

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**A INTEGRAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL E PROJETOS
ASSOCIADOS**

Fábio Usuda

Campinas, SP

2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

A INTEGRAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL E PROJETOS
ASSOCIADOS

Fábio Usuda

Orientadora : Prof. Dra. Regina Coeli Ruschel

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações

Campinas, SP

2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Us8i	<p>Usuda, Fábio A integração do projeto estrutural e projetos associados / Fábio Usuda.--Campinas, SP: [s.n.], 2003.</p> <p>Orientador: Regina Coeli Ruschel Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.</p> <p>1. Projeto estrutural. 2. Projeto auxiliado por computador. I. Ruschel, Regina Coeli. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.</p>
------	---

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**A INTEGRAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL E PROJETOS
ASSOCIADOS**

Fábio Usuda

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

**Prof^a. Dr^a. Regina Coeli Ruschel
Presidente e Orientadora/UNICAMP**

**Prof. Dr. José Antônio Lerosa de Siqueira
EPUSP**

**Prof^a. Dr^a. Doris Catharine Cornélie Knatz Kowaltowski
UNICAMP**

Campinas, SP

2003

Dedicatória

À minha família, pelo apoio que foi fundamental, em especial à minha esposa Lucimari e à minha filha Bianca que, mesmo nos momentos mais difíceis, mantiveram a serenidade. Não posso deixar de agradecer aos meus pais pelo legado da vida.

Agradecimentos

À Prof^a. Dr^a. Regina Coeli Ruschel, pela orientação recebida, pelo apoio e dedicação na realização da pesquisa e elaboração deste trabalho.

Aos professores da FEC/UNICAMP, pelos ensinamentos e apoio técnico.

À Faculdade de Engenharia de Sorocaba, pelo apoio e incentivo à pesquisa, pelo espaço concedido em seu servidor para hospedar o *website* EstNet.

À Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Sorocaba, pela divulgação da pesquisa aos seus associados.

Aos escritórios de projeto estrutural, em especial aos engenheiros Afonso Archilla , José Dias Batista Ferrari, José Seiji Shiguemoto, Luis Antônio dos Santos e Paulo de Sá Cavalcanti, pelas entrevistas concedidas.

À TQS Informática Ltda., especialmente aos diretores Eng. Nelson Covas e Eng. Abram Belk, que me receberam em sua empresa e forneceram informações sobre o Sistema TQS de cálculo estrutural.

Ao amigo Prof^o. Msc. José Antonio De Milito, pela participação em inúmeras discussões a respeito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
3.1. Processo tradicional de projetos	6
3.2. Engenharia Simultânea	13
3.3. Engenharia Colaborativa	17
3.4. Integração de projeto por meio de sistemas CAD	20
3.4.1. Integração entre desenhos 2D e modelos 3D	22
3.4.2. Integração de dados gráficos e não gráficos	23
3.4.3. Integração da estrutura de dados e interface com usuário ..	24
3.4.4. Integração dos desenhos com outros aplicativos	25
3.5. Modelos tridimensionais	26
3.5.1. Superfícies	27
3.5.2. Sólidos	30
4. METODOLOGIA	35
5. PROGRAMAS PARA CÁLCULO ESTRUTURAL	37
6. AMBIENTES COLABORATIVOS	42

6.1.	Funcionalidades.....	42
6.2.	Segurança de arquivos <i>online</i>	46
6.3.	Customização do <i>website</i>	46
6.4.	Levantamento dos ambientes colaborativos	47
6.5.	Custo dos ambientes para colaboração de projetos	49
6.6.	Exemplo de utilização	51
6.7.	Considerações	52
7.	ESCRITÓRIOS: PERFIL, FERRAMENTAS E PROCESSOS	53
7.1.	Levantamento global	53
7.1.1.	Perfil global dos escritórios de projeto estrutural	54
7.2.	Levantamento específico	59
7.2.1.	Perfil específico dos escritórios de projeto estrutural	60
7.2.2.	Processo de projeto adotado pelas empresas	64
7.2.3.	Análise das ferramentas	72
7.3.	Avaliações	75
8.	PROPOSTA DE PROCESSO DE PROJETO INTEGRADO	78
8.1.	Padrão para compartilhamento em repositório de dados	79
8.1.1.	Definições	79
8.1.2.	Sistema de classificação	81
8.2.	Processo de projeto estrutural	89
8.3.	Considerações	93
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
10.	TRABALHOS FUTUROS	97
ANEXOS		
	Anexo A – <i>Web site</i> desenvolvido para pesquisa entre profissionais da área de engenharia estrutural	99
	Anexo B – Programas para cálculo estrutural.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		125
ABSTRACT		130

LISTA DE FIGURAS

	Página
1.1 Origem dos problemas patológicos relacionados às etapas de produção e uso das obras civis (GRUNAU, 1981 apud HELENE, 1992)	1
3.1 Etapas de projeto e profissionais envolvidos	10
3.2 Reuniões de coordenação	11
3.3 Armazenamento de arquivos em ambientes colaborativos	13
3.4 Tarefas de desenvolvimento do produto sob a óptica da engenharia seqüencial (CASAROTTO, 1999)	15
3.5 Tarefas de desenvolvimento do produto sob a óptica da engenharia simultânea (CASAROTTO, 1999)	15
3.6 Níveis de integração em sistemas de CAD (ANUMBA, 1996)	21
3.7 Figura formada por superfícies	28
3.8 Superfície criada a partir de elipse ao longo de uma curva	28
3.9 Superfície esférica formada por pequenas faces planas	29
3.10 Superfície formada por malhas de quadriláteros	29
3.11 Superfície formada por malha de quadriláteros limitada por curvas arbitrárias	30
3.12 Sólidos primitivos em sistemas de CAD 3D	31
3.13 Operação de subtração entre sólidos	31
3.14 Propriedades geométricas geradas automaticamente no programa Autocad 2000	32
3.15 Estudo de massa exterior	32
3.16 Seções horizontais do modelo 3D com limites da construção	33

3.17 Volumes fechados definindo espaços habitáveis	33
3.18 Elementos construtivos (alvenaria) definidos a partir de volumes fechados	34
5.1 Configuração dos níveis dos pavimentos definindo a altura entre planos da estrutura	38
5.2 Ambiente CAD para o lançamento da estrutura	39
5.3 Exemplo de pórtico tridimensional	39
5.4 Ambiente CAD 3D com dupla visão (planta e 3D) do programa SAP2000 para lançamento da estrutura	40
6.1 Buzzsaw.com - Ambiente de colaboração na <i>internet</i>	43
6.2 eProject.com – Ambiente de colaboração na <i>internet</i>	
6.3 Histórico de acesso no ambiente para colaboração em AEC – Buzzsaw.com	44
6.4 Comparação entre os ambientes de colaboração em AEC (LAISERIN, 2000).....	49
6.5 Utilização dos serviços de hospedagem de arquivos na <i>internet</i> (CAD SPAGHETTI, 2002)	51
6.6 Intenção de utilização dos serviços de hospedagem de arquivos na <i>internet</i> (CAD SPAGHETTI, 2002)	52
7.1 Perfil da empresa	55
7.2 Ferramenta principal de projeto	55
7.3 Utilização da <i>internet</i>	56
7.4 Tipo de cliente	57
7.5 Utilização dos recursos tridimensionais nas ferramentas de trabalho	58
7.6 Perfil da empresa	61
7.7 Ferramenta principal de projeto	61
7.8 Utilização da <i>internet</i>	62
7.9 Tipo de cliente	62
7.10 Utilização dos recursos tridimensionais nas ferramentas de trabalho .	63
7.11 Fluxograma das etapas do processo de projeto das empresas “A” e “B”	68

7.12 Fluxograma das etapas de processo do projeto das empresas “C” e “D”	69
7.13 Níveis de integração do Autocad	73
7.14 Níveis de integração do sistema TQS	74
7.15 Etapas do processo de projeto adotado pelas empresas pesquisadas ..	77
8.1 Sistema de nomenclatura de diretórios de projeto (AsBEA, 2002)	83
8.2 Sistema de nomenclatura de arquivos (AsBEA, 2002)	84
8.3 Sistema de nomenclatura de <i>layers</i> (AsBEA, 2002)	84
8.4 Esquema de trabalho proposto pela AsBEA (2002)	85
8.5 Pilares lançados sobre o desenho de arquitetura	87
8.6 Gerenciamento visual dos <i>layers</i>	88
8.7 Gerenciamento dos arquivos de referência externa	89
8.8 Fluxograma das etapas do processo de projeto estrutural proposto ...	91
A.1 Mapa do <i>website</i> EstNet.....	99
A.2 Página inicial do <i>website</i> EstNet.....	100
A.3 Página com os objetivos da pesquisa	101
A.4 Pesquisas vinculadas	101
A.5 Sistemas para cálculo estrutural	102
A.6 Página contendo o questionário aplicado entre profissionais da área de engenharia estrutural	103
A.7 <i>Links</i> de ambientes colaborativos	105
A.8 Página com integrantes da equipe de pesquisa	105
B.1 Exemplo de pórtico 3D (AltoQI Eberick)	108

LISTA DE TABELAS

	Página
3.1 Etapas e atividades de projeto (Souza, R., Mekbekian, G. et al., 1994)	7
5.1 Programas para cálculo estrutural	38
6.1 Ambientes colaborativos para AEC	47
6.2 Ferramentas disponíveis nos ambientes colaborativos	48
6.3 Custo mensal dos ambientes Buzzsaw, Neogera e Construtivo	50
7.1 Características das empresas de projetos estruturais	60
7.2 Planilha de insumo-processo-produto	70
8.1 Planilha de insumo-processo-produto (proposta)	92

RESUMO

USUDA, Fábio. **A Integração do Projeto Estrutural e Projetos Associados**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 130p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Arquitetura e Construção Civil.

A informática e os meios de comunicação existentes são utilizados pelos profissionais da área de AEC (Arquitetura Engenharia e Construção) buscando-se maior velocidade e qualidade na elaboração de seus projetos. Embora aparentemente esses fatos ocorram, a bibliografia mostra que o uso efetivo dos sistemas de CAD e a integração entre as diversas disciplinas envolvidas no processo de projeto não são realizadas, produzindo retrabalhos, erros de interpretação e uso ineficiente dos recursos computacionais.

Com o objetivo de elaborar um processo de projeto estrutural que melhore a eficiência do uso de modelos 3D em sistemas de CAD e a comunicação entre os profissionais envolvidos no desenvolvimento de projetos de edifícios, realizaram-se dois tipos de pesquisa de campo entre profissionais da área de engenharia estrutural: levantamento global e levantamento específico. Nessas pesquisas, os seguintes parâmetros foram levantados: uso de modelos 3D, formas de comunicação entre profissionais e clientes, ferramenta utilizada para cálculo estrutural e processo de projeto. Sob esses aspectos levantados, obteve-se a caracterização do perfil global das empresas de pequeno porte de cálculo estrutural e o perfil específico das empresas de cálculo estrutural de edifícios de concreto armado. Confirmou-se a deficiência de comunicação entre projetistas e a inexistência da figura do coordenador de projetos. Verificou-se que, para se obter eficiência no uso de modelos 3D entre projetistas envolvidos no processo de projeto, são necessárias modificações sobre as ferramentas utilizadas. Entretanto, elaborou-se um processo de projeto estrutural que potencializa a comunicação entre os diversos profissionais envolvidos no processo de projeto de edifícios de pequeno porte, adotando-se as ferramentas em uso pelos profissionais pesquisados e um repositório compartilhado de arquivos, objetivando maior colaboração e integração.

Palavras chaves : Processo de projeto estrutural, CAD, integração.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil representa um dos maiores setores econômicos de um país. No Brasil, estima-se mais de 15% do PIB, gerando riquezas anuais diretas da ordem de R\$150 bilhões, sendo que o setor de edificações e construção pesada participa com cerca de R\$100 bilhões (PIVA, 2001). Com a finalidade de aumentar a eficiência e produtividade do setor, tem sido crescente a utilização da informática, não somente na área de projetos, mas também durante toda a execução e manutenção da obra. Com a constante busca de qualidade e durabilidade das edificações, os materiais e execução de uma obra devem ser especificados e detalhados em projeto. Segundo HELENE (1992), uma elevada porcentagem de manifestações patológicas têm origem nas etapas de planejamento e projeto, conforme mostra a Figura 1.1, que em geral, são mais graves que as falhas de qualidade do material empregado ou da má execução. É preferível investir mais tempo no detalhamento e estudo do projeto do que tomar decisões precipitadas durante a execução.

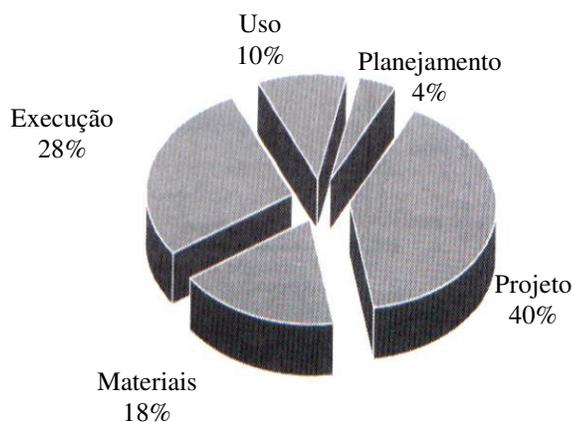


Figura. 1.1 – Origem dos problemas patológicos relacionados às etapas de produção e uso das obras civis (GRUNAU, 1981 apud HELENE, 1992).

As soluções adotadas na etapa de projeto têm amplas repercussões em todo o processo de construção e na qualidade final do produto a ser entregue ao cliente. É na etapa de projeto que acontecem a concepção e o desenvolvimento do produto que devem ser baseados na identificação das necessidades dos clientes em termos de desempenho, custos e condições de exposição a que será submetida a edificação. A solução adotada também tem forte impacto sobre a execução da obra, pois define partidos, detalhes construtivos e especificações que permitem maior ou menor facilidade de execução definindo os custos da obra. A qualidade do projeto depende ainda da qualidade da descrição da solução ou de sua apresentação, resultante da clareza e da precisão do projeto executivo, dos memoriais descritivos, do dimensionamento e das especificações técnicas.

Para assegurar a qualidade da solução e da descrição do projeto, é necessário controlar a qualidade do seu processo de elaboração. Para tal, é necessário estabelecer diretrizes para o desenvolvimento do projeto, garantir a coordenação e integração entre os vários projetos, exercendo análise crítica e controle de qualidade quando do seu recebimento.

A integração e a coordenação entre os projetos de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), são feitas pela análise dos desenhos de arquitetura, estrutura e instalações apresentados na forma bidimensional, geralmente em plantas e elevações. Muitas vezes não são suficientes para o entendimento correto da edificação e, na falta de comunicação entre os diversos profissionais envolvidos, acabam gerando erros de execução ou falhas posteriores durante a utilização.

A colaboração efetiva em projetos de engenharia requer gerenciamento eficiente da informação e hábil coordenação das atividades do grupo. Estas questões são particularmente difíceis de serem intermediadas na indústria de AEC, onde as partes envolvidas no processo de projeto e construção são multidisciplinares e representam várias centenas de projetos especializados, contratos e empresas de fornecimento diferentes. Os profissionais envolvidos no projeto geralmente são profissionais liberais, portanto qualquer decisão tomada afeta outros participantes do processo de execução da obra. Além disso, as empresas geralmente estão em diferentes lugares e distantes dos grandes centros. Segundo DOYLE & STRAUS (1993) apud PEÑA MORA (1999), a coordenação e reuniões de projetos ocupam aproximadamente 40% do tempo de um profissional. Uma grande porcentagem desse tempo é gasta em organizar e

intercambiar as reuniões. Portanto, reduzindo o tempo e as despesas de reuniões, pode-se reduzir muito os custos e aumentar a qualidade do produto final.

Neste trabalho será elaborado um processo de projeto estrutural que melhore a comunicação entre os profissionais da área de AEC. Pretende-se propor como utilizar um conjunto apropriado de ferramentas (sistemas de CAD, programas para cálculo estrutural e ambiente de colaboração para AEC na *internet*), de tal forma que se melhore o processo de projeto estrutural em conjunto com o arquiteto.

1.1 Estruturação do trabalho

O trabalho encontra-se estruturado em dez capítulos. O Capítulo 1 constitui-se da introdução. No Capítulo 2, apresentam-se os objetivos gerais, específicos e a justificativa. No Capítulo 3, apresenta-se a revisão bibliográfica abordando os seguintes temas: processo de projeto tradicional, engenharia simultânea, engenharia colaborativa, projeto assistido por computador (CAD), com ênfase nos modelos tridimensionais, e a integração de sistemas de CAD. No Capítulo 4, apresenta-se a metodologia aplicada na pesquisa. No Capítulo 5, apresenta-se um levantamento de programas para cálculo e análise estrutural relacionado ao uso de modelos tridimensionais disponíveis nas ferramentas. No Capítulo 6, apresenta-se um levantamento de ambientes colaborativos específicos para AEC, analisando suas funcionalidades, segurança, customização, custos e pesquisa de aceitação. No Capítulo 7, o perfil dos escritórios de projeto estrutural é analisado segundo as duas pesquisas de campo realizadas, global e específica. No Capítulo 8, a proposta de processo de projeto integrado é apresentada levando-se em conta o perfil das empresas pesquisadas e as ferramentas disponíveis atualmente. No Capítulo 9, são apresentadas as considerações finais do trabalho. No Capítulo 10, são apresentados temas para trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral elaborar um processo de projeto estrutural que melhore a eficiência do uso de modelos tridimensionais e da comunicação entre os profissionais envolvidos no processo de projeto, propiciando incremento de precisão nas etapas de desenvolvimento do projeto estrutural.

Devido ao grande avanço da tecnologia, principalmente com os recursos computacionais e sistemas de CAD, atualmente disponíveis, os profissionais de arquitetura podem conceber o projeto arquitetônico utilizando modelos tridimensionais desde a etapa de estudo preliminar até a fase de projeto executivo. Desenvolver o projeto em 3D tem a grande vantagem de gerar automaticamente vistas e seções dos modelos, reduzindo o potencial de erros e ambigüidade; identificar inconsistências de projeto que são, em grande parte, erros de dimensão, e identificar interferências geométricas entre componentes. Em formas mais complexas, a revisão de construtibilidade usa modelos 3D nas seguintes situações: identificação dos métodos construtivos mais produtivos; identificação de áreas de construção difícil; simulação e animação da construção para análise e proposição de métodos alternativos de construção (SCHEER, 1997). Além disso, os modelos tridimensionais devem ser associados à um banco de dados dos principais parâmetros de engenharia envolvidos na construção. Dessa forma, um estudo das etapas do processo de desenvolvimento do projeto de edificações, pode melhorar a comunicação entre os profissionais envolvidos, de forma que o modelo tridimensional associado a uma base de dados percorra todo o processo de projeto.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são :

- Fazer um levantamento dos programas para cálculo estrutural sob a perspectiva dos recursos tridimensionais disponíveis.
- Fazer um levantamento dos ambientes colaborativos específicos para Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC).
- Traçar perfil de utilização dos programas de cálculo estrutural relacionados ao uso de modelos tridimensionais da estrutura pelos profissionais da área.
- Descrever a forma de comunicação existente entre profissionais x profissionais e profissionais x clientes durante o processo de projeto estrutural.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Processo de projetos tradicional

Segundo FORMOSO (2001), a palavra projetar pode representar uma variedade muito grande de situações, mas a principal definição é dar ênfase à criação de objetos e lugares que têm um propósito prático e que serão observados e utilizados. Ainda segundo o mesmo autor, o processo de projeto busca explicitar as atividades relacionadas ao projeto desenvolvidas em cada uma das etapas do processo de produção na indústria da construção civil, levando-se em conta o ponto de vista de vários intervenientes. Essa abordagem incorpora desde as etapas iniciais, de concepção e planejamento, até o acompanhamento do uso do produto por parte dos clientes finais.

Segundo SOUZA (1994), as etapas do projeto de uma edificação são as partes sucessivas em que se pode dividir o processo de desenvolvimento das atividades técnicas do projeto. Essa divisão tem como objetivo :

- Definir o escopo e conteúdo de cada projeto, com os elementos técnicos a ele relacionados, etapas do trabalho, informações necessárias ao seu desenvolvimento, produtos e serviços a serem obtidos;
- Normatizar os procedimentos para elaboração coordenada dos projetos;
- Proporcionar o controle da qualidade do projeto de arquitetura e dos projetos como um todo;
- Visualizar a complexidade e a necessidade de interação entre projeto de arquitetura e todos os projetos complementares;

- Otimizar a definição de um cronograma e o detalhamento da estimativa de custos da obra por meio de projetos bem concebidos e detalhados;
- Uniformizar e padronizar os procedimentos e critérios de contratação e remuneração dos serviços.

Na Tabela 3.1 é mostrado um roteiro básico das etapas de desenvolvimento de projetos de edificações, segundo esse mesmo autor.

Tabela 3.1 - Etapas e atividades de projeto (SOUZA, et al.,1994)

ETAPAS DE PROJETO	OBJETIVOS	RESPONSABILIDADES
1 Levantamento de dados	Levantamento de informações e dados com o objetivo de caracterizar o produto, condições pré existentes e restrições para elaboração do projeto. A avaliação dos dados permite verificar o potencial construtivo e alcançar os objetivos do cliente.	Documentação providenciada pelo cliente ou pelo escritório responsável pelo projeto de arquitetura.
2 Programa de necessidades	Determinação das exigências de caráter prescritivo ou de desempenho a serem satisfeitas pela edificação, tanto em seus aspectos qualitativos como quantitativos.	Definido pelo cliente, aprofundado e complementado pelo projetista de arquitetura.
3 Estudo de viabilidade	Análises e avaliações do ponto de vista técnico, legal e econômico e que promovam a seleção e recomendação de alternativas para a concepção dos projetos. Permite verificar se o programa, terreno, legislação, custos e investimentos são executáveis e compatíveis com os objetivos do cliente.	Elaborado por um grupo interdisciplinar composto por cliente, incorporadores, construtores e projetistas (arquitetura, fundações, estruturas, instalações, etc).
4 Estudo preliminar	Representação da configuração inicial da edificação, considerados os dados do levantamento inicial. Pode ser apresentado sob a forma de modelos volumétricos (número de edificações, pavimentos, etc.) sem caracterizar definitivamente o projeto. Tem como objetivo a aprovação do partido proposto.	Apresentado pelo projetista de arquitetura, podendo estar incluídas soluções alternativas a serem avaliadas e escolhidas pelo cliente.
5 Anteprojeto	Representação das informações técnicas para o detalhamento da edificação e inter-relacionamento das demais atividades técnicas que foram iniciadas a partir da aprovação do estudo preliminar. Os produtos obtidos devem ser suficientes para a elaboração de uma estimativa de custos e de um cronograma para execução. Deve abordar os seguintes aspectos para tornar possível a compatibilização de todos os tipos de projeto : <ul style="list-style-type: none"> • Concepção e dimensionamento dos pavimentos, contendo definições dos 	Desenvolvido pelo projetista de arquitetura e pelos demais projetistas das outras atividades técnicas envolvidas, em especial, fundações, estruturais, instalações hidráulicas e elétricas.

	<p>ambientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concepção e tratamento da volumetria do edifício • Definição do esquema estrutural • Definição das instalações gerais • Orientações de conforto ambiental (insolação, aeração, luminosidade, acústica) • Determinação técnica, sistema construtivo, resistência, durabilidade de materiais • Determinação econômica, relações custo benefício, durabilidade e padrão desejado 	
Projeto legal 6	Informações para análise e aprovação da concepção da edificação pelas autoridades competentes dos órgãos públicos, observando-se suas exigências legais. Tem como objetivo obter as licenças e os alvarás para execução de obras, e pode ser desenvolvido concomitante ou posteriormente ao anteprojeto.	Elaborado por escritório de arquitetura e pelos projetistas complementares no caso de aprovação de projetos junto à concessionária de serviços públicos, cabendo muitas vezes à construtora o seu encaminhamento.
Projeto pré executivo 7	Desenvolvimento do anteprojeto arquitetônico de forma a permitir a verificação das interferências com os anteprojetos complementares. Constitui-se de documentação para elaboração dos estudos prévios à execução definitiva e obtenção de subsídios para quantificação e qualificação dos materiais, mão de obra, procedimentos técnicos construtivos e tecnologias.	Cada projetista elabora seu projeto específico, e à coordenação de projetos cabe a compatibilização.
Projeto básico 8	Projeto de pré execução compatibilizado com todas as interferências, tendo como objetivo a licitação e contratação dos serviços de execução e melhor elaboração de custos e prazos de execução. Deve ser precedido por estudos sócio econômicos, de impacto ambiental, etc. e sucedido pelo projeto executivo e seu detalhamento.	Responsabilidade de todos projetistas envolvidos em atividades técnicas a serem executadas no empreendimento.
Projeto executivo 9	Desenhos técnicos em escala conveniente contendo as soluções, detalhes definitivos e informações de todos os projetos técnicos a serem executados em obra.	Elaborado por profissionais que desenvolveram atividades técnicas a serem executadas em obra.
Detalhes Construtivos 10	Desenhos complementares apresentados em escalas ampliadas para melhor compreensão dos elementos do projeto executivo no momento de execução.	Elaborado por profissionais que desenvolveram projetos a serem executados em obra.
Caderno de especificações 11	Informações complementares quanto às especificações técnicas e detalhadas dos materiais previstos em obra, suas condições de execução, locais de aplicação e padrão de acabamento.	Desenvolvido pelos projetistas responsáveis por uma atividade técnica.
Gerenciamento de projetos	Organização, programação, estabelecimento de critérios, prioridades, métodos e cronogramas de trabalho para elaboração e compatibilização dos projetos complementares específicos	Desenvolvido por escritório responsável pelo projeto arquitetônico, empresa construtora ou consultoria

12	relacionados ao projeto de arquitetura, principalmente para evitar problemas posteriores na execução de obras.	específica.
Assistência à execução 13	Consulta específica ao escritório do projetista ou visitas periódicas à obra para orientação geral, verificação da compatibilidade do projeto com a execução, esclarecimento de dúvidas, questões relativas à substituição de materiais ou necessidade de alterações ou complementações do projeto.	Profissionais responsáveis por projetos em execução e que sejam solicitados pela empresa construtora.
Projetos "às built" 14	Conjunto de desenhos do projeto executivo revisado e elaborado conforme o que foi executado em obra, para atualização e recomendações de manutenção.	Profissionais que desenvolveram os projetos executados em obra.

A Figura 3.1 apresenta a sequência tradicional das etapas de projeto (enumeradas segundo a Tabela 3.1) para os projetos de arquitetura, estrutura e sistemas prediais. Pode-se observar que o processo de projeto tradicional é elaborado parcialmente de forma sequencial. A partir da etapa de anteprojeto (etapa 5) da arquitetura, tem-se o início do gerenciamento do projeto, momento em que outros profissionais são escolhidos e contratados. A importância do gerenciamento nesta fase de projeto é estabelecer critérios, prioridades e cronograma de trabalho. Observa-se que os projetistas de instalações elétricas e hidro-sanitárias iniciam seus trabalhos após a fase de anteprojeto estrutural. Isto ocorre devido às interferências previsíveis da estrutura sobre as instalações, como exemplo : prumadas, rebaixo de lajes, seções das vigas, etc. Com o anteprojeto estrutural elaborado, os projetistas de instalações começam a trabalhar algumas vezes de forma paralela mas isoladamente. A coordenação de projetos inicia o seu trabalho de compatibilização a partir dos projetos pré executivos (etapa 7) de cada profissional envolvido no trabalho para dar sequência ao projeto básico. Nesta etapa (etapa 8) do processo de projeto, todas as interferências devem ser compatibilizadas entre a arquitetura e os projetos complementares, tendo como objetivo a licitação e contratação dos serviços de execução da obra. A etapa de projeto executivo, (etapa 9), gera os desenhos com detalhes definitivos e informações de todos os projetos a serem executados em obra. Em muitos casos, os detalhes construtivos são elaborados com a obra em andamento, pois durante a sua execução surgem interferências não previstas durante o processo de projeto, ou ainda, para melhor compreensão do projeto executivo.

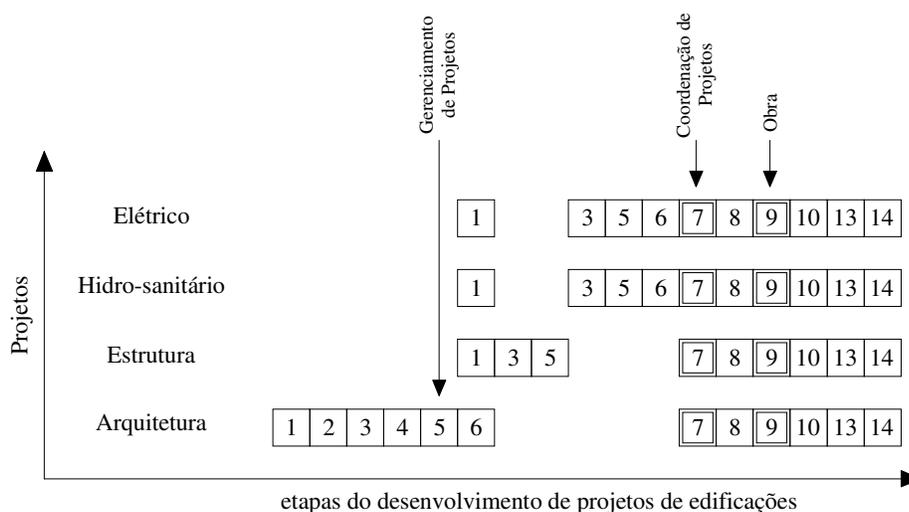


Figura 3.1 – Etapas de projeto e profissionais envolvidos

A coordenação de projetos tem grande importância no processo de projeto, pois assegura a qualidade e integridade das informações produzidas nas etapas descritas anteriormente. Segundo FRANCO & AGOPYAN (1993), os principais objetivos da coordenação de projetos são:

- Garantir a perfeita comunicação entre os participantes do projeto;
- Garantir comunicação e troca de informações entre os diversos integrantes do empreendimento;
- Garantir a comunicação e a integração entre as diversas fases do empreendimento;
- Coordenar o processo de forma a solucionar as interferências entre as partes do projeto elaboradas pelos projetistas distintos;
- Garantir a coerência entre o produto projetado e o modo de produção, com especial atenção para a tecnologia do processo construtivo utilizado e para a “cultura construtiva” da empresa;
- Conduzir as decisões a serem tomadas no desenvolvimento do projeto;
- Controlar a qualidade das etapas de desenvolvimento do projeto, de forma que sejam executadas em consonância com as especificações e os requisitos previamente definidos (incluindo custos, prazos, especificações técnicas).

Para que estes objetivos sejam cumpridos, o papel do coordenador tem extrema importância para o sucesso do projeto. O coordenador deve ser um profissional experiente que saiba liderar e impor condições de trabalho entre a equipe de projetistas, gerenciando os conflitos e as interfaces de forma a organizar o processo de projeto.

Segundo FRANCO & AGOPYAN (1993), as funções atribuídas ao coordenador de projetos são:

- Definir claramente prazos e etapas de trabalho que devem ser aceitos por toda a equipe de projeto;
- Fazer um planejamento inicial e saber replanejar ao longo do processo;
- Organizar reuniões motivadoras;
- Definir especificações para o projeto;
- Decidir as questões de interface: entre os projetistas, com o empreendedor e com os órgãos públicos;
- Fazer o controle administrativo dos projetos;
- Fazer o controle técnico, por meio do conteúdo dos projetos, do atendimento às especificações e da compatibilização dos projetos durante as etapas.

Todo processo de elaboração dos projetos deve ser acompanhado pela coordenação com reuniões periódicas entre a equipe de projeto, onde cada profissional pode verificar as interferências pela sobreposição e comparação entre os diversos desenhos de cada projeto específico. Nesse processo, a equipe trabalha de forma isolada, ou seja, cada profissional realiza seu trabalho, faz seus desenhos e leva para as reuniões de coordenação para discutir soluções de compatibilização (Figura 3.2).

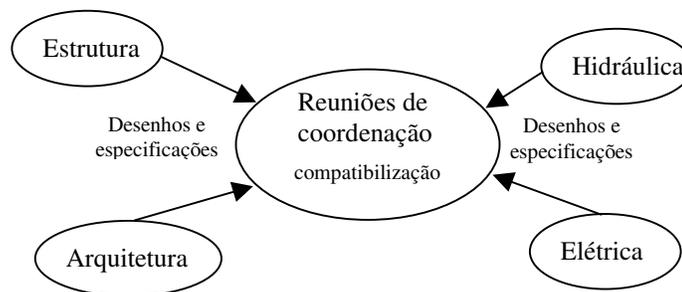


Figura 3.2 - Reuniões de coordenação.

FRANCO & AGOPYAN (1993) ainda destacam algumas barreiras que prejudicam a implantação eficiente da coordenação de projetos:

- Pouco investimento na atividade de projeto;
- Equipes de projeto não participativas (pouca colaboração entre as equipes);
- Baixa remuneração por um trabalho melhor e mais completo;
- Prazos pouco realísticos para o desenvolvimento do projeto;
- Criação de um cronograma que não é aceito e/ou respeitado por todos os projetistas;
- Definição pouco clara das etapas do projeto;
- Falta de definição de critérios de qualidade do projeto;
- Limitações no poder de decisão do coordenador;
- Quantidade de informações insuficientes com relação a: Prefeitura, Bombeiros, órgão financiador, levantamentos planialtimétricos, sondagens, concessionárias, etc.;
- Indefinição do processo construtivo a ser empregado;
- Falta de regras de apresentação dos projetos.

Atualmente, surgem novas tecnologias de troca de informação para tornar o compartilhamento da informação mais ágil, preciso e dinâmico com a participação de todos os profissionais envolvidos. Essas tecnologias, baseadas na *internet*, são implementadas em Ambientes Colaborativos para Arquitetura, Engenharia e Construção, onde é possível depositar dados de arquivos gráficos e não gráficos e compartilhá-los com acesso controlado entre usuários. O trabalho do coordenador de projetos é facilitado, pois nesses ambientes ficam registrados o acesso de cada membro da equipe (data, hora, arquivo, tempo de utilização), possibilitando ao coordenador verificar o empenho e participação dos profissionais na solução de problemas. Com os arquivos gravados em um único lugar, é possível que cada membro da equipe verifique as interferências com outros projetos diminuindo dessa forma a quantidade de reuniões de coordenação (Figura 3.3).

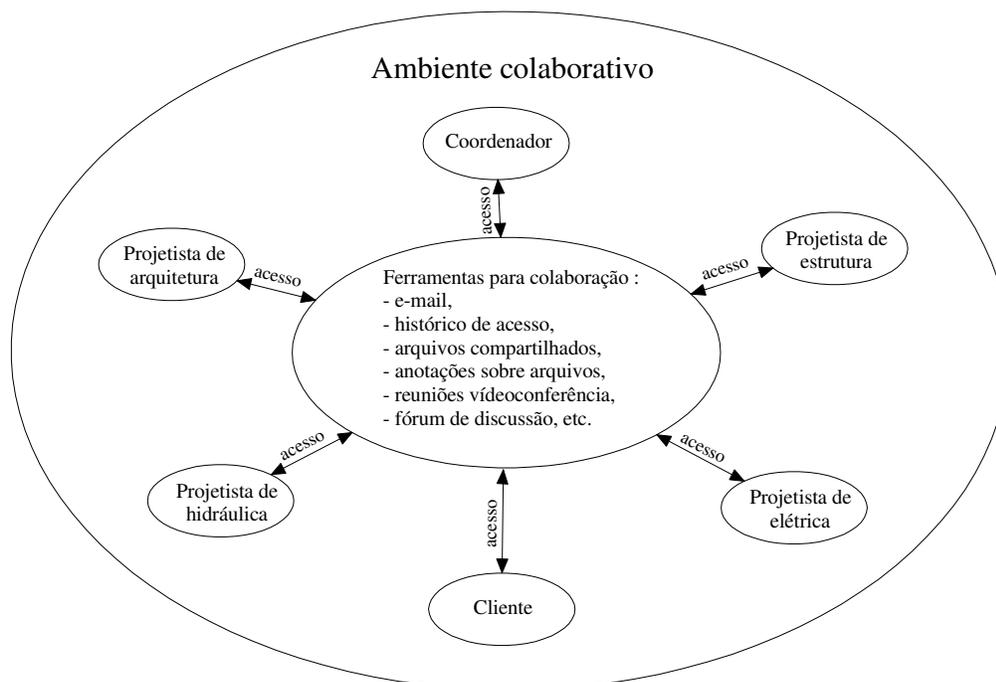


Figura 3.3 - Armazenamento de arquivos em Ambientes Colaborativos.

Pode-se verificar, pela Figura 3.3, a importância do coordenador no processo de projeto para a integração e compatibilização entre os diversos projetos e o conjunto de recursos que possibilita o aumento da qualidade final do empreendimento a ser construído, diminuindo problemas de interferências imprevisto durante a execução da obra. Os ambientes colaborativos surgem como um grande aliado da coordenação de projetos, pois auxiliam no gerenciamento das informações e a equipe de trabalho por meio das ferramentas disponíveis nesses ambientes para colaboração.

3.2 Engenharia Simultânea

Com a globalização da economia, as empresas e principalmente as indústrias, devem ser extremamente dinâmicas com relação às mudanças para se adaptarem ao seu meio, cada vez mais competitivo. Segundo STALK e HOUT apud CASAROTTO (1999), superando a década de 80,

denominada a Década da Qualidade, a década de 90 iniciou-se como a Década da Responsividade, ou seja, a década da resposta rápida. Uma das respostas rápidas é a resposta às mudanças rápidas, especialmente na introdução de novos produtos. A execução seqüencial de tarefas já não satisfaz mais a necessidade de respostas rápidas para o desenvolvimento de novos produtos. É necessário começar todo o projeto de uma só vez, com equipes de grande responsabilidade e alçadas decisórias, pois lançar um produto depois da concorrência pode significar o fim da empresa.

As técnicas tradicionais de gerenciamento de projetos, com organogramas matriciais e tarefas seqüenciais, não satisfazem a velocidade necessária para desenvolver novos produtos e colocá-los no mercado. Segundo CASAROTTO (1999), dois conceitos surgiram para aumentar a velocidade dos projetos: força tarefa e engenharia simultânea (*concurrent engineering*).

Ainda segundo CASAROTTO (1999), a força tarefa é uma modalidade de gestão de projetos que foi introduzida nas empresas após a segunda guerra mundial, inclusive com o aproveitamento de ex-militares em empresas norte-americanas. Mas o sistema apresentava alguns pontos desfavoráveis:

- O estilo comportamental de gerentes ex-militares;
- Duplicidade de tarefas com outros grupos tipo força tarefa de projetos paralelos;
- Ociosidade, pois como a utilização dos recursos não é constante durante a vida do projeto, alguns participantes poderiam ser sub-utilizados em certos momentos.

O ponto favorável era a existência de um grupo com dedicação, metas de qualidade, prazos e custos e um responsável geral. A partir da década de 80, com a necessidade de mudança rápida, a força tarefa se tornou prática nas indústrias evoluindo posteriormente para a engenharia simultânea.

A engenharia simultânea ou *concurrent engineering* utiliza-se do conceito de força tarefa, mas procura realizar simultaneamente várias etapas do empreendimento. A Figura 3.4

mostra as etapas sequenciais de desenvolvimento de produto e a Figura 3.5 mostra as atividades sendo desenvolvidas paralelamente na engenharia simultânea.

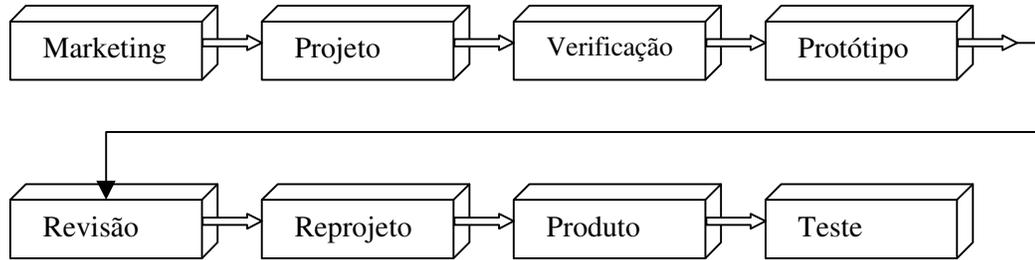


Figura 3.4 – Tarefas do desenvolvimento do produto sob a ótica da engenharia sequencial (CASAROTTO, 1999).

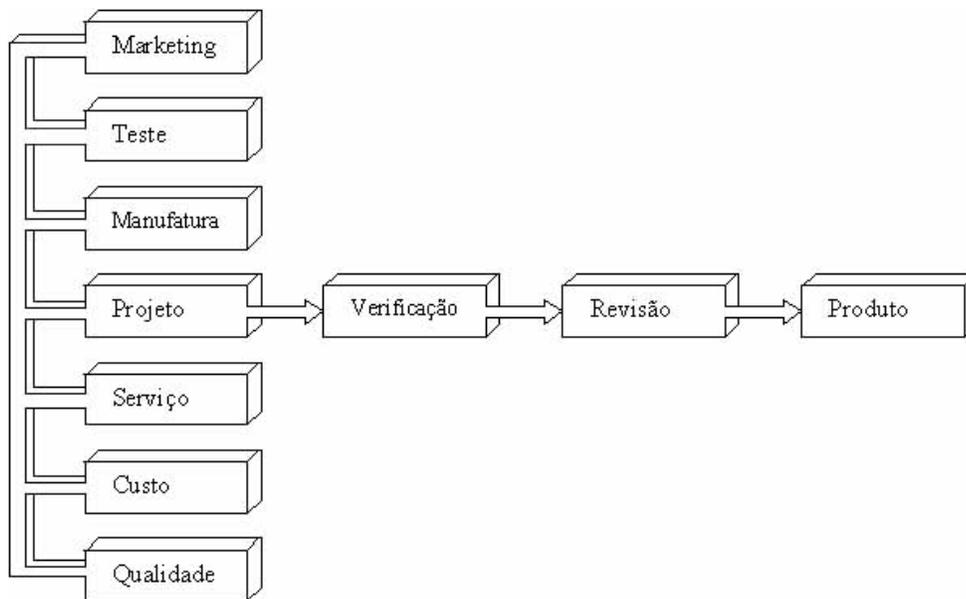


Figura 3.5 - Tarefas do desenvolvimento do produto sob a ótica da engenharia simultânea (CASAROTTO, 1999).

O *Institute for Defense Analysis (IDA)* define engenharia simultânea como sendo um caminho sistemático da integração, projeto paralelo de produtos e seus processos relacionados incluindo fabricação e suporte. Esse caminho considera elementos em todo ciclo de vida do

produto, desde a fase de concepção até a fase de disposição no mercado incluindo: qualidade, custo, discriminação e exigências do usuário.

Segundo SCHEER (1997), engenharia simultânea significa uma mudança no fluxo de processos, que passam de tarefas seqüencialmente executadas para tarefas realizadas concomitantemente, de forma paralela. Além disso, está baseada em intensa troca de informações sobre o projeto, no âmbito da própria organização, entre as equipes de projeto e os outros setores - principalmente o de fabricação (ou construção) e os de venda e *marketing*. O conceito de engenharia simultânea também abrange o conceito de projeto orientado à manufaturabilidade (construtibilidade), sendo que a fase de projeto no ciclo de desenvolvimento do produto se concentra nos processos relevantes para a sua fabricação. Nesse enfoque, é necessário o uso de um modelo computacional central.

Segundo CASAROTTO (1999), a engenharia simultânea representa um avanço em relação à engenharia seqüencial tradicional, especialmente naqueles projetos em que há defasagem entre os gastos (investimentos) e os recebimentos, como por exemplo, no desenvolvimento de novos produtos. Contudo, sua introdução não é simples, exige maturidade não só dos participantes do projeto, mas de todos os dirigentes da empresa. Por isso, em muitos casos, a simples utilização de ferramentas básicas da gerência tradicional de projetos, pode ajudar a empresa a obter bons resultados. Por outro lado, o desenvolvimento de produtos está sendo compartilhado por empresas como o modo de se ganhar tempo e reduzir recursos, quer seja por redes tipo *topdown* - em que existe uma empresa mãe vertebradora - quer por redes flexíveis de pequenas empresas. A engenharia simultânea apresenta-se como técnica adequada a esse ambiente.

Vale ressaltar que a absorção da engenharia simultânea pelas empresas de uma rede, assim como por empresas individuais, implica também um sério requisito comportamental dos representantes das empresas e seus dirigentes. Afinal, como as tarefas são executadas paralelamente, pode ser necessário, algumas vezes, rever soluções já desenvolvidas, o que é, sem dúvida, fonte de conflitos para as empresas.

3.3 Engenharia Colaborativa

Segundo MILLS (1998), engenharia colaborativa é a aplicação das práticas de colaboração de uma equipe nos esforços de desenvolvimento de produto de uma organização. Também conhecido como desenvolvimento colaborativo de produto, é construído sobre a natureza das equipes de desenvolvimento de produto introduzidas no âmbito da engenharia simultânea. Em essência, é o casamento da engenharia simultânea com o conceito da alta efetividade e colaboração de uma equipe bem estruturada, incluindo, não somente o ato de colaboração, mas também a infra-estrutura e ambiente que permitem fazê-lo. Enquanto a engenharia simultânea tem historicamente se interessado no cuidado da estruturação dos produtos, trabalhabilidade, equipes e organizações, por outro lado, a engenharia colaborativa tem mais interesse em criar ambientes de colaboração efetivos, cuja integridade da equipe é maior do que a soma de suas partes individuais. Pode-se dividir a palavra engenharia colaborativa em duas partes: engenharia e colaboração.

Colaboração dá ênfase ao esforço de se colaborar ou trabalhar em cooperação para trocar informações, idéias ou outra fonte necessária para criar um entendimento compartilhado e geralmente para um propósito comum e criativo. As palavras chave são : “ trabalhar cooperativamente” e “entendimento compartilhado”. Se um ou mais indivíduo “trabalhar em cooperação” para criar uma “compreensão compartilhada”, para um propósito comum, então estes colaboraram.

Por engenharia entende-se o desenvolvimento de um produto novo que envolve várias disciplinas: projeto, análise, fabricação, segurança e outras. Isso, é claro, não implica que as pessoas envolvidas sejam somente engenheiros. Pode-se incluir profissionais de produção, vendas e marketing, finanças, compras, suporte pós-vendas e várias outras funções. Assim, engenharia colaborativa é completamente aplicável a toda organização e não somente em parte dela.

Desse modo, combinando os dois conceitos (colaboração e engenharia), vê-se que a engenharia colaborativa é a troca de colaboração dos recursos – tal como informação e idéias – entre uma equipe de colegas focada em um projeto intensivo de engenharia e geralmente tendo algum propósito comum e criativo. Engenharia colaborativa não depende necessariamente de algum meio altamente tecnológico, embora o conceito praticado atualmente freqüentemente se faz de uma maneira ou outra. Na engenharia colaborativa, a maioria das informações a serem compartilhadas envolverão dados como: dados de pesquisa de mercado, resultados de viabilidade, especificação de produtos, modelos CAD 3D, lista de materiais, análise de resultados, diagramas de configuração de produtos, processo e manuais de montagem, relatórios de custo, situação do projeto e assim por diante.

Ainda segundo MILLS (1998), observam-se alguns benefícios que uma organização pode esperar após a implantação da engenharia colaborativa:

- Melhor comunicação entre membros da equipe – geralmente há mais tempo de contato e um melhor modo de interação;
- A capacidade de equipes remotas de trabalho – com a correta infra-estrutura e ambiente, equipes dispersas podem operar com maior funcionalidade do que equipes situadas fisicamente em um mesmo local (esta alternativa está sendo chamada de colocação virtual);
- Mais entendimento comum ou compartilhado – desde que o corpo inteiro da informação que vem dar suporte em um dado projeto seja compartilhado igualmente entre todos membros da equipe - e sempre organizado em um local central – a equipe está mais bem capacitada em desenvolver um entendimento comum e mais prontamente para convergir seus pensamentos.
- Geração de dados novos mais velozes – boa colaboração aumenta muito as vantagens que naturalmente ocorrem em qualquer empenho comum quando uma das partes depende da outra para providenciar informação, antes que eles possam usá-las em suas próprias atividades de geração de dados. Ao invés de uma das partes ter que procurar pela informação, a colaboração deles com a outra parte faz surgir a informação imediatamente, que pode ser rapidamente usada para outro processo.

- Decisões mais rápidas da equipe – desde que todos os membros da equipe estejam atualizados com a mesma informação, eles são capazes de atingir um consenso mais rapidamente e suavemente. Assim, as decisões tomadas em conjunto acontecerão numa base acelerada.
- Respeito melhorado para função cruzada dos companheiros de equipe – os membros da equipe têm consciência, compreensão, apreciação e respeito melhorados. As habilidades e responsabilidades dos colegas, numa equipe de funções cruzadas, aumentam suas habilidades de trabalhar em conjunto para complementar as capacidades de um ou outro, que retornam numa sinergia melhorada de equipe;
- Melhora do moral e responsabilidade do empregado – desde que a colaboração geralmente leve a uma sinergia melhor da equipe, seus membros têm uma experiência melhor de moral. Como resultado, esses empregados sempre assumem maior responsabilidade por suas ações.

A caixa de ferramentas para apoio à engenharia colaborativa pode ser subdividida nos seguintes compartimentos:

- ferramentas virtuais locais;
- ferramentas reais locais;
- ferramentas remotas centradas nos dados;
- ferramentas remotas centradas em pessoas.

As ferramentas virtuais locais são direcionadas para desenvolvimento de protótipos virtuais. Essas ferramentas são do tipo CAD/CAM/CAE ou de realidade virtual. São utilizadas para visualização, simulação e análise. As ferramentas reais locais são utilizadas para o desenvolvimento de protótipos físicos verdadeiros. Existem essencialmente duas abordagens para o desenvolvimento de protótipos: prototipagem rápida ou prototipagem funcional. As ferramentas remotas centradas em dados mais comuns são de comunicação da informação escrita como: correio, correspondência falada, fac-símile, e-mail, groupware, sistemas de gerência de documentos, sistema de gerência de produtos e conferência de dados em CAD. As ferramentas remotas centradas em pessoas são essencialmente: telefone, videoconferência e videoconferência combinada com realidade virtual compartilhada.

3.4 Integração de projeto através de sistemas CAD

Os sistemas de CAD para indústria de AEC utilizados atualmente trabalham de forma isolada, não aproveitando muitos dados lançados pela arquitetura em aplicativos de projeto estrutural, elétrico e hidráulico. A importância da reutilização dos dados de uma fase do projeto para outra é reconhecida por parte dos desenvolvedores dos sistemas de CAD e tema de várias pesquisas recentes (ANUMBA, 1996; FORMOSO, 2001; SCHEER, 1997; SHIN, 2000; TRAPPEY, 1998 e VARSAMIDIS, 1996). Segundo ANUMBA (1996), os seguintes fatores viabilizam a integração completa do processo de projeto desenvolvido com a utilização de CAD:

- Processadores mais velozes;
- Aumento na capacidade de memória a baixo custo;
- Processamento paralelo e distribuído;
- Aumento na flexibilidade da estruturação de dados e desenvolvimento de sistemas;
- Programação orientada a objetos;
- Melhoria na interface com o usuário.

Segundo o mesmo autor, vários benefícios são obtidos integrando os sistemas de CAD com aplicativos de engenharia estrutural e sistemas prediais em todo processo de projeto, por meio de um único modelo:

- Minimização de entradas;
- Redução de erros;
- Aumento da coordenação;
- Aumento da integridade dos dados;
- Avaliação dos dados gerados em um estágio para reutilização em outro;
- Eficiência em termos de custo e tempo;
- Melhoria na comunicação entre os membros da equipe.

Os aspectos da integração que são atribuídos aos sistemas de CAD para AEC incluem:

- Integração entre desenhos 2D e 3D
- Integração de informações gráficas e não gráficas
- Integração da estrutura de dados e interface com o usuário
- Integração dos desenhos com outros aplicativos

Esses níveis de integração são mostrados na Figura 3.6 enquanto seus benefícios específicos são discutidos nas seções que seguem.

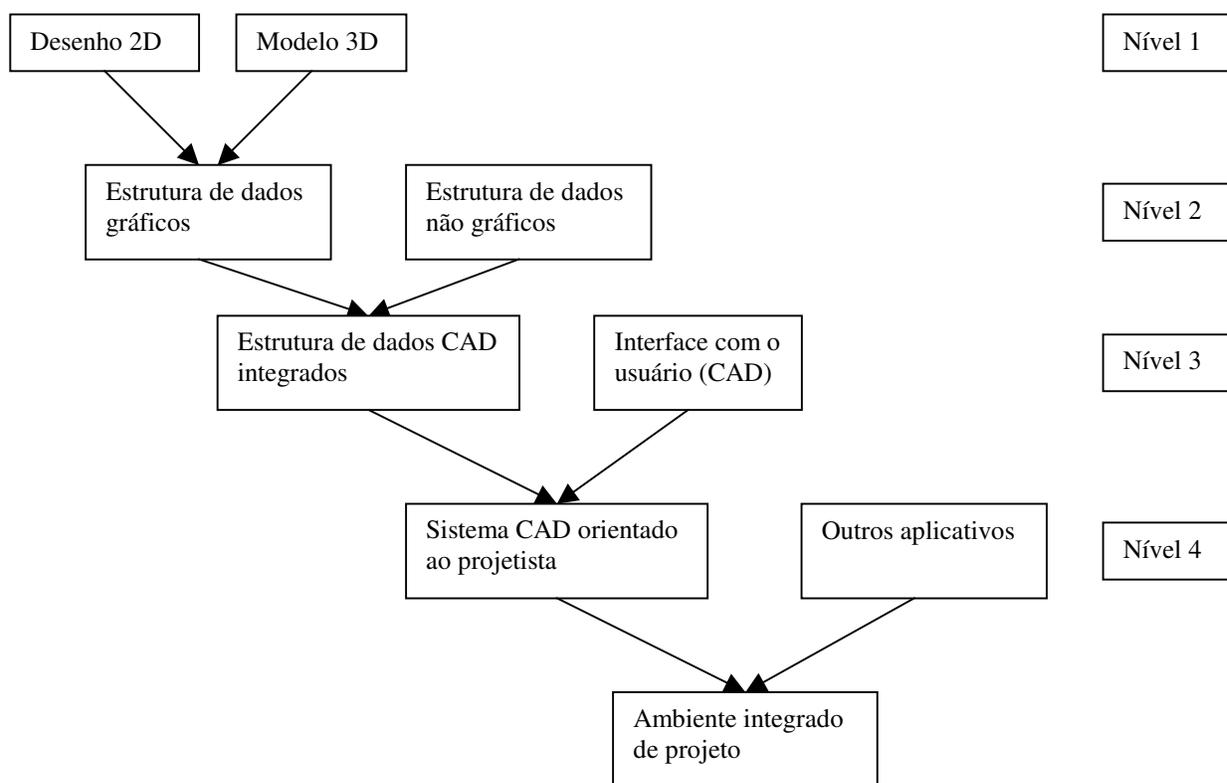


Figura 3.6 – Níveis de integração em sistemas de CAD (ANUMBA, 1996).

3.4.1 Integração entre desenhos 2D e os modelos 3D

Segundo ANUMBA (1996), algumas das vantagens associadas aos desenhos 2D incluem economia, facilidade e velocidade de utilização, uso modesto de computação e o fato de que o produto final a ser utilizado para execução, é o desenho 2D.

Os sistemas de modelos tridimensionais permitem uma representação mais completa e real de um dado objeto que são classificados de acordo com o método de definição do modelo – modelos aramados (*wireframe*), modelos sólidos (CSG *Constructive Solid Geometry*) e modelos de representações limitadas (B-rep – *Boundary representation*). Na prática, muitos sistemas são híbridos incorporando os melhores atributos dos modelos CSG e B-rep.

Os sistemas de modelos tridimensionais oferecem benefícios significativos sobre os sistemas CAD 2D que incluem:

- redução de ambigüidade;
- melhor coordenação;
- redução no potencial de erros;
- geração automática de propriedades, vistas e seções;
- possibilidade de exportar para arquivos de controle numérico e análise estrutural.

No entanto, tal funcionalidade tem um alto custo em termos de tempo e recursos computacionais.

Integrar desenhos 2D e modelos 3D oferece o potencial de combinar os melhores atributos em ambas representações. Para a maioria dos aplicativos de engenharia estrutural, os modelos 3D são considerados complexos e caros em termos de recursos computacionais. Por outro lado, os desenhos 2D são econômicos, a maioria dos usuários domina essa forma de utilização de CAD e se mantém na forma convencional para troca de informações na indústria da construção.

A chave para atingir uma efetiva integração de desenhos 2D/3D numa estrutura de dados unificada é um protótipo de estrutura de dados baseado no modelo hierárquico, indicado na Figura 3.6, como nível 1 de integração de sistemas de CAD. Desse modo, pode-se permitir ao projetista a flexibilidade de desdobrá-los independentemente ou em combinação.

3.4.2 Integração de dados gráficos e não gráficos

As representações gráficas são vitais não somente na maneira tradicional de troca de informação do projeto, mas também pela exposição do processo de pensamento do projetista. No entanto, esse processo de pensamento descreve tanto a função de um elemento de projeto como sua forma. É imperativo que as representações gráficas estejam relacionadas com as informações não gráficas que descrevam a função de um elemento de projeto. Isso é reforçado pelo fato de que muitas informações nos desenhos estão implícitas. Desse modo, a dificuldade nos sistemas de CAD, em manusear informações não gráficas, pode resultar em uma representação incompleta.

Um dos perigos do advento dos sistemas de CAD foi que eles simplesmente copiavam a forma manual de desenho, como pranchetas eletrônicas. Claramente, os benefícios da computação não podem ser realizados dessa maneira. A integração de dados gráficos e não gráficos é necessária para estender os sistemas de CAD além do desenho, dando algum nível de inteligência para a representação gráfica e assim aumentar a valorização do sistema como uma ferramenta de projeto. Os sistemas de CAD que buscam integrar dados gráficos e não gráficos também têm o potencial de usar as informações não gráficas como modificadoras para as definições de suas representações gráficas, associadas às operações de edição ou visualização.

Outro benefício importante de associar dados não gráficos às representações gráficas é extrair tabelas, listas e outras informações de um projeto. Os elementos de projeto que compartilham atributos comuns podem ser identificados e coordenados em desenhos com listas e especificações. Dessa forma, os dados não gráficos produzem uma base de dados para unificar os

sistemas de CAD com outros aplicativos de análise, estimativas, orçamentos, etc. Tais aplicações poderiam ser capazes de extrair informações do CAD e, onde for apropriado, produzir dados de entrada para outros sistemas.

A integração de dados gráficos e não gráficos, indicada na Figura 3.6 como nível 2 de integração de sistemas de CAD, pode ser alcançada ligando elementos na estrutura de dados gráficos com uma extensiva especificação de atributos não gráficos. A estrutura de dados integrados, resultante de uma combinação de informações gráficas e não gráficas, reforça a relação entre a forma e a função de um elemento de projeto, assegurando uma representação mais completa e inteligente.

3.4.3 Integração da estrutura de dados e interface com o usuário

A integração da estrutura de dados e a interface de usuário são reconhecidas como aspectos importantes dos sistemas para engenharia. Segundo ANUMBA (1996), a Norma Britânica para “estruturação das informações para computação gráfica” BS1192 : part5 dá suporte para esse nível de integração. Na cláusula 4.5, especifica-se que: “Usuários de sistemas de CAD devem ter alguma compreensão de como manipular e estruturar os dados do sistema, organizar seus modelos para permitir um conjunto de desenhos a serem produzidos em cada estágio com a informação apropriada”.

Uma coordenação sistemática desses dois componentes de um sistema de CAD é vital, não somente para o aumento da flexibilidade e facilidade de utilização, mas também para assegurar um sistema de CAD orientado ao projetista. Quanto maior o entendimento do projetista no modo como os sistemas de CAD manipulam e estruturam as informações de projeto, melhor este se posiciona para desdobrar o sistema e alcançar o máximo de benefício em termos de efetividade e eficiência.

Um modelo para integrar a interface do usuário com a estrutura de dados CAD foi desenvolvido e baseado no conceito de “dupla visão”, identificado na Figura 3.6 como nível 3 de integração em sistemas de CAD, que mostra simultaneamente a estrutura de dados e a representação gráfica (ANUMBA, 1996). A visão de ambas, lógica (estrutura de dados) e física (representação gráfica) das informações do projeto, são permitidas ao projetista podendo manipular uma vista do projeto com a outra sendo automaticamente atualizada, assegurando a consistência dos dados. Dessa maneira, o conceito de “dupla visão” forma o centro dos sistemas integrados por permitir a confirmação mútua de edição, seleção e estruturação lógica da informação de projeto.

A flexibilidade é assegurada por permitir ao projetista a liberdade de manipular a estrutura de dados ou ignorá-la completamente e trabalhar somente com a visão gráfica. A disposição da tela pode também ser configurada para as preferências do projetista.

Uma integração racional da estrutura de dados e interface do usuário representa uma melhoria significativa em muitos sistemas de CAD que possuem a estrutura de dados protegida do projetista. Nesses sistemas, a estrutura da informação do projeto é mais orientada ao sistema do que para o projetista, conduzindo a uma perda da capacidade em potencial do sistema como auxílio ao projeto. Por outro lado, unindo a abertura da operação dos sistemas e a percepção do projetista, observa-se melhor compreensão e maior desenvolvimento efetivo nos sistemas de CAD.

3.4.4 Integração dos desenhos com outros aplicativos

O sistema de CAD é financeiramente eficiente quando pode ser ligado a outros aplicativos. Desse modo, vários aplicativos podem acessar simultaneamente a mesma informação de projeto. Dada a natureza fragmentada da indústria da construção e o grande número de profissionais envolvidos em cada projeto, é essencial que os sistemas de CAD tenham o potencial de serem ligados a outros aplicativos para engenharia.

Como mencionado anteriormente, a disponibilidade de modelos 3D e a facilidade de manipular dados gráficos e não gráficos aumenta o potencial dos sistemas de CAD serem ligados a outros aplicativos. Os dados não gráficos poderiam ser construídos para exigências específicas enquanto que o modelo 3D, em conjunto com o potencial de visualização realística, serve como um banco de dados gráficos para outros aplicativos. Os dados podem ser extraídos do modelo e formar listas de materiais, cálculos para engenharia – análise, projeto, verificação com normas, orçamentos, fabricação/produção e gerenciamento de projeto.

Além disso, outros benefícios em integrar desenhos a outros aplicativos incluem:

- Redução de tempo;
- Utilização efetiva dos recursos computacionais;
- Troca de informações melhorada entre membros de uma equipe de projeto;
- Progresso para um ambiente de projeto integrado.

O caminho racional para a integração multi-aplicativos, identificado na Figura 3.6 como nível 4 de integração em sistemas de CAD, é formado por um banco de dados CAD integrado acessível para todos aplicativos na entrada e saída de dados, reduzindo o potencial de perda de dados e dados incompletos. A integração também dá suporte para distribuição da equipe de projeto, troca de informações, potencial de processamento distribuído e acesso simultâneo. No entanto, é também levantada a questão da segurança dos dados, bem como do acesso e controle da versão do desenho.

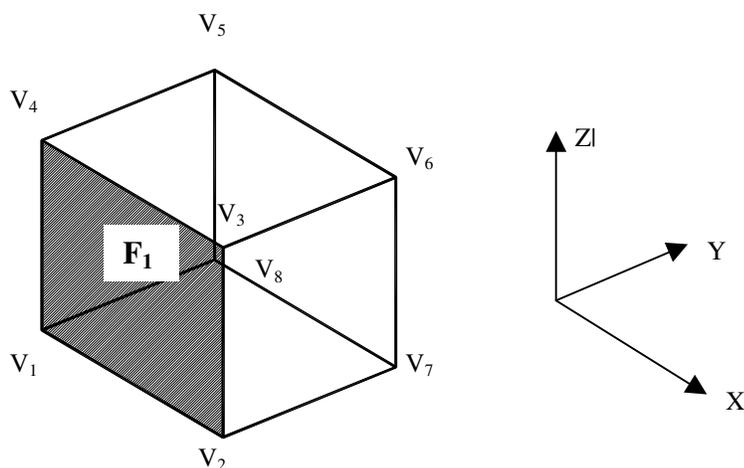
3.5 Modelos Tridimensionais

RAWKINGS (2001) descreve em seu *site* que o primeiro CAD 3D apareceu no início dos anos 70. Desde então, vários sistemas surgiram, cada vez mais potentes e mais acessíveis. O autor indica alguns marcos do desenvolvimento de sistemas de CAD 3D. O início se deu com a representação dos objetos em *wireframe* (aramado), similar ao esqueleto externo do objeto, em

seguida foi acrescida, à representação em *wireframe*, o recurso de visualização com a remoção das linhas ocultas (*hidden lines*). Segundo o mesmo autor, o passo seguinte dos CADs 3D foi a representação de objetos no formato *Two and a Half D* (2,5D), onde objetos 2D têm um valor de espessura (*thickness*), na direção Z, equivalendo à altura. Na seqüência, introduziu-se a modelagem em 3D a partir de superfícies básicas (*3D faces, 3D surfaces: box, pyramid, wedge, cone, sphere, torus, dish e mesh, 3D meshes e revolved, tabulated e ruled surfaces*), cujas faces é possível aplicar texturas e cores. A combinação de objetos sobrepostos era impossível e não se tinha a informação sobre volumes, somente sobre áreas. Finalmente, surge a modelagem em 3D utilizando-se primitivas básicas de sólidos. Na modelagem de sólidos uma volumetria complexa é armazenada como numa árvore de informações, em que todos os dados que compõem os objetos 3D estão registrados. Essa árvore também armazena como os objetos são combinados (união, interseção e subtração). Com a modelagem de sólidos, pode-se obter informações como volume, centro de gravidade, momentos de inércia entre outros.

3.5.1 Superfícies

A operação mais simples de superfície é realizada por meio da inserção de pontos que posteriormente formarão os vértices dessa superfície. Uma lista de dados de uma superfície é mostrada na Figura 3.7. A lista de vértices mostra as coordenadas X, Y, Z de cada ponto que são interligados por segmentos de linhas formando uma lista de arestas. A superfície é então formada pelo conjunto da lista de arestas (MITCHEL, 1995).



Vértices	Arestas	Superfícies
V ₁ (0,0,0)	E ₁ (V ₁ ,V ₂)	F ₁ (E ₁ , E ₂ , E ₃ , E ₄)
V ₂ (1,0,0)	E ₂ (V ₂ ,V ₃)	F ₂ (E ₅ , E ₆ , E ₇ , E ₈)
V ₃ (1,0,1)	E ₃ (V ₃ ,V ₄)	F ₃ (E ₁ , E ₁₀ , E ₆ , E ₉)
V ₄ (0,0,1)	E ₄ (V ₄ ,V ₁)	F ₄ (E ₂ , E ₁₁ , E ₇ , E ₁₀)
V ₅ (0,1,1)	E ₅ (V ₅ ,V ₆)	F ₅ (E ₃ , E ₂ , E ₈ , E ₁₁)
V ₆ (0,1,0)	E ₆ (V ₆ ,V ₇)	F ₆ (E ₄ , E ₉ , E ₅ , E ₁₂)
V ₇ (1,1,0)	E ₇ (V ₇ ,V ₈)	
V ₈ (1,1,1)	E ₈ (V ₈ ,V ₅)	
	E ₉ (V ₁ ,V ₆)	
	E ₁₀ (V ₂ ,V ₇)	
	E ₁₁ (V ₃ ,V ₈)	
	E ₁₂ (V ₄ ,V ₅)	

Figura 3.7 – Figura formada por superfícies

Outra maneira de criar superfícies é por meio da extrusão de linhas e curvas para a criação de formas mais complexas. Sistemas mais avançados de CAD realizam operações que permitem uma forma qualquer ser extrudada ao longo de uma curva arbitrária. Essa operação pode ser usada, por exemplo, para modelar partes do corpo humano (Figura 3.8).

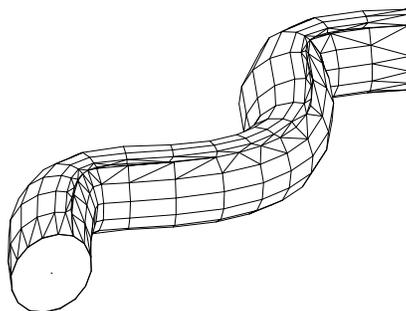


Figura 3.8 – Superfície criada a partir de elipse ao longo de uma curva.

Alguns sistemas de CAD representam as superfícies curvas armazenando parâmetros que, em conjunto com uma formulação matemática apropriada, geram superfícies mais precisas. Uma outra alternativa é aproximar essas superfícies curvas em pequenas faces planas (Figura 3.9). Essa técnica é adequada para muitos casos e simplifica as tarefas computacionais, aumentando a velocidade no processamento da forma desejada.

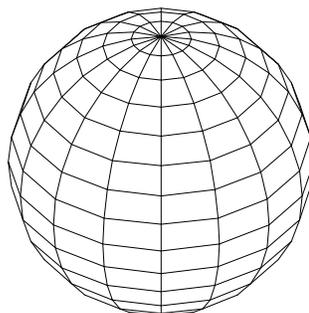


Figura 3.9 – Superfície esférica formada por pequenas faces planas.

Existem casos em que a superfície é formada por uma malha de triângulos, onde a interpolação entre os seus vértices produz pontos no seu mesmo plano. No entanto, na malha formada por quadriláteros, seus vértices não estão necessariamente no mesmo plano, formando dessa maneira superfícies curvas bilineares (Figura 3.10). Uma utilização dessa representação é a formação dos limites da malha por curvas arbitrárias (Figura 3.11), que produzem um controle mais preciso da inclinação que é conhecido como Coons Patch, usualmente utilizadas em projetos de barcos, aviões e ocasionalmente em arquitetura. Alguns sistemas para análise estrutural utiliza essa representação para cálculo de lajes planas e curvas por meio do método dos elementos finitos.

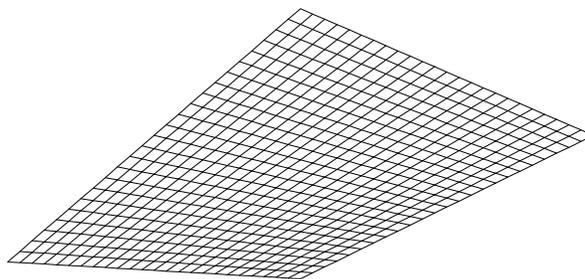


Figura 3.10 – Superfície formada por malha de quadriláteros.

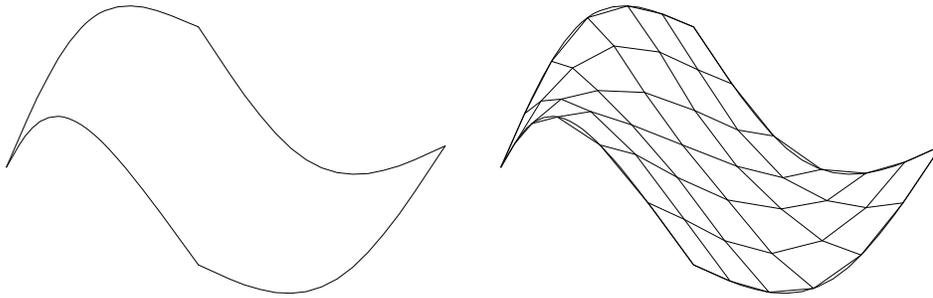


Figura 3.11 – Superfície formada por malha de quadriláteros limitados por curvas arbitrárias.

A modelagem de superfícies está presente em muitos sistemas de CAD desenvolvidos atualmente. Alguns sistemas permitem associar propriedades como cor, textura e transparência à superfície e especificar fontes de luz para produzir imagens mais realistas.

3.5.2 Sólidos

A representação gráfica utilizando sólidos nos sistemas de CAD tem crescido devido ao avanço dos processadores e a sofisticação das técnicas de programação. Os primeiros protótipos surgiram na década de 70, mas os sistemas comercialmente viáveis foram lançados entre a década de 70 e 80, quando eram muito caros e de velocidade limitada. Foi no final dos anos 80 que os sistemas se tornaram mais populares e acessíveis aos computadores pessoais e estações gráficas de trabalho (MITCHEL, 1995).

Os sólidos representam arranjos de volumes dispostos espacialmente. Os sistemas de CAD possuem primitivas geométricas tridimensionais como mostra a Figura 3.12 (prismas, cubos, cilindros, esferas, toróides, cunhas) que permitem a sua combinação, formando elementos mais complexos por meio de operações de edição como adição, subtração e interseção de sólidos (Figura 3.13). Também é possível gerar sólidos a partir da transformação por extrusão e revolução de perfis em 2D. Visualmente, a figura formada pelo sistema de modelagem de sólidos

é muito parecida com a modelagem de superfícies, porém a base de dados formada é maior e mais complexa. Por esse motivo que são permitidas as operações de edição mais complexas, permitindo um processo melhor de criação e exploração do modelo gerado.

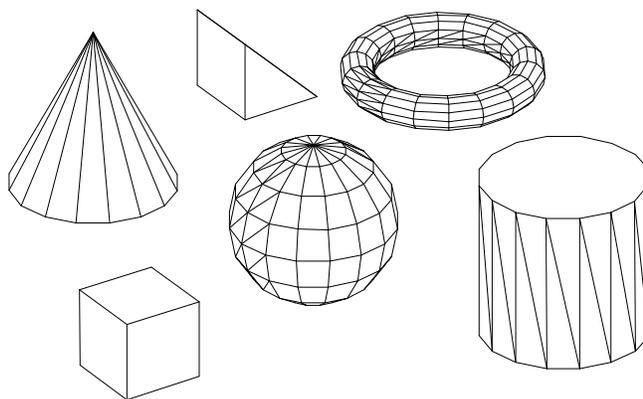


Figura 3.12 – Sólidos primitivos em sistemas de CAD 3D.

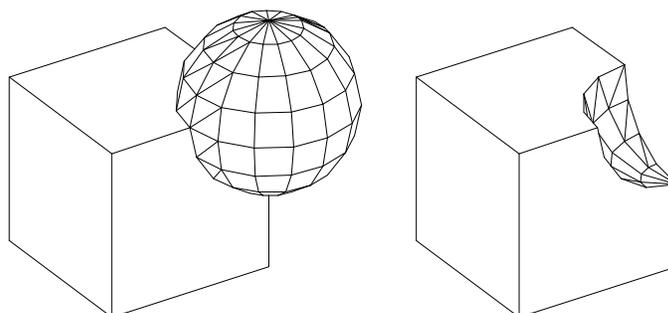


Figura 3.13 – Operação de subtração entre sólidos.

Para análise estrutural, os sólidos possuem a vantagem de ter associadas funções para o cálculo automático do volume, áreas de superfície, momento de inércia e centro de gravidade dos modelos gerados (Figura 3.14). Além dessas propriedades geométricas, pode-se associar outras propriedades, como por exemplo, a densidade do material e, por meio de algoritmos, calcular o peso do volume criado aplicado em seu centro de gravidade. Para uma análise estrutural mais refinada, os sólidos podem ser subdivididos em pequenas malhas (*meshes*) para utilização em sistemas de elementos finitos (MITCHEL, 1995).

```

----- SOLIDS -----
Mass:                116818.7780
Volume:              116818.7780
Bounding box:        X: 0.0000  --  50.0000
                    Y: 0.0000  --  50.0000
                    Z: 0.0000  --  50.0000

Centroid:            X: 23.9057
                    Y: 26.0943
                    Z: 23.9057

Moments of inertia:  X: 193504899.4460
                    Y: 180721634.2920
                    Z: 193504836.7096

Products of inertia: XY: 74941092.1473
                    YZ: 74941099.3642
                    ZX: 64690771.1300

Radii of gyration:   X: 40.6996
                    Y: 39.3322
                    Z: 40.6995

Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
I: 51340119.5962 along [0.5774 -0.5773 0.5773]
J: 45132361.0246 along [0.3249 0.8112 0.4862]
K: 45132389.3254 along [-0.7491 -0.0931 0.6559]

```

Figura 3.14 – Propriedades geométricas geradas automaticamente no programa Autocad 2000.

Da mesma maneira que modelos físicos tridimensionais podem ser montados a partir de componentes plásticos ou de madeira, um modelo digital de uma edificação pode ser montado por sólidos discretos.

Antes de se construir um modelo sólido 3D de uma edificação, deve-se decidir como utilizá-los para representar os elementos arquitetônicos. Pode-se realizar um estudo de massa exterior (Figura 3.15) utilizando-se os sólidos como os elementos volumétricos principais e ainda as propriedades geométricas como áreas de superfície e volume, seções horizontais para definir os limites da construção (Figura 3.16) e cortes verticais para estudar perfis. Com um sistema propriamente associado, pode-se gerar vistas aéreas, estudos de insolação e efeitos de sombras sobre a edificação (MITCHEL, 1995).

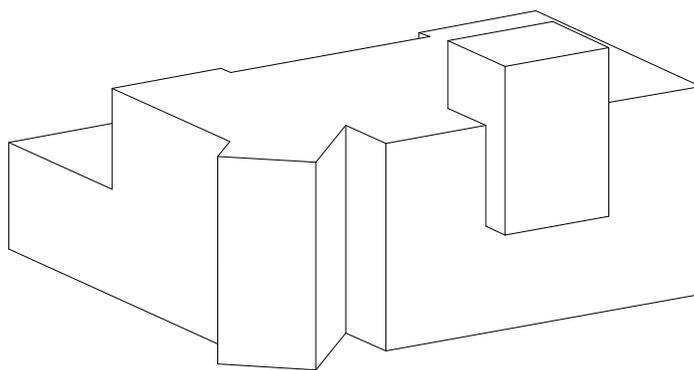


Figura 3.15 – Estudo de massa exterior.

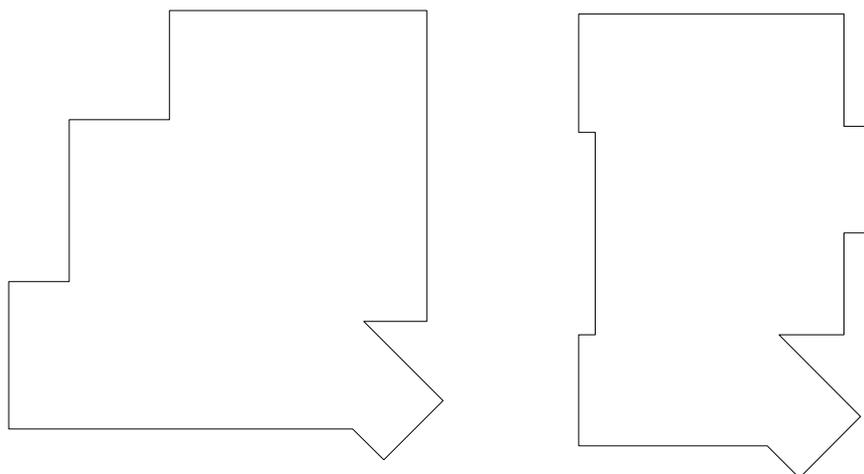


Figura 3.16 – Seções horizontais do modelo 3D com limites da construção.

A partir do estudo de massa da edificação, pode-se utilizar os sólidos para a representação de volumes fechados como salas, corredores, caixa de escadas e poço de elevadores (Figura 3.17). Esse é um tipo de modelo útil para estudos preliminares de organização espacial da edificação e geração de dados de entrada para programas de análise térmica e acústica. Do conjunto dessas formas obtêm-se espaços habitáveis e elementos construtivos (Figura 3.18).

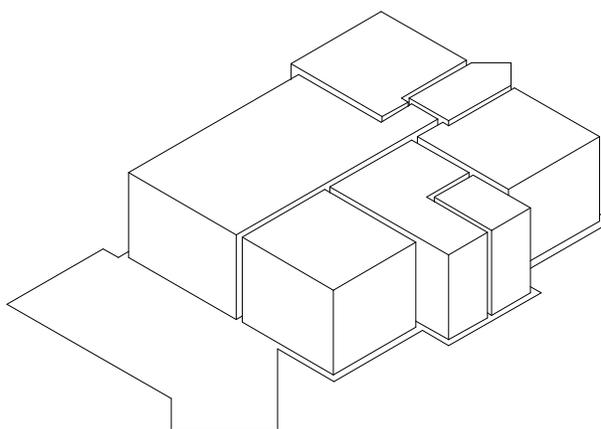


Figura 3.17 – Volumes fechados definindo espaços habitáveis.

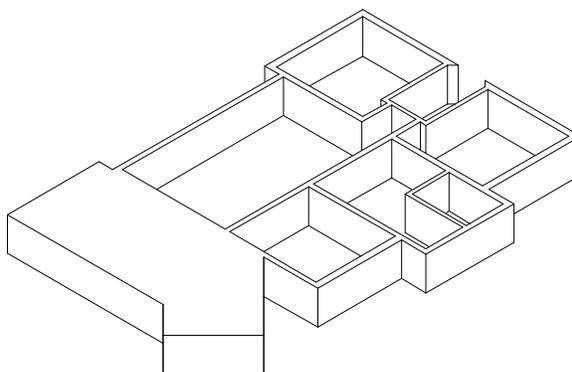


Figura 3.18 – Elementos construtivos (alvenaria) definidos a partir de volumes fechados.

Atualmente, surgem sistemas de CAD dedicados a processo de projeto específicos como parcelamento de solo, projeto arquitetônico e projeto mecânico. Nesses casos a modelagem de sólidos utiliza elementos tridimensionais apropriados para o processo em questão, por exemplo, para o projeto arquitetônicos utilizam-se primitivas 3D parametrizadas como parede, janela, porta, laje, telhado e escada. Cada uma dessas primitivas possui operações próprias de criação e edição. As operações booleanas básicas para manipulação de sólidos (adição, subtração e interseção) estão embutidas nas operações de criação e edição das primitivas específicas. O volume de uma edificação é composto por objetos gerados a partir das primitivas 3D parametrizadas. Um exemplo de sistema de CAD dedicado ao processo de projeto arquitetônico é o AUTOCAD Architectural Desktop (AUTODESK, 1999).

4 METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os diversos aspectos conceituais relacionados ao tema, um levantamento dos programas para cálculo estrutural, um levantamento dos ambientes de colaboração para AEC na *internet* e, posteriormente, dois tipos de pesquisa de campo: pesquisa global e específica.

A pesquisa global teve como objetivo fazer um diagnóstico das empresas de projeto estrutural com relação ao perfil de utilização de programas para cálculo estrutural, uso de modelos tridimensionais e a forma de comunicação entre profissional x profissional e profissional x cliente durante o processo de projeto. Para isso, um questionário eletrônico no formato *HTML* (*HyperText Markup Language*) foi elaborado e hospedado na *internet* no endereço <http://www.facens.br/estnet>, cujas respostas eram armazenadas em uma base de dados *MySQL*, disponível durante o período de outubro a dezembro de 2001. Para divulgação da pesquisa, foram enviadas mensagens eletrônicas para profissionais da região de Sorocaba (494 profissionais entre arquitetos, engenheiros civis, eletricitistas e mecânicos), Campinas/FEC-UNICAMP (19 professores do departamento de estruturas – DES) e profissionais encontrados pela busca eletrônica (20 profissionais localizados em vários estados brasileiros).

A pesquisa específica foi realizada em quatro escritórios de projeto estrutural atuantes no mercado de construção de edifícios na região de Sorocaba/SP. A escolha dessas empresas considerou a facilidade de acesso aos dirigentes, são especializadas somente em projetos estruturais e elaboram projetos de edifícios residenciais em concreto armado.

Por meio dessa pesquisa, buscou-se caracterizar as empresas quanto:

- Ao perfil da empresa;
- À ferramenta de projeto;
- À utilização da internet;
- Ao tipo de cliente;
- À utilização dos recursos tridimensionais nas ferramentas de trabalho;
- Às etapas de desenvolvimento do projeto estrutural, identificando o processo de projeto adotado e a postura das empresas relacionadas à coordenação de projetos.

A partir dessas informações e baseando-se na revisão bibliográfica, foi elaborada uma avaliação do perfil das empresas e processo de projeto adotado, com a finalidade de desenvolver um processo de projeto estrutural que potencialize a comunicação entre os diversos profissionais envolvidos no processo de projeto de edifícios de pequeno porte, adotando-se as ferramentas pesquisadas e em uso pelos profissionais da área de projeto estrutural visando à maior colaboração e integração entre eles.

O *WebSite* desenvolvido e utilizado para a pesquisa de campo global encontra-se no Anexo A (pág. 99).

5 PROGRAMAS PARA CÁLCULO ESTRUTURAL

Existe no mercado, atualmente, uma variedade de programas para cálculo estrutural que podem ser classificados basicamente em dois tipos: a) sistemas para análise estrutural, b) sistemas para cálculo, dimensionamento e detalhamento de estruturas.

Os sistemas para análise estrutural processam vários tipos de estruturas de diversos materiais por meio do método de elementos finitos e possuem módulos para estrutura metálica e de concreto armado que fazem a verificação de acordo com Normas brasileiras e internacionais. Para o detalhamento dos elementos estruturais, necessita-se de um sistema de CAD. Destacam-se nesse tipo de programa o SAP 2000 e o STRAP 10.0.

Os sistemas para cálculo, dimensionamento e detalhamento processam estruturas em concreto armado e utilizam o modelo de pórtico espacial de barras e grelhas planas para obtenção das solicitações nos elementos estruturais. O dimensionamento e a verificação da estrutura são realizados automaticamente seguindo a Norma brasileira (NBR-6118) por meio de parâmetros pré-configurados pelo usuário. Os programas pesquisados possuem uma ferramenta de CAD 2D para entrada geométrica da estrutura e edição do detalhamento da armação das peças estruturais. Destacam-se nesse tipo de programa o TQS, CypeCAD e o AltoQI Eberick.

Os programas pesquisados neste trabalho são identificados na Tabela 5.1. O detalhamento dos programas são apresentados no Anexo B. Dentre esses, pode-se verificar que a maioria possui a interface de entrada de dados na forma bidimensional (AltoQI Eberick, CypeCAD, TQS), ou seja, o lançamento dos elementos estruturais, vigas, pilares e lajes se faz na forma 2D em planta, e a altura entre pavimentos é informada na configuração do projeto (Figura

5.1). Esses sistemas mostram a estrutura em planta com as seções de vigas e pilares desenhadas nas dimensões reais, especificadas durante o seu lançamento (Figura 5.2). A partir da altura entre pavimentos especificada previamente, os sistemas constroem o pórtico da estrutura na forma tridimensional a qualquer momento, mostrando as seções reais dos elementos estruturais, podendo ser visualizados em perspectivas e elevações. A Figura 5.3 mostra um exemplo de pórtico tridimensional. A partir desses dados, pode-se gerar cortes na estrutura automaticamente e incluí-los no projeto estrutural.

Tabela 5.1 – Programas para cálculo estrutural

Software	Tipo de estrutura	Entrada de dados	Gera cortes /elevações	Gera 3D	Site
AltoQI - Eberick	Concreto armado	2D	Sim	Sim	www.altoqi.com.br
Alvena 2000	Alvenaria estrutural	2D	Sim	Não	www.trelisoft.com.br
CypeCAD 2000	Concreto armado Alvenaria estrutural	2D	Sim	Sim	www.multipius.com
ETABS	Concreto armado	3D	Sim	Sim	www.csiberkeley.com
Metálicas 3D 2000	Metálica	3D	Sim	Sim	www.multipius.com
SAP 2000	Metálica Concreto armado	3D	Sim	Sim	www.csiberkeley.com
Sistrut	Concreto armado	2D	Não	Não	www.sistrut.com.br
TQS	Concreto armado	2D	Sim	Sim	www.tqs.com.br

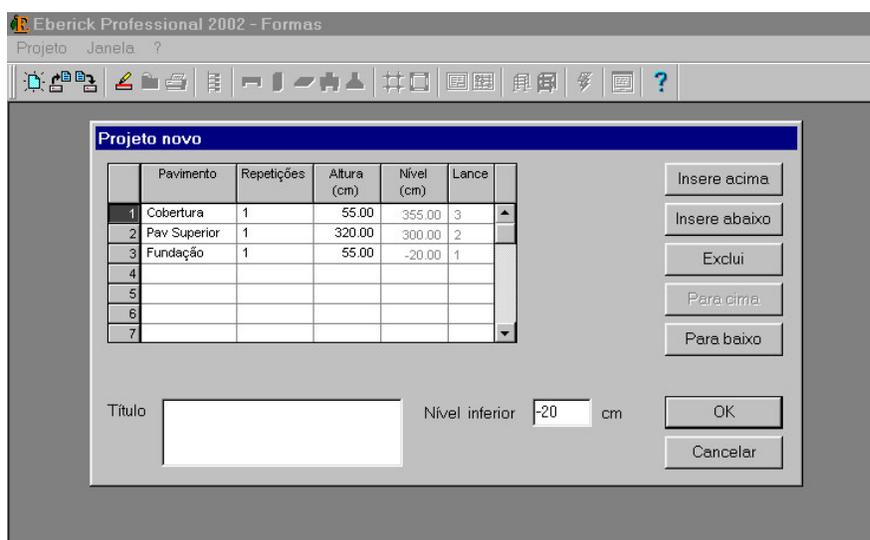


Figura 5.1 – Configuração dos níveis dos pavimentos definindo a altura entre planos da estrutura (AltoQI Eberick).

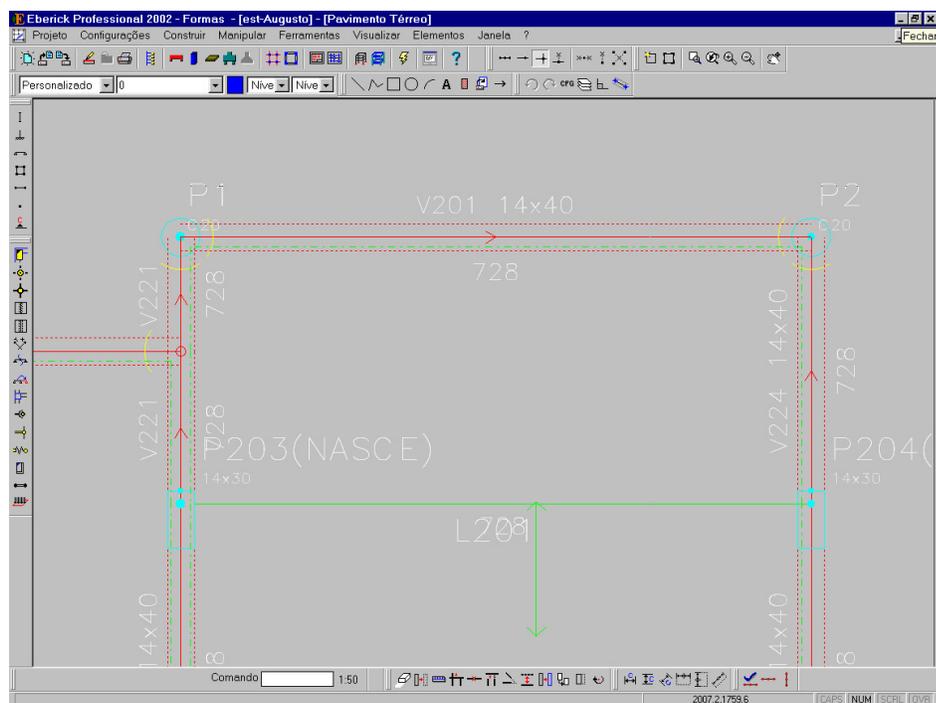


Figura 5.2 – Ambiente de CAD para o lançamento da estrutura (AltoQI Eberick).

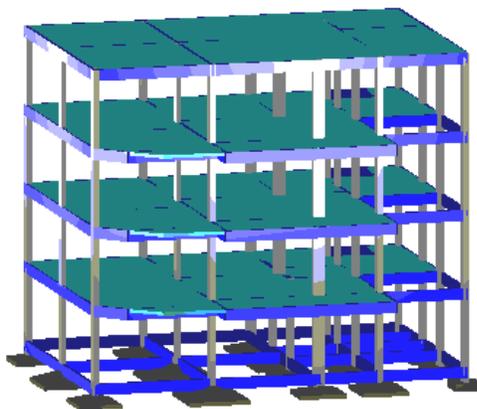


Figura 5.3 – Exemplo de pórtico tridimensional

Todos os sistemas apresentados utilizam arquivos no formato DXF (*drawing interchange format*) para importar e exportar arquivos de desenho, isto é, fazer comunicação com outros aplicativos. Dessa maneira é possível ler as plantas de arquitetura e lançar a estrutura diretamente sobre esses desenhos. Também possuem um ambiente de desenho como qualquer sistema de CAD com ferramentas simples.

Nos sistemas que possuem a entrada de dados na forma tridimensional (SAP2000, STRAP 10.0, ETABS, Metálicas 3D 2000), pode-se importar a estrutura na forma de linhas por meio de arquivos no padrão DXF ou lançá-la no próprio sistema como mostra a Figura 5.4.

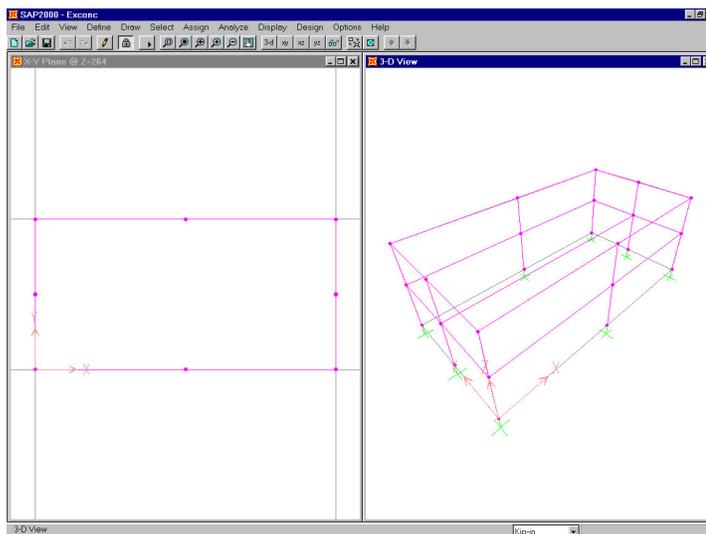


Figura 5.4 –Ambiente CAD 3D com dupla visão (planta e 3D) do programa SAP2000 para lançamento da estrutura.

Uma vez definidos os dados geométricos, são especificados os materiais e seções das barras da estrutura. Após essa etapa, são lançados os carregamentos de peso próprio e sobrecargas acidentais (utilização, vento, sismo, etc.), independentemente, para uma posterior combinação entre eles.

O sistema que mais se diferencia desses pesquisados é o ALVENA 2000 para projetos de alvenaria estrutural. Esse programa utiliza uma ferramenta CAD externa, ou seja, além do próprio programa é necessário um sistema de CAD acrescido de funções programadas na linguagem Autolisp (AutoCAD, IntelliCAD) para lançar a estrutura. Inicialmente, são informados ao sistema o número de pavimentos, pé direito, tipo de bloco estrutural e materiais (concreto, aço) utilizados na obra. Após essa configuração inicial no programa, são lançados os eixos das paredes estruturais no sistema de CAD externo, onde as rotinas desenvolvidas em AutoLisp realizam a modulação dos blocos estruturais automaticamente, permitindo ao projetista realizar alguma alteração para melhor adequação da modulação. Após o estudo de modulação das

paredes, é feito o lançamento das lajes informando o tipo (maciça ou pré moldada) e sua direção principal. Nesse momento, são informados o peso próprio das lajes, sobrecarga de utilização e revestimentos para gerar o carregamento nas paredes. O detalhamento das paredes estruturais é desenhado automaticamente, gerando desenhos com modulações da primeira e segunda fiadas de blocos e elevações com aberturas de portas e janelas previamente especificadas.

O programa Sistrut 4.0 não utiliza nenhum sistema de CAD para a entrada de dados gráficos da estrutura. A geometria da estrutura deve ser definida por meio de coordenadas fornecidas ao sistema, onde são definidos os contornos de lajes, vigas e posicionamento de pilares. Os carregamentos das lajes também são definidos da mesma maneira. O cálculo de lajes, vigas e pilares são realizados em módulos independentes, porém o carregamento é gerado automaticamente de um módulo para o outro, isto é, o módulo de lajes gera o carregamento para vigas e o módulo de vigas gera o carregamento para os pilares.

O modelo tridimensional utilizado nos programas para cálculo estrutural presentes nos sistemas TQS, CypeCAD e AltoQI Eberick, é um modelo 3D numérico da estrutura, sendo representado por uma estrutura unifilar criada a partir das coordenadas das barras dos elementos estruturais ou superfícies do tipo *3Dmesh* gerados a partir dos contornos das lajes. A representação 3D dos elementos estruturais com suas seções reais tem seu uso limitado apenas à visualização. Essa representação tridimensional do pórtico espacial da estrutura pode ser exportado para o padrão DXF na forma de superfícies que compõem as faces dos elementos pilar, viga e laje. O modelo de sólidos 3D não é gerado impossibilitando as operações de edição (adição, subtração, interseção) e perdendo algumas informações das propriedades geométricas.

6 AMBIENTES COLABORATIVOS

Este capítulo apresenta os ambientes de colaboração para AEC pesquisados durante o período de 2000 a 2002. Muitos desses ambientes sofreram modificações e até encerraram suas atividades. Atualmente, no Brasil, esses serviços são explorados por três empresas, Construtivo.com, Neogera e uma representação da empresa Citadon por meio da PiniWeb. A seguir são apresentadas as funcionalidades, segurança dos dados, customização do *website*, um levantamento do estado atual dos ambientes relacionados ao número de usuários e valores de projeto, custos dos serviços e uma pesquisa de aceitação entre profissionais da área de AEC.

6.1 Funcionalidades

Os ambientes colaborativos desenvolvidos para indústria de AEC habilitam os usuários de um projeto e construção a colaborar e a compartilhar desenhos e outras informações de um projeto pela *internet*, além de permitir comunicação entre os integrantes da equipe. As Figuras 6.1 e 6.2, mostram o diretório de arquivos dos ambientes colaborativos Buzzsaw e eProject. A indústria de serviços *online* continua se solidificando, e os serviços de hospedagem se dividem basicamente em dois tipos principais: colaboração de projeto e portais completos de serviço.

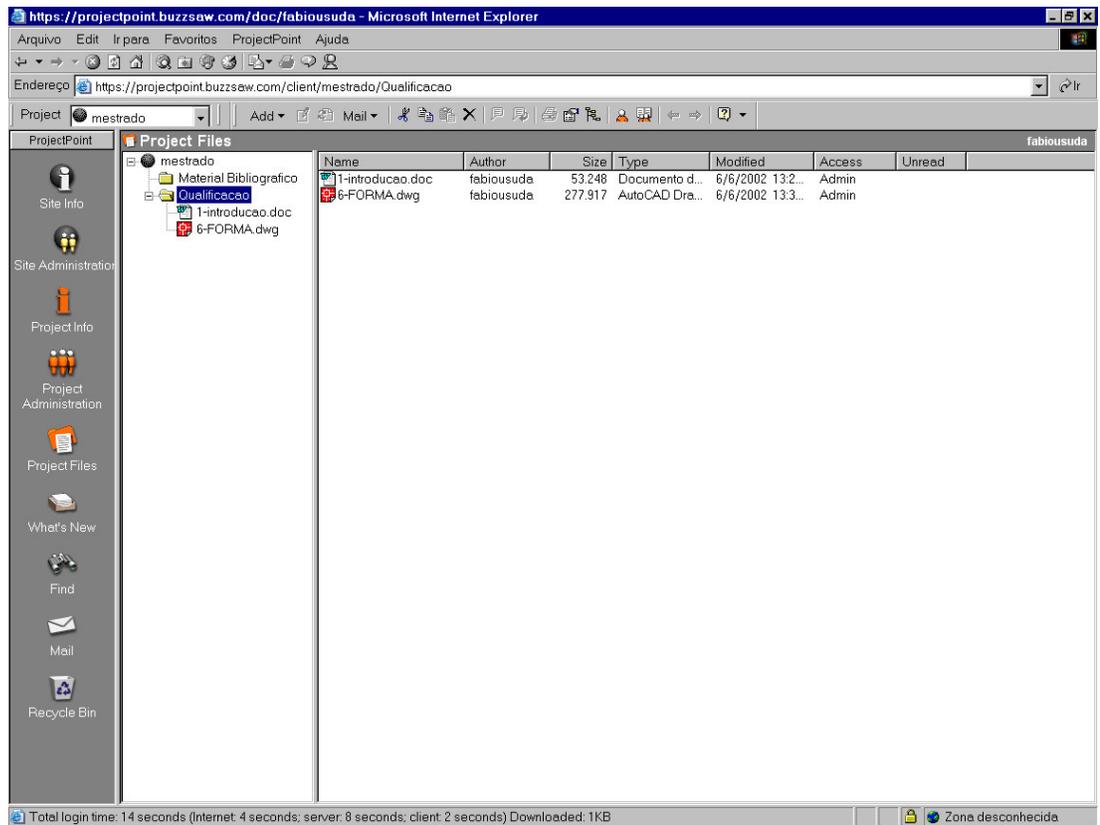


Figura 6.1 – Buzzsaw.com - Ambiente de colaboração na *internet*.

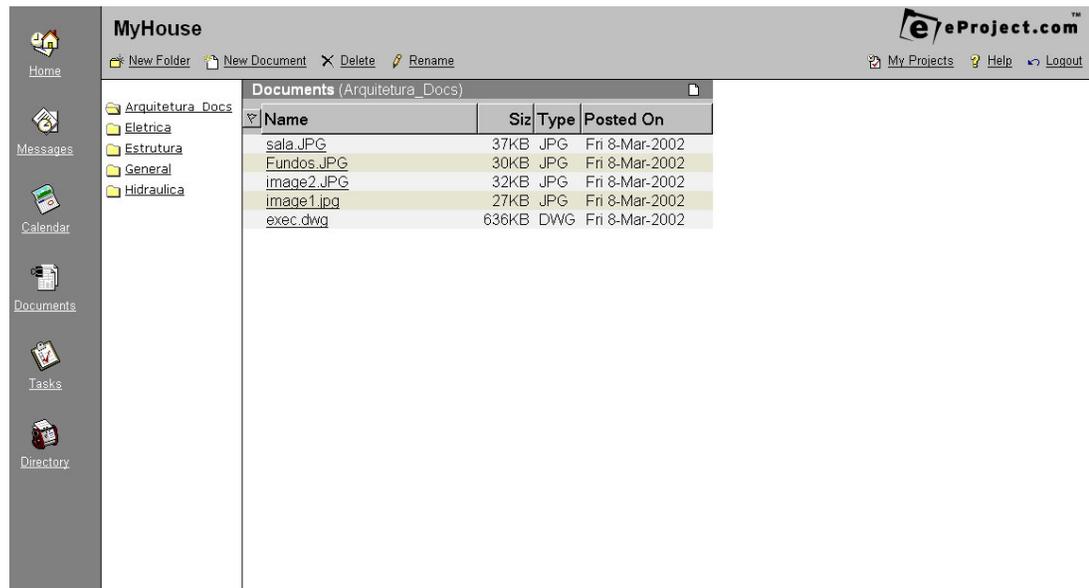


Figura 6.2 – eProject.com – Ambiente de colaboração na *internet*.

Ambos os tipos oferecem benefícios. A colaboração de projeto na *internet* tem ferramentas e serviços que auxiliam o gerenciamento de todo processo de projeto e agentes envolvidos. A ferramenta mais comum é o suporte para os arquivos, que mantém relatórios de histórico de revisões de documentos e de acesso pelos usuários habilitados (Figura 6.3). Os ambientes colaborativos também oferecem ferramentas de visualização de documentos *online*, *markup online* (anotações sobre arquivos de desenho), e serviços de impressão. Além de ferramentas de administração de projeto, os portais de serviço completo possuem serviços como fóruns de discussão, catálogos *online* de materiais e subcontratantes e serviço de licitação por meio de parcerias com outros *websites*. O objetivo desses portais completos de serviço é promover mais do que colaboração, mas também satisfazer toda necessidade de projeto, construção e manutenção da obra.

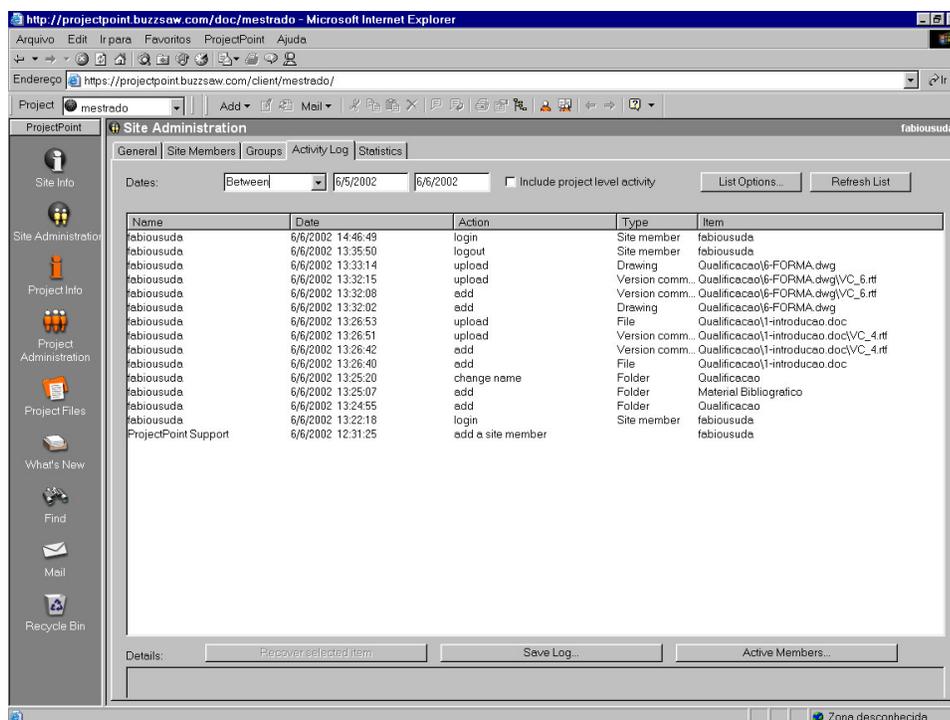


Figura 6.3 – Histórico de acesso no ambiente para colaboração em AEC – Buzzsaw.com.

Uma das razões mais comuns para se utilizar o serviço *online* é estabelecer um único repositório para arquivar o projeto, relacionando arquivos de forma que todos os profissionais envolvidos possam ter acesso controlado a qualquer hora e em qualquer lugar. Desse modo, a localização de documentos ou arquivos de projeto é facilitada, se comparada com situações onde

os arquivos ficam situados em escritórios diferentes, em servidores diferentes, ou até mesmo, se estão arquivados em computadores diferentes de um mesmo escritório.

Com relação a armazenar arquivos em um único repositório, há basicamente três filosofias diferentes na abrangência de arquivos armazenados:

- Arquivos de comunicação: são representados por correspondência geral, como *e-mail*, *fax* e ordens de alteração. Isso representa a quantia mínima de dados que será armazenada no local de hospedagem. Esses dados simplesmente descrevem a atividade diária do projeto, beneficiando o cliente na conferência do estado do projeto. Desse modo, toda a correspondência está em um único local, portanto nenhum integrante da equipe pode reivindicar que um documento importante não tenha sido recebido.
- Arquivos de projeto: são armazenadas não só correspondências diárias como *e-mail* e *fax*, mas também cópias de desenhos de CAD para revisões ou verificações. O serviço de hospedagem funciona como uma ferramenta de colaboração de projeto, onde se localiza a correspondência diária e revisão de desenhos com anotações (*markup*) anexadas ao arquivos de CAD. Esse nível de serviço não só beneficia o cliente por razões previamente descritas, mas também a equipe de projeto geograficamente dispersa.
- Todos os arquivos de projeto: armazena-se tudo, tendo como vantagem todos os arquivos disponíveis a todos integrantes, a qualquer hora, em qualquer lugar. A desvantagem é que o tempo de acesso depende da velocidade de conexão à *internet*. Quando se trabalha com grandes arquivos de CAD, que incluem referências a outros desenhos ou imagens, carregar o arquivo provavelmente reduzirá a velocidade. Esse serviço de hospedagem, denominado EDMS (sistema de administração de documento eletrônico), pode promover uma solução aceitável se os projetos forem compostos por desenhos pequenos e com poucos (preferivelmente nenhum) arquivos de referência externa. Todos os dados são armazenados em um único lugar e pode-se controlar o acesso aos arquivos fixando-se permissões apropriadas, como leitura e gravação, somente de leitura ou nenhum acesso.

Um benefício somado em armazenar os arquivos em um único lugar é que pode-se obter relatórios das atividades dos usuários. Muitos *websites* oferecem ferramentas que procuram quem teve acesso ou carregou um determinado documento, como também quando o arquivo foi editado e enviado para o serviço de hospedagem.

6.2 Segurança de arquivos *online*

Os serviços de hospedagem de arquivos possuem medidas apropriadas para manter os dados protegidos de roubo, perda acidental e acesso de pessoas não autorizadas. Todos os ambientes de colaboração permitem que o administrador do projeto configure os direitos de acesso para usuários. Para assegurar que os dados não sejam perdidos acidentalmente devido a uma falha do sistema, os serviços de hospedagem possuem um procedimento de cópias de segurança (*backup*) constante dos arquivos armazenados, além de oferecer cópias dos arquivos gravados em CD (*compact disc*) aos seus clientes. Muitos usuários têm preocupações com relação à segurança dos arquivos, pois todo conhecimento e experiência profissionais estão armazenados nestes locais. Um outro fato importante a destacar é o sigilo das informações, pois existe a possibilidade de acesso a arquivos como planilhas orçamentárias e custo da obra que podem prejudicar a concorrência de obras públicas. Devido a esses fatos, o administrador do projeto deve configurar criteriosamente os diretórios de arquivos de desenhos, os arquivos de documentos e a permissão de acesso para cada usuário, para que informações sigilosas não estejam disponíveis a todos profissionais envolvidos no projeto.

6.3 Customização do *Website*

No passado, provedores de serviço ofereciam somente a interface de *browser* genérica. Atualmente, alguns provedores permitem personalizar a interface do *browser* para melhorar as necessidades de gerenciamento. Como exemplo, alguns provedores permitem a troca do fundo do

browser para o logotipo da empresa, visualização de calendário e tarefas agendadas. Outros *websites* configuram o sistema de acordo com as necessidades do usuário, visando à redução do custo de prestação dos serviços.

6.4 Levantamento dos ambientes colaborativos

Entre os vários ambientes pesquisados mostrados na Tabela 6.1, é difícil definir o melhor, pois oferecem ferramentas semelhantes. A Tabela 6.2 mostra uma comparação dos serviços disponíveis pelos ambientes colaborativos.

Tabela 6.1 – Ambientes colaborativos para AEC pesquisados durante o período de 2000 a 2002.

Nome	Endereço	Tipo de serviço
Buzzsaw	www.buzzsaw.com	Colaboração de projeto
eProject	www.eproject.com	Colaboração de projeto
Citadon	www.citadon.com	Portal completo
Bricsnet Project Center	www.bricsnet.com	Colaboração de projeto
Viecon	www.viecon.com	Colaboração de projeto
e-IDC	www.e-idc.com	Colaboração de projeto
A.9 Constructware	www.constructware.com	Colaboração de projeto
e-Builder	www.e-builder.net	Parceria com BuildPoint
Neogera	www.neogera.com.br	Colaboração de projeto, comércio eletrônico
Construtivo	www.construtivo.com	Colaboração de projeto, comércio eletrônico

Tabela 6.2 – Ferramentas disponíveis nos ambientes colaborativos.

Website	Viecon	Bricsnet	Buzzsaw	Citadon	e-builder
Tipo de arquivos armazenados					
Comunicação	x	x	x	x	x
Projeto	x	x	x	x	x
Todo tipo de arquivo	x	x	x	x	x
Rastreamento de acesso					
Histórico de acesso	x	x	x	x	x
Histórico de revisões	x	x	x	x	x
Notificação de e-mail	x	x	x	x	x
Notificação de fax		x	x		x
Ferramentas disponíveis					
Visualização de desenhos CAD	x	x	x	x	x
Visualização de documentos do office	x	x	x	x	x
Visualização de imagens	x	x	x	x	x
Visualização de anotações (markups)	x	x	x	x	x
Impressão dos arquivos					
Imprime localmente	x	x		x	x
Envia ordem de impressão			x	x	x
Segurança dos arquivos					
Senha de acesso	x	x	x	x	x
Programa de cópia de segurança	x	x	x	x	x
Customização do website					
Ferramenta de auto-customização	x	x	x	x	x
Customização pelo servidor	x	x		x	x
Outros serviços					
Contratação		x			parceria
Gerenciamento da construção		x	x	x	x
Bibliotecas	x	x			parceria

LAISERIN (2000) desenvolveu duas medidas de comparação para traçar um perfil desses ambientes e fazer projeções futuras. Essas medidas de comparação são:

- Relação de usuários por projeto;
- Valor em dólares dos projetos,

A Figura 6.4 mostra as comparações entre os principais ambientes de colaboração de projeto em AEC.

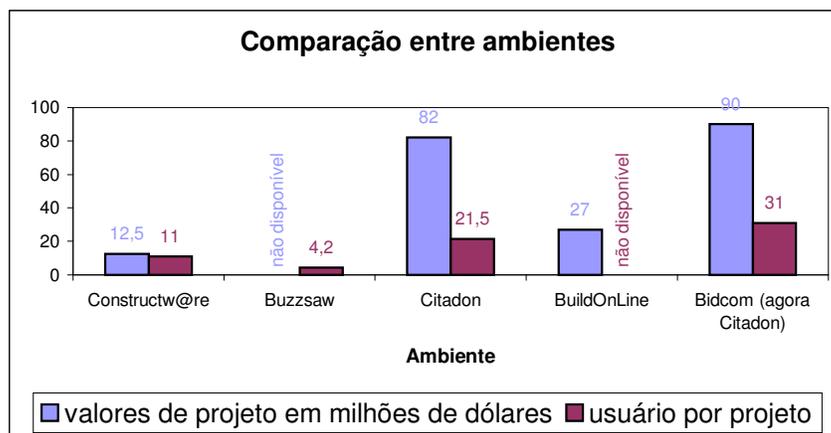


Figura 6.4 – Comparação entre os ambientes de colaboração em AEC (LAISERIN, 2000).

O perfil traçado por LAISERIN (2000) é amplo. Verificam-se índices de 4,2 a 31 usuários por projeto e 12,5 a 90 milhões de dólares por projeto, demonstrando que o uso desses ambientes varia de projetos pequenos a projetos de grande porte. Entretanto, o estudo define opções de escolha, isto é, verifica-se que os ambientes Citadon e Bidcom hospedam projetos de grande porte e o restante projetos de pequeno e médio portes. O autor ainda define algumas tendências relacionadas ao comportamento das empresas de hospedagem de projetos:

- Nem todos os ambientes colaborativos evoluirão para empresas que ofereçam serviços completos em AEC;
- Nos próximos anos haverá poucos ambientes de colaboração gratuito ou aberto a qualquer público, pois os grandes usuários comprarão as empresas financeiramente mais fracas.

6.5 Custo dos ambientes para colaboração de projetos

Os custos apresentados na Tabela 6.3 foram levantados em novembro de 2002 por meio de consulta às empresas que prestam esse tipo de serviço. As empresas Construtivo e Neogera têm a vantagem de estarem situadas em São Paulo - Brasil, diminuindo assim o custo de suporte técnico para a implantação do sistema. Os valores apresentados levam em conta a capacidade de

armazenamento de arquivos, o número de usuários cadastrados por projeto, o número de projetos, prazo de utilização e custo mensal dos serviços de hospedagem, uma relação de custo (R\$) por unidade (megabyte) de armazenamento de arquivos e uma relação de custo pelo número de usuários. O número de usuários foi definido como sendo a equipe envolvida no projeto, como por exemplo, o cliente (construtora/incorporadora), arquiteto, engenheiro estrutural, engenheiro de instalações hidráulicas, engenheiro eletricitista e o engenheiro de segurança responsável pelo projeto de proteção e combate a incêndio, totalizando no mínimo seis profissionais que têm grande envolvimento no processo de projeto. É importante salientar que para a utilização efetiva dos recursos disponíveis nesses ambientes, é necessário a contratação de acesso à *internet* em banda larga. O acesso convencional por linha telefônica não é aconselhado para arquivos superiores a 1Mb devido ao tempo de *download* e *upload*.

Tabela 6.3 - Custo mensal dos ambientes Buzzsaw, Neogera e Construtivo.

Website	Buzzsaw	Neogera	Construtivo
Capacidade (Mbyte)	1000	600	500
Nº de usuários	Ilimitado	50	10
Nº de projetos	1	1	1
Prazo de utilização	60 dias	Mensal	Mensal
Custo mensal (R\$)	1.850,00	1.000,00	1.522,00
Custo/Mbyte (R\$)	1,85	1,67	3,04
Custo/6 usuários (R\$)	308,33	166,67	253,66

OBS. : dólar R\$3,70

Além do custo dos ambientes colaborativos, deve-se somar o custo do provedor de *internet* e do acesso em banda larga. O custo levantado em novembro de 2002 para o Speedy (Telefônica) e o provedor Terra é de R\$124,50 mensais.

6.6 Exemplo de utilização

Com relação à aceitação dos ambientes colaborativos pelos profissionais da área de AEC, foi realizada uma pesquisa pela CAD SPAGHETTI com 256 escritórios de projeto no Reino Unido, em janeiro de 2002. Os resultados mostram como estão sendo utilizados esses serviços. Dentre os níveis mais básicos de compartilhamento de informações, 95% da amostra utiliza correio eletrônico (*e-mail*) para colaboração de projeto. Quanto à comunicação, somente 9% utiliza recursos tecnológicos como *web meetings* ou videoconferência. Com relação à hospedagem de arquivos, principal ferramenta desses ambientes de colaboração, somente 20% utilizou esse serviço em 2002 (Figura 6.5). Porém há diferenças significativas de acordo com atividade empresarial, somente 13% das práticas arquitetônicas usaram esses serviços, comparados com 29% dos escritórios de engenharia civil/estrutural.

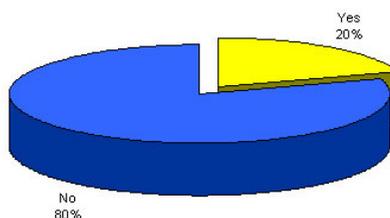


Figura 6.5 – Utilização dos serviços de hospedagem de arquivos na *internet* (CAD SPAGHETTI, 2002).

Essas diferenças são refletidas no uso do serviço de hospedagem de projeto de acordo com tamanho da empresa. Somente 10% de escritórios, com menos de 25 pessoas, usaram esses serviços (um grupo que consiste principalmente de projetos de arquitetura de pequeno porte), comparado com 32% de escritórios com mais de 100 pessoas. Ainda com relação aos 20% (48/256) que utilizaram os serviços, é interessante que somente um desses escritórios utilizou o mesmo ambiente para mais da metade dos projetos nos últimos doze meses; 7 usaram o mesmo ambiente entre 10% a 50% dos projetos e 40 para menos que 10% dos projetos.

Com relação aos 80% dos entrevistados que não utilizaram os serviços, 3% têm a intenção de utilizar nos próximos 12 meses, 67% não têm a intenção de usar e 30% possivelmente utilizarão os ambientes colaborativos (Figura 6.6).

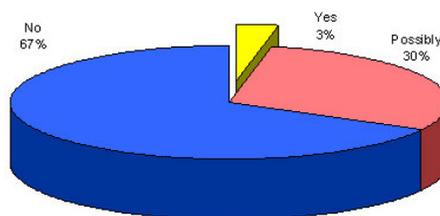


Figura 6.6 – Intenção de utilização dos serviços de hospedagem de arquivos na *internet* (CAD SPAGHETTI, 2002).

6.7 Considerações

Dentre os ambientes colaborativos levantados nesta pesquisa mostrados na Tabela 6.2, observa-se que todos são muito semelhantes. Nota-se diferenças nas ferramentas de contratação de serviços, gerenciamento da construção e bibliotecas de desenho que não são essenciais para a colaboração de projetos. Todos os ambientes colaborativos disponibilizam as principais funções de colaboração que são tipo de arquivos armazenados, rastreamento de acesso, visualização *online* e segurança dos arquivos.

A comparação realizada por LAISERIN (2000), mostrada na Figura 6.4, define tendências de instabilidade nas empresas existentes de colaboração de projetos. Pelos valores apresentados, pode-se concluir que os ambientes colaborativos são utilizados por qualquer tipo e tamanho de obra. Durante o período da pesquisa (2000-2002), surgiram alguns ambientes colaborativos no Brasil (Neogera, Construtivo) e outros se associaram (Bidcom+Citadon). Esse é um fato que ocorre em vários segmentos de empresas com negócios ligados à *internet*, pois as mudanças do setor acompanham a mesma velocidade da comunicação. O que definirá a escolha de uma empresa ou outra será basicamente o custo mensal, capacidade de armazenamento e número de usuários que acessam os serviços. O custo de acesso à *internet* em banda larga vem se tornando cada vez mais acessível, o que também viabiliza o uso dos ambientes colaborativos como uma das soluções para gerenciar o projeto.

7 ESCRITÓRIOS : PERFIL, FERRAMENTAS E PROCESSOS

Neste trabalho realizaram-se dois levantamentos, global e específico, entre escritórios de projeto estrutural. O levantamento global foi realizado primeiro e teve como objetivo traçar o perfil dos escritórios relacionado ao tamanho da empresa, interface com o cliente e com outros profissionais da área e as ferramentas utilizadas. O levantamento específico foi realizado com o objetivo de identificar o processo de projeto adotado e os pontos de comunicação entre profissionais da área de AEC. Este capítulo apresenta os resultados desses levantamentos.

7.1 Levantamento global

O levantamento global foi elaborado com o objetivo de traçar o perfil de utilização dos programas para cálculo estrutural relacionados à utilização dos modelos tridimensionais e caracterizar a forma de comunicação entre profissionais e clientes durante o processo de projeto estrutural. Esse levantamento foi realizado por meio de um questionário eletrônico aplicado aos profissionais no endereço <http://www.facens.br/estnet>, cujas respostas eram automaticamente armazenadas em uma base de dados *MySQL*. O questionário ficou disponível na *internet* (ver site no ANEXO A) durante o período de outubro a dezembro de 2001.

Para a divulgação da pesquisa, foram enviadas mensagens eletrônicas para profissionais da região de Sorocaba (494 profissionais entre arquitetos, engenheiros civis, eletricitas e mecânicos), Campinas/FEC-UNICAMP (19 Professores do Departamento Estruturas - DES) e profissionais encontrados por meio de busca eletrônica (20 profissionais distribuídos pelo

território nacional). Após essa divulgação, 23 profissionais da área de engenharia estrutural participaram respondendo ao questionário compondo dessa forma a amostra de estudo.

7.1.1 Perfil global dos escritórios de projeto estrutural

A seguir são apresentados os resultados da pesquisa, analisando os seguintes aspectos:

- perfil da empresa;
- ferramenta de projeto;
- utilização da Internet;
- tipo de cliente;
- utilização dos recursos tridimensionais nas ferramentas de trabalho.

Com relação ao perfil das empresas pesquisadas, a Figura 7.1A mostra que a grande maioria é considerada de pequeno porte, pois 85% são compostas por até 3 profissionais, com formação em engenharia civil (Figura 7.1B) e cursos de especialização (Figura 7.1C). A grande maioria adquiriu conhecimento de utilização das ferramentas computacionais de projeto sozinho, isto é, foram autodidatas (Figura 7.1D).

Com relação à ferramenta computacional principal de projeto, a Figura 7.2A mostra que 43% dos profissionais utilizam o AltoQI Eberick e 24% utilizam o SAP 2000. É importante destacar que esses programas possuem um ambiente CAD próprio para sua utilização, pois a entrada de dados se faz graficamente, mas esses ambientes não são suficientes para a grande maioria, pois 76% (Figura 7.2B) utilizam outro programa CAD para auxiliar no desenvolvimento do projeto.

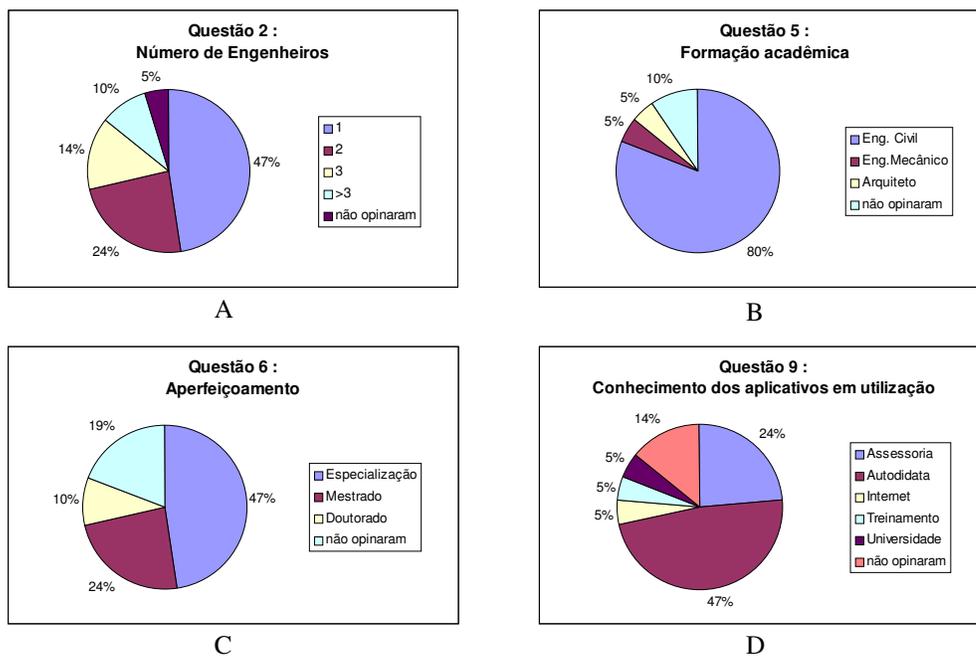


Figura 7.1 – Perfil das empresas.

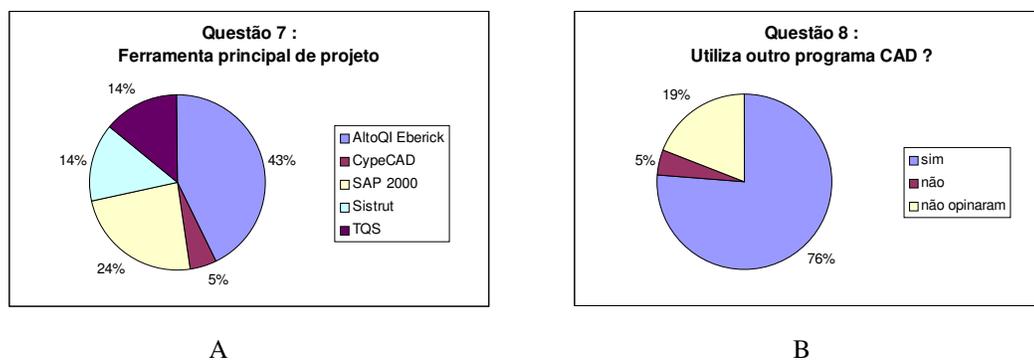


Figura 7.2 – Ferramenta principal de projeto.

Quanto à utilização da Internet, a Figura 7.3A mostra que 57% dos entrevistados possuem conexão via telefone e 29% conexão a cabo e sua utilização se faz para vários propósitos: *e-mail*, entretenimento, pesquisa de produtos e *home-banking* (Figura 7.3B).

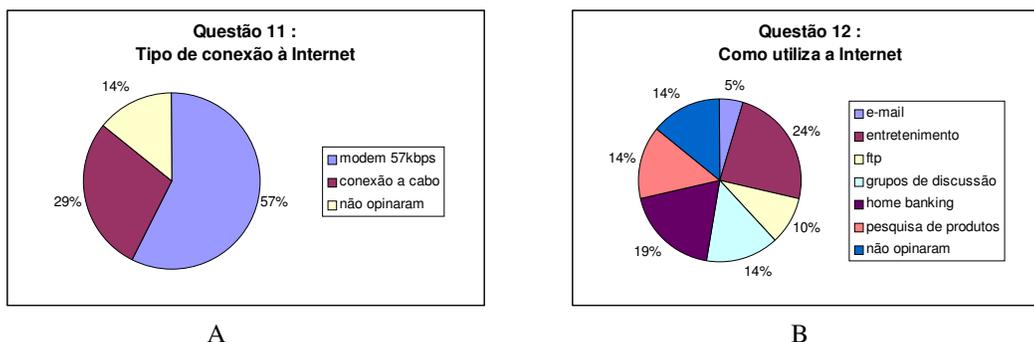


Figura 7.3 – Utilização da Internet.

A Figura 7.4A mostra que a maioria dos profissionais (62%) tem como principal cliente o proprietário da obra, recebe o trabalho (Figura 7.4B) na forma digital e cópias em papel na forma 2D (cortes, plantas e elevações). Com o projeto encerrado (Figura 7.4C), o trabalho é entregue para o cliente em cópias no papel e digitalmente, também arquivados dessa maneira (Figura 7.4D).

Com relação à utilização dos recursos tridimensionais disponíveis nas ferramentas de trabalho, a Figura 7.5A mostra que a grande maioria (86%) entrega o projeto estrutural na forma 2D e 14% entrega na forma 2D e 3D; 62% concorda em dizer que o desenho 3D contribui para o projeto estrutural (Figura 7.5B), mas 66% não recebe o desenho dessa maneira (Figura 7.5C); 38% não geram a estrutura em 3D, 19% geram o pórtico espacial da estrutura a partir do desenho 2D da arquitetura e 29% geram o desenho 3D para melhor visualização (Figura 7.5D); 57% dos profissionais de engenharia estrutural participam do projeto arquitetônico (Figura 7.5E).

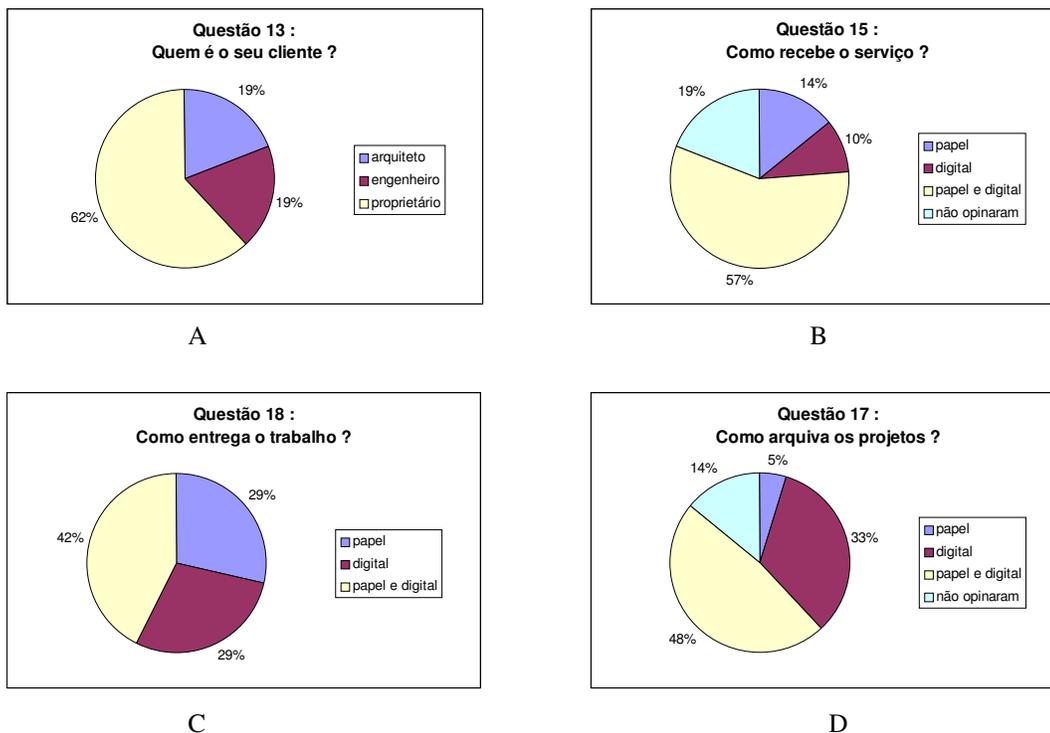


Figura 7.4 – Tipo de cliente.

Analisando esses resultados, detectaram-se algumas inconsistências com relação ao tipo de cliente. A Figura 7.4A mostra que 62% dos entrevistados afirmam que têm como cliente o proprietário da obra e a Figura 7.5E mostra que 57% participam do projeto arquitetônico. Se a maioria tem como cliente o proprietário da obra, provavelmente o projeto de arquitetura deve estar pronto. Dessa forma, não é possível que 57% dos entrevistados participem do processo de projeto arquitetônico. Isso se deve ao fato de que alguns profissionais desenvolvem os projetos arquitetônico e estrutural para obras de pequeno porte, como exemplo obras residenciais.

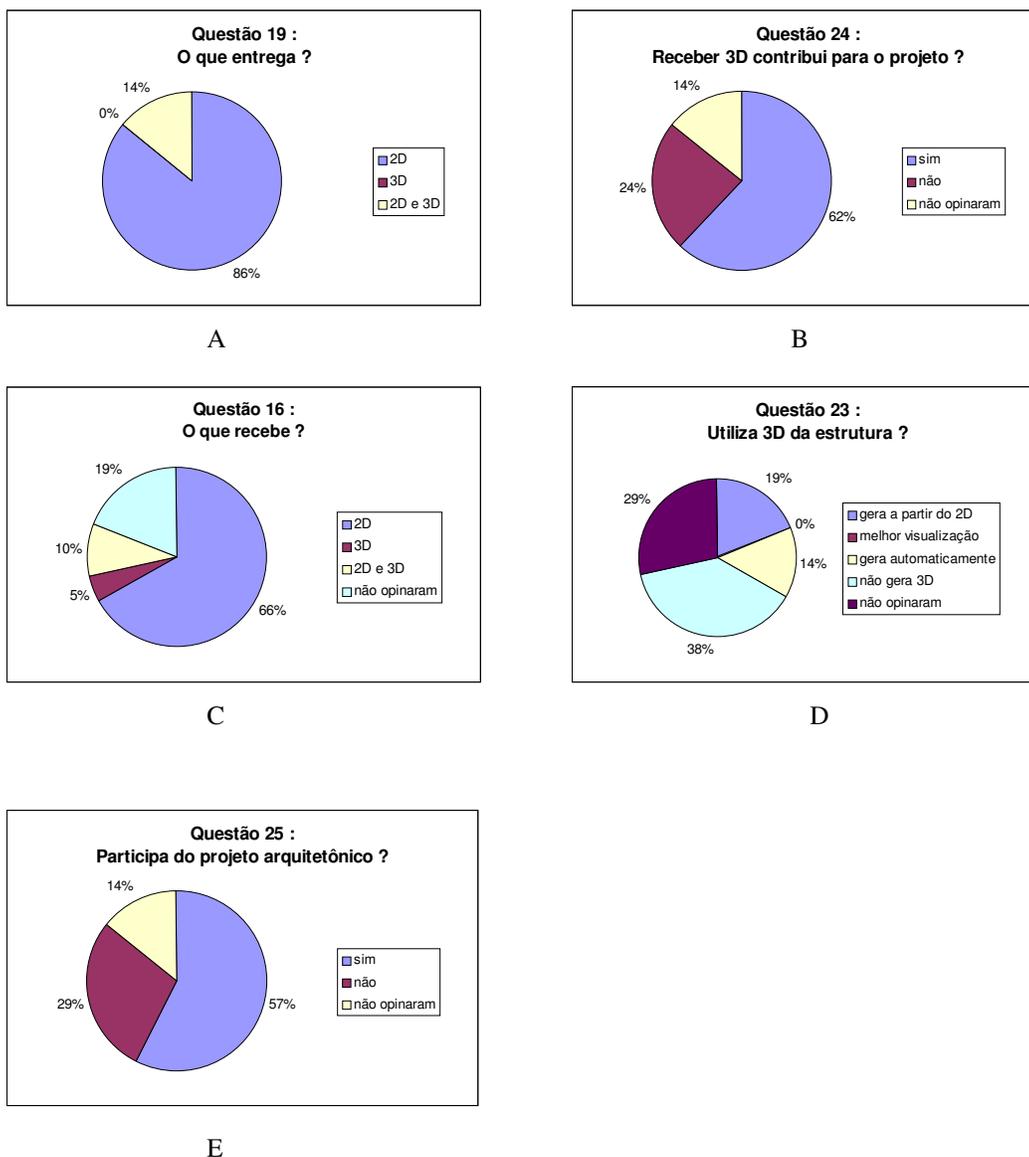


Figura 7.5 - Utilização dos recursos tridimensionais nas ferramentas de trabalho.

Pode-se sintetizar os dados levantados dessa pesquisa, realizada durante o período de outubro a dezembro de 2001, no seguinte perfil global de profissionais da área de projeto estrutural como sendo:

- A maioria das empresas da amostra estudada é de pequeno porte;
- Os profissionais têm formação em engenharia civil e especialização;

- Os escritórios utilizam a ferramenta AltoQI Eberick, além de outro programa de CAD;
- Os profissionais utilizam a *internet* conectada por modem 57kbps com uso diversificado;
- Os escritórios têm como cliente o proprietário da obra;
- Os profissionais recebem, entregam e arquivam os projetos em papel e no formato digital;
- Os profissionais recebem e entregam o projeto na forma 2D;
- Os profissionais reconhecem que o modelo 3D contribui para o projeto estrutural;
- Os profissionais geram o modelo 3D da estrutura apenas para conferência visual;

7.2 Levantamento específico

O levantamento específico envolveu 4 (quatro) empresas de projeto estrutural que também participaram do levantamento global anteriormente apresentado. Essas empresas atuam na região de Sorocaba/SP e São Paulo/SP e executam projetos de edifícios residenciais, comerciais e industriais. Esses escritórios foram escolhidas por estarem atuando no mercado de projetos de estrutura em concreto armado de edifícios há pelo menos 15 anos e por apresentarem facilidade de acesso aos profissionais responsáveis. Ao longo do trabalho, os escritórios serão identificados como empresas “A”, “B”, “C” e “D”. A Tabela 7.1 mostra as características das empresas pesquisadas quanto ao número de engenheiros, funcionários (estagiários, desenhistas, recepcionista, etc.), quantidade de projetos estruturais elaborados por ano e principais tipos de obra.

Tabela 7.1 – Características das empresas de projetos estruturais.

Empresa	Número de engenheiros	Número de funcionários	Quantidade de projeto/ano	Tipo de projeto estrutural
A	02	03	50	Edifícios residenciais
B	01	01	25	Residências e edifícios residenciais
C	03	0	20	Indústria, edifícios residenciais e comerciais
D	02	06	99	Indústrias, edifícios residenciais e comerciais

7.2.1 Perfil específico dos escritórios de projeto estrutural

A seguir são apresentados os resultados da pesquisa específica, analisando-se os seguintes aspectos:

- perfil da empresa;
- ferramenta de projeto;
- utilização da Internet;
- tipo de cliente;
- utilização dos recursos tridimensionais nas ferramentas de trabalho.

Com relação ao perfil das empresas pesquisadas, a Figura 7.6A mostra que a maioria é considerada de pequeno porte, pois 60% são compostas por até 2 profissionais, com formação em engenharia civil (Figura 7.6B) e cursos de especialização e mestrado parciais (Figura 7.6C). A maioria (60%) adquiriu conhecimento de utilização das ferramentas computacionais de projeto por meio de cursos de treinamento oferecidos pelas empresas que desenvolvem os programas (Figura 7.6D).

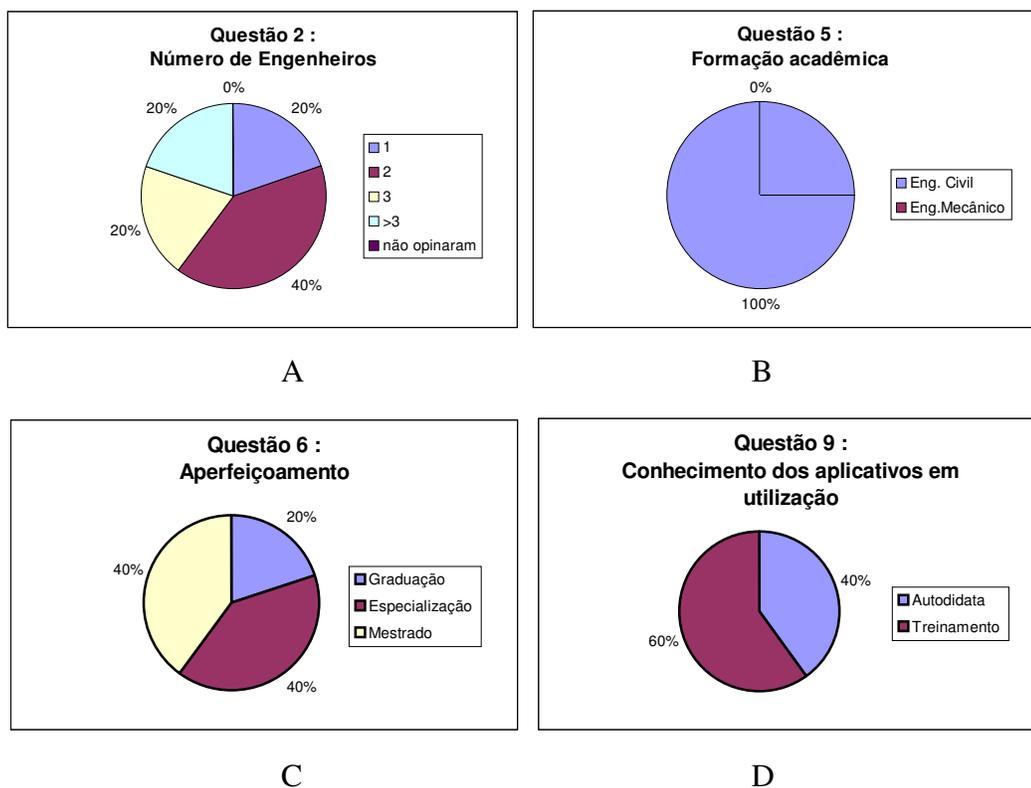


Figura 7.6 – Perfil da empresa.

Com relação à ferramenta computacional principal de projeto, a Figura 7.7A mostra que todos os profissionais utilizam o sistema TQS. Além do TQS, as empresas “C” e “D” utilizam o AltoQI Eberick para obras de pequeno porte. A empresa “A” utilizou o Cype cad até adquirir o sistema TQS. É importante destacar que esses programas possuem um ambiente de CAD próprio para sua utilização, pois a entrada de dados se faz graficamente, mas esses ambientes não são suficientes para a maioria, pois todos (Figura 7.7B) utilizam outro programa de CAD (Autocad) para auxiliar no desenvolvimento do projeto.

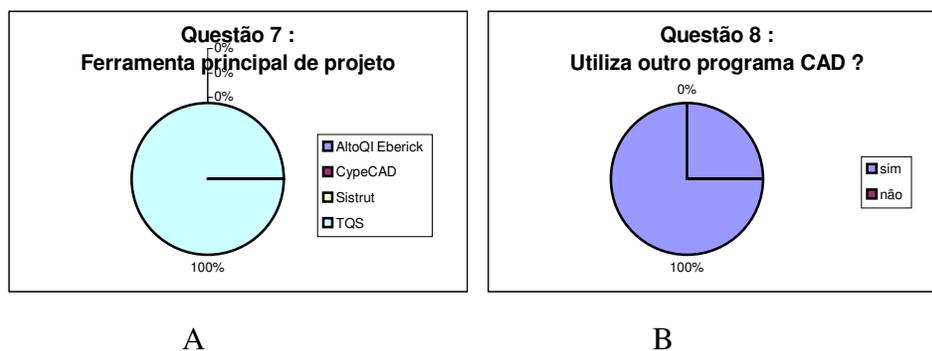


Figura 7.7 – Ferramenta principal de projeto.

Quanto à utilização da *internet*, a Figura 7.8A mostra que todos os entrevistados possuem conexão em banda larga. O principal uso da *internet* por todas as empresas entrevistadas é a troca de arquivos de projeto por meio de correio eletrônico (Figura 7.8B). Além do uso de *e-mail*, 40% utilizam para grupos de discussão.

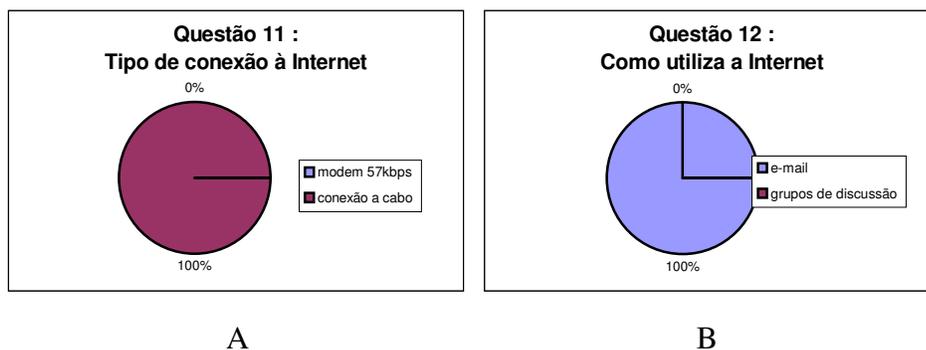


Figura 7.8 – Utilização da *internet*.

A Figura 7.9A mostra que todos os profissionais têm como principal cliente a incorporadora/construtora e recebem o trabalho (Figura 7.9B) na forma digital em 2D (Figura 7.9C) com desenhos de cortes, plantas e elevações. Com o projeto encerrado, o trabalho é arquivado na forma digital (Figura 7.9D).

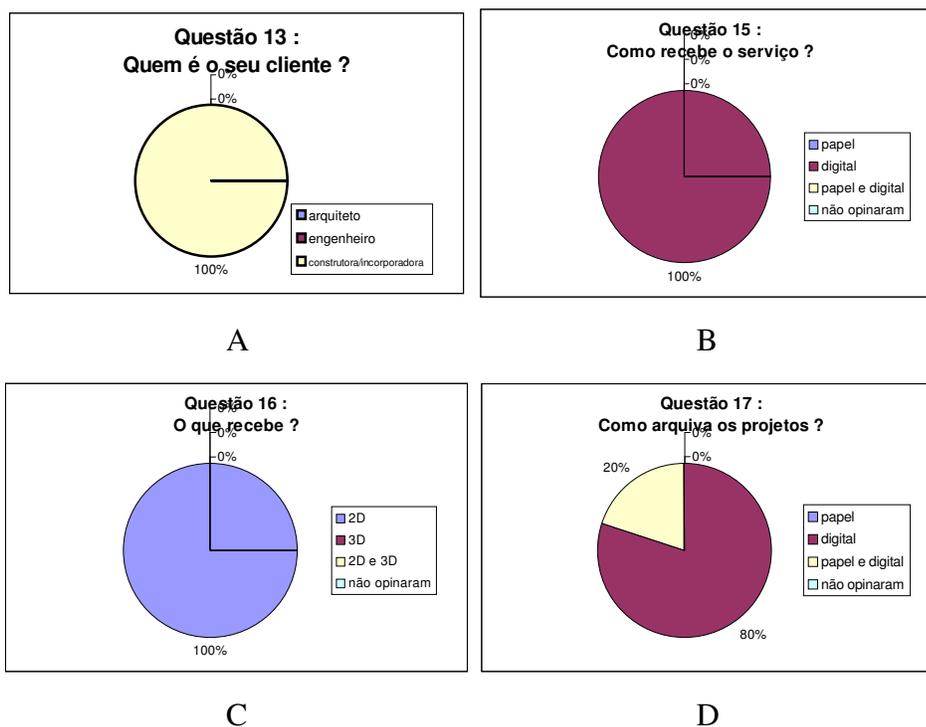


Figura 7.9 – Tipo de cliente.

Com relação à utilização dos recursos tridimensionais disponíveis nas ferramentas de trabalho, a Figura 7.10A mostra que todos entregam o projeto estrutural na forma 2D; apenas 20% concordam em dizer que o desenho 3D contribui para o projeto estrutural e 80% dizem que o modelo 3D não contribui, pois as ferramentas de trabalho não utilizam esse modelo de dados (Figura 7.10B). O profissional de arquitetura entrega o projeto na forma 2D para o desenvolvimento do projeto estrutural (Figura 7.10C) onde são lançados os elementos pilares, vigas e lajes nas ferramentas de cálculo e 80% dos entrevistados geram o modelo 3D para verificação visual do pórtico da estrutura (Figura 7.10D). Todos os profissionais de engenharia estrutural não participam do processo de projeto arquitetônico (Figura 7.10E).

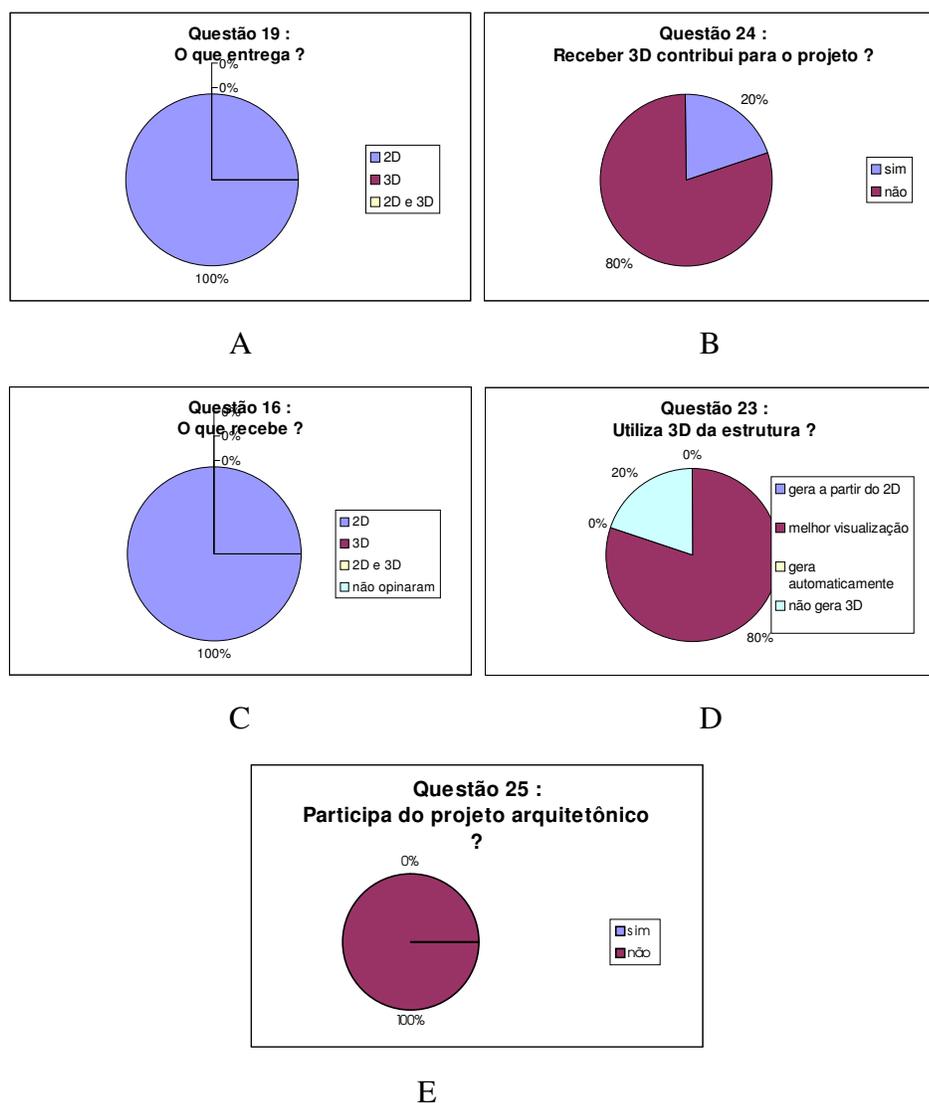


Figura 7.10 - Utilização dos recursos tridimensionais nas ferramentas de trabalho.

Pode-se sintetizar os dados levantados dessa pesquisa, realizada durante o período de novembro de 2002, no seguinte perfil específico de profissionais da área de projeto estrutural como sendo:

- A maioria das empresas da amostra estudada é de pequeno porte;
- Os profissionais têm formação em engenharia civil e especialização;
- Os escritórios utilizam a ferramenta TQS para projeto estrutural, além de outro sistema de CAD;
- Os profissionais utilizam a *internet* de banda larga, principalmente para troca de arquivos via correio eletrônico;
- Os escritórios têm como cliente a construtora/incorporadora da obra;
- Os profissionais recebem, entregam e arquivam os projetos em papel e no formato digital;
- Os profissionais recebem e entregam o projeto na forma 2D;
- Os profissionais concordam em afirmar que o desenho 3D não contribui para o projeto estrutural, pois as ferramentas em uso não possuem tal recurso;
- Os profissionais geram o desenho 3D da estrutura apenas para conferência visual.

7.2.2 Processo de projeto adotado pelas empresas

A seguir apresentam-se os processos de projeto estrutural das empresas pesquisadas, detalhados de acordo com o levantamento realizado por meio de entrevistas com os engenheiros responsáveis pelas empresas. O processo de projeto é muito semelhante entre as empresas “A”, “B” e “C” variando basicamente a ordem das etapas de verificações de deformações e estabilidade da edificação.

O processo de projeto estrutural tem seu início com o recebimento do arquivo da arquitetura em CAD. O engenheiro recebe o projeto arquitetônico em 2D na extensão DWG. Nessa fase, o arquivo é aberto no programa AutoCAD, conferem-se as escalas e cotas e o arquivo é preparado para entrada de dados na ferramenta TQS. Os blocos de vegetação, móveis,

hachuras, cotas são excluídos, permanecendo as paredes, portas, janelas e peças sanitárias. O arquivo é exportado para o formato DXF e o desenho original é mantido para futuras consultas. Esse procedimento geralmente é realizado por desenhistas ou estagiários que trabalham nas empresas.

A próxima etapa é a configuração do edifício no sistema TQS. São informados o número de pavimentos, modelo de cálculo, níveis de fundação, altura entre lajes, materiais utilizados (concreto, aço), combinações de cargas, vento e critérios de cálculo.

Realizada a configuração do sistema, a entrada gráfica da estrutura é iniciada a partir do arquivo DXF previamente preparado. O desenho de arquitetura do pavimento tipo é inserido no programa como arquivo de referência externa onde se pode visualizá-lo e lançar a estrutura diretamente sobre este. Primeiramente, são lançados os pilares calculando-se sua largura e comprimento pela experiência profissional ou por meio do cálculo da área de influência sobre eles. A espessura do revestimento da parede é considerada na definição da largura do pilar. Os pilares são automaticamente lançados em todos pavimentos, se por acaso ele terminar em um pavimento intermediário, deve-se informar ao sistema por meio de comando próprio. A próxima etapa é o lançamento de vigas, cuja seção também é definida pela experiência profissional. Existem ferramentas que permitem o deslocamento de pilares ou vigas em relação a um ponto informado inicialmente, o que facilita o posicionamento correto das vigas nas paredes e em faces de pilares. Após o lançamento das vigas, são definidos os contornos das lajes sendo necessário informar o tipo (maciça, pré moldada, protendida), sua espessura e desníveis em casos de rebaixo. Após todo o lançamento da estrutura do pavimento tipo, são utilizadas ferramentas de otimização que permitem copiar uma forma lançada em um pavimento para os outros andares do edifício.

Após toda a estrutura ser lançada, verifica-se a consistência dos dados por meio de comando próprio do sistema, ou seja, se todos os nós da estrutura estão ligados, painéis de lajes fechados e alinhamento dos eixos. Nessa fase do projeto, utiliza-se o pórtico 3D da estrutura gerada automaticamente para verificação visual de desníveis de lajes, vigas, aberturas, balanços, pilares de transição e lajes inclinadas.

Verificado o lançamento da estrutura, é realizado o primeiro processamento da estrutura somente com a opção de cálculo dos esforços e verificação da estabilidade do edifício (gama-z, efeitos de 2ª ordem), sem detalhar qualquer elemento estrutural. Se houver aviso de instabilidade na estrutura, as seções dos pilares são revisadas e processa-se novamente a estrutura até que se obtenha estabilidade prevista em Norma (NBR 6118). Essa etapa é realizada primeiramente pela empresa “A”. As empresas “B” e “C” verificam, no primeiro processamento da estrutura, as deformações e flechas das lajes até que estejam em limites previstos em Norma (NBR 6118). A espessura da laje é ajustada até que sejam verificados os limites aceitáveis de deformações.

O terceiro processamento da estrutura é realizado com as opções de detalhamento e dimensionamento dos elementos estruturais. Nessa fase verificam-se as armações de vigas para possível alteração em sua seção. A análise feita pelo engenheiro responsável da empresa “A” é a quantidade de aço na viga, que chama a atenção para uma melhor verificação no relatório de cálculo quanto à flecha, posição da linha neutra e taxa de armadura. Os pilares também são verificados quanto à taxa de armadura. Os pilares com quantidade de armadura excessiva também chamam a atenção do engenheiro da empresa “A” que verifica o relatório de cálculo do pilar. Finalmente, as armações são editadas e prontas para compor os desenhos executivos de formas e armações. Todas as empresas pesquisadas utilizam outro sistema de CAD para desenvolvimento do projeto. A etapa de finalização dos desenhos, como inserção de blocos com detalhes, formato padrão de folha e carimbo da empresa são elaborados no Autocad.

Quanto à comunicação com o profissional de arquitetura, existem três situações em que os engenheiros fazem contato. A primeira vez, antes do lançamento da estrutura para eliminar possíveis dúvidas. A segunda vez com o anteprojeto estrutural (desenhos de formas dos pavimentos, após o primeiro processamento da estrutura). E a terceira vez para entrega final do projeto estrutural. Todos os engenheiros concordam em afirmar que existe a necessidade dos projetistas de instalações na fase de anteprojeto estrutural, mas geralmente são contratados após o projeto de estruturas estar concluído. O engenheiro responsável pela empresa “A” cita : ‘houve casos de ter que aumentar a largura da escada de emergência em 80cm para a aprovação no corpo de bombeiros, perdendo todos os desenhos da estrutura. Os projetistas de instalações também

podem trabalhar concomitantemente a partir do anteprojeto de arquitetura, podendo prever furos ou aberturas em vigas e lajes”.

Existe a possibilidade de contratação do consultor de fundações para participação do processo de projeto estrutural a partir do primeiro processamento da estrutura, quando se obtêm as cargas e locação dos pilares para dimensionamento das fundações.

O processo de projeto da empresa “D” é o que mais se diferencia das outras empresas. Inicialmente, é realizado um anteprojeto de formas da estrutura em Autocad, com seções de lajes, vigas e pilares pré-dimensionados, utilizando-se valores obtidos pela experiência profissional do engenheiro. Até essa fase do projeto, não existe nenhum lançamento da estrutura nos sistemas para cálculo estrutural. Esse primeiro estudo de formas é entregue para aprovação da arquitetura e, após uma primeira avaliação, é que são lançadas as formas da estrutura no programa para cálculo estrutural. O arquivo DWG da forma lançada em Autocad é então convertido para o formato DXF e exportado para o sistema de cálculo estrutural. Nessa fase são realizadas as verificações de estabilidade, deformações e flechas da estrutura para novamente gerar uma forma definitiva para a aprovação final da arquitetura e repassar esses desenhos para os outros projetistas de instalações (hidráulica, elétrica, instalações especiais, etc.). Os desenhos são novamente convertidos de DXF para DWG para acabamentos finais no Autocad. Somente após essa aprovação final da arquitetura é que são detalhadas as armaduras dos elementos estruturais. Os detalhamentos também são convertidos de DXF para DWG e terminados no Autocad.

Nas Figuras 7.11 e 7.12 são apresentados os fluxogramas e atividades do processo de projeto de cada empresa pesquisada no levantamento específico.

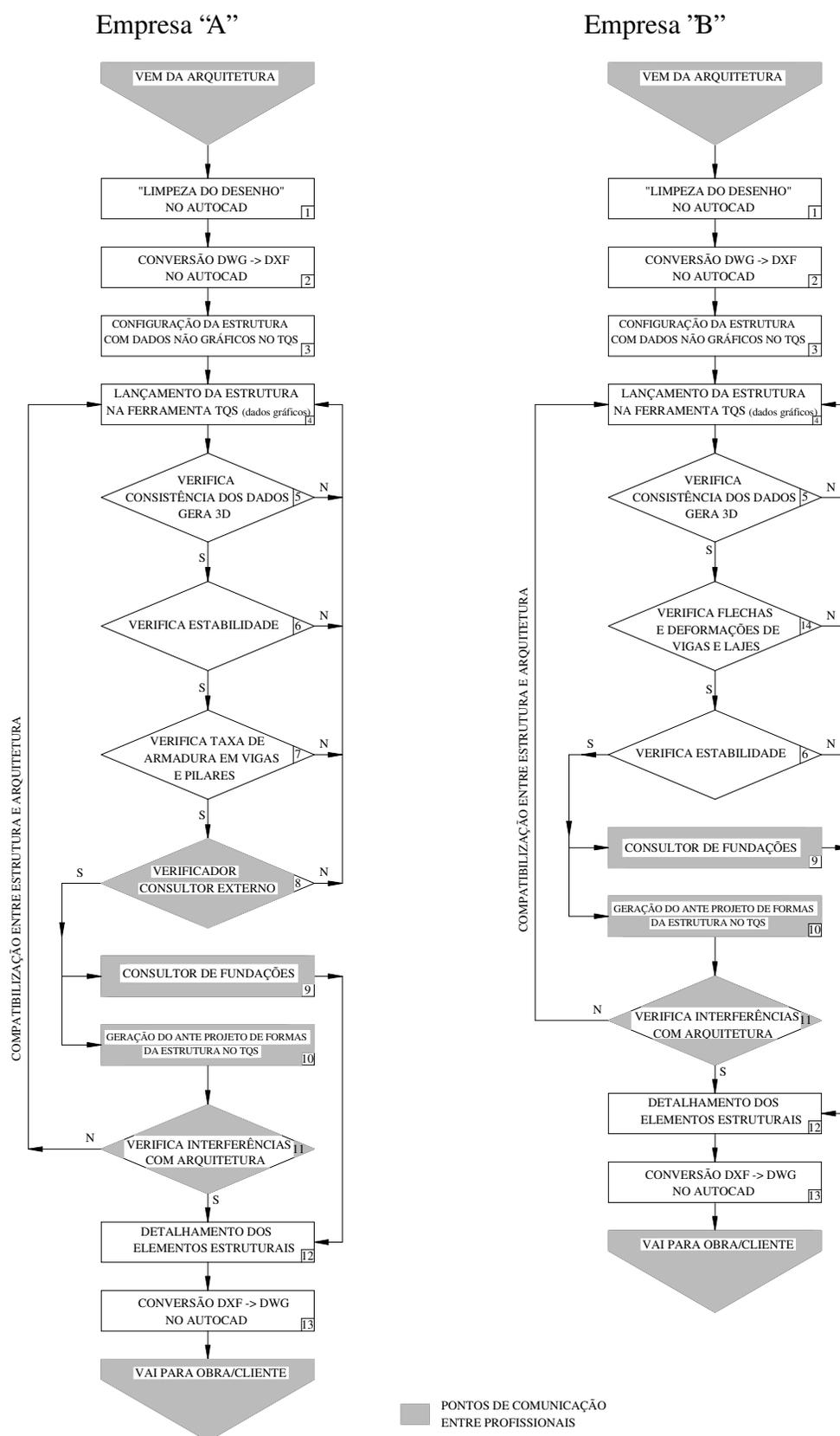


Figura 7.11 – Fluxograma das etapas do processo de projeto das empresas “A” e “B”

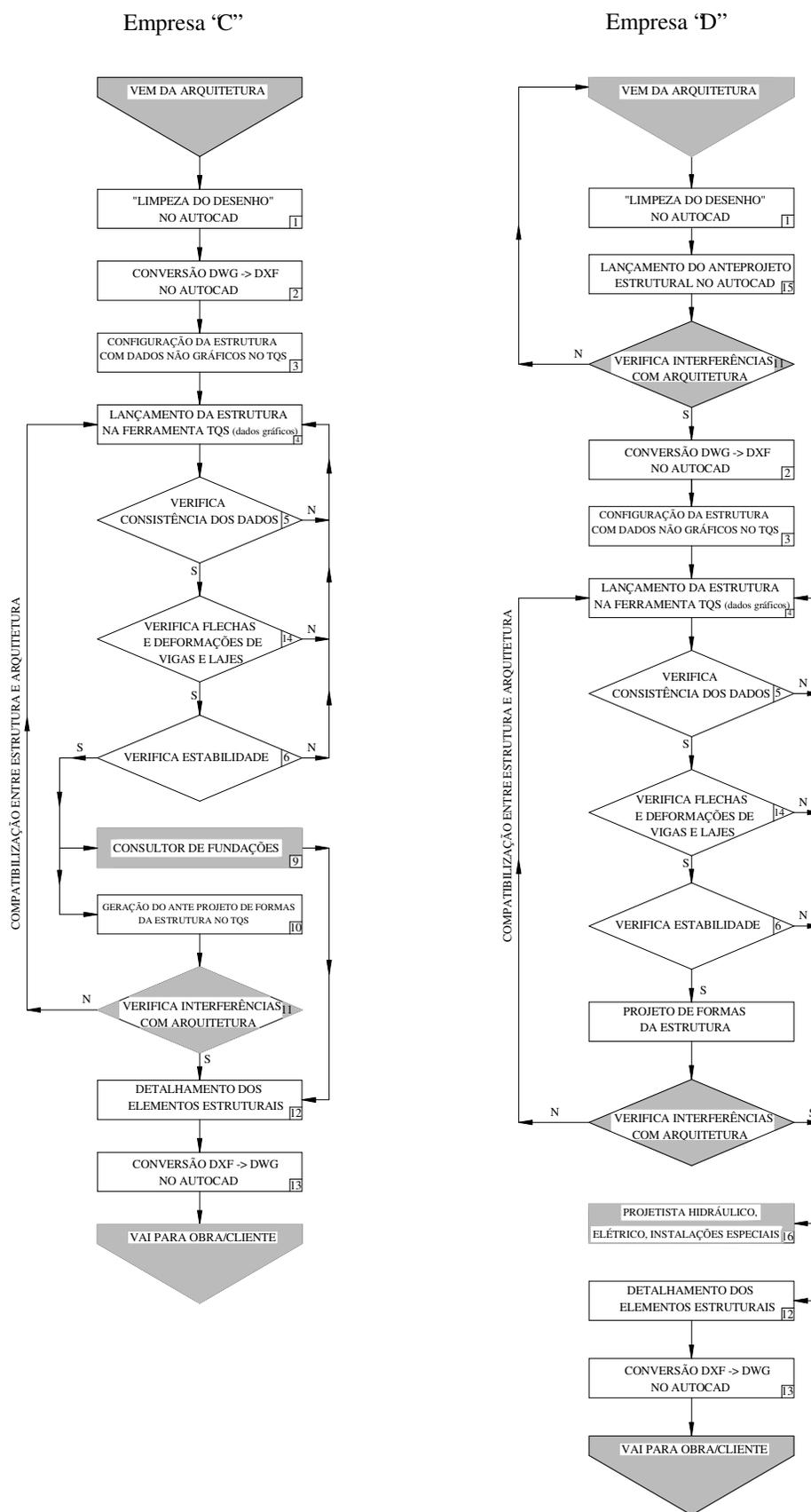


Figura 7.12 – Fluxograma das etapas do processo de projeto das empresas ‘C’ e ‘D’

A Tabela 7.2 descreve a planilha de insumo, processo e produto gerado de cada etapa do processo de projeto das empresas pesquisadas. Essa planilha foi desenvolvida com o objetivo de complementar os fluxogramas, por meio da descrição das informações básicas necessárias à sua execução (insumo) e das informações que devem ser produzidas (produto).

Tabela 7.2 – Planilha de insumo-processo-produto.

INSUMO	PROCESSO	PRODUTO
Anteprojeto de arquitetura	Limpeza do desenho	Desenho ‘limpo’ para conversão
Desenho de arquitetura ‘limpo’	Conversão DWG->DXF	Dados gráficos para entrada na ferramenta TQS convertidos no padrão DXF
Tipo de estrutura Cotas de níveis dos pavimentos Materiais (aço e concreto) Modelo de análise estrutural Sobrecarga de utilização Sobrecarga de vento Critérios de cálculo	Configuração da estrutura com dados não gráficos	Configurações iniciais na ferramenta TQS
Arquivo DXF	Lançamento dos dados gráficos no TQS	Definição geométrica da estrutura (pilares, vigas e lajes) na ferramenta TQS
Carga nos pilares Sondagens Estrutura lançada no TQS Configurações iniciais Verificações da análise estrutural	Consultoria de fundações	Locação de pilares, definição da fundação
Configurações iniciais Estrutura lançada no TQS Verificações da análise estrutural	Geração das plantas do anteprojeto de formas no TQS	Anteprojeto de formas para compatibilização com projeto arquitetônico
Definição da Fundação Projeto estrutural compatibilizado com a arquitetura	Detalhamento dos elementos estruturais	Arquivos no padrão DXF prontos para conversão.
Arquivos DXF	Conversão DXF->DWG	Arquivos DWG

A descrição detalhada dos processos de projeto estrutural indentificados nas empresas pesquisadas é apresentada a seguir.

- **Limpeza do desenho** – Essa atividade tem como objetivo apagar elementos do arquivo que vêm da arquitetura e que não são importantes para o projeto estrutural como vegetação, mobília, hachuras, textos e cotas. O arquivo original é mantido para futuras consultas.
- **Conversão DWG -> DXF** – A conversão do arquivo é necessária, pois as ferramentas para cálculo estrutural trabalham com arquivos no formato DXF para troca de informações gráficas. Essa conversão é realizada no Autocad e tem como insumo o desenho “limpo” da arquitetura.
- **Configuração da estrutura com dados não gráficos** – Essas configurações iniciais são necessárias para informar à ferramenta de cálculo estrutural o tipo de obra, número de pavimentos e seus níveis, tipo de aço e concreto utilizados na obra, modelo de análise estrutural (vigas, grelhas, elementos finitos), sobrecarga de utilização da edificação, sobrecarga de vento e critérios gerais de cálculo e detalhamentos. Essas informações podem ser alteradas durante o processo de projeto estrutural e são de vital importância para a sua elaboração. Um dado errado pode gerar grandes falhas de projeto.
- **Lançamento dos dados gráficos no TQS** – Essa atividade tem como insumo o arquivo DXF da arquitetura previamente preparado. Esse arquivo é inserido no sistema TQS como bloco de referência externa e é utilizado como base para o lançamento dos elementos estruturais (pilar, viga e laje). O produto gerado dessa operação é a definição geométrica da estrutura para geração da planta de formas.
- **Consultoria de Fundações** – Com a estrutura processada, as cargas nos pilares e a sondagem em mãos, o consultor de fundações é então contratado para projetar a fundação da edificação. Os arquivos com locação dos pilares e cargas na fundação são entregues para o consultor que faz a escolha e dimensionamento da fundação da edificação.

- **Geração das plantas do anteprojeto de formas no TQS** – Com a estrutura processada, os desenhos de formas da estrutura dos pavimentos da edificação são gerados automaticamente. Esses desenhos são entregues ao projetista de arquitetura para a sua aprovação ou possíveis alterações da estrutura. Qualquer modificação realizada, o projetista estrutural deve lançar novamente essas alterações na ferramenta de cálculo e reprocessar a estrutura. Essa é uma etapa de grande interação entre projetistas e é também a etapa em que os demais projetistas de instalações devem atuar.
- **Detalhamento dos elementos estruturais** – Com a estrutura calculada, é possível nessa fase do projeto detalhar as armaduras dos elementos da estrutura e fundações. O detalhamento é feito automaticamente na ferramenta TQS segundo parâmetros pré configurados pelo projetista. Apesar dessa automação, o projetista verifica cada peça estrutural e sua respectiva armação para possível modificação. Essas modificações são feitas por meio do módulo de CAD da própria ferramenta TQS que possui comandos para criação ou edição dessas armações. Essas modificações são feitas para facilitar a execução em obra das armações.
- **Conversão DXF -> DWG** – A maioria dos usuários de sistemas de CAD utiliza o formato DWG para troca de arquivos, portanto esse é o motivo pelo qual se faz necessária a conversão dos arquivos gerados pela estrutura.

7.2.3 Análise das ferramentas

A ferramenta de CAD utilizada pelos escritórios de projeto estrutural participantes do levantamento específico é o AutoCAD. Fazendo-se uma análise dessa ferramenta sob os aspectos de integração de sistemas de CAD com outros aplicativos, segundo ANUMBA (1996), observam-se deficiências. Essa análise é representada na Figura 7.13. Pode-se observar que a integração entre o desenho 2D e o modelo 3D se faz somente em uma direção, ou seja, o desenho 2D é extraído do modelo 3D, mas qualquer alteração efetuada no desenho 2D não é automaticamente atualizada no modelo 3D. Por esse motivo, o nível 1 de integração em sistemas de CAD não é satisfeito. A estrutura de dados não gráficos está associada à estrutura de dados

gráficos não sendo a mesma para o desenho 2D e o modelo 3D. Para se obter informações não gráficas dos elementos de desenho, é necessário que o usuário tenha um bom conhecimento em programação para se obter listas e outras informações atribuídas a esses elementos. Dessa forma, o nível 2 de integração de dados gráficos e não gráficos não é satisfeito. A integração da estrutura de dados e a interface com o usuário, identificado como nível 3, satisfaz a proposta de ANUMBA (1996) através de janelas abertas durante os comandos de desenho, permitindo que o usuário visualize a representação gráfica e a estrutura de dados formada. A integração com outros aplicativos, identificado como nível 4 de integração, é realizada de maneira deficiente exportando e importando arquivos de desenho no formato DXF. Desse modo, os recursos computacionais não estão sendo efetivamente utilizados, uma vez que muitos dados lançados durante o processo de desenho não estão sendo reutilizados ou repassados para outros aplicativos, produzindo retrabalho e potencial de geração de erros.

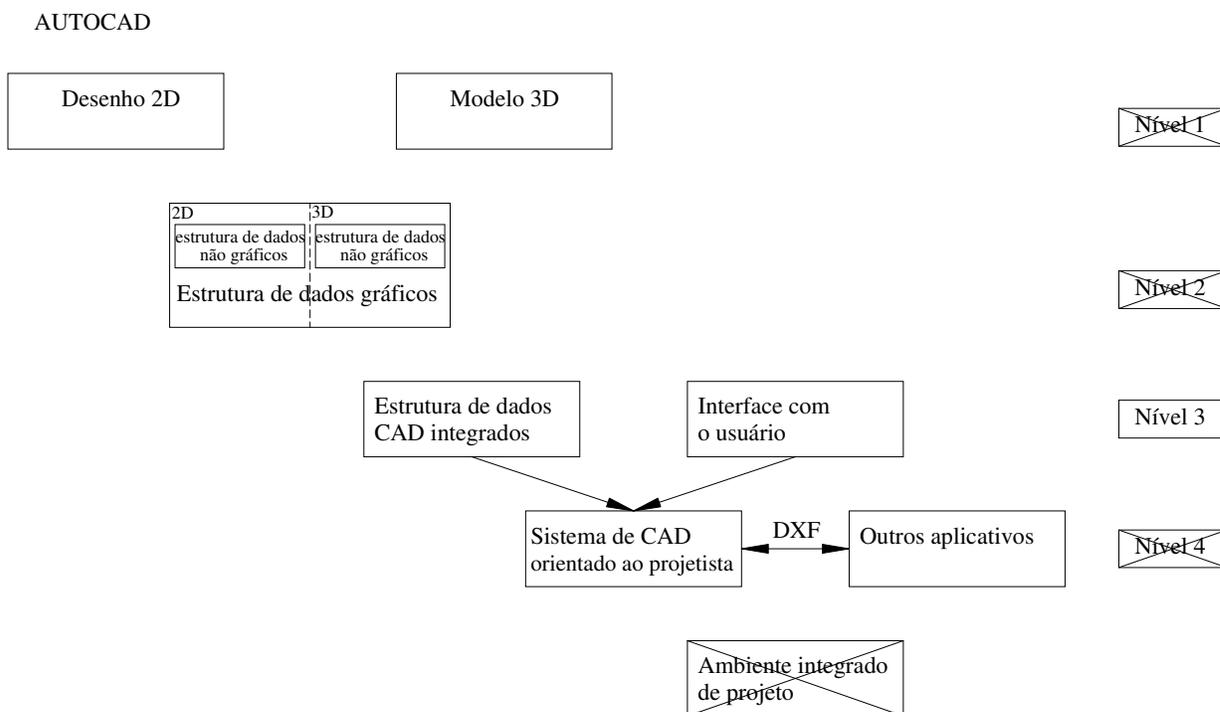


Figura 7.13 – Níveis de integração do Autocad.

A ferramenta de cálculo estrutural utilizada pelos profissionais participantes do levantamento específico é o sistema TQS. Fazendo-se uma análise dessa ferramenta, segundo os níveis de integração de sistemas de CAD e outros aplicativos propostos por ANUMBA (1996), observa-se que as deficiências persistem, mas existe maior nível de integração. A análise é mostrada na Figura 7.14. Pode-se observar que o sistema TQS possui somente o ambiente CAD 2D. O modelo 3D é construído a partir dos dados gráficos e não gráficos lançados no sistema. O modelo 3D não é manipulado, apenas visualizado. Desse modo, não existe o nível 1 de integração de modelos de dados 2D/3D. O nível 2 de integração é necessário, pois as seções dos elementos que formam a estrutura de concreto - neste caso definidas como dados não gráficos - estão associadas aos elementos gráficos de barras. A interface com usuário é orientada especificamente para projetos de estruturas de concreto armado, nos quais o projetista tem a possibilidade de visualizar os dados gráficos lançados e ao mesmo tempo visualizar informações não gráficas que são atribuídas a esses elementos. Assim, o nível 3 de integração é satisfeito. A integração com outros aplicativos é deficiente, pois se faz somente por meio dos dados gráficos no formato DXF.

TQS

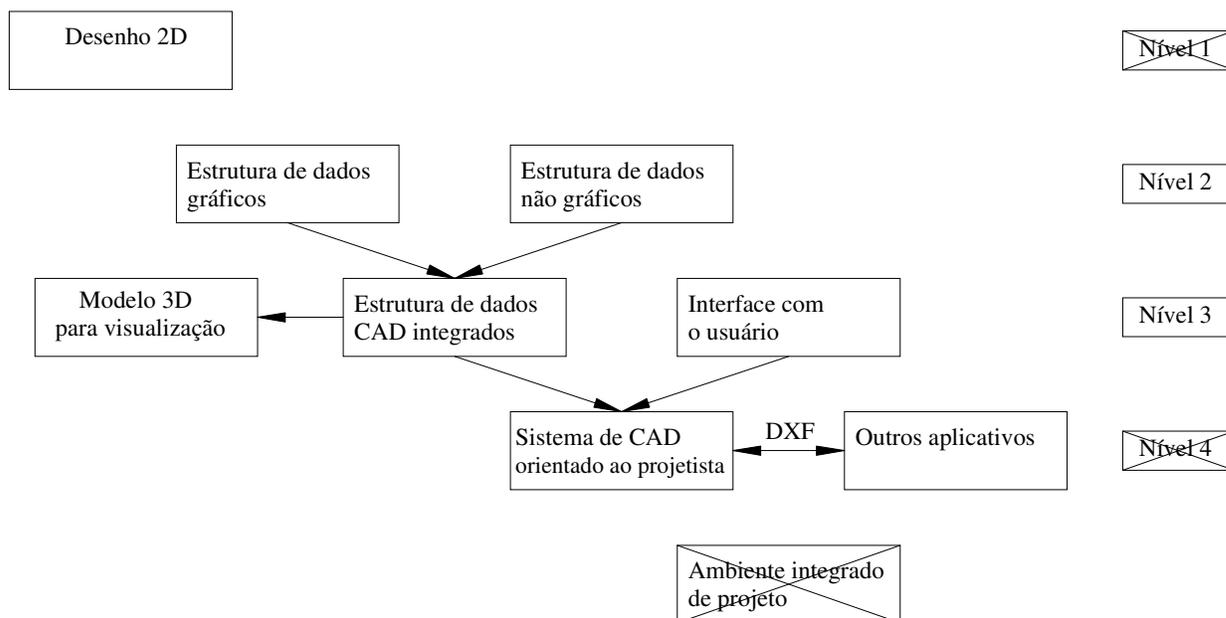


Figura 7.14 – Níveis de integração do sistema TQS.

7.3 Avaliações

Observa-se que existem diferenças entre o levantamento global e específico da pesquisa de campo. As principais diferenças apontadas são com relação à ferramenta de projeto estrutural, tipo de conexão com a *internet* e o cliente. A ferramenta de cálculo estrutural utilizada pelos profissionais do levantamento global é o AltoQI Eberick e a ferramenta de cálculo estrutural utilizada pelos profissionais do levantamento específico é o TQS. Entretanto, no levantamento específico detectou-se que duas empresas também utilizam o AltoQI Eberick para projetos de pequeno porte. Esse fato leva à conclusão de que o TQS está sendo utilizado para projetos de estrutura de edifícios e o AltoQI Eberick está sendo utilizado para projetos de estrutura de residências. O tipo de conexão à *internet* detectado nas duas pesquisas foi diferente. Esse fato pôde ter ocorrido devido ao espaço de tempo entre as duas pesquisas e à diminuição do custo durante esse período. Os tipos de clientes levantados nas pesquisas global e específica são diferentes devido ao tipo de projeto que executam. Como citado anteriormente, a maioria dos profissionais que participaram do levantamento global executam projetos arquitetônicos e complementares de residências, portanto são contratados diretamente pelo proprietário da obra. As empresas participantes do levantamento específico são especializadas somente em projetos estruturais. Em casos de edifícios, são contratadas pela construtora/incorporadora do empreendimento que, na maioria das vezes, já está com o anteprojeto arquitetônico elaborado.

A empresa “C”, apesar de não possuir funcionários, utiliza-se dos serviços de desenhistas terceirizados quando necessário. O engenheiro responsável pela empresa também concorda em afirmar que existe dificuldade em gerenciar o recebimento dos arquivos de desenho pelo correio eletrônico, pois são quatro desenhistas que enviam seus trabalhos e muitas vezes chegam a revisar uma ou mais vezes o desenho durante o mesmo dia.

O engenheiro responsável pela empresa “D” comentou sobre a dificuldade de gerenciar os arquivos recebidos por correio eletrônico e as versões de revisões dos desenhos. Atualmente, esse procedimento é realizado por meio da caixa de entrada do programa de correio eletrônico (Outlook Express), onde todas mensagens ficam armazenadas e classificadas em ordem

cronológica de recebimento. Outro fator destacado pelo mesmo engenheiro é a insegurança dos arquivos quanto à contaminação por vírus. Em sua empresa, o computador conectado à internet fica isolado da rede interna, sendo necessária a gravação em disquetes dos arquivos recebidos.

Os projetistas de estrutura são contratados quando o anteprojeto arquitetônico está concluído e desenvolvem seu trabalho isoladamente, com interação mínima dos projetistas de arquitetura e instalações, não possibilitando a formação de uma equipe multidisciplinar de projeto nas fases de concepção do edifício. A ausência de um coordenador de projetos e a falta de padronização das informações contidas nos arquivos em CAD, são alguns fatores que levam a essa deficiência de comunicação entre os diversos projetistas.

A Figura 7.15 resume o processo de projeto de edifícios levantado na pesquisa específica. A contratação dos profissionais de projetos complementares ocorre após a etapa de anteprojeto arquitetônico concluída, não havendo participação nas fases iniciais de projeto da edificação a ser construída. Atualmente, a aprovação do projeto de proteção e combate a incêndios no corpo de bombeiros tem sido a causa de grandes alterações nos projetos de arquitetura, portanto é essencial a participação de profissionais especializados (engenheiros de segurança) durante as fases iniciais do processo de projeto. A participação das outras modalidades de projeto também podem colaborar com informações importantes para que se minimizem interferências entre a arquitetura, estrutura e instalações do edifício, mas isso não ocorre na maioria dos casos, pois o projeto estrutural se inicia com o anteprojeto arquitetônico concluído e os projetos de instalações elétricas e hidro-sanitárias se iniciam a partir do anteprojeto estrutural concluído. Na ausência do coordenador, o projeto não é compatibilizado e os elementos (alvenaria, estrutura, instalações, esquadrias, etc.) que compõem a edificação não são integrados de forma que permitam a racionalização da construção.

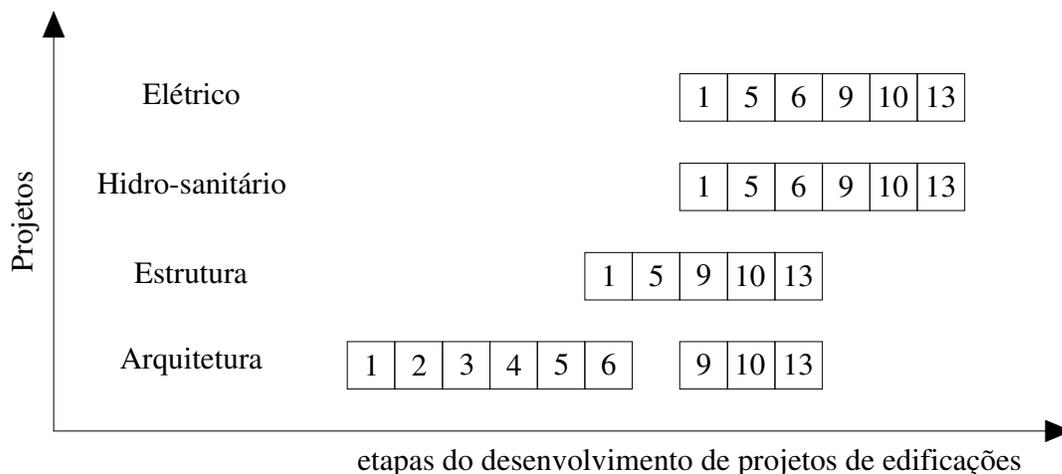


Figura 7.15 – Etapas do processo de projeto adotado pelas empresas pesquisadas.

A obra se inicia com os projetos executivos da arquitetura e estrutura concluídos, mas os projetistas de instalações ainda estão na etapa de anteprojeto hidro-sanitário e elétrico. Desse modo, a compatibilização de algumas interferências são realizadas em obra, geralmente por pessoal não capacitado e sem o compromisso de responsabilidade com o projeto.

Com relação aos recursos tridimensionais presentes nas ferramentas utilizadas pelos profissionais do levantamento específico, verifica-se que o modelo 3D, utilizado entre os projetistas de estrutura e arquitetura, não é compartilhado, pois a comunicação entre esses profissionais é o desenho 2D. São as ferramentas em uso que geram a situação de deficiência de integração entre os aplicativos. Na ferramenta de cálculo estrutural, o modelo 3D do pórtico da estrutura é gerado a partir do desenho 2D da arquitetura e é utilizado apenas para conferência visual de desníveis de vigas, rebaixos de lajes e transições de pilares. Desse modo, pode-se concluir que o modelo 3D não é único para a arquitetura e estrutura.

8 PROPOSTA DE PROCESSO DE PROJETO INTEGRADO

FORMOSO (2001) cita em seu relatório de pesquisa “Gestão da Qualidade no Processo de Projeto” que diversos estudos apontam que grande parte das falhas de projeto são provenientes da falta de integração entre as diferentes especialidades de projeto. A bibliografia internacional aponta inúmeros estudos visando a essa integração (ANUMBA, 1996), que é desenvolvida conforme um novo paradigma de tecnologia da informação, baseado no uso de CAD tridimensional, internet e modelo de dados orientados para o objeto. Visando a melhoria da integração entre profissionais da área de AEC, a AsBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura – propõe inicialmente, em seu livro “Diretrizes Gerais para Intercambialidade de Projetos em CAD”, uma padronização de *layers*, diretórios, arquivos além da definição de responsabilidades entre todas as atividades de projetos, baseados em Normas Americanas/Canadenses (AIA, CSI, NBSI) e Européias (ISO) além de entidades do setor da indústria da construção civil e desenvolvedores de sistemas de CAD. Segundo FORMOSO (2001), os profissionais reconhecem a importância de trabalhar com padrões que possibilitem facilitar a troca de informações e evitar retrabalhos desnecessários. A padronização visa também a facilitar o trabalho de coordenação de projetos, possibilitando a sobreposição de desenhos para verificação de interferências. Ainda segundo o mesmo autor, é bastante comum que ocorram erros no projeto, como elementos desenhados em *layer* errados e um excesso de informações agregadas em um mesmo *layer*. Tais equívocos geram retrabalho, além de privar o usuário dos recursos de “ligar” ou “desligar” *layers*, bem como a sobreposição de arquivos de desenho. Sabe-se que muitas vezes os profissionais perdem muitas horas de trabalho apagando informações de plantas que não são necessárias a sua especialidade de projeto. Se essas informações estiverem ordenadas em *layers* específicos, é possível agilizar esse processo.

8.1 Padrão para compartilhamento em repositório de dados

Para viabilizar o processo de projeto integrado, existe a necessidade de um conjunto de procedimentos, visando a minimizar as dificuldades enfrentadas por projetistas de edificações no processo de projeto informatizado. O conceito e padrões apresentados a seguir foram elaborados pela AsBEA (2002) com embasamento em normas americanas e européias tendo como objetivo transformá-los em normas aprovadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

8.1.1 Definições

A seguir, são apresentadas algumas definições utilizadas para integração das diversas especialidades envolvidas no processo de projetos.

- Agente ou disciplina – Gerador de informação dos diversos campos de conhecimento (arquitetura, estrutura, hidráulica, elétrica, etc.) e responsáveis por essas informações.
- *Layer/level/camada* – Ferramenta existente em todos os sistemas de CAD que permite organizar as informações por categorias, além de disponibilizar o gerenciamento visual dos dados de um arquivo.
- Arquivos referenciados – Ferramenta que permite associar visualmente informação de um ou vários arquivos em outro, o que potencializa a utilização de *layers*, permitindo maior flexibilidade na reutilização de informações.
- Arquivo de base – São informações geométricas dos elementos e objetos físicos que poderão ser usados como arquivos referenciados. São as informações fundamentais do objeto para sua compreensão e visualização.

- Arquivo de folha – São os desenhos finais que utilizam os arquivos de base como arquivos referenciados, acrescidos de informações pertinentes, como cotas, indicações, textos, carimbos, margens, etc.

- Base de dados – a base de dados é um conjunto de informações disponibilizadas por todos os agentes envolvidos. Nessa base de dados, os agentes do projeto buscam informações de outras disciplinas para complementar seus projetos. A partir da base de dados serão gerados as folhas de desenho que serão enviadas à obra ou cliente por meio de arquivos de visualização (PLT ou PDF), ou impressas em papel, para que não haja manipulação dos dados originais, mantendo dessa forma uma rastreabilidade das responsabilidades. Para troca dessas informações, existem parâmetros que devem ser comuns a todos os arquivos de base de todos os agentes envolvidos no projeto. Alguns desses parâmetros são listados a seguir:
 - Todos os desenhos deverão ter origem única no sistema de coordenadas para permitir a sobreposição precisa de plantas de diferentes arquivos desenvolvidas por diferentes projetistas.
 - Os desenhos terão suas dimensões reais, na escala 1:1, unidade de medida e orientação de ângulos padronizadas.

- Estrutura de diretórios – tem como objetivo estabelecer parâmetros para organizar as informações eletrônicas referentes aos projetos em andamento, possibilitando mais agilidade na localização das informações e evitando duplicidade na nomenclatura de arquivos, esse que facilita também simplificar o processo de cópias de segurança.

- Nomenclatura de arquivos – a padronização na nomenclatura dos arquivos digitais visa a garantir uma identificação única para os arquivos de mesma classe. Assim, todos os agentes envolvidos no projeto utilizam o mesmo critério para nomear arquivos, simplificando seu controle e identificando as principais informações contidas no desenho de forma mais rápida.

- Gerenciamento dos arquivos digitais – por meio dos ambientes de colaboração disponíveis na *internet*, o controle das versões de desenhos será feito automaticamente por meio de caixas de diálogo preenchidas durante o *upload* dos arquivos. Desse modo, também serão registrados quem teve acesso aos arquivos pelo histórico de *login*. O gerenciamento do projeto tem uma melhoria significativa, pois tem um controle informatizado sobre todos os agentes envolvidos no projeto, os arquivos de desenhos e suas revisões concentrados em um único repositório.
- Nomenclatura de *layers* ou camadas – *layers* são ferramentas existentes em todos os sistemas de CAD que permitem organizar as informações por categorias, além de disponibilizar o gerenciamento visual dos dados de um arquivo. A padronização na nomenclatura de *layers* permitirá a integração gráfica entre as diferentes disciplinas de projeto pela sobreposição de arquivos de desenho.

8.1.2 Sistema de classificação

A proposta apresentada pela AsBEA (2002) baseia-se na classificação dos campos da Norma ISO13567, sendo adaptados às condições nacionais mantendo-se a flexibilidade necessária, para que nos eventuais trabalhos realizados no exterior e em situações específicas de cada empresa, haja um mínimo de alterações para uma ampla conformidade com a referida Norma. A totalidade dos campos proposto está abaixo discriminada, sendo os campos utilizados conforme suas funções em diretórios, arquivos ou *layers*:

Campo I – código do projeto –	Nome ou número comum a todos os agentes envolvidos, determinados pelo coordenador do projeto ou pelo cliente;
Campo II – Disciplina/agente -	disciplina ou agente responsável pela informação;
Campo III – Fase -	fase do projeto (utilizada nessa posição para hierarquizar a estrutura de arquivos e diretórios) – baseada na NBR13531/95;

Campo IV – Elemento/assunto -	Para a nomenclatura de arquivos e layers, esse campo representa os elementos da construção. No caso de nomenclatura de diretórios, esse campo diferencia os assuntos das fases;
Campo V – Qualificativo -	Informação referente ao elemento, isto é, a qualificação dos elementos da construção. Exemplo: alvenaria (elemento), baixa (qualificação);
Campo VI – Anotações -	Informação adicionada aos elementos para dar maior clareza às suas representações;
Campo VII – Estado do elemento -	Estado da condição do elemento. Exemplo : novo, existente, a ser removido, temporário, etc.;
Campo VIII – Plano de projeção -	Planta, corte, elevação, ampliação, etc.;
Campo IX – Localização -	Parte da construção e/ou plano de observação. Exemplo : número do pavimento ou identificação de corte ou elevação;
Campo X – Não utilizado	
Campo XI – Escala -	Escala de representação dos elementos;
Campo XII – Setor, blocos, fases	da construção – utilizado para atender às necessidades específicas de projeto;
Campo XIII – definições do usuário -	categoria livre para acomodar aspectos adicionais de esclarecimento, tais como : alternativas, opções, etc.;
Campo XIV – Revisão -	revisão do diretório, fase, desenho, etc. (R00, R01, R99).

A Figura 8.1 mostra o sistema de nomenclatura de diretórios proposto pela AsBEA (2002).

DIRETRIZES GERAIS PARA INTERCAMBIALIDADE DE PROJETOS EM CADD														
ESTRUTURA DE SISTEMA DE NOMENCLATURA DE DIRETÓRIOS DE PROJETOS														
ISO 15926	Agent responsible	Element	Presentation	Status	Projection	Sector	Phase	Scale	Work package	User Defined				
CAMPO	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
PROPOSTA AsBEA	Código do Projeto	Agente	Fase	Objeto / Elemento / Assunto	Qualificativo Diferenciação	Anotações e Rep. graficas	Estado do Elemento	Plano de Projeção	Localização	Não Utilizado	Escala	Sector Bloco Fase da Obra	Definição do Usuário	Revisão
	ABCDEF 12345678 12.45678 Etc.	TLV TSD AFD ALM APS AUS ACV AIT VED VPR VGS STR SPN SCO SMT SMA SPR SAV ELE EFO EIL ETE ESIO ETV ELO ESIO EPR ECE EIE ESP MEC CLI CEX CPR HD HAG ETC...	01 LV 02 PN 03 EV 04 EP 05 AP 06 PL 07 PB 08 PE 09 AO 10 DC Etc. Etc.	BAS DET DOC FLH IMG MOD TMP Etc.	PRO ATA CAR DCA DCT Etc.									R00 R01 R99

LEGENDA	CAMPO / ABREVIACÃO RECOMENDADA	CAMPO / ABREVIACÃO SUGERIDA	CAMPO / ABREVIACÃO LIVRE	CAMPO NÃO UTILIZADO
----------------	---	--	---	--

Figura 8.1 – Sistema de nomenclatura de diretórios de projeto (ASBEA, 2002).

A Figura 8.2 mostra o sistema de nomenclatura de arquivos proposto pela AsBEA (2002).

DIRETRIZES GERAIS PARA INTERCAMBIALIDADE DE PROJETOS EM CADD														
ESTRUTURA DE NOMENCLATURA DE ARQUIVOS														
ISO 15927	Agent responsible			Element	Presentation	Status	Projection	Sector	Phase	Scale	Work package	User Defined		
CAMPO	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
PROPOSTA ASBEA	Código do Projeto	Agente	Fase	Objeto / Elemento / Assunto	Qualificativo Diferenciação	Anotações e Rep. graficas	Estado do Elemento	Plano de Projeção	Localização	Não Utilizado	Escala	Sector Bloco Fase da Obra	Definição do Usuário	Revisão
	ABCDEFG 12345678 12 45678 Etc.	TLV TSD ARO ALM APS AUB ACV AIT VED VPR VGS STR SFN SCO SMT SMA SPR SAV ELE EFO EIL ETE ESIO ETV ELO ESIO EPR ECE EIE ESP MEC CLI CEX CPR HID HAG Etc.	LV PN EV EP AP PL PB PE AO DC Etc.		PRO ATA CAR DCA DOT Etc.	EXO TXT HTC CTA FILH SMB LEG ACB ANO SLC RVS ARE IDE TMP TAB UNF DIM ISSO GAI Etc.	DEM CON FIX MOV TMP ORI FIN EXI ELV FOR IMP PLA Etc.	MOD AMP CRT DKG DTH DTI DET ELI DUI DUS ATC CXA BAR AA BB 001 002 NOR SUL LES OES Etc.				BLA BLB ST1 ST2 S01 S02 FS1 FS2 F01 F01 Etc.	Terço e detalhes Ala de reunião Comentário de obra Etc.	R00 R01 R99 Etc.

LEGENDA	 CAMPO / ABREVIÇÃO RECOMENDADA	 CAMPO / ABREVIÇÃO SUGERIDA	 CAMPO / ABREVIÇÃO LIVRE	 CAMPO NÃO UTILIZADO
---------	---	--	---	---

Figura 8.2 – Sistema de nomenclatura de arquivos (ASBEA, 2002).

A Figura 8.3 mostra o sistema de nomenclatura de layers proposto pela AsBEA (2002).

DIRETRIZES GERAIS PARA INTERCAMBIALIDADE DE PROJETOS EM CADD														
ESTRUTURA DE NOMENCLATURA DE LAYERS														
ISO 15927	Agent responsible			Element	Presentation	Status	Projection	Sector	Phase	Scale	Work package	User Defined		
CAMPO	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
PROPOSTA ASBEA	Código do Projeto	Agente	Fase	Objeto / Elemento / Assunto	Qualificativo Diferenciação	Anotações e Rep. graficas	Estado do Elemento	Plano de Projeção	Localização	Não Utilizado	Escala	Sector Bloco Fase da Obra	Definição do Usuário	Revisão
		TLV TSD ARO ALM APS AUB ACV AIT VED VPR VGS STR SFN SCO SMT SMA SPR SAV ELE EFO EIL ETE ESIO ETV ELO ESIO EPR ECE EIE ESP MEC CLI CEX CPR HID HAG Etc.		DVI CVA RUA ALV EDF SAR C.X.O ARV RA IRR BLO FOR LAJ OUA CND PTO TUB DRN HID LUZ DUT DMP Etc.	BXA DGN ACB MOD SAR EST FUR GRA LOC PAS PRE PRT TEL VED RTE TOM INT LUI COB FFO FGA PEX PVB PVM EMR SUB DES DAS EAX INS Etc.	EXO TXT HTC CTA FILH SMB LEG ACB ANO SLC RVS ARE IDE TMP TAB UNF DIM ISSO GAI Etc.	EXI NOV DEM COM FIX MOV PRV ORI FIN APA COM VED VER Etc.				1 2 5 10 20 25 50 75 100 200 500 1000 R40 R60 R80 R100 R120 Etc.		livre	

LEGENDA	 CAMPO / ABREVIÇÃO RECOMENDADA	 CAMPO / ABREVIÇÃO SUGERIDA	 CAMPO / ABREVIÇÃO LIVRE	 CAMPO NÃO UTILIZADO
---------	---	--	---	---

Figura 8.3 – Sistema de nomenclatura de layers (ASBEA, 2002).

A Figura 8.4, mostra o esquema de trabalho proposto pela AsBEA (2002) utilizando uma base de dados. Dessa maneira, os diversos profissionais envolvidos no projeto têm acesso aos arquivos diretamente da base de dados, onde estão armazenadas as informações essenciais para elaboração dos projetos específicos de cada disciplina.

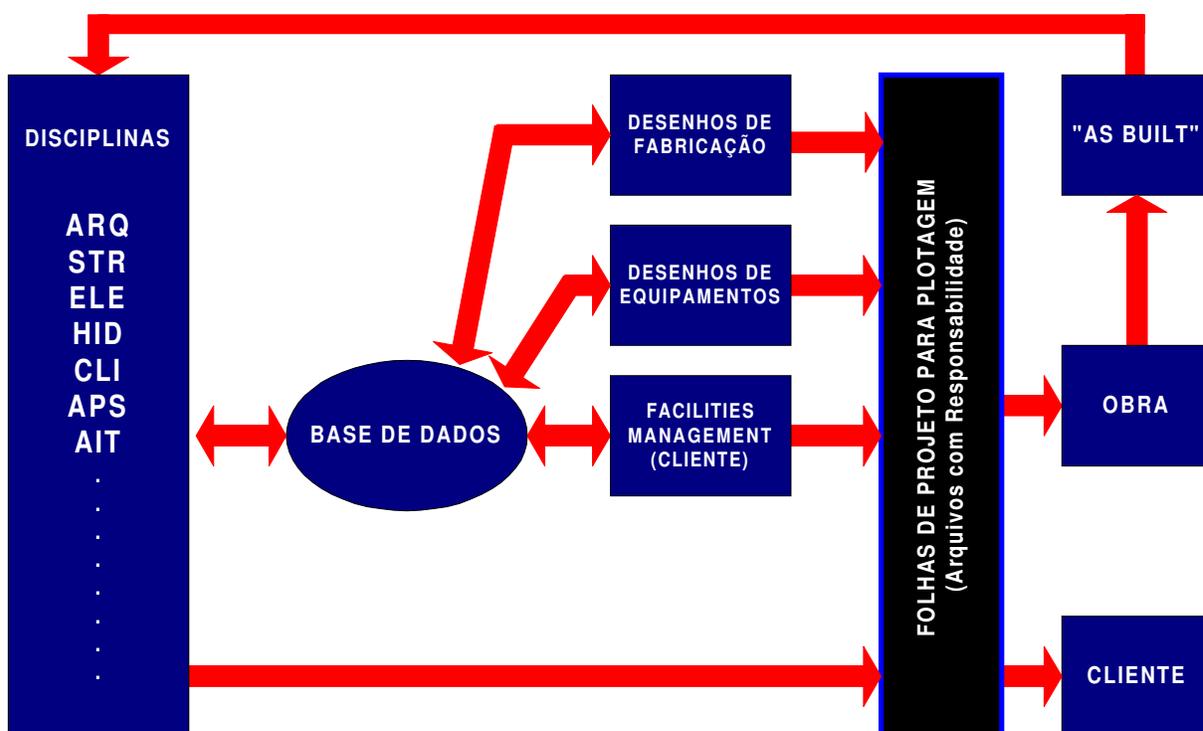


Figura 8.4 – Esquema de trabalho proposto pela AsBEA (2002).

Os arquivos que formarão a base de dados, denominados arquivos de base, deverão conter as seguintes informações:

- geometria do modelo e de seus componentes: paredes, portas, janelas, pilares, vigas, tubulações, etc.;
- É um modelo em escala real (1:1);
- Pode ser bidimensional (Plantas, Cortes, Elevações, Detalhes) ou Tridimensional;
- Deve ter uma origem única do sistema de coordenadas para todas as disciplinas envolvidas no projeto;
- Todos os elementos devem ser representados em suas dimensões reais;

- Não deve ter nenhuma informação de desenho que não seja necessária ao entendimento do modelo (textos, cotas, símbolos, hachuras, etc.);
- Só pode ser utilizado como referência de outros arquivos;
- Só pode ser alterado por seu autor;

Os desenhos para impressão, contendo informações para a execução da obra, serão gerados a partir dos arquivos criados na base de dados. Esses desenhos são denominados folhas de projeto e serão entregues ao cliente e à obra em arquivos somente no formato leitura, para que não haja manipulação dos dados, pois esses arquivos são de responsabilidade de cada disciplina envolvida no processo.

A Figura 8.5 mostra um exemplo de aplicação dos procedimentos elaborados pela AsBEA, cujos pilares desenhados com as seções reais são mostrados por meio do gerenciamento dos *layers* (Figura 8.6), onde é possível ligar ou desligar as informações contidas no desenho de forma da estrutura. Os arquivos da estrutura e dos pavimentos da arquitetura estão inseridos como referência externa (Figura 8.7), permitindo a sobreposição dos arquivos de desenho das diversas disciplinas envolvidas no processo de projeto.

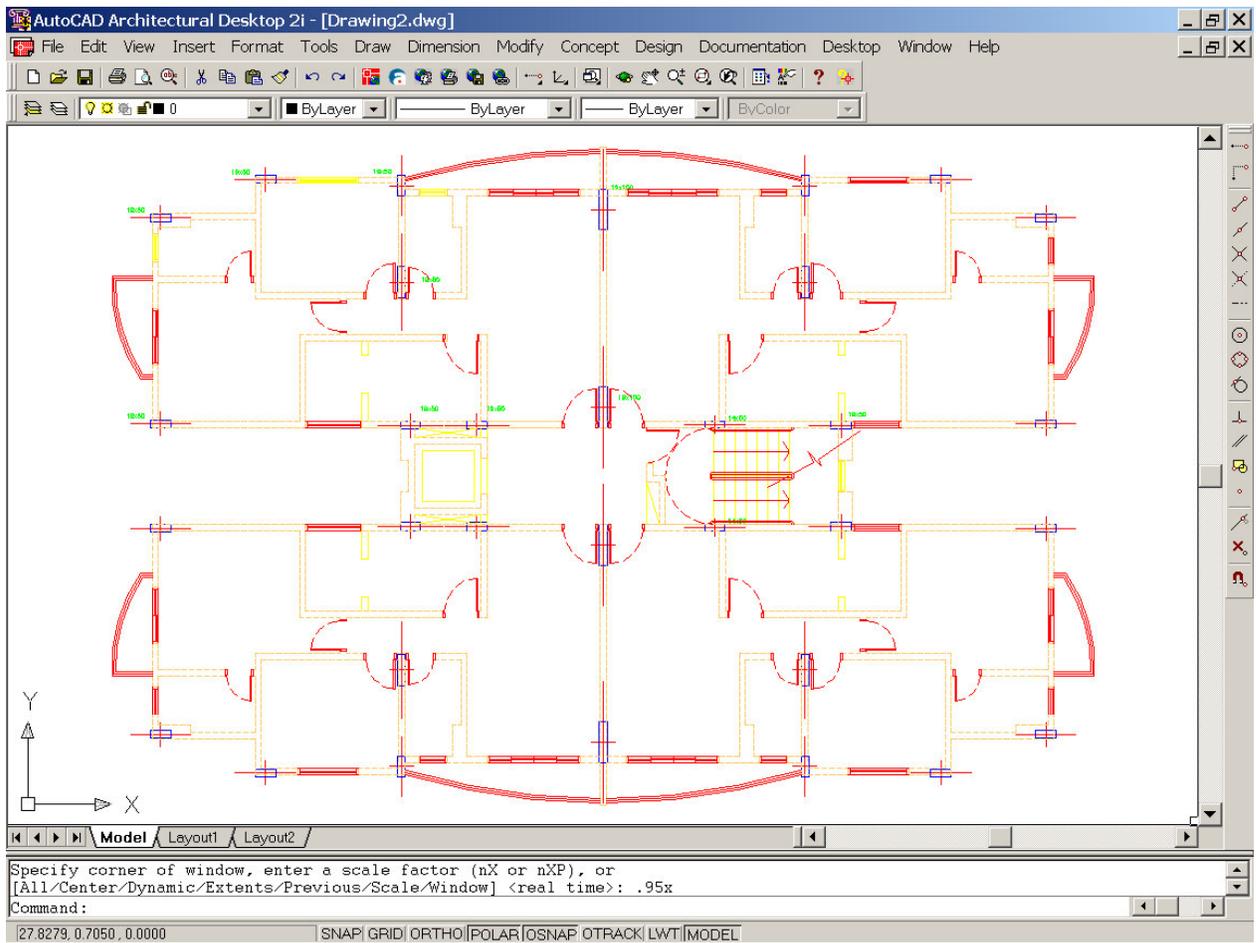


Figura 8.5 - Pilares lançados sobre o desenho de arquitetura.

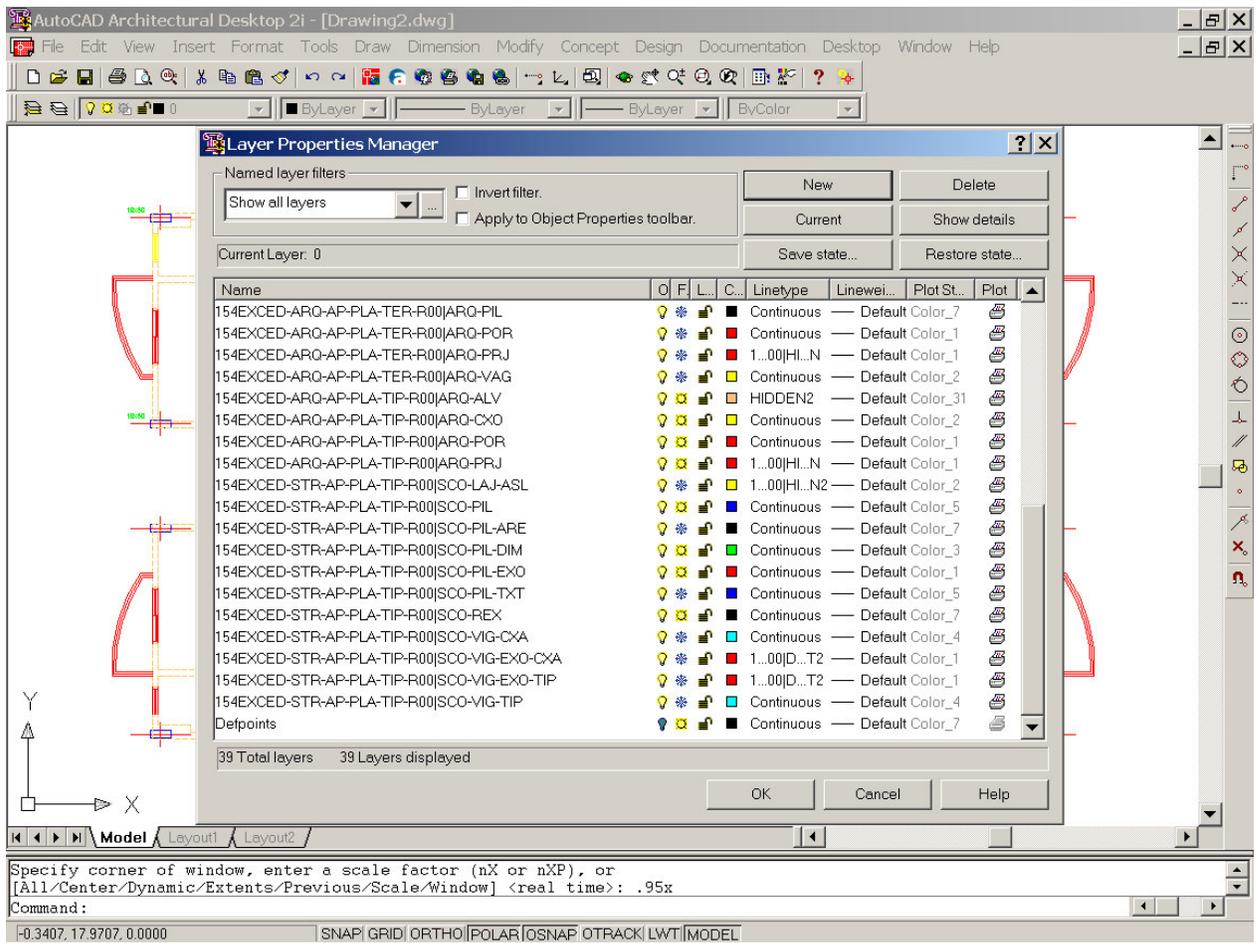


Figura 8.6 – Gerenciamento visual dos *layers*.

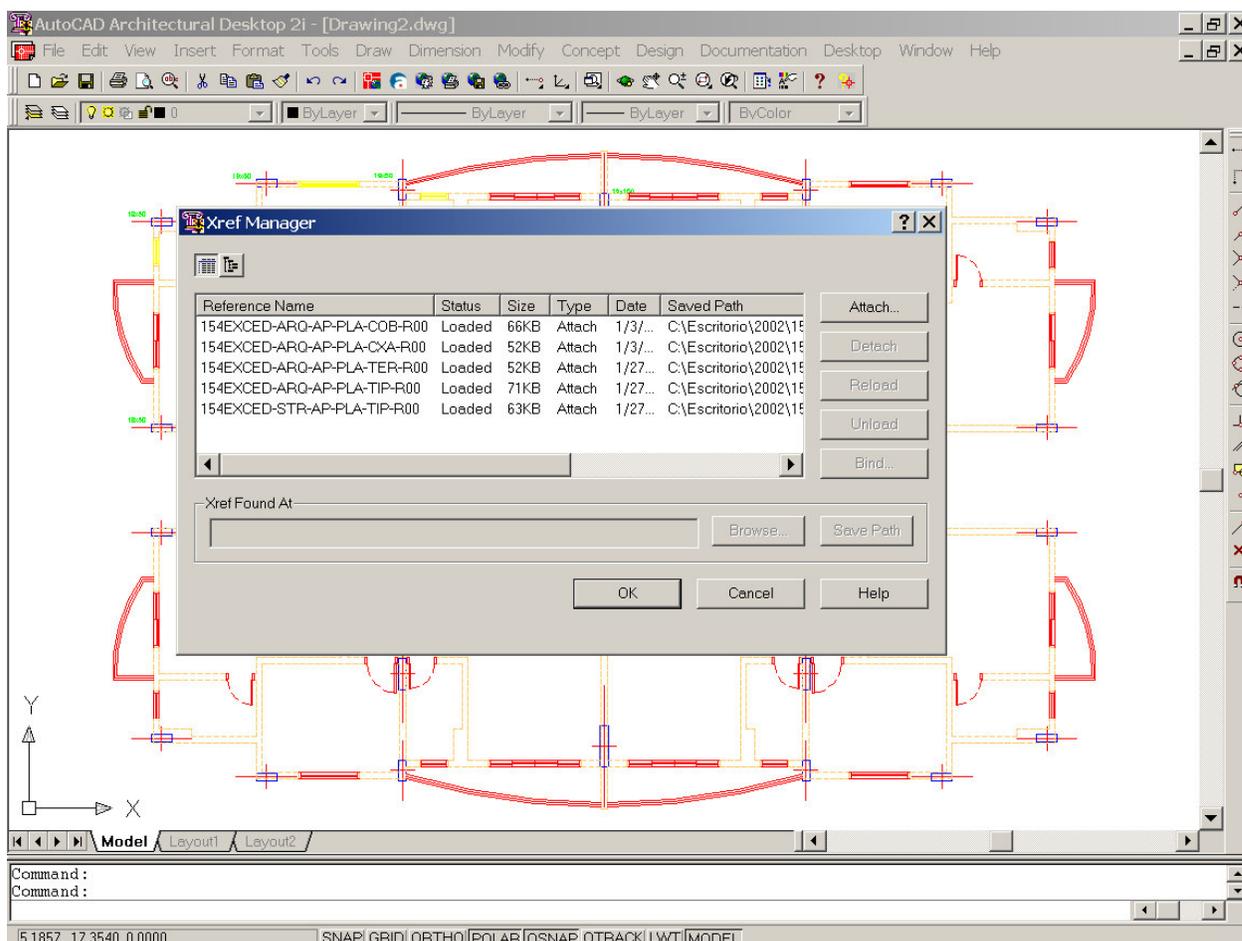


Figura 8.7 - Gerenciamento dos arquivos de referência externa.

8.2 Processo de Projeto Estrutural

Nesta seção, o processo de projeto estrutural integrado é proposto utilizando-se os procedimentos elaborados pela AsBEA descritos anteriormente. Inicialmente, é apresentado um fluxograma das etapas do processo de projeto, levando-se em conta a metodologia adotada pelas empresas pesquisadas. A seguir, uma planilha de insumo-processo-produto complementa o fluxograma com informações básicas necessárias à sua execução e o produto gerado.

A Figura 8.8 mostra o fluxograma proposto para o processo de projeto estrutural. A etapa (2) de conversão de arquivos ainda se faz necessária, pois as ferramentas utilizadas pelos

projetistas de estruturas importam arquivos no formato DXF. As etapas de verificações (6, 7, 14) da estrutura podem variar a sua ordem, mas as verificações de flechas e deformações podem alterar as seções de lajes e vigas, aumentando dessa forma o peso próprio da estrutura e, por conseqüência, aumentar as seções de pilares. A verificação da taxa de armadura nos elementos estruturais também pode levar às alterações das seções e, conseqüentemente, ao peso próprio da estrutura. Por esse motivo que a estabilidade da edificação é melhor definida após a verificação dos processamentos anteriormente citados. Os consultores externos apresentados na etapa 8, podem ser o consultor de fundações e o verificador do projeto estrutural. O consultor de fundações, com os dados de sondagens e cargas nos pilares, poderá, a partir desse momento, elaborar o projeto de fundações. A etapa de coordenação (17) entre os projetos é facilitada se todos os arquivos estiverem armazenados em um único local e disponibilizados a qualquer agente envolvido no processo de projeto. Adotando-se os ambientes de colaboração na *internet*, o coordenador pode integrar as várias disciplinas de projeto e verificar as interferências (etapa 11) pela sobreposição dos desenhos. Isso explica a importância dos procedimentos propostos pela AsBEA de nomenclatura de diretórios, arquivos e *layers* que devem ser seguidos por todos profissionais, para que se obtenha uma padronização das informações e, conseqüentemente, um entendimento melhor dos dados contidos nos arquivos de desenhos. A conversão de arquivos DXF para DWG deverá ser realizada todas as vezes em que se necessite a troca de arquivos entre projetistas. Esses desenhos formarão os arquivos de base, onde os profissionais envolvidos no processo de projeto poderão acessar as informações essenciais para cada tipo de disciplina específica de projeto. A partir dos arquivos de base serão gerados os arquivos de folhas de desenho que poderão ser acessados somente com permissão de leitura (formato PLT ou PDF), evitando-se alterações e, portanto, assegurando as responsabilidades sobre os projetos. Finalmente, esses arquivos de folha são encaminhados para a execução da obra ou para o cliente. Quaisquer alterações nos projetos deverão ser realizadas somente pelos profissionais específicos de cada disciplina nos arquivos de base.

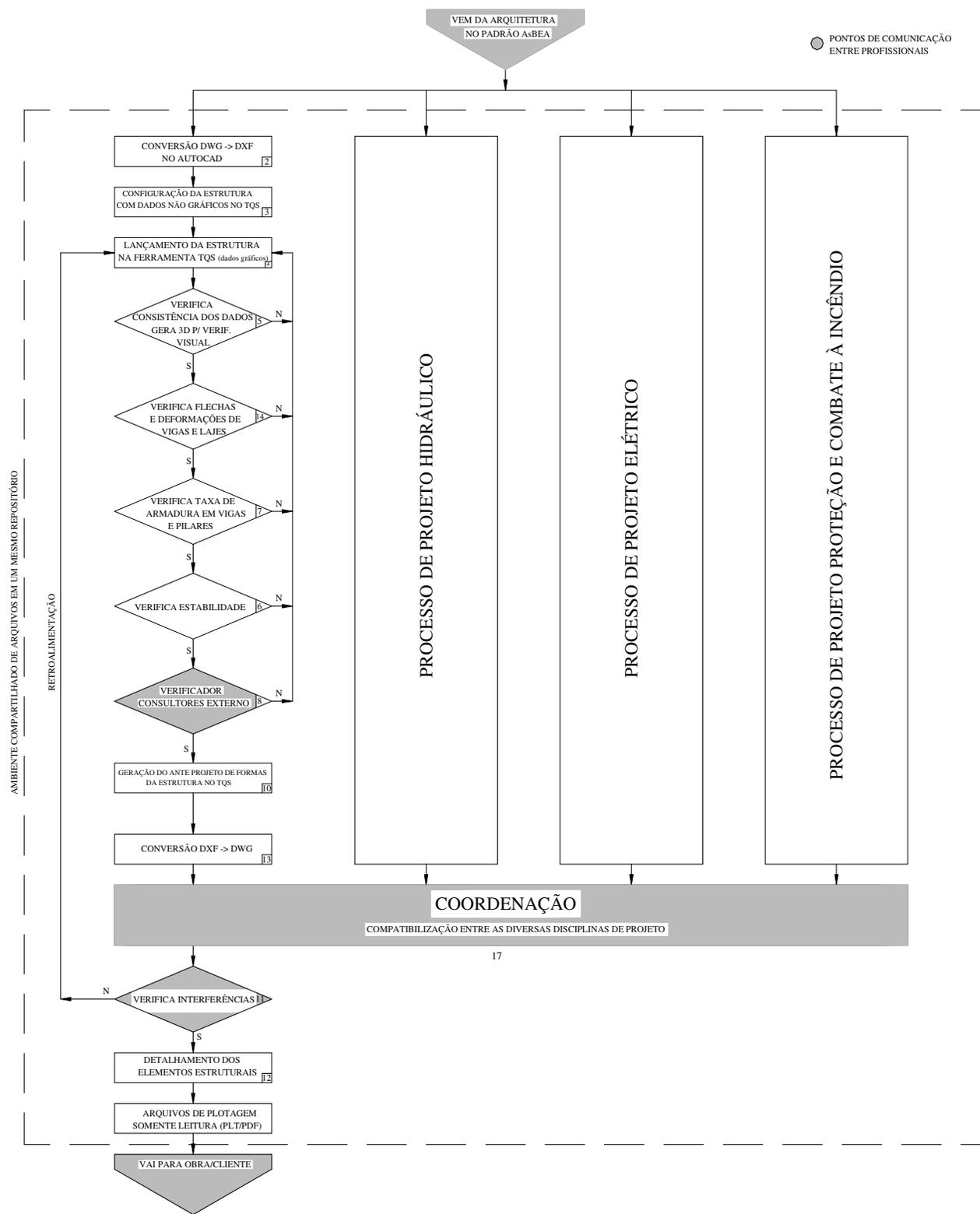


Figura 8.8 – Fluxograma das etapas do processo de projeto estrutural proposto.

Tabela 8.1 – Planilha de insumo-processo-produto.

INSUMO	PROCESSO	PRODUTO
Desenho de arquitetura no padrão de nomenclatura proposto pela AsBEA	Conversão DWG->DXF	Dados gráficos para entrada na ferramenta TQS convertidos ao padrão DXF
Tipo de estrutura Cotas de níveis dos pavimentos Materiais (aço e concreto) Modelo de análise estrutural Sobrecarga de utilização Sobrecarga de vento Critérios de cálculo	Configuração da estrutura com dados não gráficos	Configurações iniciais na ferramenta TQS
Arquivo DXF	Lançamento dos dados gráficos no TQS	Definição geométrica da estrutura (pilares, vigas e lajes) na ferramenta TQS
Carga nos pilares Sondagens Estrutura lançada no TQS Configurações iniciais Verificações da análise estrutural	Consultoria de fundações	Locação de pilares, definição da fundação
Configurações iniciais Estrutura lançada no TQS Verificações da análise estrutural	Geração das plantas do anteprojeto de formas no TQS	Anteprojeto de formas para compatibilização com projeto arquitetônico
Anteprojeto da estrutura Anteprojeto de instalações Anteprojeto de arquitetura	Coordenação	Projeto compatibilizado com as interferências
Definição da Fundação Projeto estrutural compatibilizado com a arquitetura	Detalhamento dos elementos estruturais	Arquivos no padrão DXF prontos para conversão.
Arquivos DXF	Conversão DXF->DWG	Arquivos DWG

8.3 Considerações

Como mostra a Figura 8.8, o coordenador de projetos deve ser inserido no processo de projeto para que se obtenha qualidade e integridade das informações produzidas nas etapas de desenvolvimento do produto, atendendo aos objetivos descritos por FRANCO & AGOPYAN (1993), no capítulo 3 (pág. 10). Os autores também destacam algumas barreiras que prejudicam a implantação eficiente da coordenação de projetos reconhecida pelas empresas entrevistadas que são:

- prazo para elaboração do projeto,
- definição pouco clara das etapas de projeto,
- falta de critérios de qualidade do projeto,
- quantidade insuficientes de informações,
- falta de regras de apresentação dos projetos.

Com a adoção de uma padronização de desenhos em CAD, minimiza-se a falta de regras de apresentação dos projetos melhorando a integração entre as disciplinas envolvidas no processo de projeto. O tempo para elaboração dos projetos também pode ter seu prazo reduzido, pois a etapa de “limpeza do desenho” é eliminada. Dessa forma os profissionais acessam os arquivos de desenho com as informações essenciais para cada tipo de projeto.

Uma vez que se adote um ambiente de colaboração na *internet*, as informações estarão acessíveis a todos os profissionais envolvidos no projeto, agilizando todo o processo e mantendo o gerenciamento dos arquivos documentados.

Um fato levantado pelas empresas pesquisadas e pela bibliografia (FORMOSO, 2001; BAÍA, 1998) é que as empresas construtoras e incorporadoras de pequeno porte não contratam um profissional específico para coordenar o projeto. Existe a preocupação com relação à compatibilização entre os diversos projetos, mas geralmente essa integração é feita de forma

deficiente pelo próprio escritório de arquitetura. Existem outras dificuldades para se alcançar esses objetivos como:

- Os projetistas de estruturas, fundações e sistemas prediais são contratados somente a partir da etapa de anteprojeto arquitetônico,
- A falta de participação dos profissionais com visão de produção nas etapas iniciais de desenvolvimento do projeto,
- Ocorrência de modificações que são feitas no projeto após a aprovação na prefeitura e corpo de bombeiros, que sejam ocasionadas pelo cliente ou por problemas de interface entre os diversos projetos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se na pesquisa entre as empresas de projeto estrutural de pequeno porte, pôde-se verificar que a integração com as demais disciplinas envolvidas em um projeto de edifícios de concreto armado é deficiente. A figura do coordenador de projeto é inexistente. Os projetos complementares são desenvolvidos com interação mínima e de forma seqüencial (Figuras 7.11A, 7.11B, 7.12A, 7.12B).

Os projetistas de arquitetura e de estrutura utilizam modelos tridimensionais, entretanto esses modelos não são compartilhados e são utilizados com propósitos e graus diferenciados. O projetista da estrutura do edifício recebe do arquiteto o projeto em duas dimensões e gera um modelo tridimensional da estrutura isolado do modelo tridimensional arquitetônico e o utiliza apenas para conferência visual. É a deficiência de integração entre ferramentas de CAD e de cálculo estrutural que gera essa situação.

Entretanto, é possível dar um incremento de qualidade ao processo de projeto em termos de integração, mesmo mantendo o conjunto atual de ferramentas de CAD e cálculo estrutural, se acrescentarmos ao processo de projeto a utilização de um repositório compartilhado de arquivos entre os profissionais envolvidos com a adoção de padronização. Nesse contexto, este trabalho apresentou um processo de projeto estrutural que adota o padrão AsBEA e propõe paralelismo no desenvolvimento de projetos complementares com a utilização de um ambiente de colaboração via Internet. Este processo adota uma ordenação de etapas de projeto estrutural que minimiza o retrabalho, incorpora etapas de verificação visando a retroalimentação no processo e acrescenta etapas de conversão de modelos de dados para DXF e DWG, visando ao compartilhamento antecipado dos projetos complementares (Figura 8.4).

A proposta de processo de projeto estrutural desenvolvida não modifica a eficiência do uso de modelos tridimensionais. Para que o modelo tridimensional da edificação seja efetivamente utilizado para a integração e maior colaboração entre profissionais da área de AEC, é necessário que as ferramentas em uso tenham acesso a um modelo de dados gráficos e não gráficos integrados e públicos. Esse modelo deve ser interpretado por qualquer aplicativo envolvido no processo de projeto. Dessa forma, múltiplas representações (modelo tridimensional arquitetônico, modelo tridimensional estrutural, especificações, lista de materiais, projeto executivo, memoriais, etc.) do mesmo projeto podem estar sempre em permanente consistência.

10 TRABALHOS FUTUROS

Para melhorar o processo de projeto estrutural, é necessário um amplo estudo envolvendo outras disciplinas de projeto para que se integrem as informações entre todos os agentes que participam do processo de projeto de edifícios. Desse modo, com base no estudo realizado entre as empresas de projeto estrutural, verifica-se a necessidade de se aprofundarem os seguintes temas:

- Divulgação da pesquisa por meio do *website* EstNet;
- Estudo equivalente do processo de projeto de sistemas prediais;
- Implementação da proposta apresentada e verificação de ganhos: qualidade, tempo, retrabalho e satisfação;
- Desenvolvimento de um modelo de dados público que integre as ferramentas de CAD e aplicativos de projetos complementares envolvidos no processo de projeto da área de AEC.
- Uso freqüente do modelo tridimensional em ferramentas de cálculo estrutural para vencer o vício à abstração bidimensional do modelo. Como exemplo, pode-se criar algoritmos que se utilizem do modelo 3D, com a finalidade de funcionar como verificador tridimensional geométrico de interferências do cruzamento de armaduras entre pilares e vigas.

ANEXOS

ANEXO A

WEBSITE DESENVOLVIDO PARA PESQUISA ENTRE PROFISSIONAIS DA ÁREA DE ENGENHARIA ESTRUTURAL

O mapa do *website* desenvolvido para a realização da pesquisa global entre os profissionais de projeto estrutural é detalhado na Figura A1.

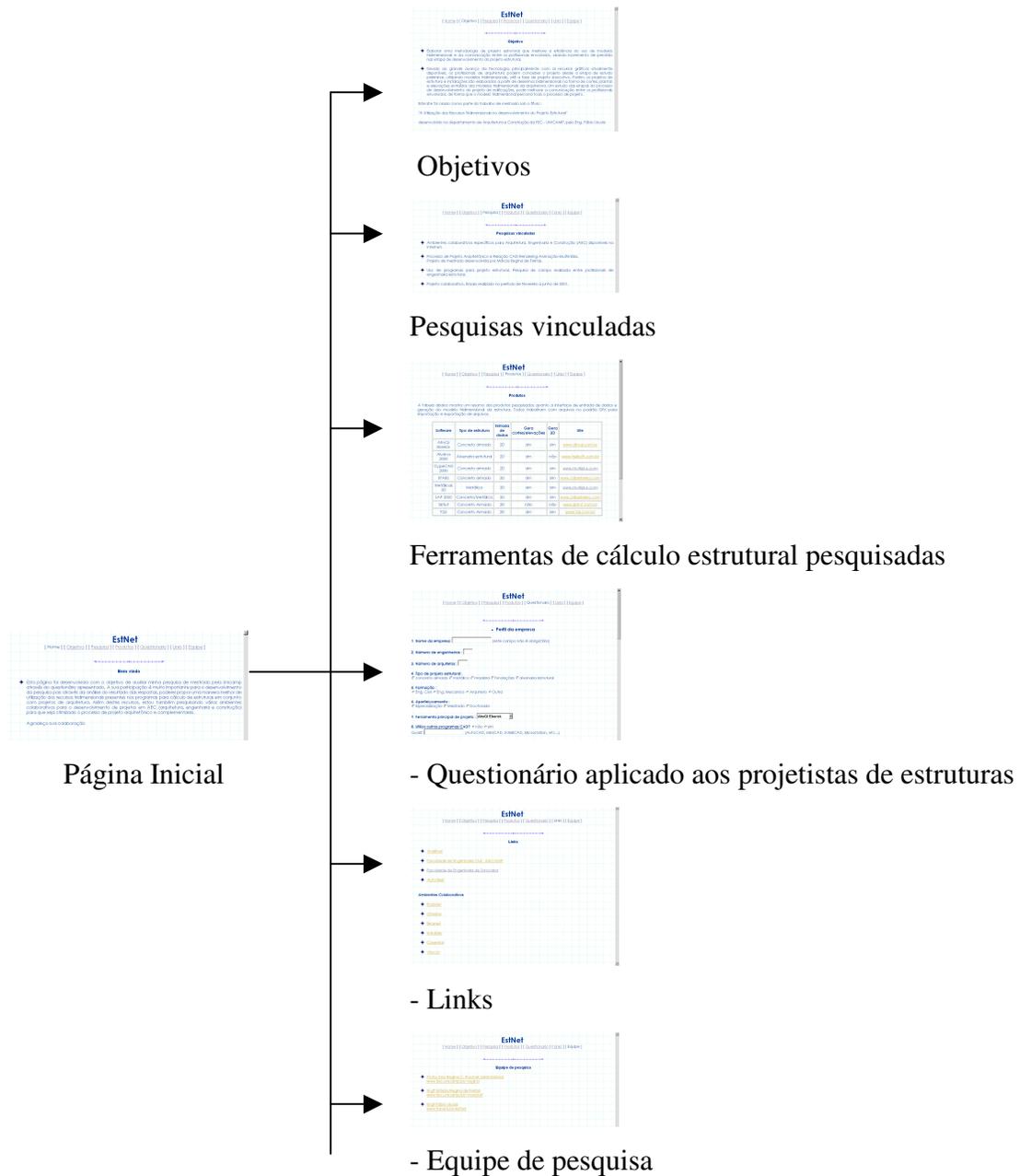


Figura A1 – Mapa do *website* EstNet.

A seguir, são apresentadas as páginas desenvolvidas contendo o questionário aplicado entre os profissionais da área de engenharia estrutural. O *site* está disponível no endereço <http://www.facens.br/estnet>.

A página inicial é mostrada na Figura A2, os objetivos da pesquisa são mostrados na Figura A3. As pesquisas vinculadas a este trabalho são mostradas na Figura A4, as ferramentas de cálculo estrutural pesquisadas relacionadas aos recursos de modelagem 3D, são apresentadas na tabela da Figura A5. Essa página também oferece *links* para o *website* dos desenvolvedores das ferramentas para cálculo estrutural. A Figura A6 mostra o questionário aplicado aos profissionais da área de projeto estrutural. As respostas eram armazenadas *online* em uma base de dados *MySQL* no servidor da Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS). A visualização dos resultados da pesquisa eram tabulados e acessados por meio de senha pelo administrador do *website*. A Figura A7 apresenta a página contendo os *links* dos ambientes de colaboração de projetos para área de AEC levantados para este trabalho. A Figura A8 apresenta a página contendo *links* de contato com a equipe de pesquisa.

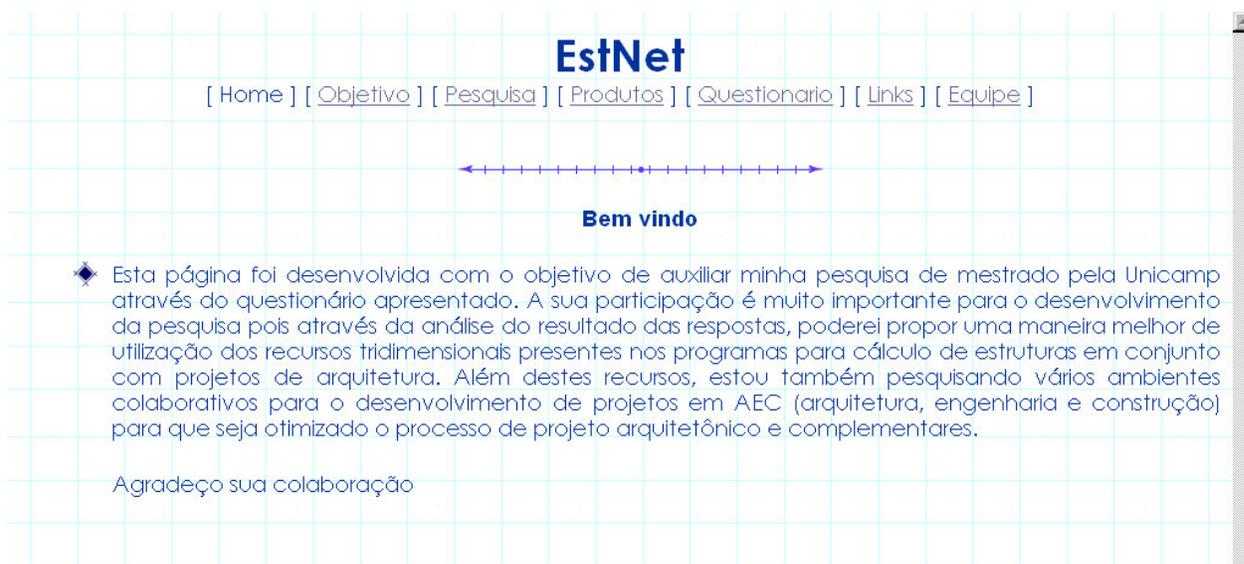


Figura A2 – Página inicial do *site* EstNet.

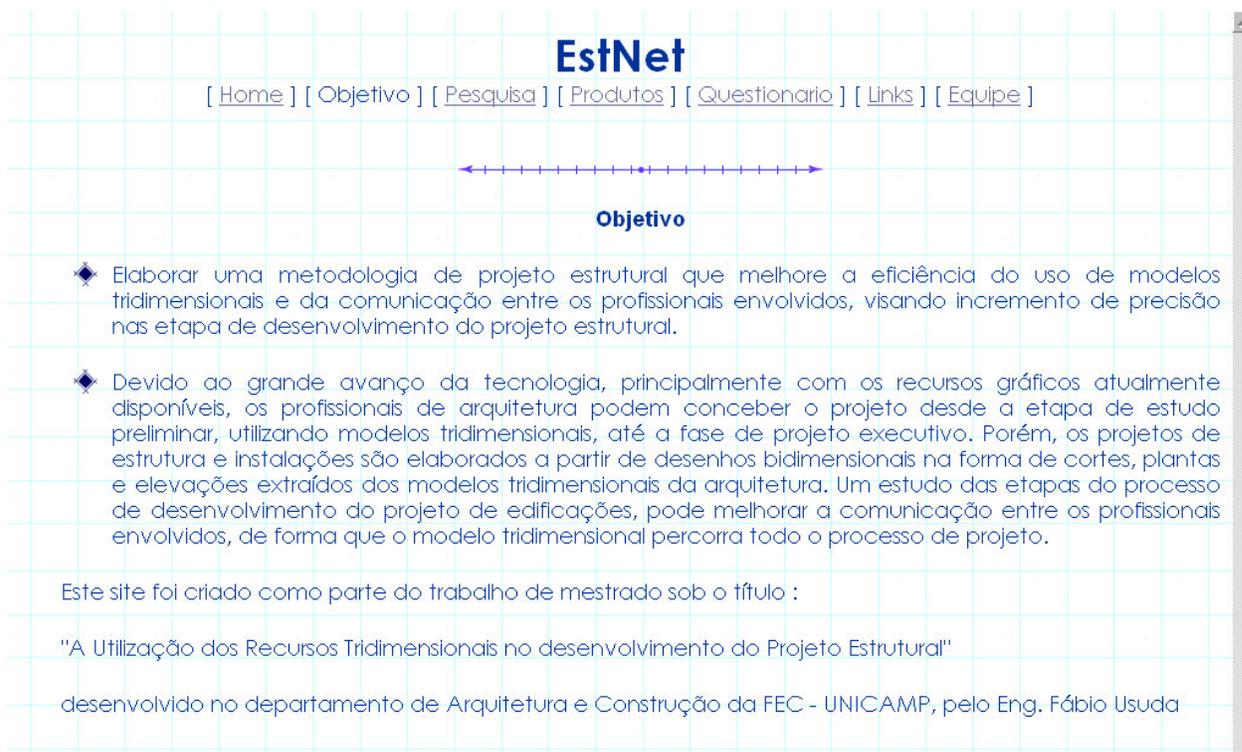


Figura A3 – Página com os objetivos da pesquisa.



Figura A4 – Pesquisas vinculadas.

EstNet

[[Home](#)] [[Objetivo](#)] [[Pesquisa](#)] [[Produtos](#)] [[Questionario](#)] [[Links](#)] [[Equipe](#)]



Produtos

A tabela abaixo mostra um resumo dos produtos pesquisados quanto a interface de entrada de dados e geração do modelo tridimensional da estrutura. Todos trabalham com arquivos no padrão DFX para importação e exportação de arquivos.

Software	Tipo de estrutura	Entrada de dados	Gera cortes/elevações	Gera 3D	Site
AltoQI Eberick	Concreto armado	2D	sim	sim	www.altoqi.com.br
Alvena 2000	Alvenaria estrutural	2D	sim	não	www.trelsoft.com.br
CypeCAD 2000	Concreto armado	2D	sim	sim	www.multipius.com
ETABS	Concreto armado	3D	sim	sim	www.csiberkeley.com
Metálicas 3D	Metálica	3D	sim	sim	www.multipius.com
SAP 2000	Concreto/Metálica	3D	sim	sim	www.csiberkeley.com
Sistrut	Concreto Armado	2D	não	não	www.sistrut.com.br
TQS	Concreto Armado	2D	sim	sim	www.tqs.com.br

Figura A5 – Página contendo os sistemas para cálculo estrutural.

EstNet

[[Home](#)] [[Objetivo](#)] [[Pesquisa](#)] [[Produtos](#)] [[Questionário](#)] [[Links](#)] [[Equipe](#)]



• Perfil da empresa

1. Nome da empresa: (este campo não é obrigatório)
2. Número de engenheiros :
3. Número de arquitetos :
4. Tipo de projeto estrutural :
 concreto armado metálico madeira fundações alvenaria estrutural
5. Formação :
 Eng. Civil Eng. Mecânico Arquiteto Outra
6. Aperfeiçoamento :
 Especialização Mestrado Doutorado
7. Ferramenta principal de projeto :
8. Utiliza outros programas CAD? não sim
 Qual? : (AutoCAD, MiniCAD, IntellCAD, Microstation, etc...)

9. Onde adquiriu conhecimento de informática dos aplicativos em uso ?
 Universidade Cursos Autodidata Treinamento de software Internet Assessoria técnica (amigo, particular...)
10. Quais os equipamentos utilizados no seu escritório:
 PC Macintosh impressora plotter fax scanner webcam CDROM CD R/W zip drive Hand Held/Palm Tops
11. Qual o seu tipo de conexão com a Internet ?
 Modem 57Kbps Cabo (Virtua, Speedy, etc.)
12. Como você utiliza a Internet :
 E-Mail pesquisa de produtos E-learning home-page compras home-banking ftp
 entretenimento grupos de discussão

• Interface com cliente

13. Quem é o seu cliente ?
14. Como é a comunicação com seu cliente ?
 pessoalmente
 telefone
 fax
 e-mail
 videoconferência
15. Como recebe o serviço ?
 papel digital papel e digital
16. O que recebe ?
 2D 3D 2D e 3D

continua na próxima página

17. Como arquiva os projetos ?
 papel digital papel e digital não arquiva

18. Como entrega o trabalho ?

19. O que entrega ?

• Interface com outros profissionais

20. Trabalha de forma colaborativa com outros escritórios ou profissionais ?
 não sim
Se sim :
 eng. hidráulico eng. elétrico eng. mecânico eng. civil arquiteto

21. Como é feita a comunicação entre o profissional que interfere no seu processo de projeto ?
 pessoalmente
 telefone
 fax
 e-mail
 ambiente de projeto colaborativo
 videoconferência

22. Se você usa a representação tridimensional da estrutura :
 gero a partir do 2D recebido
 utilizo para melhor visualização do projeto
 utilizo porque o software gera automaticamente
 não gero 3D

23. Receber o projeto em 3D contribui para o seu processo de projeto ?

24. Você participa do desenvolvimento do projeto arquitetônico ?
 sim não

Figura A6 – Página contendo o questionário aplicado entre profissionais da área de engenharia estrutural.

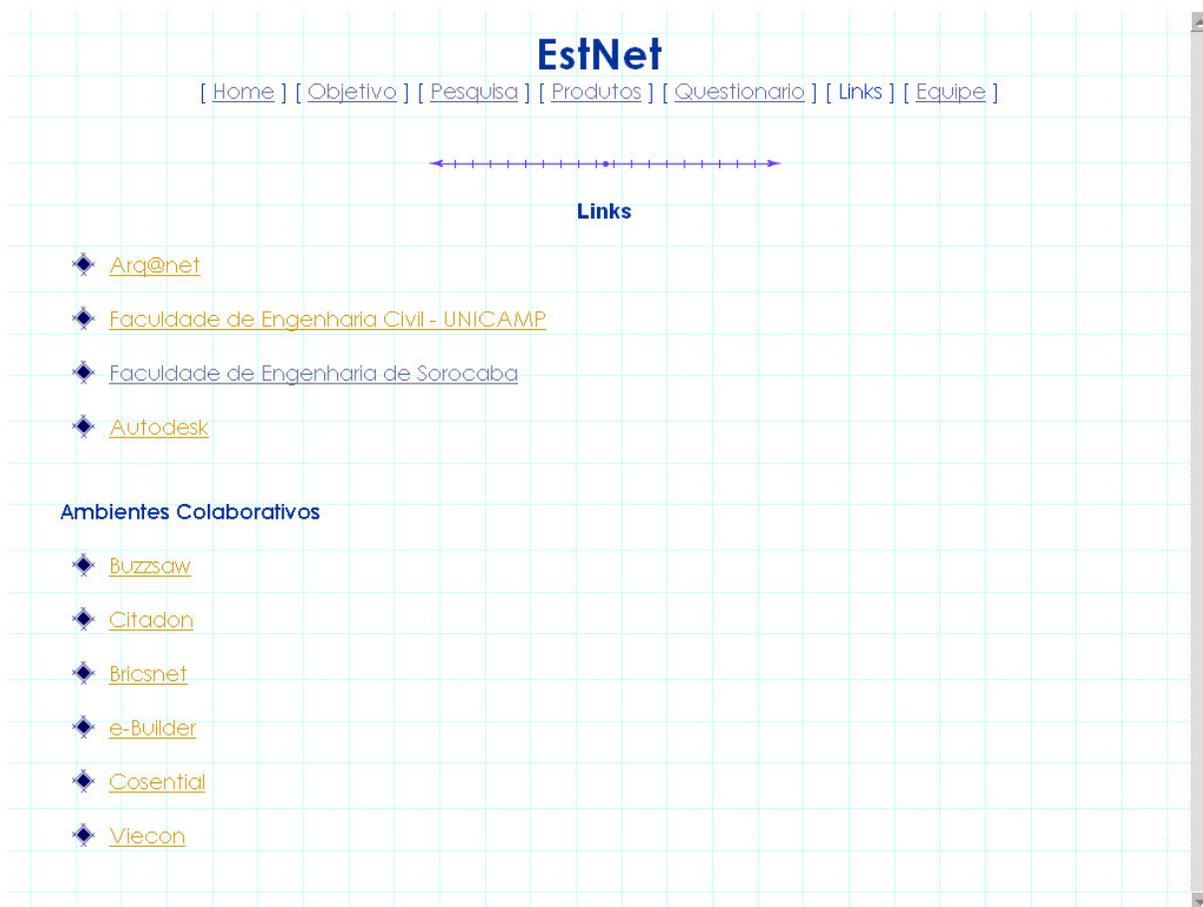
Figura A7 – Página contendo *links* de ambientes colaborativos.

Figura A8 – Página com integrantes da equipe de pesquisa.

ANEXO B

PROGRAMAS PARA CÁLCULO ESTRUTURAL

A seguir estão apresentadas algumas características dos sistemas AltoQI Eberick 2000, TreliSoft Alvena 2000, SAP 2000, Sistrut 4.0 e TQS versão Plena.

B1. AltoQI Eberick

- Modelo de cálculo :

A sistemática na qual se baseia o programa é a de modelar a estrutura por meio de um *pórtico espacial* composto pelas vigas e pilares da edificação. Nesse processo, os elementos são representados por *barras* ligadas umas as outras por *nós*. Cada pilar e cada trecho de viga são compostos por barras do pórtico, de onde são obtidos os esforços solicitantes para o dimensionamento. Os painéis de lajes são calculados de forma independente do pórtico.

O cálculo da estrutura é feito da seguinte forma:

- os painéis de lajes são montados e calculados de acordo com o processo que estiver configurado (Grelha, Método da Ruptura ou Processo de Marcus);
- as reações das lajes são transmitidas às vigas onde se apoiam;
- é montado o pórtico espacial da estrutura, recebendo o carregamento calculado pelas lajes;
- o pórtico é processado e os esforços solicitantes são utilizados para o detalhamento dos elementos estruturais.

A análise estrutural é feita pelo método matricial da rigidez direta, cujo objetivo é determinar os efeitos das ações na estrutura para que possam ser feitas as verificações dos estados

limites últimos e dos estados limites de utilização. Basicamente, os resultados da análise são os deslocamentos nodais, os esforços internos e as reações nos vínculos de apoio.

As condições de equilíbrio da estrutura (para o modelo com geometria indeformada) devem ser garantidas pelo usuário, uma vez que o sistema não gera solução para estruturas hipostáticas. O EBERICK executa uma análise estática linear de primeira ordem para o modelo, o que significa:

- o sistema não leva em conta ações variáveis com o tempo, decorrentes de vibrações, sismos, etc.
- o sistema analisa apenas uma hipótese de carga, ficando, portanto, restrito aos casos em que a alternância de cargas variáveis pode ser considerada desprezível. De modo geral, isso ocorre nas edificações onde as cargas variáveis representam no máximo 20% do valor da carga total do edifício.
- o sistema considera que os materiais tenham comportamento físico elástico linear para todos os pontos da estrutura, isto é, supõe que em nenhum ponto sejam ultrapassados os limites de proporcionalidade do material para tensões em serviço.
- o sistema não leva em conta a variação da estrutura devido às ações na determinação dos resultados dos deslocamentos e dos esforços. Os deslocamentos obtidos em um primeiro cálculo, a partir das ações, modificam a geometria inicial da estrutura. O efeito das ações, que permanecem atuando nessa estrutura deformada, iria alterar novamente todos os esforços internos, inclusive os deslocamentos. Esse efeito é conhecido como efeito de 2ª ordem. Se acontecerem variações superiores a 10% nos valores dos esforços internos, esse efeito passa a ser importante e não deve ser desprezado. Nesses casos a interação entre as cargas normais e os momentos fletores podem ser importantes.
- para o modelo de estrutura deformada, o equilíbrio deverá ser verificado por um processo de estabilidade global que avalie os efeitos de segunda ordem manifestados na estrutura devido a deslocamentos horizontais que alterem de maneira significativa os esforços internos. O processo de verificação utilizado pelo EBERICK é simplificado e baseado na norma do CEB. Caso o coeficiente α calculado seja superior ao valor limite, a estrutura pode ser considerada deslocável.

- **Pórtico 3D :**

Um recurso importante de visualização da estrutura é a janela de Pórtico 3D. Através dela pode-se visualizar os elementos estruturais (vigas e pilares) com suas dimensões reais ao invés de apenas seus eixos

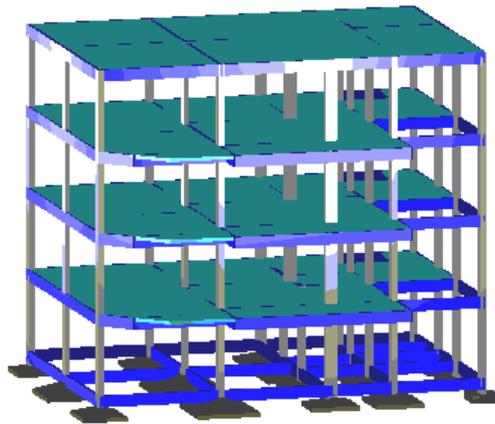


Figura B1 – Exemplo de pórtico 3D (AltoQI Eberick)

- Gravação do Modelo 3D:

O arquivo gerado obedece às seguintes características:

- formato: DXF 3D (.DXF). Esse é um formato padrão de CAD e poderá ser aberto e editado em qualquer outro CAD 3D, incluindo-se o AutoCad.
- níveis: o desenho gerado é exportado com um critério de separação de níveis. Os pavimentos são diferenciados e dentro de cada pavimento separam-se os níveis dos elementos. Portanto, podem existir os níveis baldrame-pilares, baldrame-vigas e térreo-vigas, por exemplo.
- cores: em todo o ambiente CAD do Eberick, as cores são definidas entre as 16 opções disponíveis na paleta. Da mesma forma, essa configuração existe também em programas que trabalham em formato .DXF. Na visualização do pórtico 3D,

existe a possibilidade de se escolher qualquer cor do espectro. Para que o arquivo gerado no Eberick seja compatível com os programas utilizados para editá-lo, é necessário que as cores sejam redefinidas. Para isso, o programa busca a cor mais próxima daquela escolhida pelo usuário e encaixa-a dentro das 16 disponíveis na paleta.

- desenho: o desenho gravado pelo programa é formado por elementos 3DFACE, ou seja, considera-se o pórtico formado por polígonos fechados, possíveis de serem visualizados apenas através de suas arestas ou por planos definidos por seus contornos. Para definir essas duas formas de visualização, pode-se "desligar" a opção Sólido, tornando visíveis apenas as arestas dos polígonos ou "ligá-la" e visualizar os planos dos elementos. Se forem mantidas as duas opções ligadas, vêem-se os planos e os seus contornos simultaneamente.

- Dimensionamento:

O dimensionamento dos elementos estruturais é feito pelo método dos estados limites últimos de acordo com a NBR-6118.

Como hipóteses básicas, admite-se o seguinte:

- as seções permanecem planas após a deformação
- os elementos são representados pelos seus eixos longitudinais
- o comprimento é calculado pelo centro dos apoios ou pelo cruzamento com o eixo de outro elemento.

- Desenhos apresentados :

Feito o dimensionamento, são detalhados todos os elementos estruturais do projeto que podem ser exportados em formato DXF para outros programas CAD.

B.2 Trelisoft Alvena 2000

O sistema Alvena 2000 para cálculo de alvenaria estrutural utiliza um programa externo de CAD que interprete a linguagem Autolisp (Autocad, IntelliCAD)

Conceitos sobre Modulação/Paginação

1. Conceitos do sistema: O software considera para efeitos de modulação um bloco mais 1 cm de espessura de argamassa (módulo = C.bloco + 1 cm).
2. Todos os vértices devem ter amarrações perfeitas. Nos casos de paredes com espessuras de 14 cm, em que se use o bloco padrão de 39 cm, é altamente recomendável o uso de blocos de 34 cm, e nas juntas em T as peças de 54 cm. Na impossibilidade de se encontrar tais peças, o Alvena 2000 adota outro conjunto de soluções.
3. O sistema verifica o conjunto de parâmetros informados pelo usuário.
4. Lê o conjunto de instruções que cada profissional utiliza em seu sistema de projetos por meio do banco de dados de informações. (inserido no Alvena 2000).
5. Solicita todas as informações complementares sobre o projeto: medidas das janelas, peitoris, todas as portas, com ou sem bandeiras, medidas entre batentes, etc;
6. A partir do banco de dados de blocos disponíveis, inicia a leitura do projeto em um sistema gráfico utilizado pelo usuário em formato (*.dwg);
7. Parte-se da amarração de todos os vértices (solução ideal) trazendo possíveis diferenças de modulação para o ponto médio das paredes.

8. Outra solução que pode ser adotada é a compensação das juntas da argamassa até o limite de 2 cm, porém, a aplicação desse conceito diminui a resistência das paredes, devendo ser considerada no cálculo estrutural. Outro motivo pelo qual não recomendamos a prática acima é que juntas diferentes (não padronizadas) podem provocar erros na obra na execução do projeto.

Os conceitos que estão sendo abordados no cálculo estrutural do ALVENA2000 estão baseados na Norma Britânica, Norma Brasileira NBR10837 e utilizam o método das tensões admissíveis.

Estão sendo considerados os efeitos de vento nas duas direções, de acordo com as recomendações da NBR 6123. O sistema verifica a estabilidade global do prédio em função das normas técnicas.

O sistema aplica o conceito de alvenaria não armada até 4 pavimentos, porém verifica os pontos críticos de concentração de cargas para possíveis reforços com grautes e armaduras suplementares.

- Desenhos apresentados

- Planta de paginação, detalhando primeira e segunda fiadas, cortes esquemáticos, notas explicativas, lista de blocos utilizados por paredes, áreas, consumo em volume de argamassas e grautes (se necessário) e detalhes construtivos.

- Prancha contendo o Detalhamento das vistas das paredes selecionadas pelo usuário ou automaticamente pelo sistema.

- Prancha contendo todas as armaduras construtivas (de acordo com parametrização fornecida pelo usuário).

- Relatórios Quantitativos de materiais pela obra, tendo o usuário (fabricante) a opção de emitir a cotação de preços para a referida obra.

B.3 SAP2000

O SAP 2000 representa a versão mais sofisticada e amigável da séries SAP de programas de computação. Essa é a primeira versão do SAP completamente integrada com o Microsoft Windows. Tem como característica uma poderosa interface com usuário em termos de facilidade e produtividade.

A criação, modificação, análise, verificação e otimização do projeto são todos realizados por essa única interface. A representação gráfica dos resultados, incluindo exibição em tempo real de deslocamento, são produzidas facilmente. Esse programa oferece um avanço no modo como os modelos são criados, modificados e na maneira como o projeto e a análise são gerenciados.

As capacidades analíticas são poderosas, representando a mais recente pesquisa dentro das técnicas numéricas e algoritmos de resolução e estão disponíveis em três versões diferentes: SAP2000, SAP2000 PLUS e SAP2000 Nonlinear.

Todos esses programas têm a característica de possuírem a capacidade sofisticada de resoluções rápidas de equação, carregamentos de força e deslocamento, elementos frame não-prismáticos, elementos de casca altamente precisos, análise dinâmica Eigen e Ritz, múltiplos sistemas de coordenada para geometria inclinada, muitas opções diferentes de vínculo e a opção para associação de múltiplas análises dinâmicas no mesmo processamento.

O SAP2000 PLUS soma a capacidade ilimitada de análise de ponte, uma gama completa de elementos finitos e opções de análise que variam com tempo. Podem ser incluídos efeitos de terremoto com base em múltiplas excitações.

O SAP2000 Nonlinear estende a versão PLUS adicionando as capacidades de elementos de ligação não lineares, ganchos, isoladores, mola, dobradiças, etc.

Todos os programas da linha SAP2000 possuem módulos de projeto poderosos e completamente integrados para aço e concreto, disponíveis dentro da mesma interface que cria e analisa o modelo. O projeto de estruturas de aço se inicia pela adoção de seções e após a análise, a otimização interativa dessas seções. O projeto de concreto armado inclui o cálculo da quantidade de aço para os elementos de barra da estrutura. Os membros podem ser agrupados para propósitos de projeto, e as informações dos elementos podem ser visualizadas a qualquer momento trazendo inclusive cálculos detalhados.

O SAP2000 suporta as mais recentes normas americanas e européias. Para concreto, incluem a norma americana ACI 318-89 e 318-95, norma canadense CAN3-A23.3-M84, norma britânica, BS 8110, e os códigos Eurocode 2 (ENV 1993-1-1). Para aço, incluem a norma americana AISC/ASD89 e AISC/LRFD93, norma canadense CAN/CSA-S16.1-94, norma britânica BS5950, e o código Eurocode 3 (ENV 1993-1-1).

B4 SISTRUT 4.0

O sistema é dividido em vários módulos podendo o usuário utilizá-lo de maneira isolada ou em conjunto com o módulo principal.

Estão sendo apresentadas as características dos módulos disponíveis na versão 4.0, Pórticos Planos, Grelhas Planas, Treliças Planas, Lajes em Regime de Ruptura, Vigas Contínuas, Pilares de Concreto, Armadura para Seções Especiais, Diagramas de Esforços com envoltórias e deformadas de estruturas Reticuladas, Detalhamento de Vigas, Desenho e Plotagem de Vigas, Desenho e Plotagem de Pilares e Montagem Desenho e Plotagem de Formas.

- Pórticos Planos

Cálculo dos deslocamentos e esforços em estruturas constituídas por barras retas, estando estas contidas no mesmo plano do carregamento. Os elementos estruturais que compõem o

pórtico, são caracterizados por solicitação normal, cisalhamento (no plano da estrutura) e fletora (vetorial normal ao plano da estrutura).

- Grelhas Planas

Cálculo dos deslocamentos e esforços em estruturas constituídas por barras retas, estando estas contidas no plano normal a todos os carregamentos. Os elementos estruturais que compõem a grelha, são caracterizados por solicitações de torção, flexão (vetoriais ao plano da estrutura) e cisalhamento (vetorial normal ao plano da estrutura).

- Treliças Planas

Cálculo dos deslocamentos e esforços em estruturas constituídas por barras retas, estando estas contidas no mesmo plano do carregamento. Os elementos estruturais que compõem a treliça, são caracterizados unicamente por solicitações axiais.

- Lajes em Regime de Ruptura

Cálculo dos esforços e armações em lajes de contorno qualquer, solicitadas por cargas uniformemente distribuídas em toda a sua área. O aplicativo permite que seja arquivado todo o painel de lajes, com a entrada de dados feita pelos recursos gráficos. As rotinas de correção permitem constantes alterações nas lajes quanto às cargas, dimensões, vínculos, continuidades, imposição de armaduras negativas, etc. Uma vez definido o painel de Lajes, é automática a pesquisa de continuidade entre momentos negativos de lajes alinhadas, possibilitando também diferentes graus de engastamento em cada trecho de Laje para que exista o equilíbrio de momentos. O aplicativo pesquisa espessuras mínimas necessárias em função do dimensionamento da Laje e da sua deformação.

- Vigas Contínuas

Cálculo de vigas contínuas por meio do método de propagação com a possibilidade de trabalhar com várias vigas ao mesmo tempo na memória, com o objetivo de calcular de uma vez todo o conjunto de vigas. Possibilita, também, a indexação de cargas concentradas, resolvendo o conjunto de vigas na ordem necessária devido à dependência do carregamento. O aplicativo vigas contínuas é o primeiro de três módulos que elaboram o desenho completo de viga contínua. Essa primeira parte, "VIGAS CONTÍNUAS", é responsável pela parte estática do cálculo. Toda a entrada de dados referentes às cargas, vãos de cálculo, balanços, engastes etc. é fornecida pelo módulo "VIGAS CONTÍNUAS" cabendo a este também as alterações desses dados básicos.

- Pilares de Concreto

Cálculo das curvas de funcionamento de uma certa seção qualquer para uma determinada posição de armadura e inclinação de linha neutra ($N_k \times M_k$). Definida a seção do Pilar e a geometria básica da armadura, serão elaboradas para três diferentes bitolas escolhidas, as curvas resistentes $N_k \times M_k$ da seção.

Verificação do pilar, considerando-se nas duas direções fluência e instabilidade de acordo com a NBR6118. Definida a seção do Pilar e a geometria da armadura e fornecidos os esforços iniciais externamente aplicados, serão calculados os esforços resistentes do pilar e os esforços atuantes. Para o cálculo dos esforços resistentes, consideraremos que os máximos esforços aplicáveis ao pilar são aqueles que produzirão na seção mais crítica do pilar os máximos esforços suportáveis. Para o cálculo dos esforços atuantes, serão seguidas as regras de combinação e majoração da NBR6118 em função dos esforços iniciais.

- **Dimensionamento de Colunas de edifícios compostas por vários níveis.**

Para cada Coluna definida, poderemos fornecer os esforços externos atuantes em cada nível com a possibilidade de introduzir esses esforços manualmente ou por leitura de arquivo de dados gerados pelos módulos de Laje e Viga. Para essas colunas poderemos predimensionar as seções de maneira a atender a tensões limites pré estabelecidas.

Poderemos variar a seção de cada coluna em vários níveis. Dimensionada a armadura básica, poderemos alterá-la em totalidade ou trechos da coluna, podendo imprimir relatório gráfico com a prumada da coluna, seções e armadura disposta.

- Armadura para Seções Especiais

Cálculo de ferragem para peças de concreto armado, submetidas a esforços fletores, cortantes e torçores. A finalidade do aplicativo é criar um conjunto de informações sobre a seção que permita ao usuário comparar várias alternativas sem precisar dispor de novos cálculos. Este conjunto de informações consiste em listarmos para uma dada seção, os seus esforços resistentes com várias quantidades de três bitolas diferentes, tanto para esforços fletores como para cortantes. Neste mesmo relatório, são fornecidos dados sobre esforços limites, armaduras mínimas e máximas, limites de armação, etc. Dentro do mesmo aplicativo, temos ainda a possibilidade de executar o dimensionamento, podendo armar seções submetidas a esforços fletores, cortantes e torçores.

- Diagrama de Esforços, Envoltórias e Deformadas

A partir das estruturas de Pórticos Planos, Grelhas Planas e Treliças Planas, anteriormente definidas e solucionadas, o módulo Diagrama fará o desenho dos diagramas e deformadas de parte ou totalidade dos membros da estrutura escolhida.

Poderão ser solicitados esses diagramas de grupos de membros ou membros individualmente e quais esforços serão traçados. No caso de termos uma mesma estrutura submetida a vários carregamentos e conseqüentemente, várias soluções diferentes, o módulo Diagrama poderá elaborar uma envoltória dentre essas soluções isoladas, desenhando os diagramas de máximos e mínimos dessa estrutura.

- Detalhamento de Vigas Contínuas

O segundo módulo denominado DETALHAMENTO é o responsável pelo cálculo das armaduras, análise das deformações, fissuração, escolha da ferragem e corte da armadura sobre os diagramas de esforços.

Este módulo é parametrizável, ou seja, existe a possibilidade de adaptá-lo de maneira a atender às especificações de cada cliente quanto às armaduras mínimas, espaçamentos, escolha de bitolas, etc.

- Desenho e Plotagem de Vigas Contínuas

O módulo DESENHO DE VIGAS é o responsável pela execução do desenho da viga e o alojamento da ferragem calculada, colocando, quando necessário, as armaduras mínimas adicionais como porta estribos, grampos, etc.

Assim como o módulo DETALHAMENTO, o módulo DESENHO DE VIGAS, ao solicitar os dados de forma das vigas, cria em disco de dados um arquivo permanente que poderá ser alterado, visualizado ou recuperado em qualquer instante. O sistema SISTRUT tem como filosofia básica gerar, com baixos custos de investimento, produtividade na elaboração de cálculos estruturais. Dessa forma, a confecção dos desenhos de Vigas poderá ser elaborada em papel comum de impressora gráfica (80 colunas), com a possibilidade adicional de montagem de folhas para plotagem pelo próprio sistema, não sendo necessário ao usuário ter o equipamento para a plotagem.

Ainda no módulo DETALHAMENTO, um arquivo parametrização (.DSP) que, além de conter as parametrizações referentes ao Detalhamento, contém outras parametrizações adicionais que serão utilizadas pelo módulo DESENHO DE VIGAS, tais como: peso por metro das bitolas utilizadas, colocação automática de porta-estribos, cálculo do comprimento da ferragem, raios de dobramento, armadura negativa mínima de canto, tipos de gancho, armadura de pele, mínima ancoragem nos apoios, verificação de grampos, redução de ancoragem devido a $A_s \text{ eft}/A_s \text{ nec}$, etc.

- Desenho e Plotagem de Pilares

O módulo DESENHO DE PILARES é o responsável pela execução do desenho da prumada do pilar e o alojamento da ferragem calculada, colocando, quando necessário, as armaduras mínimas adicionais, como travamentos, etc.

O módulo DESENHO DE PILARES, ao solicitar os dados das cotas de arrasamento das armaduras, cria em disco de dados um arquivo permanente que poderá ser alterado, visualizado ou recuperado em qualquer instante.

O sistema SISTRUT tem como filosofia básica gerar, com baixos custos de investimento, produtividade na elaboração de cálculos estruturais. Dessa forma, a confecção dos desenhos de Pilares poderão ser elaboradas em papel comum de impressora gráfica (80 colunas), com a possibilidade adicional de montagem de folhas para plotagem pelo próprio sistema, não sendo necessário ao usuário ter o equipamento para a plotagem.

Ainda no módulo PILARES, um arquivo parametrização (.PIP) que, além de conter as parametrizações referentes ao Detalhamento, contém outras parametrizações adicionais que serão utilizadas pelo módulo DESENHO DE PILARES, tais como: peso por metro das bitolas utilizadas, criação automática de estribos em função da geometria do pilar, cálculo do comprimento da ferragem, travamento das armaduras longitudinais, armaduras de traspasse, armadura de espera, etc.

- Montagem, Desenho e Plotagem de Formas

O módulo de Formas foi desenvolvido na versão 4.0, para execução da montagem da forma a partir dos elementos básicos do esquema unifilar da Laje, seções das Vigas e Pilares, permitindo que graficamente o posicionamento desses elementos seja alterado, um em relação aos outros. Também são possíveis de serem efetuadas cotas e cortes no desenho, podendo o mesmo ser plotado ou impresso em impressora em qualquer escala. A geração de arquivos DXF também é possível.

B5 TQS

Generalidades

A abrangência dos elementos tratados pelo CAD/TQS envolve: geometria qualquer da forma, vigas retas, vigas curvas, pilares retangulares, pilares de seções quaisquer, lajes retangulares, poligonais, lajes planas, nervuradas, protendidas, vigas de seção variável no vão, rebaixo em lajes, vigas protendidas, fundação em “radier”, capitéis, armação de elementos especiais, etc.

- Editor Gráfico Genérico

Por meio do editor gráfico 2D do CAD/TQS, voltado à engenharia estrutural, é feito o lançamento da forma, visualização, adaptação, correção e/ou complementação dos desenhos de formas e armaduras num mesmo ambiente gráfico, totalmente interativo e independente de editores gráficos internacionais.

Modelo do Pavimento

Podem ser realizadas pelo processo convencional, lajes independentes (elástico ou plástico) ou integradas, considerando vigas e lajes trabalhando concomitantemente por grelhas e/ou elementos finitos. Neste caso, critérios de plastificação de $M(-)$ estão disponíveis, tanto para vigas como para as lajes.

Modelo Integrado: Vigas / Pavimento + Espacial

O CAD/TQS realiza a integração completa entre as solicitações obtidas no pavimento - modelo de vigas e/ou grelha (vigas+lajes) - com o modelo espacial, pela da transferência dos momentos fletores de desequilíbrio em cada pilar do pavimento para o pórtico espacial.

Integração - Elementos Estruturais

Com a definição das plantas de formas, o CAD/TQS extrai e transfere informações contendo a geometria dos elementos estruturais (vigas, pilares, lajes) para os respectivos subsistemas com o objetivo de realizar o detalhamento final das armaduras.

Integração - Modelos Estruturais

A partir da definição das plantas de formas com suas dimensões, cargas, características gerais e critérios de projeto, automaticamente, o CAD/TQS gera o modelo estrutural para análise tanto para vigas contínuas, grelha plana (apenas vigas e/ou vigas + lajes), elementos finitos e/ou pórtico espacial.

Resultados - Listagens

Para o controle total de todas as fases do projeto, o CAD/TQS emite, passo a passo, para cada etapa, informações detalhadas por meio de relatórios e/ou gráficos. Assim, o engenheiro tem plenas condições para analisar, criticar, verificar, comparar e validar os resultados obtidos. Memorial de cálculo conciso também é emitido.

Estabilidade Global / p-delta

A estabilidade global da edificação é calculada pelo CAD/TQS por meio do processamento espacial - parâmetros Alfa e Gama z. A não-linearidade geométrica para pórticos espaciais é tratada pelo processo exato p-delta. Pilares isolados esbeltos podem ser verificados por processo exato não-linear (física e geométrica).

Produção de Desenhos

O principal objetivo dos sistemas CAD/TQS está associado aos inúmeros modelos estruturais possíveis, à extensa gama de critérios de projeto para dimensionamento e

detalhamento e às centenas de critérios distintos para desenho e representação, à produção final de desenhos estruturais de forma automática e conforme a metodologia, padrão e necessidades de cada usuário.

Carregamentos - Pilares

Realiza as combinações de carregamentos para dimensionamento dos pilares conforme a NBR 6118 considerando: esforços originais (N, Mx, My), excentricidades acidentais em 2 direções, efeitos de 2ª ordem locais, seção do topo, base e meio, pé-direito duplo e seção qualquer.

Verificação de Pilares

Faz o traçado das curvas de interação (N, Mx, My) para pilares de seção transversal genérica e qualquer posicionamento, área e quantidade de barras de armaduras. Realiza o cálculo da área exata de armadura para pilares com solicitações quaisquer e geometria poligonal.

Armação do Pavimento

Cada laje pode ser armada pelo processo convencional (As+ na laje e As- nos apoios) ou pelo processo integrado (lajes planas, grandes vãos, capitéis, etc.) considerando regiões (ou nervuras) no pavimento onde a armadura é constante. Armaduras [+] podem ser tratadas como “base” e “complementar”, armaduras [-] consideram ou não capitéis. Armaduras de cisalhamento e punção em lajes e/ou nervuras também são detalhadas.

Edição Rápida de Armaduras

Para os desenhos de armação, são oferecidos editores gráficos específicos, orientados por elemento estrutural, para a alteração, correção e edição rápida e expedita das armaduras.

Critérios de Projeto e Desenho

Uma extensa lista de critérios disponíveis permite a adequação do cálculo de esforços e detalhamento final dos desenhos de armação com a prática usual de projeto do usuário.

Exemplo de Critérios de Projeto e Desenho

Características dos materiais, limites admissíveis para dimensionamento, plastificação de momentos fletores (-), ancoragem de armaduras, bitolas empregadas, locação dos ferros nos desenhos, espessura de traço, notação e indicação das posições de ferro, cotagem dos ferros, seleção de bitolas para armaduras principais e construtivas, homogeneização de armaduras, forma de representação, cálculo de deformações, etc.

Quantitativos

Ao longo do processo de projeto, para cada pavimento e para todo o edifício, são emitidos quantitativos, tais como área em planta, área de formas, volume de concreto, espessura média, peso de aço, taxa de armadura, carga média, vão médio, etc.

Visualização de Resultados

Para modelos de grelha, elementos finitos e pórtico, os resultados (esforços e deslocamentos) e os dados de entrada podem ser visualizados espacialmente por carregamento, conjunto de pavimentos, conjunto de barras, vista selecionada, múltiplas janelas, etc. Para o pavimento, curvas de isovalores (esforços e deslocamentos) também podem ser geradas e visualizadas. Quaisquer resultados podem ser gravados em arquivos e impressos.

Edição de Plantas

Quaisquer desenhos (forma e armação) podem ser selecionados para a edição das plantas para o desenho final. O CAD/TQS realiza a seleção do tamanho da planta, faz a locação

automática dos desenhos na planta, permite a edição interativa, preenche o “carimbo”, extrai tabela de ferros (simples e/ou dupla) e apresenta o desenho final que será emitido. Diversas plantas são montadas simultaneamente.

Plotagem

A emissão do desenho final pode ser feita em dispositivos do tipo impressora e/ou plotter. São considerados espessuras de traço, cor, estilos, fontes de caracteres, etc. Arquivo correspondente pode ser gravado para emissão ao plotter.

Laje Protendida

Possibilita o lançamento de cabos (cordoalhas aderentes ou engraxados) e seu dimensionamento utilizando o modelo de grelha. Faz a verificação de tensões normais, fissuração, armadura frouxa, para diversos estados de utilização (ato da protensão, quase permanente, freqüente e E.L.U.). Calcula o hiperestático de protensão na grelha e as deformações devido às forças de alívio provocadas pelos cabos. Desenha os cabos em planta e em perfil e a armadura frouxa.

Viga Protendida

Permite a modelagem gráfica interativa da geometria, cargas, cabos, etc. Realiza o cálculo da envoltória das solicitações e deformações para qualquer carga móvel (trem-tipo) atuando e/ou esforços externos aplicados. Calcula as perdas de protensão imediatas e, ao longo do tempo, verifica tensões normais, fissuração, dimensiona o cisalhamento e flexão no E.L.U. A seção transversal pode ser de qualquer formato. Apresenta todos os resultados graficamente e completa memorial de cálculo.

Flechas em Vigas e Lajes

O pavimento composto por vigas e lajes pode ser resolvido considerando o comportamento não-linear físico do concreto armado. O processo de solução é incremental, considerando a rigidez dos elementos, em cada etapa, a presença das armaduras reais e a seção fissurada do concreto (Estádio I ou II) para os esforços de flexão e torção. As flechas finais obtidas, especialmente para lajes planas ou nervuradas de grandes vãos, aproximam-se da flecha real imediata.

Filosofia do AGC

Para desenhar um ferro basta, graficamente, por meio de comandos simples, apontar o contorno do elemento estrutural. A barra é automaticamente desenhada com as dimensões corretas. Embora tenha uma biblioteca padrão de tipos de ferros, quaisquer armaduras podem ser desenhadas. Considera também ferros em corte, variáveis, raios de dobra com comprimentos parciais e realiza a tabela de ferros “desenhada”. Comandos para armação de lajes com telas soldadas (otimização de corte e tabela) estão disponíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AltoQi Eberick versão 2002. AltoQi Tecnologia em Informática Ltda. Florianópolis/SC, 2002. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.
2. Alvena 2000. Manual do usuário. Trelisoft Consultoria e Sistemas Ltda. São Paulo, 2000. Conjunto de programas. 1 CD-ROM
3. ANUMBA, C. J. **Functional Integration in CAD Systems**. Advances in Engineering Software 25. Middlesbrough, Reino Unido, 1996, pag.103-109.
4. AsBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. **Diretrizes Gerais para Intercambialidade de Projetos em CAD**. São Paulo/SP : Ed. Pini, 2002.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13531. **Elaboração de Projetos de Edificações: Atividades Técnicas**. Rio de Janeiro, 1995.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 1980.
7. AUTODESK INC. **AutoCAD 2000i - User's Guide**, 1999.
8. AUTODESK INC. **AutoCAD Architectural DeskTop R.2 – User's Guide**. 1999.

9. BAÍA, J. L. **Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas de Projeto: Aplicação às Empresas de Arquitetura.** São Paulo/SP, 1998. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica de São Paulo - USP.
10. BRICSNET. Disponível em <<http://www.bricsnet.com>> . Acesso em: janeiro, 2001.
11. BURCHARD, B. **AEC Project Management ONLINE.** Cadalyst, Riverside/CA, julho/2001.
12. BUZZSAW. Disponível em: <<http://www.buzzsaw.com>> . Acesso em: abril, 2000.
13. CASAROTTO, N., FÁVERO, J. S. **Gerência de Projetos – Engenharia Simultânea.** São Paulo/SP. Ed. Atlas, 1999.
14. CITADON. Disponível em: <<http://www.citadon.com>> . Acesso em: agosto, 2000.
15. CONSTRUCTWARE. Disponível em <<http://www.constructware.com>> . Acesso em: janeiro, 2001
16. Cypecad - Manual do usuário. Multiplus S/C Ltda. São Paulo/SP, 1997.
17. E-BUILDER. Disponível em: <<http://www.e-builder.net>>. Acesso em: janeiro, 2001.
18. ePROJECT. Disponível em <<http://www.eproject.com>>. Acesso em: março, 2002.
19. FORMOSO, C. T., **Gestão da Qualidade no Processo de Projeto vol. III.** Porto Alegre/RS, 2001. Relatório de Pesquisa, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
20. FRANCO, L. S., AGOPYAN, V. **Implementação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto.** Boletim Técnico EPUSP PCC/94 – São Paulo/SP, 1993.

21. HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto – 2ª edição**– São Paulo/SP. Editora Pini, 1992.
22. HUANG, J. **Project extranets and distributed design : The value of internet-based media for design collaboration**. ACADIA, Salt Lake City, Utah, 1999, pag. 16-18.
23. iTeam Work. Disponível em <<http://www.iteamwork.com>>. Acesso em: janeiro, 2001.
24. LAISERIN, J. Cultural Revolution. **Cadenceweb**. Vol.15 nº 11. Pág. 47-50. Disponível em: <<http://www.cadenceweb.com>>. Acesso em novembro, 2000.
25. LAISERIN, J. The Pre-History of Internet Collaboration. **Cadenceweb**. Vol.15 nº 12. Pág. 59-61. Disponível em: <<http://www.cadenceweb.com>>. Acesso em: dezembro, 2000.
26. LAISERIN, J. Collaborate Here Now. **Cadenceweb**. Disponível em <<http://www.cadenceweb.com>> . Acesso em setembro, 2001.
27. LAISERIN, J. On-Line, Out-of-Line, End-of-the-Line. **Cadenceweb**. Disponível em <<http://www.cadenceweb.com>> . Acesso em dezembro, 2001.
28. MILLS, A. **Collaborative Engineering and the Internet**. SME, 1998.
29. MITCHEL, W. J.; MC CULLOUGH, M. **Digital Design Media**. 2ed, New York, NY, 1995.
30. OHASHI, E. M., **Sistema de informação para coordenação de projetos de alvenaria estrutural**. São Paulo/SP, 2001. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica de São Paulo - USP.
31. PEÑA-MORA, F., HUSSEIN, K. **Interaction dynamics in collaborative design discourse, in computer aided civil and infrastructure engineering**. Cambridge, Mass.1999.

32. PICCHI, F. **Engenharia simultânea na construção civil**. Disciplina projeto colaborativo – UNICAMP. Campinas/SP, 2002.
33. RAWKINS, T. Terry Rawkins Homepage. Página pessoal. Disponível em: <<http://homepage.dtn.ntl.com/terry.rawkins/index.htm>> . Acesso em: 10 maio, 2001
34. SANTOS, E. T. **A Contribuição da Tecnologia da Informação ao Processo de Projeto na Construção Civil**. in Workshop Nacional sobre Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Anais. São Carlos/SP : EESC/USP, 2001.
35. SAP 2000 – Integrated finite elements analysis and design of Structures, CSI – Computer and Structures, Inc. Berkeley/CA, 1997. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.
36. SCHEER, S. **Engenharia simultânea e modelos 3D para a indústria de construção**. NeWWWWeek, v.1, n.6, 14 de agosto de 1997.
37. SHIN, Y. **Integration of heterogeneous CAD databases using STEP and internet**. Decision Support Systems 28. Taejon, Coréia do Sul, 2000. pág. 365-379.
38. Sistrut 4.0 - Manual do usuário. Sistrut Software e Tecnologia S/C Ltda. São Paulo/SP, 1992.
39. SOUZA, R. et al.. **Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras** – São Paulo/SP : Sinduscon, 1994.
40. STARK, J. **A few words about concurrent engineering**. Disponível em: <<http://www.johnstark.com>> . Acesso em: abril de 2002
41. The 2nd International Conference on Concurrent Engineering in Construction. Finlândia, 1999. Disponível em: <<http://cic.vtt.fi/cec99>> . Acesso em abril de 2002.

42. The Project Hosting Scene. **CAD Spaghetti**. UK, janeiro de 2002. Disponível em <<http://www.tenlinks.com/engineering/Collaboration/articles.htm>>. Acesso em: Janeiro, 2002.
43. THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção** – 1ª edição - São Paulo/SP. Editora Pini, 2001.
44. TQS - Manual do usuário. TQS Informática Ltda. São Paulo/SP, 1997. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.
45. TRAPPEY, A.J.C. **A step toward STEP-compatible engineering data management: the data models of product structure and engineering changes**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 14, Hsinchu, Taiwan, 1998, pág 89-109.
46. PATEL, D’Cruz, U.M.J., HOLTHAM, C. **Collaborative design for virtual team collaboration : A case study of josting on the web**. Proceedings of the Conference on Designing Interactive System, 1997, pag 289-300.
47. PIVA, H.L., LIMA, J.C.O. **Construbusiness, 2001**. São Paulo: FIESP, 2001. 42p.
48. VARSAMIDIS, T. **An Object-oriented information model for computer-aided control engineering**. Control Eng. Practice, Vol. 4, nº7, Bangor, Reino Unido, 1996, pag. 929-937.
49. VEERAMANI, D., TSERNG, H.P., RUSSEL, J.S. **Computer-integrated collaborative design operation in the construction industry**. Automation in construction, 1998. Pag. 485-492.
50. VIECON. Disponível em <<http://www.viecon.com>>. Acesso em: janeiro, 2001.
51. YONGJAE S., SOON-HUANG H., DOO-HWAN B. **Integration of heterogeneous CAD databases using STEP and the Internet**. Decision Support Systems, Taejon, 2000. Pag. 365-379.

ABSTRACT

USUDA, Fábio. **The Integration of the Structural Design and Associated Projects**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 129p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Arquitetura e Construção Civil.

The computer technologies and the existent communication means are used by AEC (Architecture, Engineering and Construction) professionals to look for speed and quality in elaboration of their projects. Although seemingly these facts happen, the bibliography shows that the effective use of the CAD systems and the integration among several disciplines involved in the project process are not accomplished, producing rework, interpretation mistakes and the inefficient use of the computing resources.

The objective of this research is elaborate a structural design process that improves the efficiency use of 3D models in CAD systems and improves the communication among the professionals involved in the building design, two types of research among structural engineering professionals was realized: global rising and specific rising. In these researches, the following parameters were lifted up: use of 3D models, communication between professionals and customers, structural software and design process. Under these lifted up aspects, it was obtained the characterization of the global profile of small companies and the specific profile of structural design companies. The communication deficiency between these professionals and the inexistence of project coordination was confirmed. It was verified that to obtain efficiency of the use in 3D models among professionals, modifications are necessary on the used tools. However, a structural design process was elaborated that increase the communication among the several professionals involved in the building project process, adopting the tools in use for the researched professionals and a repository of shared files, seeking better collaboration and integration among these professionals.

Keywords: Design process, CAD systems, integration.