, como banheiro e cozinha, estofados, etc. Este setor pode ser fragmentado de acordo com o material utilizado na produção, como madeira ou metal, por exemplo, ou pelo propósito para o qual são destinados (móveis para residência, para escritório, entre outros) (TRENTIN *et al*, 2009).

Os móveis de madeira, que detêm expressiva parcela do valor total da produção do setor, são ainda segmentados em dois tipos: retilíneos, que são lisos, com desenho simples de linhas retas e cuja matéria-prima principal constitui-se de aglomerados; e painéis de compensados e torneados, que reúnem detalhes mais sofisticados de acabamento, misturando formas retas e curvilíneas e cuja principal matéria-prima é a madeira, podendo também incluir painéis de *Medium-Density Fiberboard* (MDF), passíveis de serem usinados (TRENTIN *et al*, 2009).

A demanda de móveis está intimamente ligada às variações de alguns setores da economia, principalmente a da construção civil. Isto faz com que o setor seja bastante sensível as mudanças nas conjecturas da economia, sendo um dos primeiros a sentir os impactos de períodos de recessão. Os fatores que influenciam os gastos com móveis são a mudança de estilo de vida da população, aspectos culturais, ciclo de reposição e investimento em marketing. Estes gastos representam de 1% a 2%, em média, da renda disponível das famílias. Como o processo produtivo não é contínuo, a modernização pode ocorrer em apenas algumas etapas da produção, fazendo com que máquinas modernas e obsoletas sejam utilizadas nas fábricas. Além da tecnologia, os fatores que mais influenciam na competitividade do setor são a obtenção de novas matérias-primas, estratégias comerciais e de distribuição, design e especialização da produção (GORINI, 1998).

2.1.1 A Indústria Moveleira Mundial

A produção industrial mundial está organizada em larga escala, com a maior parte das empresas envolvidas no setor produtivo utilizando alta tecnologia. A larga escala favoreceu a organização de sistemas produtivos locais, permitindo a criação e o desenvolvimento de pequenas e médias empresas, tornando-as mais competitivas (PEREIRA e CAMPOS, 2009). A produção mundial de móveis é estimada em torno de US\$ 200 bilhões, sendo que 79% da produção pertencem aos países desenvolvidos, dos quais 64% se restringem as sete maiores economias industriais: Estados Unidos, Itália, Japão, Alemanha, Canadá, França e Reino Unido (TRENTIN *et al*, 2009).

Tabela 1 - Produção e consumo aparente de móveis dos principais países produtores do setor industrial moveleiro em 2006.

País	Produção		Consumo aparente	
	Receitas (em US\$ milhões)	Porcentagem	Despesas (em US\$ milhões)	Porcentagem
Estados Unidos	65.006	21,21%	87.258	28,47%
China	53.750	17,53%	37.287	12,17%
Itália	24.507	8%	15.812	5,16%
Alemanha	20.436	6,67%	21.490	7,01%
Japão	12.289	4,01%	15.424	5,03%
Reino Unido	10.411	3,4%	16.147	5,27%
Canadá	10.133	3,31%	9.746	3,18%
França	9.509	3,1%	13.130	4,28%
Polônia	8.114	2,64%	3.052	1%
Brasil	5.019	1,64%	4.212	1,37%
Malásia	2.852	0,93%	984	0,32%
Subtotal	222.026	72,44%	224.542	73,26%
Outros	84.479	27,56%	81.963	26,74%
Total	306.505	100%	306.505	100%

Fonte: PEREIRA, 2009. p.33.

Tabela 2 - Exportações e Importações Mobiliárias dos Principais Países Exportadores de Móveis em 2006

País	Exportações		Importações	
	Receitas (em US\$ milhões)	Porcentagem	Despesas (em US\$ milhões)	Porcentagem
China	17.059	18,98%	596	0,66%
Itália	10.663	11,86%	1.968	2,19%
Alemanha	7.901	8,79%	8.955	9,96%
Polônia	5.988	6,66%	926	1,03%
Canadá	4.457	4,96%	4.070	4,52%
Estados Unidos	3.202	3,56%	25.454	28,32%
França	2.626	2,92%	6.247	6,95%
Malásia	2.198	2,45%	330	0,37%
Reino Unido	1.443	1,61%	7.179	7,99%
Brasil	942	1,04%	135	0,15%
Japão	575	0,64%	3.710	4,13%
Subtotal	57.054	63,47%	59.570	66,27%
Outros	32.838	36,53%	30.322	33,73%
Total	89.892	100%	89.892	100%

Fonte: PEREIRA, 2009. p.33.

Nas tabelas 1 e 2, estão os dados estatísticos de 2006 sobre a produção e o consumo de móveis nos principais países produtores e sobre as exportações e as importações mobiliárias dos principais países exportadores do setor.

Principal país produtor de móveis do mundo, os Estados Unidos responderam por pouco mais de 20% da produção no ano de 2006. A indústria moveleira é diversificada e espalhada por todas as regiões do país, voltada basicamente para o mercado interno e terceiriza grande parte das funções de produção. No entanto, estima-se que 5,3% de toda a produção nacional sejam destinadas ao mercado externo. Os móveis, em sua maioria, são retilíneos e destinados para o uso doméstico (PEREIRA, 2009).

O avanço tecnológico, através de novas máquinas automatizadas com base na microeletrônica e as novas técnicas de gestão empresarial, auxilia o desenvolvimento da indústria de móveis e possibilita a flexibilização do processo de produção, ou seja, a criação de muitos produtos para uma mesma linha de móveis, confeccionados em larga escala, perdendo o caráter artesanal. A presença de muitos produtores especializados na produção de determinados componentes da indústria também influencia o crescimento do setor, assim como a maior eficiência da cadeia produtiva. Na Europa e nos Estados Unidos verifica-se a concentração dos produtos finais em grandes empresas, enquanto as pequenas e médias empresas se destinam a produzir e fornecer algumas partes dos móveis. Alguns países, como a Itália, procuram distinguir seus produtos através do design, ou seja, utilizam uma estratégia de diferenciação em seus produtos, gerando novos recursos por causa da exclusividade. Outros países se dedicam a nichos de mercado pouco explorado, como Taiwan, que investe na produção de móveis de metal, com maior valor agregado e em pequenos volumes, de vários estilos (PEREIRA, 2009).

2.1.2 A Indústria Moveleira no Brasil

O setor moveleiro no Brasil se profissionalizou na última década do século XX desenvolvendo tecnologia, mão-de-obra qualificada e investindo em design. Surgiram nesta época o primeiro Curso Superior em Produção Moveleira e o Curso de Produção Industrial de Móveis. Na década de 90, a indústria investiu fortemente na renovação do parque de máquinas, principalmente em equipamentos importados provenientes, em sua maior parte, da Itália e da Alemanha. Em 1994 o *MDF* ganhou o mercado interno e o setor moveleiro

integrou o programa brasileiro do design e o programa brasileiro de incremento à exportação de móveis (Promóvel), para aumentar os índices de exportação do Brasil (TRENTIN *et al*, 2009).

O crescimento das classes C e D tem impulsionado o desenvolvimento deste setor. No ano de 2010 o mercado brasileiro de móveis e colchões cresceu 13,2% em relação ao ano anterior, o que representa um faturamento de R\$ 29,7 bilhões. Por serem tão exigentes quanto o público de classes mais altas, muitas empresas começaram a direcionar sua produção para atender as necessidades desta nova clientela, além de investirem em financiamentos e utilizarem juros mais plausíveis (NERY, 2011). No Brasil, assim como ocorre no mundo, a indústria moveleira também é predominantemente formada de muitas pequenas firmas com intensivo emprego de mão-de-obra, em comparação aos demais setores da indústria de transformação. A informalidade no país representa uma barreira para o desenvolvimento deste setor, pois causa deficiências nas etapas de produção, uma vez que dificulta a introdução de normas técnicas que atuariam na padronização dos móveis, assim como dos componentes intermediários (GORINI, 1998).

2.1.3 A Indústria Moveleira no Rio Grande do Norte

Na pesquisa feita por CARVALHO (2010) sobre a indústria moveleira do Rio Grande do Norte foi constatado que o setor é formado por pequenos fabricantes que utilizam pouca ou nenhuma automação em seus processos produtivos. Também se verificou a inexistência de um Pólo Moveleiro ou mesmo um Arranjo Produtivo Local (APL), tanto para indústrias de móveis modulados quanto para indústrias de outros tipos de móveis. A aceitação dos móveis modulados no estado tem apresentado um crescimento nos mais diversos segmentos (residencial, empresarial e hoteleiro). Isso se deve ao fato de que este tipo de móvel permite um melhor aproveitamento do espaço, além de garantir um serviço personalizado, com dicas e opiniões sobre o melhor projeto, a um preço reduzido. A maior parte das vendas é feita por revendedores de indústrias pertencentes aos pólos moveleiros do sul do país, fazendo com que a receita gerada pelas vendas não seja aplicada no próprio estado. Daí a necessidade de modernização e expansão deste setor no Rio Grande do Norte. Em visitas realizadas pela autora da pesquisa foram observados alguns fatores de suma-importância para propiciar o avanço do setor:

- ter uma biblioteca própria de modelos, que possa ser usada na criação de novos projetos;
- melhorar o modo de elaboração do projeto e apresentação dos produtos, pois a utilização de softwares que trabalham com formatos de arquivos diferentes (quando são utilizados) exige retrabalho para a adequação das informações no momento do repasse para o setor de fabricação;
- melhorar as estimativas de custo dos materiais;
- prover uma melhor integração entre a fase de projeto e a fase de fabricação.

Com base nas informações acima, o sistema desenvolvido será aplicado na situação descrita visando atender as necessidades observadas e colaborando com a modernização do setor moveleiro local.

2.2 Tecnologias CAx

Atualmente as empresas que projetam, desenvolvem e fabricam produtos enfrentam um mercado cada vez mais complexo e competitivo. Esta complexidade deve ser bem compreendida pelas empresas para que suas propostas de produtos e serviços tenham uma real inserção no mercado (TORREBLANCA, 2010).

Para que esta inserção ocorra em um tempo adequado e atenda às necessidades do mercado ao qual o produto é destinado, algumas características que são fundamentais devem ser consideradas, tais como (TORREBLANCA, 2010):

- o alto nível de segmentação: os produtos são destinados a menores grupos de pessoas, com estilos de vida e características muito específicos;
- ampliação da quantidade de produtos e linhas de produtos: como consequência do item anterior, surge a necessidade de criação de novos produtos e novas linhas que atendam aos mais diversos grupos de consumidores;
- redução do ciclo de vida do produto: os produtos não são mais fabricados para durar a vida inteira, como era feito antigamente; ao contrário, são projetados para ter um tempo curto de vida e são influenciados pelas tendências e mudanças da moda;

- desenvolvimento de produto com equipes multidisciplinares: atualmente é comum que o desenvolvimento de produtos englobe várias áreas, onde se utilizam diferentes termos, códigos e formas de gerar e compartilhar a informação como um todo.

Para atender as exigências citadas anteriormente, as empresas tem feito uso das tecnologias CAX (*Computer-Aided Technologies*). CAX é um termo utilizado para identificar um conjunto de tecnologias de projeto, análise e produção auxiliados por computadores, que permitem o gerenciamento das informações de forma integrada: criação de modelos 3D, planimetria, documentação, materiais, processos, protótipos, entre outros, em uma plataforma comum, a qual tem acesso diferentes áreas da empresa (projetos, marketing, engenharia) e que permite que diferentes participantes possam inserir e editar informações utilizando uma linguagem comum, diminuindo o tempo de produção e de inserção do produto no mercado. São exemplos destas tecnologias as ferramentas CAD (*Computer-Aided Design* - Desenho Auxiliado por Computado), CAM (*Computer-Aided Manufacturing* – Fabricação Auxiliada por Computador), CAE (*Computer-Aided Engineering* - Engenharia Auxiliada por Computador), entre outras (TORREBLANCA, 2010). As etapas de manufatura, onde estes e outros sistemas são aplicados, são exibidas na figura 2.

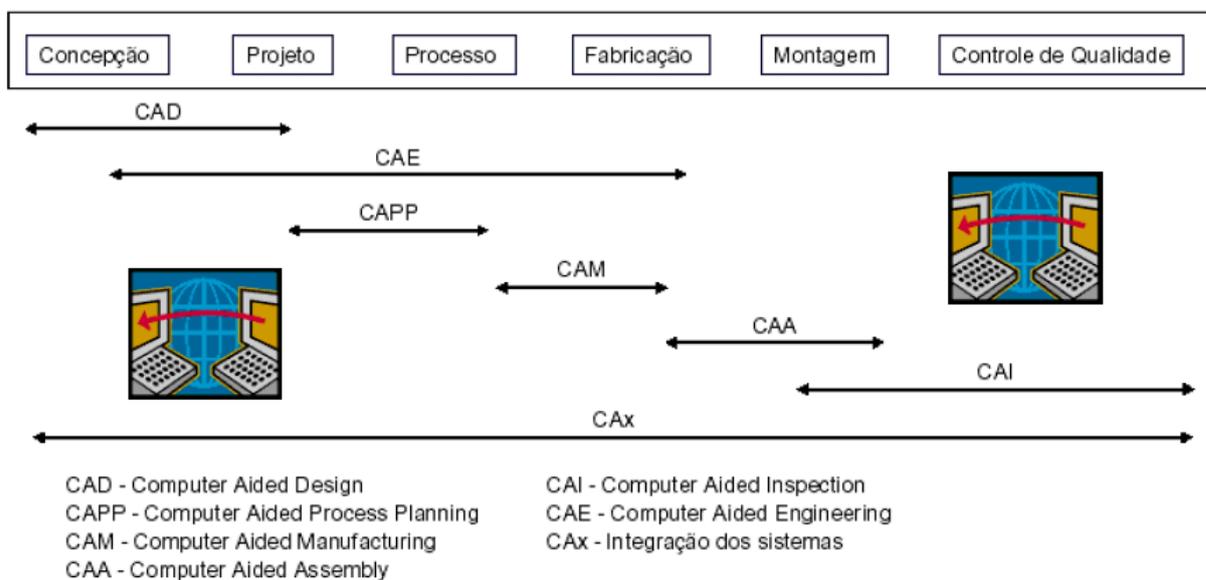


Figura 2 - Etapas da Manufatura¹

¹ (OLIVEIRA, 2011, p. 3)

2.2.1 Tecnologia CAD

O uso da computação no desenvolvimento de projetos de construção teve início na década de 1950, no Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), onde começou a discussão sobre a tecnologia CAD/CAM. Nesta época, os sistemas CAD se limitavam à representação de entidades geométricas em duas dimensões, além da criação e da manipulação dos desenhos em terminais gráficos monocromáticos (BÉZIER, 1993). Estes sistemas já possuíam algumas vantagens, como o envio e recebimento de desenhos por processos eletrônicos, precisão no gerenciamento e maior agilidade na recuperação de informações. Na década de 1970 surgiu uma nova geração de sistemas CAD, com novas técnicas computacionais para a representação de objetos tridimensionais. Em 1982, códigos de programação foram inseridos em uma calculadora para desenhar o modelo 3D da planta de uma usina nuclear na Hungria. Com a realização de melhorias no programa, a companhia proprietária do código começou a atender arquitetos, pois as aplicações desenvolvidas por outras empresas exigiam computadores muito potentes para funcionarem adequadamente (FRANK, 2008).

Alavala (2008) sugere uma definição para CAD como sendo o processo de elaboração de um projeto usando técnicas sofisticadas de computação gráfica, disponibilizadas através de softwares, para auxiliar o usuário na resolução dos problemas de análise, desenvolvimento, custos e ergometria associados à criação do projeto. De acordo com o abrangente conceito de CAD definido pelo autor, o processo CAD pode ser descrito da seguinte forma: quando um projeto conceitual é materializado, inicia-se a criação do modelo geométrico. A escolha da geometria depende do tipo de análise que se deseja fazer no modelo. O sistema CAD, com a utilização de um tradutor, cria um modelo geométrico válido, convertendo o projeto inicial para um formato de dados adequado. Algoritmos são disponibilizados pelo sistema para que seja possível a recuperação de informações a partir do modelo, permitindo que análises de engenharia (CAE) sejam realizadas. Após esta etapa, testes e avaliações podem exigir modificações na geometria do projeto, antes da finalização do mesmo. Quando se obtêm a versão final, dá-se início a elaboração e o detalhamento do modelo, acompanhados pela documentação e pela geração do produto final. A figura 3 ilustra todo o ciclo do processo CAD.

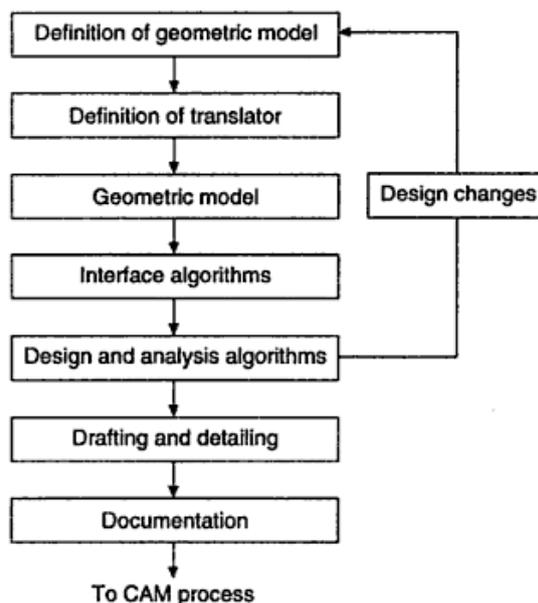


Figura 3 - O Processo CAD²

Atualmente existem vários tipos de sistemas CAD tridimensionais disponíveis no mercado, que são classificados de acordo com o seu modelador geométrico (*kernel*), ou seja, o núcleo do sistema. Esses núcleos são categorizados como: modeladores de sólidos, que são capazes de gerar modelos de objetos sólidos tridimensionais, com centro de gravidade e volume, permitem operações booleanas entre geometrias e são, em geral, de baixo custo; modeladores de superfícies, que utilizam formulações matemáticas complexas, através de funções *spline*, permitindo o modelamento de formas geométricas complexas, principal característica destes sistemas CAD; e modeladores híbridos, que, com a utilização de complexos algoritmos matemáticos, permitem a utilização de recursos das outras duas categorias, aplicando o modelamento mais adequado para cada situação específica, incluindo a parametrização (SOUZA e COELHO, 2003).

2.2.2 Tecnologia CAM

Alavala (2008) afirma que os sistemas CAM são utilizados para planejar, administrar e controlar as operações de fabricação através de uma interface computacional direta ou indireta. O modelo geométrico gerado no CAD serve como base do CAM. As diferentes atividades exigem diferentes informações do processo CAD. Algoritmos de interface são utilizados para extrair informações do banco de dados do CAD. Na etapa de planejamento de

² (ALAVALA, 2008, p 4.)

processo, CAPP (*Computer Aided Process Planning*), que o autor engloba no processo CAM, são selecionados e definidos os processos a serem executados em uma peça de maneira econômica, de acordo com as especificações do projeto, verificando as condições de venda (como volume de vendas e prazos). O documento resultante do planejamento do processo, conhecido como plano de processo, é a base para se realizar o planejamento da produção e serve como referência à produção propriamente dita. Após esta etapa são gerados os programas de Controle Numérico (NC). Estes programas possuem alguns procedimentos que envolvem comandos de movimentação, frequências de rotação (da matéria-prima quando a máquina for um torno ou da ferramenta de corte para uma fresadora), e outros acionamentos dos mecanismos das máquinas que utilizam um Comando Numérico Computadorizado (máquinas CNC). Quando peças são fabricadas, o sistema de controle de qualidade as inspeciona. Aqui, novamente, o autor utiliza um conceito bastante amplo, incluindo no processo CAM as tarefas realizadas por sistemas CAI (*Computer Aided Inspection*). Este processo é realizado através da superposição de uma imagem real da peça sobre uma imagem armazenada no banco de dados. Terminada a fase de inspeção, todas as peças são montadas por máquinas para obter o produto final.

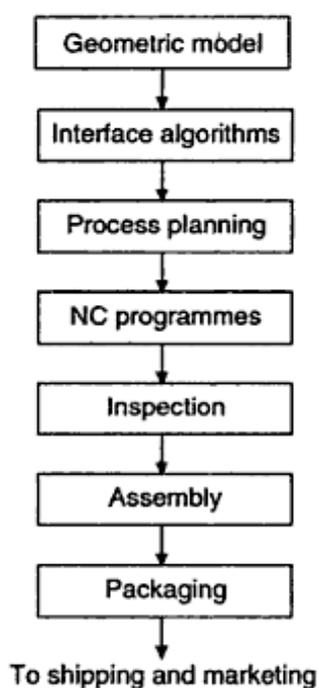


Figura 4 - O Processo CAM³

³ (ALAVALA, 2008, p.5)

Alguns sistemas utilizam uma malha de triângulos sobre a geometria original do CAD, aproximando a representação geométrica real através de um valor de tolerância (figura 5). Algumas empresas que desenvolvem sistemas CAD/CAM encontraram nesta técnica uma maneira eficiente de se trabalhar. Esta metodologia permite uma comunicação simples e conveniente entre sistemas CAD e CAM, pois são apenas transferidas informações por coordenadas cartesianas, permitindo assim uma fácil comunicação entre sistemas CAD/CAM de um mesmo fornecedor ou de fornecedores diferentes que, normalmente, são baseados em diferentes modeladores geométricos. Quanto menor o valor de tolerância melhor será descrita a geometria do modelo, mas isso também gera uma maior quantidade de informação, aumentando o tamanho dos arquivos e o tempo de cálculo do programa NC (SOUZA e COELHO, 2003).

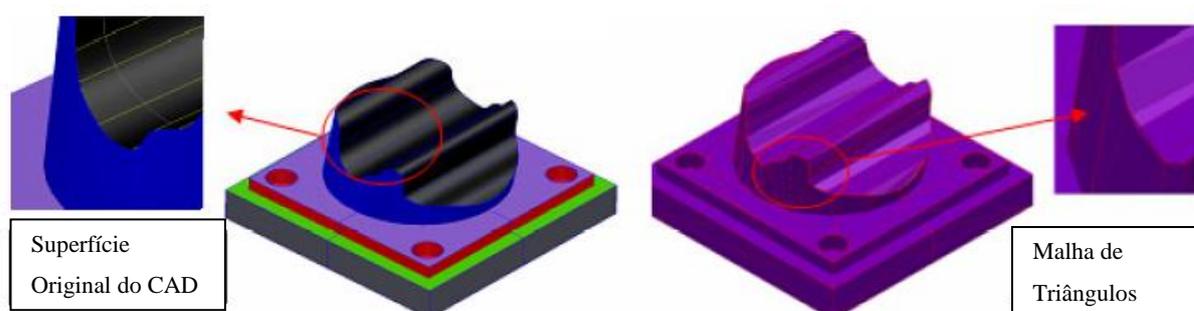


Figura 5 - Geometria Original e Malha de Triângulos Gerada para Transferência de Dados⁴

2.2.3 Tecnologia CAE

Os sistemas CAE são aplicados para analisar a resistência, rigidez e o desempenho de componentes e conjuntos. Estas análises podem ser estáticas, dinâmicas, térmicas, magnéticas, de fluidos, acústicas, de impacto e modos de vibração. A utilização destes sistemas permite uma série de testes com diferentes parâmetros, reduzindo a necessidade de construção de protótipos para a realização dos mesmos, o que significa economia de tempo e dinheiro. Programas que realizam análise de cinemática, por exemplo, pode ser utilizados para determinar movimentos e velocidades dos mecanismos. Outros programas podem ser utilizados para determinar cargas e deslocamentos em componentes complexos, como automóveis. Também existem programas para verificar a operação de sistemas de circuitos lógicos complexos (LEE, 1999).

⁴ (SOUZA e COELHO, 2003, p. 7)

Os softwares CAE utilizam modelos digitais para simular fenômenos físicos reais através de métodos numéricos aproximados. Os sistemas mais conhecidos são baseados no método de elementos finitos, que consiste na separação do modelo CAD em pequenas partes, resolvendo, então, um conjunto de equações diferenciais para obter os resultados desejados, de acordo com as cargas aplicadas e com as condições de contorno. Sua principal vantagem é permitir testes, simulações e possivelmente validações de um produto 3D sem a necessidade de construí-lo. Os requisitos computacionais ainda são muito elevados para aplicações na plataforma PC, implicando em um custo elevado de hardware, sua principal desvantagem. Os softwares também possuem um custo considerável, assim como a formação necessária para manuseá-los (FIGUEIRA, 2003). A figura 6 ilustra o diagrama de contexto dos sistemas CAD/CAM/CAE.

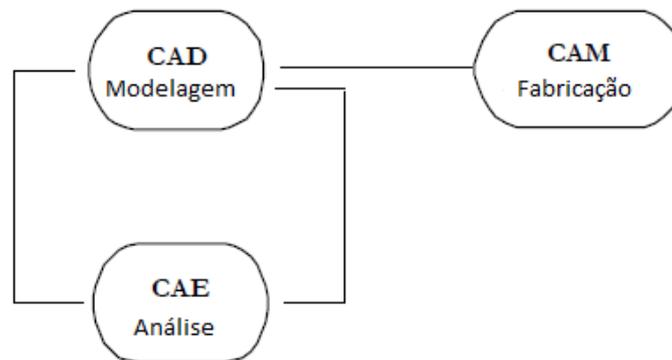


Figura 6 - Diagrama de Contexto - CAD/CAM/CAE

2.3 Tecnologia BIM

Building Information Modeling (BIM), que significa tanto Modelo de Informação da Construção quanto Modelagem de Informação da Construção, pode ser definido como uma ferramenta utilizada pela indústria de design para desenvolver e documentar um projeto, além de proporcionar uma melhor comunicação entre todos os participantes do mesmo projeto (KRYGIEL e NIES, 2008). O termo BIM foi criado pela empresa americana Autodesk em meados dos anos 1990 para promover o seu novo CAD, o *Revit*. A idéia era reunir em um único conceito o conjunto de funcionalidades integradas oferecidas pelo novo produto, incluindo o marketing. Semelhantemente à modelagem do produto, o BIM abarca um amplo espectro de conceitos, atividades, técnicas, ferramentas e atores, reunidos em relacionamentos

complexos e distribuídos por todas as atividades inerentes à indústria da construção (AYRES FILHO, 2009).

O BIM se apresenta como um dos desdobramentos mais atuais dos conceitos propostos pela Engenharia Simultânea aplicados à construção civil. Ferreira (2007) define Engenharia Simultânea como sendo um conjunto de conceitos aplicados em diversas áreas profissionais (em especial na indústria de produção em massa como a automobilística e a aeronáutica) onde o foco principal é sugerir mudanças gerenciais que permitam o trabalho em paralelo, atingindo, assim, um tempo menor de produção e aproveitando todas as vantagens que esta redução pode representar.

Uma característica fundamental do BIM é o desenvolvimento através de um *feedback* constante: como grupos de pessoas diferentes fazem parte do projeto, as modificações e aperfeiçoamentos são processados automaticamente nas planilhas de custos, nas plantas baixas e elevações da construção, permitindo um incremento significativo na qualidade da comunicação e, conseqüentemente, na qualidade do produto final (SOUZA et al, 2009). Essa abordagem permite a simulação de um projeto de construção em um ambiente virtual. Uma das vantagens é realizar essa simulação em computadores através de softwares específicos. A construção virtual permite a realização de experimentos, modificações e a identificação de erros antes da atualização do projeto. Erros em um ambiente virtual não geram grandes problemas quando são identificados no início do processo e diferentes aspectos do projeto são abordados antes da finalização das instruções para a construção efetiva (KYMMELL, 2008).

Devido a sua amplitude, o BIM pode ser mais facilmente compreendido se for abordado em diferentes níveis de abstração, sendo níveis mais altos relacionados com o contexto da aplicação da tecnologia, e os mais baixos relacionados com os aspectos mais técnicos das suas ferramentas. A iniciativa de regulamentação da modelagem de produtos para a indústria de obras de infraestrutura nos Estados Unidos, criada pela *National Building Modeling Information Standard (NBIMS)*, por exemplo, adota um esquema de abstração em três níveis: BIM é entendido como um produto, como uma ferramenta e como um processo. Como um produto, BIM refere-se ao modelo da edificação, ou seja, uma entrega do processo de projeto baseado em padrões abertos e criado por ferramentas de informação. Como ferramenta, BIM refere-se às aplicações que interpretam o modelo da edificação e agregam informações e representações a ele, chamadas *BIM authoring tools*. Por fim, BIM é entendido

como um processo colaborativo formado por atividades desenvolvidas durante todo o ciclo de vida da edificação (NIBS, 2007).

2.3.1 Vantagens do BIM

Segundo CRESPO e RUSCHEL (2007), o maior benefício com a utilização do BIM é compartilhar um único modelo digital integrado, consistente, capaz de suportar todos os aspectos no ciclo de vida de um projeto. Dentre estes aspectos se destacam a colaboração e a simulação. Em um mercado dinâmico e cada vez mais complexo, a utilização de ferramentas computacionais compatíveis se torna fundamental. O envolvimento de diversos profissionais das mais diferentes áreas faz com que o desenvolvimento colaborativo seja um fator determinante no sucesso de um projeto, tanto na integração quanto no gerenciamento dos processos. BIM possui um repositório onde as informações são armazenadas de modo padronizado, que recebe novas informações dos participantes do projeto de construção de maneira organizada, garantindo a integridade e a qualidade dos dados. Existem registros com todas as mudanças realizadas e as visões modificadas são atualizadas automaticamente. Outro aspecto importante do BIM é a simulação. Através dela é possível experimentar e visualizar a realidade de inúmeras formas, a partir da construção de modelos tridimensionais, utilizando os conceitos da Realidade Virtual, antes que eles sejam erguidos no plano real. Uma visão sistêmica, através da simulação, permite compreender a totalidade e suas partes inter-relacionadas e interdependentes que interagem e assim compreender os resultados e tomar decisões apropriadas.

Outras vantagens da utilização do BIM são (CRCCI, 2007):

- Processos mais rápidos e efetivos: a informação é compartilhada mais facilmente, pode receber novos valores e ser reutilizada;
- Melhor qualidade do projeto: as construções propostas podem ser rigorosamente analisadas, simulações podem ser realizadas facilmente e o desempenho aferido, permitindo soluções melhoradas e inovadoras;
- Controle sobre custos e informações ambientais: o desempenho ambiental é mais previsível e os custos envolvidos são melhores compreendidos;

- Melhor qualidade de produção: a documentação gerada é flexível e explora a automação;
- Fabricação automatizada: dados do produto digital podem ser explorados e serem usados para a fabricação/montagem de sistemas estruturais;
- Melhor serviço ao cliente: as propostas são compreendidas com mais facilidade através da visualização exata;
- Dados do ciclo de vida: informações sobre os requisitos, projeto, construção e operações podem ser usadas na gestão de instalações.

2.4 Realidade Virtual

O termo Realidade Virtual foi criado no final da década de 1980 por Jaron Lanier, um artista e cientista da computação, para ilustrar a idéia de uma nova tecnologia: a fusão do real com o virtual (KIRNER e TORI, 2004).

“A Realidade Virtual (RV) é uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais gerados por computador.” (KIRNER e SISCOUTTO, 2007, p. 7).

Esta técnica permite a navegação e visualização em tempo real de um mundo em até três dimensões, com seis graus de liberdade. Isto mostra a capacidade de definição, por parte do software, e de reconhecimento, por parte do hardware, de seis tipos de movimento: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/ direita e rotação horária e anti-horária em torno dos eixos X, Y e Z, conforme a figura 7. O usuário pode interagir em tempo real com o mundo virtual e manipular diretamente os objetos ao seu redor (LIMA, 2001).

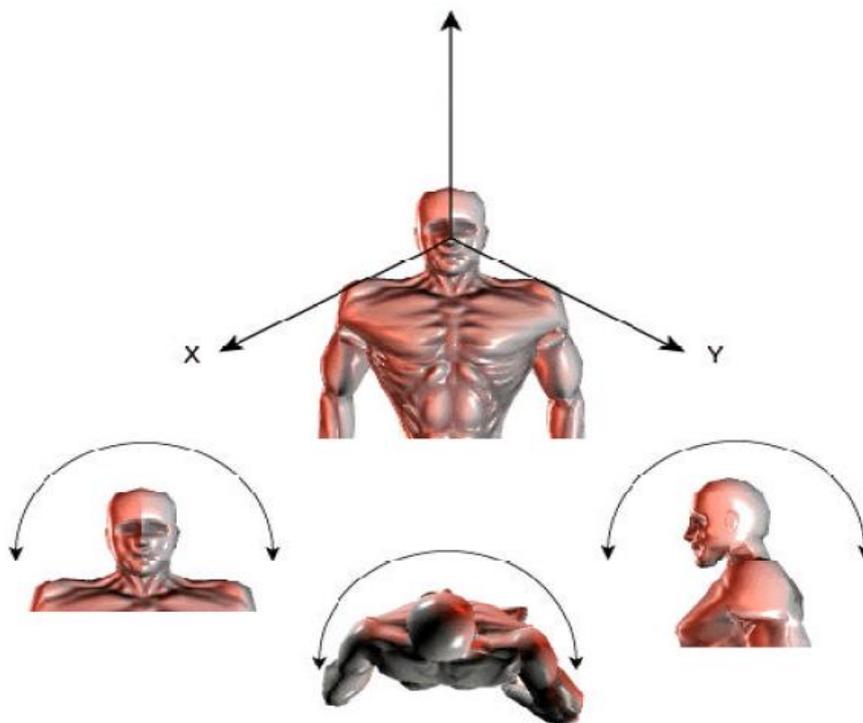


Figura 7 - O Mundo em Três Dimensões e Seis Graus de Liberdade (6GDL)⁵

O conceito de realidade virtual surgiu em meados dos anos 1950, quando um cineasta chamado Morton Heilig achou que a experiência no cinema permitiria a imersão dos expectadores no filme, estimulando os sentidos do público. Em 1960 ele construiu um console de usuário simples, chamado Sensorama, que incluía um display estereoscópico, ventiladores, aromas, alto-falantes estéreos e uma cadeira móvel. Em 1961 os engenheiros da Philco Corporation desenvolveram um capacete que seria utilizado em situações perigosas: o capacete era composto por uma tela de vídeo e um sistema de rastreamento que era ligado a sistema de câmeras, permitindo que o usuário pudesse visualizar um ambiente remotamente, modificando a posição das câmeras com o movimento da cabeça (STRICKLAND, 2007).

A interação mais simples em ambientes virtuais é a navegação, na qual o usuário se movimenta entre os objetos tridimensionais, através de um mouse ou de algum outro equipamento que detecte movimentos, resultando na visualização do ponto de vista do cenário. Neste caso o cenário não é alterado, e sim explorado. A interação propriamente dita ocorre quando o usuário altera ou manipula os objetos do ambiente através de seus movimentos.

⁵ (LIMA, 2001, p. 10)

3. ARQUITETURA DO SISTEMA

Este capítulo descreve com detalhamento a metodologia aplicada na concepção da arquitetura do sistema desenvolvido neste trabalho. As fases são fundamentadas em uma estrutura de abordagem proposta por Prince (1975) e reforçada por Pressman (2006) para o desenvolvimento de sistemas de informações. A figura 1 apresentada no capítulo 1 ilustra esta abordagem.

3.1 Levantamento de Requisitos e Concepção do Software

Nesta primeira fase da metodologia foram identificados os processos envolvidos nas atividades realizadas pela indústria moveleira local e como estes processos estão relacionados. A investigação ocorreu em três níveis: operacional, gerencial e estratégico.

O nível operacional se caracteriza por ser composto pelas atividades do dia a dia da organização. Além de rotineiras, geralmente as operações são volumosas e trabalhosas, onde a experiência do funcionário é de vital importância para a correta execução das tarefas, como a geração de relatórios orçamentários dos projetos e a atualização das informações de custos relativos à aquisição de matéria-prima e de produtos obtidos de outros fabricantes. Aumentar a eficiência operacional significa aumentar a produtividade, gerando economia de recursos (FERRARI JUNIOR, 1997). A automatização de atividades do nível operacional, como uma linha de montagem, tem o potencial de gerar esse tipo de benefício. Foi proposta a inclusão de ferramentas para a automação das atividades operacionais no sistema de informações desenvolvido, visando o aumento da produtividade e a economia de recursos.

No nível gerencial foram analisadas como as diferentes partes do processo de produção estão interligadas e de que maneira esta comunicação é feita. Analisando-se as ferramentas disponíveis e os recursos utilizados, novas formas de comunicação foram propostas, com o objetivo de garantir a disponibilidade das informações no exato momento em que elas se fazem necessárias e garantir que estas informações serão apresentadas de forma clara, evitando equívocos e impedindo a perda de dados durante o fluxo entre os diferentes setores da empresa. Nesta etapa identificou-se a necessidade da utilização de um sistema de codificação para classificar as peças produzidas pela empresa de uma forma hierárquica, baseada nos conceitos da Tecnologia de Grupo.

A Tecnologia de Grupo (TG) é uma filosofia de manufatura na qual peças ou outros objetos (planos de processo, produtos, montagens, ferramentas, etc.) similares são identificados e agrupados para se aproveitar as vantagens de suas similaridades nas diversas atividades da empresa (projeto, manufatura, compras, planejamento e controle da produção, etc.). Seu uso permite uma maior padronização dos componentes de um produto, evitando a duplicação. O armazenamento das informações em uma base de dados permite que profissionais com menos experiência possam recuperá-las e utilizá-las em novos projetos (TATIKONDA e WEMMERLÖV, 1992).

Curry e Feldman (2008) definem Tecnologia de Grupo como sendo a análise das operações de processamento com o objetivo de determinar a similaridade das funções e, então, agrupar as partes associadas para fins de produção. Já Ferreira (2004) diz que Tecnologia de Grupo é “a percepção de que muitos problemas são similares, e que agrupando problemas similares, uma solução única pode ser encontrada para um conjunto de problemas, poupando-se assim tempo e esforço”. Esta tecnologia tira vantagem da similaridade entre os processos de desenho e produção de componentes distintos, classificando e codificando as peças semelhantes. Segundo HYER e WEMMERLÖV (1984) o aproveitamento dessas similaridades ocorre de três maneiras:

- executando atividades similares em conjunto, evitando a perda de tempo com as alterações necessárias para mudar de uma atividade para outra não relacionada, por exemplo: a fabricação em sequência de peças semelhantes reduz o tempo gasto com a mudança de configuração do equipamento entre as operações;

- padronizando as atividades similares e relacionadas, focando assim apenas nas diferenças necessárias e impedindo duplicação de esforços (ex.: redução da variedade de parafusos utilizados);

- armazenando e recuperando informações de forma eficiente, principalmente as relacionadas com problemas repetidos, reduzindo assim o tempo de procura por informações, bem como eliminando a necessidade de resolver novamente um problema já solucionado (ex.: utilizar em um novo produto os componentes de outro já existente).

No nível estratégico o enfoque ocorreu nas informações que podem servir de subsídio aos gestores na tomada de decisão em diferentes aspectos da empresa, como o aumento da rentabilidade, capacitação dos funcionários e adoção de novas tecnologias. Estas informações

abrangem valores de orçamentos, redução no tempo médio de criação de projetos e maior agilidade na etapa de fabricação com base em relatórios mais eficientes. Neste momento também foi definido o escopo do sistema, com o intuito de desenvolver uma nova arquitetura composta por sistemas que permitissem um aumento na produtividade da empresa, tornando os processos mais ágeis e provendo uma melhor integração entre o setor de projetos e o setor de fabricação, possibilitando o alcance dos objetivos estratégicos, que são: aumentar a satisfação dos clientes, melhorar a imagem da empresa perante os (potenciais) clientes e parceiros, aumentar a margem de lucro e aumentar a participação da empresa nos segmentos de mercado em que atua (FERRARI JUNIOR, 1997).

3.2 Estudo da Viabilidade e Projeto Lógico

Com todas as informações levantadas na etapa anterior iniciou-se um processo de busca e análise de ferramentas disponíveis no mercado que pudessem dar suporte a arquitetura a ser desenvolvida. Foi feita uma busca por softwares livres que pudessem ser utilizados em conjunto para permitir uma comunicação mais eficaz entre os envolvidos no processo, através de uma interface simples e amigável, tornando a realização dos processos mais eficiente.

A concepção do projeto lógico tinha como objetivo criar uma estrutura capaz de armazenar as informações julgadas como relevantes na etapa anterior da metodologia, permitindo que as mesmas fossem organizadas e estruturadas para serem utilizadas de uma maneira eficiente pelas ferramentas escolhidas para compor o sistema. Utilizando-se a metodologia proposta por CARVALHO (2010) de classificação de componentes para a composição de móveis modulados, foram definidas duas classes básicas para esta composição: *acessórios* e *partes*. Os elementos classificados como acessórios caracterizam-se por não serem fabricados pela própria empresa, ou seja, são obtidos de outros fabricantes. Já elementos classificados como partes são peças indivisíveis fabricadas pela própria empresa. A classe *conjunto* é formada por elementos compostos pela combinação de acessórios e/ou partes. Os elementos da classe *módulo* são compostos por qualquer combinação das classes anteriores que envolva pelo menos um componente da classe conjunto. O esquema hierárquico de classificação das entidades pode ser visto na figura 8.

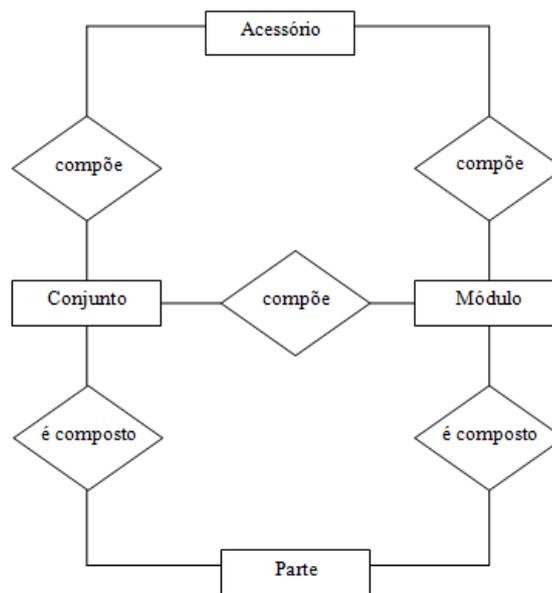


Figura 8 – Classificação Hierárquica de Entidades Utilizadas em Móveis Modelados

Um puxador de gaveta, por exemplo, componente obtido de outros fornecedores, é classificado como acessório. Uma placa de fibra de madeira utilizada como lateral de um armário é classificada como parte. A combinação entre a placa de fibra e um puxador, formando a porta de um armário, é classificada como conjunto. Já a combinação de vários conjuntos, formando um armário completo, é um módulo. Estas relações são ilustradas na figura 9.

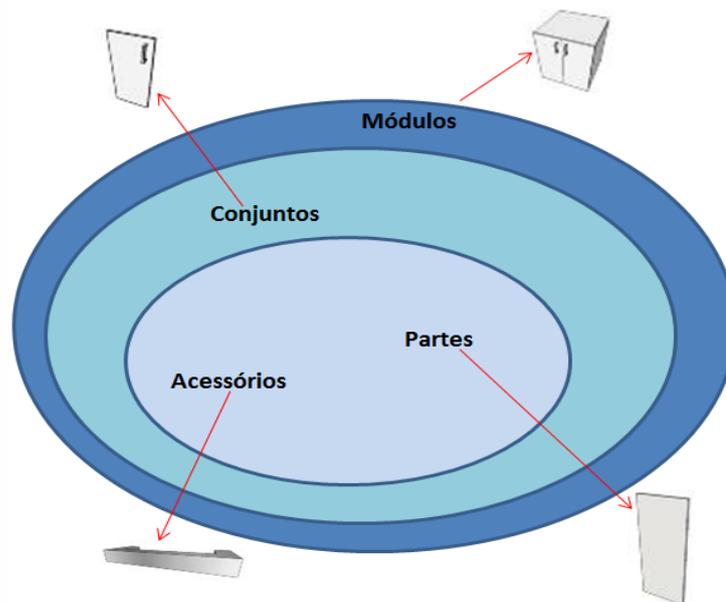


Figura 9 - Exemplo do Esquema Hierárquico de Classificação

A maior parte das aplicações da Tecnologia de Grupo é baseada na classificação e codificação das partes, que descreve as características básicas de uma peça, de acordo com sua forma geométrica e/ou método de produção. O agrupamento das peças semelhantes permite que o planejamento do processo, a manufatura e a estimativa de custos sejam efetuados em geral de forma mais eficiente. O termo “classificação” significa o agrupamento de peças, baseado nas suas similaridades e/ou dissimilaridades. Um código pode ser uma combinação de números e/ou letras, que são atribuídos às peças para o armazenamento e processamento desta informação. É importante que, ao se construir este sistema, haja a garantia de que o mesmo englobe todas as possibilidades, seja mutuamente exclusivo, seja baseado em características permanentes e que seja baseado no ponto-de-vista do usuário.

3.3 Sistema de Codificação dos Móveis Modulados

O sistema de codificação proposto por CARVALHO (2010) é composto por poli-códigos, ou seja, cada dígito do código tem seu próprio significado e identifica determinada característica do produto, como o tipo, a funcionalidade e a qual linha de móveis o produto pertence. Uma linha de móveis é um conjunto de itens que possuem o mesmo estilo, são fabricados com materiais semelhantes, possuem acabamentos parecidos e são destinados para um mesmo ambiente. As linhas de móveis podem ser classificadas como: cozinha, dormitório, escritório, entre outros. Para identificar a qual linha de móveis o item pertence, utilizam-se dois dígitos em seu código: *uma letra do alfabeto + número de um dígito*.

Esta codificação permite até nove linhas de móveis para cada letra do alfabeto. Para as linhas de móveis citada anteriormente, os códigos são:

Linha Cozinha: **C1, C2, C3,...., C9**

Linha Dormitório: **D1, D2, D3,...., D9**

Linha Escritório: **E1, E2, E3,...., E9**

A codificação de um acessório deve identificar a qual linha de móveis o mesmo pertence, além da sua funcionalidade (puxador, rodízio, perfil). O código deve ser composto de: *abreviação da funcionalidade do Acessório + código da linha de móveis + número de dois dígitos que identificam o Acessório*.

Esta codificação suporta até 99 acessórios para cada linha de móveis. Exemplos:

Puxador 01 da linha de escritório E1: **PXE101**

Rodízio 01 da linha de escritório E1: **RDE101**

O mesmo acontece com a codificação de uma parte, que deve identificar a qual linha de móveis a parte pertence e também qual é a sua funcionalidade (lateral, base, tampo, fundo, frente, prateleira, painel, porta). O código deve ser composto de: *abreviação da funcionalidade da Parte + código da Linha de móveis + número de três dígitos que identifica cada parte daquela funcionalidade*. Esta codificação suporta até 999 partes para cada tipo de funcionalidade para uma linha de móveis. Exemplos:

Lateral de mesa da linha de escritório E3: **LTE3001**

Base de armário da linha de escritório E3: **BSE3001**

Fundo de armário da linha de escritório E3: **FDE3001**

No caso dos conjuntos e dos módulos seus respectivos códigos devem identificar a quais linhas de móveis os mesmos pertencem. O código de um conjunto deve ser composto de: *abreviação CJ + código da Linha de Móveis + número dois dígitos de identificação única do Conjunto*. Esta codificação suporta até 99 conjuntos para cada linha de móveis.

Exemplo: Conjunto de porta e puxador da linha de escritório E2: **CJE201**

O código de um Módulo deve ser composto de: *abreviação MD + código da Linha de Móveis + número de dois dígitos de identificação única do módulo*. Esta codificação suporta até 99 Módulos para cada linha de móveis. Exemplos:

Módulo 01 da linha de escritório E1: **MDE101**

Módulo 10 da linha de cozinha C5: **MDC510**

3.4 Projeto Físico

Para permitir o armazenamento das informações dos elementos pertencentes a cada classe citada anteriormente foi construído um banco de dados onde cada classe representa uma entidade (tabela) em sua estrutura. Tabelas adicionais foram criadas para permitir o cadastro das composições dos elementos das classes complexas, permitindo, assim, a geração detalhada de cada produto, em uma etapa posterior, pois a relação de composição é

armazenada no próprio banco de dados. Após uma análise dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados livres disponíveis no mercado, o MySQL foi escolhido para compor a estrutura do sistema.

O diagrama entidade-relacionamento simplificado que foi implementado no MySQL é mostrado na figura 10.

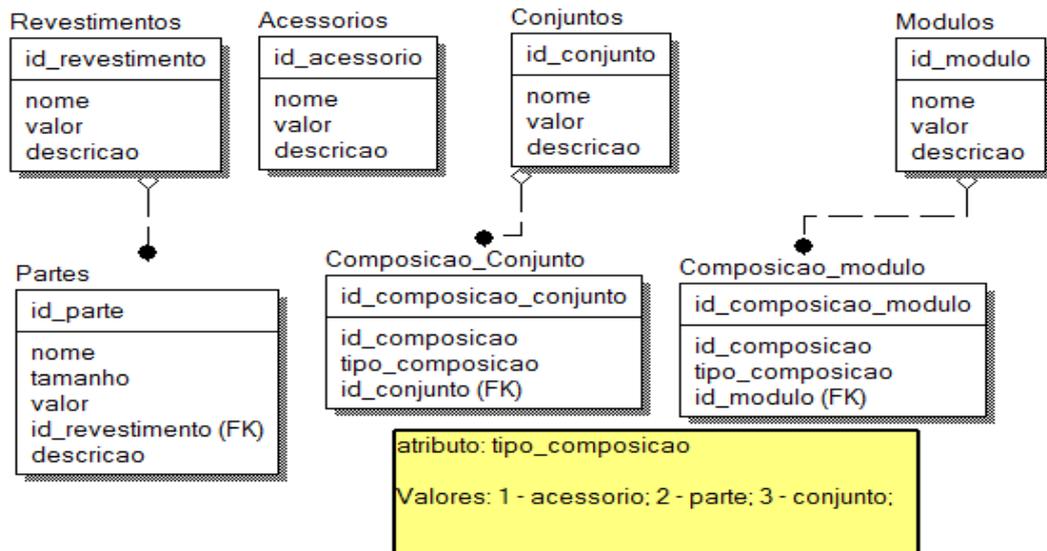


Figura 10 – DER Simplificado do Banco de Dados para os Metadados dos Modelos

A entidade de revestimento armazena as informações sobre os revestimentos utilizados em entidades classificadas como parte.

Para a elaboração dos modelos 3D dos componentes, que terão atributos cadastrados no banco de dados citado anteriormente, é necessária a adoção de um software CAD tridimensional. Considerando-se os softwares CAD tridimensionais disponíveis no mercado, a escolha do *Google SketchUp* se deu pela facilidade de utilização do seus recursos, além de possuir uma API própria que permite a criação de novos recursos para este software como também a conexão com diversos SGBD's, como o MySQL. É importante ressaltar que a arquitetura projetada funcionaria com outros sistemas CAD disponíveis no mercado, bastando apenas que *plugins* específicos fossem criados para permitir a conexão entres estes sistemas e o banco de dados desenvolvido.

3.3.1 MySQL

O MySQL é o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) livre mais popular do mundo devido a sua alta performance, confiança e facilidade de uso. Sua utilização foi adotada em grandes empresas mundiais, como Google, Facebook, Adobe e é utilizado para gerenciar a grande quantidade de informações dos seus *websites*, dar suporte a seus sistemas de negócios e fazer parte dos seus pacotes de softwares. O MySQL pode ser executado em mais de vinte plataformas, incluindo o Linux, Windows, Mac OS, Solaris, HP-UX, IBM AIX, entre outros, dando aos usuários uma grande flexibilidade e controle (MYSQL, 2011). A utilização de um banco de dados trás uma série de vantagens, como por exemplo:

- Compartilhamento de informações;
- Diminuição na redundância de dados;
- Redução de inconsistência;
- Suporte ao controle de transações;
- Definição de padrões dos dados;
- Maior segurança das informações.

O MySQL foi utilizado neste trabalho para o armazenamento e gerenciamento das informações relativas aos modelos criados no ambiente *Google SketchUp*. Estas funcionalidades permitem que as informações dos modelos, ou seja, metadados, sejam importadas para o ambiente através do *plugin* desenvolvido, que será descrito no capítulo seguinte, viabilizando, assim, a geração de relatórios, além de permitir que estas informações fiquem disponíveis para consultas realizadas pelos participantes do projeto.

3.3.2 Google SketchUp

O *Google SketchUp* é um software *desktop* que pode ser executado nos sistemas operacionais Windows, Linux e Machintosh e que permite a criação de desenhos tridimensionais. Ele é um modelador de superfície, ou seja, todas as formas são compostas por pequenas superfícies chamadas faces. Os modeladores de superfícies permitem a criação de modelos rapidamente, pois o desenvolvedor deve se preocupar apenas com a aparência deles. Isso não significa que estes modeladores sejam menos capazes, mas sim que seu objetivo

principal é a visualização (SKETCHUP, 2012). A tela principal do software é exibida na figura 11.

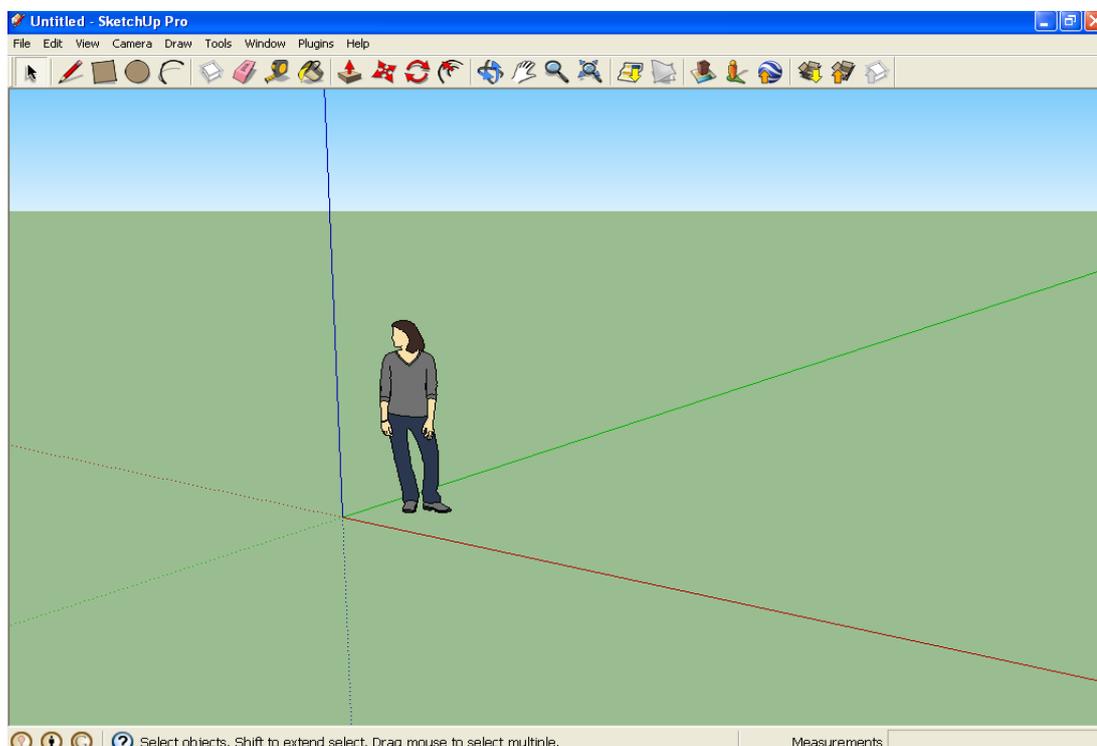


Figura 11 - Tela Inicial do Google SketchUp 8 Pro

Com o *Google SketchUp* é possível realizar uma série de tarefas, tais como (SKETCHUP, 2012):

- Desenhar modelos de construções, móveis e objetos presentes no dia-a-dia;
- Criar projetos com detalhes internos e externos, como uma casa com salas individuais;
- Desenhar rapidamente elementos arquiteturais específicos, como telhados inclinados e complexos;
- Criar partes reutilizáveis em outros modelos;
- Adicionar cores e texturas de maneira simples;
- Criar paisagismo em torno dos edifícios;
- Adicionar efeitos de sombra de modo preciso, baseados em localização geográfica, data e hora;
- Inserir o modelo na localização específica no mapa do Google Earth;
- Desenvolver modelos 3D a partir de fotografias ou desenhos 2D;
- Produzir animações 'walk-through';

Para o desenvolvimento do *plugin* foram utilizadas as funções disponibilizadas pela API do *Google SketchUp*, permitindo interações com as estruturas internas do software. Uma API é um conjunto de funções e rotinas estabelecidas por um software que permite a utilização de seus recursos por aplicativos que não pretendem se envolver com os detalhes da sua implementação, mas sim utilizar os seus serviços. Com a utilização da API do *Google SketchUp* é possível criar ferramentas de desenhos personalizadas, novas opções de menu, anexar informações aos modelos geométricos, entre outros recursos. As funções da API são escritas utilizando-se a linguagem de programação *Ruby*. Programas escritos em *Ruby* são chamados de '*scripts*' e através deles é possível manipular todas as estruturas do programa através de um *plugin* da mesma forma que é feito utilizando-se as ferramentas na janela principal do software. Tanto a versão gratuita quanto a versão paga do *Google SketchUp* suportam a utilização de *plugins*.

3.3.3 Linguagem de Programação *Ruby*

Ruby é uma linguagem de programação de propósito geral, orientada a objeto, que combina sintaxes das linguagens *Perl* e *Smalltalk*. Originada no Japão, na década de 1990, *Ruby* suporta múltiplos paradigmas de programação, incluindo o funcional, orientado a objeto, imperativo e reflexivo. Também possui um sistema de tipagem dinâmica e administração automática de memória. Possui semelhanças em vários aspectos com *Smalltalk*, *Python*, *Perl*, *Lisp*, *Dylan*, *Pike*, e *CLU*, mas possui uma gramática mais simples de aprender do que as linguagens de programação *C* e *Java*. (RUBY, 2011). Menegotto e Mierlo (2002) citam outras características da linguagem *Ruby*, como:

- É uma linguagem interpretada, ou seja, não é necessário recompilar os códigos, basta utilizar o interpretador para executá-los;

- Por ser uma linguagem orientada a objetos pura, tudo na linguagem é tratado como objeto. Inteiros, strings, estruturas de decisão, blocos de controle, loops, tudo é feito através de mensagens entre objetos;

- A facilidade e simplicidade da gramática permitem a criação de programas mais elegantes e legíveis, facilitando a compreensão de outros programadores na hora de realizar a manutenção dos códigos;

- *Ruby* é altamente portátil, ou seja, pode ser executado da mesma forma em sistemas operacionais diferentes;

- Gerenciamento automático de memória: periodicamente o interpretador aloca pequenos pedaços de memória para que não falte memória para o programa em execução. Um *garbage collector* encarrega-se de todos os objetos que não são referenciados durante muito tempo, facilitando assim a vida do programador, que não precisa desalocar blocos de memórias para objetos;

- Execução de tarefas simultâneas através de múltiplos *threads* ou através de múltiplos processos. A linguagem implementa *threads* totalmente em nível de usuário, o que a torna independente de sistema operacional.

Abaixo um exemplo de programa '*Hello World*' escrito em Ruby:

```
def sayHello(name)
  result = "Hello, " + name
  return result
end

# Hello World!

puts sayHello("World")
```

Neste trabalho foi utilizada a linguagem de programação *Ruby* no código-fonte do *plugin* executado dentro do *Google SketchUp*, pois a API disponibilizada traz esta linguagem embutida. Com os procedimentos contidos na API foi possível criar as interfaces do *plugin*, como janelas e botões, bem como realizar a comunicação entre o software e o banco de dados que armazena as informações não-geométricas de cada componente criado, pois através das funções disponibilizadas é possível realizar a conexão com a base de dados, trazendo para o ambiente *SketchUp* os valores armazenados.

Através de comandos *Ruby* também é possível salvar e importar os modelos no formato proprietário do *SketchUp* (*skp*) ou de qualquer outro formato suportado pelas diferentes versões deste software. Estes modelos ficam armazenados em um repositório distribuído e o *plugin* possui um arquivo de configuração onde os parâmetros de conexão (endereço do repositório, usuário e senha de acesso) são informados. Com estas informações e utilizando um computador com conexão a *internet* (caso o servidor com o repositório esteja

em uma rede externa), o plugin se conecta ao servidor e através de requisições FTP (*File Transfer Protocol*) realiza a atualização dos modelos quando os mesmos são modificados ou faz a importação de modelos disponíveis a partir da própria interface de busca do *plugin*. Os arquivos contendo o código-fonte do *plugin* são adicionados na pasta específica para *plugins* existente no software, fazendo com que o código seja lido e executado ao se iniciar a aplicação. É neste momento que as opções relacionadas às funções que o *plugin* possui são exibidas no menu principal do *Google SketchUp*, que fica na parte superior da tela inicial.

4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O desenvolvimento do sistema baseado na arquitetura concebida através das etapas descritas no capítulo anterior foi realizado a partir da construção de dois módulos: uma interface *web* para gerenciamento dos dados de todos os componentes existentes na biblioteca de móveis modulados da empresa e uma ferramenta CAD tridimensional que utiliza um *plugin* específico para acessar as informações referentes a cada um destes componentes. Os dois módulos possuem uma interface com o banco de dados onde todas as informações foram inseridas, garantindo, assim, a concentração dos metadados. O software CAD, com o apoio do *plugin* desenvolvido, ainda possui uma conexão com um repositório distribuído de modelos, onde os arquivos com as informações geométricas de cada componente ficam armazenados. O relacionamento descrito anteriormente é ilustrado na figura 12.

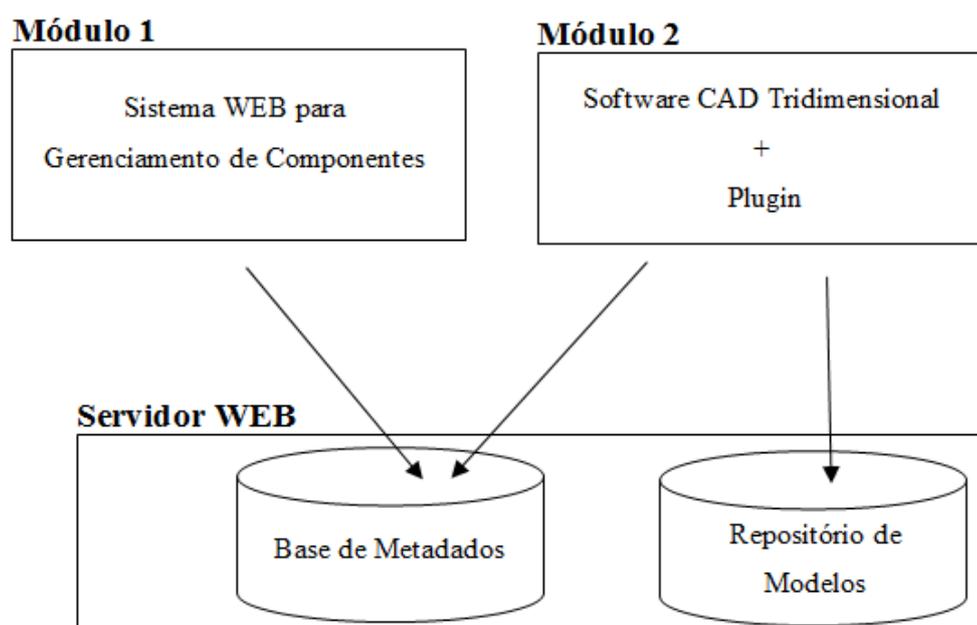


Figura 12 - Relacionamento Entre os Módulos que Compõe o Sistema

Além dos módulos citados anteriormente, neste trabalho foi desenvolvido um ambiente *web* que permite a criação de projetos 3D diretamente em um navegador *web*, a partir dos modelos criados com as ferramentas que compõe estes módulos. O funcionamento deste ambiente será descrito no capítulo seguinte.

4.1 Módulo 1: Sistema WEB para Gerenciamento de Componentes

Para gerenciar as informações das peças antes de se criar o modelo geométrico propriamente dito no ambiente *SketchUp* foi construída uma interface *web*. A tela principal é exibida na figura 13.



Figura 13 - Tela Inicial da Interface WEB para Gerenciamento dos Metadados das Peças

Através deste sistema o usuário pode cadastrar as informações solicitadas de acordo com a classificação da nova peça, editar informações de peças previamente cadastradas e excluir peças. A utilização de um sistema *web* permite que o cadastro possa ser feito por qualquer usuário com acesso a *internet* mediante autorização de acesso, além de desvincular a tarefa de cadastro dos dados da tarefa de desenhar o modelo de cada peça. Assim é possível que o cadastro das informações seja realizado em um momento e que o modelo geométrico seja desenhado posteriormente, inclusive por outro usuário, com a utilização do *plugin* desenvolvido neste trabalho. O sistema *web* foi desenvolvido utilizando a arquitetura MVC - *Model-View-Controller* (LEFF e RAYFILED, 2001), cujo esquema é mostrado na figura 14.

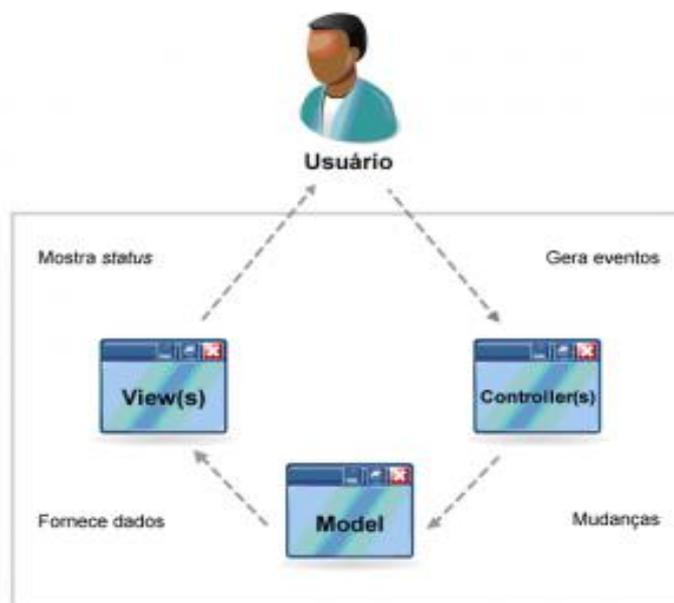


Figura 14 - Diagrama MVC Utilizado na Criação do Sistema WEB

A arquitetura MVC permite a divisão das funcionalidades envolvidas na manutenção e na apresentação dos dados de uma aplicação. Este modelo isola a lógica da aplicação da interface do usuário, permitindo desenvolver, editar e testar separadamente cada parte. Na arquitetura MVC o modelo representa os dados da aplicação, as regras do negócio que governam o acesso e a modificação dos dados. O modelo mantém o estado persistente do negócio e fornece ao controlador a capacidade de acessar as funcionalidades da aplicação encapsuladas pelo próprio modelo. Um componente de visualização renderiza o conteúdo de uma parte particular do modelo e encaminha para o controlador as ações do usuário; acessa também os dados do modelo via controlador e define como esses dados devem ser apresentados. Um controlador define o comportamento da aplicação, é ele que interpreta as ações do usuário e as mapeia para chamadas do modelo (LEFF e RAYFILED, 2001).

Em um cliente de aplicações *web* essas ações do usuário poderiam ser cliques de botões ou seleções de menus. As ações realizadas pelo modelo incluem ativar processos de negócio ou alterar o estado do modelo. Com base na ação do usuário e no resultado do processamento do modelo, o controlador seleciona uma visualização a ser exibida como parte da resposta a solicitação do usuário. Há normalmente um controlador para cada conjunto de funcionalidades relacionadas (LEFF e RAYFILED, 2001).

De acordo com a classificação realizada utilizando-se os conceitos da Tecnologia de Grupo, foram criados formulários para cadastrar as informações dos componentes pertencentes a cada uma dessas classes, de acordo com as suas especificidades.

4.1.1 Cadastrar Acessório

No cadastro de um novo acessório são solicitadas as seguintes informações: código do acessório, custo unitário em reais e uma breve descrição do acessório. Na figura 15 é exibido o formulário para cadastro de um novo acessório.

The image shows a web application interface for BIMobile. At the top, there is a blue header bar with the text 'BIMobile' in white. Below the header, the title 'Cadastrar Acessório' is displayed in blue. The form consists of three input fields: 'Código:' with a small yellow text box, 'Custo (em R\$):' with a small yellow text box, and 'Descrição:' with a larger yellow text area. Below the form, there are two blue buttons: 'Cadastrar' and 'Voltar'. At the bottom, a blue footer bar contains the text 'BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012'.

Figura 15 - Formulário para Cadastro de um Novo Acessório via Sistema WEB

4.1.2 Cadastrar Parte

No cadastro de uma parte (figura 16) são solicitados: o código da parte, as dimensões (largura x altura), o revestimento utilizado, o valor unitário em reais e uma breve descrição.

The screenshot shows the BIMobile logo at the top. Below it is the heading "Cadastrar Parte". The form includes the following fields: "Código:" with a text input; "Dimensões(LxA):" with a text input; "Revestimento:" with a dropdown menu showing "selecione um revestimento"; "Custo (R\$):" with a text input; and "Descrição:" with a large text area. At the bottom of the form are two buttons: "Cadastrar" and "Voltar". A footer bar contains the text "BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012".

Figura 16 - Formulário para Cadastro de uma Nova Parte via Sistema WEB

4.1.3 Cadastrar Conjunto

O cadastro de um novo conjunto é realizado em duas etapas: primeiro são informados o código, o valor unitário em reais e uma breve descrição (figura 17). Em seguida o usuário informa quais peças (acessórios e/ou partes) compõem o conjunto em questão (figura 18).

The screenshot shows the BIMobile logo at the top. Below it is the heading "Cadastrar Conjunto". The form includes the following fields: "Código:" with a text input; "Custo (R\$):" with a text input; and "Descrição:" with a large text area. At the bottom of the form are two buttons: "Continuar Cadastro >>" and "Voltar". A footer bar contains the text "BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012".

Figura 17 - Formulário para Cadastro de um Novo Conjunto Via Sistema WEB

BIMobile

Cadastrar Composição do Conjunto: CJE201

Tipo de Composição:

Parte

Código da Parte: BADC1062

Continuar Cadastrando >> Finalizar

BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012

Figura 18 - Formulário para Cadastro da Composição de um Conjunto

4.1.4 Cadastrar Módulo

Semelhantemente ao cadastro de conjunto, o cadastro de módulo também é realizado em duas etapas. Na primeira o usuário informa o código, o valor unitário em reais e uma breve descrição (figura 19), na segunda etapa o usuário informa quais peças compõem o módulo (acessórios, partes e/ou conjuntos), conforme exibido na figura 20.

BIMobile

Cadastrar Módulo

Código:

Custo (em R\$):

Descrição:

Continuar Cadastro >> Voltar

BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012

Figura 19 - Formulário para Cadastro de um Novo Módulo Via Sistema WEB.

The screenshot shows the BIMobile application interface. At the top is a blue header with the text "BIMobile". Below it is the title "Cadastrar Composição do Módulo: MDE101". The main form area contains the following elements: a label "Tipo de Composição:" followed by a dropdown menu with "Conjunto" selected; a label "Código do Conjunto:" followed by a dropdown menu with "CJE201" selected; two buttons, "Continuar Cadastrando >>" and "Finalizar"; and a footer bar with the text "BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012".

Figura 20 - Formulário para Cadastro da Composição de um Módulo

4.1.5 Cadastrar Revestimento

No cadastro de revestimento o usuário deve informar o nome do material, o custo unitário em reais, e uma breve descrição sobre o material, conforme a figura 21.

The screenshot shows the BIMobile application interface for registering a coating. At the top is a blue header with the text "BIMobile". Below it is the title "Cadastrar Revestimento". The main form area contains the following elements: a label "Nome:" followed by a text input field; a label "Custo por m² (em R\$):" followed by a text input field; a label "Descrição:" followed by a large text area; two buttons, "Cadastrar" and "Voltar"; and a footer bar with the text "BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012".

Figura 21 - Formulário para Cadastro de Revestimento

4.1.6 Editar Componente

Os formulários para edição de componentes permitem que informações previamente cadastradas no sistema sejam modificadas e/ou atualizadas. Toda mudança realizada será guardada no banco de dados e a informação anterior será perdida. Na figura 22 é exibido o formulário de edição de uma parte.

BIMobile

Editar Parte

Selecione a Parte Desejada: BAIC1067

Código: BAIC1067

Dimensão (em cm²):

Ambiente: cozinha

Linha: 1

Revestimento:

Custo (em R\$): 0.00

Descrição: Base intermediária 067 da linha de cozinha 01.

Atualizar Finalizar

BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012

Figura 22- Formulário para Edição de uma Parte

4.1.7 Excluir Componente

Os formulários de exclusão de um componente removem da base de dados todas as informações relativas ao componente em questão. No caso de exclusão de conjuntos e módulos, as informações relativas às suas composições também são excluídas automaticamente. Na figura 23 é exibido o formulário de exclusão de um conjunto.

Primeiramente são exibidas as informações do componente selecionado e só após a confirmação do usuário que o componente é definitivamente excluído.

BIMobile

Excluir Conjunto

Selecione o Conjunto Desejado:

Código: CJD104

Custo (em R\$): 0.00

Descrição: Conjunto 04 da linha de dormitório 01.

BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012

Figura 23 - Formulário para Exclusão de um Conjunto

4.2 Módulo 2: Google SketchUp + *plugin* BIMobile

4.2.1 O Plugin BIMobile

O *plugin* BIMobile consiste num conjunto de opções disponíveis no menu superior do ambiente *Google SketchUp*, na aba '*plugins*', e é através dele que são realizadas todas as operações de leitura do banco de dados e ligação destas informações com seus respectivos modelos (figura 24). Um recurso importante oferecido pelo *plugin* é a separação entre os metadados e as informações geométricas 3D dos modelos criados. A associação entre as duas informações só é feita a partir da utilização das funções disponibilizadas pelo menu do *plugin*.

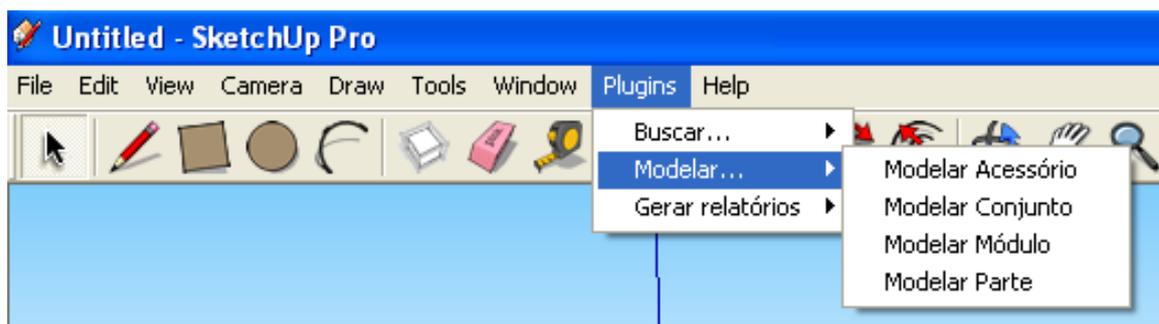


Figura 24 – Menu Principal do Plugin BIMobile na Aba Superior do Google SketchUp

Isso faz com que os arquivos dos modelos (que são arquivos com extensão ‘.skp’) possuam apenas as informações geométricas, garantindo a integridade dos metadados, que são os ativos mais valiosos de uma companhia, pois os mesmos estão protegidos e só serão acessados mediante o acesso via *plugin*. Isso impede que a cópia dos arquivos de modelos espalhe as informações armazenadas no banco de dados e garante que o acesso a estes dados só serão realizados por quem tenha a permissão de acesso, ou seja, os usuários cadastrados no sistema de autenticação.

4.2.2 Arquitetura do Plugin BIMobile

O *plugin* BIMobile permite que os usuários se conectem à repositórios remotos onde os modelos 3D de uma biblioteca estão armazenados. Esta conexão pode ser feita a partir de qualquer computador que possua o *Google SketchUp* e o *plugin* BIMobile instalado, além de uma conexão com a *internet*. A comunicação se dá através de requisições HTTP/FTP e permite que os arquivos dos modelos sejam importados e/ou exportados, de acordo com o perfil de cada usuário, baseado no controle de acesso definido. Esta arquitetura facilita o controle das versões dos dados, já que centraliza o armazenamento dos modelos. Por exemplo, quando um novo modelo é criado, o arquivo contendo o modelo final é enviado para o repositório. Se ele for importado e modificado posteriormente, a nova versão irá sobrescrever a versão anterior que estava armazenada. Este processo garante que os participantes do projeto estejam utilizando sempre a versão mais recente dos dados. Um registro com data, hora e usuário responsável por cada modificação trará maior confiança para o usuário que utiliza os modelos, tornando simples a comprovação de que o modelo em utilização é o mais recente. A arquitetura desenvolvida é ilustrada na figura 25.

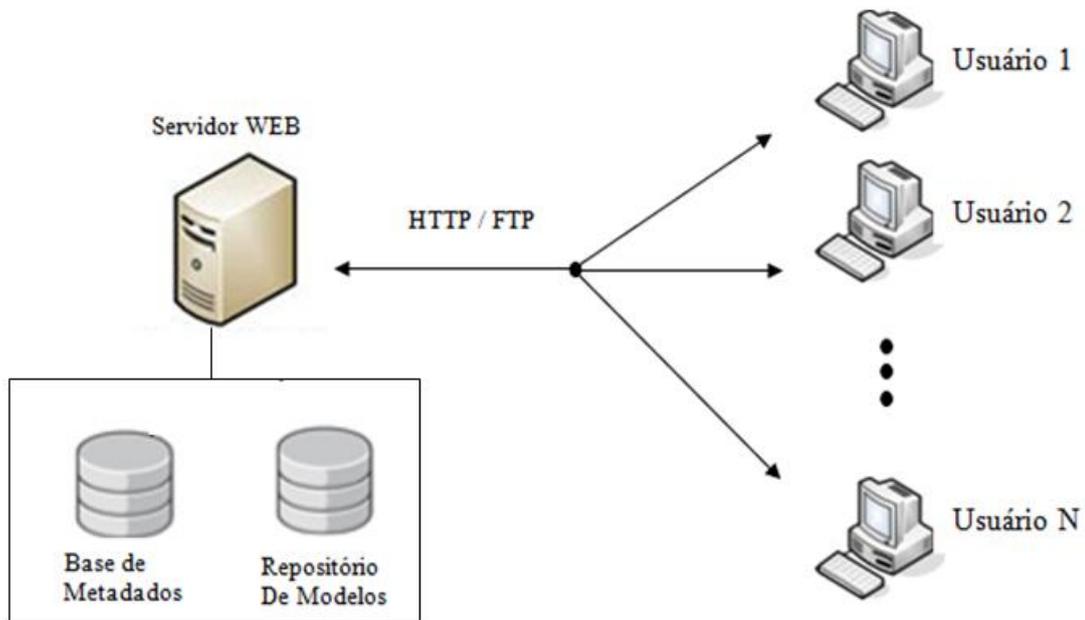


Figura 25 - Arquitetura do Plugin BIMobile

4.2.3 Opções de Modelagem do Plugin BIMobile

As opções de modelagem de um componente (acessório, parte, conjunto e módulo) permitem a associação entre o modelo desenhado e às informações previamente cadastradas através do sistema *web* relativas a este componente. Ao escolher esta opção, uma lista com o código de todos os componentes da categoria desejada e que estão cadastrados no banco de dados é exibida. Então o usuário seleciona o código desejado e neste momento o modelo é salvo com a extensão *‘.skp’* no diretório correspondente dentro da estrutura de diretórios do *plugin*, em seguida o arquivo é enviado para o repositório cujo endereço é informado no arquivo de configurações do próprio *plugin* e o arquivo é apagado do computador local, garantindo, assim, a concentração das informações. A figura 26 possui um exemplo de modelagem de um acessório.

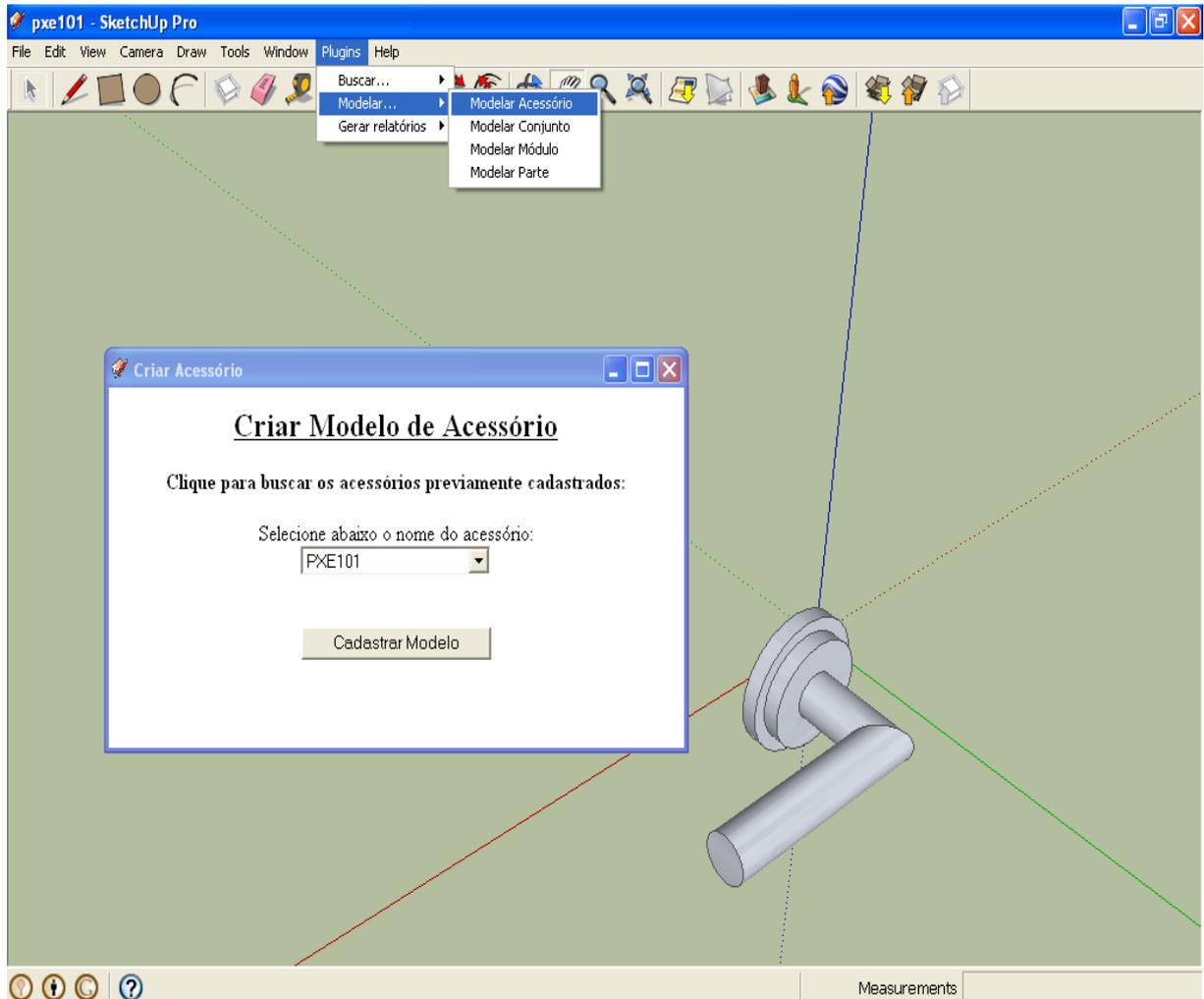


Figura 26 – Utilização da Opção 'Modelar Acessório' Disponível no Plugin BIMobile

4.2.4 Opções de Busca do Plugin BIMobile

As opções de busca de um componente permitem a importação do modelo 3D, a partir do arquivo '.skp' disponível no repositório, e dos seus metadados que foram cadastrados no banco de dados. Estes metadados ficam disponíveis para visualização através da opção '*component attributes*' do modelo e também serão utilizados para a construção de relatórios, outra opção disponível pelo plugin que será descrita adiante. Um exemplo da utilização da função 'buscar acessório' é mostrado na figura 27.

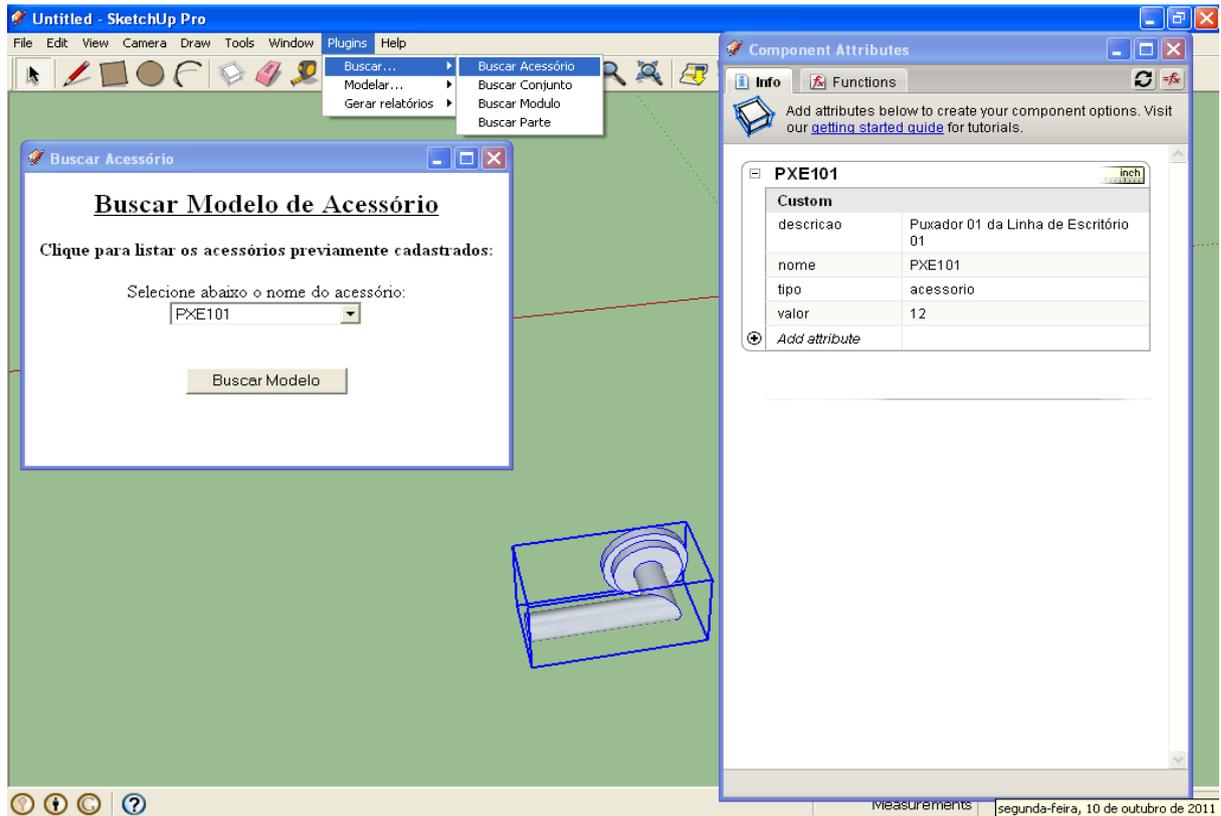


Figura 27- Utilização da Função 'Buscar Acessório' do Plugin BIMobile

4.2.5 Geração de Relatórios com o Plugin BIMobile

O *plugin* BIMobile possui uma opção para geração de relatórios de projetos que foram construídos com o auxílio das funções de busca do *plugin*. O relatório é composto pelas informações cadastradas no banco de dados que foram importadas para o ambiente do *Google SketchUp* juntamente com os modelos dos componentes utilizados no projeto, além de uma foto de cada peça. A utilização destes relatórios facilita a fase de manufatura das peças, uma vez que as informações descritas são bastante precisas, detalhadas e a utilização das fotos tende a diminuir os equívocos na hora da fabricação. Na figura 28 é exibido um relatório gerado a partir da importação de algumas peças.

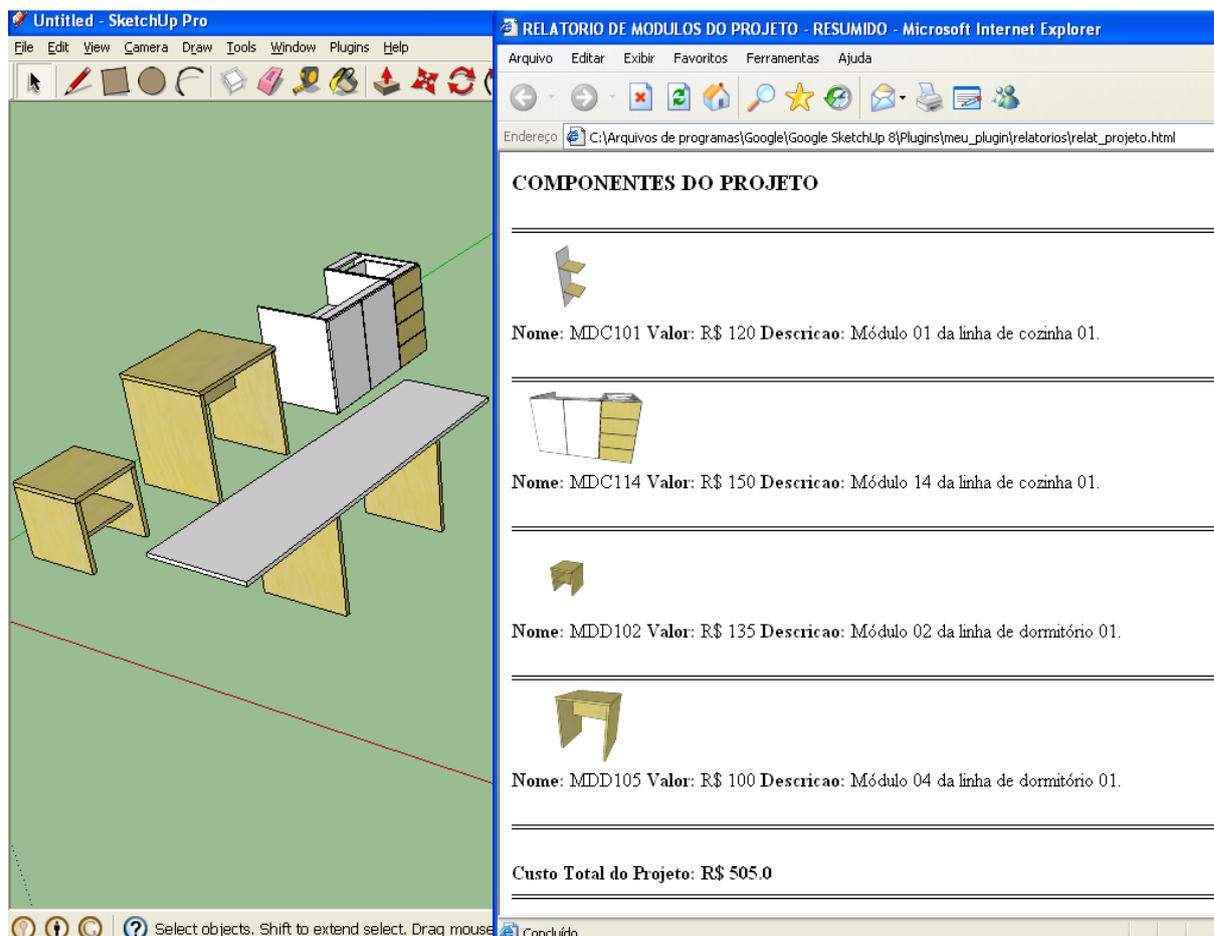


Figura 28 - Geração de Relatório de um Projeto com o BIMobile

4.3 Implantação do Sistema

Finalizado o desenvolvimento e após a realização de testes dos módulos citados anteriormente foi criada uma estrutura para colocar a aplicação em funcionamento simulando situações reais. Foi constatada a boa aceitação do sistema pela simplicidade de sua utilização. O fluxo de informações através dos módulos foi compreendido com facilidade.

A utilização da Tecnologia de Grupo na construção dos metadados possibilitou a implementação de novos módulos a partir da reutilização de acessórios, partes e conjuntos, proporcionando maior rapidez e eficiência no processo.

As alterações e modificações sugeridas pelos membros da equipe de testes do sistema foram analisadas e implementadas. É importante ressaltar que a realização de melhorias é um processo contínuo e refletem as necessidades identificadas no processo de construção dos móveis e sua adequação as novas tecnologias.

5. AMBIENTE WEB PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

Neste capítulo serão descritas as informações do ambiente 3D desenvolvido com o objetivo de auxiliar a criação de projetos de Realidade Virtual na *web*. Para embasar o desenvolvimento, foi feito um estudo sobre as tecnologias disponíveis para criação de aplicações 3D *web* executadas diretamente em navegadores. Diversas API's foram consultadas, como, por exemplo (WEBGL, 2012):

- Copperlicht
- O3D / WebGL
- PhiloGL
- SceneJS
- SpiderGL
- ThreeJS

Dentre as API's estudadas, a que se mostrou mais promissora para auxiliar a construção de um ambiente voltado para a criação de projetos *online* foi a O3D. Esta biblioteca suporta a utilização de arquivos no formato COLLADA, que podem ser obtidos a partir da exportação dos modelos criados no próprio *Google SketchUp*, além de possuir classes que permitem tanto o desenvolvimento de menus quanto o de ferramentas de controle para manipulação de objetos 3D dentro do ambiente virtual. A evolução desta API deu origem a uma nova implementação, baseada na biblioteca WebGL.

5.1 Tecnologias 3D para Criação de Ambientes Virtuais na Web

Atualmente existe uma grande quantidade de bibliotecas desenvolvidas em *JavaScript* que são independentes de plataforma e permitem a criação de ambiente virtuais 3D acessíveis diretamente através de navegadores *web*. Estas aplicações podem ser utilizadas nas mais diversas áreas, permitindo uma maior interação por parte do usuário. Estas tecnologias contam com gráficos modernos sem tornar a execução do programa lenta. Isso acontece porque elas acessam diretamente os processadores gráficos das placas de vídeo, o que representa um melhor desempenho na execução das instruções. Com sua utilização é possível o desenvolvimento de *websites* nos quais os gráficos vão sendo renderizados em tempo real enquanto o usuário navega pelas páginas, além de possibilitar a criação de ambientes mais realistas. Neste trabalho foram utilizadas duas destas tecnologias para dar suporte à criação de

um protótipo de ambiente virtual 3D que pode permitir o desenvolvimento de projetos para a indústria moveleira em ambiente colaborativo diretamente através da *internet*: O3D e WebGL.

5.1.1 Biblioteca O3D

O3D é uma biblioteca de código aberto, desenvolvida pelo Google, que foi lançada no dia 21 de abril de 2009 e tem como objetivo permitir o desenvolvimento de aplicações interativas em 3D nos próprios navegadores web. Apesar de poder ser aplicada em diversas áreas, O3D geralmente é utilizado em jogos, anúncios, visualizadores de modelos 3D, demonstrações de produtos, aplicações de engenharia, além de sistemas de controle e monitoramento (O3D, 2011).

O O3D representa uma ligação entre as interfaces gráficas de computadores *desktop* e navegadores web baseados na linguagem HTML. A utilização de bibliotecas como esta elimina a necessidade de instalação de softwares pesados nos computadores. Inicialmente desenvolvida como um *plugin* para os navegadores, a nova implementação da biblioteca O3D foi desenvolvida com base no WebGL (O3D, 2011). O Google disponibiliza um tutorial que contém os passos para que as aplicações desenvolvidas com a implementação anterior sejam migradas para a nova implementação.

5.1.2 Biblioteca WebGL

WebGL é uma API gratuita baseada na *OpenGL ES*⁶ e representa uma das novas tecnologias disponibilizadas no HTML5. Ela utiliza a linguagem de sombreamento do *OpenGL* e pode ser facilmente combinada com outros componentes *web*. Foi idealizada para aplicações 3D dinâmicas que utilizam a linguagem de programação *JavaScript* e já vem integrada aos principais navegadores *web*, utilizando o processamento das placas gráficas sem a necessidade de instalação de um software adicional, ou seja, *plugins* (KRONOS, 2011). Neste trabalho, o *WebGL* foi utilizado no desenvolvimento de um ambiente virtual para a elaboração de projetos diretamente na *internet* a partir da conexão com o banco de dados projetado neste trabalho e que foi descrito nos capítulos anteriores.

⁶ OpenGL for Embedded Systems é uma subseção da API da biblioteca de gráficos tridimensionais OpenGL projetada para sistemas embarcados.

5.2 Funcionamento do Ambiente 3D WEB

O ambiente *web* desenvolvido permite a criação de projetos 3D diretamente na *internet*, através da utilização da biblioteca *WebGL*, através da utilização de modelos tridimensionais gerados a partir da conversão de arquivos do formato COLLADA, criados com a opção de exportação do próprio *Google SketchUp*, para o formato JSON, que é o modelo utilizado pela biblioteca *WebGL*. Realizada a conversão é possível acessar os modelos a partir de menus existentes no ambiente virtual e utilizá-los na criação de projetos *online*. Este ambiente permite a interação do usuário em tempo real, através de uma interface interativa mais próxima dos sentidos humanos, baseada nos conceitos da Realidade Virtual. A figura 29 mostra a página inicial do ambiente *web* desenvolvido.

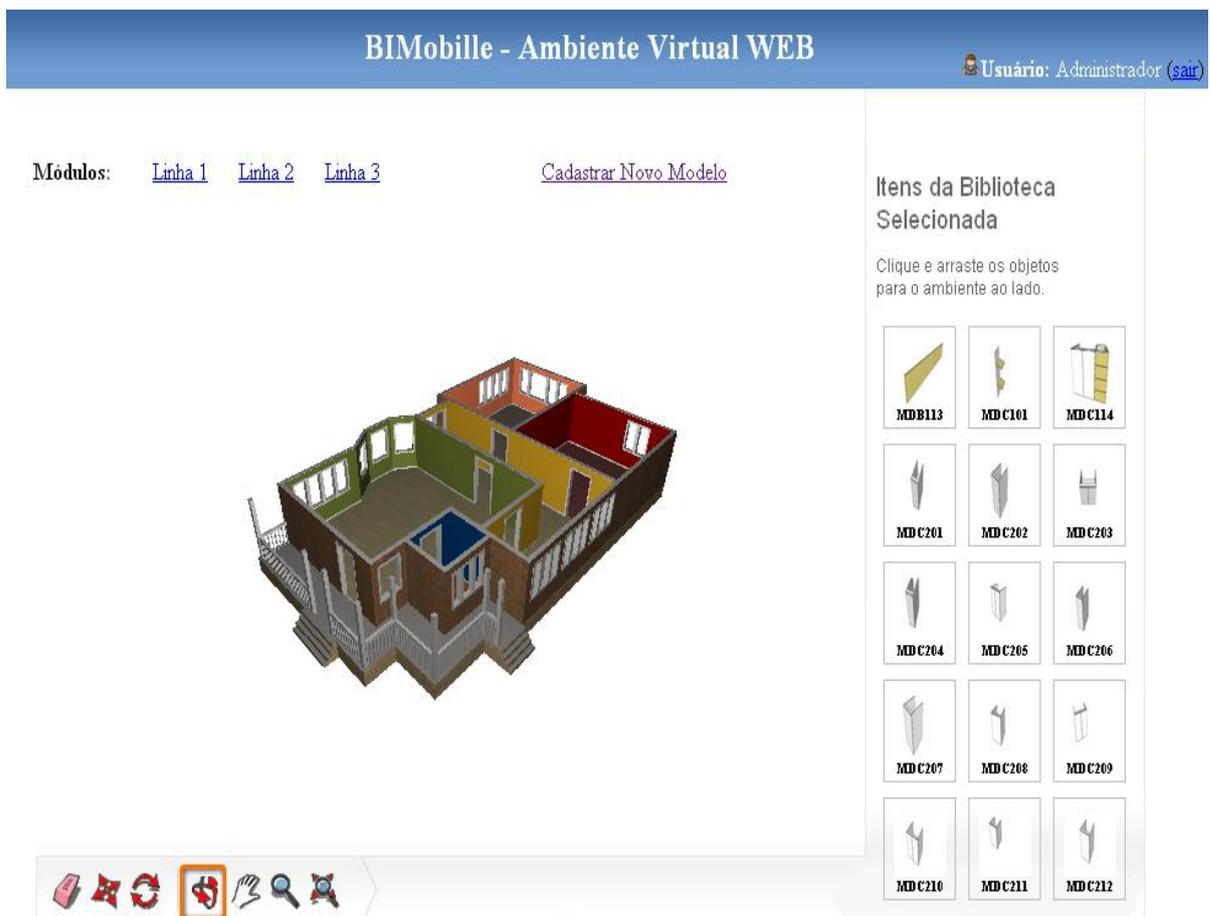


Figura 29 - Tela Inicial do Ambiente 3D WEB para Criação de Projetos Online

O ambiente desenvolvido possui um menu na parte superior da tela inicial onde é possível escolher qual linha de móveis o usuário deseja acessar. De acordo com a escolha realizada, o menu do lado direito da tela apresenta uma lista com o código e a imagem dos modelos pertencentes a linha escolhida, como ilustrado na figura 30.

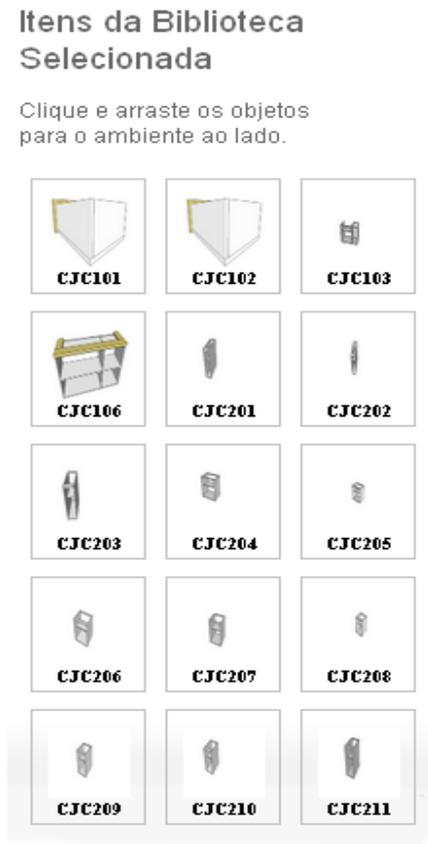


Figura 30 - Lista de Conjuntos Disponíveis para Criação de Projetos Online

Para a criação do projeto basta que o usuário clique sobre o móvel desejado e arraste para o ambiente, neste caso, a planta de uma casa com a divisão de cômodos, e depois clique novamente na posição onde deseja colocar o móvel, conforme a figura 31.



Figura 31 - Criação de um Projeto Através do Ambiente 3D Web

O sistema possui um formulário de administração através do qual o responsável pela inserção de novos modelos dos componentes pode realizar o upload das informações necessárias. Primeiramente ele deve escolher qual a classe do componente que ele deseja buscar. Em seguida, escolher o código do componente. Também é necessário fazer o upload do arquivo ZIP com o arquivo COLLADA do modelo e com os arquivos JPG de textura, caso existam, que são criados a partir da função de exportação do *Google SketchUp*, e também enviar o arquivo miniatura do modelo, no formato PNG, para que o mesmo possa ser utilizado na geração do menu do lado direito da tela, facilitando a identificação dos modelos da linha escolhida pelo usuário. Na figura 32 o formulário em questão é exibido.

BIMobile - Ambiente Virtual WEB

Este sistema precisa do directx 9 ou superior instalado em seu sistema.

Incluir Novo Arquivo

Selecione o Tipo de Composição:	<input type="text" value="Parte"/>
Selecione a Parte:	<input type="text" value="BADC1062"/>
Arquivo ZIP (collada + texturas):	<input type="text" value="Escolher arquivo"/> Nenhum a...cionado
Arquivo PNG:	<input type="text" value="Escolher arquivo"/> Nenhum a...cionado

BIMobile® - Todos os direitos reservados - 2012

Figura 32 - Sistema de Administração do Ambiente Virtual 3D WEB

6. RESULTADOS E CONCLUSÕES

6.1 Resultados Obtidos

Neste trabalho foi proposta uma solução voltada para a indústria de móveis com o objetivo de permitir a criação de projetos de uma maneira mais ágil e eficiente, promovendo, também, uma melhor integração entre as fases de projeto e de manufatura.

Foi concebida uma arquitetura e implementado um sistema, a partir da utilização de modernas técnicas de linguagens de programação orientadas a objeto, que permite a integração entre os modelos 3D dos componentes da biblioteca de móveis gerados a partir de um software CAD e os seus atributos presentes em um SGBD, responsável pelo gerenciamento e armazenamento destas informações.

Estes componentes foram classificados de forma hierárquica, baseada na Tecnologia de Grupo, possibilitando a construção de entidades complexas a partir da composição de entidades simples, de acordo com os relacionamentos estabelecidos por esta metodologia.

A adoção do *Google SketchUp* como software CAD tridimensional se deu não só pela disponibilização de versões gratuitas, como também pela sua versatilidade e praticidade, apresentando-se como uma importante ferramenta para a elaboração de projetos da indústria moveleira.

Por último, foi desenvolvido o protótipo de um ambiente virtual 3D com o objetivo de auxiliar a criação de projetos de Realidade Virtual na web. Para embasar o desenvolvimento, foi feito um estudo sobre as tecnologias disponíveis para criação de aplicações 3D web executadas diretamente em navegadores.

Os principais resultados obtidos foram:

- Com a reutilização de componentes, a criação de novos modelos passou a ser realizada de uma maneira mais simples, a partir das informações e/ou modelos previamente criados, reduzindo o tempo de criação do projeto;

- A geração automática de custos permite que a escolha dos modelos que irão compor o projeto seja realizada mais facilmente, pois é possível fazer alterações e visualizar o impacto destas mudanças nos custos instantaneamente;

- O armazenamento das informações em um banco de dados, e não no próprio arquivo dos modelos, faz com que a integridade dos dados seja preservada, pois o acesso ao banco de dados só é realizado mediante a utilização do *plugin*, garantindo que estas informações não serão distribuídas caso os arquivos de modelos sejam copiados;

- A adoção de um SGBD que associa modelos 3D à seus metadados incorporou ao sistema ganhos consideráveis, possibilitando a inclusão de novas informações que permitem a integração com as diversas tecnologias CAx;

- A utilização de relatórios com informações detalhadas e imagens dos componentes auxiliam a manufatura, reduzindo a ocorrência de erros nesta fase;

- Um ambiente 3D *web* para criação e apresentação de projetos representa uma forma mais elegante e prática de demonstração dos produtos para os clientes;

- A utilização de apenas softwares livres em todas as aplicações desenvolvidas representa uma economia significativa com a aquisição e renovação das licenças;

- A flexibilidade e customização dos softwares utilizados permitem uma série de modificações, inclusive possibilitando o desenvolvimento de outras aplicações em diversas áreas do setor gerencial e produtivo.

6.2 Conclusões

A necessidade de modernização das indústrias moveleiras de pequeno e médio porte, como as existentes no Rio Grande do Norte, é de vital importância para a continuação de suas atividades em um mercado cada vez mais competitivo. A maior aceitação de móveis modulados em diversos segmentos faz com que este mercado gere um grande volume de recursos, com projeções de crescimento. Daí a importância da evolução dos seus processos, pois a utilização de práticas mais eficientes possibilita uma abrangência maior no mercado

local, fazendo com que os recursos destinados à compra de móveis sejam captados pelas indústrias do próprio estado, e não por outras indústrias, principalmente do sul e sudeste do país, que atualmente também atendem o mercado local.

A utilização de softwares CAD/CAM/CAE pode ajudar neste desenvolvimento, no que diz respeito aos processos de criação e modelagem de produtos, aumentando a qualidade e barateando os custos de fabricação. A adoção de bibliotecas de produtos com modelo tridimensionais é uma forma mais elegante de apresentar os projetos para os clientes, representando um diferencial entre as empresas.

A utilização da Tecnologia de Grupo na classificação dos componentes também representa uma economia no processo de fabricação, pois essa abordagem permite que vários problemas sejam enfrentados de uma só vez, além de otimizar o tempo de produção ao se produzir peças semelhantes em sequência, diminuindo o tempo gasto com a configuração dos equipamentos para mudança de parâmetros.

A aplicação dos conceitos CAD3D-BIM, através da centralização das informações em um único banco de dados, facilita a manutenção dos dados e a garantia de integridade dos mesmos, além do gerenciamento de versões e da disponibilização destas informações ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, promovendo uma melhor comunicação entre todos os participantes.

A criação de projetos com o apoio do *Google SketchUp* representa uma modernização na forma de elaborar e trabalhar em equipe, trazendo um aspecto mais profissional, alinhada às novas tecnologias e padrões utilizados pela indústria.

A aplicação de novas tecnologias, como a Realidade Virtual em ambientes 3D, representa um diferencial na maneira de apresentação do produto, trazendo o projeto virtual para o mais próximo possível do real.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

O desenvolvimento de plugins para softwares CAD permitem a criação de uma série de recursos. Através das API'S destes softwares, empresas, desenvolvedores independentes ou usuários podem elaborar novas formas de utilizar estes sistemas e de aplicá-los em novas áreas. A indústria moveleira do Brasil, em especial a do Rio Grande do Norte, ainda carece de soluções específicas para este setor, o que traria um salto de qualidade e aumento das vendas de seus produtos. Considerando este cenário, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Fazer um levantamento da situação atual da indústria moveleira do Brasil, identificando casos de sucesso que poderiam servir como modelo para fabricantes de outros lugares do país, incluindo dados estatísticos sobre a produção, venda e crescimento;

Outras sugestões estão ligadas a criação de novos recursos a partir de *plugins*, como:

- Geração de planos de corte para auxiliar a etapa de fabricação;
- Promover a integração do software CAD *Google SketchUp* com outras tecnologias, via interface para ferramentas CNC;
- Geração de interface para impressoras 3D, permitindo a fabricação rápida de produtos modelados no *Google SketchUp*.

A utilização de aplicações tridimensionais para navegadores *web* tem crescido nos últimos anos, seja para promover uma maior interatividade com o usuário, seja como forma de entretenimento, através de diversos jogos, e até mesmo como um meio moderno para os espaços de publicidade. O surgimento de API's capazes de acessar diretamente os processadores das placas gráficas dos computadores traz uma infinidade de opções para a criação e o desenvolvimento dos mais diversos tipos de aplicações, devido à alta performance obtida e de não haver necessidade de instalação de um software específico para executá-las. Sendo assim, algumas sugestões para trabalhos relacionados a ambientes 3D virtuais são:

- Fazer um estudo comparativo dos principais *frameworks* que implementam as bibliotecas do *WebGL*, levando em consideração fatores como desempenho, usabilidade, aplicabilidade, manutenção e compatibilidade com outras tecnologias;

- Desenvolver novos recursos para os ambientes virtuais destinados à criação de projetos, como opções para salvar e carregar um projeto, além de ferramentas de personalização, como permitir o carregamento de modelos que serão utilizados como base do ambiente virtual (exemplo: modelo virtual da casa do cliente);

- Integração de um ambiente virtual 3D *web* em uma plataforma de desenvolvimento colaborativo.

REFERÊNCIAS

- ALAVALA, C. R. *CAD/CAM: Concepts and Applications*. New Delhi, Prentice-Hall of India Private Limited, 2008. ISBN 978-81-203-3340-6.
- AYRES FILHO, C. *Acesso ao Modelo Integrado do Edifício*. 2009. 254 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR, Curitiba. 2009.
- AZUMA, F.; SCHEER, S. *Processos de Projetos, Sistemas CAD e Modelagem de Produto para Edificações*. Engenharia e Construção, v. 129, p. 26-30, 2007.
- BÉZIER, P. *Curvas e Superfícies em CAD/CAE/CAM*. Aleph. São Paulo, 1993.
- CARVALHO, P. F. *Técnicas de Levantamento de Requisitos*. 2009. Disponível em: <http://www.pedrofcarvalho.com.br/pdf/engenharia_analise_levantamento_requisitos_2.pdf> Acesso em: 08 mar. 2012
- CARVALHO, V. M. L. *Metodologia, Sistema de Codificação e Ferramenta de Software para Modelagem de Móveis Modulados*. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Natal. 2010
- CRCCI. *Adopting BIM for Facilities Management: Solutions for Managing the Sydney Opera House*, Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia. 2007.
- CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. *Ferramentas BIM: Um Desafio para a Melhoria no Ciclo de Vida do Projeto*. Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil. Porto Alegre. 2007.
- CURRY, G. L.; FELDMAN, R. M. *Manufacturing Systems Modeling and Analysis*. Springer-Verlag. 2008. ISBN 3540887628.
- FERRARI JUNIOR, R. *Viagem ao SIG: Planejamento Estratégico, Viabilização, Implantação e Gerenciamento de Sistemas de Informação Geográfica*. UFSC, Curitiba. 1997. 178 p. Disponível em: <<http://www2.dc.ufscar.br/~ferrari/viagem/>> Acesso em: 02 mar. 2012.
- FERREIRA, J. C. E. *Apostila de Planejamento de Processo*. Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis. 2004.
- FERREIRA, S. L. *Da Engenharia Simultânea ao Modelo de Informações de Construção (BIM): Contribuição das Ferramentas ao Processo de Projeto e Produção e Vice-Versa*. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Curitiba. 2007.
- FIGUEIRA, R. J. C. *CAD/CAE/CAM/CIM*. Instituto Politécnico do Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2003. 123 p.
- FRANK, R. *BIM Está Mudando a Maneira de Projetar no Mundo Inteiro: Portal de Notícias da Construção Civil, Arquitetura e Engenharia*. 2008.

GORINI, A. P. F. *Panorama do Setor Moveleiro no Brasil, com Ênfase na Competitividade Externa a Partir do Desenvolvimento da Cadeia Industrial de Produtos Sólidos de Madeira*. Publicações sobre Produtos Florestais – BNDES. 1998.

GUERRA, A. R. O. *Manutenção de Frota de Ônibus: Um Sistema de Apoio a Decisão*. 1992. 288 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Natal. 1992.

HYER, N. L.; WEMMERLÖV, U. *Group Technology and Productivity*. Harvard Business Review, v.62, n.4, p.140-149. 1984.

KERRY, H. T. *Planejamento de Processo Automático para Peças Paramétricas*. 1997. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo. 1997.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projetos e Aplicações*. IX Symposium on Virtual and Augmented Reality. Petrópolis. 2007.

KIRNER, C.; TORI, R. *Realidade Virtual: Conceitos e Tendências*. Pré-Simpósio SVR. São Paulo. 2004.

KRONOS. *WEBGL - Site Oficial*. 2011. Disponível em: < <http://www.khronos.org/webgl/> >. Acesso em: 27 set. 2011.

KRYGIEL, E.; NIES, B. *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. Wiley Publishing, Inc. Indianapolis: 2008.

KYMMELL, W. *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. The McGraw-Hill Companies, Inc. 2008.

LEE, K. *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*. Seul National University: Addison Wesley Longman, Inc., 1999. 600 p.

LEFF, A.; RAYFIELD, J. T. *Web-Application Development Using the Model/View/Controller Design Pattern*. In: 5th IEEE International Conference on Enterprise Distributed Object Computing. Washington, DC, USA. 2001.

LIMA, C. M. *Desenvolvimento de Conteúdo para o Ensino da Tecnologia do Plasma Utilizando Técnicas de Multimídia e Realidade Virtual*. 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Natal. 2001.

MENEGOTTO, A. B.; MIERLO, F. *A LINGUAGEM RUBY*. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo. 2002.

MYSQL. *Site Oficial*. 2011. Disponível em: < <http://www.mysql.com/why-mysql/> >. Acesso em: 29 de setembro de 2011.

NERY, A. C. *Classes C e D Puxam Mercado Moveleiro*. In: 8.^a Feira de Móveis do Paraná – Movelpar 2011, Arapongas, Paraná. 2011. Disponível em:

<<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/conteudo.phtml?id=1105914>>. Acesso em: 27 fev. 2012.

NIBS. *National Building Information Modeling Standard*. National Institute of Building Sciences, 2007, 183 p.

O3D, *Site Oficial*. 2011. Disponível em: <<http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/o3d/>>. Acesso em: 30 set. 2011.

OLIVEIRA, V. V. *Tecnologias CAx na Manufatura*. IFSC, Joinville. 2011.

PEREIRA, J. R.; CAMPOS, A. L. D. A. *Polos Produtivos Locais: A Indústria Moveleira de Linhares*. Pesquisa em Debate. Edição Especial: 23 p. 2009.

PEREIRA, T. C. P. *A Indústria Moveleira no Brasil e os Fatores Determinantes das Exportações*. 2009. 104f (Graduação). Departamento de Ciências Econômicas, UFSC, Florianópolis. 2009

PRESSMAN, R. *Engenharia de Software*. 6 ed. McGrawHill, 2006.

PRINCE, R. *Information Systems for Management Planning and Control*. Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, 3rd edition. 1975.

RUBY. *Site Oficial*. 2011. Disponível em: <<http://www.ruby-lang.org>>. Acesso em: 27 set. 2011.

SCHEER, S., ITO, A., AYRES, C.A., AZUMA, F., BEBER, M., 2007. *Impactos do Uso do Sistema CAD Geométrico e do Uso do Sistema CAD-BIM no Processo de Projeto em Escritórios de Arquitetura*. In: VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios, Curitiba, Brasil. 2007

SKETCHUP. *Site Oficial*. 2012. Disponível em: <<http://sketchup.google.com>>. Acesso em: 26 fev. 2012.

SOUZA, A.; COELHO, R.. *Tecnologia CAD/CAM - Definições e Estado da Arte Visando Auxiliar Sua Implantação em um Ambiente Fabril*. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto. 2003.
Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0504_0920.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2011.

SOUZA, L. L. A.; AMORIM, S. R. L.; LYRIO, A. D. M. *Impactos do Uso do BIM em Escritórios de Arquitetura: Oportunidades no Mercado Imobiliário*. Gestão & Tecnologia de Projetos. 2009.

STRICKLAND, J. *How Virtual Reality Gear Works*. 2007. Disponível em: <<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear.htm>> Acesso em: 01 nov. 2011.

TATIKONDA, M.V.; WEMMERLÖV, U. (1992). *Adoption and Implementation of Classification and Coding Systems: Insights from Seven Case Studies*. International Journal of Production Research, v.30, n.9, p.2097-2110. 1992.

TORREBLANCA, D. (2010) *Tecnologías CAX y Sus Ventajas Competitivas para el Diseño de Productos*. Disponível em: <<http://www.eldiariodiseno.cl/tecnologias-cax-y-sus-ventajas-competitivas-para-el-diseno-de-productos/>>. Acesso em: 20 out. 2011.

TRENTIN, M. G.; ADAMCZUK, G.; LIMA, J. D. *Análise de Custos no Setor Moveleiro: Um Estudo de Caso em uma Empresa Produtora de Componentes para Móveis*. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador. 2009.

VALENTIM, H. R.; CORREIA, R. Q. *Sistema CAD: Evolução e Tendências*. 2002. 40 f. Pós Graduação Lato-sensu (Especialização em Análise de Sistema) Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte. 2002.

WEBGL. (2012). *WEBGL Framework*. Disponível em: <http://learningwebgl.com/cookbook/index.php/Main_Page#WebGL_frameworks> Acesso em: 15 mar. 2012