

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE O PROCESSO DE PROJETO EM EDIFÍCIOS DE ANDARES MÚLTIPLOS EM AÇO

AUTORA: MARISTELA BAUERMANN

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antônio Maria Claret de Gouveia
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construções Metálicas.

Ouro Preto, setembro de 2002.

B344i Bauermann, Maristela.
Uma investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos em aço. -- Ouro Preto : UFOP, 2002.
xiv, 254p. : il. color.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Patologia de construção. 2. Projetos de edifícios. 3. Estrutura metálica. 4. Construção metálica. 5. Edifícios de andares múltiplos.
I. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas..
Departamento de Engenharia Civil. II. Título.

CDU: 624.014

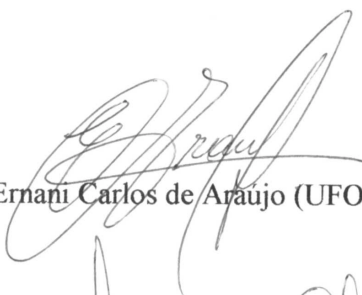
UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE O PROCESSO DE PROJETO EM EDIFÍCIOS DE ANDARES MÚLTIPLOS EM AÇO

AUTORA: MARISTELA BAUERMANN

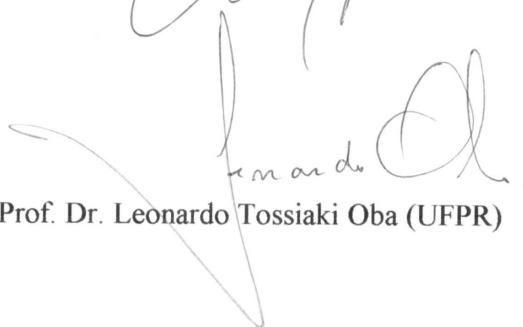
Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 10 de setembro de 2002, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Antônio Maria Claret de Gouveia (Orientador / UFOP)



Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo (UFOP)



Prof. Dr. Leonardo Tossiaki Oba (UFPR)

Aos meus pais, Adir e Maria, pelo constante e incondicional apoio em todos os momentos de minha vida. Às minhas irmãs, Sandra e Luciana, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação.

MEUS AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Ouro Preto pela oportunidade de aprendizado.

Aos meus orientadores Antônio Maria Claret de Gouveia e Ernani Carlos de Araújo pelos ensinamentos, incentivo, compreensão e amizade.

Aos professores do Curso de Mestrado em Construções Metálicas pelos conhecimentos e pela amizade.

Ao professor Walter A. Dornelas e à Róvia por sempre estarem dispostos a ajudar.

Aos colegas do mestrado e, em especial, às queridas amigas Aline, Ilma, Paula e Urânia.

Ao arquiteto e professor Leonardo Tossiaki Oba pelas valiosas contribuições.

Aos colegas Eng. Guido Araújo e Arq. Carlos Garmatter Netto por terem me incentivado a iniciar esta jornada.

Ao arquiteto Siegbert Zanettini pelo contagiante entusiasmo pela estrutura metálica.

Aos profissionais com os quais muito aprendi ao longo dessa pesquisa: arquitetos Ana Maria P. Santos, Maria Cecilia Levy, Mariana, Milene Sabbag Abla, Renata, Renato Trussardi Paolini e Roberto Aflalo; engenheiros Aldo Bianco, Carlos Valério Amorim, Cássio P. L. Praça, Francisco C. S. Rocha, Pedro Ibá P. Palma, Roberto A. Coelho, Soraya M. Alvarenga e Walter Monteiro.

À CODEME Engenharia S/A e, em particular, ao engenheiro Eduardo Assis e à engenheira Lúcia Tanure pelo apoio.

Aos escritórios de arquitetura Aflalo & Gasperini Arquitetos, Roberto Candusso Arquitetos Associados e Sérgio Gattáss Arquitetos Associados, às construtoras Gafisa, Inpar, Método e Racional, e às empresas Engetherm, Precon, Premo e Usiminas pela colaboração.

A CAPES pela concessão da bolsa e à FAPEMIG por financiar a pesquisa.

À minha família pelo incondicional apoio.

Ao Renzo Albieri Guimarães Carvalho pela paciência e carinho.

Aos meus amigos...

RESUMO

Neste trabalho, as rotinas práticas de projeto e execução de edifícios de múltiplos andares em aço são investigadas. O conceito clássico de patologia das construções é reexaminado para estabelecer uma ampla perspectiva para avaliar o processo-gênese de patologias em casos reais. Em paralelo, o processo de projeto é revisado, com base na literatura técnica. Cinco estudos de casos são descritos. Especificamente, o processo de projeto de edifícios de múltiplos andares, freqüentemente usado na maioria dos empreendimentos no Brasil, é investigado. Comparações entre o processo de projeto prático e o idealizado são realizadas, objetivando estabelecer rotinas ótimas de projeto para a construção em aço brasileira. Conclusões são apresentadas.

Palavras-chave: patologia de construção, projetos de edifícios, estrutura metálica, construções metálicas, edifícios de andares múltiplos.

ABSTRACT

In this work, designing and building routines of steel-framed multi-storey buildings are investigated. The classical concept of building pathology is re-examined to establish a broaden perspective to evaluate the genesis process of pathologies in real cases. In parallel, design process is reviewed with basis in the technical literature. Five detailed cases studies are described. The specific design process of multi-storey buildings frequently used in most contracts in Brazil is investigated. Comparisons between practical and idealized design processes are made aiming to establish optimal design routines for Brazilian steel-framed construction. Conclusions are addressed.

Keywords: construction pathology, building design, steel construction, multi-storey steel-framed building.

ÍNDICE

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE QUADROS E TABELAS	XIII
LISTA DE SIGLAS	XIV
 CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	7
1.3 PROCESSO METODOLÓGICO	8
1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
 CAPÍTULO 2	
REVISÃO DO CONCEITO DE PATOLOGIA NO DOMÍNIO DAS CONSTRUÇÕES	12
2.1 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES	12
2.2 O CONCEITO CONVENCIONAL	14
2.3 UM CONCEITO ESTENDIDO PARA PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES	17
2.3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
2.3.2 DISCUSSÃO E PROPOSTA	19
 CAPÍTULO 3	
O PROCESSO DE PROJETO	27
3.1 GENERALIDADES	27
3.2 A CONSTRUÇÃO CIVIL	28
3.2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	28
3.2.2 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS	31
3.2.3 O CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO	34
3.2.3.1 GERENCIAMENTO	34
3.2.3.2 PLANEJAMENTO	35
3.2.3.3 PROJETO	36
3.2.3.4 GESTÃO DE SUPRIMENTOS	37
3.2.3.5 EXECUÇÃO	37

3.2.3.6	<i>OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO</i>	38
3.3	O PROJETO	38
3.3.1	O CONCEITO DE PROJETO	38
3.3.2	O PROJETO COMO PROCESSO CRIATIVO	40
3.3.3	O PROJETO COMO PROCESSO DE GERENCIAMENTO	42
3.3.3.1	<i>AS FASES DA ETAPA DE PROJETO</i>	42
3.3.3.2	<i>O PROCESSO DE GERENCIAMENTO</i>	44
3.3.3.3	<i>O PROCESSO DE PROJETO CONVENCIONAL</i>	47
3.3.3.4	<i>A ENGENHARIA SIMULTÂNEA</i>	49
3.3.3.5	<i>A NOVA TEORIA TFV (TRASFORMAÇÃO-FLUXO-VALOR)</i>	54
3.3.4	AÇÕES PARA MELHORIA DO PROCESSO DE PROJETO	61
CAPÍTULO 4		
O PROCESSO DE PROJETO NO DOMÍNIO DAS EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS EM AÇO: ESTUDO DE CASO		74
4.1	O ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	75
4.2	SISTEMÁTICA DE TRABALHO	76
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA	77
4.4	CARACTERIZAÇÃO DAS CONSTRUTORAS	81
4.5	DESCRIÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS	85
4.5.1	EMPREENDIMENTO E-1	85
4.5.2	EMPREENDIMENTO E-2	110
4.5.3	EMPREENDIMENTO E-3	138
4.5.4	EMPREENDIMENTO E-4	162
4.5.5	EMPREENDIMENTO E-5	184
4.6	QUADROS SÍNTESE	199
CAPÍTULO 5		
O SISTEMA CONSTRUTIVO DE AÇO: PROJETO		202
5.1	O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO	202
5.1.1	O PROCESSO DE PRODUÇÃO E DE PROJETO DA ESTRUTURA METÁLICA	204
5.1.2	ALGUNS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	211
5.1.2.1	<i>O SISTEMA DE FECHAMENTO HORIZONTAL</i>	211
5.1.2.2	<i>O SISTEMA DE FECHAMENTO VERTICAL</i>	213
5.1.2.3	<i>AS UNIDADES MODULARES DE CONSTRUÇÃO</i>	217
5.2	O PROJETO DE EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO	217
CAPÍTULO 6		
ANÁLISE E CONCLUSÕES		223
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		244

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Possibilidade de intervenção e custos acumulados ao longo da produção de um empreendimento de construção.	2
FIGURA 1.2 - Lei da evolução dos custos relativos de intervenção.	3
FIGURA 1.3 - Média geral dos defeitos em edificações.	6
FIGURA 1.4 – Sistemática de trabalho para o desenvolvimento da pesquisa.	9
FIGURA 2.1 – Esboço comparativo entre a estrutura do conceito de patologia convencional e a estrutura do conceito proposto.	25
FIGURA 3.1 – Visão de conversão no processo de projeto.	47
FIGURA 3.2 – Diagrama esquemático do processo de projeto convencional.	49
FIGURA 3.3 – Esquema para compreensão dos conceitos da ES.	51
Fonte: KAMARA <i>et al.</i> (2001).	51
FIGURA 3.4 – Fases de projeto dentro da estrutura conceitual da ES para a construção.	51
Fonte: KAMARA <i>et al.</i> (2001).	51
FIGURA 3.5 – Esquema de desenvolvimento do projeto.	53
FIGURA 3.6 – Projeto como transformação e sua decomposição hierárquica.	57
FIGURA 3.7 – Projeto como fluxo.	57
FIGURA 3.8 – Projeto como geração de valor.	59
FIGURA 3.9 – Matriz simplificada da estrutura do projeto.	72
FIGURA 3.10 – Diagrama de determinação de tarefas, segundo o planejador final.	72
FIGURA 4.1 – Solução arquitetônica do edifício E-1: esboço da planta do primeiro pavimento.	88
FIGURA 4.2 – Solução arquitetônica do edifício E-1: esboço da planta do segundo ao nono pavimento.	89
FIGURA 4.3 – Solução arquitetônica do edifício E-1: esboço do corte transversal.	90
FIGURA 4.4 – Visualização das soluções propostas para os sistemas de instalações e ar-condicionado, durante a etapa de execução: (a) vista do andar técnico e (b) vista do <i>shaft</i> a partir da circulação do andar de apartamentos.	91
FIGURA 4.5 – Vista interna do andar-tipo, mostrando o sistema estrutural adotado.	92
FIGURA 4.6 - Vistas internas, mostrando (a) os painéis pré-fabricados de concreto maciço, (b) um detalhe de fixação do painel em coluna e (c) um detalhe de fixação do painel em viga.	92
FIGURA 4.7 - Vista interna do apartamento, mostrando as placas de gesso acartonado utilizadas como: (a, b e d) vedação; (a) acabamento; (c) forro.	93

FIGURA 4.8 - Vistas internas do edifício, mostrando a execução das alvenarias de blocos de concreto celular autoclavado.	93
FIGURA 4.9 – Vistas da instalação do módulo de banheiro: (a) içamento; (b) posicionamento	94
FIGURA 4.10 – Vista interna do módulo de banheiro instalado.	94
FIGURA 4.11 – Vista geral do edifício E-1, durante a montagem da estrutura metálica	96
FIGURA 4.12 – Solução estrutural do edifício E-1: (a) vista dos contraventamentos na região interna do átrio, durante a execução*; (b) esboço da elevação dos contraventamentos.	96
FIGURA 4.13 – Solução estrutural do edifício E-1: esboço da planta do pavimento-tipo.	97
FIGURA 4.14 – Diagrama das fases do processo de projeto do estudo de caso E-1.	100
FIGURA 4.15 – Vistas da cobertura do átrio: (a) do piso provisório utilizado durante a execução; (b) após a execução;	105
FIGURA 4.16 – Vista interna da circulação dos apartamentos do andar-tipo: rebaixamento do forro.	110
FIGURA 4.17 – Relação de trabalho entre os diferentes integrantes do processo de construção.	111
FIGURA 4.18 – Vista panorâmica da entrada do edifício E-2.	112
FIGURA 4.19 – Solução arquitetônica do E-2: esboço da planta do pavimento térreo.	113
FIGURA 4.20 – Solução arquitetônica do E-2: esboço da planta dos pavimentos-tipo, do 1º ao 6º andar.	114
FIGURA 4.21 – Solução arquitetônica do E-2: esboço do corte transversal.	115
FIGURA 4.22 – Ilustrações do sistema estrutural do E-2, durante a montagem: (a) vista panorâmica; (b) vista interna, a partir de um dos andares-tipo.	116
FIGURA 4.23 – Sistema de fechamento vertical de fachada: (a) vista externa mostrando esquadrias e painéis de concreto instalados, durante a execução do E-2; (b) vista do painel de concreto, na fábrica.	117
FIGURA 4.24 – Vistas internas de um andar-tipo: (a) montantes para fixação das placas de gesso acartonado; (b) forro de fibra mineral e blocos de concreto celular autoclavado.	117
FIGURA 4.25 – Vista panorâmica do topo do edifício E-2.	118
FIGURA 4.26 – Vista panorâmica do edifício E-2, durante a montagem da estrutura.	119
FIGURA 4.27 – Vista interna das vigas de suporte do primeiro andar-tipo, mostrando uma das vigas dimensionadas para absorver os esforços devido às transições estruturais.	119
FIGURA 4.28 – Vista interna dos contraventamentos localizados junto ao núcleo de circulação vertical: (a) a partir do pavimento-tipo; (b) a partir do pavimento térreo.	120
FIGURA 4.29 – Ilustração da solução de contraventamento adotada: (a) vista interna, mostrando a altura da coluna (600x600mm) sem travamento lateral; (b) vista externa, dos contraventamentos.	120
FIGURA 4.30 – Vista interna a partir do pavimento-tipo, mostrando parte do contraventamento enclausurado na alvenaria, antes da aplicação do revestimento.	121

FIGURA 4.31 – Solução estrutural: detalhe da representação dos contraventamentos em projeto.	121
FIGURA 4.32 – Solução estrutural do edifício E-2: plano das vigas do primeiro pavimento-tipo.	122
FIGURA 4.33 – Diagrama do processo de construção do edifício E-2.	128
FIGURA 4.34 – Solução apresentada para o sistema de serviço do edifício E-2: vista do entreferro do conjunto 02, durante a fase de execução.	131
FIGURA 4.35 – Detalhe esquemático de adaptação da estrutura para a saída dos dutos de ar-condicionado da casa de máquinas, no pavimento-tipo.	132
FIGURA 4.36 – Vista da solução apresentada, em detalhe, depois de executada.	133
FIGURA 4.37 – Detalhe da solução adotada para reforço dos furos nas vigas.	133
FIGURA 4.38 – Vistas do painel de fachada industrializado: (a) vista interna, com detalhe da fixação do painel de concreto no pilar; (b) vista externa, mostrando a montagem do painel.	136
FIGURA 4.39 – Parte do detalhe utilizado pelo projeto de acústica: representação da estrutura como sendo de concreto.	138
FIGURA 4.40 – Solução arquitetônica do edifício E-3: esboço da planta dos pavimentos-tipo (2° ao 10°) e respectivo corte longitudinal.	141
FIGURA 4.41 – Solução estrutural do edifício E-3: esboços da planta, dos cortes e de detalhes.	143
FIGURA 4.42 – Vistas externa e interna do edifício, durante a montagem da estrutura.	144
FIGURA 4.43 – Vistas internas da estrutura: (a) elementos do térreo com proteção passiva; (b) vigas do tipo furadas e com as guias fixadas.	145
FIGURA 4.44 – Esboço da logística planejada para a montagem dos banheiros nos andares-tipo.	145
FIGURA 4.45 – Vistas da laje, na região do <i>shaft</i> do andar-tipo: (a) antes da concretagem; (b) após a cura do concreto.	146
FIGURA 4.46 – Diagrama do processo de construção do edifício E-3.	149
FIGURA 4.47 – Vista em detalhe da viga substituída durante a montagem.	156
FIGURA 4.48 – Vista, em detalhe, da dimensão das mesas do contraventamento em relação à viga.	157
FIGURA 4.49 – Vista, em detalhe, da ligação entre colunas, com chapa vertical.	158
FIGURA 4.50 – Vista da escada, no andar térreo: interferência entre o <i>shaft</i> e o patamar.	159
FIGURA 4.51 – Esboço da linguagem gráfica do projeto estrutural, em detalhes.	161
FIGURA 4.52 – Solução arquitetônica do edifício E-3: esboço da planta dos pavimentos-tipo - <i>layout</i> do 4° e do 5°.	164
FIGURA 4.53 – Solução arquitetônica: esboço do corte longitudinal (CL).	165
FIGURA 4.54 – Vista externa do esqueleto estrutural, durante a etapa de execução.	165

FIGURA 4.55 – Vistas externas, durante a montagem dos painéis de fachada industrializados: (a) do edifício; (b) do painel sendo içado.	166
FIGURA 4.56 – Solução estrutural: esboço dos detalhes das soluções apresentadas para as colunas mistas e para as vigas principais dos andares-tipo.	167
FIGURA 4.57 – Solução estrutural do edifício E-4: esboço do <i>layout</i> dos pavimentos 3 e 4, forma de representação das informações no projeto estrutural e demonstração da possibilidade de isolamento das informações de interesse da arquitetura.	168
FIGURA 4.58 – Vistas, em detalhe, das soluções dadas para a execução das vigas: (a) redução da altura da viga para a passagem de dutos; (b) juntas parafusadas dos perfis subdivididos.	169
FIGURA 4.59 – Vista interna do núcleo rígido de concreto no nível do subsolo.	170
FIGURA 4.60 – Diagrama do processo de projeto do empreendimento, em relação à etapa de execução.	171
FIGURA 4.61 – Esboço das plantas do ático (projeto arquitetônico): interferência da solução arquitetônica com a solução estrutural, não verificada em projeto; solução final adotada para adaptação durante a execução.	179
FIGURA 4.62 – Corte parcial do ático: sala dos <i>chillers</i> , sob o heliponto.	180
FIGURA 4.63 – Esboço do <i>layout</i> estrutural da estrutura de suporte do heliponto (ático) e da forma de representação utilizada.	182
FIGURA 4.64 – Esboço da representação do mapa de colunas e da tabela de perfis.	183
FIGURA 4.65 – Vista, em detalhe, da solução dada para a fixação dos painéis de fachada industrializados na estrutura.	183
FIGURA 4.66 – Perspectiva ilustrada do clube.	185
FIGURA 4.67 – Detalhe do acabamento da estrutura metálica, antes e depois dos reparos.	187
FIGURA 4.68 – Detalhe de execução do clube: das colunas do subsolo.	188
FIGURA 4.69 – Diagrama do processo de projeto do estudo de caso E-5.	191
FIGURA 5.1 – Diagrama do processo de produção da estrutura metálica.	204
FIGURA 5.2 – Diagrama das fases do processo de projeto da estrutura metálica, por um escritório especializado em projeto.	209
FIGURA 5.3 – Esboço, em planta, de um lançamento estrutural não real.	209

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 3.1 – Estágios do modelo prescritivo do processo de projeto.	41
QUADRO 3.2 – Subdivisões propostas para o processo de projeto na literatura.	43
QUADRO 3.3 - Peculiaridades da construção civil que interferem na aplicação da ES.	53
QUADRO 3.3 - Peculiaridades da construção civil que interferem na aplicação da ES. (continuação)	54
QUADRO 3.4 – Conceitos das visões de transformação, fluxo e geração de valor do projeto.	56
QUADRO 3.5 – Causas e ações para melhoria do retrabalho.	58
QUADRO 4.1 – Relação das especialidades de projeto.	129
QUADRO 4.2 – Síntese das características dos estudos de casos.	199
QUADRO 4.3 – Síntese sobre os sistemas construtivos industrializados.	200
QUADRO 4.4 – Síntese das fases desenvolvidas para as etapas de incorporação e de desenvolvimento dos projetos para execução, do processo de construção dos casos estudados.	200
QUADRO 4.5 – Síntese das características do processo de projeto, referente à etapa de desenvolvimento dos projetos para execução, etapa em que foram formadas as equipes multidisciplinares e realizada a compatibilização das diferentes especialidades de projeto.	201
TABELA 1.1 - Principais causas dos problemas patológicos na construção civil.	2
TABELA 3.1 – Princípios da Nova Filosofia de Produção.	32
TABELA 4.1 – Modificações introduzidas no processo de construção do edifício E-5, em relação ao clube.	187
TABELA 4.1 – Modificações introduzidas no processo de construção do edifício E-5, em relação ao clube (continuação).	188

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AP	- Anteprojeto
CAD	- <i>Computer aided design</i>
CAE	- <i>Computer aided engineering</i>
CAM	- <i>Computer aided manufacturing</i>
CE	- Construção enxuta
CPM	- <i>Critical path method</i>
DSM	- <i>Design structure matrix</i>
EP	- Estudo preliminar
ES	- Engenharia simultânea
GRFC	- <i>Glass Reinforced Fibre Cement</i>
INFRAERO	- Infraestrutura Aeroportuária
ISO	- <i>International Standards Organization</i>
JIT	- <i>Just in time</i>
NBR	- Norma Brasileira
NFP	- Nova filosofia de produção
PD	- Projeto de detalhamento
PE	- Projeto executivo
PEC	- Processamento das exigências do cliente
PP	- Projeto para produção
PPC	- <i>Percent plan complete</i>
QFD	- <i>Quality function deployment</i>
RIBA	- <i>Royal Institute of British Architects</i>
TFV	- Transformation-flow-value ou transformação- fluxo-valor
TQM	- <i>Total quality management</i>
WBS	- <i>Work breakdown structure</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira é marcada por elevados índices de desperdício. Até recentemente, especulava-se que o mesmo atingia até 25% do custo final do empreendimento. Hoje, já se sabe que o desperdício médio na fase de execução varia entre 7% e 8% [AGOPYAN, 2001], percentual que reduz significativamente as margens de lucro.

A mão-de-obra desqualificada, os imprevistos, a não valorização da atividade de projeto (uma vez que seu custo não é significativo no processo de produção) e a falta de planejamento da obra (desde o recebimento e estoque dos materiais até a logística de execução) são responsáveis por índices tão altos.

O desperdício de recursos financeiros em correções necessárias nas etapas de execução ou manutenção, em função de falhas em projetos representadas por soluções subótimas ou retrabalho [MACIEL e MELHADO; NOVAES, 1996], também é significativo e preocupante. Inúmeras são as pesquisas que demonstram o elevado percentual de erros e patologias pelos quais os projetos respondem e os custos que eles representam.

CAMBIAGHI (1992) concluiu que a falta de projetos adequados é a principal responsável pelos fatores que contribuem para erros e falhas na construção civil. CONDE (2000), citando ABRANTES *apud* MACIEL e MELHADO (1996), mostra que, entre as causas de patologias nas edificações, deficiências e erros de projeto são responsáveis por 60% dos problemas patológicos (tabela 1.1).

TABELA 1.1 - Principais causas dos problemas patológicos na construção civil.

Origem do problema	Índice (%)
Projeto	60,0
Construção	26,4
Equipamentos	2,1
Outros	11,5

Fonte: CONDE (2000) citando ABRANTES *apud* MACIEL e MELHADO (1996).

HAMMARLUND e JOSEPHSON (1992) também demonstraram que o projeto é responsável por 20% dos custos de falhas internas da qualidade (aquelas que ocorrem e são corrigidas nas fases de síntese e projeto) e por 51% dos custos de falhas externas (problemas que aparecem após a inspeção e entrega do produto). Segundo PICCHI (1993), uma parcela de 6% do custo da obra corresponde à elaboração de projetos não otimizados.

Verifica-se, ainda, que as possibilidades de intervenção diminuem à medida que o projeto passa a ser desenvolvido (figura 1.1), tendendo a serem nulas na etapa de construção [HAMMARLUND e JOSEPHSON, *op. cit.*]. Observa-se, também, que os custos evoluem em uma progressão geométrica (figura 1.2), na medida em que se posterga a tomada de decisões ao longo das fases de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva [HELENE, 1992 *apud* CASTRO, 1999].



FIGURA 1.1 - Possibilidade de intervenção e custos acumulados ao longo da produção de um empreendimento de construção.

Fonte: HAMMARLUND e JOSEPHSON (1992).

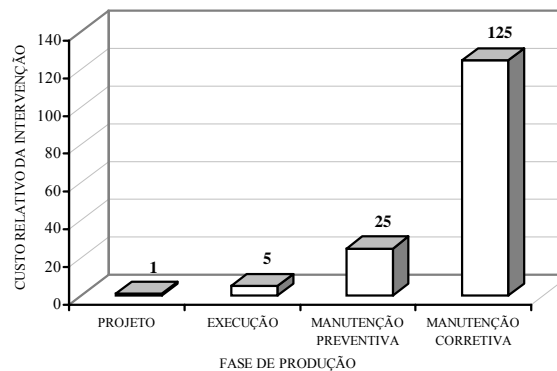


FIGURA 1.2 - Lei da evolução dos custos relativos de intervenção.
 Fonte: HELENE (1992) *apud* CASTRO (1999).

A globalização, a abertura econômica, as leis de defesa do consumidor, a maior conscientização de usuários e compradores são parte de um conjunto de fatores que têm tornado o mercado extremamente competitivo e os clientes mais exigentes. Na tentativa de aumentar a produtividade, a qualidade das obras e otimizar os custos e os prazos, percebe-se:

[1] uma crescente implementação de programas de padronização e gestão dos processos em empresas construtoras, de projeto [MELHADO, 1997; FABRÍCIO e MELHADO, 1998; MELHADO, 1998a] e fornecedoras;

[2] e uma busca obstinada dos empreendedores e construtores por novas tecnologias [CAMBIAGHI, 1997], em que a substituição de processos tradicionais de construção por novos processos construtivos apresenta-se como tendência do setor, através da introdução da mecanização e da pré-fabricação.

Desta forma, diversos sistemas construtivos, tanto racionalizados como industrializados, têm sido desenvolvidos ou aperfeiçoados. Os sistemas industrializados disponíveis abrangem painéis de fachada, vedações, módulos de banheiros, lajes, sistemas estruturais.

A utilização desses novos sistemas tem tornado o processo de produção cada vez mais complexo. Em função disto, verifica-se um aumento significativo da exigência por

melhores desempenhos do processo de projeto em termos de eficiência, tempo e qualidade [KOSKEL, 2000]. Mas, apesar de sua importância, ainda é reduzido o número de pesquisas realizadas na área de gerenciamento e desenvolvimento de projeto [KOSKELA, *op. cit.*]. No Brasil, alguns esforços têm sido direcionados para o estudo do processo de projeto, de forma a estabelecer diretrizes para melhoria da qualidade, ou ainda, desenvolver metodologias. PICCHI (1993); MELHADO; SOUZA *et al.* (1995); NOVAES; GUS (1996); MELHADO (1997; 1998a); TZORTZOPOULOS (1999); FABRICIO e MELHADO; FONTENELLE e MELHADO (2000) foram algumas das pesquisas desenvolvidas. Porém, apenas MORAES (2000) estudou o processo de projeto de edifícios estruturados em aço até então.

Na construção de edifícios de múltiplos andares, a estrutura metálica se destaca, dentre os demais sistemas estruturais industrializados, por ser significativamente mais leve, o que favorece o transporte e a montagem, além de aliviar as cargas das fundações. Controle de qualidade, redução do prazo de execução, limpeza do canteiro de obras, redução dos níveis de ruído durante a execução, redução do desperdício, são outras vantagens sugeridas para esse sistema. Mas, então, porque o aço ainda encontra tantas restrições para a sua utilização?

Como os sistemas industrializados de um modo geral, a estrutura metálica ainda é mais cara do que os sistemas tradicionais, principalmente em função da necessidade de proteção contra incêndio. Desta forma, a viabilização desse sistema tem sido verificada em empreendimentos que requerem redução do prazo de execução ou possuem restrições relacionadas à logística. Pela possibilidade de redução do prazo para a conclusão da obra, início das operações e conseqüente faturamento, tem-se verificado que edifícios para hotéis e *flats* compõem um mercado com amplo potencial para a utilização do aço como material estrutural, além dos edifícios comerciais que apresentam grande liquidez no mercado.

Mas o sucesso de um empreendimento em estrutura metálica, principalmente quando o prazo força o desenvolvimento da etapa de projeto simultaneamente à execução da obra, está intrinsecamente ligado ao desempenho do processo de produção do

empreendimento:

- [1] Planejamento de todas as etapas do processo, desde a definição do produto, projetos, suprimentos, execução¹, até a entrega da obra [BALLARD, 2000];
- [2] Formação de equipes multidisciplinares, que contemplem a participação de agentes da produção, para o desenvolvimento simultâneo dos projetos, e compatibilização dos mesmos antes da execução;
- [3] Existência de uma visão sistêmica comum a todos os participantes do processo de produção [CAMBIAGHI, 1997; SALES, 2001];
- [4] Elaboração de projetos para produção;
- [5] Associação da estrutura metálica a sistemas complementares compatíveis [CASTRO, 1999; SALES, *op. cit.*].

A negligência desses princípios, ao longo da história do uso do aço na construção civil brasileira, é responsável por grande parte das restrições sofridas por esse material, por resultar na adoção de soluções não otimizadas e, conseqüentemente, na elevação dos custos da obra e ocorrência de patologias.

CASTRO (*op. cit.*) e SALES (*op. cit.*) mapearam as patologias de edificações estruturadas em aço, do ponto de vista físico-construtivo, e confirmaram que as deficiências dos projetos são responsáveis por grande parte delas.

MESSEGUER (1991) *apud* PRAVIA e BETINELLI (1998) demonstrou que, mesmo em países onde a estrutura metálica é bastante difundida, são observados elevados índices de problemas oriundos da etapa de projeto. Assim, especificamente com relação às estruturas metálicas, pode ser observado na figura 1.3 que os projetos são responsáveis por 41% das patologias observadas em edificações estruturadas em aço, média referida a vários países europeus pesquisados por aquele autor.

¹ De acordo com o grau de industrialização planejado, esta etapa tende a se transformar em uma atividade de montagem.

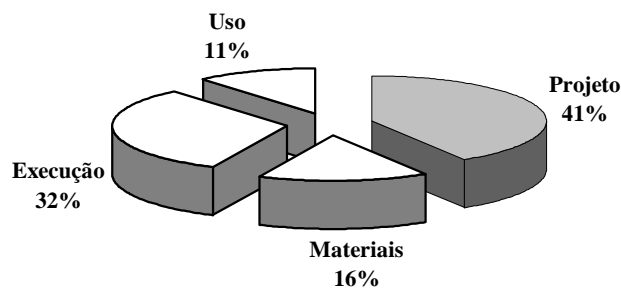


FIGURA 1.3 - Média geral dos defeitos em edificações.
Fonte: PRAVIA e BETINELLI (1998), citando MESSEGUER (1991).

Ao analisar os casos investigados por SALES (*op. cit.*), pode-se perceber que o número de problemas construtivos decresce (principalmente na interface entre sistemas) conforme se eleva o grau de racionalização da construção, quando sistemas complementares industrializados são associados à estrutura metálica.

Porém, o que se verifica realmente é a inexistência de problemas? Seria o conceito corrente para patologia da construção suficiente para captar o fenômeno patológico em sentido amplo na edificação? Um defeito ou problema deixa de ser uma patologia após a sua correção?

As patologias têm evidentes custos das correções que se fazem necessárias para atendimento dos padrões mínimos de qualidade. Logo, falhas em projetos também devem ser consideradas patologias, pois resultam em desperdício e geram custos, sem agregarem valor. As dificuldades e os problemas enfrentados durante a elaboração e compatibilização dos projetos, que geram retrabalho e soluções subótimas, devem ser considerados sintomas patológicos, assim como, a insatisfação do cliente e o desgaste de todos os participantes do processo.

Neste contexto, faz-se necessária a revisão e ampliação do conceito de patologia dentro do cenário da construção civil, para a investigação das dificuldades e problemas enfrentados pela equipe multidisciplinar do processo de construção devido à introdução do sistema estrutural industrializado em aço.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho de pesquisa tem por objetivos:

[1] Discutir e estender o conceito de patologia, para abranger as especificidades do processo de construção de edifícios de múltiplos andares obtidos a partir de sistemas construtivos industrializados e estruturados em aço;

[2] Investigar o processo de construção desses empreendimentos, com ênfase na etapa de projeto, para identificar as dificuldades dos projetistas, os problemas potenciais e o desempenho dos processos empregados;

[3] Propor ações e diretrizes de projeto para a melhoria do processo de projeto, de modo a minimizar a ocorrência de patologias e melhorar a qualidade do processo construtivo.

Para tanto, consideram-se como constatações:

[1] O processo de projeto corrente e seus procedimentos não satisfazem, em sua totalidade, as necessidades do processo de construção de edifícios obtidos a partir de sistemas construtivos industrializados e estruturados em aço;

[2] A natureza principal das patologias do processo de construção de edifícios obtidos a partir de sistemas construtivos industrializados e estruturados em aço não coincide com a natureza principal das patologias do processo de construção de edifícios obtidos a partir de sistemas convencionais;

[3] O conceito corrente de patologia limita o potencial de estudo das patologias do processo de construção de edifícios obtidos a partir de sistemas construtivos industrializados e estruturados em aço.

1.3 PROCESSO METODOLÓGICO

Para atingir os objetivos propostos, o processo de projeto e as patologias do processo de construção foram pesquisados através do método de estudo de caso, de caráter descritivo, de acordo com as recomendações de YIN (1994) *apud* MORAES (2000), ou seja, (a) selecionar um número pequeno de casos de uma situação de interesse; (b) estudar o caso dentro de seu contexto; (c) coletar as informações através de observação, entrevistas e análise documental.

Desta forma, foram selecionados cinco empreendimentos de construção, localizados na região sudeste do país, e realizadas visitas aos canteiros de obra e entrevistas com profissionais envolvidos nos processos, além de analisados desenhos de projetos, documentos de controle e atas de reuniões, conforme a disponibilidade em cada caso.

A seleção dos empreendimentos foi determinada durante a pesquisa exploratória, através da técnica de entrevistas, realizadas na cidade de Belo Horizonte. As informações coletadas nas entrevistas da pesquisa exploratória também forneceram subsídios para a análise do estudo de caso e para a proposição de ações e diretrizes de projeto para melhoria.

Tanto as entrevistas realizadas para o estudo de caso quanto as realizadas para a pesquisa exploratória foram semi-estruturadas, ou seja, definiram-se tópicos de assuntos, porém, a abordagem se deu de forma bastante flexível, permitindo que as informações aflorassem.

Além disso, uma extensa pesquisa bibliográfica foi realizada, visando (a) analisar o conceito atual de patologia das construções, de forma a subsidiar a discussão e a proposta de ampliação do conceito, para o processo de construção de edifícios obtidos a partir de sistemas industrializados e estruturados em aço; (b) assimilar as contribuições mais recentes de diversos grupos de pesquisa quanto à melhoria do processo de projeto

e quanto à minimização de patologias² construtivas, de forma a subsidiar a análise do processo de projeto corrente e as propostas de melhoria.

A figura 1.4 mostra a sistemática de trabalho utilizada.

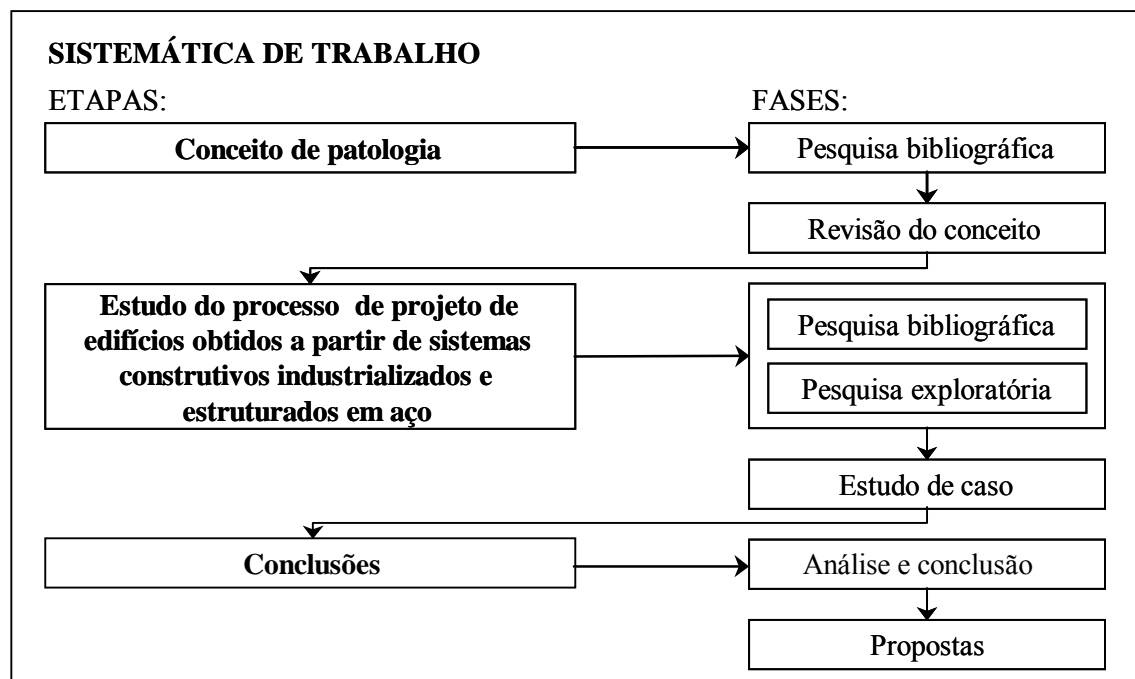


FIGURA 1.4 – Sistemática de trabalho para o desenvolvimento da pesquisa.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Especificamente com ênfase na construção metálica, são recentes e ainda em número restrito as pesquisas sobre as patologias construtivas. A seguir serão discutidos os trabalhos desenvolvidos por CASTRO (1999), que trata das patologias da estrutura metálica propriamente, por SALES (2001), que trata das patologias dos sistemas construtivos, e por MORAES (2000), que trata do processo de projeto de edificações estruturadas em aço.

A pesquisa de CASTRO (1999) traz o levantamento das patologias que ocorrem na

² Entendida conforme o conceito proposto.

estrutura de aço e também das patologias do sistema construtivo cujas causas estejam vinculadas à estrutura metálica. É evidente em CASTRO (*op. cit.*) a preocupação de estudar as diversas fontes de patologias físico-construtivas, elucidando os mecanismos geradores de patologias relacionados à corrosão, aos revestimentos orgânicos, à estabilidade estrutural e às ligações. O autor atribui à etapa de projeto a matriz das patologias que surgem nas fases posteriores e afirma “que a utilização inadequada de um produto pode ser tão prejudicial quanto a adoção de um produto de baixa qualidade”. Para o autor, a “concepção arquitetônica” inadequada para edificações estruturadas em aço é um dos principais geradores de patologias. Essa conclusão é limitada pois se refere somente à concepção arquitetônica, entre todas as fases do processo de desenvolvimento do projeto de um edifício.

Em seu trabalho de dissertação, SALES (2001) fez o mapeamento dos problemas físico-construtivos mais frequentes na associação dos sistemas de fechamento com a estrutura, em edificações que utilizam o aço como material estrutural. Nove edifícios foram investigados quanto à ocorrência de patologias e quanto aos aspectos da equipe de projeto arquitetônico e do processo de projeto, assim como dos construtores e do processo construtivo. Grande parte das patologias construtivas e dos problemas executivos levantados teve origem na deficiência dos projetos e no planejamento do processo de produção. Na associação da estrutura em aço com os sistemas de fechamento, os pontos críticos levantados foram: a ligação entre os dois sistemas, a demanda de mão-de-obra especializada e a elaboração dos projetos com base no “domínio técnico acerca das potencialidades, limitações e condições de interação dos vários sistemas”.

MORAES (2000) apresentou o resultado de uma pesquisa exploratória de caráter descritivo em dois estudos de caso na cidade de Belo Horizonte. Através de entrevistas, identificou os intervenientes do processo, as etapas e atividades envolvidas, e as deficiências e os problemas gerados na etapa de produção. Os resultados foram analisados sob o ponto de vista qualitativo, à luz dos princípios da Nova Filosofia de Produção, e revelaram a existência de similaridade nos problemas percebidos entre empreendimentos convencionais e em construção metálica. Assim, ações e diretrizes

foram indicadas que, em síntese, visam minimizar a ocorrência de patologias em sentido amplo, entre as quais citam-se: (a) redução das atividades que não agregam valor ao produto; (b) aumento do valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos do cliente; (c) redução da variabilidade do processo; (d) aumento da flexibilidade do produto; (e) tratamento do controle do processo como um todo e melhoria contínua (*benchmarking*). Como proposta para futuras pesquisas, foi sugerido o desenvolvimento de um modelo para o processo de projeto de empreendimentos em estrutura metálica.

Além disso, durante o desenvolvimento do trabalho, outras pesquisas foram estudadas, abrangendo os seguintes assuntos: o processo de construção de edifícios, o processo de projeto, as patologias construtivas, entre outros. Ao longo do texto, esses trabalhos serão referenciados.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para a melhor compreensão da pesquisa, a dissertação foi organizada conforme a estrutura a seguir.

No capítulo 2, o conceito de patologia das construções é revisado e um conceito estendido é proposto. Em função deste “novo” conceito, no capítulo 3, realiza-se uma ampla pesquisa bibliográfica a cerca dos assuntos pertinentes à indústria da construção civil e ao processo de projeto de edificações. No capítulo 4, são apresentados os resultados da investigação realizada através de estudos de casos. No capítulo 5, faz-se uma introdução aos processos de produção e de projeto da estrutura metálica e de edifícios estruturados em aço. No capítulo 6, discute-se os resultados e apresentam-se as conclusões. Sugestões para futuras pesquisas também são propostas.

CAPITULO 2

REVISÃO DO CONCEITO DE PATOLOGIA NO DOMÍNIO DAS CONSTRUÇÕES

2.1 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

Um olhar atento sobre o espaço edificado permite identificar certo número de “defeitos” na construção. Quando se percebe a edificação como um objeto em interação com o meio ambiente e o usuário, constata-se que esses “defeitos” surgem, evoluem e, ocasionalmente, regredem com o tempo. Há uma analogia natural com um organismo vivo: o espaço criado, em termos relativos, pode ser saudável ou patológico no momento do seu “nascimento”; pode permanecer no estado em que nasceu durante toda sua vida e pode reagir à ação ambiente de formas diversas; acidentalmente, pode sofrer danos irreversíveis e ser revitalizado por meio de intervenções externas [BAUERMANN *et al.*, 2001].

A percepção de uma edificação como um organismo em interação com o ambiente e o usuário não é recente. Não é também recente o emprego do termo “patologia” para indicar genericamente os “defeitos” de uma construção. Essa expressão teria sido usada por LOSSIER em 1926 [CASTRO, 1999] para designar os defeitos das estruturas de concreto armado, defendendo para o domínio da Engenharia a pesquisa dos “acidentes e de suas causas”. Sendo o concreto fabricado e moldado *in loco*, eram freqüentes os “defeitos” das edificações erigidas com esse tipo de material, explicáveis em função do grande volume geralmente empregado e da premência de tempo para fabricação e moldagem em canteiro em função do tempo de início de pega. Trata-se, portanto, nessa primeira acepção, de uma “patologia” que é eminentemente associada a “defeito de execução em canteiro”.

Mas, algumas estruturas de concreto apresentavam também certo grau de suscetibilidade ao ataque por agentes químicos ácidos (inclusive a água), o que era uma causa típica de “patologia” em que os compostos de óxido de cálcio do concreto eram transformados em sais, corroendo-o e gerando as manchas calcárias características. Esse lento processo de “corrosão” podia ser acelerado nos ambientes mais agressivos, sendo causa de preocupação. Por outro lado, a deformação lenta do concreto poderia originar fissuras e mudanças de forma, capazes de gerar “defeitos” importantes das construções.

Esses primeiros conceitos de patologia das edificações surgiram associados às estruturas de concreto produzidas em canteiro e tiveram foco principalmente na segurança estrutural.

No Brasil, nos últimos vinte anos, os conhecimentos relacionados às patologias das estruturas de concreto tiveram um relevante avanço. Neste contexto, SOUZA e RIPPER (1998) argumentam que conceitos modernos de patologia implicam na consideração, além da segurança estrutural, dos conceitos de qualidade e garantia da mesma e das exigências, não apenas do usuário direto mas também da coletividade na qual se insere, sejam de natureza programática ou de caráter essencial de construção.

Com a implementação do uso do aço na construção civil, principalmente nos últimos 15 anos, também foi verificado que o edifício estruturado em aço, ainda que erigido sobre uma estrutura quase que completamente industrializada, não era imune a uma gama de patologias. São exemplos de sintomas patológicos a vibração dos pisos e as trincas nos fechamentos laterais (inicialmente feitos com alvenaria), a corrosão da estrutura e as falhas estruturais.

Mas, no Brasil, tão recente quanto o uso do aço na construção de edifícios é o estudo das suas patologias. PRAVIA e BETINELLI (1998) e CASTRO (1999) pesquisaram as patologias da estrutura metálica.

Os estudos que primeiramente estavam direcionados para as estruturas já ampliaram o seu universo para os demais subsistemas construtivos. Porém, percebe-se a existência de

um número maior de trabalhos também na área do concreto armado, podendo-se citar, como exemplo, pesquisas sobre as patologias dos revestimentos e das argamassas. Dentro da linha “Patologia das Estruturas Metálicas”, SALES (2001) estudou os problemas físico-construtivos que ocorrem na associação entre painéis de fechamento e a estrutura metálica.

2.2 O CONCEITO CONVENCIONAL

Na literatura, várias são as definições apresentadas para patologia, sendo este termo utilizado em diversas áreas do conhecimento, como na medicina³ e na engenharia, possuindo uma estreita relação de sentido.

Para CASTRO (1999), patologia é um termo utilizado para definir os problemas que acontecem nos diferentes tipos de edificações e que podem comprometer seu desempenho, não abordando somente o aspecto de segurança, mas também o resultado da obra acabada no atendimento das satisfações e dos anseios dos usuários.

SOUZA e RIPPER (1998) designam genericamente por Patologia das Estruturas o campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestações, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas de degradação das estruturas. As expressões “patologia” e “problema patológico” também são utilizadas pelos autores para designar problemas físico-construtivos, os quais são motivados por falhas que podem ocorrer nas etapas de concepção, execução ou manutenção.

Para HELENE (1998), os problemas patológicos normalmente são provocados pela ação de agentes agressivos, aos quais a edificação não é capaz de se adaptar de pronto ou no momento oportuno.

Já para SALES (2001), a patologia físico-construtiva seria todo problema físico apresentado por uma edificação, seja durante o período de execução ou de pós-

³ Mecanismos e formas envolvidas nas mudanças estrutural e funcional em tecidos e órgãos que causam ou são causados por doenças ou o estudo das causas, natureza e efeitos de doenças e outras anormalidades.

ocupação.

HAMMARLUND e JOSEPHSON (1992) definiram o termo “falha” para a “não-conformidade com especificações ou requisitos pretendidos para a produção e uso do edifício”. Mas, alguns autores também tratam este termo como “causa” dos problemas [CONDE, 2000; SOUZA e RIPPER, *op. cit.*].

Como pode ser observado, são diversos os termos empregados para expressar os “problemas” que ocorrem no processo de construção: patologia⁴, problema patológico⁵, patologia físico-construtiva⁶, falha⁷, defeito⁸.

De maneira geral, todas as expressões são empregadas para definir problemas físico-construtivos, mesmo quando consideram questões como qualidade e satisfação dos clientes.

Assim, para expressar os problemas que ocorrem durante a produção de um edifício, será adotado o termo patologia, seja o problema físico-construtivo ou não; e o termo “falha” será considerado como causa.

PATOLOGIA: CLASSIFICAÇÃO

Na literatura, as patologias são classificadas de várias formas: quanto à origem, à complexidade ou quanto às suas causas.

Quanto à origem, COZZA (1998) citado por CASTRO (1999) classifica as patologias das estruturas metálicas como adquiridas, transmitidas e atávicas. As primeiras seriam aquelas provenientes da ação de elementos externos e refletiriam a inadequação da edificação ao seu ambiente; as patologias transmitidas identificariam aquelas que nascem de erros de fabricação e montagem; as patologias atávicas resultariam de má

⁴ HENRY LOSSIER *apud* CASTRO (1999); CASTRO (1999); SOUZA e RIPPER (1998).

⁵ MACIEL e MELHADO (1996), citando ABRANTES; HELENE (1998); SOUZA e RIPPER (1998).

⁶ SALES (2001).

⁷ HAMMARLUND & JOSEPHSON (1992); CAMBIAGHI (1992); CASTRO (1999).

⁸ MACIEL e MELHADO (1996) citando ABRANTES; BETINELLI (1998) citando MESSEGUER (1991).

concepção de projeto, erros de cálculo ou escolha do material impróprio. HAMMARLUND e JOSEPHSON (1992) as classificaram como falhas internas da qualidade, quando ocorrem e são corrigidas nas fases de síntese e projeto, e falhas externas da qualidade, quando os problemas aparecem após a inspeção e entrega do produto.

Em função da complexidade, podem ser divididas em simples, cujo diagnóstico e profilaxia são evidentes, admitindo padronização e resolução sem conhecimentos especializados, e complexas, que exigem uma análise individualizada e pormenorizada, além de conhecimentos especializados [SOUZA e RIPPER, 1998].

Já quanto às suas causas, podem ser classificadas em intrínsecas e extrínsecas [SOUZA e RIPPER, *op. cit.*]. Como causas intrínsecas, inerentes ao sistema, são consideradas as falhas humanas durante a construção e durante a utilização (ausência de manutenção) ou as causas naturais. Já as causas extrínsecas estão vinculadas às falhas humanas durante o projeto, às falhas humanas durante a utilização e às ações mecânicas, físicas, químicas ou biológicas.

PATOLOGIA: ORIGEM

Dividindo as atividades da construção civil em três etapas básicas, tais como concepção, execução e manutenção ou utilização, SOUZA e RIPPER (1998) definiram que as patologias têm, preponderantemente, suas origens motivadas por falhas que podem ocorrer durante a realização de qualquer uma dessas etapas. Segundo esses autores, na etapa de concepção, as falhas podem ocorrer em qualquer fase da mesma; na etapa de execução, os problemas mais comuns estão relacionados à mão-de-obra desqualificada e à falta de controle tecnológico; e, na etapa de manutenção, os problemas têm como causa a utilização errônea ou a falta de um programa de manutenção adequado.

2.3 UM CONCEITO ESTENDIDO PARA PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

2.3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Qualidade e desempenho são conceitos que possuem forte relação com o conceito de patologia das construções, logo, merecem atenção.

QUALIDADE

Não existe um único conceito para qualidade de um produto, mas alguns pontos comuns nos conceitos definidos por PICCHI (1993), GOETSCH e DAVIS (1994), DOBLER e BURT (1996), ISO 9000:2000 (1999), podem ser citados, tais como: (a) a qualidade tem relação com a satisfação das necessidades e expectativas do cliente; (b) seu conceito se aplica a produtos, serviços, processos e ambientes; e (c) seu conceito está mudando continuamente.

Nas atividades industriais e nos negócios, o conceito de qualidade está relacionado com uma necessidade ou função que define especificações, as quais estabelecem requisitos [ZEGARRA, 2000], os quais devem estar em conformidade com o resultado alcançado [DOBLER e BURT, *op. cit.*]. Pode-se dizer, ainda, que o conceito é variável conforme as expectativas e interesses de quem o utiliza [FABRICIO e MELHADO, 2000]:

[1] na construção de um edifício, critérios que avaliam a qualidade estão relacionados à produtividade dos processos, ao atendimento das especificações dos projetos e ao número de acidentes de trabalho;

[2] durante a fase de lançamento e venda, os critérios consideram a aceitação do produto, liquidez e facilidade na tramitação de contratos;

[3] e, ao longo do uso e da vida do edifício, usuários e clientes avaliam a sua qualidade com base em critérios mais subjetivos, complexos e mutáveis.

Já, gestão da qualidade total é um modelo de gestão centrado na qualidade, baseado na

participação de todos os membros da organização, com o intuito de satisfazer o cliente final [ZEGARRA, *op. cit.*].

Do exposto acima, verifica-se que o conceito de qualidade está intimamente ligado à satisfação do cliente ou usuário.

Segundo SOUZA e RIPPER (1998), os conceitos de qualidade e da garantia da mesma também devem ser considerados por conceitos modernos de patologia, da mesma forma que a segurança estrutural, e devem fazer referência ao produto final como um todo.

Para os mesmos autores, quando se pretende que um produto atinja o nível de qualidade desejado, deve-se garantir que o mesmo tenha conformidade com os requisitos de satisfação do cliente a um preço aceitável. Para o alcance do nível de qualidade desejado, exige-se, para a etapa de concepção, a garantia da plena satisfação do cliente, da facilidade de execução e da possibilidade de adequada manutenção; para a etapa de execução, a garantia do fiel atendimento ao projeto; e, para a etapa de utilização, a garantia da satisfação do usuário e da possibilidade de extensão da vida útil da obra [SOUZA e RIPPER, *op. cit.*].

Para ZANETTINI (2001), a arquitetura produzida a partir do uso de novas tecnologias, “visando a uma produção qualitativamente mais controlada por processos industrializados, fazendo gradativamente do canteiro de obras o local de montagem”, se caracterizaria pela qualidade construtiva, em que “qualidade é a adequação à cultura, aos usos e costumes de cada época, ao ambiente no qual a obra se insere, à evolução científica, tecnológica e estética, à satisfação das necessidades econômicas e de conforto, e direcionada à razão e à emoção do homem”.

Com relação ao projeto, a qualidade abrange a qualidade do programa [NOVAES, 1998], a qualidade das soluções técnicas de projeto (custo e construtibilidade), a qualidade da descrição e apresentação do projeto (projeto executivo, memoriais descritivos e especificações técnicas) e a qualidade do processo de elaboração do projeto [SOUZA *et al.*, 1995 *apud* CONDE, 2000].

DESEMPENHO

SOUZA e RIPPER (1998) entendem por desempenho o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil⁹, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Os requisitos e os critérios para a avaliação do desempenho de uma construção baseiam-se nas exigências (a) dos usuários, (b) do contexto e (c) em métodos prescritivos [CIB, 1982, citado por PEREIRA *et al.*, 2000]. A Norma ISO 6241, ISO (1984), lista as exigências dos usuários tais como: segurança estrutural, ao fogo e à utilização; conforto higrotérmico, tátil, visual e acústico; durabilidade e economia.

2.3.2 DISCUSSÃO E PROPOSTA

A forte tendência de industrialização dos processos construtivos pela utilização de sistemas industrializados e equipamentos mecânicos - existente atualmente no setor da construção civil brasileira - vem transformar o canteiro de execução em um canteiro de montagem e tornar o processo uma rotina objetiva, racional, mecânica e perfeitamente definida no tempo.

São evidentes as diferenças entre as características do sistema construtivo convencional e dos sistemas com elevado nível de industrialização. Os seus problemas, de caráter patológico, também o são.

Desperdício de material, falta de acabamento, baixo desempenho da edificação são alguns dos problemas que estão relacionados à intensa atividade da mão-de-obra operária, tradicionalmente desqualificada, na execução dos serviços *in loco*. A pré-fabricação reduz significativamente os serviços executados em campo e, desta forma, o risco de falha humana e os defeitos ou prejuízos decorrentes dela.

Os níveis de controle dos procedimentos de “execução” caracterizam as principais

⁹ Período de tempo, após a instalação de um material ou componente da edificação, durante o qual as suas propriedades (material) permanecem acima dos limites mínimos especificados, tendo sofrido manutenção rotineira [adaptado de CASTRO, 1999].

diferenças entre os sistemas construtivos aqui tratados. Sistemas industrializados permitem a redução do caráter de protótipo da construção: enquanto cada serviço executado em canteiro é o seu próprio protótipo, subsistemas industrializados, como sistemas de fechamento por exemplo, permitem a criação de um componente para teste do seu desempenho. Além disso, o padrão de qualidade de toda a produção tem maior chance de ser garantido pelo controle do processo de fabricação.

Porém, sistemas industrializados não permitem toda e qualquer adaptação em canteiro, os custos para a correção de falhas tendem a ser muito mais onerosos e os erros de concepção podem resultar na inutilização do componente já fabricado. De maneira geral, o desperdício de capital financeiro em um mercado tão competitivo pode representar o fracasso de um empreendimento construtivo. O custo de nova fabricação de um determinado componente pode ser equivalente à correção de uma falha que condene a edificação por insegurança estrutural, e ser inviável, em ambos os casos.

Neste contexto, embora muitos problemas sejam eliminados pela introdução de novos sistemas e procedimentos, outros surgem, de natureza diversificada e em diferentes fases durante a construção (projeto e execução) e o uso. Além disso, nos processos de construção de edificações estruturadas em aço, a prevenção de problemas, de defeitos e de inconformidades, é a melhor solução a ser adotada. Mas, para que o “método preventivo” seja eficiente e eficaz, a determinação da causa específica da patologia é essencial.

O estudo da conceituação convencional de “patologia da construção” permite concluir que a mesma é insuficiente para o estudo das patologias dos processos construtivos com elevado nível de industrialização, ainda que tenha havido uma evolução no conceito no sentido de incluir todos os tipos de materiais estruturais, maior número de fenômenos e até de subsistemas. Além disso, atualmente, os critérios que determinam o sucesso ou fracasso de uma construção se referem ao atendimento das exigências quanto à qualidade, ao custo, ao cronograma e às necessidades do cliente e do usuário [KAMARA *et al.*, 2001]. Logo, vê-se a necessidade de uma nova conceituação de patologia, que inclua problemas não apenas físicos mas de diferentes naturezas, e eleve

a uma posição de extrema importância a atividade de projeto, admitindo como hipótese básica a tendência de industrialização da construção.

Percebe-se, na literatura, que o estudo das patologias das construções foca as manifestações de problemas ou defeitos físicos, detectados durante as fases de execução ou uso da edificação. O conceito convencional considera a manifestação física como a patologia a ser identificada, classificando-a de diversas formas. Seu estudo se baseia na determinação da causa que pode ter origem na fase de concepção do processo de projeto, assim como nas fases de execução e uso. Quanto a esse conceito, duas críticas são formuladas: (a) ele estabelece apenas duas instâncias de investigação, patologia e causa; (b) ele restringe as manifestações patológicas às físicas.

Especificamente no estudo do processo de construção de edificações estruturadas em aço, percebe-se que a utilização do conceito convencional para investigação e prevenção de patologias pode resultar em dados vagos, que tornam difícil a determinação do que é causa, patologia e consequência.

Problemas ou falhas que ocorrem na etapa de projeto, sem dúvida, podem ser causa de “patologias” em outras fases do processo de construção. Mas, sendo os problemas físico-construtivos, reflexo de falhas que podem ocorrer durante a concepção, execução ou uso, propõe-se: que a manifestação, de natureza física ou não, seja rigorosamente tratada como sintoma patológico e a falha reconhecida como patologia, e não como patologia e causa, respectivamente. Desta forma, ficam estabelecidas três instâncias de investigação: causa – patologia – sintoma. O conceito de sintoma patológico se estabelece como uma disfunção, resultante de um conjunto de fatores, que faz com que uma edificação não satisfaça completamente, no estado considerado, os critérios técnicos que à ela se aplicam.

Além disso, tratando erros em projeto apenas como “falhas” que podem causar a patologia, corre-se o risco de a investigação ser encerrada em um nível ainda superficial e a responsabilidade da solução real do problema ser atribuída a outras linhas de pesquisa, como a de estudo do processo de projeto (que será tratado no próximo

capítulo), que foca os problemas enfrentados nesta fase e procura apresentar ações para melhoria da sua qualidade. Verifica-se, assim, a existência de dois universos de pesquisa distintos e distantes: a pesquisa do processo de projeto de edificações e a pesquisa das patologias das construções. Embora seja reconhecida a necessidade de especialização do pesquisador, considera-se que a desvinculação das pesquisas seja prejudicial para a verdadeira melhoria do processo de construção de edificações estruturadas em aço.

Já a denominação de patologia apenas para os problemas manifestados de forma física tende a negligenciar problemas de outras naturezas, os quais, em edificações estruturadas em aço, podem ter conseqüências muito graves ou vir a inviabilizar o uso do sistema construtivo industrializado.

Mas, além de propor a mudança do objeto da patologia, observa-se que a mesma seja avaliada do ponto de vista restrito e generalizado. Do ponto de vista restrito, o nível de satisfação do cliente, por exemplo, pode ser abordado como sintoma patológico, quando usado como critério para determinar a patogenia. Do ponto de vista generalizado, a insatisfação do cliente pode ser vista como patologia do processo de desenvolvimento de um sistema construtivo, capaz de inviabilizar futuros investimentos. Na literatura, em geral, conceitos modernos de “patologia” consideram a satisfação do cliente apenas como critério para avaliar o resultado da obra acabada e definir a existência ou não da patologia física.

Outro exemplo: recomenda-se que na etapa de projeto seja considerado o custo da manutenção necessária para a vida útil requerida para prevenção da patologia física (tendo em vista a agressividade ambiental), de forma que a mesma seja viável periodicamente, e que custos não esperados não decorram da necessidade de recuperação. Neste raciocínio, o custo não é o objeto da patologia, mas o critério de projeto. Mas, o custo elevado da manutenção pode ser considerado como patologia em si, do ponto de vista do empreendimento de construção, quando inviabilizar a realização dos procedimentos de manutenção e por isso, resultar em manifestações patológicas de natureza física, as quais são prejudiciais para o processo de desenvolvimento de um

sistema construtivo (abordagem generalizada). É interessante observar que isto vem ocorrendo ao longo do processo de desenvolvimento do mercado do uso do aço: a falta de manutenção da estrutura metálica aparente, mormente em edifícios públicos, favorecendo a corrosão da estrutura, contribuiu para a formação do mito de que a estrutura metálica é frágil e tem pequena vida útil. Tal fato caracteriza uma patologia em si, do ponto de vista generalizado.

Além disso, a inadequação ao custo projetado e esperado ou o desperdício de capital financeiro devem também ser vistos como patologias, do ponto de vista generalizado, uma vez que o custo da obra assume papel determinante e condicionante no processo de construção, devido à competitividade atual do mercado, podendo resultar no fracasso do empreendimento, se muito elevado. Já do ponto de vista restrito, a elevação do custo inicialmente projetado pode ser visto como sintoma patológico, quando resultar da correção de uma disfunção. Como vantagem dessa nova visão, tem-se que o caráter patológico de uma disfunção não é eliminado em função da correção – como ocorre na prática da construção civil, em que existe uma tendência entre os construtores de considerar como patológicas apenas aquelas disfunções que não tenham correção durante a fase de construção.

De modo análogo, a inadequação ao uso, do programa ou da edificação, considerado convencionalmente como critério para avaliar um produto e estabelecer a patologia física, pode ser vista como sintoma patológico, do ponto de vista restrito, e como patologia, do ponto de vista generalizado, uma vez que pode inviabilizar o uso da edificação. Como exemplo, pode-se citar o não fechamento de um negócio em função de edificações que não permitem a adaptação das instalações para atender a necessidade de um usuário específico: falta de flexibilidade. Porém, o uso, neste contexto, também deve ser compreendido em sentido amplo para incluir tanto o uso direto que fazem os proprietários da edificação quanto o uso social de que ela se reveste, enquanto inserida em um determinado espaço comunitário. Assim, a inadequação ao uso pode ocorrer em vários graus, desde o impedimento completo do uso como ocorre com a edificação estruturalmente insegura até o impacto da edificação no meio ambiente, podendo ser este urbano, histórico, ou natural.

Além de todas as questões já discutidas, acredita-se que seja uma contribuição para o processo de desenvolvimento do sistema construtivo da estrutura metálica a ampliação do sentido do termo patologia de modo a abranger problemas de diferentes naturezas. Patologias da edificação são consideradas, realmente, como problemas graves, que exigem investimento para determinação de procedimentos de prevenção, manutenção ou recuperação. Mas, como, na prática corrente, as patologias são essencialmente físico-construtivas, para prevenção, são freqüentemente elaborados manuais de manutenção, simplesmente. A elaboração de manuais de execução ou cadernos de detalhe e especificação é mais recente e ainda incipiente. Já, manuais destinados ao processo de projeto são raros.

Além disso, na prática corrente, é clara a distinção entre as expressões patologia e problema ou defeito. A expressão patologia é vista como negativa para o processo de construção, capaz de prejudicar a imagem de uma empresa, enquanto problemas ou defeitos são vistos, muitas vezes, como inerentes ao processo construtivo. Quando perguntado ao profissional responsável pela obra, se ocorreram patologias em uma edificação, a resposta tende a ser negativa; mas, perguntado se ocorreram desvios do cronograma físico-financeiro, adaptações e improvisos, a resposta tende a ser afirmativa, porém, seguida da frase: “mas são ocorrências inerentes ao processo”. Além disso, problemas ou falhas por incompatibilidade entre projetos, se resolvidos, mesmo de forma improvisada, resultando em uma solução subótima, não são considerados patológicos e, sim, “inerentes ao processo de projeto”.

O mesmo é observado com relação a erros, adaptações, revisões, retrabalhos na etapa de projeto. Reduzida a sua importância, as falhas não são sistematizadas de forma a serem evitadas futuramente e a atuação para melhoria do processo se restringe à experiência adquirida pelo profissional, aspecto que confronta com normas de padronização e de gestão da qualidade. Visto a importância da etapa de projeto para a execução de sistemas construtivos industrializados, tal atitude é aqui tratada como patológica.

No conceito proposto, as manifestações patológicas não se restringem às físicas e a patologia é classificada quanto à natureza: patologia de projeto, patologia de execução

ou patologia de uso ou manutenção. Na literatura, essa mesma classificação refere-se à origem da patologia. Desta forma, com relação ao projeto, falhas, que são representadas por soluções subótimas ou retrabalho [MACIEL e MELAHADO; NOVAES, 1996] são reconhecidas como patologias do processo construtivo: o desgaste da equipe de projeto, os prejuízos financeiros, a perda de credibilidade de um sistema construtivo, são seus sintomas patológicos.

Assim, o conceito de patologia não mais se refere somente ao edifício em si, mas ao empreendimento.

A figura 2.1 esboça, comparativamente, as estruturas conceituais das duas propostas: convencional e ampliada.

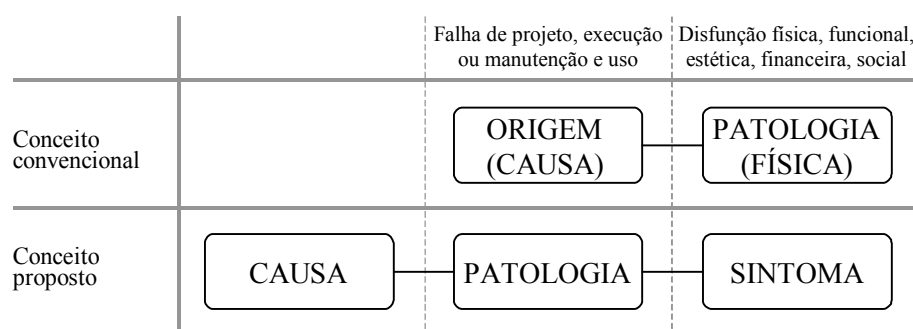


FIGURA 2.1 – Esboço comparativo entre a estrutura do conceito de patologia convencional e a estrutura do conceito proposto.

Do exposto anteriormente, percebe-se que o conceito de patologia se estabelece em relação a uma referência solidamente assentada e traduzida no projeto que decorre da aplicação de regulamentos, normas e de critérios técnicos da ciência das construções, bem como da vontade manifesta do cliente no processo criativo do espaço edificado. Nesse sentido, o projeto somente pode ser compreendido globalmente, ainda que realizado por diferentes profissionais.

Logo, essa conceituação de patologia tem a grande vantagem de elevar a uma posição de extrema importância a atividade de projeto e admitir como hipótese básica a tendência de industrialização da construção. Decorre dessa nova conceituação que toda patologia é essencialmente uma patologia de projeto, por falta ou por deficiência.

Quando se argumenta, por exemplo, que o processo de fabricação e montagem pode ser gerador de patologias, ressalta-se a inexistência ou, pelo menos, a precária vinculação do projeto do produto com o projeto de sua produção, FABRÍCIO (1997) *apud* MELHADO (1998). As patologias de natureza físico-construtiva, SALES (*op. cit.*), e as que decorrem da resposta da edificação ao ambiente, HELENE (1998), são evidentemente patologias de projeto.

CAPITULO 3

O PROCESSO DE PROJETO

Neste capítulo, apresenta-se o estudo realizado a cerca do processo de projeto de edificações. Como introdução ao assunto, aspectos da indústria e do processo de construção são relacionados.

3.1 GENERALIDADES

A complexidade crescente de edifícios modernos em um mercado muito competitivo aumentou significativamente a pressão sobre o desempenho do processo de projeto em termos de eficiência, tempo e qualidade. O custo relativamente pequeno dos projetos, quando comparado aos custos de construção, freqüentemente disfarça a sua verdadeira importância para o desempenho final da obra. Desta forma, o projeto há muito vem sendo negligenciado dentro do processo de produção de edifícios.

A falta de padronização, a falta de detalhamento e a falta de qualificação dos projetistas formam um conjunto de problemas identificados em projetos [CONDE, 2000]. A ausência de coordenação dos projetos e de projetos para produção; a deficiência de especificações técnicas, a ausência ou deficiência em projetos de canteiro, impermeabilização e vedações, de informações técnicas e de projeto sobre novos métodos construtivos, de manuais de manutenção e uso e de gestão da qualidade, voltada para o projeto, são barreiras tecnológicas identificadas por DENADAI (1999) *apud* CONDE (2000). O mesmo autor observou ainda os reflexos negativos dessas barreiras nas empresas e nas edificações, dos quais pode-se citar: aumento dos custos, dos prazos e das perdas; queda do lucro, da qualidade e produtividade e da durabilidade; dificuldades com a seleção de materiais e controle dos serviços; problemas de interface projeto-obra, entre subsistemas e de higiene e segurança; necessidade de manutenção

freqüente; reduzida utilização de novas alternativas construtivas; e insatisfação do cliente.

No caso de edificações estruturadas em aço, os problemas apresentados acima potencializam a ocorrência de patologias ao longo de todo o processo de construção. Concebidos como processos industriais, a estrutura metálica e os demais sistemas industrializados que compõem a edificação não permitem mudanças após a fabricação. Neste sentido, o projeto precisa realmente ser sinônimo de “construir no papel” e estar em conformidade com todos os seus condicionantes (legislação, normas, necessidades dos clientes).

Pesquisas estrangeiras identificaram as causas, e suas conseqüências, para os problemas de projeto. COLES (1990) afirma que a deficiência no *briefing* e na comunicação, a insuficiência do conhecimento técnico dos projetistas e a falta de confiança no pré-planejamento do trabalho de projeto são as causas mais significativas dos problemas. Já as suas conseqüências são: (a) lentas aprovações pelo cliente; (b) nomeações tardias de consultores; (c) e tempo inadequado para completar cuidadosamente documentos de projeto. Para SVERLINGER (1996) *apud* KOSKELA *et al.* (1997), as causas mais freqüentes para grandes divergências em projetos técnicos durante o processo são (a) deficiência no planejamento e ou na distribuição de recursos, (b) erro ou deficiência na informação de entrada e (c) mudanças. Segundo o mesmo autor, quando os defeitos das construções são medidos através do custo, os defeitos de projeto são os principais responsáveis; já a falta de coordenação entre as especialidades de projeto é a principal categoria das causas desses defeitos de projeto.

3.2 A CONSTRUÇÃO CIVIL

3.2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

A recente globalização da economia tem incentivado a competitividade e tornado fundamental o aumento da produtividade, a redução dos custos e a melhoria da qualidade dos produtos. Nesse sentido, a eliminação do desperdício tem surgido como

meta de muitas empresas construtoras, acompanhada pela redução da mão-de-obra que, incorre em pesados encargos sociais, além de ter, em geral qualificação técnica deficiente.

Também na tentativa de transformar o cenário, de forma a atender as exigências do mercado e otimizar os prazos e os custos, empreendedores, construtores, projetistas e fornecedores brasileiros têm investido na implementação de programas de padronização e gestão dos processos [MELHADO, 1998].

Porém, a indústria da construção civil tradicional difere em vários aspectos da indústria de transformação, de onde surgiram muitos dos conceitos e ferramentas, como *Total Quality Control* (TQC) e *Just in Time* (JIT). Características peculiares da construção civil dificultam a transposição desses conceitos para o seu ambiente, entre elas:

- [1] a construção civil é uma indústria de caráter nômade;
- [2] seus produtos são únicos e não seriados;
- [3] sua produção é centralizada, não se aplicando conceitos de produção em linha;
- [4] sua produção é realizada sob intempéries;
- [5] utiliza mão-de-obra intensiva, com pouca qualificação e com alta rotatividade;
- [6] possui grande grau de variabilidade dos produtos;
- [7] possui pouca especificação técnica;
- [8] seu produto geralmente é único na vida do usuário;
- [9] possui baixo grau de precisão, se comparado com as demais indústrias.

Para a transformação dessas peculiaridades da construção, a industrialização do canteiro de obras é uma estratégia bastante atrativa, a qual ainda possibilita melhoramentos de produtividade futuros [KOSKELA, 2000].

Durante a década de 1970, foram introduzidos sistemas pré-fabricados no mercado nacional, inclusive sistemas estrangeiros. Porém, devido à pressão em absorver a mão-de-obra não qualificada, a industrialização da construção civil não foi incentivada.

Mas, segundo MELHADO (1997), “a construção civil brasileira nos últimos dez anos tem apresentado mudanças contínuas e progressivas em direção a um patamar mais alto de evolução como indústria”. Atualmente, pode-se considerar crescente a substituição de sistemas convencionais. A utilização da mecanização e de sistemas pré-fabricados no canteiro de obras tem se mostrado uma tendência.

Na construção civil, são encontrados três níveis de produção:

[1] Industrialização Plena, quando atividades de canteiro se reduzem a montagem de elementos e componentes, sendo o máximo que se pode alcançar em termos de produtividade. Segundo BRUNA (1976) “a industrialização está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, os quais deverão ser entendidos, analisando de forma mais ampla as relações de produção envolvidas e a mecanização dos meios de produção”. Ainda, segundo BLACHÈRE *apud* BRUNA (1976), a industrialização equivale à associação da racionalização e da mecanização.

[2] Racionalização, quando o processo utiliza componentes que ainda exigem preparação e moldagem *in loco*, como revestimentos com argamassa, mas de forma a buscar a máxima eficiência dos sistemas. Segundo BRUNA (1976), a pré-fabricação, quando executada junto ao canteiro de montagem, deve ser entendida como uma forma de racionalização do sistema construtivo; assim como, a mecanização deve ser entendida como uma racionalização da energia gasta na produção, representadas pelas guas, betoneiras, entre outras, uma vez que não implica na organização ou produção em série;

[3] Tradicional, nível em que trabalha grande parte das empresas, quando são utilizados sistemas construtivos tradicionais sem nenhuma preocupação com a otimização, como alvenaria sem modulação ou cortes aleatórios para embutimento das instalações.

Além disso, em relação à produção, os sistemas se dividem em sistemas de ciclo fechado, sistemas de ciclo aberto e sistemas flexíveis. Para BRUNA (1976), no ciclo fechado, a pré-fabricação dos elementos é realizada em função do próprio consumo, nas

próprias obras; já o sistema de ciclo aberto se caracteriza pela industrialização de componentes para atender o mercado. Segundo PENTEADO (1999), os sistemas flexíveis se caracterizam por permitirem a variabilidade de tipos e pela produção em séries limitadas, seguindo padrões e princípios da coordenação dimensional.

Com relação ao processo de produção de edifícios estruturados em aço, a especificação da estrutura metálica associada a sistemas industrializados de fechamento de fachada, vedações, módulos de banheiros, atribui ao processo de construção um elevado nível de industrialização do canteiro de obras.

3.2.2 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Os modelos de organização do sistema de construção foram modificados nos últimos anos. O modelo tradicional de construção projeto-licitação-construção (*design-bid-build*), em que cada etapa tem responsáveis distintos e se caracteriza pela falta de integração, tem sido substituído por novos modelos. O modelo tradicional tem sido criticado em três aspectos principais [KOSKELA, 2000]: (a) pelo método seqüencial de realização dos processos da obra; (b) pela contratação por licitação (preço como critério); e (c) por resultar em controle segmentado. Segundo DUPAGNE (1991), o método seqüencial de realização da obra resulta em:

- [1] Pouca ou nenhuma interação no processo de projeto;
- [2] Desconsideração, na etapa de projeto, de condicionantes de fases subseqüentes;
- [3] Consideração, na etapa de projeto, de condicionantes desnecessárias para as fases subseqüentes;
- [4] Existência de pouca retroalimentação de informações para os projetistas;
- [5] Falta de liderança e responsabilidade pela obra como um todo.

Como uma resposta para os problemas de integração da construção, a forma de organização do projeto-construção (*design-build*) tem crescido em popularidade [KOSKELA, 2000]. Nela, tanto a etapa de projeto quanto a etapa de execução é entregue a um único responsável. O modelo *Fast Track Construction* também tem sido aplicado, embora seja em menor escala. A principal abordagem deste modelo é a

redução do prazo de construção.

Porém, de modo geral, não tem sido verificado que a simples interferência no modo de organização do sistema seja a chave para o melhoramento do desempenho da construção. O modelo projeto-construção, segundo KOSKELA (2000), tem apresentado melhor desempenho que o tradicional, principalmente em relação ao prazo, mas o potencial é limitado. Já o sistema *Fast Track Construction*, segundo o mesmo autor, com frequência tem aumentado os custos totais da construção e reduzido o valor do produto final. Assim, a chave para o melhoramento está nos princípios da teoria de produção da construção, os quais devem ser aplicados no projeto, controle e melhoria do sistema de construção [KOSKELA, 2000].

Na indústria em geral, foi no início da década de 80 que questões como qualidade e valor começaram a ser discutidos com mais ênfase e métodos de qualidade e métodos baseados no valor passaram a serem propostos. Nesse período, surgiram os princípios da Nova Filosofia de Produção (NFP), *Lean Production*, tendo esta um caráter generalista. Na tabela 3.1, são apresentados estes princípios.

TABELA 3.1 – Princípios da Nova Filosofia de Produção.

Principais princípios	Princípios associados
Aumentar a eficiência de atividades que agregam valor ao produto	Melhorar ou adquirir tecnologia de produção Melhorar ou adquirir experiência de produção
Reduzir a taxa de atividades que não agregam valor ao produto	Reduzir o tempo de ciclo Reduzir a variabilidade Simplificar Aumentar a transparência Aumentar a flexibilidade Focalizar o processo completo Focalizar os pontos críticos do processo
Melhorar o valor do produto visando o cliente	Assegurar que o produto preencha as especificações
Melhorar de modo compreensivo e integrado	Balancear diferentes pontos de vista de melhoramento Implementar princípios de forma compreensiva, especialmente no projeto, no controle e melhoramento dos sistemas de produção

Fonte: KOSKELA (1998)

Também foi na década de 80 que a identificação dos problemas causados pela organização e gerenciamento de projeto e de desenvolvimento de produto prevalecente incentivou o surgimento de novas filosofias, visando a elaboração de novos métodos [KOSKELA, 2000], como a Engenharia Simultânea, por exemplo.

Segundo KOSKELA (2000), foi apenas no início da década de 90 que os problemas do modelo de gerenciamento do processo de construção começaram a ser discutidos nos países mais industrializados. Na década de 80, métodos como o gerenciamento de qualidade (*Quality Management*) ou novas formas de organização, como o *New Construction Mode*, foram desenvolvidos, mas grande parte não resultou em reais benefícios ou não foi intensamente utilizada.

Os problemas encontrados na construção, como desperdício, perda de valor, não cumprimento de prazos e custos, associados ao aumento da complexidade das construções, das exigências de qualidade e da própria competitividade do setor, foram motivadores para muitas propostas de melhoria do desempenho dos processos construtivos.

A transferência dos princípios da Nova Filosofia de Produção para a construção, proposta por KOSKELA (1992), deu origem aos conceitos da *Lean Construction* (Construção Enxuta – CE). Essa filosofia também considerava os conceitos da Engenharia Simultânea, relativa ao processo de projeto. Resultados encontrados por pesquisadores com relação às parcelas do desperdício e do custo global da construção pelo qual o projeto responde, como os mostrados no capítulo 1, foram motivadores para o direcionamento dos esforços também para a melhoria da qualidade desses projetos.

Os princípios da filosofia CE vêm sendo bastante aplicados como base para novos métodos e ferramentas. No Brasil, MELHADO (1998b), TZORTZOPOULOS (1999), MORAES (2000), são exemplos de trabalhos que se basearam em ou aplicaram seus princípios, sob o ponto de vista do projeto.

3.2.3 O CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Uma questão importante para a obtenção de qualidade para o setor da construção é a consideração de todo o ciclo de vida do empreendimento durante a etapa de projeto. Logo, a caracterização desse ciclo de vida se faz necessária. Porém, a nomenclatura das etapas que caracterizam o processo de produção de edifícios varia de acordo com diferentes autores.

SANVIDO (1992) propõe que o processo de construção seja classificado como planejamento, projeto, execução, operação funcional e gerenciamento. Mas, para GARCIA MESEGUER (1991), o processo de construção é caracterizado por cinco etapas: planejamento, projeto, suprimentos, execução e manutenção. Já KOSKELA (1992) considera que existem dois grandes processos na construção de um empreendimento, processo de projeto e processo de execução, e que o gerenciamento do empreendimento, do projeto e da execução são processos que controlam ou dão suporte aos dois principais.

A seguir, serão definidas as principais características das etapas de planejamento, projeto, suprimentos, execução e operação e manutenção, com base em várias referências.

3.2.3.1 GERENCIAMENTO

O gerenciamento não deve ser considerado uma etapa do processo e sim uma atividade de suporte para o processo de construção, a qual se estende ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento. Esta atividade inclui todas as funções de negócios e processos exigidos para suportar o processo de construção do edifício, desde o planejamento até a operação [SANVIDO, 1992]. Essas funções abrangem: a formação da equipe de gerenciamento; o desenvolvimento do escopo e das necessidades de trabalho; o planejamento e controle do processo de realização do empreendimento; a aquisição dos serviços para prover o edifício; a aquisição dos recursos para a realização. Segundo o mesmo autor, o gerenciamento é controlado pelos critérios de desempenho, como um

todo, e por aspectos de otimização dos subprocessos, como a construtibilidade.

Além disso, Segundo KOSKELA (1992), o processo de gerenciamento do empreendimento é realizado pelo proprietário e o gerenciamento do projeto, pelo gerente de engenharia ou de projeto da obra; o gerenciamento da execução se caracteriza pela transformação do projeto detalhado em um plano de execução e fabricação, e pela coordenação e controle diário dos processos no canteiro ou na fábrica.

Esta atividade será posteriormente abordada dentro do processo de projeto especificamente no item 3.4.

3.2.3.2 *PLANEJAMENTO*

O conhecimento preciso da viabilidade, a compreensão e atendimento das necessidades e exigências do cliente, o desempenho satisfatório dos critérios de qualidade estabelecidos pelo mercado, a definição estratégica da data de lançamento comercial, assim como, a redução do prazo para entrega do edifício, são essenciais para o sucesso do empreendimento. Assim, a grande competitividade do mercado, as exigências de qualidade, o aumento da complexidade dos edifícios e dos processos de projeto e desenvolvimento dos mesmos, e a sobreposição das etapas de projeto e construção da obra são fatores que exigem o planejamento preciso do processo, o qual deve considerar todo o ciclo de vida do processo de construção.

Com relação ao planejamento de projetos, PICCHI (1993) afirma que o mesmo “refere-se à elaboração de um cronograma, de forma a compatibilizar os prazos de desenvolvimento de todos os projetos e desses com as etapas da obra, prevendo assim, reuniões de compatibilização, datas de entrega de documentos...”

TZORTZOPOULOS (1999) propõe a subdivisão do planejamento em três diferentes níveis de prazo: longo, médio e curto, os quais são executados pelo diretor da construtora, pelo gerente de projetos e pelo coordenador de projetos, respectivamente. O primeiro seria representado por um cronograma físico-financeiro e abordaria o

planejamento estratégico do empreendimento, definindo datas iniciais e finais para cada etapa do projeto e da obra, data para o lançamento comercial, e outros de igual importância. O planejamento a médio prazo definiria o plano de execução de cada uma das etapas do processo e seria executado ao final da etapa anterior, como parte da atividade de aprovação. E o planejamento a curto prazo definiria os planos para a execução das atividades dentro do período de uma ou duas semanas.

Percebe-se que tanto a definição de PICCHI (1993) quanto a proposta de subdivisão do planejamento de TZORTZOPOULOS (1999) estão concentradas basicamente no planejamento cronológico. Porém, acredita-se que à atividade de planejar também está associada a função de tomada de decisão, de escolha, o que exige do planejamento eficácia e não apenas eficiência.

Desta forma, considera-se a definição de SANVIDO (1992), a qual determina que: (a) planejar inclui todas as funções necessárias para definir as necessidades dos proprietários e os métodos para alcançá-las; (b) é uma atividade que traduz a idéia em um programa para o projeto, em um plano de construção do empreendimento e um terreno para implantação; (c) nomear a equipe de planejamento, estudar e definir as necessidades, estudar a viabilidade, desenvolver o programa, desenvolver o plano de execução do empreendimento, selecionar e adquirir o terreno, também fazem parte das suas funções; (d) seu controle se dá por condições impostas pelos participantes (proprietário ou engenheiro), pelo plano de ação, pelo contrato e pelas informações de otimização; (e) a experiência em planejamento e as informações sobre o desempenho da equipe são resultados apresentados.

3.2.3.3 *PROJETO*

Segundo SANVIDO (1992), projetar inclui todas as funções exigidas para definir e comunicar as necessidades dos proprietários para o construtor: (a) traduz o programa e o plano de construção em documentos de venda e execução e documentos de operação e manutenção; (b) seu objetivo é atender as necessidades dos clientes; (c) as suas funções incluem entender exigências funcionais, explorar conceitos, desenvolver estudos dos

sistemas, desenvolver o projeto, comunicar as informações técnicas para os outros participantes; (d) as suas informações condicionantes e de controle são o programa e o terreno, o contrato, o conhecimento do planejamento do empreendimento transferido para a equipe de projeto, o plano de construção do empreendimento e o plano de projeto; (e) os resultados adicionais são a experiência de projeto e as informações sobre o desempenho da equipe.

Para KOSKELA (1992), o processo de projeto é um processo de detecção e resolução de problemas, que pode ser dividido em subprocessos e processos de suporte.

O projeto, um dos assuntos centrais desta pesquisa, será novamente abordado no item 3.4, de forma mais aprofundada.

3.2.3.4 GESTÃO DE SUPRIMENTOS

Para BALLARD (2000), a etapa de suprimentos consiste da fabricação ou compra de componentes e materiais e do gerenciamento da logística de entrega e do inventário, devendo considerar o conjunto dos projetos de engenharia, detalhados a partir do projeto do produto. Segundo esta definição, a fabricação da estrutura metálica e dos demais componentes industrializados está inserida nesta etapa.

3.2.3.5 EXECUÇÃO

A execução de um edifício inclui todas as funções exigidas para concluir o edifício para a operação: (a) traduzem recursos (por exemplo materiais), de acordo com o projeto, em uma obra concluída; (b) as suas funções são contratar serviços de construção, planejar e controlar serviços, prover recursos, construir; (c) produz documentos para a operação; (d) os seus resultados também são a experiência de execução e as informações sobre o desempenho da equipe; (e) e o controle dessa etapa é realizado a partir de documentos e critérios de venda e execução, do plano de construção, dos conhecimentos transferidos do projeto, do contrato e do plano de execução [SANVIDO, 1992]. Segundo MORAES (2000), esta é uma etapa muito influenciada pelo planejamento, uma vez que este

estabelece a seqüência das atividades, considerando aspectos técnicos e operacionais e a coordenação das equipes.

3.2.3.6 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Operação e manutenção são atividades pós-execução, ou melhor, que são desempenhadas após a entrega da obra. A operação inclui gerenciar operações; monitorar a condição funcional do edifício; detectar e avaliar problemas; desenvolver soluções; selecionar plano de ação; implementar plano de ação. O seu controle é realizado com base na experiência da equipe em execução, em documentos de operação, no plano de construção do empreendimento, no plano de operações e no contrato [SANVIDO, 1992].

A manutenção é uma etapa em que os problemas que surgem devem ser investigados e diagnosticados, retroalimentando o processo construtivo [MORAES, 2000].

3.3 O PROJETO

3.3.1 O CONCEITO DE PROJETO

Para NOVAES (2001), cabe a distinção de dois conceitos para projeto: um estático e outro dinâmico. O primeiro se refere ao projeto como produto, “constituído por elementos gráficos e descritivos, ordenado e elaborados de acordo com linguagem apropriada, destinado a atender às necessidades da etapa de produção”, assumindo um caráter tecnológico, devido às soluções presentes nos detalhamentos dos vários projetos. O segundo conceito confere ao projeto um sentido de “processo, através do qual as soluções são elaboradas e necessitam ser compatibilizadas”, assumindo um caráter gerencial, pela natureza de seu processo que é composto por fases diferenciadas e no qual intervém um conjunto de participantes, com responsabilidades quanto a decisões técnicas e econômicas e quanto ao cumprimento de prazos.

O projeto enquanto processo pode ser analisado a partir de vários aspectos: (a) do ponto

de vista da atividade intelectual (processo de criação) e (b) do gerenciamento de operações. E ainda, o processo gerencial, com a subdivisão do processo de projeto em etapas (projeto e execução), divide o tempo total para a tomada de decisões em fases que se desenvolvem do geral e abstrato ao detalhado e concreto.

O equilíbrio nas visões de projeto como processo criativo e como processo gerencial é fundamental, uma vez que a interação entre os intervenientes e a sistematização das atividades e informações ao longo do desenvolvimento do projeto são muito importantes e devem ser consideradas [TZORTZOPOULOS, 1999].

DEFINIÇÃO DE PROJETO

Para a melhor compreensão dos assuntos a serem abordados, algumas definições sobre o termo projeto serão apresentadas. Na literatura, numerosas definições são dadas para o termo projeto dentro dos mais variados contextos.

Os conceitos técnicos são apresentados pelas normas NBR 5670 (ABNT, 1977) e NBR 13531 (ABNT, 1995). Para a segunda, projeto é a “determinação e representação prévias dos atributos funcionais, formais e técnicos de elementos de edificação a construir, a pré-fabricar, a montar, a ampliar, (...) abrangendo os ambientes exteriores e os projetos de elementos da edificação e das instalações prediais”.

Para GRAY *et al.* (1994), o projeto é “uma solução criativa e eficiente para um problema; é forma de expressão pessoal e de arte, uma resposta aos requisitos do cliente, que exige criatividade e originalidade para o desenvolvimento do mesmo” [TZORTZOPOULOS, 1999].

Segundo MELHADO (1994), o projeto pode ser visto como “uma atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução”. Segundo o mesmo autor, o projeto de edificações especificamente deve incorporar a visão do produto, funções e também o processo de produção do mesmo. Desta forma, assume-se na atividade de projeto a

responsabilidade de “construir no papel” e não mais apenas a de caracterização do produto.

3.3.2 O PROJETO COMO PROCESSO CRIATIVO

O projeto é um processo de resolução de problemas, uma atividade criativa e muito pessoal. O processo criativo, é uma seqüência de tomada de decisões que ocorrem individualmente com cada projetista e é descrito através de modelos que buscam exprimir como os projetistas desenvolvem seu trabalho, a partir de um conjunto de informações previamente definidas [MARKUS e ARCH (1973) *apud* TZORTZOPOULOS, 1999].

Parte da definição de um problema é o nível de detalhe que requer atenção; o nível de detalhamento pode ser classificado como de planejamento urbano, de desenho urbano, de arquitetura e de interiores [TZORTZOPOULOS, 1999]. Pode-se dizer que o projeto jamais é finalizado, o problema não é resolvido. Os projetistas simplesmente param de projetar quando seu tempo termina ou quando acreditam que não é vantajoso aumentar o nível de detalhe do projeto. Assim, as dificuldades de projeto podem ser divididas em duas categorias: compreender um problema e desenvolver uma solução.

O problema de projeto é comumente repassado ao projetista por outra pessoa. Ele apresenta um objetivo, algumas restrições (pelos quais o objetivo deve ser alcançado) e alguns critérios (que permitem o reconhecimento de uma boa solução) [CROSS, 1994 *apud* TZORTZOPOULOS, 1999]. Os problemas de projeto possuem as seguintes características: (a) não existe uma formulação definitiva do problema; (b) qualquer formulação do problema pode ter inconsistências; (c) as formulações do problema são dependentes de sua solução; (d) propor solução é uma forma de compreender o problema; (e) não existe uma solução definitiva para o problema; (f) os problemas são, normalmente multidimensionais e altamente interativos.

Já para a resolução de um problema, existem diferentes abordagens. TZORTZOPOULOS (1999) descreve os modelos de projeto (como processo criativo)

propostos por MARKUS e ARCH (1973), RIBA (1980), GRAY *et al.* (1994) e CROSS (1994).

Entender como os projetistas pensam o problema do projeto é uma tarefa difícil. Da análise das propostas, pode-se concluir que o processo criativo se desenvolve segundo fases de assimilação/interpretação/compreensão do problema, geração de alternativas de soluções, comparação/avaliação a partir de critérios de desempenho para a solução, e, finalmente, a decisão/comunicação.

Segundo CROSS (1994) *apud* TZORTZOPOULOS (1999), um modelo prescritivo do processo pode ser definido. O mesmo é representado por sete estágios, os quais podem ser simplificados e melhorados a partir da utilização de métodos adequados. O quadro 3.1 transcreve os dados levantados por TZORTZOPOULOS (1999).

QUADRO 3.1 – Estágios do modelo prescritivo do processo de projeto.

Estágio	Método	Objetivo
Elucidação dos objetivos	Árvore de objetivos	Esclarecer os objetivos de projeto e suas relações.
Estabelecimento de funções	Análise de funções	Estabelecer as funções requisitadas, e os limites do sistema de um novo projeto.
Composição de requisitos	Especificação de desempenho	Desenvolver uma especificação clara do desempenho exigido pelo projeto.
Determinação de características	QFD (<i>Quality Function Deployment</i>)	Estabelecer objetivos a serem atingidos através das características do produto, para que este satisfaça os requisitos dos clientes.
Geração de alternativas	Gráfico morfológico	Gerar uma composição completa das alternativas de soluções de projeto, e assim, ampliar a busca por novas soluções potenciais.
Avaliação das alternativas	Atribuição de valores	Comparar os valores de cada alternativa de projeto, através da definição de valores para os diferentes objetivos.
Melhoria dos detalhes	Engenharia de valor	Aumentar o valor de um produto através da redução de custos de produção.

Fonte: CROSS (1994) *apud* TZORTZOPOULOS (1999).

O que se pode concluir a partir da pesquisa realizada por TZORTZOPOULOS (1999) pode ser resumido da seguinte forma: (a) é fundamental a clara definição das necessidades dos clientes no início do processo; (b) é fundamental a clara identificação do problema; e (c) é fundamental a compreensão do mesmo por todos os projetistas. Também é importante a preocupação com o processo de definição do fluxo de informações e das necessidades de cada cliente interno ao longo do desenvolvimento do projeto.

3.3.3 O PROJETO COMO PROCESSO DE GERENCIAMENTO

3.3.3.1 AS FASES DA ETAPA DE PROJETO

A subdivisão criteriosa do processo é de extrema importância para possibilitar uma melhor compreensão do conteúdo das ações desenvolvidas ao longo do mesmo, assim como, a análise sistêmica e a criação de instrumentos de gestão e controle [TZORTZOPOULOS, 1999].

Na literatura, não existe um padrão quanto ao número de fases que compõem o processo de projeto, mas observa-se, principalmente, na abordagem do processo de projeto. No quadro 3.2, no qual algumas das propostas para subdivisão do processo são descritas, observa-se que alguns autores as restringem às atividades de projeto, enquanto outros, consideram a produção ou execução, a entrega do produto, o uso e a manutenção, e a avaliação pós-ocupação como fases.

Segundo TZORTZOPOULOS (1999), esta variação deve-se aos seguintes fatores: (a) o processo de projeto é complexo; (b) envolve a tomada de decisão em diferentes níveis, dependendo do grau de detalhamento do projeto e das características dos intervenientes envolvidos; (c) é desenvolvido com alto grau de incerteza; e (d) a própria natureza dos empreendimentos, envolvendo, conforme o tipo, a condução de tarefas diferenciadas.

QUADRO 3.2 – Subdivisões propostas para o processo de projeto na literatura.

Referência	Etapas do projeto
SANVIDO (1992)	(a) A idéia do edifício (b) Programa; (c) Estudo preliminar; (d) Anteprojeto; (e) Projeto executivo; (f) Detalhamento (g) Desenhos de venda; (h) Desenhos de fabricação e montagem; (i) Desenhos <i>as built</i> .
SOUZA <i>et al.</i> (1994) <i>apud</i> MORAES (2000)	(a) Levantamento de dados; (b) Programa de necessidades; (c) Estudo de viabilidade; (d) Estudo preliminar; (e) Anteprojeto; (f) Projeto legal; (g) Projeto pré-executivo; (h) Projeto básico; Projeto executivo; (i) Detalhes construtivos; (j) Caderno de especificações; (l) Coordenação e gerenciamento de projetos; (m) Assistência à execução; (n) Projeto <i>as built</i> .
NBR 13531:1995 [ABNT, 1995]	(a) Levantamento; (b) Programa de necessidades; (c) Estudo de viabilidade; (d) Estudo preliminar; (f) Anteprojeto e/ou Pré-execução; (g) Projeto legal; (h) Projeto básico (opcional); (i) Projeto para execução.
NOVAES (1996) <i>apud</i> MORAES (2000)	(a) Decisão de empreender; (b) Viabilidade econômico-financeira e programa do produto; (c) Estudo preliminar; (d) Anteprojeto; (e) Projetos legais; (f) Projetos executivos; (g) Planejamento da produção; (h) Produção; (i) Entrega do produto; (j) Projetos <i>as built</i> ; (k) Uso e manutenção; (l) Avaliação pós-ocupação.
MEL HADO (1997)	(a) Idealização do produto; (b) Estudo preliminar; (c) Anteprojeto; (d) Projeto legal; (e) Projeto executivo; (f) Projeto para produção; (g) Planejamento e execução; (h) Entrega.
TZORTZOPOULOS (1999)	(a) Planejamento e concepção do empreendimento; (b) Estudo preliminar; (c) Anteprojeto; (d) Projeto legal; (e) Projeto executivo; (f) Acompanhamento de obra; (g) Acompanhamento de uso.
NOVAES (2001)	(a) Estudo de viabilidade e concepção do produto; análise crítica; (b) Estudo preliminar produto/produção; compatibilização; análise crítica; (c) Anteprojeto produto/produção; compatibilização; análise crítica; (d) Detalhamento produto/produção; compatibilização; análise crítica; (e) Produção.

O que se percebe nas fases de projeto propostas é que elas são consideradas de forma única. Todas as especialidades de projeto desenvolvem, por exemplo, o anteprojeto; após a finalização dessa fase, todas as especialidades iniciam a próxima, projetos executivos por exemplo. TZORTZOULOS (1999) sugere, assim, a determinação dos marcos de início e fim de cada fase.

Porém, observa-se que, na prática, muitas das interferências somente são descobertas quando se inicia o detalhamento, e essas interferências podem ter como causa defeitos

de concepção, indicando que o processo não evolui de forma tão linear.

Para KOSKELA *et al.* (1997), com relação ao gerenciamento do processo de projeto, as seguintes hipóteses podem ser consideradas: (a) há uma seqüência ótima de tarefas; (b) incertezas internas e externas tendem a induzir o processo de projeto para longe dessa seqüência ótima; (c) o processo fora de seqüência conduz a baixa produtividade, prorrogação do prazo e redução do valor da solução; (d) é possível e vantajoso forçar a realização dessa ótima seqüência de projeto ou de uma seqüência próxima da ótima; e (e) a experiência dos projetistas serve de base para a determinação dessa seqüência ótima. Segundo o mesmo autor, especialmente nas primeiras fases de um projeto, há uma restrição inerente à determinação da ordem ótima de tarefas: esta pode depender de uma decisão de projeto a ser tomada, por exemplo, a seleção dos sistemas construtivos e da tecnologia a serem utilizados.

3.3.3.2 O PROCESSO DE GERENCIAMENTO

O projeto voltado para a construção é um processo muito difícil para ser administrado, pois, inclui um número muito grande de decisões, às vezes ao longo de um período de anos, com numerosas interdependências, em um ambiente altamente incerto. Muitos são os profissionais de diferentes especialidades envolvidos, como arquitetos, gerentes de projeto, engenheiros estruturais, de instalações, de mecânica e outros, além de consultores de *marketing* e do mercado imobiliário, representantes de seguradoras e de concessionárias. Além disso, a retroalimentação das informações, desde as etapas de execução e de operação da edificação, costuma levar muito tempo e tende a ser ineficaz.

O projeto, tanto do processo quanto do produto, pode ser entendido como um tipo de produção; logo, exige o controle e planejamento da produção [BALLARD, 1999].

Mas, do ponto de vista do gerenciamento de operações, existem diferenças intrínsecas entre produção material e tal atividade intelectual que é projetar. Algumas das mais notáveis diferenças entre projeto e produção são [KOSKELA, 2000]:

- [1] existe mais interação no projeto do que na produção física;
- [2] existem mais incertezas no projeto do que na produção;
- [3] o projeto é uma atividade não repetitiva, enquanto a produção geralmente o é;
- [4] no projeto, as necessidades do cliente são traduzidas para uma solução de projeto; na produção, esta solução é realizada.

Além disso, o atributo primário de valor para o cliente (desempenho funcional) é determinado no projeto, eliminando-se a produção defeituosa. Assim, os aspectos de valor para o projeto são mais significativos.

O processo de projeto precisa ser planejado e controlado mais eficazmente para minimizar os efeitos de complexidade e incerteza. A falta de planejamento do projeto pode resultar em informações insuficientes para concluir tarefas de projeto, como também, inconsistências dentro de documentos de construção [KOSKELA, 2000]. Deficiência na comunicação, falta de documentação adequada, distribuição de recursos de forma desequilibrada, falta de coordenação entre especialidades de projeto e tomada irregular de decisão, segundo o mesmo autor, são os principais problemas no gerenciamento do processo de projeto.

Similar ao desenvolvimento histórico da produção se deu a evolução do processo de projeto. A prática de gerenciamento de projeto, segundo KOSKELA (2000), pode ser agrupada em três períodos: Projeto como Arte/Ofício, Engenharia Sequencial, e Engenharia Simultânea (ES). A necessidade de evolução para métodos sistematizados de gerenciamento e coordenação de projeto se deu em função do aumento da complexidade dos produtos e dos correspondentes processos de produção após a segunda guerra mundial.

KOSKELA (2000) propôs a teoria TFV (transformação-fluxo-valor) de produção, com o objetivo de que esta fornecesse uma nova fundamentação teórica para a construção e servisse como base para o desenvolvimento de métodos e ferramentas. No trabalho acima referido, o autor analisa tanto o processo de projeto como a execução e define um terceiro modelo conceitual independente: geração de valor.

Na presente pesquisa, foram adotados os conceitos da ES, que no Brasil foram abordados em diversos trabalhos como MELHADO (1997); (1998b); FABRICIO e MELHADO; TZORTZOPOULOS (1999); FABRICIO e MELHADO; MORAES (2000); e os princípios da teoria TFV, proposta por KOSKELA (2000).

Para melhor compreensão, a seguir, serão definidos os conceitos de cliente, transformação, fluxo e valor, os quais são amplamente utilizados para explicar os modelos de gerenciamento do processo de projeto.

O CONCEITO DE CLIENTE

O processo de projeto tem dois consumidores: o processo de construção e o cliente. Mas o cliente pode ser interno ou externo ao processo. Um cliente interno pode ser um projetista que dependa de uma informação de outra especialidade de projeto. O cliente externo pode estar representado pelo consumidor final, pelo usuário ou pelo proprietário, ou por todos ao mesmo tempo. Já para a construção, o consumidor é o cliente.

O CONCEITO DE TRANSFORMAÇÃO

Transformação, dentro do processo de projeto, deve ser entendida como a conversão de exigências e outras informações de entrada em um projeto do produto.

O CONCEITO DE FLUXO

O fluxo é a sequência de atividades composta pela transformação (projeto), inspeção, movimento e espera da informação. Apenas as atividades de transformação adicionam valor ao produto.

O CONCEITO DE VALOR

O valor, dentro do processo de projeto, refere-se à satisfação das exigências dos clientes, internos ou externos ao processo. Assim, o valor somente pode ser determinado

pelo cliente e ser validado quando produzido em termos dos atributos de qualidade, custo, prazos ou flexibilidade, desejados pelo cliente. O valor para o cliente é determinado pela qualidade da transformação, das exigências em soluções de projeto, pelo nível de otimização alcançado e pelo impacto dos erros de projeto que são descobertos durante a utilização. O valor para o processo de construção é determinado pelo grau de consideração das exigências e restrições do processo de construção; e pelo impacto dos erros de projeto que são descobertos durante a construção. Já o valor da construção para o cliente é determinado pela inexistência de defeitos descobertos durante o uso.

3.3.3.3 O PROCESSO DE PROJETO CONVENCIONAL

O conceito convencional de projeto foi preponderante na indústria seriada desde a segunda guerra mundial até a década de 80. Neste modelo, o projeto é visto como uma atividade de transformação e são desconsiderados os aspectos relativos ao conceito de fluxo, e geração de valor. “Projetar é um processo de converter uma informação, que caracteriza as necessidades e exigências de um produto, em conhecimento sobre este produto” [MISTREE *et al.*, 1993 *apud* KOSKELA, 2000].

Assim, o processo de projeto é uma atividade que tem como informações de entrada as necessidades e os requisitos dos clientes, internos ou externos; e como produto, o projeto do edifício. O modelo permite que o processo seja dividido em subprocessos, representados pelos projetistas das diferentes especialidades. A figura 3.1 representa de forma esquemática o modelo.

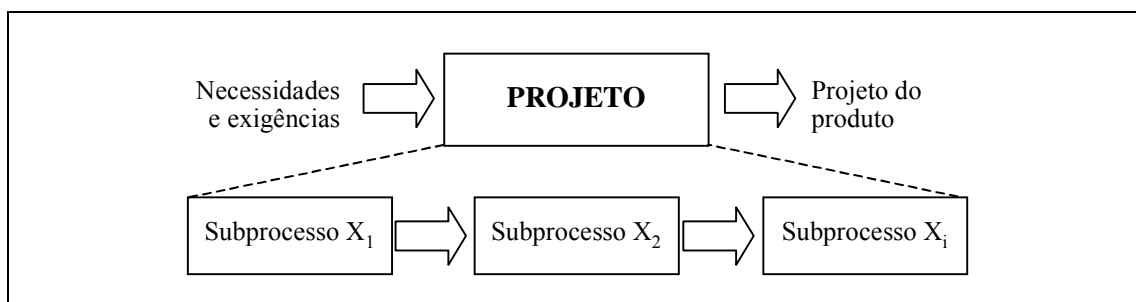


FIGURA 3.1 – Visão de conversão no processo de projeto.
Fonte: Adaptada de KOSKELA (2000).

Este modelo tem como princípios: (a) pode ser dividido em subprocessos, os quais são processos de conversão; (b) o custo total do processo pode ser minimizado pela minimização do custo de cada subprocesso; (c) é vantajoso isolar o processo de produção do ambiente externo; e (d) o valor da saída está associado com os custos das entradas. Segundo o mesmo autor, KOSKELA (1998), esses princípios têm como deficiências, respectivamente: (a) ocultam atividades que não são de conversão (desperdício) e admitem todas as atividades como similares; (b) ocultam as interdependências entre as atividades; (c) sugerem aumentar atividades de não conversão por causa da coordenação; e (d) ocultam a oportunidade de aumentar o valor através da atenção as exigências do cliente.

De maneira geral, o modelo convencional de projeto apresenta os seguintes problemas: (a) dificuldade de projetar para simplicidade e confiabilidade; (b) prazos excessivos para desenvolvimento; (c) projeto deficiente para a produtividade; (d) inadequada atenção aos clientes; (e) negligência ao melhoramento contínuo; e (f) fraca ligação com os fornecedores¹⁰ [CLARK e FUJIMOTO, 1991 *apud* KOSKELA, 2000];

A existência de atividades que não agregam valor, e não são explícitas pelo modelo, e a não identificação dos distintos requisitos dos clientes específicos são também problemas apresentados pelo modelo convencional de projeto [HUOVILA *et al.*, 1997]. Assim, a sua utilização contribui para o surgimento de outros problemas no processo de construção: (a) não definição de vários requisitos no início do processo; (b) retrabalhos causados por erros de projetos detectados em fases avançadas; (c) baixa interação entre os projetistas; (d) esperas de aprovações, instruções ou informações requerem a maior parte do tempo dos projetistas; (e) elaboração dos projetos, em geral, com alto custo e baixa qualidade; (f) desenvolvimento das atividades de forma sequencial, ocorrendo, muitas vezes, um grande período de espera para o desenvolvimento de ações subsequentes [HUOVILA *et al.*, *op. cit.*].

Segundo os autores acima, o modelo convencional de gerenciamento do projeto tende a

¹⁰ No caso de construções compostas por sistemas industrializados, este item se torna ainda mais grave.

ser caracterizado pela organização seqüencial das atividades de projeto. No processo de construção, freqüentemente, o cliente contrata um arquiteto, que desenvolve todos os projetos e especificações. Os projetos das especialidades complementares (estrutural, mecânica, de instalações) são então estudados. A proposta arquitetônica pode ou não ser viável do ponto de vista dos outros projetistas e assim negociações e revisões são necessárias. Do ponto de vista da construtibilidade da solução, esse aspecto só é verificado depois dos projetos finalizados e muitas vezes apenas durante a execução. A figura 3.2 esquematiza, genericamente, este processo.

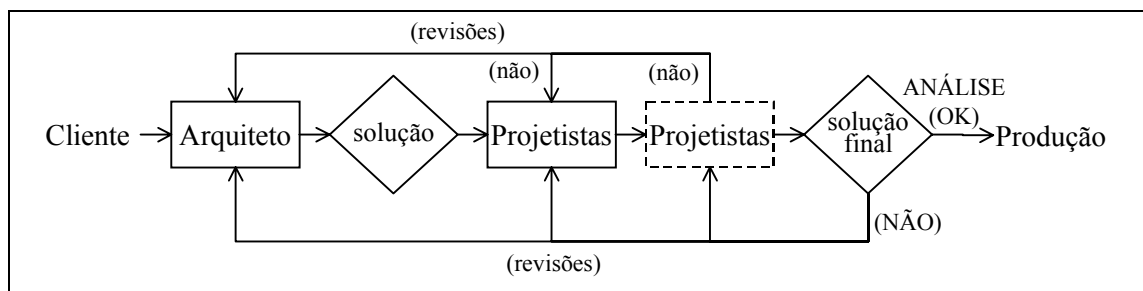


FIGURA 3.2 – Diagrama esquemático do processo de projeto convencional.

Segundo NOVAES (2001), a dissociação da etapa de projeto da etapa de execução da obra resulta em omissões nos detalhamentos e na ausência de conclusão na composição dos projetos relutantes, atribuindo ao pessoal no canteiro de obra, por consequência, indevida responsabilidade por decisões.

3.3.3.4 A ENGENHARIA SIMULTÂNEA

A Engenharia Simultânea (ES) emergiu na década de 80, representando uma mudança teórica, similar à Nova Filosofia de Produção, voltada para o processo de desenvolvimento e projeto do produto. Embora possua idéias semelhantes aos conceitos do JIT e TQC, não originou diretamente deles. Seus princípios, assim como os métodos e ferramentas desenvolvidas a partir dela, vêm sendo amplamente aplicado na prática, porém sob diversas definições [KOSKELA, 2000].

O argumento básico para a evolução do modelo de gerenciamento do processo é que o modo convencional (seqüencial) de projeto e execução da obra, vê o processo apenas

como transformação; enquanto que a ES baseia-se na visão simultânea, principalmente intuitiva, de projeto e engenharia como transformação e fluxo, considerando o conceito de geração de valor.

A mais difundida definição de ES foi apresentada por WINNER *et al.* (1988) como sendo uma abordagem sistemática para o projeto integrado e simultâneo do produto e seus relativos processos, incluindo manufatura e suporte. Segundo os mesmos, esta abordagem visa que sejam considerados, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto desde a concepção até a entrega, incluindo qualidade, custo, cronograma e necessidades dos usuários.

Para KOSKELA (1992), “simultâneo” se refere à consideração simultânea ou integrada de múltiplos critérios de projeto, que expressam as necessidades ou desejos de múltiplos clientes do processo. Em outras palavras, o mesmo autor define o termo ES como um processo caracterizado pela análise rigorosa das exigências, incorporação de condicionantes de fases subseqüentes na fase conceitual e incremento do controle de mudanças conforme o processo evolui.

KAMARA *et al.* (2001) definem as metas, objetivos, estratégias e táticas conforme a figura 3.3. As táticas facilitam a implementação das estratégias, as quais garantem o cumprimento dos objetivos, os quais conduzem para que as metas sejam atingidas.

Para FABRICIO e MELHADO (2000), a aplicação de práticas de engenharia simultânea na construção civil brasileira, pressupõe a definição de modelos e métodos próprios que possam responder aos problemas específicos do setor. Parte dos princípios da ES são considerados aplicáveis no gerenciamento do processo de projeto na construção de edifícios. Três formas de aplicação dos princípios da ES não são excludentes e, sim, compatíveis, podendo ser associadas parcial ou totalmente [MELHADO, 2000]. São elas:

[1] cooperação na etapa do programa, entre empreendedores e equipe de projeto;

[2] o chamado projeto simultâneo, envolvendo sistemas de troca de dados e métodos de

trabalho conjunto entre os integrantes da equipe de projeto;

[3] integração projeto-produção, incluindo o detalhamento do projeto com a participação dos fabricantes de sistemas e dos construtores, assim como a adoção da etapa de preparação do canteiro de obras.

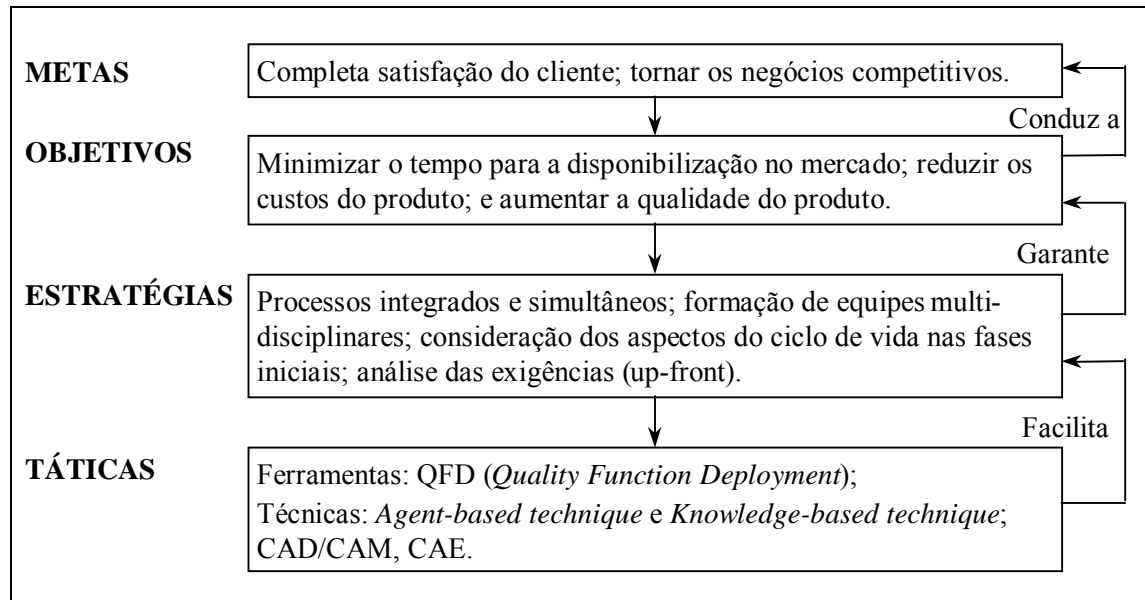


FIGURA 3.3 – Esquema para compreensão dos conceitos da ES.
Fonte: KAMARA *et al.*(2001).

Parte da estrutura conceitual da ES dentro da construção pode ser esquematizada pela figura 3.4, a qual focaliza as fases de projeto [KAMARA *et al.*, 2001].

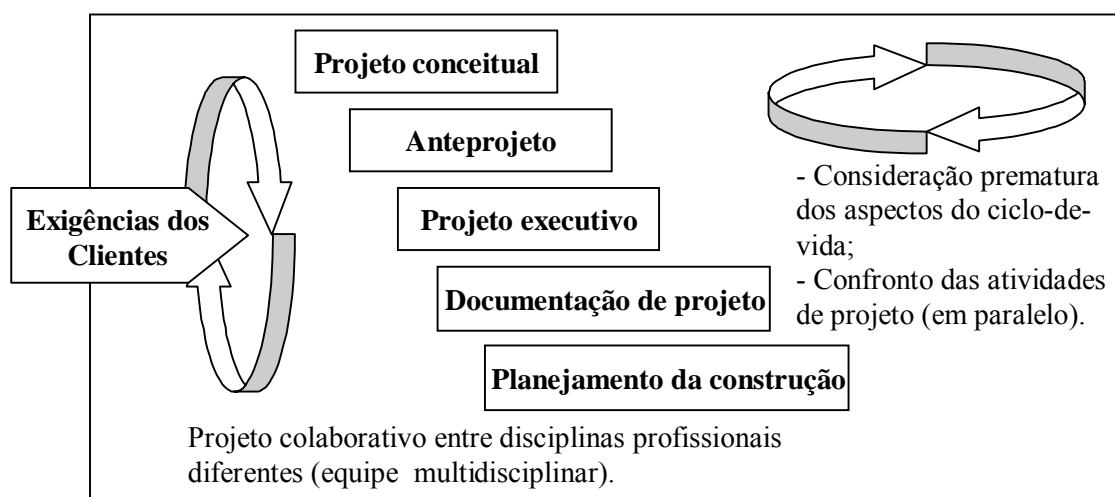


FIGURA 3.4 – Fases de projeto dentro da estrutura conceitual da ES para a construção.
Fonte: KAMARA *et al.*(2001).

Segundo MELHADO (2000), a cooperação entre o empreendedor e a equipe de projeto, especialmente com o arquiteto, envolve a elaboração e a crítica de programas para o produto, para a geração de referências de análise e validação das soluções que serão desenvolvidas no projeto, facilitando o desempenho da gestão da qualidade; o projeto simultâneo, considerado pelo autor como uma das aplicações mais diretas da ES, exige a eliminação da sequencialidade no desenvolvimento do projeto e a perfeita integração entre projetistas; já na integração projeto-produção, projetistas, construtores e fornecedores estudam as interfaces, a antecipação dos conflitos, a disseminação das informações entre os responsáveis pela execução da obra e, assim, obtêm uma integração entre as prescrições do projeto e a viabilização dos serviços de execução, favorecendo a retroalimentação da atividade de projeto e a ampliação das competências dos projetistas.

A figura 3.5 representa o esquema para desenvolvimento do projeto proposto por MELHADO *et al.* (1996) *apud* SOUZA e MELHADO (1998), considerando participação formal de consultores de tecnologia e outros projetistas durante a elaboração do estudo preliminar de arquitetura; a formação de equipe multidisciplinar durante a fase de anteprojeto; a elaboração do projeto do processo de produção, durante a fase de projeto executivo, como atividade paralela à elaboração do projeto do edifício; e a retroalimentação de informações do canteiro na fase de anteprojeto. A formação de uma equipe multidisciplinar e a integração dos processos exige o estabelecimento de um coordenador para a fase de projeto.

Como a ES está focada na satisfação final do cliente, é essencial a devida atenção ao entendimento das suas exigências e a integração destas no processo de projeto. Assim, a definição de uma metodologia para captura e apresentação das exigências do cliente (interno e externo) é considerada vital. Desta forma, KAMARA *et al.* (2001) propõe diretrizes para a consideração das exigências do cliente dentro da estrutura da ES. Estas diretrizes serão abordadas no item específico 3.3.3.6.

A seguir, são revistos fatores que influenciam na aplicabilidade da ES na construção civil. O quadro 3.3 relata algumas características desse setor que influenciam na

aplicação da ES, segundo FABRÍCIO e MELHADO (2000).

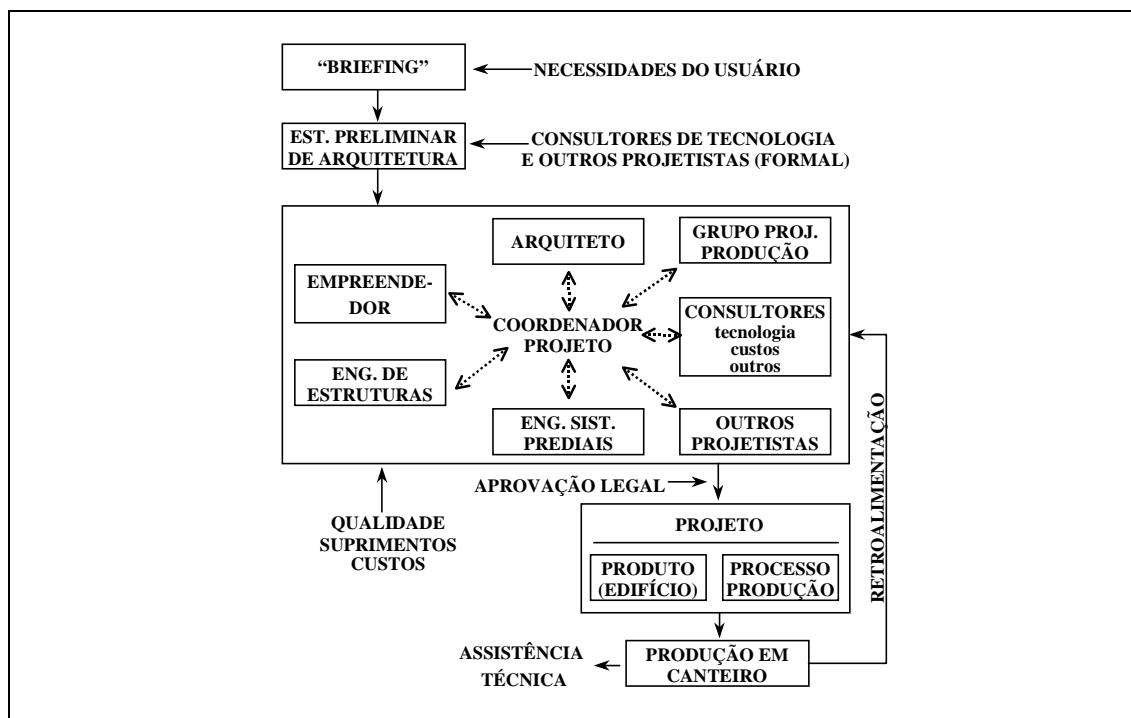


FIGURA 3.5 – Esquema de desenvolvimento do projeto.
Fonte: MELHADO *et al.* (1996) *apud* SOUZA e MELHADO (1998).

QUADRO 3.3 - Peculiaridades da construção civil que interferem na aplicação da ES.

Aspecto	Características
Natureza do empreendimento o de construção	Na construção, o planejamento e programação do empreendimento, concepção e projeto, e produção são muito mais pulverizados (a cargo de diferentes agentes) que na manufatura; O negócio da construção de edifícios envolve aspectos imobiliários que condicionam o sucesso do edifício à capacidade de incorporar terrenos, deslocando parte dos requisitos de sucesso do empreendimento da esfera produtiva para área imobiliária.
Tipo e características do produto	A complexidade do edifício, envolvendo uma forte interação com as dinâmicas urbanas, coloca um fator de difícil controle e previsão para ser tratado. O longo ciclo de vida faz com que sejam precárias as condições de planejamento de todas as transformações e solicitações que o edifício sofrerá durante sua existência.
Cultura e aspectos relacionais	As relações entre agentes são muito mais sazonais e contratuais pautadas pelo ciclo de empreendimentos não repetitivos. Ao contrário da manufatura, na construção, os clientes costumam interferir significativamente na gestão interna do empreendimento e na sua produção.

Fonte: FABRÍCIO e MELHADO (2000).

QUADRO 3.3 - Peculiaridades da construção civil que interferem na aplicação da ES.
(continuação)

Aspecto	Características
Fornecedores	Predomina no setor uma forte fragmentação e heterogeneidade entre os tipos de fornecedores (indústrias, subempreiteiros, projetistas, etc.) que participam do empreendimento. Por diversas razões geográficas e de mercado, a manutenção dos mesmos fornecedores, em diferentes empreendimentos, é bastante dificultada. Dados os diferentes portes das empresas envolvidas, o poder de negociação com os fornecedores é mais restrito e variado conforme o tipo de fornecedor.
Escala de produção	A construção costuma trabalhar com pequenas escalas - o que reduz, relativamente, a possibilidade de amortização dos custos do projeto.
Limitações do canteiro	Na construção, o local de produção (canteiro) é muito mais sujeito a variações e intempéries.

Fonte: FABRÍCIO e MELHADO (2000).

3.3.3.5 A NOVA TEORIA TFV (TRASFORMAZIONE-FLUXO-VALOR)

O principal insumo do processo de projeto é a informação. O fluxo da informação é composto por processos de transformação, comunicação, espera e inspeção. Apenas as atividades de transformação agregam valor ao produto. Atividades que não agregam valor devem ser eliminadas ou reduzidas. O valor é medido em função da satisfação do cliente, seja esse interno ou externo ao processo.

Assim, KOSKELA (2000) encontrou fundamento nos problemas encontrados por CLARK e FUJIMOTO (1991) no processo de projeto convencional para concluir que o conceito de transformação não é suficiente para o entendimento ou melhoramento de processos de projeto, pois (a) também existem atividades no processo de projeto que não contribuem para transformação; e (b) o processo de projeto, total ou parcial, não é conceitualmente relacionado aos seus clientes.

Segundo o mesmo autor, soluções para as falhas encontradas por CLAUSING (1994), na abordagem tradicional do processo de projeto (a falta de clareza em relação às atividades e a falta de unidade dentro da equipe), foram buscadas na estrutura da ES, por essa apresentar princípios e métodos baseados em dois conceitos distintos e ausentes na abordagem convencional: o conceito de fluxo e o conceito de geração de

valor. Mas, para o autor, a abordagem destes princípios é predominantemente implícita, baseada em uma compreensão principalmente intuitiva e não são visões reconhecidas de forma comum na literatura pertinente à ES.

Desta forma, KOSKELA (2000) propôs a nova teoria TFV (transformação-fluxo-valor) de produção, a qual, para esse autor, fornece uma nova fundamentação teórica para a construção, servindo como base para o desenvolvimento de métodos e ferramentas. Na proposta da teoria, considera-se tanto o processo de execução quanto o processo de projeto e define-se um terceiro modelo conceitual independente: geração de valor.

Com relação à produção (em caráter generalizado), as características das três visões são as seguintes:

[1] No primeiro conceito (Transformação-FV), a produção é vista como transformação de entradas em saídas; já o gerenciamento nesta visão se compara à decomposição da transformação total em transformações elementares, tarefas, e sua realização de forma eficiente, tanto quanto possível. Minimizar os custos de todas as tarefas decompostas é outro princípio associado a essa visão;

[2] O segundo conceito (T-Fluxo-V) vê a produção como um fluxo, no qual além da transformação, existem estágios de espera, inspeção e transporte; o gerenciamento se compara à minimização das fases de não transformação do fluxo, ou seja, atividades que não agregam valor, especialmente pela redução da variabilidade. Reduzir o tempo gasto, simplificar, e aumentar a transparência e a flexibilidade são princípios também associados;

[3] O terceiro conceito (TF-Valor) vê a produção como um meio para o preenchimento das necessidades do cliente. Nesta visão, o gerenciamento se compara a tradução precisa destas necessidades em uma solução de projeto e então na produção de produtos em conformidade ao projeto especificado. Assegurar que todas as exigências sejam capturadas, organizar essas exigências, considerá-las em todos os produtos ou serviços a serem entregues, assegurar a capacidade do sistema de produção e medir o valor, são os

princípios associados a essa visão.

Especificamente em relação ao processo de projeto, princípios, métodos e contribuições de cada visão podem ser descritos. No quadro 3.4, estão resumidas estas informações.

QUADRO 3.4 – Conceitos das visões de transformação, fluxo e geração de valor do projeto.

	Transformação	Fluxo	Geração de Valor
Conceito de projeto	Como uma transformação das exigências e outras informações de entrada em um projeto do produto.	Como um fluxo de informação, composto por transformação, inspeção, comunicação e espera.	Como um processo onde o valor para o cliente é gerado através do preenchimento de suas exigências.
Principais princípios	Decomposição hierárquica; Controle e otimização de atividades decompostas.	Eliminação de atividades desnecessárias (desperdício); Redução do tempo; Redução de incertezas.	Eliminação de perda de valor (valor alcançado em relação ao melhor valor possível).
Métodos e práticas (exemplos)	<i>Work breakdown structure</i> (WBS); <i>Critical Path Method</i> (CPM); Quadro de responsabilidade organizacional.	<i>Design Structure Matrix</i> (DSM) ¹¹ ; Abordagem de equipe; Ferramentas de integração; <i>Trabalhar em parceria</i>	QFD; Engenharia de Valor, Métodos Taguchi.
Contribuição prática	Controlar as atividades a serem desenvolvidas	Controlar para minimizar as atividades desnecessárias	Controlar para que as exigências dos clientes sejam atendidas da melhor maneira possível
Nomes sugeridos	Gerenciamento de tarefa	Gerenciamento de fluxo	Gerenciamento de valor

Fonte: KOSKELA (2000).

O PROJETO COMO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO

O processo de transformação é visto como a transformação das exigências e outras informações de entrada em um projeto do produto. Este processo é representado pela figura 3.6. Suas características, deficiências e problemas são os mesmos já apresentados anteriormente.

¹¹ Maiores informações na página 70.

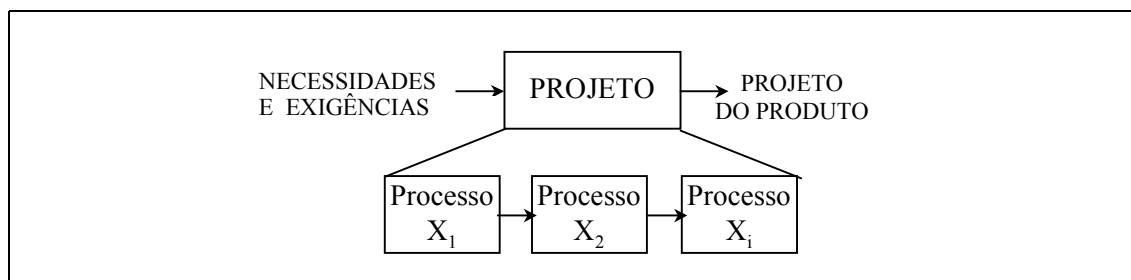


FIGURA 3.6 – Projeto como transformação e sua decomposição hierárquica.
Fonte: Adaptada de KOSKELA (2000).

O PROJETO COMO PROCESSO DE FLUXO

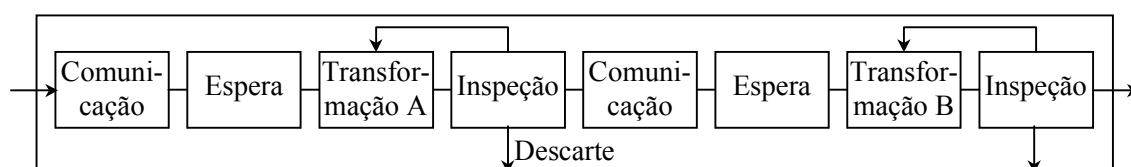


FIGURA 3.7 – Projeto como fluxo.
Fonte: Adaptada de KOSKELA (2000).

A figura 3.7 ilustra a visão do projeto como processo de fluxo. O processo de fluxo é visto como um fluxo de informações, composto por transformação, inspeção, comunicação e espera. Na visão de fluxo, a melhoria do processo está na redução do tempo e na eliminação do desperdício. Na redução do tempo, porque a parcela de tempo do processo destinada à transformação (que agrega valor) é relativamente pequena em relação à soma do tempo gasto com as outras três atividades. Como desperdício, pode-se considerar o retrabalho, o tempo gasto na transferência e na espera da informação, e a realização de trabalhos desnecessários. A seguir, serão descritas as principais características de cada categoria de desperdício, segundo KOSKELA (2000):

[1] Retrabalho: as principais causas, e correspondentes ações para melhoramento, estão descritas no quadro 3.5;

QUADRO 3.5 – Causas e ações para melhoria do retrabalho.

Causas de retrabalho	Ações para melhoria
Variabilidade associada à incerteza.	Redução das incertezas nas primeiras fases do processo de construção [BOWEN, 1992].
Mudanças nas necessidades ou no escopo	Assegurar a definição cuidadosa do escopo [LAUFER, 1997].
Restrições de fases anteriores omitidas em fases posteriores	Consideração de todas as fases do ciclo de vida simultaneamente desde a fase conceitual; formação de uma equipe multidisciplinar.
Deficiência na ordem das tarefas.	Redução de iterações desnecessárias e processo de projeto transparente, através do método de representação de fluxos de informação entre tarefas de projeto chamado <i>de Design Structure Matrix</i> (EPPINGER <i>et al.</i> , 1994)
Incertezas por falta de informação definitiva sobre a tarefa..	Protótipo, simulação, podem ser usados para diminuir este tipo de incerteza tecnológica [BARKAN <i>et al.</i> , 1992; SCHRAGE, 1993]; tomada de decisão.
Necessidade de correção de erros de projeto.	Várias ferramentas de gerenciamento de qualidade podem ser usadas.

Fonte: Baseado em KOSKELA (2000).

[2] Transferência de informação: o tempo e o esforço necessário na comunicação da informação pode ser reduzido através da abordagem de equipe, uma vez que esta permite que informações sejam transferidas informalmente e oralmente, sem papel ou dispositivos de comunicação, ou outorgando autoridade para que a equipe tome decisões no lugar das camadas hierárquicas superiores;

[3] Espera de informação: longos períodos de espera pela informação podem ser em função (a) da transferência em grandes blocos de dados de entrada para fases seguintes do processo de projeto; (b) necessidade de espera por decisões do cliente, especialmente em projetos de produtos exclusivos ou particulares; e (c) baixo controle do processo de desenvolvimento e projeto do produto. Soluções para esses problemas são, respectivamente, (a) divisão das fases de projeto em tarefas, comunicação informal intensa, e cooperação de equipe; (b) melhor integração do cliente no processo de projeto para a tomada de decisão;

[4] Trabalho desnecessário: considerando o projeto como uma relação interna entre fornecedor e cliente, a especificação deficiente do fornecedor para o cliente pode induzir a um esforço adicional na atividade do cliente ou exigir do fornecedor o retrabalho ou a continuação do trabalho. Dentro do processo de produção, o maior cliente do projeto é a construção; assim, faz-se necessário realizar projetos para fabricação e montagem;

[5] Soluções tecnológicas incompatíveis: se não for possível eliminar a atividade que não adiciona valor, a segunda melhor opção é torná-la mais eficiente, através de novas soluções tecnológicas; mas, a incompatibilidade entre ferramentas de projeto pode causar outro tipo de desperdício, a necessidade de conversão manual de dados.

O PROJETO COMO UM PROCESSO DE GERAÇÃO DE VALOR

O processo de geração de valor é visto como um processo onde o valor para o cliente é gerado através do atendimento às suas exigências. A figura 3.8 demonstra a relação entre fornecedor e cliente estabelecida pelo projeto como processo de geração de valor.

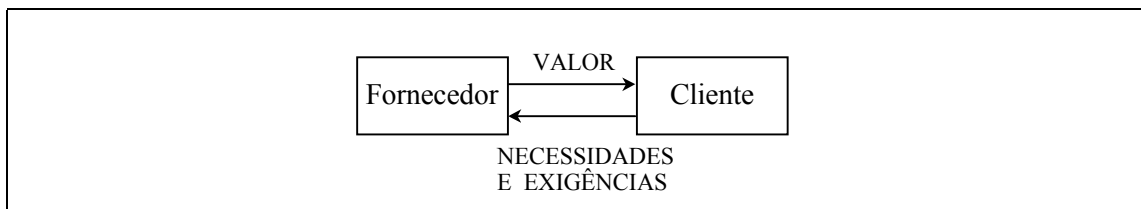


FIGURA 3.8 – Projeto como geração de valor.
Fonte: KOSKELA (2000).

Assim, a geração de valor de um fornecedor para o cliente é o foco desta visão. O valor é gerado através da satisfação das necessidades e exigências do cliente. Essas necessidades e exigências são consideradas e convertidas em atributos de qualidade, custo, prazo e flexibilidade, ao longo de uma ou mais fases, até a entrega do produto ou do serviço. Sendo o ciclo do projeto do produto composto por todas as fases onde as características funcionais de um produto são determinadas, pelo menos três problemas podem surgir: a captura de exigências não ser perfeita; as exigências ficarem perdidas

ou permanecerem sem uso; e a conversão não ser ótima. A eliminação destes problemas é o principal foco desta visão, conforme se estabelece a seguir:

[1] Falta de exigências: este tipo de problema pode ter origem na análise deficiente das exigências devido o cliente consistir de um grande número de pessoas ou o número de exigências ser muito grande ou variado, tornando-se difícil o gerenciamento. A solução para este problema é a análise rigorosa das necessidades e exigências no início do processo, com a cooperação do cliente;

[2] Perda de exigências: parte das exigências pode ser perdida durante as muitas fases do processo de projeto, por não ser comunicada a intenção de um projetista em relação às tarefas posteriores ou pela priorização inversa do desejo do cliente. Para este problema, o método QFD fornece ligação formal entre exigências e soluções correspondentes ao longo do processo de construção e um método sistemático de fixação de prioridades, baseado nas exigências priorizadas pelo cliente;

[3] Otimização: a otimização no processo de projeto consiste de negociações a serem feitas sabiamente na estrutura de exigências globais do cliente. Uma condição para a otimização é o trabalho de equipe associado a metas organizadas de forma comum, visibilidade completa, considerações mútuas de todas as decisões, colaboração para solucionar conflitos e igualdade entre os diferentes especialistas [LINTON *et al.*, 1992 *apud* KOSKELA, 2000].

O CONCEITO TFV NO PROCESSO DE PROJETO

As três visões não são teorias que competem entre si, mas abordagens parciais e complementares. Porém, apenas a visão de transformação tem sido explicitamente modelada, gerenciada e controlada; as outras duas visões têm sido consideradas pelos projetistas de modo informal. Atividades que não contribuem para a transformação são consideradas desperdício e, desta forma, considera-se que devam ser eliminadas ou reduzidas, ao invés de melhoradas.

Cada tarefa, em si mesma, é uma transformação. Além disso, é uma fase no processo onde tarefas precedentes a influenciam e ela influencia tarefas subsequentes. E certas exigências de clientes (externos ou internos) direcionam a transformação de toda informação de entrada em soluções em cada tarefa.

A análise da abordagem simultânea das três visões permite a percepção das seguintes interferências entre as mesmas [KOSKELA, 2000]:

[1] a deficiente definição das necessidades (domínio do gerenciamento de valor) causa interrupção no gerenciamento da tarefa e do fluxo por mudanças de projeto inesperadas;

[2] a visão de transformação enfatiza a conclusão de cada tarefa; a visão de fluxo faz com que cada tarefa tenha uma pequena e previsível duração. Contudo, na visão de valor, o objetivo é encontrar uma solução ainda melhor para cada tarefa, usando todo tempo disponível. Assim a abordagem mais balanceada das três visões, para projetos complexos, seria a consideração de um conjunto de alternativas que fossem estudadas até a solução final surgir.

3.3.4 AÇÕES PARA MELHORIA DO PROCESSO DE PROJETO

Na literatura, ações de melhoria são propostas por diversos autores, como qualificação de projetistas, formação de equipes multidisciplinares, coordenação de projetos, padronização de procedimentos, retroalimentação do processo de projeto, elaboração de projetos para produção, etc. A seguir, serão apresentadas algumas das ações sugeridas, considerando dados da literatura, mas também expressando o ponto de vista considerado nesta pesquisa.

FORMAR EQUIPES MULTIDISCIPLINARES

Esta é uma ação proposta por teorias como Projeto Simultâneo [FABRICIO e MELHADO, 2000] e ES.

A crescente complexidade dos empreendimentos e seus processos têm aumentado o

número de especialistas no processo de projeto. A necessidade da participação de profissionais do canteiro, fornecedores, consultores, exige a formação de uma equipe integrada de projeto, multidisciplinar, a qual deverá ser coordenada. Para que o trabalho de coordenação tenha resultados satisfatórios, a equipe de projetos deverá ser definida no início do empreendimento com o objetivo de que as informações sejam compartilhadas desde a concepção do projeto.

CRIAR A FUNÇÃO DE COORDENADOR

A coordenação de projetos é uma função gerencial. CONDE (2000), citando SOUZA *et al.* (1994), diz que a coordenação de projetos tem como objetivo garantir que soluções adotadas sejam abrangentes, integradas e detalhadas e que, depois de terminado o projeto, a execução ocorra de forma contínua, sem interrupções e imprevistos.

A coordenação dos projetos pode ser exercida pela equipe interna da construtora, pelo escritório de arquitetura ou por um profissional ou empresa especializada. SOUZA e MELHADO (1998) afirmam que o arquiteto conhece profundamente o projeto arquitetônico e suas inter-relações com os demais, mas apresenta a desvantagem de ter conhecimentos restritos sobre o processo de produção, privilegiar aspectos estéticos e menosprezar os custos; a equipe da construtora conhece a cultura construtiva da empresa e sabe exatamente de que precisa do projeto, mas pode desprezar aspectos próprios de cada um dos projetistas, sendo tendenciosa; já um consultor tem a visão imparcial sobre o projeto e pode contribuir para a construtibilidade, porém, em geral, é um serviço caro.

Mas o que deve ser realmente considerado é o perfil de liderança do coordenador e a sua experiência nos processos de projeto e de execução, seja um profissional ou uma empresa.

Na prática, percebe-se uma tendência das construtoras incorporarem esta função. Parte das construtoras pesquisadas, se ainda não eram responsáveis pela coordenação dos projetos, planejavam se estruturar para assumir essa função, principalmente quando, no

futuro, utilizassem sistemas construtivos industrializados. Uma vez que é a construtora que define os sistemas construtivos e as tecnologias empregadas, é dela a maior responsabilidade de ter o domínio tecnológico acerca dos mesmos e ela é a maior interessada (quando o contrato for por preço fechado) no cumprimento do cronograma físico-financeiro.

O coordenador é o responsável pela administração do desenvolvimento dos projetos para a execução e seus responsáveis: deve garantir a comunicação eficaz entre os participantes do projeto, definir claramente seus objetivos e parâmetros e propiciar a integração entre os participantes do empreendimento durante as diversas fases; controlar o cumprimento das tarefas de projeto e o cronograma; programar reuniões; analisar criticamente todas as soluções e detalhes; verificar a conformidade das soluções com as especificações e os critérios preestabelecidos; aprovar os projetos e liberá-los para detalhamento, fabricação ou produção; controlar o recebimento e distribuição de todos os projetos para todas as especialidades; manter a coerência entre o produto projetado e o processo de execução da empresa; promover a retroalimentação do processo de projeto.

REALIZAR A COMPATIBILIZAÇÃO DOS PROJETOS

A função de coordenação muitas vezes se confunde com a de compatibilização dos projetos. Essas duas funções podem estar associadas a um único responsável, mas também podem estar dissociadas. A compatibilização é uma função operacional, que pode também ser desenvolvida pela equipe da construtora, pelo escritório de arquitetura ou por um terceiro escritório contratado especificamente para esse fim.

A compatibilização do projeto é uma função essencial dentro do processo de construção de edificações estruturadas em aço. A tendência de transformação do canteiro de obras em canteiros de montagem exige que todas as interferências sejam solucionadas antes da fabricação dos componentes.

Segundo FERREIRA (2001), o compatibilizador é o “sujeito que compreende o

raciocínio e consegue levar a informação dimensional para a discussão”. As informações discutidas pelo compatibilizador são essencialmente de caráter técnico.

A função principal da equipe de compatibilização é a integração das soluções adotadas nos projetos de estrutura, instalações prediais, vedações, esquadrias, impermeabilização, contrapiso, entre outras, e nas especificações técnicas para a execução de cada subsistema, de modo a identificar interferências. Para tanto, faz a sobreposição dos projetos de todas as especialidades, gerando plantas dimensionais e cortes do entreferro. Dentre as suas responsabilidades estão: gerar matrizes eletrônicas de todos os pavimentos, elaborar relatórios de compatibilização de projetos e de análise dos projetos executivos, e entregar os relatórios para as equipes de supervisão, de coordenação e para os projetistas. Uma vez que as interferências são identificadas, soluções são negociadas entre a coordenação e os especialistas ao longo do processo ou em reuniões específicas. A compatibilização é uma função subordinada à coordenação dos projetos.

A compatibilização deve ser realizada ao longo do desenvolvimento dos projetos, devendo ser eficiente para garantir que não sejam necessárias revisões no nível de detalhamento. Na prática, observa-se que a dedicação de cada especialista para resolver apenas o seu problema é um fator que tende a aumentar as chances de existirem incompatibilidades entre as soluções. Desta forma, defende-se que a compatibilização deve ser iniciada durante a elaboração do projeto, sendo cada especialista responsável por apresentar soluções que não só atendam as suas necessidades mas que sejam satisfatórias a todas as especialidades.

ELABORAR PROJETOS PARA PRODUÇÃO

Existem autores que sugerem a introdução do projeto para produção. Ampliando o conceito de projeto centrado no produto (projeto arquitetônico e projetos estrutural, de fundações, de instalações, entre outros) para incluir o projeto para produção (definindo os detalhes da execução e sucessão da forma de trabalho), assume-se na atividade de projeto a responsabilidade de “construir no papel” e não mais apenas a de caracterização do produto.

Segundo SOUZA e MELHADO (1998), o projeto para produção tem a função de extrapolar a visão do produto, tendo como principal atributo antecipar as decisões de caráter tecnológico e gerencial, transmitindo as informações necessárias para a realização dos serviços nos canteiros de obra. Segundo os mesmos autores, o papel essencial do projeto para a produção é de solucionar as questões que envolvem uma dada tecnologia construtiva, inclusive em termos de alternativas de especificação e detalhes do próprio produto ao longo da elaboração do projeto, de modo a inserir as condicionantes de racionalização construtiva e construtibilidade, para, ao final, apresentar um processo de produção definido, permitindo o seu controle e garantindo a qualidade desejada para o produto e redução dos custos. Também consideram que (a) as atividades de elaboração do projeto para produção devem ser iniciadas na fase de anteprojeto, uma vez que as definições de “como construir” interferem nas características do produto trazidas por vários especialistas de projeto, arquitetos e engenheiros; (b) o seu detalhamento deve ser desenvolvido ao final, paralelamente ao projeto executivo.

Para o detalhamento do projeto para produção de cada subsistema, existe uma metodologia básica: deve-se focalizar a organização do canteiro e a preparação da execução, onde se definem os equipamentos a serem utilizados, o local para armazenagem, as diretrizes para o controle de execução e tolerâncias permitidas, e a seqüência de execução das várias atividades que compõem o serviço [SOUZA e MELHADO, 1998].

Segundo NOVAES (1996), alguns dos projetos para produção são: (a) projeto das infra-estruturas (água, energia) necessárias para as atividades no canteiro ou usina; (b) projeto do canteiro de obras; (c) projetos de forma para a execução da estrutura de concreto armado; (d) especificação da dosagem dos materiais constituintes do concreto, das argamassas e dos contrapisos; (e) projeto de concretagem; (f) projetos para a produção seriada de componentes (pré-montagem de *kits* das instalações prediais); (g) projeto de vedações; (h) projeto de cintas, vergas e contra-vergas; (i) projeto de impermeabilização; (j) projeto de revestimentos; (k) projeto de lajes racionalizadas; (l) projeto de contrapisos; (m) projeto de montagem e fixação de forros e esquadrias nos

componentes da estrutura e vedações, entre outros.

O grupo de projeto para a produção, geralmente, é constituído por: (a) membros da construtora, desde o diretor técnico até o engenheiro da obra, para que a realidade da empresa seja considerada; (b) projetistas da própria empresa construtora, ou profissionais, ou escritórios especializados que prestam estes serviços, neste caso, orientados pela construtora; (c) consultores, que auxiliam com relação ao conteúdo tecnológico do projeto; (d) fornecedores, que podem executar os projetos dos componentes, apesar do risco do enfoque comercial predominar sobre o técnico.

IDENTIFICAR E COMPREENDER AS NECESSIDADES DOS DIVERSOS CLIENTES DO PROCESSO

É indiscutível a importância da definição precisa das exigências e necessidades dos clientes e consumidores, internos ou externos, para que a qualidade do produto seja obtida, o cliente seja satisfeito e o produto agregue valor.

Assim, o primeiro passo para a geração de valor é a captura das exigências ou necessidades do cliente. Porém, essas necessidades básicas podem ser tão óbvias que o cliente pode não responder, se perguntado; as exigências que expressam suas expectativas e excitações, estas, ele muitas vezes nem imagina; e assim, as exigências esperadas usualmente são as apresentadas.

Os objetivos, necessidades, desejos e expectativas formam o conjunto de exigências do cliente. E o cliente pode representar o proprietário, usuário, investidores e outros interessados.

KAMARA *et al.* (2001) analisou o processo de “*briefing*” dentro da estrutura da Engenharia Simultânea¹². Assim, coloca que:

[1] Uma metodologia para o processamento das exigências do cliente (PEC) deve

¹² Para o autor, ES também envolve a realização simultânea das etapas de projeto e execução.

considerar três fases: definição, análise e tradução das exigências em soluções neutras para especificações de projeto;

[2] O PEC deve refletir os princípios e estratégias da ES (formação de uma equipe multidisciplinar específica para a função, consideração antecipada de questões do ciclo de vida e foco nas exigências dos clientes), garantindo que as exigências dos clientes não fiquem em segundo lugar para os projetistas;

[3] Não devem ser utilizados esboços e desenhos de projeto, para o processamento de exigências dos clientes, pois os mesmos podem direcionar o foco para longe das necessidades dos clientes;

[4] As exigências do cliente devem ser precisamente definidas, para que sejam removidas ou minimizadas ambigüidades (antes do desenvolvimento dos conceitos de projeto) e assim facilitar seu entendimento da perspectiva do cliente;

[5] As exigências devem ser processadas antes do estudo preliminar, para que a definição seja precisa;

[6] As exigências do empreendimento consistem de exigências do cliente, do usuário, do local, ambientais, dos regulamentos, de projeto, de execução e do ciclo de vida. Exigências do cliente combinam com exigências locais, ambientais e regulamentais, para produzir exigências de projeto, que por sua vez geram exigências de execução;

[7] Para a adequada compreensão das exigências do cliente, essas devem ser consideradas em separado das outras exigências do empreendimento (como locais), para que não sejam menosprezadas ou obscurecidas;

[8] As exigências devem ser representadas em uma solução de formato neutro, onde as necessidades de negócio do cliente sejam traduzidas para a linguagem dos projetistas, antes de ser iniciado o projeto, para que todos possam compreender. Mas, não devem ser apresentadas na forma de soluções de projeto, pois podem não satisfazer as exigências dos clientes e também impor condicionantes de projeto injustificáveis. Croquis e desenhos de projeto não representam o problema do cliente em si, mas uma solução para o problema do cliente;

[9] O PEC deve traduzir a terminologia dos negócios para termos de projeto, sobre os

quais uma equipe de projeto possa atuar;

[10] As exigências devem ser representadas de forma a facilitar a tomada de decisão no projeto e permitir a sua correlação com as intenções originais;

[11] O resultado do PEC deve refletir as perspectivas e prioridades dos clientes;

[12] A subdivisão das exigências em categorias (funcionais, preferenciais, restritivas) pode melhorar a compreensão das mesmas e remover ambigüidades na sua definição.

Para KOSKELA (2000), o *briefing* deve incluir o desempenho requerido como informação de entrada do processo de projeto. Além disso, para LUCK *et al.* (2001), o *briefing* envolve mais do que a produção de um documento ou um questionário em um único momento, sendo o seu desenvolvimento um processo contínuo durante a fase de pré-execução. Os mesmos autores consideram também que a apresentação das informações de desenvolvimento de projeto em formato de desenhos é problemática, pois a equipe de projeto pode interpretar idéias como representação final do edifício, criando falsas expectativas; porém, auxilia a equipe multidisciplinar a entender as relações entre espaços e funções, permitindo a discussão sobre o problema e conduzindo para a discussão da solução.

CRIAR CICLOS DE RETROALIMENTAÇÃO ARTIFICIAIS

A falta de repetição, uma vez que a construção tem um caráter de protótipo, dificulta a retroalimentação do processo. Neste caso, KOSKELA (2000) sugere a criação de ciclos de retroalimentação artificiais, com o uso de simulações em várias formas e modelagem física.

ABORDAR OS SISTEMAS DE FORMA MODULAR

Em edificações que são projetadas e, apenas, posteriormente o usuário é conhecido, KOSKELA (2000) sugere que seja considerada uma abordagem modular para o sistema, de forma que as decisões do cliente possam ser implementadas ainda na fase de conclusão da obra.

Para ALARCÓN e MARDONES (1998), os defeitos de projeto descobertos na etapa de execução estão associados à (a) baixa qualidade na representação dos projetos, (b) falta de padrões de desenho ou desenhos não adequados à tecnologia utilizada e (c) falta de construtibilidade. Os autores consideram que grande parte desses problemas pode ser resolvida através da padronização de informações, supervisão do processo de projeto, planejamento e controle do fluxo de informação.

PADRONIZAR AS INFORMAÇÕES DE PROJETO

A função de padronização das informações de projeto é evitar omissões, erros e mudanças contínuas que afetam o desenvolvimento normal dos mesmos. O desenvolvimento de especificações de trabalho padroniza a apresentação da informação e estabelecem exigências para os diferentes desenhistas. As especificações de trabalho estabelecem formatos e convenções de apresentação para identificação de elementos e documentos, estabelecem exigências de informações mínimas para desenhos e especificações, características técnicas de materiais e aspectos construtivos. O desenvolvimento de listas de tarefas também é sugerido para padronização. As listas de tarefas devem ser usadas pelos projetistas para relacionarem todas as informações de agentes externos ou outros projetistas que necessitam para iniciar seu trabalho. Assim, permitem checar a disponibilidade dos dados de entrada e evitar a falta de informações iniciais. As mesmas devem fazer referência a certos critérios como a localização dos dutos, tipos de materiais, locação e quantidade de elementos e exigências de outras especialidades [ALARCÓN *et al.*, 1998].

SUPERVISIONAR O PROCESSO DE PROJETO

A supervisão do processo de projeto consiste na participação de representantes da empresa de construção na etapa de projeto, para suprir a falta de conhecimento da obra pelos projetistas e contribuir com sua experiência nas soluções. O impacto da falta de conhecimento dos projetistas é reduzido pela introdução de critérios de execução nas listas de tarefas e nas especificações de trabalho [ALARCÓN *et al.*, 1998].

PLANEJAR A SEQUÊNCIA LÓGICA DO FLUXO DE INFORMAÇÕES

A coordenação das diferentes especialidades através de uma sequência lógica de transferência de informação, evitando suposições incorretas e atribuindo níveis de prioridade para as mudanças, melhora a compatibilidade dos projetos. A coordenação pode ser melhorada através do planejamento da sequência de projetos, e de um plano de controle, avaliação e determinação do impacto no projeto das mudanças introduzidas durante a fase de execução [ALARCÓN *et al.*, 1998]. O planejamento da transferência de informação ao longo do processo de projeto visa estabilizar e controlar o fluxo de informações, estabelecer prioridades entre as especialidades e coordenar a instalação, locação e *layout* de diferentes sistemas e equipamentos. Permite aos projetistas usuários organizarem as exigências de dados de entrada para cada uma das especialidades e a ordem de precedência destas exigências. Já os procedimentos de controle de mudança têm o objetivo de definir os responsáveis por (a) comunicar e identificar as modificações introduzidas aos projetos; (b) por descobrir e comunicar todos os problemas da solução que afetam a construtibilidade, operação e manutenção do edifício, e também supervisionar a construtibilidade das mudanças, avaliar o impacto econômico direto e indireto e determinar as variações no cronograma do processo de construção; e (c) pela aprovação das mudanças. Estas responsabilidades variam, dependendo da estrutura organizacional do empreendimento. Os autores sugerem que as responsabilidades sejam atribuídas aos projetistas, ao contratante (construtora) e ao proprietário, respectivamente. Para os mesmos, o proprietário é o único que pode aprovar as mudanças e para isso deve conhecer e entender suas consequências.

CONTROLAR O FLUXO DAS INFORMAÇÕES

O controle do fluxo das informações visa verificar se foram cumpridas as exigências previamente estabelecidas, para evitar que defeitos de projeto cheguem a obra [ALARCÓN *et al.*, 1998]. Os autores sugerem que o controle utilize “listas de verificação” (*checklist*), para controlar os parâmetros estabelecidos nas listas de tarefas e as exigências impostas nas especificações de trabalho. A lista de verificação é uma relação de perguntas com respostas do tipo sim e não;

INTRODUZIR A MELHORIA CONTÍNUA

A introdução da melhoria contínua com a criação de uma unidade de controle projetos dependente da administração da companhia, a qual deve participar no desenvolvimento de todos os projetos, fornecer informações para a etapa de execução e supervisionar as mudanças realizadas durante essa etapa, além de avaliar a atuação dos projetistas.

Além disso, na literatura, são propostos diversos métodos que objetivam a melhoria do processo de projeto, dentre os quais: *Quality Function Deployment*, *Design Structure Matrix*, *Last Planner* e *Percent Plan Complete*.

UTILIZAR OS MÉTODOS QFD, DSM, LAST PLANNER, PPC

Segundo KOSKELA *et al.* (1997), para a obtenção de um processo de projeto excelente é preciso implementar o conjunto de métodos QFD, DSM, *Last Planner*, PPC.

QFD (*Quality Function Deployment*), desdobramento da função de qualidade, é uma técnica estruturada, baseada em matrizes, que ajuda as equipes de desenvolvimento de produto focarem as exigências do cliente, traduzirem de forma eficaz as mesmas em atributos de projeto e melhorarem o rastreamento dessas exigências ao longo do processo. Assim, o QFD facilita o mapeamento sistemático das exigências do cliente até as especificações neutras de projeto, as quais permitem os projetistas serem mais inovadores na proposta de soluções [KAMARA *et al.*, 2001], e torna visível o processo de geração de valor [KOSKELA, 2000].

A DSM (*Design Structure Matrix*), segundo KOSKELA *et al.* (*op. cit.*), é um método satisfatório para o desenvolvimento da sequência ótima das tarefas de projeto e para tornar o processo transparente. Primeiro as tarefas são organizadas na ordem cronológica intencional, tanto em filas como em colunas. Dessa forma, pode ser observado o reflexo de uma sequência incorreta ou a característica iterativa das tarefas. Com a reorganização da matriz, pode-se iniciar a planificação, classificando as tarefas como sequenciais, paralelas ou agrupadas (simultâneas), como mostra a figura 3.9.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	A								
B	X	B							
C	X	X	C						
D			X	D					
E			X		E				
F			X	X	X	F			
G	X	X	X			X	G	X	X
H	X	X				X	X	H	X
I							X	X	I

Tarefas Sequenciais

Tarefas Paralelas

Tarefas Agrupadas

FIGURA 3.9 – Matriz simplificada da estrutura do projeto.
Fonte: Adaptada de KOSKELA *et al.* (1997).

Em uma terceira etapa, KOSKELA *et al.* (*op. cit.*) sugerem a utilização do método *Last Planner*, para forçar a execução das tarefas na seqüência ideal, pois tem como objetivo planejar a execução das tarefas. O profissional, ou grupo, que produz as tarefas é chamado de planejador final. O planejador final determina o que será feito, devendo procurar equilibrar o que será realizado, com o que deveria ser realizado (ideal) e o com o que pode ser realizado (condicionantes), figura 3.10. A entrega irregular da informação de entrada e a inconstante conclusão de pré-requisitos invalidam a equação presumida do real com o ideal.

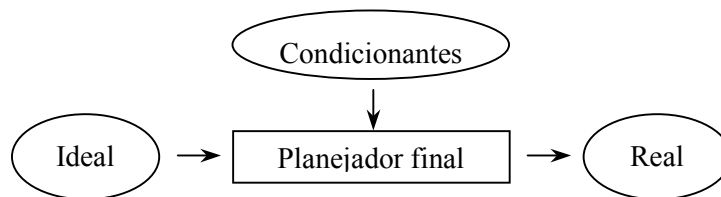


FIGURA 3.10 – Diagrama de determinação de tarefas, segundo o planejador final.
Fonte: Modificada de KOSKELA *et al.* (1997).

As características críticas da qualidade de uma tarefa dependem de que (1) a seqüência certa de trabalho seja selecionada, (2) a quantia certa de trabalho seja determinada e (3) que o trabalho selecionado seja prático. A "seqüência certa" é aquela consistente com a lógica interna do próprio trabalho, com os compromissos e metas do projeto, estratégias de execução e construtibilidade; a "quantia certa" é aquela quantia de trabalho que os

planejadores julgam que a equipe seja capaz de concluir, após revisarem o programa examinarem a tarefa a ser executada; e “prático”, significa que todo o pré-requisito esteja pronto e todos os recursos disponíveis quando forem necessários [KOSKELA *et al.*, 1997].

Segundo KOSKELA (2000), o método *Last planner* possui cinco princípios: (a) uma atividade a ser executada não deve iniciar enquanto todos os itens necessários não estejam disponíveis; (b) a realização da tarefa deve ser medida e monitorada; (c) as causas para a não realização das tarefas planejadas devem ser investigadas e removidas, para que seja promovida a melhoria contínua do processo; (d) uma atividade inviável pode ser trocada por outra para evitar a redução de produtividade; (e) os pré-requisitos das tarefas seguintes devem ser preparados no planejamento intermediário, elaborado para um período de três a quatro semanas (*lookahead planning*).

Já o PPC (*Percent Plan Complete*) controla a realização das tarefas (segundo princípio). PPC representa a porcentagem finalizada das atividades planejadas: o número de atividades finalizadas dividido pelo número total de atividades planejadas. Pode-se concluir que quanto maior a porcentagem, maior a produtividade e evolução do processo. A análise do PPC é uma ferramenta poderosa para iniciativas de inovação [KOSKELA *et al.*, 1997], por permitir a retroalimentação do sistema e melhoria do desempenho futuro.

CAPITULO 4

O PROCESSO DE PROJETO NO DOMÍNIO DAS EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS EM AÇO: ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, são apresentados os resultados da investigação realizada nos estudos de casos. Para o direcionamento da investigação, foi considerado o conceito de patologia das construções em aço estabelecido no capítulo 2. As informações assimiladas no capítulo 3 subsidiaram a interpretação dos dados levantados com relação ao processo de projeto.

Para a apresentação dos resultados, as informações foram organizadas da seguinte forma:

- [1] Contextualização da pesquisa no processo de construção civil;
- [2] Exposição da sistemática de trabalho utilizada;
- [3] Caracterização dos escritórios de arquitetura que assinaram a solução arquitetônica dos edifícios;
- [4] Caracterização das construtoras responsáveis pela execução dos edifícios;
- [5] Caracterização de cada edifício estudado.

Na caracterização de cada edifício, a descrição da obra tem por objetivo subsidiar a compreensão do processo de projeto e fornecer elementos valiosos para serem utilizados em futuros empreendimentos; a descrição do processo de projeto, esclarecer o desenvolvimento do mesmo; a descrição das interferências entre os sistemas construtivos e das dificuldades encontradas pelos integrantes da equipe de projeto durante o processo, denunciar os desafios a serem superados.

4.1 O ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Atualmente, em função do estabelecimento de um mercado cada vez mais competitivo, em que a construção civil é desafiada a oferecer um produto economicamente acessível e que satisfaça às exigências dos clientes, tem sido crescente, por parte das empresas construtoras, a busca da qualidade de seus produtos, melhor adaptação às mudanças que ocorrem em seus mercados e melhor relação custo benefício. Como consequência, a indústria da construção tem procurado elevar o nível de industrialização das obras, principalmente de edifícios de múltiplos andares, voltados para o mercado.

Neste contexto, a estrutura metálica tem se destacado dos demais sistemas por possibilitar reduções no prazo para conclusão da obra (em relação ao concreto moldado *in loco*) e ser significativamente mais leve (em relação ao concreto pré-moldado), mostrando ter grande potencial de crescimento.

Além disso, observou-se que a redução do prazo e as soluções para restrições de logística (área ou localização do terreno) possibilitadas pelo aço têm apresentado vantagens na construção de edifícios comerciais (por possuírem grande liquidez no mercado) e hotéis e *flats* (pela antecipação da operação e do faturamento), mesmo o sistema ainda apresentar um custo inicial maior. Inicial porque o faturamento antecipado e a redução dos custos indiretos favorecem a amortização da diferença entre os preços dos sistemas construtivos, tornando a qualidade obtida no processo vantajosa.

Desta forma, o universo de pesquisa abrange o processo de construção de edifícios com múltiplos pavimentos estruturados em aço. E a investigação dos estudos de casos - com ênfase no processo de projeto - se delimita aos edifícios comerciais e hoteleiros, uma vez que este material apresenta maior potencial de crescimento nesta área do mercado, e o grande nível de complexidade inerente ao tipo de uso dessas edificações permite tornar o estudo abrangente.

4.2 SISTEMÁTICA DE TRABALHO

Uma vez definido e delimitado o universo de pesquisa, procurou-se estabelecer critérios para a seleção dos empreendimentos a serem investigados, estudando o mapeamento dos principais problemas físicos construtivos realizado por SALES (2001). Naquele trabalho, é evidente a maior ocorrência de patologias físico-construtivas nas edificações que tiveram o processo de projeto negligenciado ou não adaptado ao novo sistema construtivo. Este resultado já era esperado, uma vez que tendem a ser grandes as chances de erros em empreendimentos desenvolvidos a partir de processos de planejamento e projeto falhos. Independente do sistema estrutural especificado, concreto moldado *in loco*, pré-moldado em concreto, alvenaria autoportante ou estrutura metálica, a qualidade do projeto é um fator determinante para o sucesso de um empreendimento de construção.

Neste sentido, a seleção priorizou os empreendimentos desenvolvidos por empresas e profissionais com alta qualidade técnica, experiência no setor da construção civil e credibilidade do mercado. O objetivo dessa seleção é a obtenção de parâmetros representativos da tendência do mercado e que permitam uma comparação confiável.

Os casos estudados se localizam nas cidades de Guarulhos, São Paulo e Rio de Janeiro. Para a investigação, foram realizadas entrevistas junto aos diversos projetistas e gerentes das obras. Visitas aos canteiros de obras foram realizadas quando possível. Muitas das informações também foram resultado da análise e interpretação de documentos (atas de reuniões, relatórios, cronogramas) e projetos cedidos pelas empresas.

O número de profissionais entrevistados foi variável para cada caso. Basicamente, foram entrevistados: um representante do escritório de arquitetura (coordenador dos projetos), um representante da construtora (gerente do empreendimento e/ou gerente de projetos), o engenheiro de obra (quando possível), e o representante do fornecedor da estrutura metálica. Quando se considerou necessário, foram entrevistados, ainda, o representante do fornecedor do painel de fachada industrializado, do escritório de

projeto do ar-condicionado, do escritório responsável pelo projeto de vedações e o profissional responsável pela auditoria do projeto de estrutura metálica.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA

Os escritórios de arquitetura serão identificados como A-1, A-2 e A-3. Os escritórios A-1 e A-2 são responsáveis, cada um, pelo projeto de dois dos casos estudados.

A-1 é um escritório que atua na cidade de São Paulo há 21 anos, constituído por 3 sócios. Atualmente atinge a marca expressiva de 800 projetos concluídos, abrangendo edifícios residenciais, comerciais, condomínios horizontais, *flats* e hotéis.

Sua estrutura organizacional é composta por 20 profissionais (dos quais, 11 são arquitetos) que atuam em departamentos específicos: estudo preliminar, projeto legal, projeto executivo, projeto volumétrico (maquete eletrônica), administração e serviços. O detalhamento do projeto executivo costuma ser terceirizado, porém, sob sua supervisão. A hierarquia organizacional do escritório pode ser definida na seguinte ordem decrescente: arquiteto titular, arquiteto coordenador do projeto, arquiteto e estagiário.

O arquiteto titular (função exercida pelo proprietário) é responsável pelos estudos iniciais e concepção do projeto, e estabelece o contato com o cliente-incorporador. Nas fases de anteprojeto e projeto executivo, o arquiteto coordenador assume o processo. Suas funções abrangem: desenvolver o projeto de arquitetura, coordenar os serviços terceirizados, coordenar os projetos complementares e estabelecer o contato com a construtora e com os demais projetistas. Já o arquiteto é um desenhista técnico, sem poder de decisão, com conhecimento técnico acerca dos sistemas, e especialista em CAD e apresentações gráficas.

O escritório adota procedimentos padrões, internos ou dos clientes, para as atividades de todas as fases de projeto, estando atualmente em processo de certificação. Quanto à coordenação dos projetos, o escritório vincula à contratação dos seus serviços de

arquitetura essa responsabilidade, por considerar a atividade inerente ao trabalho do arquiteto. Utiliza o ambiente da *Internet* para troca de informações e arquivos eletrônicos de desenho de projetos. Quando contratado para exercer a função de compatibilizador dos projetos, confere os desenhos manualmente, por considerar ilegível a sobreposição de todos os arquivos de projetos, e discute as interferências em reuniões periódicas, geralmente semanais ou quinzenais.

O primeiro empreendimento a ser desenvolvido em estrutura metálica pelo escritório foi o edifício E-1; o segundo, está sendo o edifício E-3.

O escritório de arquitetura **A-2** também está sediado na cidade de São Paulo e, há 40 anos, desenvolve trabalhos nas áreas de arquitetura e urbanismo em todo o território nacional, abrangendo os setores de edifícios comerciais e de serviços, residencial multifamiliar e unifamiliar, hoteleiro, público e social, recreacional e também o setor industrial. No currículo do escritório, constam também participações em trabalhos no exterior.

Os serviços oferecidos pelo escritório incluem: pesquisa e análise de restrições, programação, pré-dimensionamento e planejamento físico, projeto arquitetônico completo, projeto de reforma, projeto de arquitetura de interiores, planos urbanísticos e de paisagismo, fiscalização e acompanhamento da obra e desenhos de apresentação, compatibilização e coordenação de projetos complementares.

Certificado pela série ISO 9000 desde 2001, o escritório adota procedimentos padrões para o desenvolvimento das atividades. No Manual da Qualidade, são descritas as fases, são estabelecidos os procedimentos para elaboração e representação gráfica dos projetos de cada fase, os procedimentos para acompanhamento de obra, para dimensionamento da equipe técnica, para análise crítica dos projetos, para preenchimento das fichas de acompanhamento, de controle e de verificação e, ainda, são definidos os procedimentos para o controle de projetos complementares de instalações, ar-condicionado e estrutura.

As fases do processo podem ser definidas como estudo preliminar, aprovação legal,

anteprojeto, projeto executivo, projeto de detalhamento e acompanhamento da obra. Para início de cada fase, é realizado o planejamento da mesma e são levantados os dados de entrada e as interfaces técnicas relevantes. Cada fase prevê a validação da solução pelo cliente. A aprovação legal e o acompanhamento da obra podem acontecer em paralelo ao desenvolvimento dos projetos, por dependerem da estratégia de execução do empreendimento.

A estrutura organizacional que dá suporte a esse processo é composta por 18 profissionais com formação em arquitetura. No Manual da Qualidade, é definida a seguinte hierarquia organizacional, em ordem decrescente: arquiteto titular (representado por três sócios diretores), arquiteto coordenador do projeto, arquiteto médio, arquiteto júnior e estagiário.

O arquiteto titular, diretor do projeto, é o principal contato com o cliente-incorporador e é o responsável pelo estudo preliminar. Para apresentação do partido arquitetônico para o cliente, prepara-se um caderno de projeto, em geral, ilustrado manualmente. Na fase de estudo, são realizadas consultas informais acerca dos sistemas complementares, se necessárias.

A partir dessa fase, o arquiteto coordenador assume o desenvolvimento do projeto arquitetônico e a coordenação dos projetos complementares, quando o escritório for contratado para essa função. Ele é o principal contato entre o escritório e a construtora e os demais projetistas. Em geral, o coordenador assume várias obras simultaneamente. Pode-se dizer que o arquiteto médio tem a função de “projetista”, tem contato intenso com os representantes das demais disciplinas e, em geral, não acumula muitos projetos. Já o arquiteto júnior, teria uma atuação mais semelhante a um desenhista técnico (sem poder de decisão), com especialização em CAD e apresentações gráficas. Segundo o Manual da Qualidade, muitas das atividades de desenvolvimento do projeto podem ser exercidas tanto pelo arquiteto coordenador quanto pelo médio; e as atividades de preenchimento de fichas de controle ou de envio e recebimento de informações podem ser exercidas tanto pelo arquiteto médio quanto pelo júnior. Os estagiários, em geral, auxiliam em todas as atividades.

No projeto do edifício E-2, o coordenador foi responsável pelo desenvolvimento e coordenação dos projetos desde o projeto legal até a entrega da obra e, durante o mesmo período, também coordenou outras sete obras; já arquiteto médio foi responsável pelo desenvolvimento do projeto executivo e de detalhamento.

Além do edifício E-2, o escritório foi responsável pelo projeto arquitetônico do edifício E-4. Embora os projetos tenham sido desenvolvidos em momentos diferentes, não foi tão intensa a transferência das experiências vividas em um projeto para outro, por terem sido conduzidos, tanto os estudos preliminares quanto os demais projetos, por profissionais diferentes.

A-3 é um escritório de arquitetura de médio porte, localizado na cidade do Rio de Janeiro. Atuando no setor de edificações, trabalha principalmente com construtoras, em geral, em parceria. O escritório presta serviço na área de projeto: definição e viabilidade, elaboração do projeto legal, elaboração de estudo preliminar e de projeto executivo, e compatibilização dos projetos complementares e/ou coordenação dos projetos, se contratado para exercer essas funções. Mas, não elabora o projeto *as built*, propriamente. Modificações solicitadas ou informadas pela construtora são incorporadas ao longo do processo de construção, de forma a atualizar o projeto executivo.

O escritório A-3 não possui certificação ISO, mas tem seus procedimentos padronizados. As fases do processo de projeto compreendem: definição e viabilidade, projeto legal, estudo preliminar, material de venda, consolidação do estudo preliminar, pré-executivo, geração de matrizes, projeto executivo, detalhamento.

A estrutura organizacional que dá suporte a esse processo é composta por cerca de vinte e cinco pessoas, com diferentes formações. Os quinze arquitetos do escritório se enquadram dentro da seguinte hierarquia organizacional, em ordem decrescente: Arquiteto titular, supervisor, coordenador e estagiário.

O arquiteto titular é o próprio proprietário do escritório. A função de supervisor é exercida por duas arquitetas, porém uma é especializada em projetos legais e a outra, na

fase de projeto executivo. E, como coordenadores, são onze os arquitetos que exercem a função de desenvolvimento do projeto, propriamente. Em geral, cada coordenador assume um projeto de cada vez, mas como a atuação do escritório se estende até a entrega da obra, revisões solicitadas para um projeto anterior podem gerar a sobreposição de atividades.

O edifício E-5 foi a primeira experiência do escritório no desenvolvimento, compatibilização e coordenação de projetos de um edifício estruturado em aço.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS CONSTRUTORAS

Para que as empresas não tenham seus nomes revelados, as mesmas serão identificadas como C-1, C-2, C-3 e C4, sendo a construtora C-1 responsável pela construção de dois dos casos investigados.

A construtora e incorporadora **C-1** se caracteriza como uma empresa de grande porte, com sede na cidade de São Paulo, pertence a um Grupo fundado há 35 anos, que também atua no desenvolvimento de empreendimentos industriais e comerciais para a locação, em atividades comerciais não-financeiras de *factoring* e na área de reciclagem de alumínio. C-1 se destaca pelo grande interesse em implementar novas tecnologias construtivas.

A construtora e a incorporadora são unidades distintas dentro da empresa. A incorporadora negocia, viabiliza o empreendimento e repassa o mesmo para que a construtora o realize. A principal preocupação da construtora é a realização do empreendimento e o cumprimento do prazo estabelecido; assim, embora trabalhe com sistema de planejamento padronizado, a construtora montou uma sistemática de trabalho específica para viabilizar o processo de construção dos edifícios estruturados em aço.

O empreendimento E-1 foi o primeiro edifício de andares múltiplos a ser executado pela empresa em estrutura metálica e também a contemplar um número tão grande de sistemas industrializados, demandando uma estrutura de trabalho completamente nova

em relação ao que sempre foi feito dentro da empresa. Esta obra funcionou como um laboratório para a construção do empreendimento E-3.

O número de profissionais mobilizados em cada obra foi variável, em função da área e do grau de complexidade do empreendimento. Foi criada a função do gestor do empreendimento, que coordenava uma equipe formada por um engenheiro de produção, um engenheiro de qualidade e outro de custos e, ainda, um arquiteto responsável pela decoração em áreas comuns (térreo, intermediário, corredores e 10º andar), presente desde o início da obra, e outro arquiteto responsável pelo mobiliário das unidades.

Para o desenvolvimento e construção do empreendimento E-3, estão sendo implementadas melhorias no planejamento e no processo. Neste edifício, pelo seu porte reduzido, a obra conta apenas com um engenheiro responsável e alguns estagiários. Os cargos de engenheiro responsável (E-3) e de gestor do empreendimento (E-1) foram preenchidos pelo mesmo profissional, o qual foi, em ambos os casos, o elo de ligação entre os processos de execução e de projeto.

A construtora mantém ainda uma equipe de projeto que atua como gerente do processo de projeto, supervisionando a coordenação do mesmo, que, hoje, é realizada pelo escritório de arquitetura responsável pelo projeto. Mas, em empreendimentos futuros, pretende reestruturar o processo de gestão para que a coordenação dos projetos também seja realizada pela equipe da empresa, entendendo que uma série de falhas poderá ser evitada, como, por exemplo, a falta de cumprimento de prazos de entrega dos projetos. No processo atual, a supervisão se limita a garantir que as diretrizes da empresa sejam seguidas; somente quando necessário, interfere junto ao escritório de coordenação para a solução de algum problema.

A construtora **C-2** é responsável pela execução do edifício estudado E-2. Também é uma empresa de grande porte e referência no mercado. Com sede em São Paulo, presta serviços nos mercados de construção, telecomunicações e desenvolvimento imobiliário. Atua nacionalmente e no mercado uruguaio.

C-2 foi fundada em 1973, e é considerada uma construtora de vanguarda, tanto do ponto de vista tecnológico quanto de gestão. Ela foi vencedora por cinco vezes da indicação de Empresa com Melhor Desempenho Global da Construção Civil, concurso realizado pela Revista Exame; duas vezes Construtora do Ano, pela Revista Projeto; vencedora também do título de Melhor Empresa do Ano e do Prêmio Máster Imobiliário na categoria tecnologia.

Ao longo de sua existência, promoveu diversas alianças estratégicas e tecnológicas. Firmou cinco *joint ventures* para: execução de obras no Uruguai; execução de edificações com padrão internacional no Brasil; atuação na área de telecomunicações; desenvolvimento, construção e operação de um parque aquático; e fabricação de painéis pré-fabricados em concreto. Também é proprietária de uma empresa de fabricação de estruturas.

Através das alianças para transferência e utilização de tecnologias, introduziu novos produtos no Brasil, sendo a primeira a adotar o conceito de construção seca e pioneira no uso do sistema de gesso acartonado e dos painéis arquitetônicos pré-fabricados. Também detém a patente do sistema horizontal e vertical de execução de estruturas.

No setor específico da construção civil, a unidade de engenharia, *procurement* e construção, se divide em núcleos de excelência: edificações comerciais, hotéis e *flats*, residenciais, lazer e cultura. Os núcleos são formados por profissionais de planejamento, engenharia, arquitetura e finanças, que atuam desde os estudos iniciais do projeto até a construção. A empresa tem como política considerar os aspectos técnicos de cada segmento e de cada projeto, a logística e os processos de cada negócio específico, bem como os aspectos culturais, sociais e mercadológicos.

C-2 possui uma equipe formada por 14 arquitetos, que atua na área de orçamento, projeto e execução. Cada arquiteto é responsável por um determinado número de obras, as quais podem estar em diferentes estágios.

Para a execução do empreendimento E-2, a construtora mantém uma equipe formada

por um gerente de contrato, responsável pelo orçamento final, e um gerente de obra, além de uma arquiteta, um engenheiro instalador, um engenheiro de planejamento e um engenheiro de produção, que atuam desde a fase inicial de orçamento (estudando diversos sistemas e determinando as tecnologias mais adequadas). Além desses profissionais, um mestre de obras, um técnico e o pessoal administrativo compõem a equipe. A hierarquia entre os profissionais é horizontal, permitindo o cliente, por exemplo, contatar diretamente o arquiteto ao invés do gerente de contrato.

A construtora ainda gerencia o processo de projeto, colaborando com o escritório de arquitetura na coordenação dos projetos, montando o cronograma de datas de entrega dos projetos em função do cronograma da obra e controlando a entrega dos projetos nas reuniões, uma vez que seu objetivo é garantir o prazo da obra. C-2 também compatibiliza técnica e construtivamente os projetos e aprova os projetos para produção elaborados pelas empresas instaladoras, verificando se as diretrizes da empresa, formuladas durante a fase de concorrência, estão sendo atendidas.

A construtora **C-3**, que executou o edifício E-4, foi fundada em 1971. Já executou 400 obras e mais de 4 milhões de metros quadrados. É uma empresa que atua no segmento da construção civil, voltada exclusivamente para o setor privado: indústrias, shoppings, centros de distribuição e varejo, edifícios corporativos, hotéis e hospitais, escolas e centros culturais.

Possui um núcleo de engenharia com o fim específico de organizar a atuação dos diversos agentes no processo, definindo claramente os papéis para gerenciamento do programa (*program management*), gerenciamento do empreendimento (*project management*) e gerenciamento da execução (*construction management*), e, englobando conceitos da engenharia de valor, desenvolver a logística de implantação e execução de uma obra, efetuar o relacionamento com a comunidade local e zelar pelo respeito ao meio ambiente. Segundo informação colhida, é a única construtora brasileira a ser membro do *Project Management Institute* (EUA).

Já a construtora **C-4**, responsável pela obra E-5, é uma empresa com sedes no Rio de

Janeiro e em São Paulo. C-4 foi constituída em 1997, a partir da associação de duas empresas, uma do mercado imobiliário (com origem em 1954) e outra do mercado de investimentos, com novo capital, projetos a realizar e estoque de terrenos. Já em 1999, obteve o certificado ISO 9002 para todo o processo de construção.

C-4 atua na incorporação e construção de imóveis residenciais e comerciais nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, e realiza empreendimentos destinados às classes de renda alta, média e baixa. Seu *portfolio*, formado desde 1954, soma mais de 8 milhões de m² de área construída, em mais de 600 empreendimentos, que compreendem edifícios residenciais, comerciais, industriais, condomínio de casas, *shopping centers* e hotéis. Segundo a empresa (líder nos mercados em que atua), seu processo focaliza produtos de alta qualidade e pontualidade de entrega.

A empresa possui o sistema *personal line*, que permite o cliente (consumidor) escolher entre diversas opções de *layout* e de acabamentos. Este serviço fica disponível por um prazo determinado, geralmente até o início do projeto executivo.

Como o empreendimento E-5 está sendo realizado em terreno da própria empresa e com capital privado, o uso do aço como material estrutural não foi determinado pelo prazo, mas sim, pela oportunidade de apreender essa tecnologia. Assim, o empreendimento E-5 está sendo executado em duas etapas. Na primeira, foi executado um clube destinado a atender a área comum de um condomínio residencial, funcionando como um laboratório para a construção do edifício comercial, localizado no mesmo terreno, a ser executado em uma segunda etapa.

4.5 DESCRIÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS

4.5.1 EMPREENDIMENTO E-1

O empreendimento de construção E-1 é uma obra que já foi publicada por FISCHER; DIAS, (2001). SALES (2001) mapeou as patologias físico-construtivas dessa obra durante a etapa de execução, mas não encontrou ocorrências relevantes.

O edifício E-1, localizado junto ao Aeroporto de Guarulhos, na cidade de Guarulhos, teve como idealizador a INFRAERO que, através de uma concorrência pública, determinou o “realizador” do empreendimento que ficaria com a concessão de operação por vinte anos. O tipo do produto e a sua localização foram definidos pela INFRAERO e serviram de base para as propostas arquitetônicas apresentadas na concorrência.

A construtora e incorporadora C-1, em parceria com uma Operadora, venceu a concorrência, com uma proposta arquitetônica assinada pelo escritório de arquitetura A-1.

Desta forma, o edifício E-1 foi projetado e construído para abrigar dois hotéis, um de quatro e outro de cinco estrelas, em um terreno com área de 25.843 m². A execução da obra foi realizada pela própria construtora C-1, a qual também gerenciou a etapa de projetos. Já o projeto arquitetônico continuou a ser desenvolvido pelo escritório de arquitetura A-1, que também coordenou os projetos complementares. A entrega dos hotéis, prontos para operação, foi realizada em agosto de 2001, após 16 meses do início da obra.

A SOLUÇÃO ARQUITETÔNICA

A ampla área do terreno e as características do entorno ajudaram a definir o partido arquitetônico: explorar a verticalidade da edificação.

O edifício se caracteriza como de múltiplos andares e possui área construída total de 25.546 m², distribuídos em 13 pavimentos. O programa de necessidades do edifício E-1 foi atendido por 385 unidades de hospedagem (total), um centro de convenções com capacidade para 1.000 pessoas, completa área para *spa*, lazer e esporte, e estacionamento para 183 veículos, nove motos e seis ônibus, implantado fora da projeção do edifício, uma vez que o prédio não possui nível de subsolo.

No térreo estão localizados a entrada principal e o *foyer* dos hotéis, dois elevadores panorâmicos e três elevadores sociais, *snack bar*, dois restaurantes, centro de

convenções, dez salas de reuniões, três lojas, dois centros de negócios, área de lazer (sala de ginástica, churrasqueira, piscina semi-olímpica aquecida, quadra de tênis e quadra poliesportiva) e as respectivas áreas de apoio e serviço (cozinhas, banheiros, vestiários, 3 elevadores de serviço). No andar intermediário, estão localizadas as áreas da operadora (almoxarifado, segurança, telefonia, depósito, refeitório e vestiários dos funcionários e escritório executivo e administração). Nos nove andares-tipo, estão localizados os apartamentos, duas rouparias, um *toilet* e uma copa. No décimo pavimento, em duas alas, estão dispostos apartamentos e, em outra, academia, *spa*, sala de massagem, duas saunas úmidas, duas saunas secas, sala de repouso e áreas de apoio (duas rouparias, um *toilet* e uma copa, dois vestiários e recepção). Na cobertura, estão localizadas as casas de máquina e de exaustão mecânica. As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 esboçam a solução dada para o edifício.

No entreferro do pavimento intermediário, foi projetado um andar técnico. Fora da projeção do edifício, foi projetada uma central de utilidades, para abrigar todos os equipamentos técnicos, como de instalações e co-geração de energia. As duas propostas permitiram a minimização das possíveis interferências entre os sistemas industrializados e as instalações. Uma galeria subterrânea visitável conduz os dutos e condutores até o centro do edifício. Um *shaft* liga a galeria ao andar técnico. No andar técnico, os dutos, tubos e condutores se ramificam até as projeções das prumadas de distribuição para os demais andares (figura 4.4a). A partir daí, sobem por *shafts* visitáveis e tangenciais aos banheiros de cada unidade (figura 4.4b). O rebaixamento do forro no corredor permite que os dutos de ar-condicionado, que sobem apenas por um lado do corredor, cruzem o mesmo no sentido transversal e que os sistemas de *sprinkler* e as bandejas para as instalações elétricas percorram o corredor no sentido longitudinal.

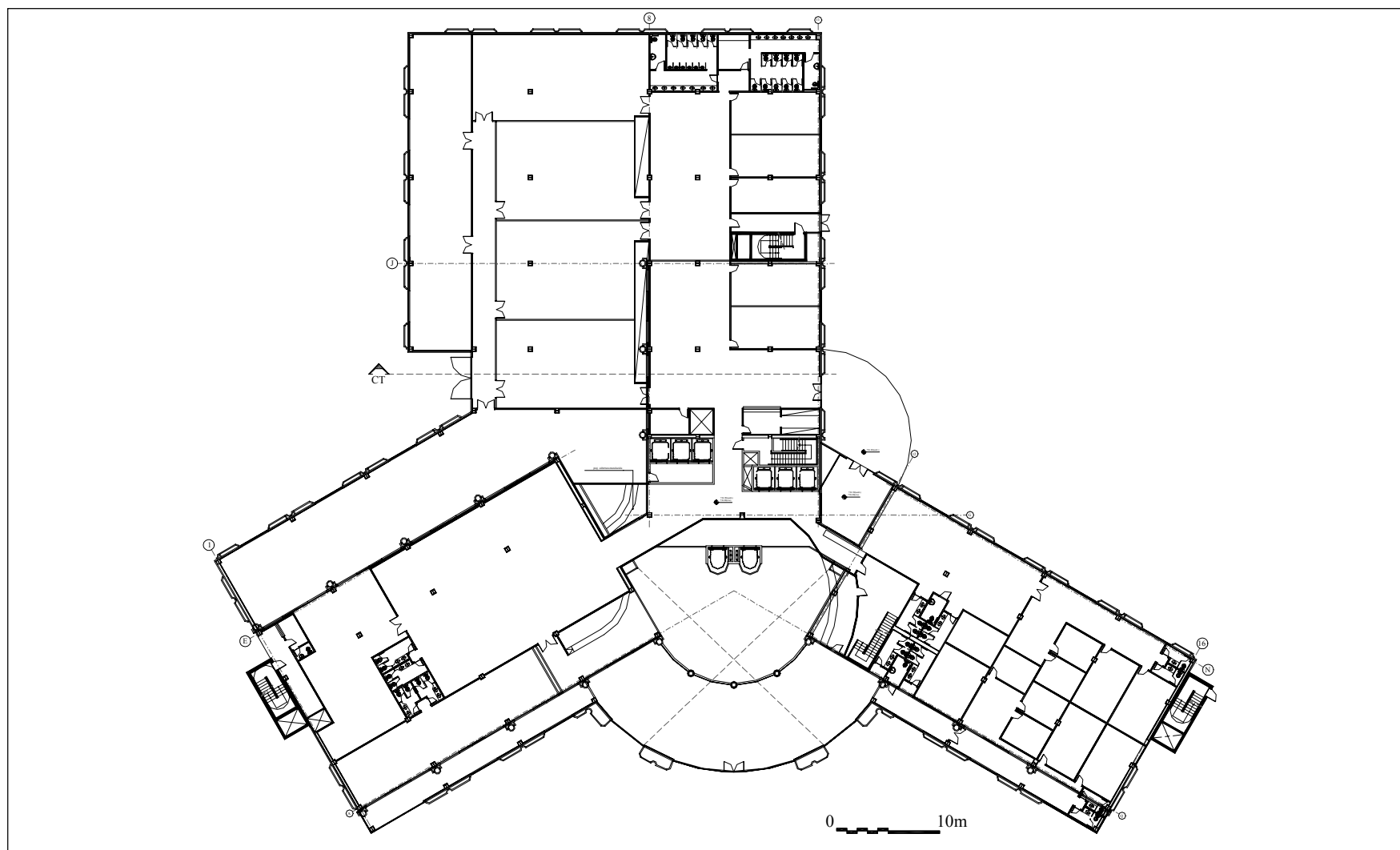


FIGURA 4.1 – Solução arquitetônica do edifício E-1: esboço da planta do primeiro pavimento.

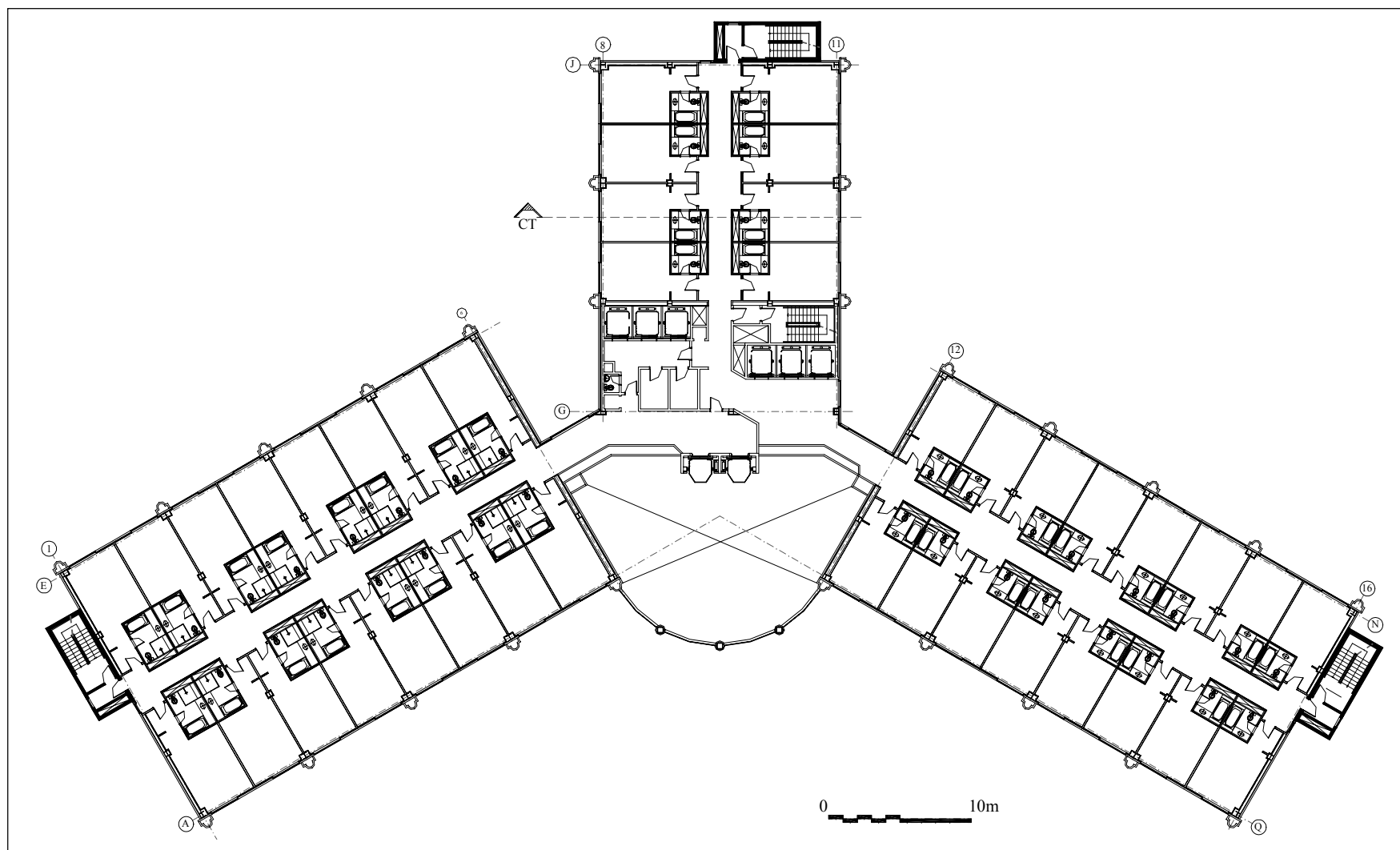


FIGURA 4.2 –. Solução arquitetônica do edifício E-1: esboço da planta do segundo ao nono pavimento.

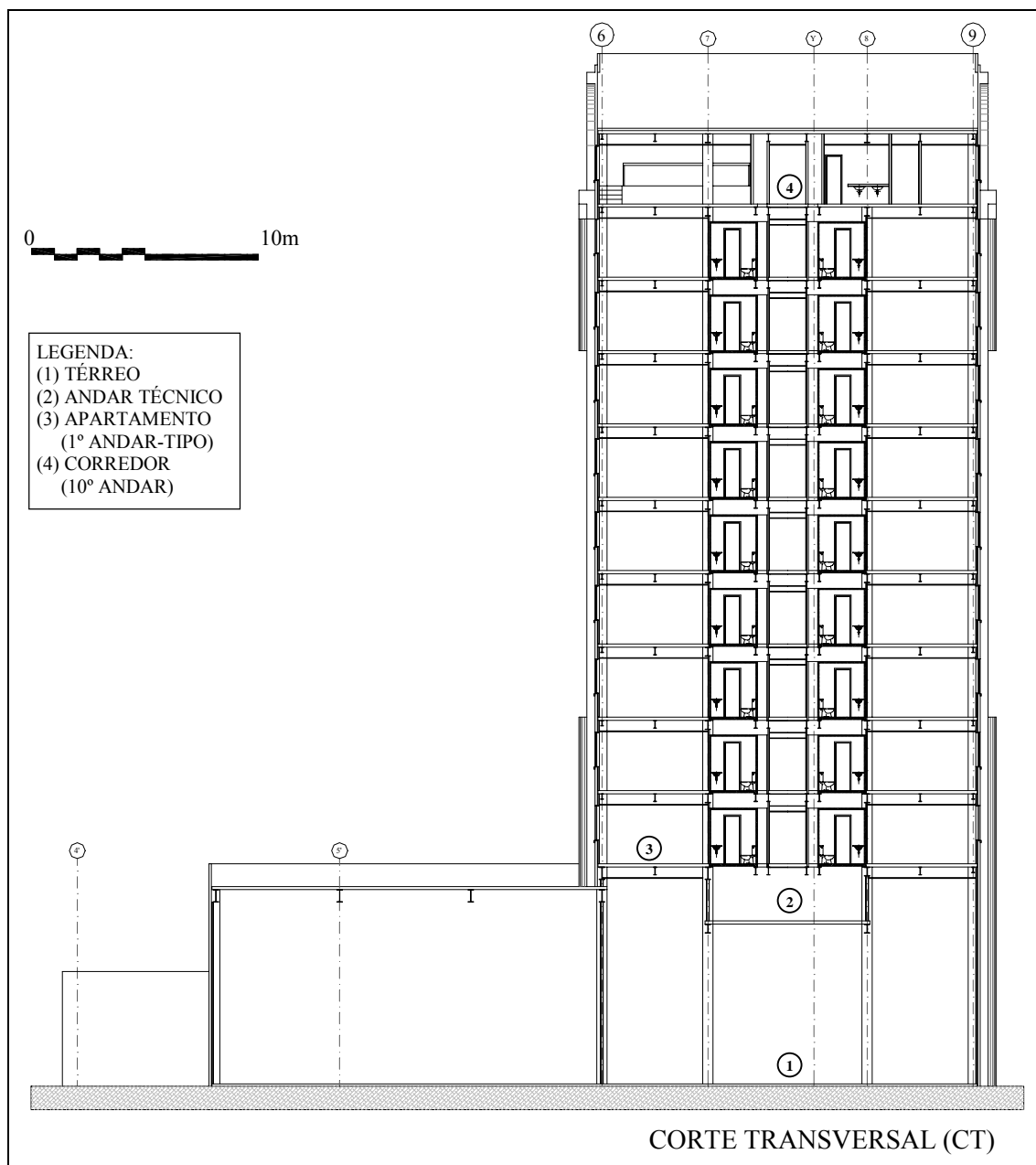


FIGURA 4.3 – Solução arquitetônica do edifício E-1: esboço do corte transversal.



FIGURA 4.4 – Visualização das soluções propostas para os sistemas de instalações e ar-condicionado, durante a etapa de execução: (a) vista do andar técnico e (b) vista do *shaft* a partir da circulação do andar de apartamentos.

OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

O prazo para execução e entrega do empreendimento pronto para a operação, assim como a qualidade final exigida, determinou o elevado nível de industrialização da obra. Os sistemas construtivos foram selecionados pela construtora e tanto o grupo da operadora quanto o escritório de arquitetura não interferiram na especificação.

O edifício, com tipologia em formato de “Y”, foi executado com sistema estrutural em aço: colunas e vigas metálicas, combinadas com lajes tipo *steel deck* (figura 4.5). O elevado nível de industrialização requerida para a obra foi alcançado pela associação à estrutura metálica de subsistemas que seguem a mesma linha. Para o fechamento vertical das fachadas, foram especificados painéis pré-fabricados de concreto maciço (figura 4.6) e esquadria em pele de vidro, no *lobby* do hotel. Placas de gesso acartonado foram utilizadas como vedação, para compartimentação das unidades, acabamento das alvenarias e dos painéis de fachada, forro (figura 4.7). As alvenarias foram executadas em blocos de concreto celular autoclavado, principalmente em áreas comuns e de serviços e para fechamento das caixas de escada, elevadores e *shafts* (figura 4.8).



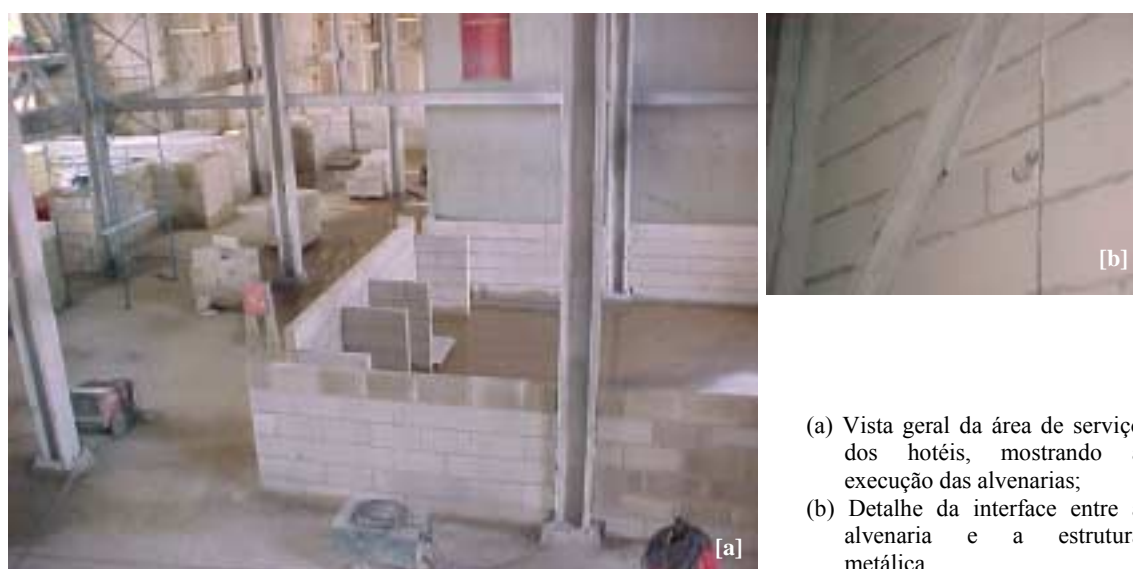
FIGURA 4.5 – Vista interna do andar-tipo, mostrando o sistema estrutural adotado.
Fonte: Construtora C-1.



FIGURA 4.6 - Vistas internas, mostrando (a) os painéis pré-fabricados de concreto maciço, (b) um detalhe de fixação do painel em coluna e (c) um detalhe de fixação do painel em viga.
Fonte: Construtora C-1.



FIGURA 4.7 - Vista interna do apartamento, mostrando as placas de gesso acartonado utilizadas como: (a, b e d) vedação; (a) acabamento; (c) forro.
 Fonte: Construtora C-1.



(a) Vista geral da área de serviço dos hotéis, mostrando a execução das alvenarias;
 (b) Detalhe da interface entre a alvenaria e a estrutura metálica.

FIGURA 4.8 - Vistas internas do edifício, mostrando a execução das alvenarias de blocos de concreto celular autoclavado.
 Fonte: Construtora C-1.

Um grande ganho no processo foi garantido pelo uso de módulos de banheiros pré-fabricados (figura 4.9). Neste caso, o módulo (contêiner) foi concebido em placas pré-fabricadas de argamassa armada e piso de concreto, prevendo todas as instalações necessárias ao uso e os acabamentos especificados (figura 4.10). Já as esquadrias e as instalações também foram definidas dentro da linha da construção seca, ou seja, os módulos de banheiros pré-fabricados caixilhos pré-fabricados, simplesmente encaixados na obra, e tubulações de polietileno reticulado para as instalações.



FIGURA 4.9 – Vistas da instalação do módulo de banheiro: (a) içamento; (b) posicionamento.
Fontes: (a) Construtora; (b) DIAS (2001).



FIGURA 4.10 – Vista interna do módulo de banheiro instalado.
Fonte: DIAS (2001)

A utilização de produtos industrializados como painéis de fachada pré-fabricados, banheiros prontos, paredes em gesso acartonado, não foi novidade para o escritório A-1, mas a utilização da estrutura metálica se mostrou um desafio.

Assim, a fase de execução do empreendimento contou com cerca de 93 empresas entre os principais fornecedores e executores dos serviços, o que exigiu da construtora grande capacidade de gerenciamento.

A SOLUÇÃO ESTRUTURAL

As colunas e vigas de aço foram executadas em perfis I. Argamassa projetada à base de gesso foi aplicada aos elementos como proteção passiva ao fogo. Para redução da altura das vigas, estas foram vinculadas à laje tipo *steel deck* para estabelecer um sistema de vigas mistas. Ligações semi-rígidas entre vigas e colunas, criaram um sistema de vigas semicontínuas.

A estabilização longitudinal do edifício foi garantida por 3 torres em concreto armado que formam núcleos rígidos, localizados nas extremidades de cada ala. Além das torres rígidas, que abrigam as escadas de emergência, foram projetados contraventamentos em 3 planos verticais, posicionados nas extremidades opostas aos núcleos e convergindo para a região central, para garantir a estabilidade no sentido transversal. Os contraventamentos também foram protegidos com argamassa projetada à base de gesso.

Devido à solução estrutural definir vigas principais e secundárias, foi possível entrar com todos os módulos de banheiro de uma ala usando a mesma plataforma de montagem, mostrada na figura 4.9a. As figuras 4.11, 4.12 e 4.13 esboçam a solução adotada pelo fabricante.

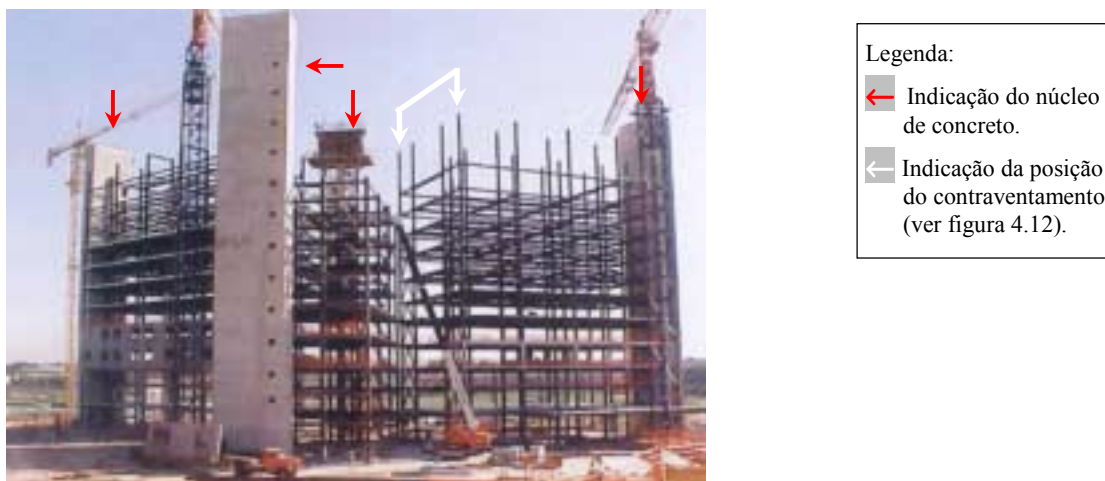


FIGURA 4.11 – Vista geral do edifício E-1, durante a montagem da estrutura metálica
Fonte: Adaptada de DIAS (2001).

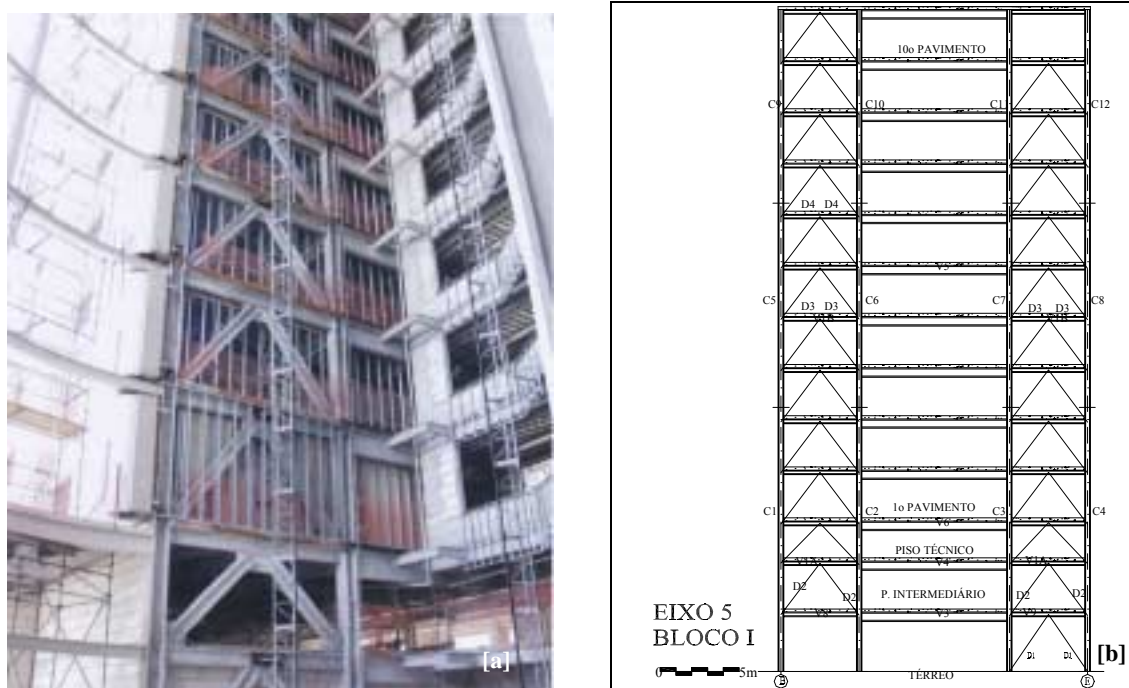


FIGURA 4.12 – Solução estrutural do edifício E-1: (a) vista dos contraventamentos na região interna do átrio, durante a execução*; (b) esboço da elevação dos contraventamentos.
Fonte: * DIAS (2001).

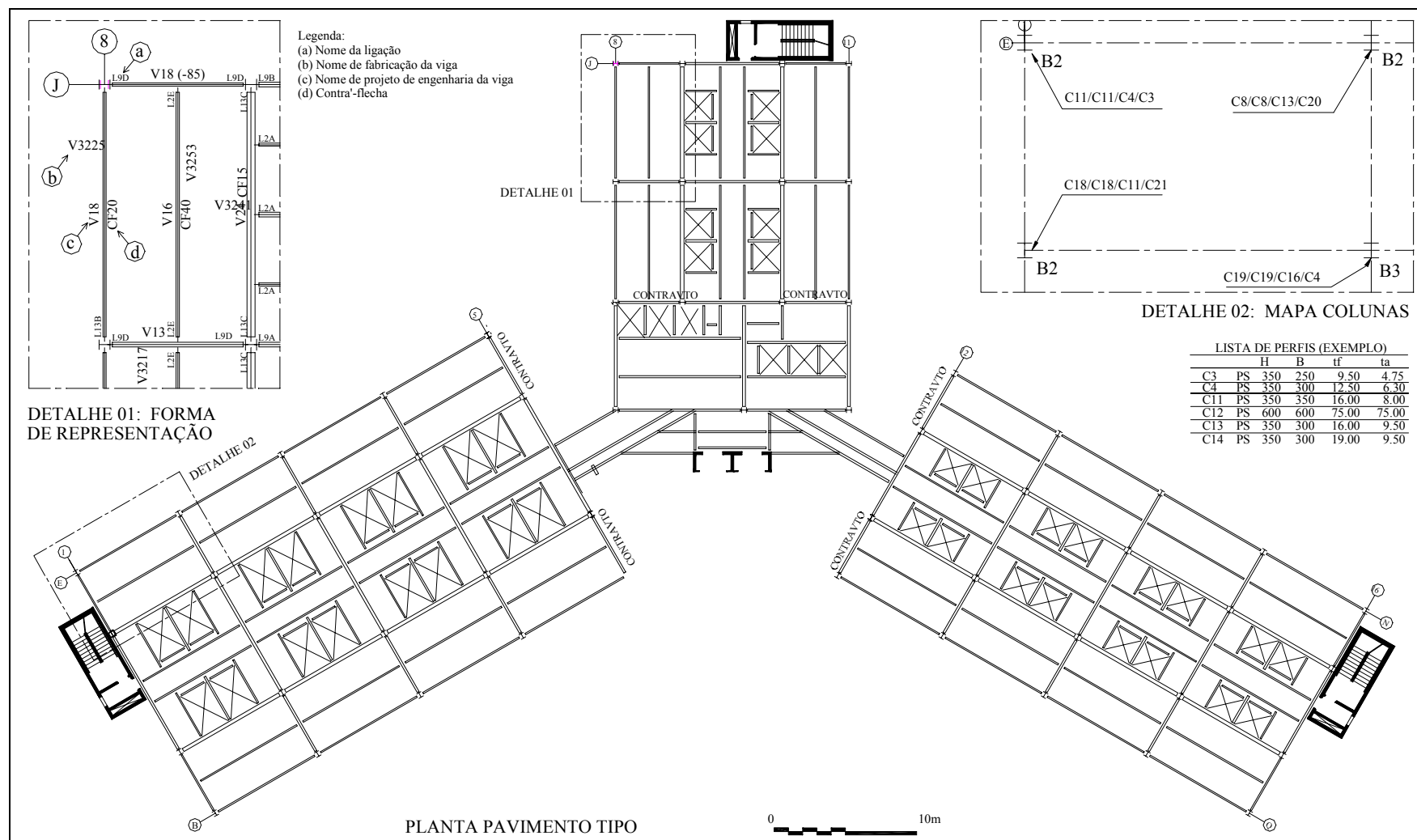


FIGURA 4.13 – Solução estrutural do edifício E-1: esboço da planta do pavimento-tipo.

O PROCESSO DE PROJETO

No processo de projeto do edifício E-1, a construtora atuou como gerenciadora, o escritório de arquitetura como coordenador e um terceiro escritório foi contratado para compatibilizar os projetos, desenvolvidos por uma equipe multidisciplinar.

De um modo geral, o projeto de um edifício destinado a abrigar um hotel, principalmente das classes quatro e cinco estrelas, *per se* é um processo bastante complexo. A falta de experiência dos projetistas e da própria construtora no desenvolvimento de um empreendimento de construção, integrando um número tão alto de sistemas industrializados, agregou ao processo níveis ainda maiores de complexidade.

Além disso, a estratégia planejada pela construtora: desenvolver os projetos simultaneamente à etapa de execução tornou o processo exaustivo (ver figura 4.14). Como a obra foi iniciada três meses após o início da fase de anteprojeto, durante a fase do projeto pré-executivo, o prazo de tempo para definir e otimizar o produto foi bastante reduzido.

A EQUIPE DE PROJETOS

Dentro do processo de projeto, a relação cliente-fornecedor era estabelecida em vários níveis. A INFRAERO e o grupo operador foram clientes da construtora e incorporadora, que era o cliente interno da arquitetura. A equipe de projetos, de uma forma geral, teve como cliente o escritório de arquitetura e a própria construtora. Da equipe de projetos, o escritório responsável pelo projeto de decoração foi o único a tratar diretamente com a operadora, desta forma, a especialidade de decoração teve três clientes: Operadora, Construtora e a Arquitetura.

Para a formação da equipe, para as especialidades de arquitetura, instalações elétricas e hidráulicas, ar-condicionado, sistema de automação e telemática, concreto armado, fundações, sondagem, drenagem, vedações, esquadrias de alumínio, cozinha industrial,

luminotécnica, decoração, paisagismo, estrutura metálica em perfis leves (decorativa) e proteção passiva da estrutura de aço, foram contratados escritórios especializados em projetos. Os projetos de fachada pré-fabricada, estrutura metálica, banheiro pronto, elevador, central de água gelada e geração de energia foram contratados com os próprios fornecedores ou instaladores. Assim, a equipe de projetos do edifício E-1 foi composta por cerca de 22 empresas, além do escritório de compatibilização, do gerenciador dos projetos e do gestor do empreendimento. Segundo o escritório de arquitetura, coordenador dos projetos, o grande número de participantes reflete a complexidade da obra e do processo de projeto.

A contratação de consultores, na fase de anteprojeto, do ponto de vista da construtora, se mostrou eficiente e fundamental para tentar garantir que as diretrizes iniciais fossem cumpridas, devido ao curto prazo previsto para a execução da obra, à dinâmica do processo em termos de alterações e à grande pressão para garantir o custo estimado. Assim, foram contratadas 10 empresas de consultoria nas especialidades de acústica, vidros, elevadores, banheiro pronto, plástico estrutural, *dry wall*, cozinha industrial, automação e hidráulica e de sistema da qualidade, para auxiliarem na definição do projeto de arquitetura e das demais especialidades em desenvolvimento (apresentando premissa, avaliando soluções, mas sem elaboração de desenhos), auxiliarem na contratação de fornecedores e, após a contratação dos projetos executivos, auxiliarem o gestor da construtora na aprovação dos mesmos. Alguns dos consultores foram contratados posteriormente como projetistas.

AS FASES DO PROJETO

Quanto ao processo de projeto, pode-se dizer que a especialidade de arquitetura conduziu o mesmo. Assim, as fases de projeto foram: estudo preliminar de arquitetura, concorrência, anteprojeto, projeto pré-executivo, projeto executivo e detalhamento. A figura 4.14 ilustra a evolução da etapa de projeto em termos de fases e indica o início da obra em relação às mesmas.

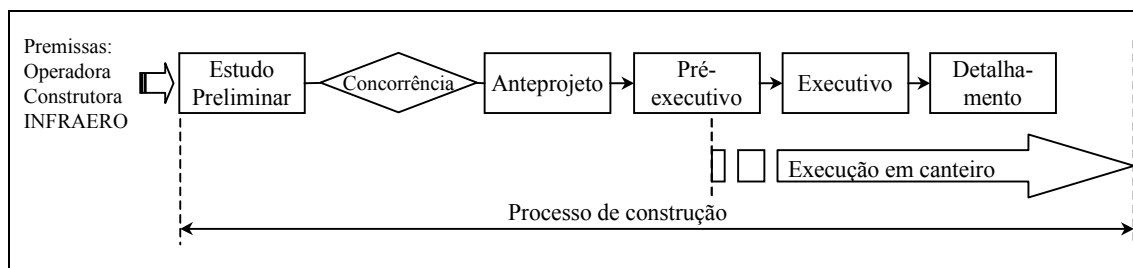


FIGURA 4.14 – Diagrama das fases do processo de projeto do estudo de caso E-1.

As atividades de viabilização econômica (orçamento) e definição dos sistemas construtivos foram realizadas somente depois do resultado da concorrência ser divulgado, e determinaram o início da fase de anteprojeto.

A partir da fase de anteprojeto, embora os projetos tenham evoluído conforme o diagrama acima, as fases não foram precisamente definidas no tempo para o conjunto de projetos, e cada especialidade iniciou e evoluiu o projeto conforme a necessidade da obra e dos demais projetistas.

Quanto ao projeto *as built*, como foi utilizado um grande número de sistemas construtivos industrializados, e a obra foi executada em paralelo aos projetos, não foram elaborados novos desenhos para um novo jogo de projetos, mas foram realizadas atualizações no projeto executivo, para incorporar as mudanças e revisões.

Além disso, as fases de escolha do terreno, estudo de mercado e elaboração/aprovação do projeto legal não fizeram parte do processo, e o acompanhamento da obra ou do uso não foi formalmente definido como escopo do escritório de arquitetura.

Na **fase de estudo preliminar**, o único projeto desenvolvido para a participação na concorrência foi o arquitetônico. As informações de entrada para a atividade foram: premissas e programa de necessidades, ambos definidos pela INFRAERO, diretrizes construtivas e financeiras definidas pela construtora (hipótese da seleção de sistemas construtivos industrializados), e características padrões da Operadora.

Como o terreno destinado à construção era bastante amplo, a área e a logística não

foram limitantes para a concepção do empreendimento.

O estudo preliminar de arquitetura foi desenvolvido por um dos arquitetos titulares do escritório, sem a participação formal dos projetistas de outras especialidades, inclusive da estrutura metálica. Mas, como o partido arquitetônico proposto já considerava a hipótese de a construtora utilizar sistemas industrializados, não existiram modificações expressivas ao longo do desenvolvimento dos projetos. Uma solução proposta para a minimização das possíveis interferências entre os sistemas industrializados e as instalações foi criar um andar técnico e uma central de utilidades (fora da projeção da torre), já mencionados anteriormente.

A **fase de anteprojeto** se caracterizou como a fase em que todos os sistemas construtivos e especificações foram realmente definidos e começaram a ser estudadas as soluções técnicas.

Após o resultado da concorrência, a construtora iniciou os estudos para definir e viabilizar os sistemas construtivos e os métodos a serem empregados e iniciou também a contratação das empresas para o desenvolvimento dos projetos (inclusive o escritório de arquitetura) e consultores.

Durante o desenvolvimento do projeto, quando a arquitetura necessitava de alguma informação técnica, o escritório entrava em contato com a construtora para saber quem era o projetista e, se o mesmo ainda não estivesse contratado, procurava obter a informação junto a profissionais do mercado.

Como exemplo de contratação durante as etapas mais avançadas do projeto, tem-se a do projetista de instalações. Como a concepção do edifício previa todos os trajetos das instalações, essa estratégia pôde ser utilizada sem acarretar perdas ao processo.

Logo no início do anteprojeto, houve mudança de Operadora, ocasionando alterações, principalmente nos pavimentos térreo e intermediário, uma vez que esses são andares de uso da mesma. Porém, por mérito da própria solução arquitetônica do edifício, essas

alterações não acarretaram grandes consequências.

Para o levantamento das informações necessárias ao início das atividades, o escritório de arquitetura utilizou um *checklist* inicial padrão que relacionava o tipo de construção, todos os sistemas a serem utilizados, verificava se as fachadas já estavam definidas, quais eram as premissas de instalações gerais necessárias, se o *folder* de venda já havia sido definido (quando for o caso), e outros dados.

Para o início dos projetos das especialidades complementares, os projetistas receberam o estudo preliminar de arquitetura para estudo. O projetista da estrutura metálica (fornecedor) somente, então, iniciou o pré-dimensionamento das colunas e vigas. Assim, como no estudo preliminar não foi considerada a estrutura metálica como sistema estrutural, algumas vezes, as dimensões dos elementos estruturais foram superestimadas. Porém, do ponto de vista da arquitetura, isto não foi um problema: apenas resultou em algum ganho posterior de área em relação às colunas.

Já em relação aos painéis de fachada, houve a preocupação da arquitetura em modular e racionalizar ao máximo o uso das formas, uma vez que interferem nos custos do produto. Uma estratégia adotada foi utilizar uma mesma forma para modelar elementos côncavos e convexos, o que reduziu o número de formas e garantiu dinamismo à fachada.

Na **fase de projeto pré-executivo**, realizou-se a intensa compatibilização dos projetos das diferentes especialidades, e desenhos referenciais foram gerados para serem utilizados como base na elaboração dos projetos executivos.

Conforme já dito anteriormente, a função de compatibilização foi atribuída a um escritório especializado, porém, o baixo desempenho desse escritório exigiu que a arquitetura também exercesse esta função. Para a compatibilização, o escritório de arquitetura sobrepôs os vários projetos e verificou manualmente as informações e os detalhes. Desenhos do entreforço também foram gerados para a determinação do nível em que deveria passar cada elemento do sistema de instalações e de ar-condicionado.

Como a obra foi iniciada durante esta fase, sem que todos os projetos estivessem fechados e compatibilizados, o tempo para a sobreposição e compatibilização dos projetos durante todo o restante do processo, segundo a coordenadora, foi insuficiente.

Uma vez solucionadas as interferências e aprovados os projetos pré-executivos, cada especialidade iniciou (individualmente e ao seu tempo) o **projeto executivo** e o detalhamento da solução. Nessa fase, em que os desenhos também eram submetidos a análises, a liberação para execução dependia da aprovação da coordenação e da gerência.

O fluxo de informações, nessa fase, foi menos intenso do que nas primeiras devido à redução da abstração do processo de projeto; porém, surgiram revisões devido à elaboração de detalhes, e novas compatibilizações foram necessárias.

OS RESULTADOS

A incompatibilidade de linguagem gráfica, a inexperiência da maioria dos projetistas da equipe em projetos de edifícios estruturados em aço e a pequena experiência dos projetistas da estrutura metálica em projetos de edifícios configuraram como as principais causas dos problemas e dificuldades enfrentados durante o processo de construção do edifício E-1.

A gerência e o coordenador dos projetos sentiram dificuldades em fazer com que os projetistas compreendessem as características da estrutura metálica de forma global. Os projetistas de automação, ar-condicionado, instalações, sistemas em geral, tiveram dificuldades para se adaptarem ao novo sistema estrutural. Além disso, a especificação de diferentes estruturas em uma mesma obra - estrutura metálica em perfis leves (decorativa), estrutura metálica pesada e estrutura de concreto - também contribuiu para a complexidade do processo, uma vez que o número de especialidades de projeto e de detalhes a serem compatibilizados se tornou maior.

A quantidade de desenhos e o fluxo de informações aumentaram muito, se comparados

com projetos de mesma tipologia em concreto. A responsabilidade da equipe de coordenação também cresceu consideravelmente. A maior dificuldade estava “no gerenciamento das informações que brotavam de uma forma extremamente rápida”, diz a coordenadora. A forma habitual dos projetistas tratarem as interferências percebidas em seus projetos no momento da verificação dificultou ainda mais o trabalho de compatibilização. A simples indicação da interferência na prancha de desenho, para que o escritório de arquitetura resolvesse a mesma, protelou soluções que poderiam ser propostas pelo próprio projetista da especialidade com um simples telefonema e, muitas vezes, gerou retrabalhos e esperas.

Em relação ao número de revisões, o mesmo foi bastante grande, principalmente para a especialidade de arquitetura. Primeiro, porque a INFRAERO examinava todos os projetos e os liberava com ressalvas uma, duas, três vezes; e segundo, devido aos muitos atrasos e mudanças ocorridos na decoração. Segundo o gestor, as alterações no projeto de decoração das unidades de hospedagem e da cozinha foram os maiores problemas enfrentados durante a construção.

Por ser a única equipe de projeto em contato direto com o cliente Operadora, a decoração foi a especialidade de projeto que mais interferências e mudanças sofreu. As mudanças implicaram no desenvolvimento de dois protótipos dos dormitórios. As minúcias do projeto, como locação de pontos elétricos, detectores de fumaça, entre outras, foram as definições mais problemáticas. As alterações atrasaram o cronograma de entrega dos projetos de detalhamento elétrico e, conseqüentemente, de *dry wall*.

Somente durante a execução da obra, foi projetado um *shaft* para recolhimento da roupa suja. Como o mesmo não estava previsto no projeto estrutural, foi necessária uma adaptação. Nesta questão, a estrutura metálica apresentou grande vantagem, mesmo que a execução tenha sido trabalhosa, pois permitiu a fixação de novas vigas para que o duto fosse criado. Além disso, a introdução do sistema de co-geração de energia apenas no final do processo de construção gerou um atraso de dois meses no término da obra.

Segundo o gestor do empreendimento, embora o supervisor de projetos (gerenciador) da

empresa construtora tenha tido uma atuação mais presente que em outros projetos, ainda assim, foi insuficiente para o que a obra demandava. Isto reafirma a importância do projeto para o sucesso global do empreendimento.

Quanto a construtibilidade da solução projetada, a execução da cobertura do átrio e dos detalhes da estrutura metálica decorativa foi a tarefa mais complicada da obra, levando cinco meses para ser concluída. A solução arquitetônica proposta só foi viabilizada pela montagem de uma laje provisória tipo *steel deck* no nível do décimo andar. Somente para a execução desse piso provisório, foram necessários quatro meses de trabalho. Como não foi estudada de forma adequada em projeto, a laje não pôde ser utilizada permanentemente (conforme vontade manifestada pelo cliente) por não suportar as sobrecargas exigidas e, assim, apenas resultou em um custo extra que não estava contabilizado. A figura 4.15 mostra o piso provisório necessário para a execução, e a solução arquitetônica, após a execução.



FIGURA 4.15 – Vistas da cobertura do átrio: (a) do piso provisório utilizado durante a execução; (b) após a execução;
Fonte: DIAS (200).

Especificamente com relação ao uso da estrutura metálica, existiram algumas dificuldades e problemas que geraram atrasos e adaptações. A contratação do fornecedor da estrutura metálica para projetar a estrutura, além de fabricá-la e montá-la,

agregou ao processo um certo nível de dificuldade inicial na compatibilização dos projetos, devido a pouca experiência da equipe de projetistas da fábrica em trabalhar com equipes multidisciplinares, com níveis tão altos de interdependência entre as especialidades de projeto, e com projetos em que a estrutura metálica tem caráter de subsistema e está subordinada a uma solução arquitetônica que deve atender as necessidades e exigências de vários clientes.

Segundo o gestor do empreendimento, a linguagem do projeto utilizada pela empresa era estritamente técnica do ponto de vista mecânico, sendo suficiente para a fabricação da peça, mas ineficiente para o desenvolvimento e compatibilização dos projetos das demais especialidades.

O atraso de dois meses no cronograma dos projetos, devido às incompatibilidades iniciais de comunicação e de linguagem gráfica entre a equipe de estrutura metálica e a equipe de arquitetura (coordenadora), reflete a importância desses fatores para o desenvolvimento do processo de projeto, uma vez que só foi possível dar andamento aos projetos e iniciar a compatibilização após a adaptação das duas especialidades ao processo.

A representação da estrutura por diagramas de engenharia, unifilares, não atendeu as necessidades do processo de projeto, segundo a coordenadora. A representação da estrutura apenas em planta baixa dificultou a compreensão do sistema, principalmente a visualização dos contraventamentos. A ausência das dimensões dos elementos estruturais (vigas, colunas, contraventamentos) no próprio desenho tornou o processo extremamente demorado. No diagrama de engenharia (mostrado na figura 4.13), as vigas eram denominadas conforme o perfil utilizado (VS1, VS7, VS30); assim, uma mesma denominação era atribuída a qualquer trecho de viga localizado em qualquer pavimento. Os dados referentes às vigas eram representados em tabelas, as quais, em um primeiro momento, fizeram parte de um caderno específico. As colunas eram representadas unifilarmente e a leitura das mesmas também foi trabalhosa: em planta, identificava-se os eixos referenciais correspondentes (por exemplo, eixo A-1); nas elevações individuais dos eixos de colunas (elevação eixo A-1, respectivamente),

representadas em outra prancha, em função do nível de pavimento, as dimensões dos perfis eram levantadas. Um mapa de colunas também as representava, conforme mostra o detalhe 02 da figura 4.13. Além disso, as unidades métricas utilizadas para identificar as dimensões dos perfis (“pés” x “polegada”) potencializaram as dificuldades para entendimento do projeto estrutural e para a sua compatibilização com os projetos das demais especialidades. Desta forma, foi necessária a adaptação tanto da especialidade de arquitetura (para compatibilizar os projetos) como da especialidade de estrutura metálica.

Assim, a empresa fornecedora da estrutura adequou o seu processo interno de projeto para tornar a sua linguagem mais compatível com a linguagem da construção civil e agilizar o processo. Desta forma, as unidades foram transformadas em milímetro; os perfis das vigas de cada pavimento foram especificados em uma tabela parcial, representada na própria prancha do desenho; a largura das mesas das vigas passou a ser representada, respeitando uma escala proporcional, nos desenhos de engenharia (detalhe 01 da figura 4.13); elevações das filas contraventadas foram elaboradas, com as vigas e as colunas representadas em escala, enquanto os contraventamentos foram desenhados, ainda, de forma unifilar (na figura 4.12b, o desenho pode ser observado). Mas, os contraventamentos continuaram a ser simplesmente indicados nas plantas das vigas, sem representação das mesas dos perfis ou das dimensões dos mesmos, que deveriam ser lidas na tabela de perfis da prancha das elevações.

Para que fosse possível representar as mesas das vigas, nos desenhos em planta, sem prejuízo para o projeto estrutural, os arquivos eletrônicos dos desenhos de engenharia, com extensão “dwg” (AutoCad), foram implementados com uma nova camada de desenho¹³, que permitiu a disponibilização das larguras das mesas para a compatibilização, sem a necessidade de criar um novo arquivo e sem sobrecarregar o projeto com informações.

Da mesma forma, a especialidade de arquitetura se adaptou. Por exemplo, se habituou a

¹³ Conhecida como *layer*, serve para organizar os dados do desenho em grupos hierárquicos que podem ser ativados, desativados ou bloqueados para edição [BUCHARD *et al.*, 1998].

ler as dimensões das colunas nas elevações, e se esforçou para compatibilizar as cotas de níveis de cada pavimento, uma vez que a estrutura metálica representava o nível do topo da viga, enquanto que a arquitetura representava o nível do topo da laje. Além disso, como a estrutura metálica representava, em planta, as vigas de suporte do pavimento, enquanto que a arquitetura representava as vigas de suporte do pavimento imediatamente superior, a equipe de arquitetura teve que se habituar a compatibilizar o projeto estrutural de um pavimento (vigas do pavimento intermediário, por exemplo) com os projetos de ar-condicionado, e da própria arquitetura, de outro pavimento (pavimento térreo, respectivamente). Esta diferença de abordagem para o desenho, se não esclarecida no início do processo de projeto, pode acarretar a compatibilização incorreta dos sistemas e, conseqüentemente, causar interferências graves.

Além de questões relacionadas à linguagem gráfica, outros aspectos da estrutura metálica influenciaram no andamento do processo de projeto. A precisão milimétrica da estrutura metálica, necessária à fabricação e montagem, exigiu maior precisão para a locação da obra e obrigou o amadurecimento prematuro de algumas informações de projeto, atribuindo ainda mais pressão ao processo.

A concepção arquitetônica não exigiu alteração ou adaptação da estrutura metálica, mas os contraventamentos resultaram em desvantagem para a solução arquitetônica, reduzindo a área útil projetada inicialmente para os ambientes. Percebe-se que o contraventamento foi uma questão delicada e foi visto, em geral, como um ponto negativo do sistema, embora fosse reconhecido como fundamental. Primeiro, por terem sido definidos em fases mais adiantadas do projeto executivo da estrutura; segundo, pelo procedimento adotado para a sua representação, já descrito em parágrafo anterior.

Desta forma, devido à inexperiência do escritório de arquitetura com o sistema estrutural, a interferência dos contraventamentos (perfis com larguras de mesas maiores que dos perfis das vigas) com o projeto arquitetônico e de decoração somente foi percebida após a montagem da estrutura, exigindo revisões de projeto e novas compatibilizações, para adaptação das soluções.

Além disso, a crença de que a estrutura metálica apresenta desnível vertical de fachada praticamente nulo contribuiu para a negligência das margens de tolerância dos sistemas industrializados. Assim, foi constatado o desaprumo da estrutura somente durante a montagem dos painéis de fachada. Tal defeito obrigou o fornecedor reparar alguns painéis, devido à falta de flexibilidade dos conectores para absorverem as diferenças de prumo que existiram (nas figuras 4.6a e 4.6b, foram mostrados dois modelos de conectores utilizados para a fixação dos painéis).

Além disso, como não houve retroalimentação da interferência que ocorreu no canteiro, ou seja, o fornecedor de painéis não comunicou a diferença de prumo e a necessidade de reparos para o gerente da obra, o fornecedor do painel de pele de vidro também encontrou problemas para a montagem (em uma fase posterior) e teve que improvisar.

Já com relação ao sistema de ar-condicionado, o mesmo não foi executado exatamente conforme o projeto. Os dutos de ar-condicionado, que sobem apenas por um lado do corredor e cruzam o mesmo no sentido transversal, não puderam ser instalados no nível projetado e foram rebaixados para passarem abaixo da viga.

Embora, desde o princípio tenha sido considerada a hipótese da furação das vigas para a passagem desses dutos, devido ao prazo apertado e à pressão existente, a produção foi liberada pela coordenação sem que a interferência tivesse sido compatibilizada. Da mesma forma, a equipe de projeto da fábrica liberou internamente a produção, encaminhando para a linha de fabricação os desenhos sem a marcação da posição dos furos e suas respectivas dimensões. Como foi considerada inviável a furação das vigas em campo, o forro do corredor foi rebaixado para a passagem dos dutos sob as vigas, de forma que o pé-direito livre previsto com 2,50 metros foi executado com, aproximadamente, 2,25 metros, não atendendo a premissa inicial do cliente Operadora.

A figura 4.16 mostra o corredor depois de acabada a obra.



FIGURA 4.16 – Vista interna da circulação dos apartamentos do andar-tipo: rebaixamento do forro.

Fonte: DIAS (2001).

Com relação à estratégia comercial, a contratação do fornecedor de estrutura metálica apenas para a montagem da estrutura e colocação das chapas de *steel deck*, deixando sob responsabilidade da construtora a contratação dos demais serviços, como projeto e aplicação da proteção passiva e concretagem da laje, não foi aprovada pela empresa construtora. Segundo a mesma, não existe interesse, atualmente, na compra de materiais de construção, nem mesmo de um sistema estrutural, mas na compra de uma solução completa.

Para concluir, pode-se dizer que, do ponto de vista dos participantes do processo de construção (projeto e execução) do edifício em estudo, de um modo geral, a imagem da estrutura metálica e do seu processo de projeto está relacionada a um sistema rígido, que não permite a furação ou o deslocamento de uma viga, se necessário; ou seja, um sistema que não dá chance de erro aos projetistas.

4.5.2 EMPREENDIMENTO E-2

O edifício E-2 se caracteriza como um centro empresarial e empreendimento de um Grupo de investidores do mercado imobiliário. Localizado na cidade de São Paulo, está implantado em um terreno com área equivalente a 4.613 m², e com frente para duas ruas.

Para o gerenciamento de todo o processo de construção, o Grupo contratou uma empresa especializada em gerenciamento, que respondia pelo mesmo. A construtora C-2 foi a responsável pelo gerenciamento da obra e dos projetos. O escritório de arquitetura A-2 assinou o projeto arquitetônico, coordenou e compatibilizou os projetos complementares. A figura 4.17 ilustra a relação entre os integrantes do processo de construção.

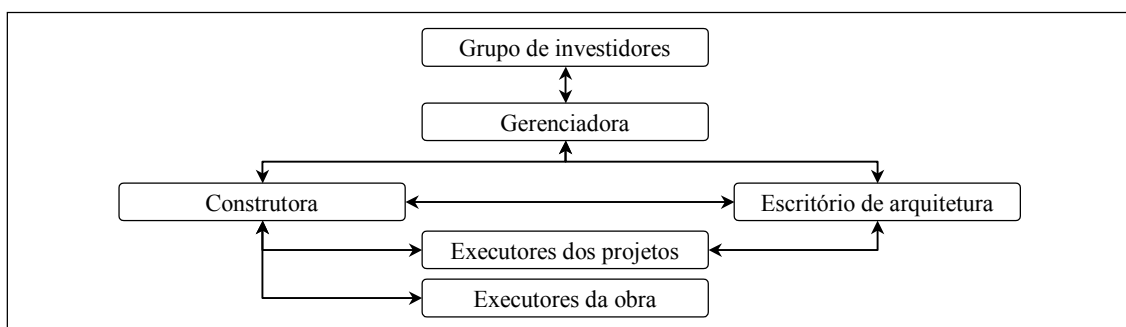


FIGURA 4.17 – Relação de trabalho entre os diferentes integrantes do processo de construção.

Quanto à execução da obra, em agosto de 2000, foram iniciados os serviços no canteiro de obras; no final de abril de 2001, as fundações. A montagem da estrutura metálica teve início na segunda quinzena de maio, com a entrega da obra prevista para agosto de 2002.

A SOLUÇÃO ARQUITETÔNICA

O edifício E-2 possui uma área total construída de 34.271,93 m², sendo composto por três subsolos, térreo com área de jardim e estacionamento, dois mezaninos, dezoito níveis de escritórios, ático (áreas técnicas e sala de espera do heliponto), casa de máquinas e barriletes, caixas d'água, e heliponto. A partir do pavimento térreo, o edifício tem altura total de 90 metros. Já o desnível entre os pisos do terceiro subsolo e do térreo é de 8,9 metros.

Nos subsolos, foram localizadas as garagens (com capacidade para 693 veículos), além das áreas técnicas (para geradores, trafos, transformadores, casa de máquinas, *chillers*,

exaustores, bombas, cisternas) e vestiários para funcionários.

No nível térreo, se localiza a entrada do edifício, marcada por um pé-direito livre máximo de aproximadamente dez metros de altura (figura 4.18). Nesse nível, o *hall* da recepção e as áreas de acesso à circulação vertical estão protegidos por um fechamento circular de vidro translúcido. A figura 4.19 ilustra a solução em planta.



FIGURA 4.18 – Vista panorâmica da entrada do edifício E-2.
Fonte: Escritório de arquitetura A-2.

Conforme mostra a figura 4.20, o andar-tipo foi concebido para sediar até duas empresas, cada uma servida por três sanitários (para deficientes, feminino e masculino) e uma copa. Casa de máquinas para ar-condicionado e *shafts* individuais foram previstos para cada conjunto. A disposição de colunas somente junto ao núcleo de circulação vertical e na periferia do edifício, proporcionou uma configuração bastante flexível para os andares-tipo e a máxima iluminação natural aos conjuntos. Para a coordenação entre forro, piso e caixilharia, foi considerado um módulo de 1,25 m.

A circulação vertical foi projetada da seguinte forma: seis elevadores partem do andar térreo (três servem até o nono andar e três, do décimo até o décimo oitavo); uma escada e dois elevadores ligam os subsolos ao térreo; um elevador de serviço e duas escadas de emergência servem desde o terceiro subsolo até o ático; e uma escada independente dá acesso ao heliponto a partir do nível do ático. A figura 4.21 ilustra a solução através do esboço de um corte transversal do edifício.

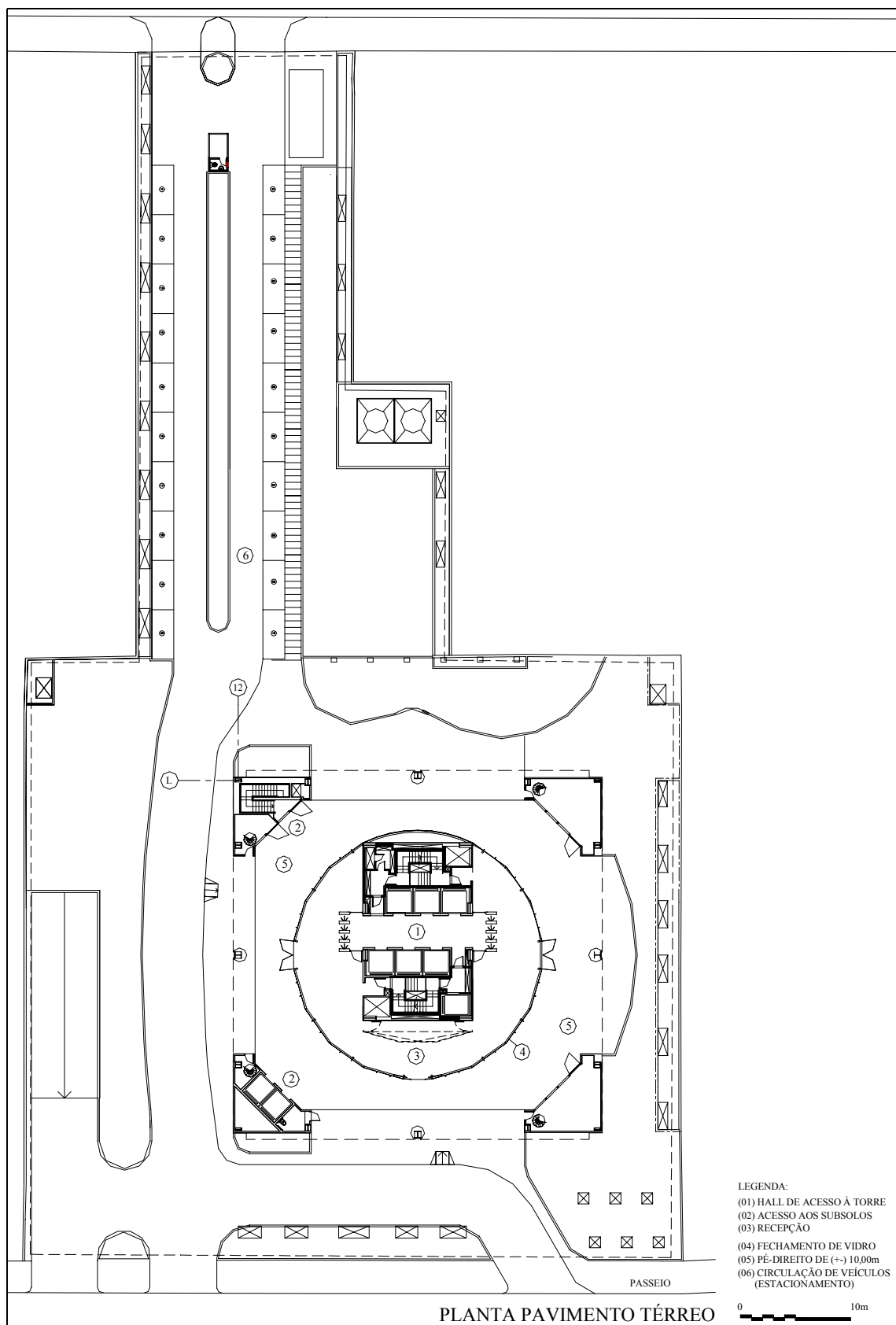


FIGURA 4.19 – Solução arquitetônica do E-2: esboço da planta do pavimento térreo.

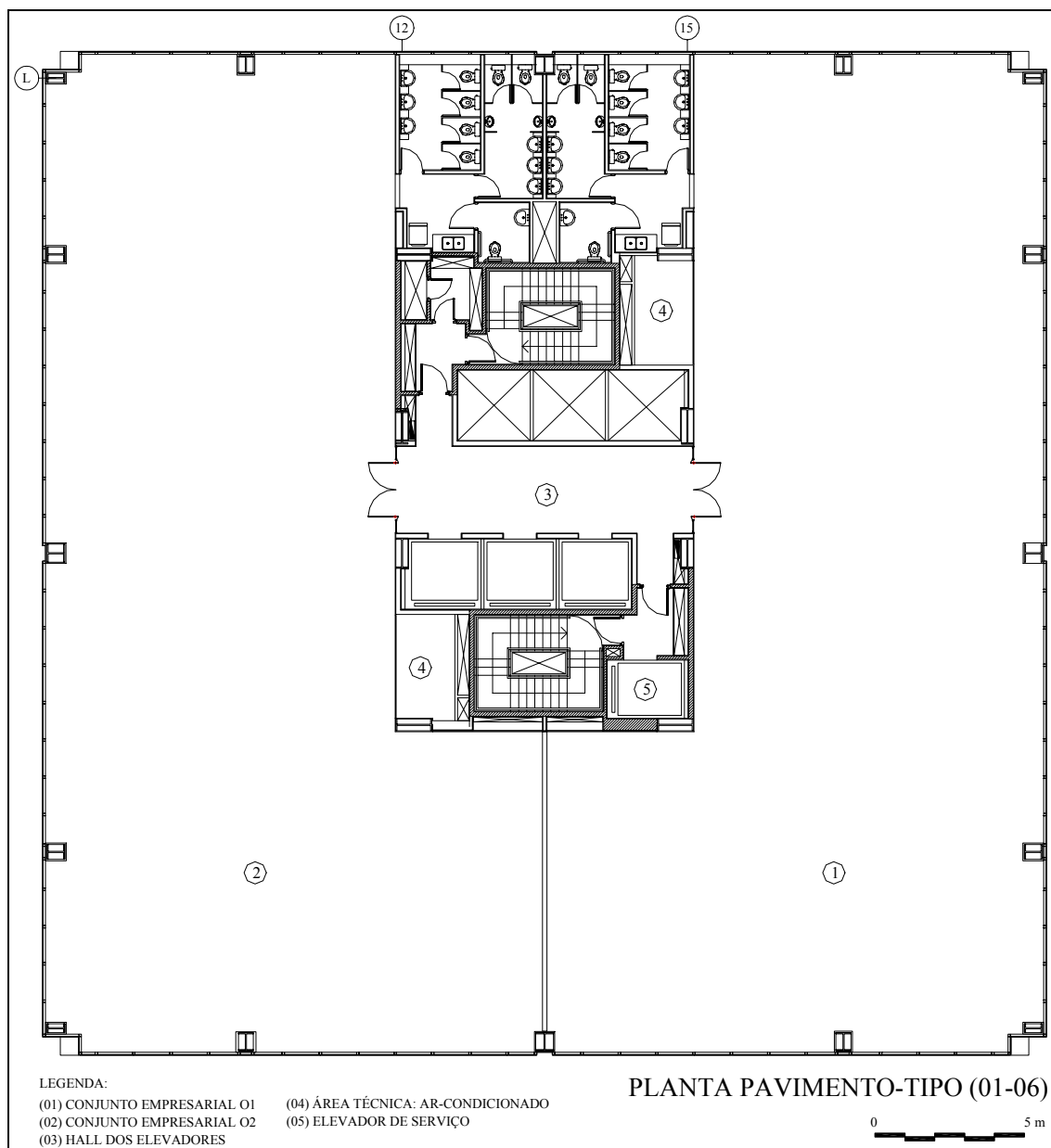


FIGURA 4.20 – Solução arquitetônica do E-2: esboço da planta dos pavimentos-tipo, do 1º ao 6º andar.

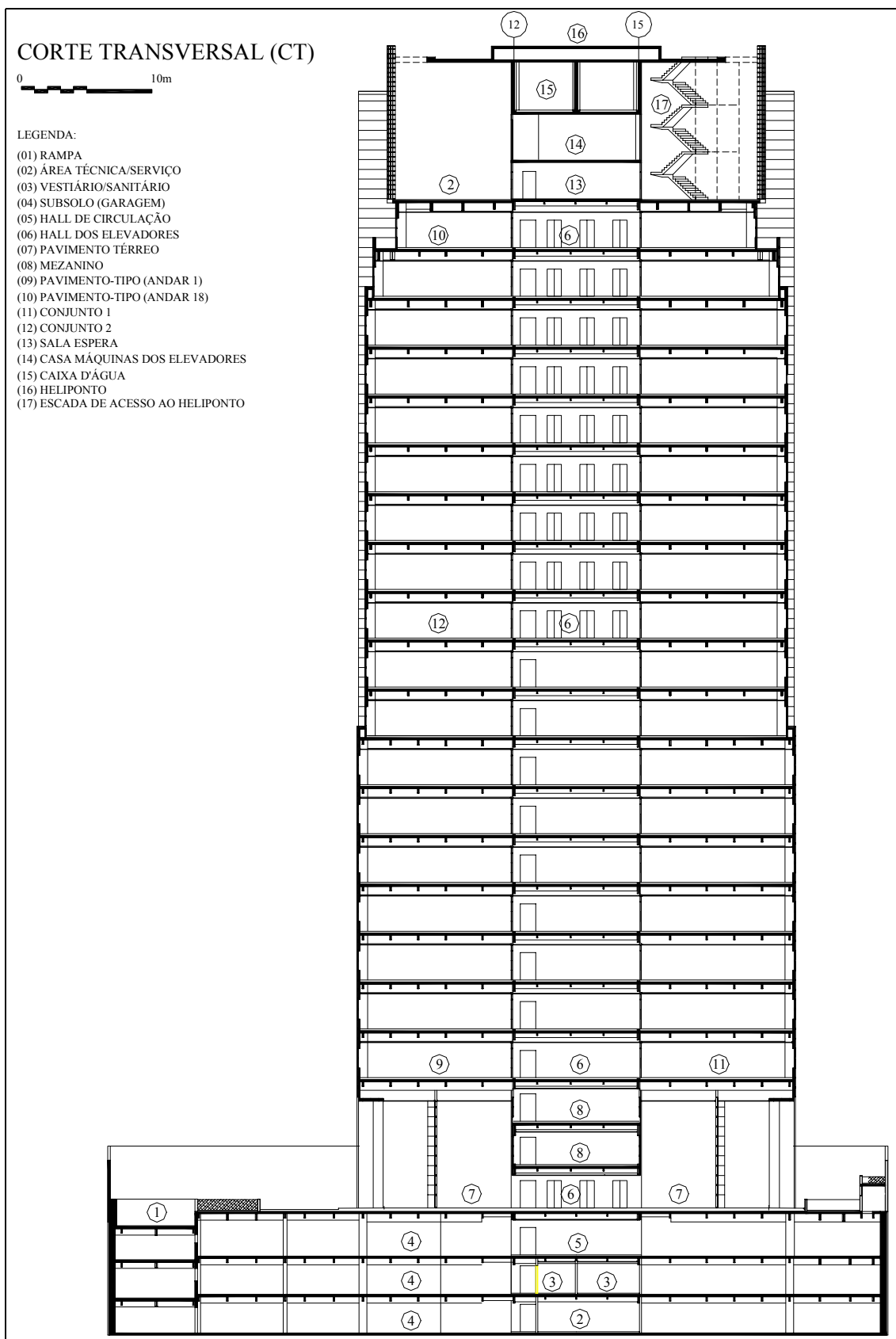


FIGURA 4.21 – Solução arquitetônica do E-2: esboço do corte transversal.

OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A seleção dos sistemas construtivos e das tecnologias empregadas foi realizada pela construtora, contratada pelo cliente a preço fechado. Os acabamentos foram especificados pelo escritório de arquitetura. Os sistemas construtivos definidos para o empreendimento seguem as características da construção seca.

Como sistema estrutural, foi adotada a estrutura metálica com lajes tipo *steel deck* (figura 4.22). Devido ao imóvel estar localizado em uma área com acesso restrito a caminhões em determinados horários, com períodos para funcionamento da obra determinados, com exigência de baixos níveis de ruídos, com canteiro de obras limitado, com exigência de limpeza, e devido a questões de prazo, a estrutura metálica apresentou melhor desempenho, embora tenha apresentado um orçamento superior, em torno de 10 a 15%.



FIGURA 4.22 – Ilustrações do sistema estrutural do E-2, durante a montagem: (a) vista panorâmica; (b) vista interna, a partir de um dos andares-tipo.

Fonte: Escritório de arquitetura A-2.

As fachadas foram executadas em painéis industrializados de concreto (preenchidos com poliestireno e revestidos em granito), intercalados por painéis de vidro semi-reflexivo (figura 4.23). Os caixilhos, em alumínio e de cor branca, foram executados também com sistemas industrializados e montados por mecanismo de encaixe. Placas de gesso acartonado foram utilizadas, nos andares-tipo, como forro e fechamento vertical dos sanitários e copas (figura 4.24a), e como revestimento das colunas. Foram também

utilizadas como forro nos *halls* dos elevadores, nas áreas de serviços gerais e nas escadas de emergência. Forro do tipo fibra mineral (figura 4.24b) e sistema de piso elevado foram especificados para as áreas dos escritórios. Blocos de concreto celular autoclavado (figura 4.24b) foram utilizados para a execução das alvenarias (fechamento do núcleo, das caixas de escada, das caixas dos elevadores, dos *shafts*).



FIGURA 4.23 – Sistema de fechamento vertical de fachada: (a) vista externa mostrando esquadrias e painéis de concreto instalados, durante a execução do E-2; (b) vista do painel de concreto, na fábrica.



FIGURA 4.24 – Vistas internas de um andar-tipo: (a) montantes para fixação das placas de gesso acartonado; (b) forro de fibra mineral e blocos de concreto celular autoclavado.

Para o fechamento circular das áreas técnicas localizadas sob a laje do heliponto, foram especificados elementos vazados, de forma a marcar a paisagem urbana, principalmente quando iluminadas. A figura 4.25 ilustra a solução.



FIGURA 4.25 – Vista panorâmica do topo do edifício E-2.
Fonte: Escritório de arquitetura A-2 (adaptada).

Para a fase de execução da obra, além dos fornecedores e executores dos serviços, foram contratados: um consultor para acompanhar a fabricação e montagem da estrutura metálica, e outro, para acompanhar o fornecimento do revestimento de granito.

A SOLUÇÃO ESTRUTURAL

No edifício E-2, foram três os principais desafios da definição da solução estrutural: (a) conforme a exigência da construtora, não utilizar núcleo rígido em concreto para estabilização; (b) atender as necessidades da solução arquitetônica quanto às dimensões máximas das colunas; e (c) executar transições laterais em três níveis da estrutura, devido à descontinuidade das fachadas (como pode ser observado na figura 4.21).

Desta forma, o sistema estrutural na projeção da torre do edifício foi composto por colunas metálicas em perfis soldados de seção I, preenchidas em concreto (sistema misto): dezesseis colunas ao longo das fachadas e oito colunas junto ao núcleo de circulação vertical sustentam o edifício (figura 4.26). As dimensões máximas viabilizadas para as colunas periféricas foram de 600x600mm (ver figura 4.30a) e, para as colunas do núcleo de circulação vertical, 1200x600mm (ver figura 4.29). Já as colunas localizadas fora da projeção da torre do edifício foram executadas em perfis de seção I, sem o preenchimento com concreto. As vigas foram executadas em aço, com perfis de seção I, e vinculadas por conectores às lajes tipo *steel deck*. Todas as ligações viga-coluna foram definidas como ligações semi-rígidas, estabelecendo um sistema chamado de vigas semicontínuas. Para a passagem dos dutos de ar-condicionado, as

vigas dos andares-tipo foram furadas em canteiro, recebendo vários tipos de reforços. Além disso, para suportar as transições estruturais existentes na torre do edifício, algumas das vigas de suporte do primeiro andar-tipo foram executadas com perfis de 1,50 m de altura, como mostra a figura 4.27.



FIGURA 4.26 – Vista panorâmica do edifício E-2, durante a montagem da estrutura.
Fonte: Escritório de arquitetura A-2, jan./02.



FIGURA 4.27 – Vista interna das vigas de suporte do primeiro andar-tipo, mostrando uma das vigas dimensionadas para absorver os esforços devido às transições estruturais.

Para a estabilização do sistema, foram definidos contraventamentos na periferia do núcleo de circulação vertical. Para redução da largura das mesas dos perfis de contraventamento, os mesmos foram especificados com seções tubulares soldadas. A figura 4.28a ilustra a solução empregada para os andares-tipo. No nível de entrada do edifício, para execução do pé-direito com aproximadamente 10 metros de altura (figura 4.29a), além dos contraventamentos do núcleo (figura 4.28b), foram definidos contraventamentos junto às fachadas, conforme a figura 4.29b.



FIGURA 4.28 – Vista interna dos contraventamentos localizados junto ao núcleo de circulação vertical: (a) a partir do pavimento-tipo; (b) a partir do pavimento térreo.



FIGURA 4.29 – Ilustração da solução de contraventamento adotada: (a) vista interna, mostrando a altura da coluna (600x600mm) sem travamento lateral; (b) vista externa, dos contraventamentos.

Para efeito de proteção passiva contra incêndio, todas as vigas foram revestidas com argamassa projetada à base de gesso. Os contraventamentos foram também revestidos com argamassa projetada, dimensionada para duas horas de proteção, quando não enclausurados pelas alvenarias de blocos de concreto celular autoclavado, como mostra a figura 4.30. As colunas mistas foram dimensionadas para situação de incêndio, não necessitando da aplicação do revestimento. Já as colunas simples, localizadas no subsolo, fora da projeção do edifício, foram revestidas, primeiro, com argamassa projetada à base de gesso, para efeito de proteção passiva, e, posteriormente, com argamassa comum de cimento e areia, para efeito de proteção mecânica.



FIGURA 4.30 – Vista interna a partir do pavimento-tipo, mostrando parte do contraventamento enclausurado na alvenaria, antes da aplicação do revestimento.

A figura 4.31 ilustra a forma de representação dos contraventamentos. Observa-se que apenas os vão contraventados são representados. A figura 4.32 ilustra a solução estrutural em planta.

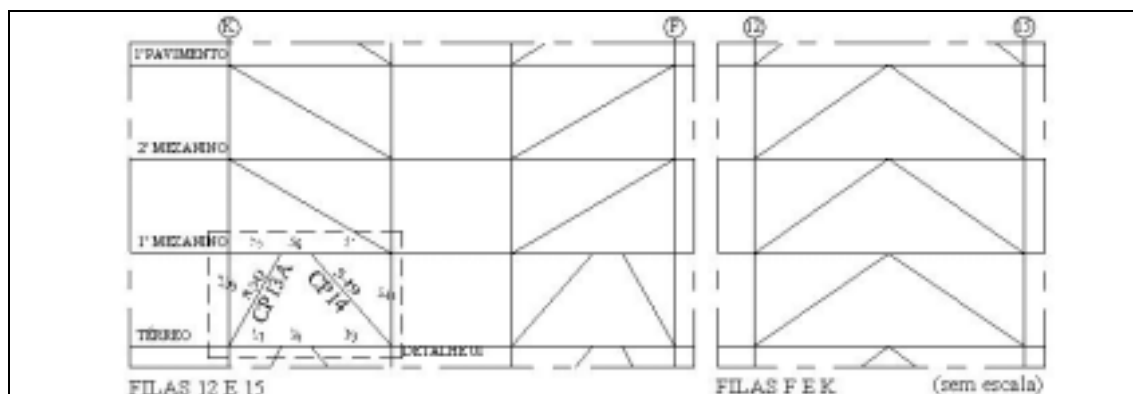


FIGURA 4.31 – Solução estrutural: detalhe da representação dos contraventamentos em projeto.

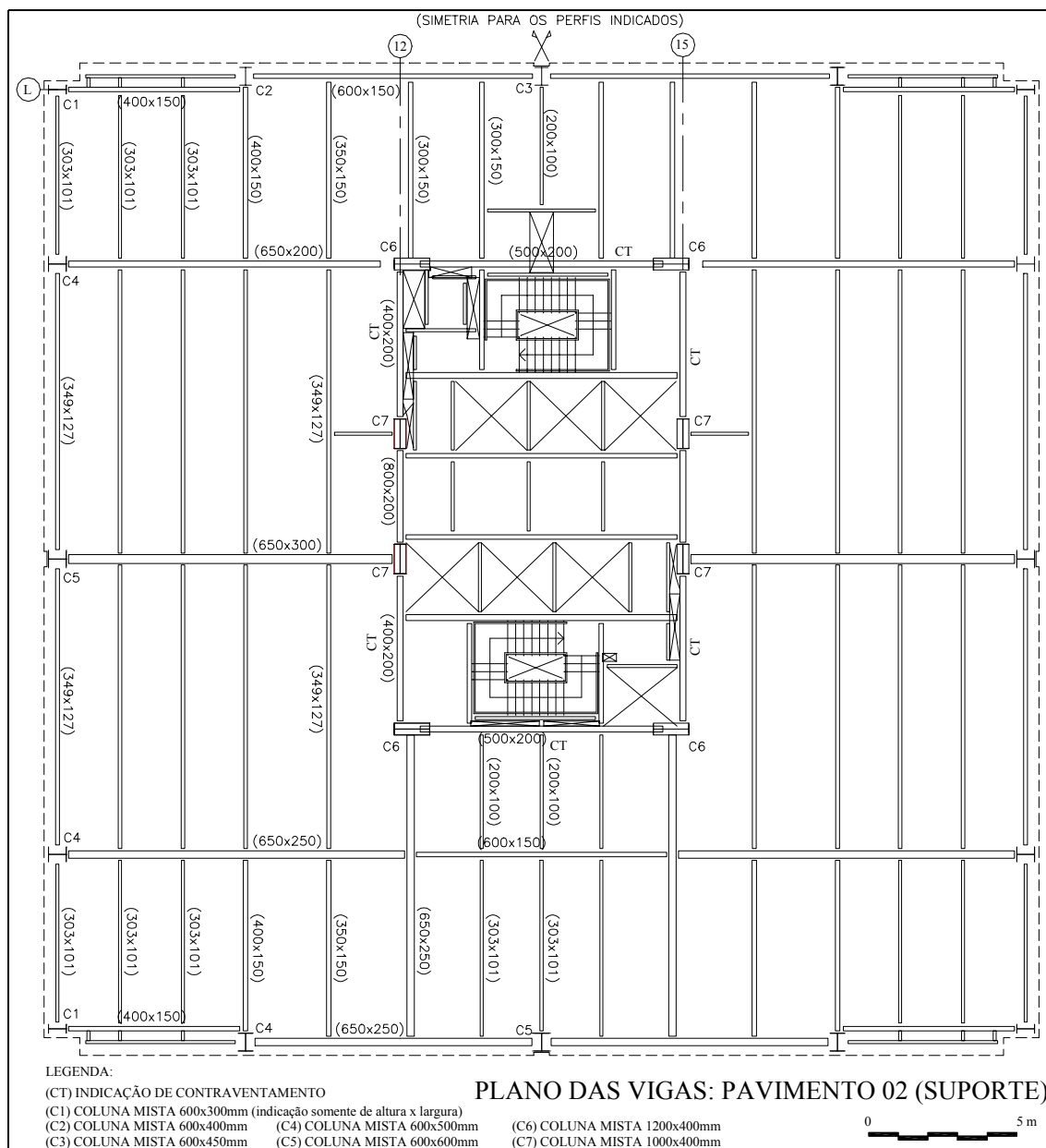


FIGURA 4.32 – Solução estrutural do edifício E-2: plano das vigas do primeiro pavimento-tipo.

O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Como já citado anteriormente, o escritório de arquitetura A-2 foi responsável pela elaboração dos projetos arquitetônicos, coordenação dos projetos complementares e compatibilização das diferentes especialidades de projeto. A equipe de projetos da construtora foi responsável pelo gerenciamento dos projetos complementares, e pela

compatibilização das interferências técnicas e construtivas entres os mesmos.

Porém, o processo de construção do edifício E-2 foi um processo bastante conturbado, devido às características de trabalho da construtora contratada inicialmente e à posterior mudança da mesma ao longo do desenvolvimento dos projetos para execução. Desta forma, após a elaboração do estudo preliminar de arquitetura, com a definição do partido arquitetônico, o processo de projeto se desenvolveu em duas etapas, gerenciadas por empresas diferentes, tratadas aqui como Processo de projeto – etapa 1 e Processo de projeto – etapa 2, descritas a seguir. Para melhor compreensão, datas aproximadas serão relacionadas aos fatos.

O ESTUDO PRELIMINAR DE ARQUITETURA

Em maio de 1999, um Grupo de investidores do mercado imobiliário contratou o escritório de arquitetura A-2 para desenvolver o projeto arquitetônico de um centro empresarial, após já ter articulado uma negociação com o proprietário do terreno.

O estudo preliminar foi elaborado com base no programa de necessidades (definido pelo cliente em reuniões), em dados básicos do terreno (como geometria e levantamento planialtimétrico aproximado) e em diretrizes da legislação municipal. O programa de necessidades previa, entre outros dados, a tipologia (edifício comercial), o número de pavimentos e de conjuntos (16 andares-tipo e 2 salas por andar) e a área do pavimento-tipo. Não houve estudo de mercado ou de viabilidade por serem os investidores já experientes nesse ramo. O partido arquitetônico teve como premissa o *layout* do pavimento-tipo: localização das caixas de escadas e de elevadores em um núcleo central, o que determinou a modulação estrutural. Nesta fase, a estrutura metálica ainda não havia sido especificada.

Validada a proposta pelo cliente, alguns parâmetros foram definidos, e iniciou-se o processo de contratação da construtora.

PROCESSO DE PROJETO- ETAPA 01

Com a solução arquitetônica definida, as negociações para contratação da construtora começaram a ser articuladas com uma empresa americana, que possuía uma cultura construtiva própria e bastante racionalizada. Desta forma, foram feitos estudos e alguns lançamentos estruturais em estrutura metálica por um possível fornecedor, para verificar as vantagens do sistema e a viabilidade. Como o lançamento estrutural apresentado pelo fornecedor se mostrou bastante atraente, a mesma foi especificada. Os demais subsistemas também foram pré-definidos para orçamento, e a construtora foi contratada por um preço fechado.

À frente da obra, em fevereiro de 2000, a empresa passou a orientar o andamento dos anteprojetos, acreditando que apenas o projeto de arquitetura serviria de base para os fornecedores e instaladores elaborarem seus “*workshop drawings*” e construir o edifício. Não contrataram projetos complementares, mas, sim, consultores que dariam suporte para que a arquitetura estudasse e incorporasse os subsistemas no projeto arquitetônico, e avaliariam os projetos executivos e de produção elaborados pelos fornecedores e instaladores. Por exemplo, o projeto estrutural seria desenvolvido pelo possível fornecedor ,quando fosse contratado; até então, o sistema seria incorporado pela arquitetura, com o suporte do consultor.

Segundo o arquiteto, essa estratégia de trabalho não permitia que o projeto fosse consolidado por não haver subsídios, como dimensões de colunas e alturas de vigas, diretrizes de instalações, ar-condicionado, pois qualquer decisão tomada poderia ser revista. Até meados de maio de 2000, essa fase se desenvolveu como se fosse um estudo preliminar. Entre os meses de maio e junho, o projeto evoluiu um pouco para um nível de anteprojeto, permitindo a elaboração do projeto legal para aprovação junto à Prefeitura Municipal.

Mas, em meados de julho de 2000, a oportunidade de compra de um dos terrenos vizinhos possibilitou o acréscimo de 2 andares ao número de pavimentos do edifício, implicando em uma série de adaptações. Desta forma, um novo processo de aprovação

legal foi iniciado, se encerrando somente em fevereiro de 2002.

Em agosto de 2000, o escritório de arquitetura informou o alto grau de evolução do projeto, preocupado com as modificações que fatalmente ocorreriam pelo nível de indefinições existente. Apenas em setembro, a construtora informou o possível fornecedor de estrutura metálica e a futura especificação das fachadas. Só nos meses de outubro e novembro, foram contratados os consultores de acústica e de luminotécnica. Nesse período, o consultor de instalações ainda estava fornecendo critérios de especificação, parâmetros e definições, como volume das caixas d'água e demandas de cargas elétricas, e propondo mudanças; o de ar-condicionado, determinando critérios e dados de projeto; o de acústica, informando as premissas. Já a arquitetura, ainda sofria modificações pelo cliente, que solicitara a retirada de banheiros de 02 subsolos, e cobrava os estudos preliminares dos consultores referentes aos projetos de elétrica, hidráulica, ar-condicionado, ventilação, entre outros.

Quanto ao projeto estrutural, o mesmo foi definido nesse período. Mas, para conturbar ainda mais o processo, a construtora desenvolveu estudos à parte, diretamente com o fornecedor da estrutura metálica, com o objetivo de simplificar o projeto estrutural e baixar o custo da estrutura. Independentes da coordenação da arquitetura, elaboraram propostas de simplificação do projeto arquitetônico que interferiam intensamente na volumetria do edifício. Enquanto isso, segundo o arquiteto, a arquitetura foi desenvolvendo seu projeto, desconhecendo o projeto estrutural real e baseando-se nos próprios conhecimentos e nas propostas do consultor quanto aos vãos ideais, seções de colunas e alturas de vigas.

Desta forma, nesta primeira etapa do processo de projeto, a equipe de desenvolvimento dos projetos contou com o escritório de arquitetura e com consultores para as especialidades de ar-condicionado, de elevadores, de estruturas de concreto e de metálica, de fundações, de instalações, de acústica e de luminotécnica.

Ao longo desse processo, a construtora se desfez no Brasil e foram conduzidas novas negociações para a definição de uma nova empresa.

PROCESSO DE PROJETO – ETAPA 02

Por volta de dezembro de 2000, a construtora C-2 assumiu o compromisso da execução da obra, também com um preço final definido, e iniciou as contratações efetivas para a execução dos projetos para execução das especialidades complementares, até então representadas por consultores que tiveram uma participação quase inócua, apresentando diretrizes e relatórios, discutindo alternativas, mas não emitindo estudos na forma de projeto. Como estratégia construtiva, programou o desenvolvimento dos projetos simultaneamente ao processo de execução da obra. O início do desenvolvimento e a entrega dos projetos de cada especialidade foram definidos conforme era julgada a necessidade da obra.

Mas, logo que assumiu o processo de construção do edifício E-2, a construtora C-2 realizou novos estudos de viabilidade, inclusive para comparação entre a estrutura metálica e o sistema estrutural em concreto. Também condicionou novas alterações na arquitetura, com a intenção de viabilizar custos: os subsolos tiveram o pé-direito reduzido em aproximadamente 2 metros, para a redução das alturas das paredes diafragmas, das colunas, do volume de escavação, das áreas de rampas, principalmente. Já nos pavimentos-tipo, para melhor aproveitamento do pé-direito, os dutos de ar, previamente definidos para passarem sob as vigas, foram redefinidos para cruzarem as mesmas.

Definidos todos os sistemas construtivos, o fabricante da estrutura metálica foi contratado para projetar, fabricar e montar o sistema estrutural, sob auditoria de um consultor.

Antes de assinado o contrato, a proposta de solução estrutural preparada pelo fornecedor da estrutura metálica foi submetida à aprovação da arquitetura. Porém, esta proposta, elaborada ainda sob o comando da construtora estrangeira, sem o conhecimento do coordenador e representada em formato de diagramas unifilares em planta, simplificava a solução arquitetônica. Isto obrigou o posicionamento do escritório de arquitetura de forma a garantir que o projeto estrutural respeitasse o projeto arquitetônico. Na ocasião,

também foi solicitado que o projeto não fosse representado por simples diagramas unifilares, para que as dimensões dos perfis, vigas, pilares, contraventamentos e os tipos de ligações pudessem ser analisados proporcionalmente. Assim, uma nova proposta foi elaborada, com base na solução arquitetônica; porém, as seções dos perfis permaneceram muito diferentes do primeiro estudo apresentado, o qual tinha características muito interessantes, como perfis esbeltos e vãos muito flexíveis. O motivo para a mudança estaria na negociação da estrutura com a construtora C-2, a qual exigiu uma série de alterações, como aumentar as seções de alguns perfis. A arquitetura novamente insistiu para que a proposta inicial permanecesse. Assim, o fornecedor reajustou o projeto de forma a atendê-la: reduziu a dimensão máxima das colunas perimetrais do térreo de 1200 mm para 600 mm, e das colunas do núcleo central, localizadas junto ao *hall* de elevadores, de 1200 mm para 1000 mm. Nesse processo, a arquitetura também abriu mão de algumas propostas, mas o partido inicial foi mantido. Desta forma, pode-se dizer que a solução arquitetônica direcionou a solução estrutural. O contrato com o fabricante da estrutura metálica foi estabelecido sobre um diagrama referencial da locação das vigas e colunas, a tonelagem de aço, o preço total da estrutura e o prazo final para a execução do empreendimento. Embora tenham sido especificadas dimensões máximas para os perfis em cada pavimento, as mesmas não foram referenciadas em contrato.

Negociadas as soluções, prosseguiu-se com as definições dos critérios de fundações (cargas), conceitos e sobrecargas das fachadas pré-fabricadas, especificação de guindastes, geradores, entre outros, de forma a viabilizar o início da montagem da estrutura da torre do edifício em maio de 2001. Como base de trabalho para os anteprojetos das especialidades de arquitetura, ar-condicionado, instalações, foram utilizados os desenhos referenciais da estrutura, enquanto o projeto executivo era elaborado.

Como as entregas dos projetos de cada especialidade eram realizadas em função do cronograma de execução da obra, as fases do processo de projeto, definidas como anteprojeto, projeto executivo, detalhamento, projeto para produção, se referiam apenas ao nível de detalhamento dos desenhos de projeto, sem definir um período de tempo

determinado. Por exemplo, em fevereiro de 2001, o projeto executivo das fundações já havia sido emitido, mas apresentou revisões até maio, período em que a arquitetura estava ainda finalizando o anteprojeto, e parte da estrutura metálica já estava em linha de produção, com parte dos projetos executivos e de fabricação aprovados. E o projeto executivo e o detalhamento da especialidade de arquitetura somente foram executados durante o período de junho a agosto, admitindo revisões posteriores. Neste contexto, realizou-se a compatibilização dos anteprojetos e dos projetos executivos, em diferentes momentos durante o processo de projeto. A figura 4.33 esquematiza o processo de construção do edifício E-2. Nela, a classificação por fases refere-se aos níveis de detalhamento dos projetos.

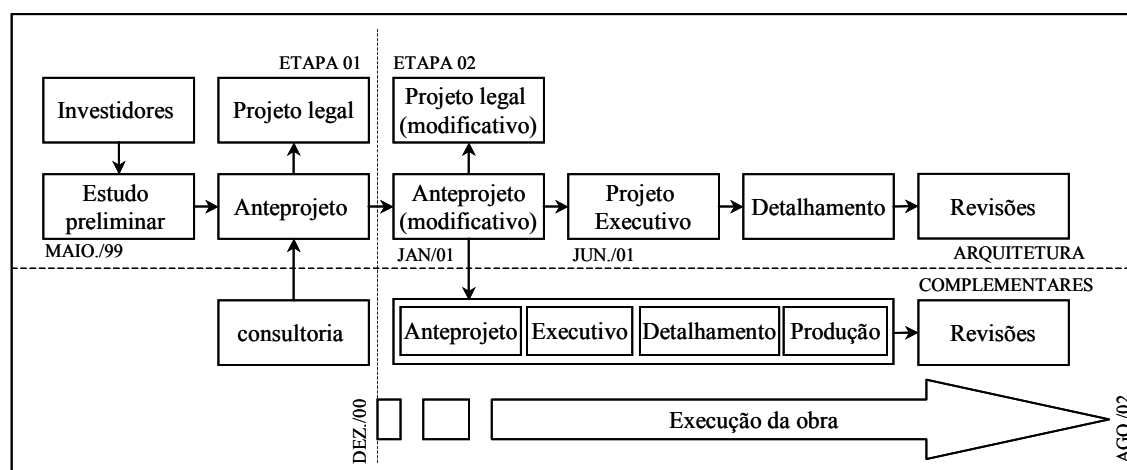


FIGURA 4.33 – Diagrama do processo de construção do edifício E-2.

De forma a ilustrar melhor o processo, no quadro 4.1, as especialidades que definiram a equipe multidisciplinar foram relacionadas aos projetos elaborados e à fase do projeto arquitetônico, quando realizada a emissão inicial.

Além disso, os projetos para aprovação nos vários órgãos foram executados pelas especialidades correspondentes. Representantes do departamento de projetos da construtora também integraram a equipe, como gerentes.

QUADRO 4.1 – Relação das especialidades de projeto.

A EQUIPE E O DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS												
ATUAÇÃO		ESPECIALIDADE		FASES							COMPLEMENTO	
Especialista em projetos	01	ARQUITETURA	Estudo preliminar (EP): maio/99							Etapa inicial		
			Anteprojeto (AP): maio/00-dez/00							Etapa 01		
			Projeto legal (PL): ago./00-nov./00							Etapa 02		
			(AP) modificativo: jan./01-maio/01									
			(PL) modificativo: jan./01-fev./02									
			Proj. executivo (PE)/ detalhamento (PP): junho/01-agosto/01							Com revisões ao longo de toda a obra.		
COMPRELEMENTARES			O que produziu?				* Quando entrou?		Emissão Final**			
			AP	PE	PD	PP	AP	PE			(+)	
Especialista em projetos	02	Fundações										
	03	Concreto armado										
	04	Ar-condicionado							Ago./01	Revisões em dez./01		
	05	Instalações ⁽¹⁾										
	06	Caixilhos/esquadrias de alumínio									Rev. PE - jan./01	
	07	Luminotécnica									PE – jan./02; com revisões posteriores	
	08	Paisagismo									Executivo em jan./02	
	09	Acústica									Revisões até dez./01	
	10	Acessoria aeronáutica (heliponto)										
Fabricante ou instalador	11	Estrutura metálica ⁽²⁾										
	12	Proteção passiva ⁽³⁾										
	13	Elevadores										
	14	Ar-condicionado							Dez/01	Revisões até mar./02		
	15	Fachada pré-fabricada										
	16	Gesso acartonado										
Consultor	17	Corpo de Bombeiros projeto para aprovação										
Cronograma parcial da obra: (a) terraplenagem: dez./00 – abril/01; (b) fundações: abril/01 – dez/01; (c) Estrutura metálica: maio/01 – abril/02; (d) a instalação dos dutos de ar-condicionado foi iniciada antes da aplicação da proteção passiva.												
Observação: As indicações das revisões não são precisas ou finais (por estar a obra em andamento no momento da investigação), mas demonstram a continuação dos projetos e as necessidades de compatibilização ao longo da obra.												
Legenda: (PP) projeto para produção; (*) nível de desenvolvimento do projeto arquitetônico quando emitiu o primeiro projeto; (**) período aproximado da emissão do projeto final; (+) emissão inicial depois do projeto arquitetônico estar liberado para obra (indica o início do projeto após o início da obra); (1) instalações: elétrica, telefonia, lógica, automação, detecção e alarme de incêndio, combate a incêndio, descargas atmosféricas, hidro-sanitária, água pluvial, drenagem, gás combustível; (2) inclui o projeto da laje tipo <i>steel deck</i> ; (3) contratado pelo fornecedor da estrutura metálica.												

Do exposto acima, pode-se dizer que a forma como foram planejados os processos de projeto e execução do empreendimento propiciou que as negociações fossem estressantes ao longo de todo o processo. A contratação da construtora e do fornecedor de estrutura metálica, também responsável pelos projetos, por preço final pre-estabelecido criou uma situação de defesa dos interesses individuais de cada especialidade, para qualquer dúvida que surgisse, obrigando sempre o posicionamento do cliente, representado pela gerenciadora. Como todos trabalhavam em seu limite, o escritório de arquitetura procurava manter a qualidade final do produto, por ser ele autor

e o responsável pela solução; o fornecedor de estrutura metálica e a construtora procuravam ficar dentro do orçamento contratado; e o cliente, garantir as condições de contrato. Além disso, a contratação de consultores como instrumento de desenvolvimento dos anteprojetos se mostrou ineficaz, representando um custo desnecessário.

OS RESULTADOS

Com o propósito de exemplificar dificuldades ou problemas vinculados à estrutura metálica e enfrentados no processo de desenvolvimento do empreendimento, serão descritas, nos parágrafos seguintes, mais algumas características levantadas durante a investigação

A incorporação do sistema estrutural e do sistema de ar-condicionado no projeto foi bastante traumática para a arquitetura e gerou um ônus grande para o cliente, em função do volume de retrabalho e revisões. O projeto de ar-condicionado foi o que mais sofreu modificações em função da estrutura metálica.

Para a arquitetura, as maiores causas de tanta dificuldade foram todas as modificações que o projeto sofreu ao longo do seu desenvolvimento, a mudança da construtora e a entrada efetiva dos projetistas das especialidades complementares em um estágio bastante avançado da mesma. Por serem os últimos elementos definidos e dimensionados, e devido à arquitetura não ter percebido a influência desses sobre as soluções arquitetônicas e dos sistemas de serviço (quando a proposta estrutural foi submetida para aprovação), os contraventamentos geraram alterações nos subsolos, perda de área útil nos andares-tipo, principalmente, e adaptações não esperadas (como o deslocamento das rampas de acesso aos pisos de garagens e o aumento das espessuras das paredes que fecham o núcleo de circulação vertical). Além disso, a forma de representação dos contraventamentos no projeto estrutural (mostrada na figura 4.31) fez com que a arquitetura não percebesse, durante a elaboração do projeto, a existência de uma interferência entre um dos contraventamentos e o acesso para uma das casas de máquinas. Tal interferência só foi verificada durante a execução da obra e exigiu a

compra de um equipamento para manutenção do sistema de ar-condicionado tipo desmontável.

O projetista de ar-condicionado entrou na fase em que fora adquirido o terreno vizinho (quando o projeto ainda era administrado pela construtora estrangeira), mas, embora tenham sido definidas algumas premissas, como a localização da casa de máquinas na região central do pavimento, existiram muitas modificações em função da estrutura e de decisões tomadas pela construtora, como a redução do pé-direito dos subsolos para redução dos custos e a passagem dos dutos através de aberturas na alma das vigas (já mencionadas anteriormente). A figura 4.34, de janeiro de 2002, ilustra a solução final definida para os sistemas de serviço. Nela, pode-se observar ainda que, em alguns pavimentos, a instalação dos dutos foi iniciada antes da aplicação do revestimento de proteção contra incêndio, o que não é a solução ideal.



FIGURA 4.34 – Solução apresentada para o sistema de serviço do edifício E-2: vista do entreferro do conjunto 02, durante a fase de execução.

A especialidade de ar-condicionado fez a análise das áreas disponíveis para o sistema e repassou as informações para a arquitetura, para que as mesmas fossem incorporadas no projeto, para posterior detalhamento. Essa atividade foi de difícil execução devido à interdependência entre as informações: (a) a estrutura metálica demorou para liberar a área livre das casas de máquinas, que era dada em função das seções dos contraventamentos; (b) o projeto executivo do ar-condicionado, elaborado pela instaladora, só foi finalizado em dezembro de 2001, quando a estrutura já estava

bastante avançada. Desta forma, somente foram liberadas as dimensões máximas e as posições dos furos depois de ter sido apresentado um segundo projeto de ar-condicionado¹⁴, que previa dois ramais principais saindo das casas de máquinas e dutos cruzando as vigas. As diretrizes apresentadas tornaram esse projeto inexecutável e exigiram a elaboração de um terceiro, no qual os dutos fossem subdivididos em mais ramais ainda dentro da casa de máquinas, pois, para que as espessuras das chapas dos dutos não inviabilizassem economicamente o sistema, as suas seções deveriam ser de tal dimensão que a largura nunca ultrapasse 4 vezes a altura, para que os dutos não fossem nem muito esbeltos nem muito flexíveis. Como o número de ramais principais aumentou e, conseqüentemente, a área total dos furos em vigas do núcleo central, a passagem dos dutos ficou impossibilitada. Para resolver a interferência, a estrutura metálica teve que adaptar o projeto. A solução dada previu o deslocamento vertical da viga em relação à laje, conforme mostram as figuras 4.35 e 4.36, para que os dutos principais ficassem com a passagem livre. A compatibilização gerou novas verificações e revisões, principalmente para a estrutura metálica. A solução encontrada não interferiu no projeto arquitetônico, pois o mesmo previa piso elevado.

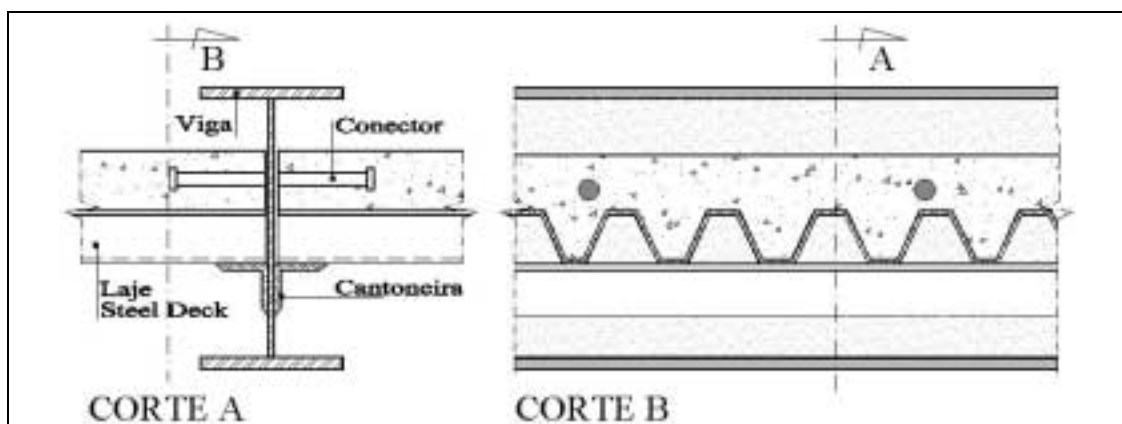


FIGURA 4.35 – Detalhe esquemático de adaptação da estrutura para a saída dos dutos de ar-condicionado da casa de máquinas, no pavimento-tipo.

Além disso, as aberturas das vigas não puderam ser executadas em fábrica, principalmente porque grande parte da estrutura já estava montada. Desta forma, as mesmas foram executadas em canteiro, para que as revisões não atrasassem o

¹⁴ No primeiro projeto, os dutos passavam sob as vigas.

cronograma de fabricação das peças restantes e, conseqüentemente, o cronograma de montagem da estrutura.

Além disso, somente após a entrega do projeto executivo do ar-condicionado, em dezembro, concluiu-se que as aberturas não poderiam ser executadas em função de, nos cálculos, ter sido considerada uma taxa de furação inferior àquela que deveria ser executada. O projetista do sistema de ar-condicionado se posicionou de forma a forçar uma solução por parte da estrutura, pois o projeto não permitia adaptações, e a instaladora já estava contratada e com o detalhamento pronto. Essa situação exigiu a soldagem de chapas de reforço em praticamente 100% das aberturas, como mostrado na figura 4.37. A maior conseqüência desse trabalho em obra foi o alto custo extra gerado, pelo fato de o serviço não estar previsto em contrato.



FIGURA 4.36 – Vista da solução apresentada, em detalhe, depois de executada.



FIGURA 4.37 – Detalhe da solução adotada para reforço dos furos nas vigas.

O planejamento para o desenvolvimento do projeto de paisagismo também tornou o processo problemático. O estudo preliminar do paisagismo do térreo foi elaborado pelo escritório de arquitetura e serviu de base para que a estrutura metálica desenvolvesse o seu projeto. Porém, como a construtora contratou o paisagista para o desenvolvimento do projeto executivo somente por volta de dezembro de 2001¹⁵, o mesmo modificou drasticamente a proposta preliminar: lajes que previam sobrecarga relativa a uma vegetação de pequeno porte passaram a suportar plantas que demandavam um volume maior de terra, enquanto que lajes projetadas para suportar um volume maior receberam um carregamento menor. Como o cálculo estrutural considerou exatamente as especificações repassadas pela arquitetura, a adaptação exigiria reforço estrutural da estrutura já montada, promovendo revisões e trabalho de campo. Uma vez que o contrato não estabelecia uma estimativa de sobrecarga que atendesse alterações futuras desse porte, a mudança teria aditivo contrato. Sendo assim, o projeto paisagístico teve que ser adaptado à estrutura. A figura 4.19 ilustra o pavimento térreo, inclusive a área de jardim.

Com relação à falha no planejamento da obra, a não previsão de uma sobrecarga compatível com as geradas pelo estacionamento de caminhões carregados e pelo armazenamento de componentes sobre parte da laje do térreo exigiu o reforço estrutural dos elementos da região correspondente. Como essa necessidade não havia sido acordada anteriormente, em contrato, existiram revisões de projeto, execução de trabalho em campo e, conseqüentemente, aditivos no orçamento.

Outra interface que não foi considerada preliminarmente e resultou em serviços e custos inesperados, ocorreu entre o sistema de elevadores e a estrutura. Um primeiro problema se referiu ao sistema de fixação e às guias dos elevadores nas vigas perimetrais de seção I da caixa de corrida. A geometria das vigas exigiu a instalação de prolongadores especiais para permitir o descarregamento dos esforços dos elevadores no eixo da viga, que tiveram um custo superior ao comumente considerado pela construtora. Outra questão dizia respeito à forma de fixação das portas dos elevadores na estrutura, sendo

¹⁵ Período em que o fabricante da estrutura metálica já estava montando a laje do 12º pavimento.

que a altura entre o piso e a viga perimetral das caixas dos elevadores era de aproximadamente 3,20 metros. Como esse serviço não estava definido como escopo do fabricante da estrutura, a própria construtora dimensionou uma viga metálica e a instalou. Segundo a gerente de projetos, todo o sistema para a instalação dos elevadores foi diferente de outros já contratados pela construtora.

Em contato com o fabricante da estrutura metálica, constatou-se ser inexistente o retorno para ele desse tipo de interferência, uma vez que desconhecia a necessidade de serviços em campo para a instalação de elevadores.

Com relação ao fechamento interno executado com painéis em gesso acartonado, o projeto para produção não apresentou diferenças, pois a laje tipo *steel deck* permitiu a mesma fixação utilizada em lajes moldadas *in loco*. As vedações em blocos de concreto celular autoclavado também não exigiram detalhes especiais por terem sido executadas fora da projeção dos elementos estruturais, salvo algumas interferências pontuais.

Com relação aos painéis de concreto da fachada, o empreendimento E-2 foi a primeira obra executada pelo fabricante na cidade de São Paulo. A execução do painel revestido em granito também foi uma novidade, mas não foi problemática, pois a construtora, que já tinha experiência, definiu as diretrizes. O escritório de arquitetura foi responsável por aprovar o projeto de fachadas e fazer a compatibilização com a arquitetura. Já a construtora, compatibilizou os projetos de fachada, de estrutura e de caixilho. Neste caso, ocorreram algumas falhas em relação ao envio das últimas revisões para a atualização dos arquivos do projeto de fachada. Também foi verificado que algumas das definições da estrutura para o projeto de fachada não eram comunicadas para a construtora.

Pela grande possibilidade de deformação das lajes (o que poderia trazer prejuízos às esquadrias), foi definido que os painéis seriam apoiados nos pilares (figura 4.38a). Assim, o projetista da estrutura metálica também foi responsável pela aprovação dos projetos de fachada, como por exemplo, pela carga que o pilar suportaria. A morosidade das respostas gerou atrasos, inclusive no cronograma de montagem dos painéis (figura

4.38b).



FIGURA 4.38 – Vistas do painel de fachada industrializado: (a) vista interna, com detalhe da fixação do painel de concreto no pilar; (b) vista externa, mostrando a montagem do painel.

Não houve problema de retrabalho, mas a exigência da elaboração de um volume maior de detalhes dos painéis para aprovação dificultou o fechamento do projeto por parte do fornecedor do painel, que colocou como causa a falha do contrato, que não deixava claro o que seria um projeto aprovado.

Em relação à rotina de trabalho dos projetistas, pode-se dizer que não foram verificadas mudanças expressivas devido à introdução do sistema estrutural no processo de construção, mas foram percebidas dificuldades com a representação ou, ainda, esperas no fluxo de informações, por todos os intervenientes do processo.

O projeto de estrutura metálica aumentou muito o trabalho de compatibilização do escritório de arquitetura, por resultar em um volume muito maior de pranchas e detalhes, se comparado a uma estrutura convencional, além de muitas das especificações dos perfis constarem apenas em quadros, como lista de vigas, contraventamentos. A diferença entre as alturas das vigas perimetrais do edifício, a variação da seção dos perfis entre os tramos de colunas de um mesmo eixo e a indicação exclusiva dos níveis dos topos das vigas, introduziram novas informações para serem verificadas. A apresentação do projeto estrutural por diagramas unifilares, em planta e em elevação, e sem a indicação das dimensões das seções dos elementos estruturais, não

foi suficiente para o desenvolvimento dos projetos. Conforme solicitado, as dimensões das vigas passaram a ser representadas na planta, além da lista de perfis (ver figura 4.20). Já a representação das colunas não foi alterada, exigindo da arquitetura a representação das seções mistas das colunas, e obrigando a leitura das dimensões das seções em elevações individuais dos tramos, elevação do eixo L-12, por exemplo (ver figura 4.20). A leitura da posição dos contraventamentos e suas dimensões no projeto também foi difícil, conforme o problema descrito anteriormente. A representação unifilar no desenho de elevação e a não representação da largura das mesas na planta aumentaram a possibilidade de erros.

Assim, pode-se dizer que a linguagem utilizada para a representação do projeto de estrutura metálica foi considerada difícil, devendo ser o desenho mais claro possível e não conter informações importantes apenas para a fabricação. Além disso, percebeu-se que a diferença entre a nomenclatura dos perfis utilizada nos projetos entregues para a equipe de projetos e a utilizada nos projetos de fabricação e montagem da estrutura, como por exemplo nomenclaturas diferentes para uma mesma viga, dificulta e confunde o trabalho dos profissionais da obra e da equipe de projeto toda vez que surge uma interferência.

Além disso, verificou-se que muitas especialidades ou não puderam incorporar detalhes padrões de projeto do escritório ou adotaram detalhes não específicos para a estrutura metálica, como no anteprojeto de instalações, em que os detalhes padrões com estrutura de concreto continuaram a ser utilizados. Essa falta de detalhamento exigiu a entrega para a instaladora tanto dos projetos das instalações quanto da estrutura metálica, para que fosse possível a análise e a realização do orçamento, considerando as interfaces entre os sistemas. O mesmo foi verificado no projeto de acústica, como mostra a figura 4.39.

Quanto à questão do atraso, pelo grande volume de desenhos, a especialidade de instalações também atrasou a entrega dos projetos.

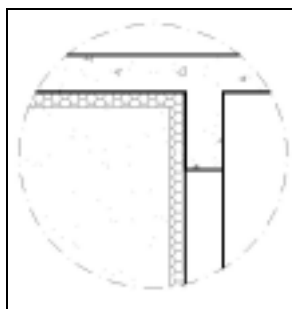


FIGURA 4.39 – Parte do detalhe utilizado pelo projeto de acústica: representação da estrutura como sendo de concreto.

Analizando os projetos elaborados por diversas especialidades, percebeu-se que existiram diferentes unidades para as cotas. A especialidade de estrutura metálica, a de caixilhos e a de painel de concreto representaram suas cotas em milímetros; já a arquitetura e a grande maioria das demais especialidades utilizaram o metro como unidade de medida; mas, no projeto de acústica, verificou-se o uso tanto da unidade metro como da unidade centímetro, sem nenhuma indicação das mesmas. Essas diferenças tendem a dificultar e confundir a compatibilização das interferências ou, mesmo, a simples leitura do projeto.

Mas, durante a fase de execução da obra, o principal problema sentido pela construtora em relação à estrutura metálica diz respeito às falhas na elaboração do contrato. Para a empresa, a experiência do profissional é fundamental para ser fechado um bom contrato de fornecimento da estrutura metálica, de modo que a simples alteração da massa de um equipamento não resulte em reforço estrutural e/ou aditivos no orçamento.

4.5.3 EMPREENDIMENTO E-3

O estudo de caso E-3 também é um empreendimento hoteleiro, localizado na Av. Paulista, São Paulo, em um terreno com área aproximada de 1200 m². É um produto de conceito econômico, com porte relativamente pequeno, que se viabilizou por não ter nenhum similar na região.

O edifício E-3 foi incorporado pela construtora C-1 e lançado para venda no mercado imobiliário. Porém, os proprietários não figuram como clientes nem usuários dentro do processo de projeto, pois deverão, obrigatoriamente, aderir ao *pool* e aceitar as características definidas pela operadora, como a decoração. Assim, o perfil do usuário foi predominante para definir o tipo de produto e a bandeira que o operaria, e a operadora e a construtora foram clientes do processo de construção, definindo premissas para os projetos.

A construtora C-1 foi responsável por todo o processo de construção, e o escritório de arquitetura A-1 assinou o projeto arquitetônico. O processo de execução foi planejado para o período de agosto de 2001 a agosto de 2003, com o início da montagem da estrutura em março de 2002. O longo período foi planejado em função da estratégia de lançamento e venda do produto. Desta forma, etapas de projeto e execução não tiveram muitas atividades sobrepostas.

A SOLUÇÃO ARQUITETÔNICA

O hotel (com entrega prevista da obra para agosto de 2003) contará com 236 unidades e uma área aproximada de 9.400 m², distribuídos em dois subsolos de garagem (quatro níveis escalonados), pavimento térreo, dez andares-tipo e ático (piso técnico). No térreo, foram concentradas, praticamente, todas as áreas para atendimento do cliente e para serviço da operadora: *lobby*, recepção, escritório da gerência, salas de estar, *business center*, sala multiuso para 45 pessoas, restaurante e áreas de apoio (*toilets* sociais, cozinha, depósito, rouparia, almoxarifado e refeitório e vestiários para funcionários). Nos andares-tipo, foram projetados 24 apartamentos, com exceção do primeiro, projetado com 20 apartamentos. No ático, foram alocadas áreas técnicas, como barriletes, casas de exaustão mecânica, casa de máquinas, para *chillers* e para geradores. Nos subsolos, além das garagens, foram alocadas: casa para transformador, casa de máquinas, sala de lixo úmido, entre outras salas de apoio. O edifício é servido por três elevadores, uma escada de incêndio e duas saídas de emergência. Entre o piso térreo e o primeiro andar-tipo, foi previsto um piso técnico intermediário (passarela) para a distribuição dos sistemas de serviço até as projeções dos *shafts*, de modo a facilitar a

manutenção. Na figura 4.40, os desenhos que esboçam a planta do pavimento-tipo e um corte longitudinal permitem compreender o partido arquitetônico definido para o edifício.

OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Embora o prazo de construção de 18 meses não tenha sido condicionante, e o custo tenha ficado em torno de 10 a 12% superior ao sistema convencional, os sistemas construtivos foram viabilizados dentro da linha da construção seca, devido ao terreno estar localizado dentro da região do quadrilátero da cidade de São Paulo e ter uma área bastante restrita, o que impôs restrições à logística da execução. O sistema estrutural foi executado em estrutura metálica (não aparente), combinada com lajes tipo *steel deck*. Painéis pré-fabricados em GRFC (cimento reforçado com fibra de vidro) foram especificados para compor o fechamento vertical externo (fachadas). Painéis de gesso acartonado foram especificados como fechamento interno (compartimentação das unidades), revestimento, acabamento e forro. Alvenarias em blocos de concreto celular autoclavado foram definidas para o fechamento das áreas do núcleo central (caixas de escadas, elevadores e *shafts*) e das áreas de serviço. Para execução dos banheiros das 236 unidades, módulos industrializados em GRFC foram viabilizados como solução.

Os painéis de fachada e os módulos de banheiro em GRFC apresentaram, além de menor peso, outra vantagem em relação aos de concreto: melhor acabamento da superfície da face interna do painel. Por apresentarem uma textura lisa e uniforme, permitiram a aplicação direta da tinta, sem necessidade da instalação de placas de gesso acartonado. Além disso, durante a montagem da estrutura metálica, foi estudada a possibilidade de instalação, em fábrica, dos caixilhos padronizados nos painéis de fachada.

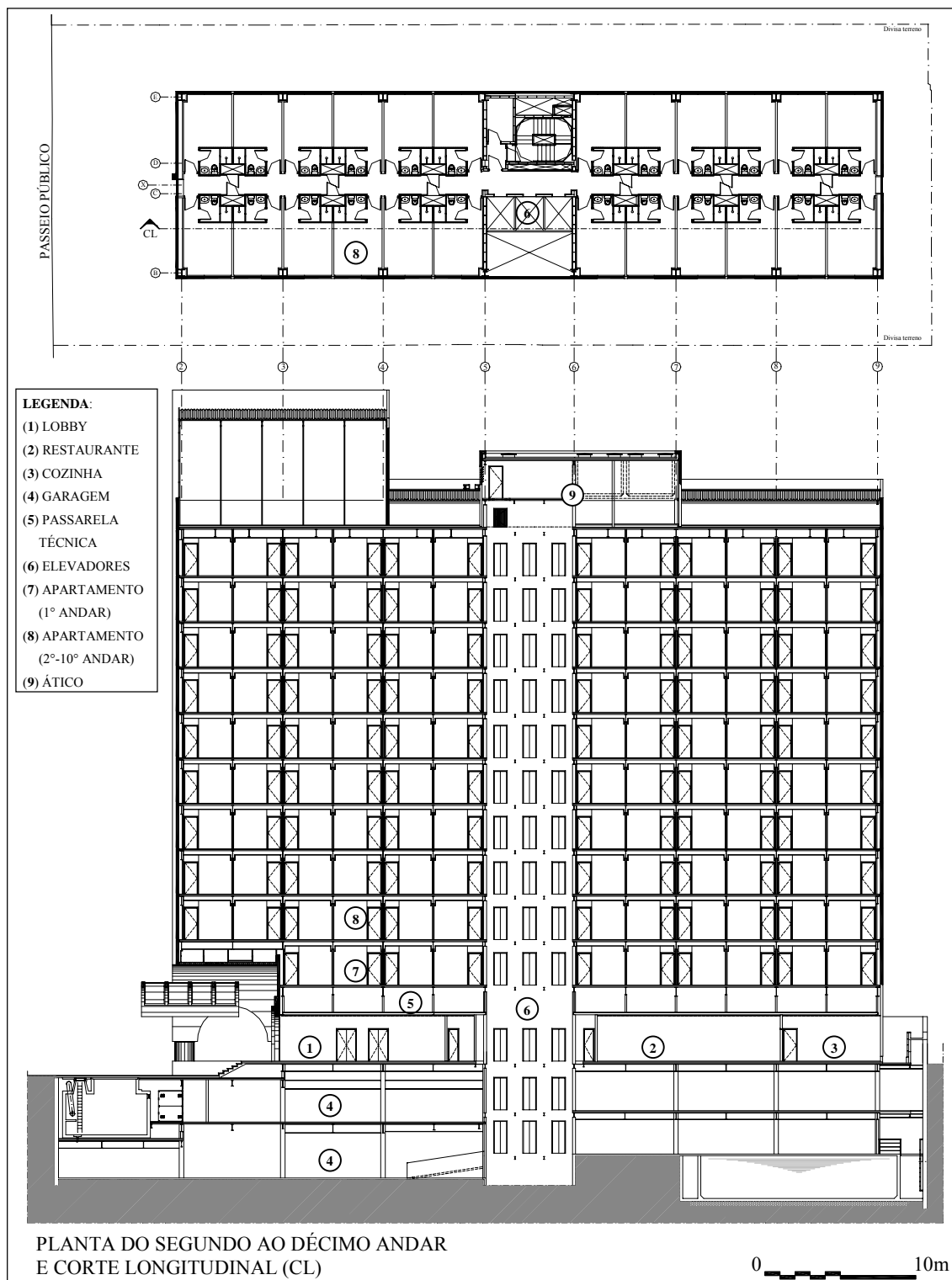


FIGURA 4.40 – Solução arquitetônica do edifício E-3: esboço da planta dos pavimentos-tipo (2º ao 10º) e respectivo corte longitudinal.

A SOLUÇÃO ESTRUTURAL

Na solução estrutural, foram adotadas colunas e vigas de aço em perfis de seção I. As lajes tipo *steel deck* foram vinculadas às vigas, estabelecendo o sistema de viga mista. Ligações semi-rígidas entre vigas e colunas criaram um sistema de vigas semicontínuas. Para estabilização do edifício, foram utilizados elementos de contraventamento, alocados junto às áreas de circulação vertical. Como proteção passiva dos elementos estruturais contra incêndio, foi especificada argamassa jateada à base de gesso.

O lançamento das colunas da torre foi determinado em função da otimização das vagas de garagem no subsolo. Desta forma, foram lançadas colunas apenas ao longo das fachadas longitudinais e na região das circulações verticais. No sentido transversal, não existem colunas intermediárias, e cada tramo de coluna vence três pavimentos (subsolo 1/subsolo 2/térreo, primeiro/segundo/terceiro andar, e assim por diante). Nos subsolos, algumas colunas foram consideradas mistas, preenchidas em concreto. Com relação às vigas, o lançamento das mesmas no andar-tipo determinou a logística de montagem dos módulos de banheiros industrializados que, por sua vez, exigiu que as vigas fossem executadas com assimetria transversal. Assim, do lado que entrariam os módulos, vigas foram projetadas com 40 cm de altura, enquanto que as vigas da fachada oposta foram projetadas com perfis de 50 cm de altura, mais esbeltos e mais econômicos. Apenas no vão que teve a grua instalada ao lado, as vigas ficaram com alturas invertidas. Para a definição da altura das vigas, foi considerada a altura do módulo mais a altura do carrinho utilizado para transporte. Com relação à laje, para facilitar a execução, a mesma foi concebida para suportar a carga do banheiro, o qual ficaria diretamente apoiado sobre ela, sem a montagem de vigas secundárias, mesmo gerando desnível entre o quarto e o banheiro. A execução de furos para a passagem de instalações (*sprinkler* e rede elétrica) no sentido longitudinal do corredor dos andares-tipo foi outro requisito da solução estrutural; assim, as vigas transversais foram projetadas e fabricadas com furos centrais. Na figura 4.41, desenhos (planta, cortes e detalhes) esboçam as soluções adotadas para satisfazer as exigências mencionadas acima.

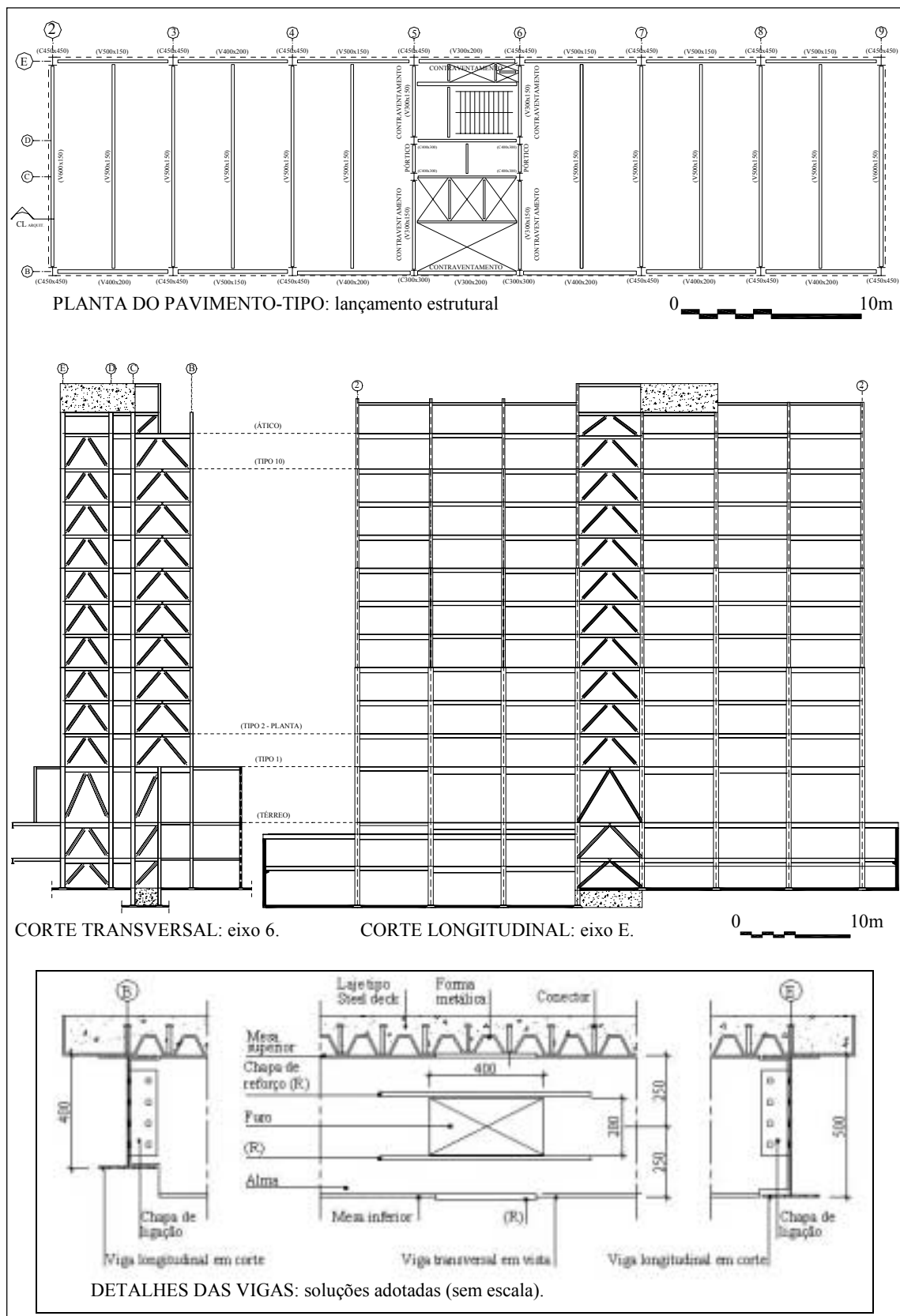


FIGURA 4.41 – Solução estrutural do edifício E-3: esboços da planta, dos cortes e de detalhes.

No detalhe da abertura executada na alma da viga, mostrada na figura 4.41, as dimensões da seção da abertura, e principalmente das chapas de reforço, podem variar para cada viga.

Na figura 4.42, estão ilustradas vistas da solução estrutural, durante a montagem. Na vista externa, pode-se observar a estrutura montada até o terceiro tramo de colunas e a posição da grua em relação ao edifício. Já a vista interna mostra o núcleo contraventado do térreo, sem a instalação da passarela técnica.



FIGURA 4.42 – Vistas externa e interna do edifício, durante a montagem da estrutura.

Como pode ser observado na figura 4.43a, os elementos mais protegidos da chuva foram revestidos pela proteção passiva ainda durante a montagem da estrutura. Mas, nas vigas dos andares-tipo, a construtora tomou cuidado para que as guias dos montantes das paredes tipo *dry wall* fossem fixadas na mesa inferior das vigas correspondentes, antes da aplicação da proteção, figura 4.43b. Nesta figura, também podem ser observados os furos executados nas vigas transversais para a passagem de instalações.



FIGURA 4.43 – Vistas internas da estrutura: (a) elementos do térreo com proteção passiva; (b) vigas do tipo furadas e com as guias fixadas.

Para a compreensão da logística de montagem dos módulos de banheiro nos andares-tipo, elaborou-se um esboço explicativo, no qual as setas indicam a entrada do módulo (figura 4.44).

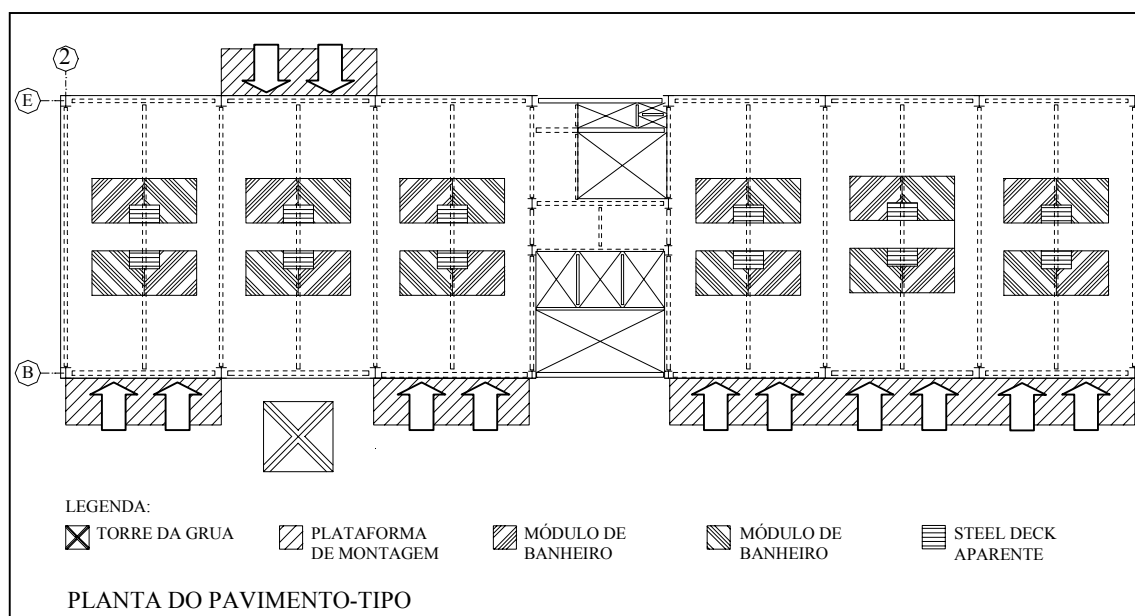


FIGURA 4.44 – Esboço da logística planejada para a montagem dos banheiros nos andares-tipo.

Para a execução dos *shafts* dos banheiros das unidades, optou-se pela solução mostrada na figura 4.45. Na área de projeção dos mesmos, a “forma” metálica não foi concretada para facilitar a abertura de furos individuais para a passagem dos dutos e tubos. A desnecessidade de vigas secundárias, comumente usadas nas bordas quando executada a abertura completa do furo na laje, foi a vantagem da solução.

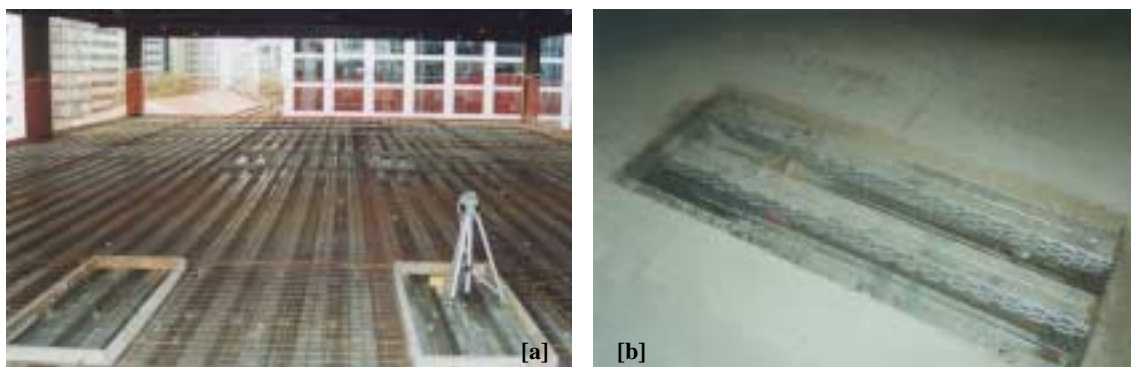


FIGURA 4.45 – Vistas da laje, na região do *shaft* do andar-tipo: (a) antes da concretagem; (b) após a cura do concreto.

O PROCESSO DE PROJETO

O processo de construção do edifício E-3 se dividiu em três etapas: incorporação, projeto executivo e execução. Cada etapa foi gerenciada por um departamento: incorporação, projeto e construção, respectivamente. Algumas atividades obedeceram a uma hierarquia de responsabilidades: (a) todos os contratos, de projeto e de execução, foram negociados pelo coordenador do projeto (incorporação); (b) o supervisor de projetos, subordinado ao gerente, foi responsável por garantir a qualidade das informações dos projetos executivos, conforme as normas e diretrizes tecnológicas de projeto e execução da construtora, e por dar suporte à obra, devendo, impreterivelmente, ser o elo entre a obra e a equipe de projetistas; (c) o engenheiro responsável se incumbiu de gerenciar todas as atividades relacionadas à execução da obra.

O projeto do edifício E-3 foi piloto para a aplicação do modelo de desenvolvimento de projeto executivo, adotado pela empresa para a certificação. Um caderno de supervisão de projetos definiu todas as funções, as fases e o nível de detalhe de cada uma, para cada especialidade. As diretrizes estruturais foram definidas com base na estrutura de concreto, sendo, então, adaptadas para a estrutura metálica.

Percebeu-se que a relação cliente-fornecedor se estabeleceu em vários níveis: a operadora foi cliente da empresa C-1; a operadora e a construtora foram clientes do escritório de arquitetura; o supervisor de projetos e o coordenador foram clientes dos projetistas.

A EQUIPE DE PROJETOS

Na etapa de incorporação, o escritório de arquitetura foi o único a ser contratado. Para suporte das principais especialidades técnicas durante a viabilização da construção, foram contratados consultores.

Na etapa de desenvolvimento do projeto executivo, foi formada uma equipe multidisciplinar. Foram contratados escritórios especializados em arquitetura, instalações elétricas e hidráulicas, ar-condicionado e exaustão mecânica, sistema de automação e telemática, concreto armado, fundações, vedações, cozinha industrial, luminotécnica, decoração, caixilhos, paisagismo, impermeabilização e estrutura metálica em perfis leves. O fabricante dos painéis de fachada pré-fabricados e dos módulos de banheiro, e os fabricantes da estrutura metálica, da estrutura metálica leve e dos elevadores também foram contratados como projetistas. Assim, a equipe de projetos contou com cerca de 18 empresas, além dos dois consultores contratados para orientar as especialidades de acústica e de elevadores, do supervisor da construtora e do engenheiro responsável pela obra, que contribuiu no final dos projetos pela experiência adquirida na execução do edifício E-1.

Os projetos para aprovação nos vários órgãos foram executados pelas especialidades correspondentes.

O mesmo escritório de arquitetura foi contratado para exercer a função de coordenador, ou seja, administrar o desenvolvimento dos projetos executivos e seus responsáveis, convocar reuniões, elaborar e controlar os cronogramas, elaborar e distribuir as atas de reuniões, centralizar e divulgar informações a todos os envolvidos, realizar um *checklist* nos projetos, analisar e comentar todas as pranchas de projeto e encaminhá-las para a supervisão, aprovar e liberar os projetos para a produção.

O escritório responsável pelo projeto de vedações foi contratado para a função de compatibilizador, ou seja, compatibilizar todos os projetos em todas as fases, elaborar plantas, cortes dimensionais e matrizes eletrônicas de todos os pavimentos, elaborar

relatório de compatibilização e de análise dos projetos e encaminhá-lo ao supervisor, ao coordenador e aos projetistas.

Quanto ao fabricante da estrutura metálica, o mesmo foi contratado para projetar, fabricar e montar a estrutura metálica, projetar e executar a proteção passiva contra incêndio e projetar, instalar e concretar as lajes *steel deck*, ou seja, para fornecer um sistema completo. Além disso, foi acordado que apenas um profissional da fábrica faria o contato com a construtora e a coordenação de projetos, isto com base na experiência anterior que revelou que mais de um contato tende a gerar confusão e perda de informação.

Como, das empresas contratadas, a maior parte havia prestado serviço na etapa de projeto do edifício E-1, pode-se dizer que o empreendimento E-3 colheu os frutos do amadurecimento que ocorreu ao longo da construção daquele edifício e que a experiência dos profissionais funcionou como *feedback* para o processo. As diferenças entre as linguagens de projeto da estrutura metálica e as demais especialidades foram, praticamente, minimizadas. Porém, a falta de experiência do fabricante dos painéis de fachada com a estrutura metálica e na fabricação de módulos de banheiros exigiu suporte da arquitetura e da construtora para que os detalhes de projetos fossem desenvolvidos.

AS FASES DE PROJETO

Conforme já citado, o mercado foi determinante para o planejamento do processo de construção do estudo de caso E-3. O processo de projeto do edifício E-3 se desenvolveu em duas etapas: incorporação e desenvolvimento do projeto executivo. Do lançamento do produto até o início da obra, a empresa C-1 programou um período de dois anos para venda e capitalização. A etapa de projeto executivo se iniciou dezoito meses após a fase de lançamento, e, no cronograma, foi previsto um prazo de oito meses para o seu desenvolvimento. Quando a obra (fundações) se iniciou, a etapa de projeto executivo estava em fase de detalhamento. O processo de construção pode ser representado pela figura 4.46, destacando as responsabilidades dos setores de incorporação e de projeto da

empresa C-1.

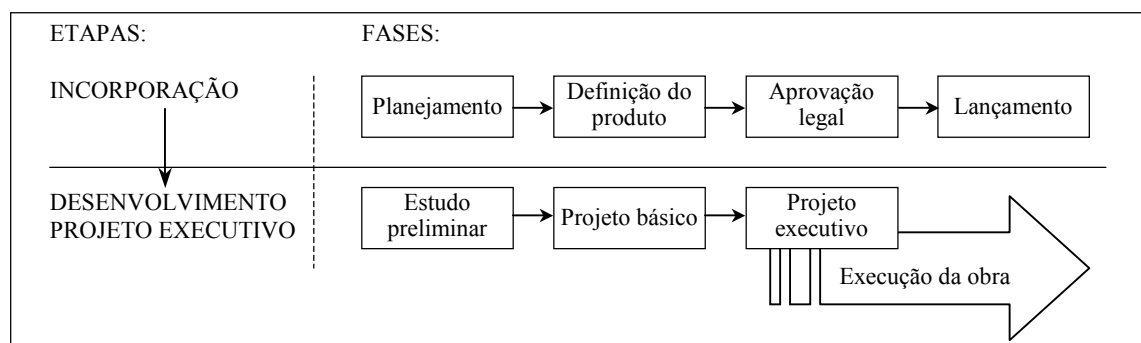


FIGURA 4.46 – Diagrama do processo de construção do edifício E-3.

Segundo a supervisora, os projetistas de todas as especialidades desenvolveram projetos para cada fase da etapa de projeto executivo. As fases eram caracterizadas pelo nível de detalhamento e evoluíram do mais abstrato para o mais detalhado, de forma sequencial e em blocos.

A seguir, serão descritas, de forma sucinta, as fases das duas etapas de projeto, dando maior ênfase para a etapa de projeto executivo.

A ETAPA DE INCORPORAÇÃO

Na fase de **planejamento**, foram realizados estudos do mercado, definido o terreno, definida uma bandeira para operar o hotel e determinadas as datas estratégicas de lançamento do produto (marco inicial), início da etapa de execução (após 24 meses, aproximadamente) e entrega do produto (após dezoito meses do início da obra, em agosto de 2003).

A fase de **definição do produto** é caracterizada pela proposta arquitetônica, que foi concebida pelo arquiteto titular do escritório de arquitetura. A solução teve como exigências: diretrizes financeiras e econômicas da construtora, normas e legislações e características definidas pela operadora para o produto. A hipótese do uso de sistemas construtivos dentro da linha da construção seca e a flexibilidade para os sistemas de serviço também foram premissas do projeto, porém, a proposta não foi concebida

considerando, especificamente, o sistema estrutural metálico.

Nessa fase, consultores contratados pela construtora deram suporte à atividade de viabilização técnica da proposta, que foi estudada do ponto de vista econômico.

Devido à mudança da bandeira do hotel, o projeto foi paralisado enquanto novas negociações eram realizadas pela incorporadora. Redefinida a operadora, questões ligadas à concorrência de mercado exigiram que a proposta fosse adequada e preparada para a aprovação legal em um prazo bastante curto, de modo a permitir o lançamento do produto dentro do prazo planejado.

O **projeto legal** foi elaborado pelo próprio escritório de arquitetura. Como, até essa fase, não foi realizada a compatibilização dos projetos, após o lançamento do sistema estrutural no projeto arquitetônico, foi constatado um acréscimo na área construída já aprovada, principalmente em função das dimensões das seções dos perfis I dos contraventamentos do núcleo central. Como a área excedente ficou dentro da porcentagem permitida pela legislação (5%), não foi necessária uma nova aprovação. Mas, foi dada a entrada a um novo processo na prefeitura devido às mudanças realizadas nos subsolos durante o desenvolvimento do projeto executivo.

O **lançamento do empreendimento** ocorreu logo após a aprovação do projeto legal na prefeitura. Esta fase se caracterizou pela elaboração do material de venda que deveria ser o mais fiel possível ao produto que seria entregue. As plantas humanizadas e as perspectivas foram ilustradas pelo próprio escritório de arquitetura.

A ETAPA DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

Com a capitalização financeira, foram contratadas as empresas que executariam os projetos, e o departamento de projetos da empresa C-1 assumiu o processo de projeto. Foram contratados também o coordenador e o compatibilizador, os quais atuaram em todas as fases. Reuniões periódicas foram realizadas pela coordenação, subdivididas em várias sessões em um único dia, em função dos assuntos tratados, para evitar que um

grande número de pessoas tornasse a reunião ineficiente.

Na fase de **estudo preliminar**, foram iniciados os primeiros estudos com relação às diversas especialidades. A atividade de negociações e estudos para a definição dos sistemas construtivos se estendeu até essa fase. O contrato com a fábrica da estrutura metálica foi definido com base na estimativa do peso da estrutura, em desenhos referenciais e no prazo final para montagem da estrutura. O cronograma de projeto da estrutura metálica foi elaborado em função das datas de fabricação e montagem, mas ficou atrelado à aprovação da coordenação para a liberação da produção. Mas, de forma a garantir o seu cronograma, a empresa de estrutura metálica previu no contrato um prazo “x” máximo para que os projetos fossem comentados e devolvidos. A não resposta dentro do prazo, permitia a empresa iniciar a fabricação.

Nessa fase, programada para o período de 3 a 24 de abril de 2001, todos os projetistas elaboraram desenhos e conheceram as propostas dos demais. A partir da análise, iniciaram-se os ajustes, negociações das interferências e apresentação de soluções. O projeto legal, o memorial descritivo, o *folder* de venda e o caderno de diretrizes de projeto e execução da construtora foram referências utilizadas. Como exemplo, nessa fase, o projeto estrutural deve ser composto por plantas com pré-dimensionamento de colunas e vigas e relatório de projetos e de dúvidas. Além disso, os desenhos referenciais da estrutura metálica, elaborados na fase de orçamento, foram utilizados como desenhos preliminares.

O projeto preliminar foi desenvolvido pelas seguintes especialidades: arquitetura, ar-condicionado e exaustão mecânica, instalações, luminotécnica, paisagismo e automação e telemática.

A fase de **projeto básico**, com entrega programada para 19 de junho de 2001, se caracterizou pela intensificação da atividade de compatibilização (em que soluções são sugeridas e aprovadas pelos projetistas) e pela definição das soluções nos projetos. Nessa fase, primeiro, a arquitetura elaborou desenhos referenciais e os repassou para o compatibilizador. O compatibilizador gerou desenhos dimensionais para os projetistas

usarem como base para o projeto executivo.

Como exemplo, no projeto estrutural, deveriam estar definidos: a planta de locação, as cargas das colunas, as formas de fundação, as plantas dos pavimentos com as vigas, além de cortes e elevações gerais e de escadas, rampas e reservatórios.

O projeto básico foi o primeiro, em nível de detalhe, a ser apresentado pelas especialidades de fundações, vedações, cozinha industrial, impermeabilização, fachada pré-fabricada e caixilhos. Foi também, nessa fase, que começou a atuar o consultor de acústica.

Com base nos desenhos dimensionais, os projetistas iniciaram a fase de **projeto executivo**. Nessa fase, realiza-se a compatibilização final; assim, foram previstas duas entregas de projetos: projeto liberado para a compatibilização e projeto compatibilizado liberado para obra.

Para a compatibilização, todos os projetos foram agrupados e as interferências foram levantadas. Todas as instalações foram espelhadas e foram elaborados cortes dos entreforros para a determinação das alturas de cada sistema. Matrizes referenciais, relatórios de compatibilização e bases para a execução do detalhamento foram produtos da compatibilização. Ao coordenador coube a responsabilidade de analisar todos os projetos, nos mínimos detalhes, aprová-los e liberá-los para desenvolvimento, primeiro, e para a obra, posteriormente.

A entrega do projeto executivo liberado para a compatibilização foi programada para 20 de julho de 2001; para a entrega do relatório de compatibilização, 10 de agosto; e, para a entrega do projeto compatibilizado, 20 de agosto de 2001. Porém, os projetos executivos só foram liberados para a obra em dezembro de 2001.

Como exemplo, o projeto estrutural teve que apresentar: planta e locação de cargas das colunas, plantas de todos os pavimentos e das fundações, relação de todas as vigas e volume de concreto.

Nesse nível de detalhe, iniciaram-se os projetos de vedações, e entraram no processo os fornecedores do sistema de ar-condicionado, do sistema de instalações e da cozinha industrial.

A ETAPA DE EXECUÇÃO

A entrega da obra está prevista para agosto de 2003. Segundo o cronograma, os primeiros serviços em canteiro foram iniciados em agosto de 2001, durante o projeto básico. Em dezembro de 2001, quando a estrutura metálica estava entregando o projeto executivo, liberado para a compatibilização, a obra estava executando as fundações. Já a montagem da estrutura metálica começou no início de março de 2002. Nesse período, uma reunião com a equipe da obra foi realizada (estagiários, mestre, engenheiro responsável) para apresentação do projeto. Após esta fase, existiram algumas revisões de projeto.

Devido à logística de execução planejada, a obra exigiu dos fornecedores dos sistemas pré-fabricados extrema eficiência. Como a região do quadrilátero tem o acesso limitado para caminhões entre 20 horas e 10 horas e o canteiro é extremamente pequeno, foi fundamental que os elementos certos estivessem disponíveis na obra. No caso da estrutura metálica, apenas uma carreta por dia tinha acesso ao local, assim, se fosse entregue um elemento errado, a obra pararia.

A contratação do projeto *as built*, em geral, é função do responsável pela obra. Porém, acreditava-se que o mesmo não seria executado devido ao uso dos sistemas pré-fabricados.

OS RESULTADOS

Para o supervisor dos projetos, as questões mais representativas estavam relacionadas com a execução de projetos dos sistemas industrializados pelos próprios fabricantes, por diferentes razões:

[1] No caso do fabricante dos painéis de fachada e dos módulos de banheiro, fornecedor

novo no mercado, os principais problemas estavam relacionados com deficiências no processo de projeto: (a) falta de uma equipe de projeto preparada para atender uma equipe multidisciplinar e não, simplesmente, a linha de produção; ou seja, falta de solução de detalhes (fixação de esquadrias e da pele de vidro, execução de detalhes arquitetônicos, ligação com a estrutura), falta de desenhos de detalhamento das propostas e de clareza na representação; (b) falha na comunicação interna, entre os departamentos de projeto e de fabricação da empresa.

[2] No caso da estrutura metálica, os problemas principais foram (a) a “inflexibilidade” para atender as necessidades provenientes da compatibilização dos projetos, que resultavam em consecutivas negociações de aditivos de contrato para a compatibilização de interferências, e (b) “falta de atenção à equipe de projetos” para a elaboração do cronograma de execução do projeto a ser contratado. Para o processo de construção, a inflexibilidade se caracteriza como uma patologia grave, pois tem como sintoma o incremento constante dos custos previstos, podendo chegar a inviabilizar o sistema estrutural. Já a desatenção às datas estratégicas para as equipes de projeto também se caracteriza como uma patologia, do ponto de vista restrito, pois pode gerar atrasos e quebrar a seqüencialidade do processo de projeto; porém, esta questão não está relacionada, especificamente, com uma falha na execução de uma tarefa, mas à incompatibilidade entre os processos de projeto da especialidade da estrutura metálica e o processo de projeto definido para o empreendimento: suas necessidades e seus objetivos.

Com relação à fachada industrializada, um problema levantado referia-se à liberação da produção de peças não resolvidas projetualmente, sem as aprovações do supervisor e do coordenador, devido à falta de comunicação interna entre as equipes de projeto e produção da fábrica. O prejuízo devido ao descarte das peças produzidas e os custos relativos à fabricação das novas peças foram assumidos pelo fabricante.

Durante a fase de estudo preliminar, percebeu-se que o pé-direito projetado para o primeiro subsolo inviabilizaria a entrada de caminhões nesse nível, o que era necessário. Como solução, a parte frontal teve seus níveis rebaixados, resultando em dois subsolos

escalonados e distribuídos em quatro níveis diferentes. Neste caso, não houve prejuízo para nenhuma das especialidades, pois, ainda, estavam sendo estudadas as soluções técnicas. Além disso, a detecção da interferência nessa fase reflete positivamente a participação do representante da obra nas reuniões de coordenação ainda nas fases iniciais. No corte longitudinal da figura 4.40, a solução final pode ser observada.

Mas, no geral, o projeto arquitetônico não teve muitas revisões, enquanto que o projeto estrutural apresentou algumas significativas. Isto reflete a não solicitação de modificações na solução arquitetônica por parte do cliente.

Com relação à logística, a execução dos banheiros exigiu revisões por parte da estrutura metálica. Inicialmente, os banheiros estavam previstos para serem executados conforme um sistema convencional, assim o projeto estrutural em aço tinha uma solução simétrica. Por questões de logística, os banheiros foram redefinidos como pré-fabricados, o que exigiu a redução da altura das vigas de uma das fachadas longitudinais. Como a decisão foi tomada na fase de estudo preliminar, a mudança não gerou muitas atividades de retrabalho, pois a estrutura ainda estava sendo dimensionada. Mas, após a fabricação dos elementos e já durante a montagem, atentou-se que a grua, tangencial à estrutura, estava localizada no mesmo lado por onde todos os módulos seriam posicionados nos andares. Desta forma, verificou-se que a entrada do módulo nesse vão deveria ser realizada pela fachada oposta; porém, devido à altura do perfil da viga ser igual a 50 cm naquela fachada, a instalação não seria possível sem a inversão das vigas. Mas, como não era possível a simples inversão dos elementos, a fábrica reestudou a estrutura e novas peças foram fabricadas para a substituição, inclusive dos elementos já montados. A falha no planejamento logístico resultou em custos significativos não previstos, ou seja, em grande desperdício de capital. Como o fornecedor da estrutura metálica não teve responsabilidade sobre a causa, os custos da revisão dos projetos, da fabricação e da montagem foram repassados para o cliente (construtora). Esta questão reflete a influência negativa da definição tardia dos sistemas construtivos, principalmente, industrializados, e da falta do planejamento minucioso da logística de execução antes da atividade de projeto. A figura 4.47 mostra, em detalhe, vistas dos elementos após a substituição.



FIGURA 4.47 – Vista em detalhe da viga substituída durante a montagem.

Com relação à contratação de serviços por parte da construtora, uma falha no cronograma de projeto atrasou em dois meses o desenvolvimento do projeto executivo. A estrutura metálica montou o seu cronograma de execução de projetos e de fabricação com base na entrega da primeira peça em canteiro, de trás para frente, estabelecendo a primeira entrega do projeto para o mesmo período em que todas as demais especialidades estariam entregando o projeto executivo para a compatibilização. A construtora, não conferindo as datas de entrega dos projetos, fechou o contrato nessas condições. Assim, houve atraso na entrega dos projetos e, além disso, quando os mesmos foram liberados para a equipe, estavam no nível de detalhe do projeto executivo final, sem a realização da compatibilização necessária. A partir daí, começaram as revisões, entre as quais:

[1] Devido à altura reduzida do pé-direito do corredor dos andares-tipo, foi necessária a abertura de furos nas vigas para a passagem das instalações (rede elétrica, *sprinkler*). Para tanto, os projetistas de estrutura retomaram o dimensionamento para verificação e atendimento da exigência: retrabalho;

[2] No início da etapa do projeto executivo, foram previstos três furos na laje de suporte do equipamento transformador, porém, com a evolução do projeto do transformador e a compatibilização, esses furos ficaram maiores, exigindo vigas de reforço não previstas: renegociações, do ponto de vista financeiro;

[3] Com o detalhamento, muitos dos contraventamentos tiveram a largura das mesas dos perfis maiores que as dos perfis das vigas. As paredes da região do núcleo ficaram mais espessas, reduzindo a área útil (figura 4.48), mas, a interferência mais problemática ocorreu com a área livre das caixas dos elevadores nos andares de subsolo, identificada somente depois do projeto estrutural estar liberado para a produção. O aumento da largura das mesas dos contraventamentos reduziu a área das caixas dos elevadores, o que inviabilizaria a instalação dos mesmos. Como a interferência ocorreu por falha do projetista da estrutura (que não atentou para as premissas determinadas para as caixas dos elevadores), a solução foi dada pela própria fábrica, que redimensionou os contraventamentos dessa área. A falha resultou no reestudo do projeto, assumido pelo fabricante da estrutura metálica. Outra interferência, identificada durante a compatibilização do projeto executivo, ocorreu entre a arquitetura e a estrutura metálica, no subsolo: um contraventamento, tangencial a uma das rampas, invadiu a área útil da mesma. Como a solução dessa interferência geraria prejuízo a outras soluções e a largura da rampa ainda estava dentro dos limites legais, optou-se por não alterar o projeto estrutural: solução subótima.



FIGURA 4.48 – Vista, em detalhe, da dimensão das mesas do contraventamento em relação à viga.

Quanto à questão do detalhamento das ligações executadas entre as colunas, a definição

das mesmas em fases finais do projeto e a não compatibilização, resultaram em interferência durante a fase de execução. A tolerância considerada entre a estrutura metálica e os painéis de fachada foi de 2,5 centímetros, em função da aplicação da proteção passiva; porém, além do desaprumo inerente à estrutura metálica, o uso de chapas verticais para a ligação dos tramos de coluna excedeu, em muito, essa tolerância. Para solucionar a interferência, foi negociada a substituição das chapas verticais por chapas horizontais de ligação. A figura 4.49 mostra uma ligação com chapa vertical, quando o edifício estava executado até o terceiro tramo de colunas.



FIGURA 4.49 – Vista, em detalhe, da ligação entre colunas, com chapa vertical.

A assincronia entre a equipe de compatibilização e a equipe de estrutura metálica resultou também em outra solução subótima. O pé-direito da escada que dá acesso à casa de máquinas ficou abaixo do exigido pela arquitetura, o que só foi percebido após a entrega final do projeto executivo, ou seja, para liberação para a produção. Segundo a estrutura metálica, que projetou e executou as escadas, a causa de tal problema foi o atraso, por parte da equipe de compatibilização, na entrega do projeto comentado. Como o projeto não foi comentado dentro do prazo determinado em contrato, o mesmo foi considerado aprovado.

Outro problema detectado apenas durante a execução da estrutura metálica ocorreu na

escada que liga o térreo ao primeiro andar. Devido à não compatibilização da escada com um *shaft*, na etapa de projeto, um dos patamares foi executado com largura inferior à exigida pela legislação para uma escada de emergência. O problema foi “resolvido” na obra, através da eliminação de um dos degraus, conforme indica a figura 4.50.

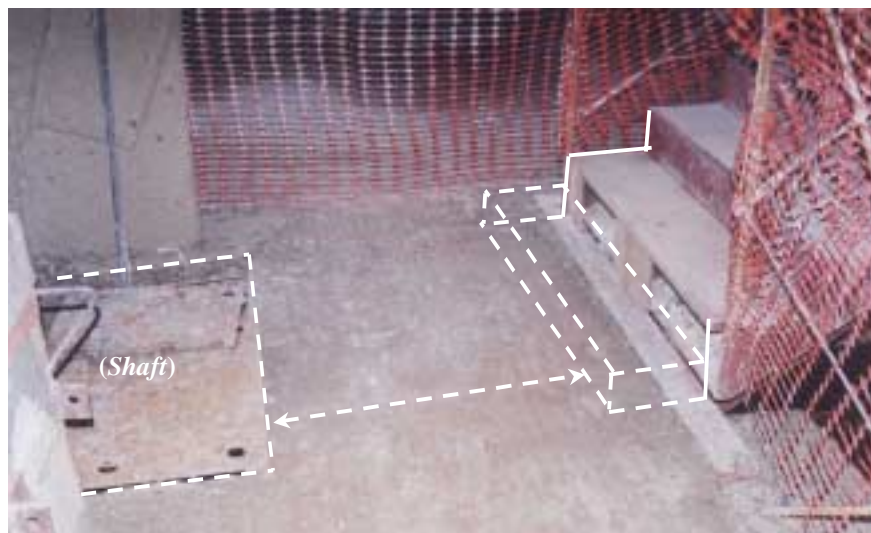


FIGURA 4.50 – Vista da escada, no andar térreo: interferência entre o *shaft* e o patamar.

Além do atraso dos projetos, a linguagem gráfica da estrutura metálica também favoreceu as falhas na compatibilização. Em planta, as larguras das mesas foram representadas respeitando uma escala proporcional (em uma camada específica de desenho – *layer*) e as dimensões das vigas foram especificadas junto às mesmas (V500x150), além das nomenclaturas comuns de projeto (VS7) e fabricação (V324); e as colunas (unifilares) também foram representadas em escala e suas dimensões foram incluídas nas plantas (C500x500). Já os contraventamentos foram indicados com a expressão “contraventamento”, porém, suas mesas não foram representadas nem suas dimensões especificadas na planta, o que dificultou a percepção das interferências. Cada eixo de colunas foi também representado em pranchas de elevações; porém, não respeitando uma escala proporcional. Nessas elevações individuais, as dimensões dos perfis foram indicadas junto aos mesmos. Elevações completas dos eixos contraventados (com os elementos em escala) também foram elaboradas para facilitar a compreensão pelos projetistas. Nessas elevações, porém, não foram representadas as ligações.

Mas, embora muitas informações tenham sido incluídas nos projetos, em relação ao estudo de caso E-1, as mesmas não constaram dos arquivos preparados para impressão: nas pranchas em formato de impressão, constaram as informações padrões da estrutura metálica (o detalhe 01 da figura 4.51 ilustra algumas das informações apresentadas). Como são esses os arquivos entregues para a supervisão e para os projetistas, as informações introduzidas para atendê-los (detalhe 03, figura 4.51) não apresentaram função. Além disso, a indicação dos contraventamentos foi vinculada à camada de desenho do nome de engenharia das vigas (VS82); assim, como existia a sobreposição dos dois dados: nome de engenharia das vigas e especificação das dimensões das vigas, o desenho da estrutura não permitia que o coordenador de projetos (que recebia os arquivos com extensão “dwg”) imprimisse, de forma legível (detalhe 04, figura 4.x), as dimensões da viga, a indicação do contraventamento e os nomes de engenharia das vigas (referências para as tabelas de perfis). A mesma situação foi verificada para os dados que especificavam as dimensões das colunas e o nome de fabricação das vigas, este disponível nos arquivos de impressão.

Além disso, não é comum a revisão e a análise dos projetos no próprio computador. Assim, observa-se a necessidade do preparo de pranchas para impressão em conformidade com as necessidades dos projetistas. Já com relação ao conceito de representação das vigas nas plantas dos pavimentos (planos de vigas), observa-se uma incompatibilidade: na arquitetura e demais projetos, as vigas representadas no nono pavimento, por exemplo, são projeções das vigas que suportam o pavimento imediatamente superior, de forma a possibilitar a compatibilização com os sistemas de serviços daquele pavimento. No projeto estrutural, conforme mostram os detalhes 01 e 02 da figura 4.51, na planta denominada por nono pavimento, as vigas de suporte deste pavimento são as representadas. Esta é uma questão muito delicada, pois, embora seja o procedimento de representação de uma especialidade, devendo ser compreendido, essa diferença potencializa a chance de erro durante a leitura dos projetos por outros projetistas.

Outra questão que chama a atenção para os procedimentos padrões do escritório de arquitetura está relacionada ao fato de que todas as informações referentes à estrutura

metálica e necessárias para a arquitetura e para os demais projetistas foram redesenhadas nos projetos referenciais. Esta questão reflete a falta de credibilidade na precisão dos desenhos e potencializa as chances de erros durante a leitura das informações e transcrição das mesmas: ferramentas computacionais subutilizadas.

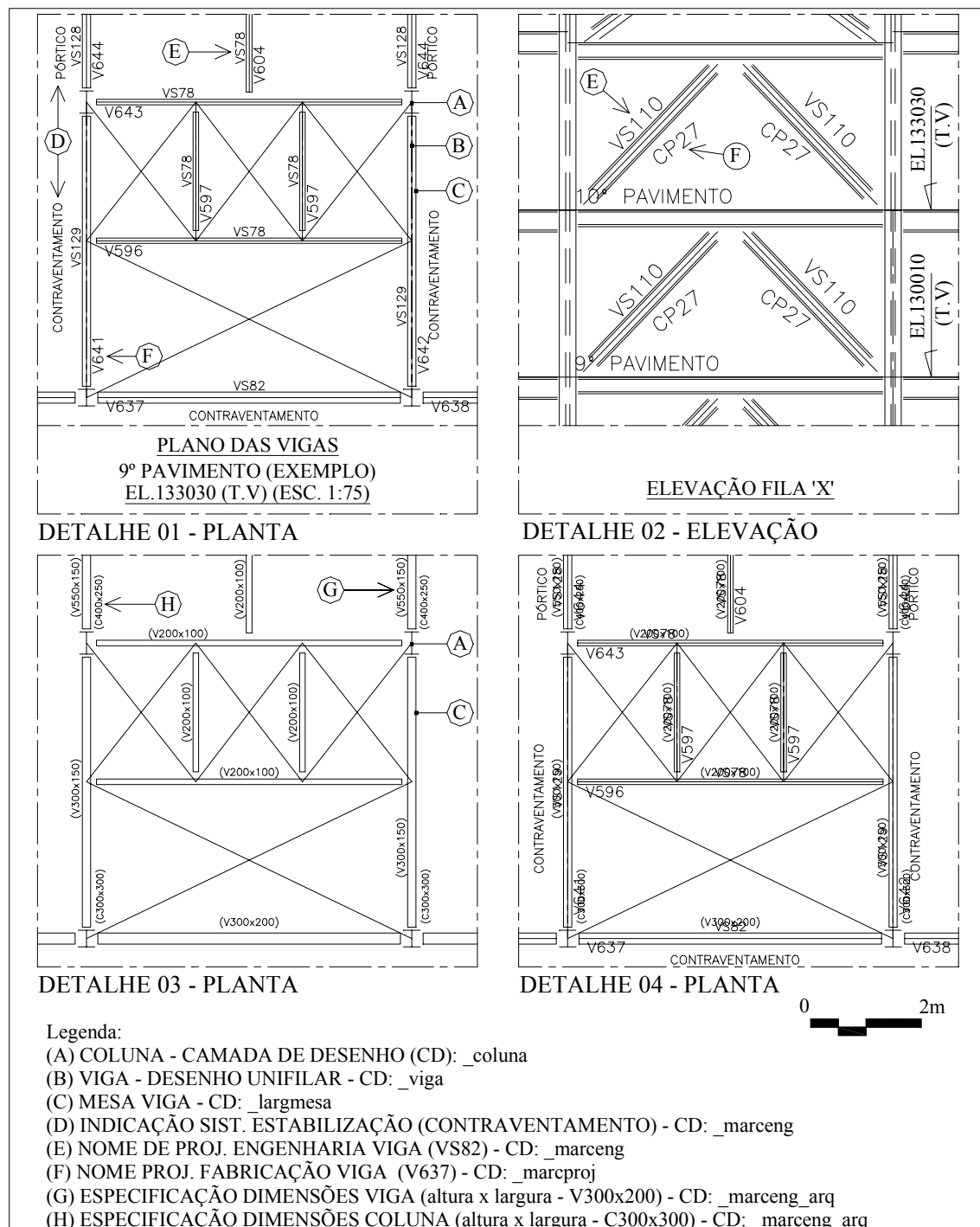


FIGURA 4.51 – Esboço da linguagem gráfica do projeto estrutural, em detalhes.

4.5.4 EMPREENDIMENTO E-4

O edifício E-4 se caracteriza pelo uso comercial. Integrante do complexo construtivo de um determinado Grupo, localizado em São Paulo e formado por 5 edificações, foi projetado para sediar o setor administrativo e de compras desse grupo. Seguindo o plano diretor existente para o complexo construtivo, o edifício foi projetado pelo escritório de arquitetura A-2 e executado pela construtora C-3.

O Grupo, como proprietário e usuário do edifício, se caracterizou como único cliente direto tanto da construtora quanto do escritório de arquitetura. Devido ao seu perfil específico, dinâmica própria de trabalho e de execução dos seus projetos, o planejamento da obra previu o desenvolvimento dos projetos simultaneamente à execução (modelo de organização tipo *fast track construction*), dentro de um prazo de 14 meses.

A SOLUÇÃO ARQUITETÔNICA

Concebido para centralizar todas as divisões de negócios do Grupo, receber um grande número de visitantes de forma concentrada e segura e, ainda, ter ligação com o prédio existente no terreno adjacente, o edifício, com 48 metros de altura e implantado em um terreno com 2.213 m², foi projetado com uma área construída de 18.208,00 m², distribuídos em 03 subsolos, térreo e mais 09 pavimentos de escritórios, além de níveis técnicos e heliponto.

Os três subsolos somam 190 vagas de garagem: o terceiro subsolo destina-se ao estacionamento comum para funcionários e visitantes; o segundo, ao estacionamento comum, casas de máquinas de exaustão para subsolos e dos elevadores da diretoria e oficina de lavagem dos veículos da diretoria; já o primeiro subsolo, ao estacionamento e área *vip* para a diretoria e diversas áreas de apoio ao edifício, como sala dos medidores, depósito de lixo, sala de pressurização da escada e dos elevadores, caixa d'água e casa de bombas. No pavimento térreo, estão localizadas as áreas para acervo e bens históricos, sala climatizada para o acervo técnico do Grupo, recepção geral, sala de

supervisão e telefonia, *foyer*, auditório com capacidade para 66 pessoas, sanitários, copa, depósito, salas de máquinas do ar-condicionado do pavimento, recepção comercial, “fumódromo”, acesso para os cinco elevadores, saída principal da escada de emergência e passarela de acesso ao edifício adjacente. O primeiro, segundo e terceiro pavimentos são destinados à área comercial; o quarto, à administração comercial. O quinto andar foi projetado para receber a empresa “x” e o sexto, as empresas “y” e “z”. No sétimo andar, foi alocado o setor de negócios; no oitavo, o setor de prevenção de perdas. O nono pavimento foi projetado para atender o setor de marketing corporativo. Os níveis técnicos foram instalados no ático (*chillers*, bombas, transformador e geradores) e na cobertura do ático. Na cobertura do edifício, foi projetado o heliponto. Centrais de utilidades (caixa d’água, telefonia, transformadores, geradores) foram distribuídas em seis níveis intermediários, localizados em vários pavimentos.

As figuras 4.52 e 4.53 esboçam a solução arquitetônica final. Do terceiro ao oitavo andar, a configuração dos pavimentos é a mesma, variando as seções das colunas e algumas características do *layout*. A planta representada se refere ao *layout* dos pavimentos 4 e 5. Já o corte longitudinal, permite ter uma visão geral do edifício.

OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A área restrita do terreno, a sua localização dentro da região do quadrilátero e o curto prazo requisitado para a entrega da obra foram condicionantes para o uso de sistemas construtivos industrializados, principalmente do aço como material estrutural, embora o mesmo tenha apresentado um custo superior de 10 a 15%. A seleção dos sistemas e das tecnologias foi realizada pela construtora, contratada a preço fechado.

O sistema estrutural foi executado em estrutura metálica (colunas e vigas de aço em perfis de seção I, combinada com laje tipo *steel deck*), figura 4.54. Nos subsolos, térreo, primeiro andar e parte do segundo, as colunas foram executadas como mistas. As fachadas foram executadas em painéis pré-fabricados de concreto e esquadrias de alumínio (figura 4.55). Internamente, as vedações foram executadas em alvenaria de bloco celular autoclavado nas áreas que exigiam isolamento térmico (caixas de escadas,

shafts, caixas de elevador). Placas de gesso acartonado foram especificadas para o forro rebaixado e revestimento das colunas. Nos andares de escritório, foi adotado o sistema de piso elevado.

Desta forma, a fase de execução do empreendimento contou com 56 empresas entre os principais fornecedores e executores dos serviços.

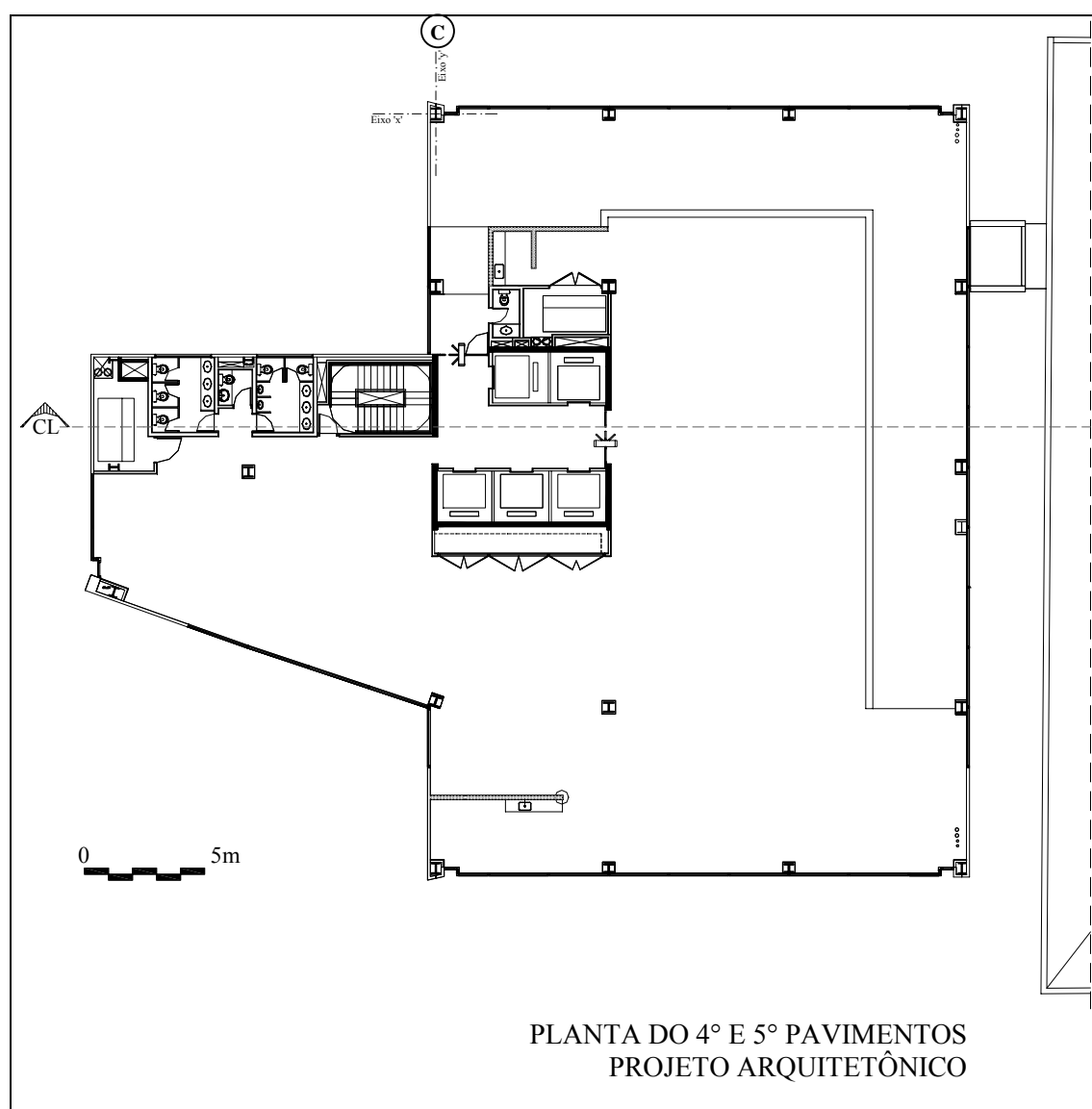


FIGURA 4.52 – Solução arquitetônica do edifício E-3: esboço da planta dos pavimentos-tipo - *layout* do 4º e do 5º.

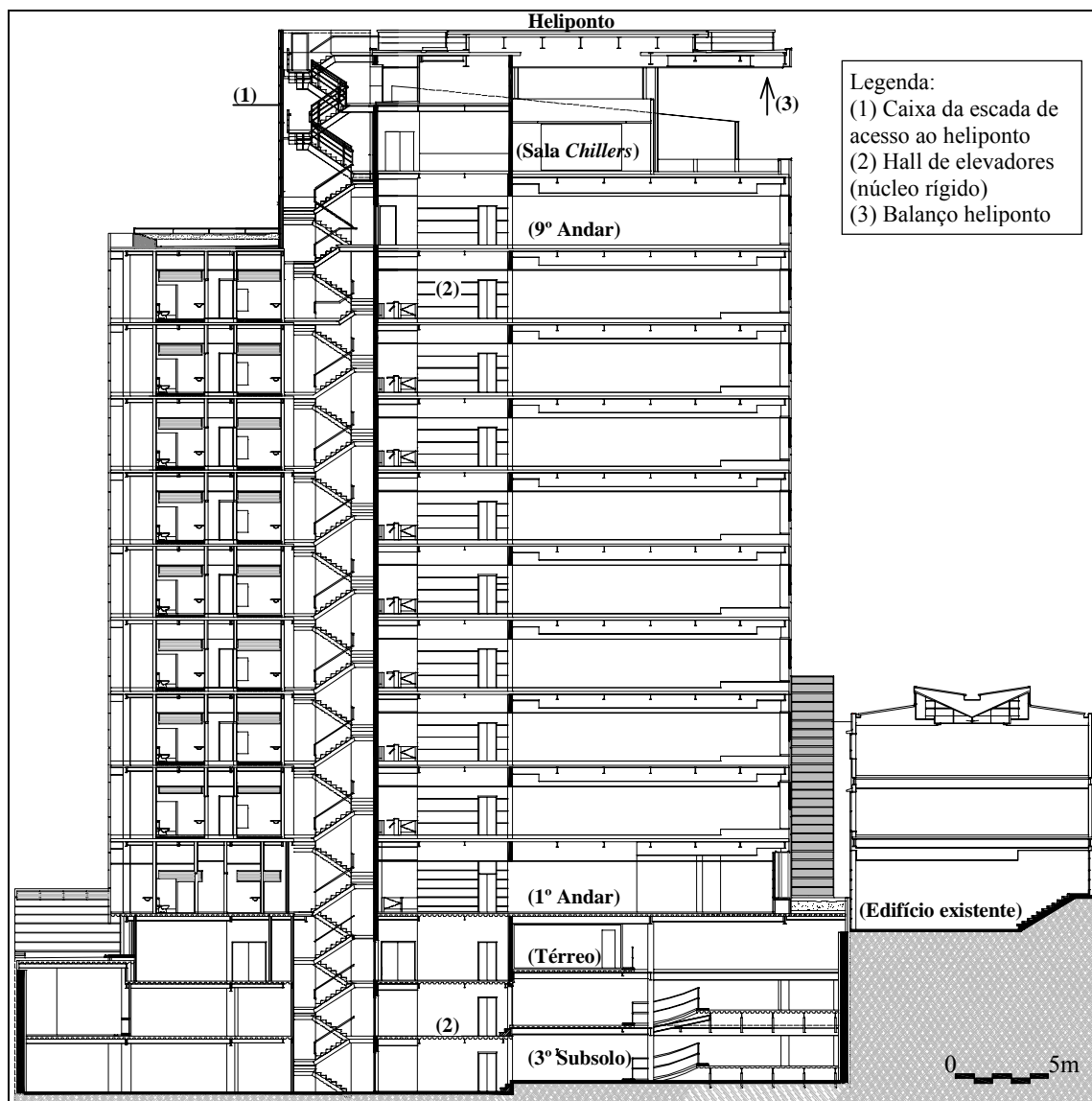


FIGURA 4.53 – Solução arquitetônica: esboço do corte longitudinal (CL).



FIGURA 4.54 – Vista externa do esqueleto estrutural, durante a etapa de execução.

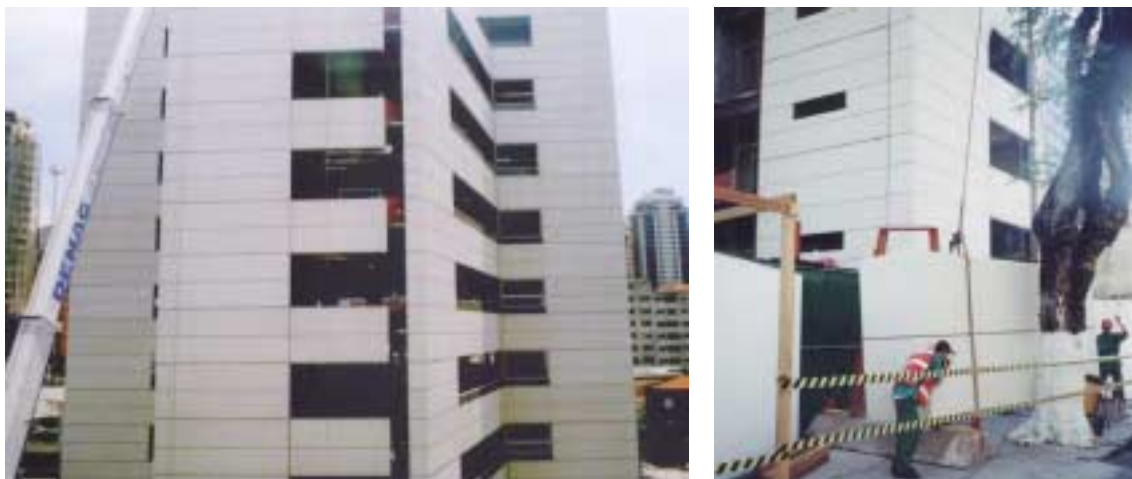
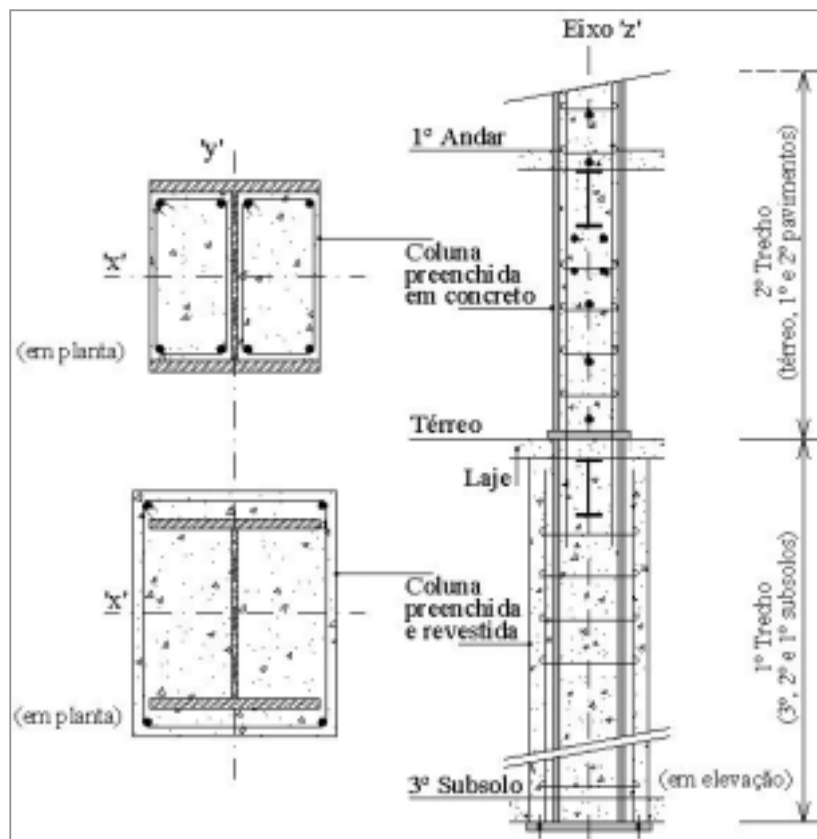


FIGURA 4.55 – Vistas externas, durante a montagem dos painéis de fachada industrializados: (a) do edifício; (b) do painel sendo içado.

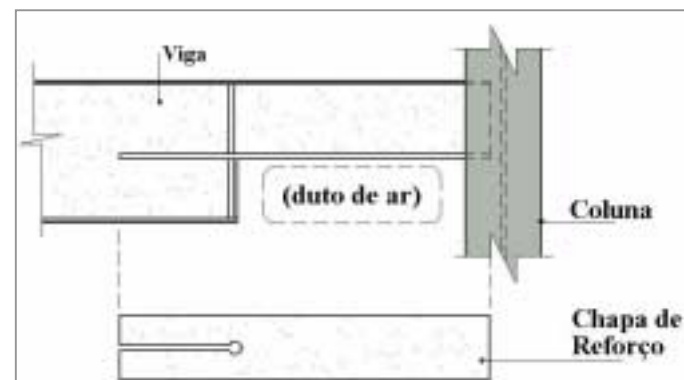
A SOLUÇÃO ESTRUTURAL

Conforme já citado, as colunas dos subsolos, térreo, primeiro andar e parte do segundo, foram executadas como mistas, sendo os perfis preenchidos com concreto armado, o que permitiu aumentar a capacidade de carregamento das seções desejadas. Devido à necessidade de proteção contra incêndio, somente as colunas dos subsolos foram concebidas para funcionarem como estrutura mista; mas, a necessidade de acréscimo de pavimentos durante a fase de execução estendeu a solução até o segundo tramo de colunas. Tal solução favoreceu a resistência daquelas colunas em situação de incêndio, tornando desnecessária a aplicação de proteção passiva nas peças com dimensões maiores que 200 mm. Nos subsolos, as colunas também foram revestidas por concreto, para proteger as colunas do impacto de veículos (ver detalhes na figura 4.56). Nos demais pavimentos, colunas simples foram executadas e revestidas com argamassa projetada à base de gesso, para proteção passiva.

As vigas foram consideradas como semicontínuas, vinculadas às lajes tipo *steel deck*, formando o sistema chamado viga mista. A figura 4.57 esboça, em planta, a configuração estrutural dos andares-tipo.



DETALHE 01: Solução para as colunas mistas (sem escala).



DETALHE 02: Redução da altura da viga principal para facilitar a passagem dos dutos de ar-condicionado (sem escala)

FIGURA 4.56 – Solução estrutural: esboço dos detalhes das soluções apresentadas para as colunas mistas e para as vigas principais dos andares-tipo.

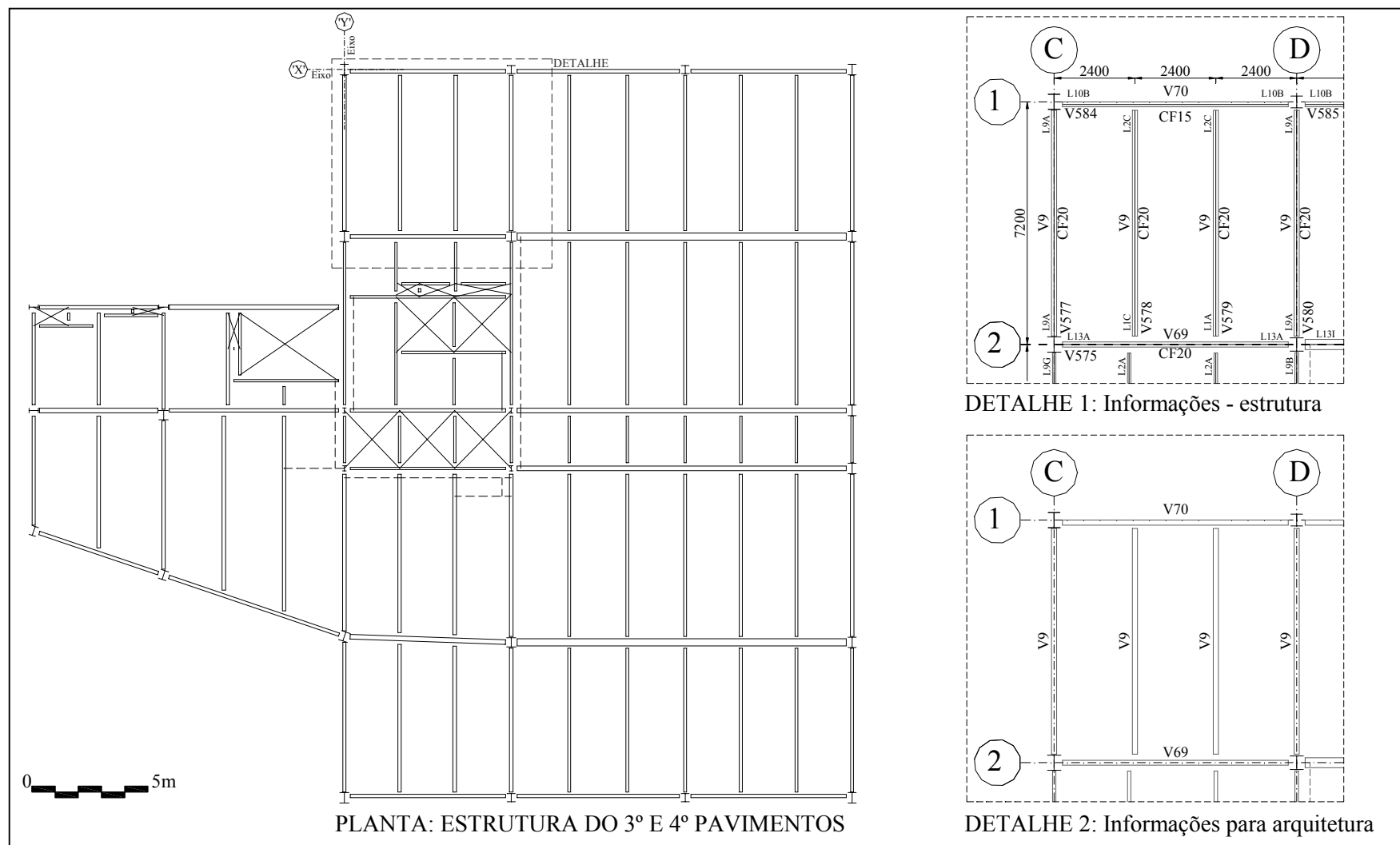


FIGURA 4.57 – Solução estrutural do edifício E-4: esboço do *layout* dos pavimentos 3 e 4, forma de representação das informações no projeto estrutural e demonstração da possibilidade de isolamento das informações de interesse da arquitetura.

Os tempos de resistência requeridos ao fogo (TRRF) de 120 e 90 minutos, para as vigas principais e secundárias, respectivamente, foram alcançados também com a aplicação de argamassa projetada à base de gesso.

Para evitar interferências com o sistema de ar-condicionado e reduzir a necessidade de furação de vigas, a equipe de projetos da estrutura metálica concebeu as vigas principais conforme a figura 4.58a: redução da altura da seção das vigas, próxima às colunas, para a passagem de dutos de ar-condicionado. Além disso, devido à malha urbana na região de localização do edifício, as vigas tiveram que ser subdivididas, de forma a reduzir os comprimentos das peças e viabilizar o acesso das carretas de transporte à obra. Assim, os elementos foram seccionados e juntas parafusadas foram previstas para a montagem em campo (figura 4.58b).

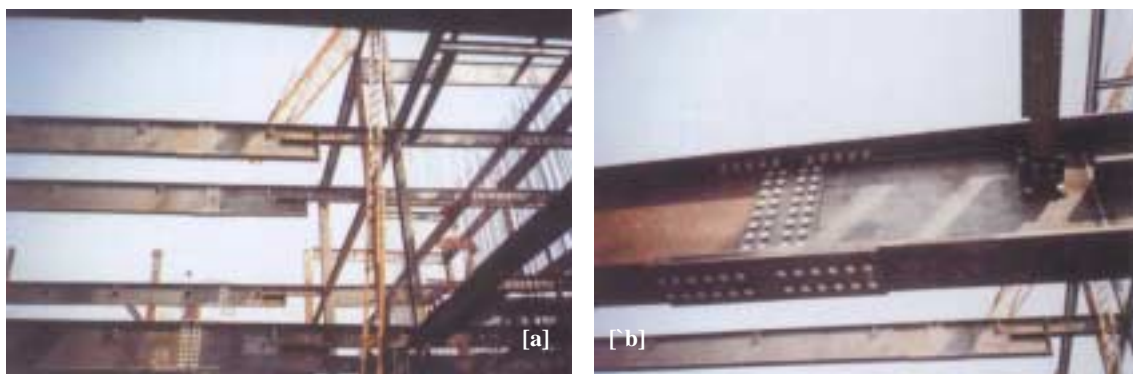


FIGURA 4.58 – Vistas, em detalhe, das soluções dadas para a execução das vigas: (a) redução da altura da viga para a passagem de dutos; (b) juntas parafusadas dos perfis subdivididos. Fonte: DIAS (2001).

Como sistema vertical de estabilização, foi executado um núcleo rígido de concreto, envolvendo as caixas dos elevadores (figura 4.59). Para a sua execução, foram previstas colunas e vigas de aço embutidas no mesmo. Esses perfis, além de servirem de guias para a execução das formas das paredes de concreto, fizeram a conexão da estrutura ao núcleo. Além disso, enquanto o concreto atingia a resistência necessária para garantir a estabilização, foram montados contraventamentos provisórios (ver figura 4.54, pág. 165).



FIGURA 4.59 – Vista interna do núcleo rígido de concreto no nível do subsolo.
Fonte: DIAS (2001).

O PROCESSO DE PROJETO

No processo de desenvolvimento do empreendimento, o cliente contratou o escritório de arquitetura A-2 para elaboração do projeto arquitetônico, e, posteriormente, a construtora C-3 se incumbiu da contratação de projetistas, consultores e fornecedores, para a elaboração dos projetos básicos e executivos complementares, coordenação dos projetos e execução da obra.

O processo de projeto do edifício E-4 se desenvolveu da seguinte forma: (a) execução do estudo preliminar de arquitetura; (b) execução do projeto legal e entrada para aprovação; (c) desenvolvimento dos projetos para a execução; (d) execução do projeto *as built*. A fase de desenvolvimento dos projetos para execução corresponde ao desenvolvimento dos projetos segundo os seguintes níveis de detalhamento: anteprojeto, projeto executivo e detalhamento (incluindo projeto para fabricação e montagem). A figura 4.60 ilustra o desenvolvimento do processo de projeto; porém, nesse diagrama, as fases de anteprojeto, projeto executivo e detalhamento (desdobradas a partir da fase de desenvolvimento dos projetos para execução), também indicam a evolução do projeto de cada especialidade em termos do nível de detalhamento dos projetos, e não em termos cronológicos.

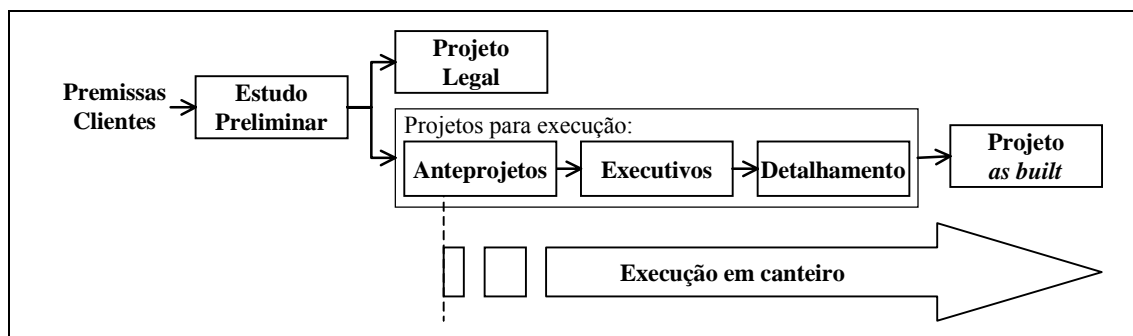


FIGURA 4.60 – Diagrama do processo de projeto do empreendimento, em relação à etapa de execução.

A EQUIPE DE PROJETOS

A equipe de projetos contou com a participação de projetistas, fornecedores e consultores. A compatibilização dos projetos, do ponto de vista arquitetônico, foi realizada pelo próprio escritório de arquitetura. Já a compatibilização, do ponto de vista construtivo, e a coordenação dos projetos foram realizadas pelo departamento de projetos da construtora. Reuniões periódicas foram realizadas para discussão e negociação das interferências.

Entre os participantes, pode-se citar: (a) projetista de arquitetura; (b) de projeto legal; (c) de ar-condicionado, exaustão, ventilação e pressurização de escadas; (d) instalações: projetos elétricos e hidro-sanitário; (e) de fundações e contenção; (f) de concreto e verificação da estrutura metálica; (g) de prevenção a incêndio; (h) de proteção passiva; (i) de caixilhos; (j) de luminotécnica; (k) de automação e telemática; (l) de impermeabilização; (m) do projeto para aprovação no Corpo de Bombeiros; (n) de acústica; (o) do sistema viário e estacionamento; (p) de projetos para aprovação junto às concessionárias; (q) fornecedor da estrutura metálica; (r) fornecedor de painel de fachada industrializado; (s) de elevadores (projeto de produção); (t) de instalações elétricas, hidráulicas e incêndio; (u) de ar-condicionado; (v) de esquadrias de alumínio; (w) consultor de controle tecnológico; (x) consultor e projetista de vedações e pisos; e (z) consultor de elevadores.

O fornecedor da estrutura metálica, além de ser contratado (por preço fechado a partir

de um orçamento estimado da tonelagem de aço e em um projeto referencial) para projetar, fabricar e montar a estrutura metálica, também assumiu a elaboração dos projetos da laje tipo *steel deck*. Os projetos da estrutura metálica foram avaliados por um auditor contratado pela construtora.

AS FASES DE PROJETO

Como a construção do edifício seguiu o modelo *Fast track construction*, a evolução do processo de projeto esteve estreitamente relacionada à evolução do processo de execução. Desta forma, os dois processos são correlacionados.

Na **fase de estudo preliminar**, com as premissas estabelecidas pelo cliente, os dados do terreno e as diretrizes do plano diretor, o arquiteto titular do escritório de arquitetura preparou a proposta preliminar, que definia o partido conceitual do projeto para a aprovação pelo proprietário, sem preocupação com a definição dos sistemas construtivos. A proposta foi apresentada por um caderno de desenhos à mão. Nessa fase, o aço ainda não havia sido definido como material estrutural.

A proposta conceituada com base na garantia de segurança da empresa, prevendo o controle de entrada e circulação das pessoas e a setorização dos elevadores, foi aceita pelo cliente, e, a partir daí, a construtora estudou várias alternativas para os sistemas construtivos, principalmente estruturais, dentro do conceito de melhores soluções para melhores resultados.

Definidos os sistemas construtivos, a mesma preparou uma proposta de orçamento para o cliente, o qual a contratou para executar a proposta dentro de um prazo definido e com um preço máximo garantido.

Após a aprovação do estudo preliminar, um escritório especializado elaborou o **projeto legal**, sendo o mesmo submetido à aprovação na prefeitura. As inúmeras mudanças solicitadas pelo cliente durante o processo de construção exigiram novas aprovações.

À frente da obra, em fevereiro de 2000, a empresa C-3 passou a coordenar o

desenvolvimento dos projetos para a execução, de modo a garantir o cronograma planejado.

Como, após a definição da solução estrutural (desenhos de referência), liberação das cargas de fundação e início do anteprojeto das fundações, deu-se início à execução das tarefas no canteiro de obras, em março de 2000, a evolução dos projetos das diferentes especialidades ocorreu de forma irregular, visando atender as necessidades da obra, por exemplo: início da montagem da estrutura metálica no final do mês de julho. Desta forma, em muitos momentos, as fases de **anteprojeto, projeto executivo e detalhamento** foram desenvolvidas de forma simultânea. As diversas modificações solicitadas pelo cliente também geraram a sobreposição dessas fases. As compatibilizações foram realizadas em diferentes momentos e de forma aleatória. O controle e a liberação de cada projeto foram funções da construtora.

Pode-se dizer que a **fase de anteprojeto** se caracterizou pela realização dos primeiros estudos relativos às especialidades de projetos complementares, pela apresentação de diretrizes e propostas, pela incorporação das mesmas no projeto arquitetônico e pela intensa atividade de compatibilização, mas, principalmente, pela tomada de decisão. No início dessa fase, as especialidades que elaboraram projetos foram fundações, arquitetura, estrutura metálica, instalações e ar-condicionado.

Os **projetos executivos** se caracterizaram pela consolidação das soluções definidas na fase de anteprojeto e início do detalhamento. Nessa fase, entregas parciais foram realizadas para atender a obra. A primeira especialidade a liberar o projeto executivo foi a de fundações; em seguida, a de estrutura metálica, em junho de 2000. Muitas revisões de projeto foram realizadas, ao longo de toda a etapa de execução, principalmente as especialidades de fundações, de arquitetura, de estrutura metálica, de ar-condicionado e de painel de fachada, em função das inúmeras mudanças solicitadas pelo cliente e do prazo insuficiente estabelecido para a fase de anteprojeto. No início da montagem da estrutura, o projeto arquitetônico executivo ainda não estava fechado e, conseqüentemente, os demais projetos complementares também não.

Já os **projetos de detalhamento** evoluíram naturalmente das definições dos projetos executivos. Para os sistemas construtivos industrializados, o projeto de detalhamento se caracterizava pelos desenhos de fabricação e montagem.

Com relação ao **projeto *as built***, quando a obra estava em estágio final de execução, em janeiro de 2001, o escritório de arquitetura atualizou alguns desenhos para incorporarem as mudanças ou adaptações executadas na obra, como a eliminação da casa de máquinas do ar-condicionado e o rebaixamento do forro da sala do *chiller*, no ático. Porém, esses novos desenhos não foram considerados como projeto *as built*, pois não consideravam muitas das resoluções tomadas na obra. Desta forma, o projeto *as built* foi realizado pela própria construtora.

O ACOMPANHAMENTO DA OBRA

O acompanhamento da obra foi realizado pelos profissionais da construtora. O escritório de arquitetura não foi contratado para desempenhar essa atividade.

O PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

Para entrega da obra, a construtora preparou um Manual de Uso e Manutenção do Cliente, contendo a descrição do edifício, todas as especificações e as instruções para o uso e a manutenção da edificação.

OS RESULTADOS

A dificuldade do levantamento de todas as necessidades e exigências do cliente e as novas oportunidades de negócio geraram inúmeras alterações no projeto, as quais exigiram a negociação de novos prazos, atrasando o cronograma previsto preliminarmente para nove meses.

Logo que a fase de anteprojeto foi iniciada, já estando aprovado pelo cliente o estudo preliminar de arquitetura, que previa seis pavimentos-tipo, foi solicitada a introdução de um heliponto e, posteriormente, de mais dois andares-tipo, após aquisição de mais um

terreno adjacente. Para atender as solicitações, a especialidade que teve mais retrabalho e revisões foi a arquitetura. As demais especialidades de projeto, principalmente a especialidade de estrutura metálica, não sofreram grande impacto para incorporarem a necessidade do cliente, pois ainda estavam em fase de estudos.

Mas, durante os projetos executivos, quando o fornecedor da estrutura metálica estava montando o segundo pavimento, novas alterações foram realizadas. Em função da oportunidade de compra de outros três terrenos vizinhos, foi solicitada a ampliação da área dos subsolos, assim como o acréscimo de mais um pavimento-tipo. Assim, atendendo a solicitação do cliente, foi acrescentado mais um andar no nível do terceiro pavimento, uma vez que o segundo já estava sendo montado. Desta forma, a estrutura metálica deixou de ter cinco trechos de colunas para ter seis: trecho um, abrangendo os três subsolos; trecho dois, térreo, primeiro e segundo pavimentos; trecho três (novo), contendo apenas o terceiro pavimento; trecho quatro, abrangendo o quarto, quinto e sexto pavimentos; trecho cinco, sétimo, oitavo e nono; e trecho seis, ático e cobertura da casa de máquinas. Tal solução permitiu que apenas as colunas já executadas necessitassem de reforço. Assim, as colunas mistas dos subsolos, inicialmente concebidas para atender às exigências do Corpo de Bombeiros quanto à proteção contra incêndio, tiveram a seção de concreto aumentada e as colunas do pavimento térreo, do primeiro andar, e parte das colunas do segundo, foram redimensionadas e executadas conforme uma estrutura mista (ver figura 4.56).

Para o atendimento da necessidade do cliente, foi exigido da equipe de projetos multidisciplinar um esforço extra para reestudar o projeto paralelamente à execução da obra, principalmente para a especialidade de arquitetura realizar a compatibilização e para a especialidade de estrutura metálica reavaliar todos os cálculos de dimensionamento, elaborar novos detalhes, revisar a logística de execução, além de renegociar o contrato, estando a estrutura toda fabricada. Nesse ponto, a estrutura metálica se mostrou extremamente vantajosa em relação a outros sistemas.

Já a ampliação da área dos subsolos, embora tenha tido sucesso, gerou perda de material, tempo e mão-de-obra na execução de paredes diafragmas que posteriormente

perderam a função estrutural (ver figura 4.64, página 183). Além disso, exigiu que as especialidades de arquitetura, estrutura metálica e outras, que estavam em fase de compatibilização, detalhamento e execução, retomassem a fase de estudo. Embora não tenha havido prejuízo em relação ao aspecto financeiro, pois os novos serviços foram renegociados, introduziu-se uma certa descontinuidade ao processo, tornando o mesmo mais complexo, pois, enquanto detalhes deviam ser resolvidos, também eram exigidas novas decisões conceituais.

Além dessas mudanças, outras mudanças de menor impacto também foram realizadas, por não terem sido elaborados desenhos de *layout* dos andares no início dos projetos, os quais teriam como função ajudar o cliente a visualizar a solução proposta. A edificação já estava executada, quando o cliente solicitou a ampliação da área das copas. Para tanto, foi efetuada a retirada de um banheiro. Depois de realizada a tarefa, a copa novamente foi desmontada e relocada.

Além de funcionar como ferramenta para evitar modificações desse tipo, a representação do *layout* na fase inicial do projeto foi apontada como fundamental para a compatibilização, principalmente das especialidades de arquitetura, estrutura e instalações, uma vez que, a partir do mesmo, podem ser definidos com maior precisão o número de usuários e suas necessidades.

Além disso, devido à falha no *briefing* de projeto, a equipe de arquitetura desconhecia que a administração ficaria no prédio. Assim, depois de executado o edifício, foram adaptados sanitários e vestiários no primeiro subsolo para atender à diretoria.

Em abril de 2001, a arquitetura realizou a última revisão do projeto. Por solicitação do cliente, projetou o fechamento lateral da escada que dá acesso ao heliponto (representada na figura 4.53).

Com relação aos sistemas construtivos, tanto a estrutura metálica quanto os painéis de fachada pré-fabricados em concreto não estavam definidos desde o princípio. O estudo preliminar arquitetônico previa o concreto como material estrutural. Modificado o

mesmo para aço, após a contratação da construtora, foram necessárias algumas adaptações ao projeto, como reconsideração de soluções curvas.

Quanto ao sistema de fechamento externo, o mesmo havia sido definido inicialmente em alvenaria e desta forma considerado para efeito do cálculo da estrutura metálica. Somente após o início da execução dos subsolos, foram adotados os painéis pré-fabricados. Assim, só foi possível especificar amostras, acabamentos, geometria e paginação, depois de definido um formato que permitisse a distribuição de cargas de forma equivalente àquela já considerada pela estrutura. Tal condição não se verifica como ideal, pois pode resultar na adoção de soluções subótimas, principalmente frente ao critério custo-benefício.

Já especificamente com relação à estrutura metálica, pode-se dizer que as especificidades que mais apresentaram interferências entre si foram estrutura metálica e arquitetura, devido: ao processo de construção ter sido organizado nos moldes *da fast track construction*, sem tempo para a compatibilização dos projetos; aos projetos, fabricação e montagem da estrutura terem sido contratados em conjunto; e ao contrato ter sido a preço fechado, com base no peso estimado e em desenhos referenciais da estrutura.

Como a estrutura metálica foi contratada antes da compatibilização dos projetos ou das modificações solicitadas pelo cliente (como as demais especialidades principais), o contrato comercial com o fornecedor da estrutura a preço fechado e com base em um lançamento estrutural exigiu revisões e constantes renegociações para a otimização das interferências dos projetos: de um lado, a fábrica da estrutura metálica estava amarrada ao cronograma de execução; do outro, a arquitetura tentava solucionar as interferências identificadas ao longo da evolução dos projetos. Desta forma, uma grande dificuldade sentida pela coordenação dos projetos referia-se às constantes entregas de desenhos da estrutura nas datas limites para o início da fabricação, de modo que as compatibilizações eram inviabilizadas porque as peças estruturais já estavam, com frequência, “em linha de produção”. Assim, o comprometimento do departamento de projetos da fábrica com a fabricação e montagem da estrutura (resultante da própria estrutura organizacional do

processo de construção, *fast track construction*, com prazos de projeto e execução bastante apertados), tornou difícil a realização de revisões do projeto estrutural. Assim, muitos pontos, que não estavam funcionando de forma ideal, não puderam ser resolvidos durante o projeto.

Neste contexto, para o escritório de arquitetura, a situação ideal seria a contratação do projeto compatibilizado e, posteriormente, a contratação para a fabricação da estrutura; porém, neste caso, a estrutura organizacional teria que ser revista.

Já com relação às interferências, o projeto da estrutura de suporte do heliponto foi uma das questões mais difíceis, gerando desgaste durante a compatibilização para que a proposta da solução arquitetônica fosse atendida, principalmente por questões de contrato. Para manter o balanço e a altura das vigas de bordo da plataforma do heliponto (mostrado na figura 4.53), conforme solicitado pela arquitetura, foi necessária a execução de contraventamentos de reforço para garantir a estabilização estrutural, o que causou prejuízo para o sistema de serviço e para a própria arquitetura. Como a negociação se estendeu até a data limite para fabricação da estrutura, que acontecia paralelamente à execução da obra, as interferências foram adaptadas em obra e, posteriormente, atualizadas no projeto executivo: rebaixamento do forro da sala do *chiller* e eliminação de uma das casas de máquinas. A figura 4.61 esboça a solução final em comparação a solução original.

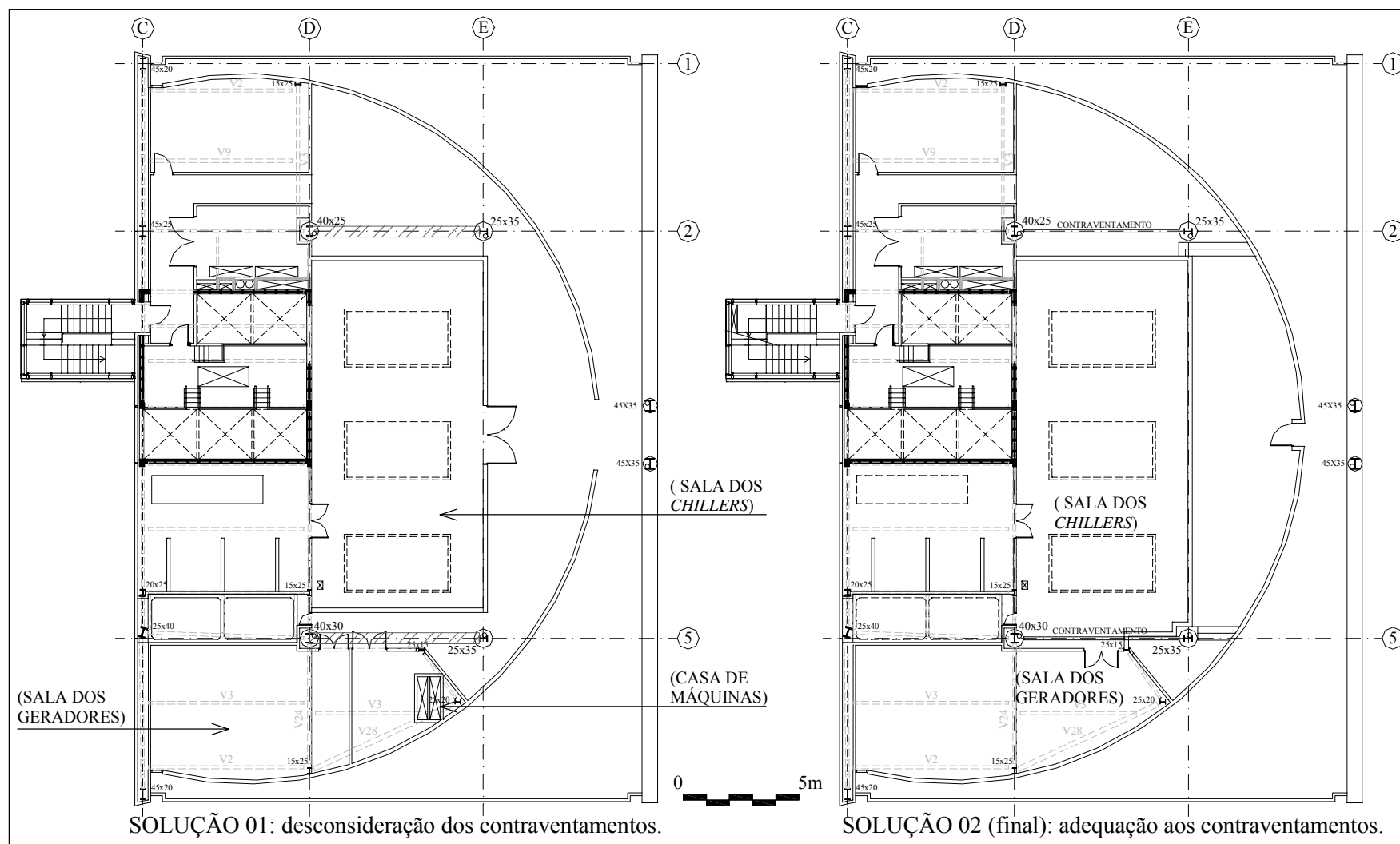


FIGURA 4.61 – Esboço das plantas do ático (projeto arquitetônico): interferência da solução arquitetônica com a solução estrutural, não verificada em projeto; solução final adotada para adaptação durante a execução.

Um desenho de corte, mostrando em elevação a interferência do contraventamento de reforço com a porta de entrada na sala dos geradores, foi elaborado e está ilustrado na figura 4.62.

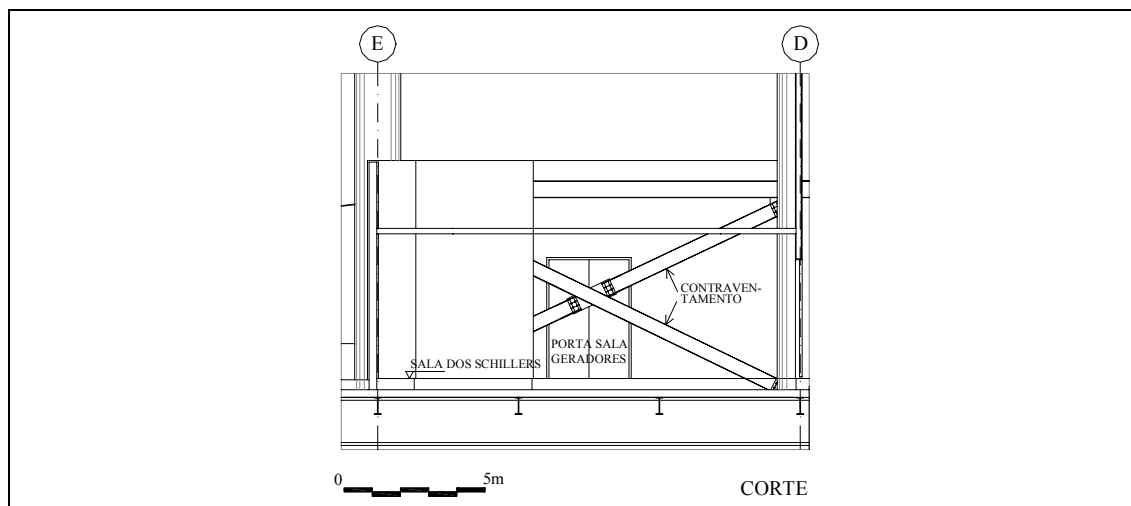


FIGURA 4.62 – Corte parcial do ático: sala dos *chillers*, sob o heliponto.

Para a arquiteta responsável pela compatibilização, a falta de cultura em relação ao sistema construtivo foi determinante para as dificuldades sentidas no desenvolvimento dos projetos, e a principal diferença estava relacionada com a leitura das informações nos desenhos do projeto estrutural.

Além disso, o grande número de informações e detalhes verificados durante a compatibilização, devido à grande variedade das alturas das vigas de um único pavimento e ao grande número de vigas secundárias para suporte da laje tipo *steel deck*, associado à necessidade de leitura dos dados de cada elemento em tabelas, que relacionavam um número enorme de perfis, e à falta de desenhos das vigas em cortes, foram algumas das características que influenciaram negativamente o processo.

A leitura do sistema de estabilização nos desenhos também foi considerada difícil, devido à forma de representação dos contraventamentos e à inexperiência da equipe de compatibilização.

A forma de apresentação das dimensões das colunas também tornou mais complexa a compatibilização e foi causa de interferências entre o sistema de fechamento industrializado e a estrutura metálica, durante a etapa de execução.

Esboços do plano de vigas e da elevação da solução adotada para a estrutura de suporte do heliponto são mostrados na figura 4.63. No detalhe dessa figura, pode ser observada a linguagem utilizada para representar as informações acerca dos elementos: V2, nome da viga para o projeto de engenharia; V856, nome da viga para o projeto de fabricação; L2R, identificação da ligação. Pode ser observado também que os contraventamentos não foram identificados no plano de vigas, devendo o mesmo ser percebido na elevação, representada conforme um detalhe.

Além disso, devido ao grande número de especificações que deveriam ser verificadas no mapa de colunas e devido à falta das dimensões das colunas no mapa de vigas de cada pavimento do projeto estrutural, a equipe de arquitetura não atentou para a variação da seção das colunas entre os diferentes tramos e locou as colunas do térreo e do primeiro pavimento (com seções de 450x400mm) conforme as seções dos perfis das colunas dos andares-tipo (com seções de 450x350mm). Desta forma, as dimensões da coluna C2 (detalhe 1, figura 4.63), não foram corretamente compatibilizadas com os painéis de fachada e, durante a montagem dos mesmos, foi necessário deslocar 20mm para fora a fachada do eixo C (ver figura 4.52), para gerar a folga necessária entre os dois sistemas.

A figura 4.64 esboça o mapa de colunas e a forma utilizada para representação dos dados.

A causa da interferência citada anteriormente pode ser atribuída também à inflexibilidade do suporte de fixação dos painéis, mostrado, em detalhe, na figura 4.65.

Com relação à logística de transporte da estrutura, a falha no planejamento da mesma, resultando na necessidade do estudo da subdivisão das vigas durante a etapa de fabricação para ser viabilizado o acesso das carretas à obra, gerou atraso na montagem da estrutura.

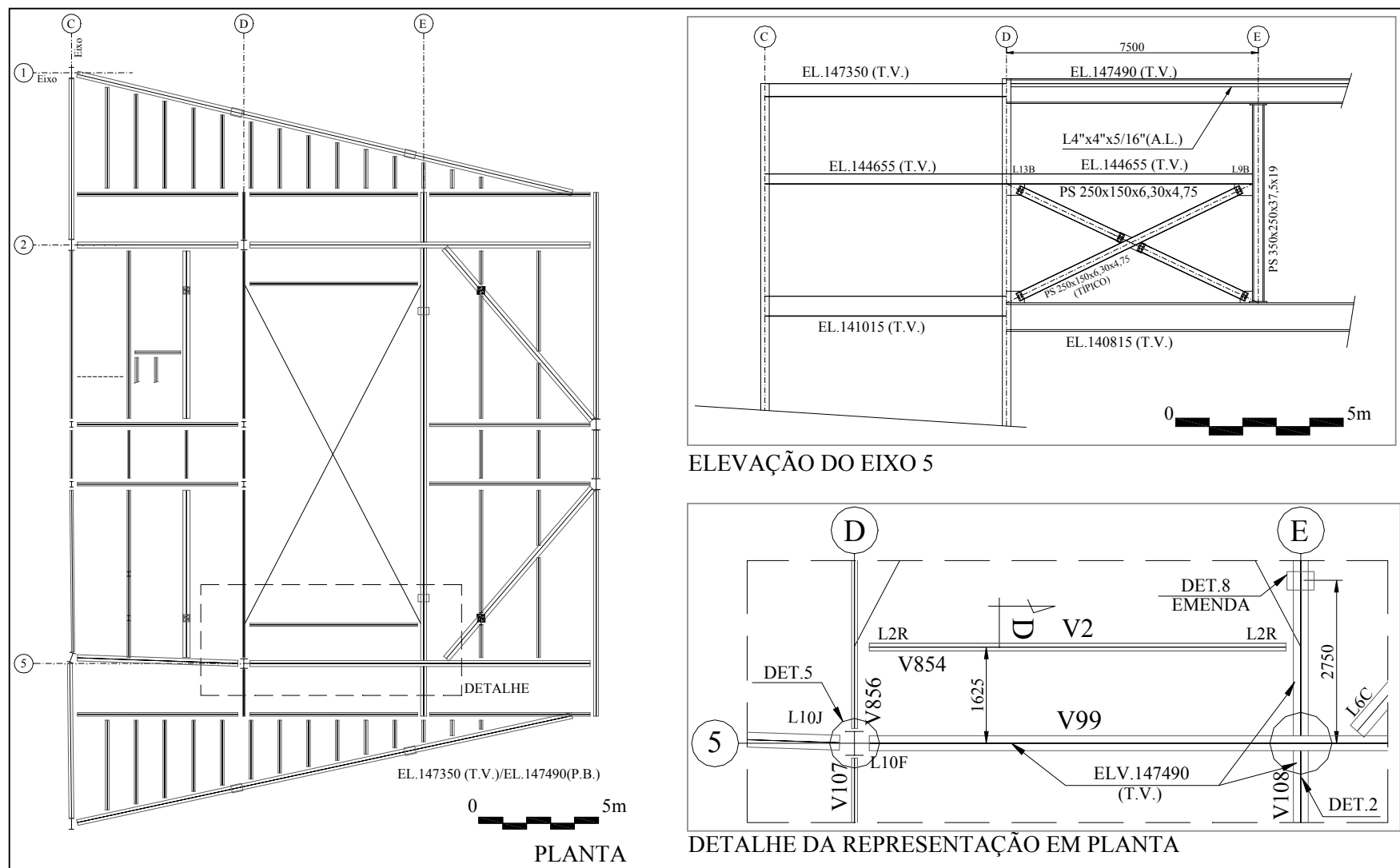


FIGURA 4.63 – Esboço do *layout* estrutural da estrutura de suporte do heliponto (ático) e da forma de representação utilizada.

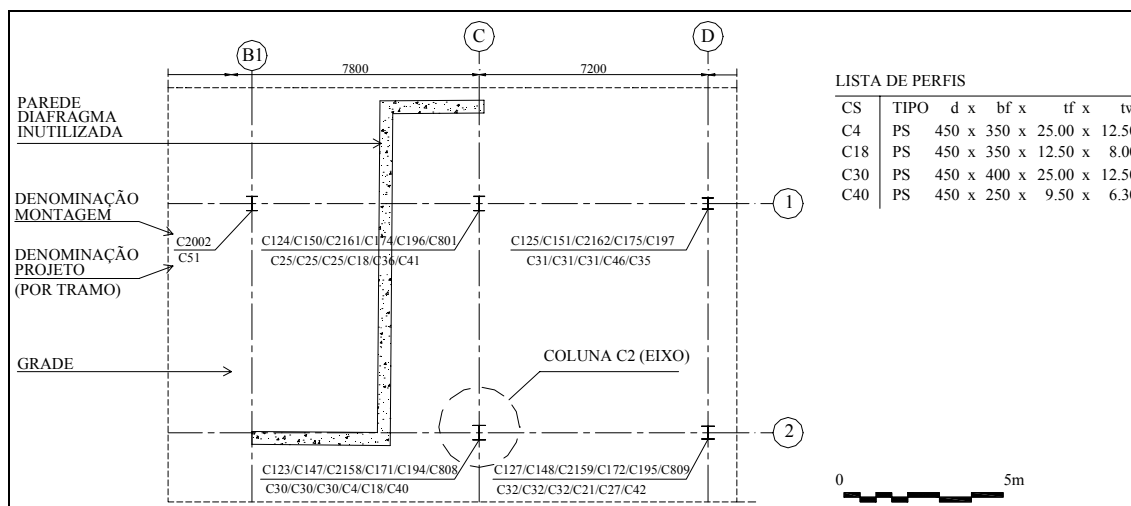


FIGURA 4.64 – Esboço da representação do mapa de colunas e da tabela de perfis.



FIGURA 4.65 – Vista, em detalhe, da solução dada para a fixação dos painéis de fachada industrializados na estrutura.

Fonte: DIAS (2001).

Três pontos negativos foram observados pela construtora com relação ao sistema estrutural metálico: (a) o reduzido número de empresas voltadas a atender o mercado de construção de edifícios de múltiplos pavimentos, dificultando o poder de negociação do consumidor devido à inexistência de concorrência; (b) o elevado custo da proteção contra incêndio que incide sobre a estrutura metálica, com a necessidade do estabelecimento de uma legislação comum à todos os estados da federação; e (c) o fato das empresas fabricantes ainda não estarem preparadas para fornecer um sistema

construtivo de A a Z, ou seja, ainda executarem tarefas de fábrica no canteiro de obras, como o corte das formas metálicas do *steel deck* executado nessa obra, em uma zona com severa restrição ao ruído.

Para o coordenador dos projetos, a associação dos seguintes fatores foi negativa: a falta de cultura em trabalhar com o sistema estrutural metálico, o desenvolvimento do processo conforme *fast track construction*, as várias modificações solicitadas pelo cliente, a vinculação da execução do projeto estrutural ao contrato comercial fechado para fabricação e montagem da estrutura.

4.5.5 EMPREENDIMENTO E-5

Parte de um condomínio formado por doze edificações (dois edifícios comerciais, centro comercial, oito edifícios residenciais - *residence service* - e clube), localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, o edifício E-5 se caracteriza pelo uso comercial. O condomínio é um empreendimento incorporado e executado pela construtora C-4 e teve seu partido arquitetônico definido pelo escritório de arquitetura A-3.

Motivada a testar novas tecnologias, a construtora adotou a estrutura metálica como sistema estrutural tanto para o clube quanto para o edifício comercial E-5. Como a construtora não tinha experiência na construção de edifícios estruturados em aço e o clube permaneceria sob seus cuidados durante a fase de operação (o que facilitaria a correção de possíveis patologias decorrentes dessa falta de experiência), o planejamento das obras previu a execução do clube em uma primeira fase, para que esse servisse como laboratório: escola para a construção futura do edifício comercial, o qual passaria a ter diferentes proprietários.

Como a experiência adquirida no processo de execução do clube foi utilizada como *feedback* para o planejamento do processo de construção (projeto e execução) do edifício E-5, os dados levantados referentes à obra do clube serão descritos nos

parágrafos a seguir. Em seguida, serão apresentadas as informações levantadas referentes ao processo de projeto do Edifício E-5, propriamente.

O PROCESSO DE EXECUÇÃO DO CLUBE (PROTÓTIPO)

O clube de lazer (figura 4.66), projetado para atender a uma necessidade legal e dar suporte aos *flats*, tem um programa atípico (creche, academia, piscina e centro de convenções, com pé-direito duplo, para 200 pessoas) e está implantado em um terreno com desnível de 5,0 metros. Estas características, associadas à definição tardia da estrutura metálica - em substituição à estrutura de concreto, dificultaram o estabelecimento de uma modulação favorável e exigiram adaptações ao projeto. Assim, não foi verificada a viabilidade econômica da obra.



FIGURA 4.66 – Perspectiva ilustrada do clube.
Fonte: Construtora.

O escritório de arquitetura A-3 foi responsável pela especialidade de arquitetura até a entrega do estudo preliminar. Após esta fase, A-3 passou a atuar como consultor e um terceiro escritório foi contratado para dar continuidade ao projeto arquitetônico e coordenar os projetos complementares.

Em relatório elaborado pela equipe de execução da obra, as principais vantagens e desvantagens foram apontadas. Como vantagens, pode-se citar: (a) processo mais industrializado; (b) pessoal mais especializado e com maior consciência para utilização das normas de segurança do trabalho; (c) agilidade na montagem do *steel deck* e

liberação antecipada dos pavimentos para outras operações, gerando redução no prazo das obras; (d) menor número de trabalhadores na obra; (e) alívio nas cargas da fundação em função da redução do peso próprio da estrutura para até 80% do peso estimado para a estrutura de concreto armado; (f) utilização de escadas pré-fabricadas. Como desvantagens: (a) pouca flexibilidade no projeto; (b) necessidade de compatibilização prévia mais rigorosa com os demais projetistas; (c) dificuldade para resolução de imprevistos na obra, como furações incompatíveis no projeto.

Além das desvantagens apresentadas acima, outras questões foram vistas como negativas:

[1] A logística de montagem da estrutura metálica não foi eficiente, acarretando atrasos à obra. Embora o cronograma de execução tivesse sido informado ao fabricante, peças não foram entregues na seqüência planejada: por exemplo, houve atraso de um mês para entrega de uma única viga;

[2] Muitas peças apresentaram defeitos devido ao acabamento rústico executado pela estrutura metálica - acostumada a trabalhar com construções industriais, o que exigiu a intervenção da gerência e da arquitetura para que os mesmos fossem melhorados, de modo a garantir a qualidade do resultado final do imóvel. A figura 4.67 mostra o defeito de esquadro de uma peça que ficaria aparente (marquise), apresentado após a montagem da estrutura em campo;

[3] Não se obteve vantagem em relação às alturas das vigas de aço - se comparadas às vigas de concreto, principalmente porque a estrutura calculada se mostrou mais rígida para a execução dos furos necessários para a passagem de tubulações;

[4] A laje tipo *steel deck* apresentou limitações para viabilizar modificações no uso - criação de um depósito - porque as cargas previstas em cálculo não consideravam esta necessidade e a laje não permitiu reforço, ou seja, não apresentou flexibilidade para atender o cliente;

[5] Montagem de peças fabricadas sem a furação necessária. Embora o fabricante da estrutura metálica tenha participado das reuniões de compatibilização junto com o calculista contratado para projetar a estrutura, quando se acreditava que o projeto já estava fechado e pronto para ser detalhado para a fabricação, a fábrica retomou o projeto do calculista e redimensionou a estrutura; assim, um novo projeto foi apresentado, baseado na linha de produção e reduzindo o peso da estrutura. A partir daí, iniciaram-se as adaptações para a adequação das demais especialidades. E como, pelo cronograma, a estrutura deveria estar em linha de produção ao invés de estar sendo estudada, a fabricação de parte das peças foi antecipada a compatibilização da furação.

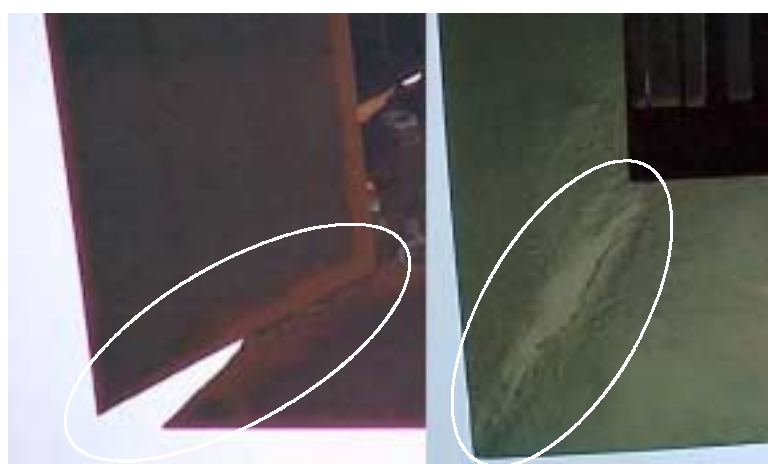


FIGURA 4.67 – Detalhe do acabamento da estrutura metálica, antes e depois dos reparos.
Fonte: Construtora C-4.

Em função da experiência adquirida na construção do clube, algumas mudanças foram realizadas no processo de construção do edifício E-5. Na tabela 4.1, as principais diferenças apresentadas nas duas obras são relacionadas.

TABELA 4.1 – Modificações introduzidas no processo de construção do edifício E-5, em relação ao clube.

Obra: Clube	Obra: Edifício E-5
Inserção do sistema estrutural metálico no projeto pré-executivo; estudo preliminar considerando a estrutura de concreto.	Definição e consideração da estrutura metálica no estudo preliminar de arquitetura: participação do fornecedor.
Projetos pré-executivo e final de <i>dry wall</i> executados por escritório contratado especificamente para a função, em paralelo com o projeto executivo de arquitetura.	Projetos pré-executivo e final de <i>dry wall</i> executados pelo próprio escritório de arquitetura, em paralelo ao projeto executivo.

TABELA 4.1 – Modificações introduzidas no processo de construção do edifício E-5, em relação ao clube (continuação).

Obra: Clube	Obra: Edifício E-5
Análise comparativa de custo da estrutura metálica em relação à estrutura de concreto.	Análise comparativa de custo da estrutura de concreto em relação à estrutura metálica.
Projeto de estrutura metálica contratado com um escritório de projetos.	Projeto de estrutura metálica contratado com o próprio fabricante.
Não transferência dos esforços de empuxo da cortina (parede diafragma) na laje do térreo.	Transferência de parte dos esforços na laje do térreo (estrutura), para redução da armação da cortina.
Chapas de base das colunas metálicas do subsolo fixadas em colunas de concreto de 1,50 m altura de, para proteção ao impacto de veículos (figura 4.68).	Chapas de base das colunas metálicas do subsolo fixadas no bloco de fundação e colunas revestidas com alvenaria para proteção.
Fabricação da estrutura metálica sem a compatibilização com todas as especialidades de projeto.	Fabricação submetida à liberação pela construtora e pelo coordenador e só realizada após a revisão e aprovação do projeto.

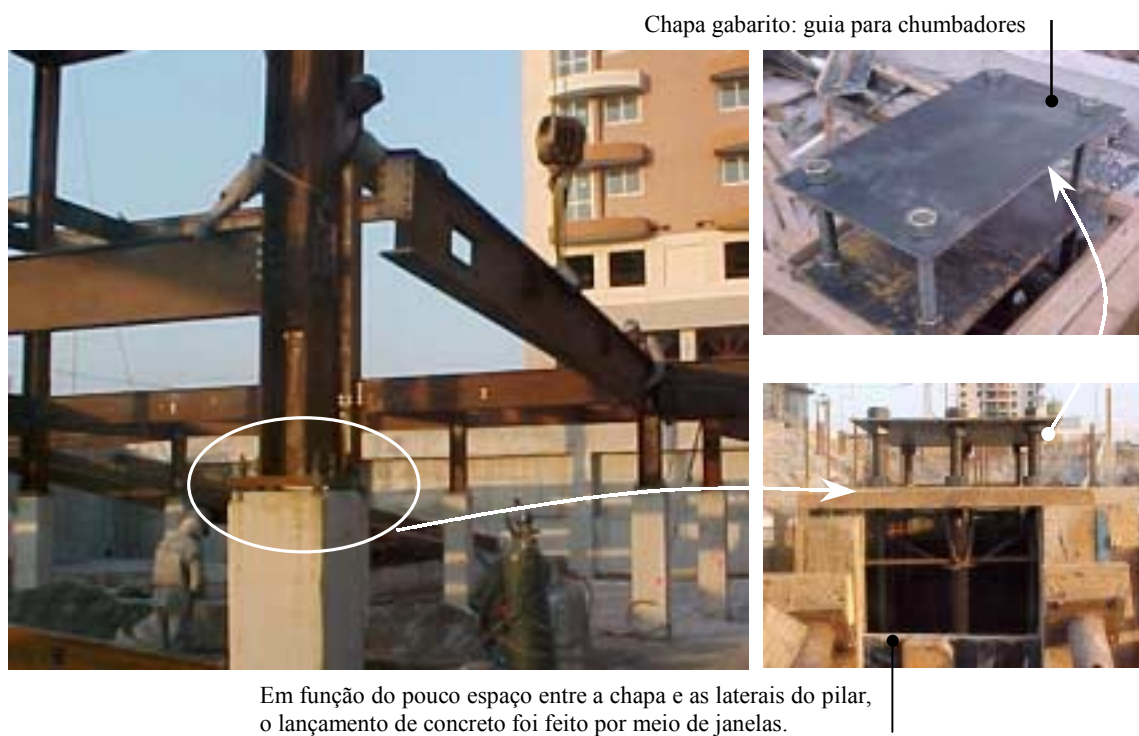


FIGURA 4.68 – Detalhe de execução do clube: das colunas do subsolo.
Fonte: Construtora C-4.

O EDIFÍCIO E-5

Para efeito de estudo do processo de projeto, a investigação focou o edifício E-5, o qual

estava em desenvolvimento. Atualmente, o projeto executivo está paralisado, por questões comerciais e a obra teve seu início adiado. Assim, as deficiências foram observadas até o final do projeto pré-executivo. As fases do processo de projeto apresentadas tiveram base no cronograma elaborado pela construtora, e as principais características dessas fases tiveram base nas informações levantadas durante as entrevistas.

A SOLUÇÃO ARQUITETÔNICA

Localizados em um terreno de 7.947 m², o clube e o edifício E-5 foram projetados para usufruírem o mesmo nível de subsolo, o qual seria executado em duas etapas.

O edifício E-5, com área total de construção equivalente a 8.105 m², foi concebido com a seguinte distribuição: um subsolo, destinado ao estacionamento de veículos; térreo com acesso e quatro lojas com jirau; primeiro pavimento, com quatro lojas com jirau; segundo, terceiro e quarto pavimentos com quatro salas; e quinto e sexto pavimentos com seis salas. Foram previstos dois elevadores para servirem o edifício e, para cada unidade, um banheiro feminino, um masculino e uma copa, com exceção de quatro das seis unidades dos pavimentos cinco e seis, para as quais, foi previsto apenas um banheiro.

OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Os sistemas construtivos foram definidos pela construtora, sem a participação do escritório de arquitetura. Como sistema estrutural, utilizaram-se colunas e vigas metálicas (aço SAC-41), combinadas com lajes tipo *steel deck*. Para a estabilização horizontal, como sistema vertical, foram previstos contraventamentos junto às áreas de circulação vertical. Como fechamento vertical externo, foi especificada pele de vidro, com acabamento em granito. Para compartimentar as unidades e promover a vedação das áreas de serviço e circulação vertical, além das áreas técnicas, foram especificados blocos de concreto. As divisórias internas das unidades foram especificadas em placas de gesso acartonado. O sistema de ar-condicionado central é do tipo *chiller*, com *fan-*

coil. O piso elevado com acabamento em *carpet* e o forro rebaixado foram soluções propostas para proporcionar maior flexibilidade às unidades. A junção de salas ou lojas ou a escolha dos acabamentos (piso elevado com instalações elétricas, *carpet*, sistema de ar-condicionado, forro, luminárias) é permitida ao cliente até a finalização do prazo do programa *personal line*.

O PROCESSO DE PROJETO

Quanto ao processo de desenvolvimento dos projetos do edifício em estudo, pode-se dizer, vulgarmente, que a arquitetura é a especialidade que “puxa o carro”, seja gerencialmente ou tecnicamente. Gerencialmente, como ela acumula as funções de compatibilizador e coordenador, de modo que todas as especialidades dependem das suas definições e aprovações; tecnicamente, porque, para a construtora, o objetivo final é atender, oferecer um produto que satisfaça o cliente, e isso é responsabilidade da arquitetura. Na hierarquia de compatibilização, segundo o coordenador, primeiro, as informações da estrutura são inseridas na arquitetura e, depois, as soluções das demais especialidades.

A EQUIPE DE PROJETISTAS

Para o desenvolvimento dos projetos, a construtora contratou escritórios de projeto, dentre os parceiros da empresa, e consultores, para dar suporte ao novo sistema. Assim, a equipe foi formada conforme a relação a seguir. Escritórios de projeto foram contratados para executar os projetos das especialidades: (a) arquitetura; (b) estrutura de concreto armado; (c) instalações; (d) ar-condicionado; (e) paisagismo; (f) luminotécnica; (g) decoração; (h) programação visual, (i) impermeabilização; (j) fundações; (l) pavimentação; e (m) proteção ativa – aprovação. Além dos escritórios de projetos, foram contratados consultores para as especialidades de: (a) instalações; (b) fundações; (c) vedação; e (d) proteção passiva da estrutura metálica. A estrutura metálica foi a única especialidade de projeto contratada diretamente com o fornecedor (fabricante). Ao final do processo de projeto, a equipe contará com 18 participantes, além dos representantes da construtora que gerenciam, analisam e aprovam os projetos.

O escritório de arquitetura A-3, além elaborar o projeto de arquitetura e compatibilizar todos os projetos, foi contratado para a execução do projeto de *dry wall*. O projetista de concreto armado também acumulou a função de auditor da estrutura metálica, verificando todos os cálculos e projetos. Já a especialidade de instalações inclui os projetos de instalações elétricas, hidro-sanitárias, de incêndio, gás, descargas atmosféricas e telefonia. Além disso, o responsável pela especialidade de ar-condicionado acumulou a função de elaborar o projeto para aprovação em órgão competente.

AS FASES DO PROCESSO DE PROJETO

A figura 4.69 demonstra as fases de definição e de desenvolvimento do projeto do edifício em estudo. Na figura, estão destacadas as fases de responsabilidade do setor de incorporação e do setor de construção da empresa C-4. A seguir, descrevem-se algumas das características das mesmas.

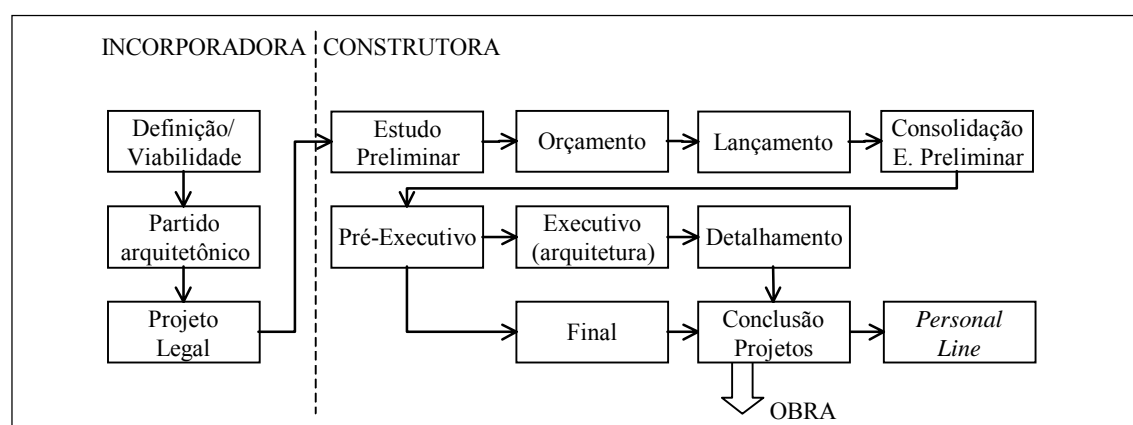


FIGURA 4.69 – Diagrama do processo de projeto do estudo de caso E-5.

A **definição** do tipo e das características do empreendimento foi realizada pelo setor de incorporação da empresa, com assessoria de uma imobiliária externa. No **estudo da viabilidade**, com a participação do escritório de arquitetura (representado pelo arquiteto titular), foram tratadas questões como análise de terreno, condicionantes legais, potencial construtivo, programa de necessidades.

A **fase de definição do partido arquitetônico** ficou sob responsabilidade do escritório de arquitetura: o arquiteto titular desenvolveu o partido arquitetônico a ser adotado para o empreendimento, sem preocupação com o sistema estrutural, definindo a configuração dos pavimentos (ambientes, áreas, pé-direito) e as fachadas. Plantas, cortes esquemáticos e perspectivas foram os desenhos elaborados para a aprovação pela incorporadora.

Aprovada a proposta arquitetônica, foi elaborado o **projeto legal** para aprovação junto à Prefeitura Municipal, sob responsabilidade do arquiteto coordenador do escritório de arquitetura.

Confirmada a viabilidade legal, o desenvolvimento do empreendimento foi transferido para o setor de construção da empresa. A partir dessa fase, o departamento de arquitetura da construtora passou a atuar como gerenciador do processo de projeto, e o escritório de arquitetura A-3 assumiu as funções de compatibilizar os projetos e de coordenar o processo, além de desenvolver o projeto arquitetônico.

Na **fase de estudo preliminar**, os projetos foram desenvolvidos com base no partido arquitetônico e no projeto legal. Nesta fase, em geral, além da especialidade de arquitetura, iniciam-se os estudos para os projetos das especialidades de instalações (elétrica, hidro-sanitária, ESG e gás), ar-condicionado e exaustão mecânica, fundações e estruturas. Devido ao tempo programado para a fase ser reduzido, geralmente de um mês, na compatibilização inicial são focalizados os pavimentos a serem vendidos e as fachadas, mas são definidas, praticamente, todas as especificações necessárias, para que o material de venda seja o mais fiel possível ao que o cliente vai adquirir e permitir o orçamento mais aproximado do real.

O projeto legal foi enviado para todos os projetistas (primeiro contato) e, em seguida, realizou-se uma primeira reunião para apresentação dos objetivos e necessidades da construtora (cliente). A partir daí, todos começaram a desenvolver os estudos – foi definido o posicionamento de prumadas e *shafts*; foi realizado o primeiro lançamento estrutural com dimensões aproximadas dos elementos, e assim por diante. Conforme as

informações foram sendo definidas e as soluções sendo propostas, o coordenador as recebia, as compatibilizava (sem detalhes), comentando as plantas e anotando as interferências, as quais eram discutidas em reuniões semanais, após cada especialidade receber o jogo completo de projetos comentado. Segundo o coordenador, o primeiro projeto a ser compatibilizado foi o da estrutura metálica. Nessa fase, a estrutura metálica desenvolveu um projeto referencial, o qual foi utilizado para definição (estimada) do peso da estrutura, valor base para o contrato. Posteriormente à estrutura metálica, foram compatibilizadas as especialidades de instalações e de ar-condicionado.

Nesta fase, houve a participação tanto do projetista de concreto armado quanto do fornecedor de estrutura metálica, para que o projeto pudesse ser direcionado para a estrutura metálica, do ponto de vista econômico (distribuição de vigas e colunas favorável ao cálculo a ser realizado posteriormente), assim como, do ponto de vista arquitetônico, de forma a evidenciar a nova tecnologia.

Na **fase de orçamento**, com base no estudo preliminar compatibilizado (sem entrar em detalhes), em geral, a construtora realiza o orçamento da obra. Nesta fase, é realizada a maior parte das negociações necessárias para a execução da obra.

Para análise comparativa, foi realizado o estudo do projeto (direcionado para estrutura metálica), considerando o sistema estrutural em concreto, e constatou-se uma redução significativa na diferença de custo entre os dois sistemas. Mesmo a estrutura metálica continuar tendo um custo relativamente superior, a obra foi viabilizada economicamente, em parte pela redução do carregamento das fundações, mas principalmente, pela redução de dois meses no prazo de execução da obra, ou seja, redução dos custos fixos da construtora. Porém, como os orçamentos da empresa conseguem ser bem próximos da realidade, o não cumprimento do contrato pela fábrica da estrutura metálica na montagem da estrutura (como ocorrido na execução do clube) poderia acarretar um prejuízo que inviabilizaria o empreendimento, mesmo com o pagamento da multa contratual.

Para **lançamento do empreendimento**, costuma-se elaborar o material de venda:

perspectivas, maquetes, plantas humanizadas. Nesta fase, diferentes opções de acabamento e até diferentes configurações para as unidades (em função da união das mesmas) foram disponibilizadas para o cliente.

Apenas após a viabilização comercial do produto, é dada a continuidade ao processo de construção do empreendimento. Cronogramas atualizados e mais detalhados são preparados, tanto para a execução da obra quanto para o desenvolvimento dos projetos. O cronograma dos projetos do edifício em questão foi definido em função do cronograma da obra, o qual tem como pré-requisito as datas estratégicas definidas no lançamento.

Para retomar o processo de projeto, é realizada a **consolidação do estudo preliminar**. Nessa fase, são incorporadas aos projetos as possíveis modificações que possam ter ocorrido durante o orçamento e elaboração do material de venda.

Já o **projeto pré-executivo** pode ser visto como uma continuação da consolidação do estudo preliminar, de modo que todas as especialidades tenham base para definir um projeto final de execução. Segundo o coordenador, todos os participantes desenvolvem o projeto pré-executivo: por exemplo, o instalador loca prumadas, mas não entra em maiores detalhes. Nesta fase, o projeto ainda permite mudanças. São realizadas reuniões semanais para a negociação das interferências verificadas pelo escritório de arquitetura durante a compatibilização. Após a análise, e aprovação, pela equipe de gerenciamento de projeto da construtora e pelo coordenador, o escritório de arquitetura, compatibilizador, gera uma matriz de arquitetura na qual, por exemplo, estão os *shafts* de instalação e de ar-condicionado distribuídos de maneira a alimentar cada copa, banheiro, unidade, e com as dimensões necessárias.

Junto com as demais especialidades, os projetistas de impermeabilização e de paisagismo (novos no processo) iniciam o projeto pré-executivo. Conforme o planejamento da construtora, o projeto pré-executivo do *dry wall*, é desenvolvido em paralelo ao projeto final das demais especialidades, e o projeto de decoração é desenvolvido paralelamente à fase de conclusão do projeto executivo de arquitetura.

Tanto a especialidade de estrutura metálica quanto de concreto e fundações, no cronograma de projetos, não recebem a mesma denominação comum a todas as outras especialidades. Mas para o período que se estendeu da fase de consolidação do estudo preliminar até a revisão pelo coordenador e análise pela construtora, para a estrutura metálica foram previstas as seguintes atividades, em ordem cronológica: cálculo estrutural, mapa de cargas, planta de locação, fornecimento de chumbadores e projetos, análise final. Já, para a estrutura de concreto, no mesmo período, foram realizadas as seguintes atividades: elaboração dos projetos das pré-formas, revisão e análise.

Sob as denominações de **fase de projeto executivo e de detalhamento**, apenas a especialidade de arquitetura elabora projetos. São gerados desenhos de plantas, cortes e fachadas, com todas as informações necessárias para a execução. Paralelamente, o projeto é detalhado. É a fase que prevê o maior período de tempo para a sua realização.

Como muitas das interferências são identificadas durante o detalhamento, nessa fase, ainda são realizadas compatibilizações e revisões. Antes da elaboração do projeto executivo final, é prevista uma análise final da construtora.

Os consultores de proteção passiva da estrutura metálica e de vedação (este último responsável por apresentar soluções para a interface estrutura-alvenaria) entraram no processo, praticamente, só no início dessa fase. Quando o processo de projeto do edifício E-5 foi paralisado, a especialidade de arquitetura estava iniciando o projeto executivo. Os projetos ainda apresentavam muitas dificuldades, atritos e problemas de compatibilização, principalmente com a estrutura metálica.

Ainda segundo o modelo empregado pela construtora para o desenvolvimento dos projetos, paralelamente ao projeto executivo de arquitetura, as especialidades de instalações, ar-condicionado e exaustão mecânica, impermeabilização, paisagismo e arquitetura (*dry wall*) desenvolvem o **projeto final**. Antes da conclusão do projeto, o mesmo é analisado pelo coordenador e pela construtora.

Como algumas interferências foram identificadas pela equipe de compatibilização, nesta

fase, ainda eram realizadas revisões de projeto.

Para a estrutura de concreto, nesse período seriam realizadas as seguintes atividades: locação e confirmação da carga de fundação, projeto de fundação, projeto de formas e armação da fundação, projeto definitivo das formas com furações, análise da construtora e do coordenador, conclusão do projeto de formas e armação e verificação estrutural. Para a estrutura metálica, as seguintes atividades: a análise por parte da construtora, do coordenador e do auditor (em paralelo, foi programada a continuação do cálculo estrutural) e o detalhamento da estrutura.

Após o término do projeto executivo de arquitetura e dos projetos finais, foi planejado um período para a adequação dos projetos de instalações, ar-condicionado, *dry wall* e de arquitetura às solicitações dos clientes, chamado de **programa *Personal Line***.

OS RESULTADOS

Como o edifício E-5 ainda não entrou em fase de execução, nem avançou no detalhamento dos projetos, o número de interferências e de problemas observados foi menor, se comparado com os demais casos.

Em um primeiro momento, foi percebida, principalmente, uma dificuldade de comunicação entre a estrutura metálica e a arquitetura que resultou em uma visão de que a estrutura metálica é uma estrutura rígida.

Na compatibilização dos projetos do edifício E-5, as especialidades que mais apresentaram interferências em relação à especialidade de estrutura metálica foram arquitetura, instalações hidro-sanitárias e ar-condicionado.

Com relação aos sistemas de instalações e de ar-condicionado, a furação das vigas, a qual deve respeitar posições ou dimensões pré-estabelecidas, representou o principal problema, seja pela falta de padronização imposta pelo caimento necessário ao sistema de esgoto, seja pelas dimensões exigidas para os furos. Já as interferências arquitetura-estrutura metálica estão relacionadas, principalmente, com a disposição e as dimensões

dos elementos (vigas, colunas e contraventamento), que interferem nas aberturas, nas áreas úteis e no pé-direito. Como exemplos reais, pode-se citar:

[1] Nas lojas do térreo, o sistema de ar-condicionado deveria atender tanto a parte superior quanto a parte inferior do mezanino, assim, a inviabilização de furos para passagem dos dutos de ar-condicionado através de determinadas vigas gerou incompatibilizações de “segunda ordem” com a arquitetura, uma vez que o forro terá que ser rebaixado para a passagem dos dutos sob a viga, o que reduzirá ainda mais o limitado pé-direito desta região, resultando em uma solução subótima;

[2] As maiores interferências entre as tubulações de esgoto e a estrutura metálica estavam localizadas no subsolo, pelo grande volume acumulado. No caso estudado, como o lençol freático era muito superficial, as tubulações foram locadas no mesmo nível das vigas, cruzando-as. Segundo a construtora, como a furação das vigas havia sido permitida somente na terça parte central da altura da alma, se os furos não coincidissem nessa região em função do caimento da tubulação, seria necessário o reforço ou aumento da altura da viga;

[3] Como solução padrão para a construtora, a arquitetura costuma projetar o nível da laje do térreo, na projeção da torre do edifício, acima do nível da laje de forro do subsolo, para gerar desnível entre a área interna e área externa. Neste caso específico, o projeto previu essa solução para aumentar o pé-direito do subsolo e, assim, da área livre do entreforro na área da projeção da torre, uma vez que os níveis de piso e teto do subsolo eram baixos em função dos níveis já executados para o clube. Mas, a transferência dos esforços de empuxo da cortina do subsolo para a laje do térreo e, conseqüentemente, para a estrutura metálica, exigiu que esta laje fosse plana e contínua, inviabilizando a solução inicial. Para resolver o problema do desnível entre o térreo e a área externa, a solução prevista era fazer um enchimento para subir o nível. Já no subsolo, como seriam poucas as possibilidades de intervenção, o pé-direito fatalmente ficaria prejudicado e teria que ser executado um número de furos maior do que o imaginado para a passagem das tubulações. E mesmo que as vigas ainda não estivessem executadas e pudessem ainda ser furadas em fábrica, o aumento do número de furos

poderia vir significar o incremento da necessidade de reforços ou, até mesmo, da altura das vigas, com um custo correspondente que oneraria o empreendimento;

[4] Na fase de estudo preliminar, a equipe de estrutura metálica apresentou um lançamento estrutural (sem entrar propriamente no processo de cálculo), representado em desenhos referenciais, que serviram de base para a definição da arquitetura e compatibilização inicial. Assim, inclinado a evidenciar a estrutura metálica no edifício, o arquiteto definiu (sob concordância da estrutura metálica), no estudo preliminar, contraventamentos aparentes na fachada e posicionou os elementos estruturais em planta, para que a estrutura metálica fosse favorecida pela solução arquitetônica. Porém, na fase de projeto pré-executivo, o projeto estrutural metálico foi então estudado com maior critério e apresentou muitas modificações em relação ao lançamento proposto anteriormente: em função de soluções que não se viabilizaram, colunas foram acrescentadas, alturas de vigas aumentadas e os contraventamentos das fachadas foram descartados, enquanto novos foram propostos. A partir daí, iniciaram-se as revisões e as alterações de orçamento. Como a fachada já estava definida no material de venda, os contraventamentos aparentes permaneceram, porém, sem função estrutural, enquanto novos eram definidos no núcleo, junto à circulação vertical. Desta forma, as barras de contraventamento tipo “delta”, localizadas no núcleo do edifício, interferiram muito com a arquitetura, na definição de aberturas para circulação e no acerto da área útil já aprovada dos pavimentos. No telhado, os contraventamentos interferiram, principalmente, com o sistema de ar-condicionado. As mudanças executadas no posicionamento e nas dimensões das colunas também interferiram bastante na compatibilização das áreas, exigindo muitas modificações para que a área fosse mantida. Na época da pesquisa, quando o projeto estava na fase de pré-executivo indo para executivo, a construtora ainda não havia conseguido fechar o orçamento da estrutura metálica, sendo este um aspecto negativo.

Para a equipe de arquitetura, a ausência de uma denominação para as colunas, nos mapas de vigas, tornou o processo de compatibilização ainda mais complexo. Além disso, a rapidez no desenvolvimento dos projetos da estrutura metálica, se comparado com o período de desenvolvimento do projeto arquitetônico, por exemplo, foi outra

questão problemática para a compatibilização: segundo a coordenadora, “é natural que, com o detalhamento dos projetos, novas interferências sejam identificadas e devam ser compatibilizadas; porém, para a estrutura metálica, após a emissão do projeto de engenharia, o mesmo deve ser considerado ‘congelado’ para revisões”.

Para o gerente de projeto da construtora, a estrutura metálica dificilmente será a solução padrão da construtora devido às características estéticas que a incorporação definiu para o produto da empresa: varandas curvas, por exemplo. Além disso, acredita que os fornecedores devam criar mais flexibilidade para o cliente, em termos de projeto: “a gente não sabe até que ponto existe uma dificuldade técnica ou é, simplesmente, uma questão comercial”.

4.6 QUADROS SÍNTESE

Neste item, apresentam-se quadros síntese dos estudos de casos estudados, com relação às características gerais dos empreendimentos e dos processos de projeto desenvolvidos.

QUADRO 4.2 – Síntese das características dos estudos de casos.

ATRIBUTO		DESCRIÇÃO				
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
Empreendimento	Cidade	Guarulhos	São Paulo	São Paulo	São Paulo	Rio de Janeiro
	Uso	Hotel	Centro empresarial	Hotel	Centro empresarial	Centro empresarial
	Incorporador	Construtora	Investidor ou grupo	Construtora	Cliente final	Construtora
	Gerenciador global	Construtora	Empresa especializada	Construtora	Proprietário	Construtora
	Cliente final	Proprietário	Mercado	Mercado	Proprietário	Mercado
	Arquitetura	A-1	A-2	A-1	A-2	A-3
	Construtora	C-1	C-2 (definida na fase de viabilização técnica e econômica)	C-1	C-3 (definida na fase de viabilização técnica e econômica)	C-4

QUADRO 4.3 – Síntese sobre os sistemas construtivos industrializados.

ATRIBUTO		DESCRIÇÃO				
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
Sistemas construtivos industrializados	Definidor	Construtora	Idem E1	Idem E1	Idem E1	Idem E1
	Estrutura metálica	Definida na fase de viabilização; Fornecedor A; Estabilização: 3 núcleos rígidos em concreto e 3 sistemas de contraventamento	Idem E1; Fornecedor A; Colunas mistas na projeção da torre; estabilização: núcleo central contraventado	Idem E1; Fornecedor A; Algumas colunas mistas nos subsolos; estabilização: contraventamentos	Idem E1; Fornecedor A; Colunas mistas nos subsolos, térreo, 1º andar e parte do 2º; estabilização: núcleo rígido em concreto	Idem E1; Fornecedor A; Estabilização: núcleo central contraventado
	Painel arquitetônico	Definido na fase de viabilização; Fornecedor A; Concreto	Idem E1; Fornecedor B; Concreto	Idem E1; Fornecedor C; GRFC	Definido na fase de projetos para execução Fornecedor D; Concreto	Uso de pele de vidro, definida na fase de concepção do produto
	Módulo de banheiro	Definido na fase de definição do produto; Fornecedor E; Argamassa armada+concreto	-	Definido na fase de projetos para execução; Fornecedor C; GRFC	-	-
	Gesso acartonado	Definido na fase de definição do produto	Definido na fase de viabilização	Idem E1	-	Idem E1

QUADRO 4.4 – Síntese das fases desenvolvidas para as etapas de incorporação e de desenvolvimento dos projetos para execução, do processo de construção dos casos estudados.

CASO		FASES DAS ETAPAS	
		INCORPORAÇÃO	PROJETOS PARA EXECUÇÃO
Incorporado pela construtora	E-1	Estudo preliminar de arquitetura, concorrência, orçamento/contratação;	Anteprojetos, pré-executivos, projetos executivos;
	E-3	Planejamento, definição do produto/partido arquitetônico, projeto legal, lançamento, orçamento/contratação;	Estudos preliminares, projetos básicos, projetos executivos;
	E-5	Definição/viabilidade, partido arquitetônico, projeto legal, estudos preliminares, orçamento, lançamento, contratação;	Consolidação dos estudos preliminares, pré-executivos, projeto executivo (arquitetura)/projetos finais, detalhamento/conclusão, <i>personal line</i> ;
Particular	E-2	Estudo preliminar de arquitetura, projeto legal, orçamento/ contratação;	Anteprojetos, projetos executivos, detalhamento;
	E-4	Estudo preliminar de arquitetura, projeto legal, orçamento/ contratação;	Anteprojetos, projetos executivos, projeto <i>as built</i> ;

QUADRO 4.5 – Síntese das características do processo de projeto, referente à etapa de desenvolvimento dos projetos para execução, etapa em que foram formadas as equipes multidisciplinares e realizada a compatibilização das diferentes especialidades de projeto¹⁶.

ATRIBUTO		DESCRIÇÃO				
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
Estrutura organizacional do processo de construção		Execução simultânea dos projetos e da obra (<i>fast track construction</i>)	Idem E1	Execução consecutiva dos projetos e da obra (<i>design-build</i>)	Idem E1	Idem E2
Projetos para execução	Gerente	Construtora	Idem E1	Idem E1	Proprietário	Idem E1
	Coordenador	Arquitetura	Idem E1	Idem E1	Construtora	Idem E1
	Compatibilizador	Arquitetura; Projetista de vedações	Arquitetura; Construtora (análise construtibilidade)	Projetista de vedações (análise dimensional)	Idem E2	Idem E2
	Modelo de desenvolvimento dos projetos	Projetos simultâneos, de acordo com a ordem de execução da obra e com a ordem interna do processo de projeto	Projetos simultâneos, de acordo com a ordem de execução da obra	Projetos simultâneos, de acordo com fases preestabelecidas em termos do nível de detalhamento e com marcos de início e fim	Idem E1	Idem E3

¹⁶ Com exceção do caso E-5, em que na fase de definição do produto, houve a participação formal de consultores e foi realizada a compatibilização inicial dos projetos, para lançamento do produto.

CAPITULO 5

O SISTEMA CONSTRUTIVO DE AÇO: PROJETO

5.1 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO

O ciclo de vida do processo de construção compõe-se de: definição do edifício, estudo da sua viabilidade comercial e legal, estudo da viabilidade tecnológica, definição dos fornecedores dos sistemas construtivos industrializados; desenvolvimento dos projetos; aquisição dos suprimentos para a fabricação, fabricação e transporte dos componentes; aquisição de materiais de construção e equipamentos para a execução da obra; montagem dos sistemas construtivos; execução das tarefas em canteiro; operação.

Quanto à utilização do aço como material estrutural, observa-se que são muitas as vantagens que a motivam, dentre as quais:

[1] a estrutura é obtida por processo de produção industrializado que permite um elevado controle tecnológico;

[2] as possibilidades de fabricação da estrutura durante a execução das fundações e de sua simples montagem em canteiro agilizam o processo de execução do edifício, resultando em custos menores para o capital investido e no rendimento antecipado deste capital;

[3] a elevada resistência mecânica do material permite a obtenção de elementos muito esbeltos, que resultam em peças de seções menores e mais leves, em relação a outros sistemas que utilizam o concreto como material estrutural: seções de colunas menores ampliam a área útil dos ambientes; a relação entre a altura da viga e comprimento do

vão a ser vencido (estimado em 1/20 para vigas simples e de 1/25 para vigas mistas) possibilita a redução do pé-direito livre dos edifícios ou o melhor aproveitamento do mesmo; já o menor peso total da estrutura resulta em carregamentos menores para as fundações;

[4] sendo um sistema industrializado, permite a redução do ruído; sendo uma tecnologia limpa, permite a eliminação desperdício de material durante a execução; além disso, favorece o planejamento logístico da obra por dispensar o uso de áreas para estoque de material e por promover a limpeza do canteiro.

Neste contexto, devido às suas vantagens, a viabilização da estrutura metálica está comumente associada à necessidade de redução de prazo ou a restrições técnicas e/ou de logística de execução. Sendo assim, com frequência, a sua utilização está associada a processos construtivos que exigem grande eficiência das etapas de planejamento e projeto.

Em termos construtivos, utilizar o aço como material estrutural implica em adotar um sistema construtivo completo para que as suas vantagens sejam potencializadas. Os diversos subsistemas devem ser compatíveis quanto à logística, ao cronograma de execução e à interface de ligação.

Pelo volume de trabalho em canteiro que representam, a especificação de sistemas de fechamentos verticais pré-fabricados faz parte da estratégia para redução do prazo ou para resolver problemas de logística. A essa mesma estratégia também está associada à especificação de sistemas de fechamento horizontais (lajes), módulos prontos de banheiros e sistemas de fechamento internos, como o *dry wall*, entre outros.

Para a especificação de qualquer sistema construtivo, deve-se compreender que um requisito básico é a construtora ter domínio sobre a tecnologia a ser empregada. Sendo assim, a mesma deve ser selecionada em função da sua capacidade tecnológica, ou deve ser sua a responsabilidade por definir as tecnologias.

A seguir, descreve-se o processo de produção e de projeto da estrutura metálica e, posteriormente, faz-se uma introdução aos sistemas construtivos que apresentam maior potencial de industrialização.

5.1.1 O PROCESSO DE PRODUÇÃO E DE PROJETO DA ESTRUTURA METÁLICA

O processo de produção da estrutura de aço se caracteriza pelas etapas de projeto (engenharia), fabricação, transporte, montagem (incluindo concretagem da laje) e aplicação da proteção passiva ou pintura. Os projetos referentes a cada etapa - assim como a fabricação e a montagem - podem ser realizados por diferentes empresas.

Com base no trabalho de JÚNIOR (1999) e no conhecimento especialista adquirido durante o trabalho, traçou-se o processo de produção da estrutura metálica, considerando a hipótese de que o fabricante da estrutura é responsável por todas as etapas do processo de produção. A figura 5.1 ilustra o processo.

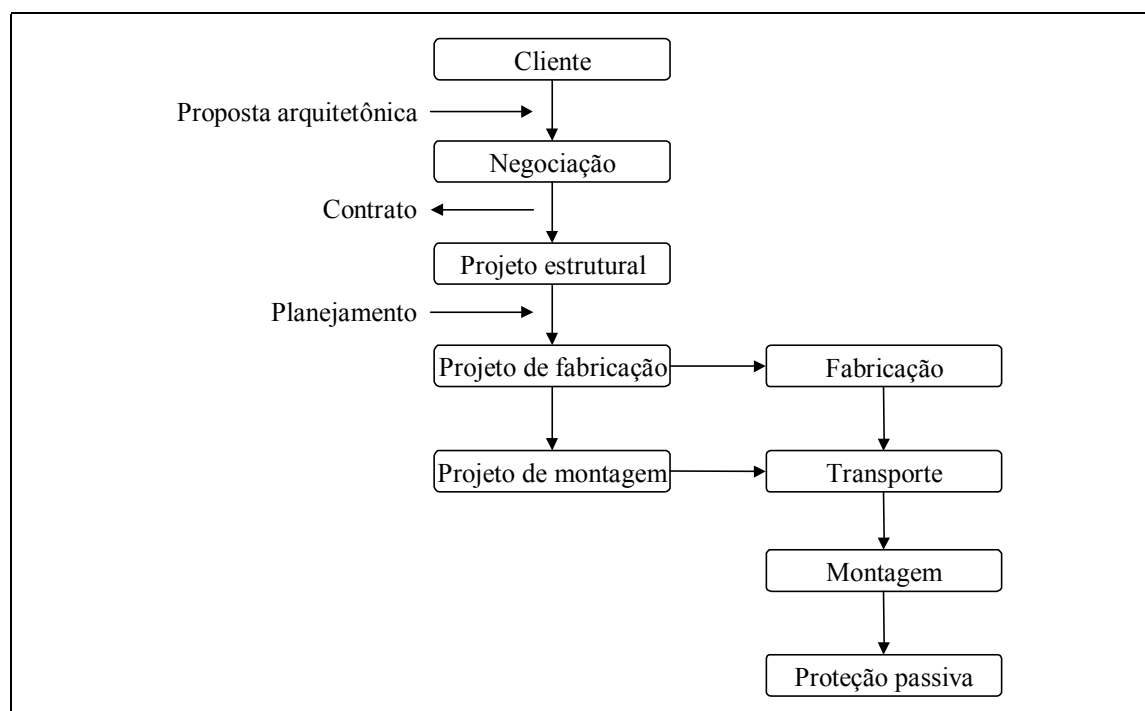


FIGURA 5.1 – Diagrama do processo de produção da estrutura metálica.

Na **fase de negociação**, o departamento comercial procura criar oportunidades de negócios. É responsável por estabelecer o contato com o cliente, prestar consultoria ao desenvolvimento do projeto arquitetônico para que a estrutura seja viável e promover a interação das exigências e necessidades do cliente com os departamentos internos da empresa (de orçamentação e de planejamento e controle da produção) para que o prazo e o custo viabilizem a contratação. Com base nas diretrizes do projeto arquitetônico e do departamento comercial, o departamento de orçamentação (engenharia de orçamentação) elabora uma proposta preliminar da estrutura, onde são lançados os pilares e vigas, para orçamento da solução estrutural. Quando viável, é elaborado um pré-dimensionamento, gerando com isto uma lista de material avançada. Para aprovação do lançamento estrutural pela arquitetura e pelo cliente, são gerados diagramas unifilares em planta.

O departamento de planejamento e controle da produção atua desde o início do estudo de viabilidade até o fechamento de contrato, para priorizar e garantir estratégias e fluxos de ações, como: sequência de montagem, limitações do canteiro, interface com obras civis, segmentação operacional do empreendimento e fluxo de caixa do cliente.

Elaborada a proposta, o departamento comercial a valoriza e a apresenta ao cliente. O contrato a ser assinado estabelece um valor de preço para a estrutura, com base em uma estimativa de peso, também especifica os serviços a serem contratados e os prazos a serem atendidos. Desenhos de referência esboçam a solução, através da representação de mapas de vigas e de colunas e da definição do posicionamento dos contraventamentos. Uma informação importante do contrato é o comprometimento em respeitar a solução arquitetônica.

A redação de um contrato adequado, que considere todas as questões possíveis pertinentes ao projeto, fabricação, montagem e acabamento é fundamental para a prevenção de sintomas patológicos, como o acréscimo de custo para o cliente.

A fase de execução dos **projetos de engenharia** se inicia após o fechamento do contrato: o departamento comercial ativa o projeto, emitindo uma ordem de execução

do mesmo com um orçamento autorizado. A partir desse momento, o projeto passa a ser desenvolvido pelo departamento de engenharia. Orientando-se pelo projeto arquitetônico, é determinado o esquema estático da estrutura metálica mais conveniente para o caso, com a indicação das dimensões, cargas atuantes e todos os dados necessários para o cálculo e dimensionamento estrutural. Para agilizar o projeto e execução das fundações, muitas vezes, são fornecidos croquis ao cliente interno tão logo os dados sejam obtidos.

Para o cálculo e o dimensionamento são utilizados métodos analíticos, auxiliados por programas de computador. Nesta fase, são determinados os esforços que atuam na estrutura, suas reações de apoio para o cálculo das fundações e os perfis mais econômicos para colunas e vigas. Ao longo de toda a fase, são gerados desenhos de projeto e memória de cálculo.

Nos desenhos de projeto, geralmente, são representados mapas de colunas e vigas, com todas as dimensões principais da estrutura (eixos), por diagramas unifilares. As vigas são identificadas, em planta, por nomenclatura específica, assim como, as ligações. Suas especificações são representadas em tabelas, localizadas na mesma prancha ou em cadernos de especificações. Para a identificação das colunas, deve-se fazer a leitura dos cruzamentos dos eixos das mesmas (coluna E-12, por exemplo). Nestes desenhos também são definidas as soldas, parafusos, detalhes da estrutura e demais elementos, são indicadas as normas utilizadas e todas as informações necessárias para a fabricação e montagem, tais como, contra-flechas de vigas e treliças. Além disso, junto com os desenhos, é gerada a lista preliminar do material, para que seja providenciada a compra da matéria prima para a fabricação da estrutura.

É função dos desenhos de projeto, além de servir de base para elaboração dos desenhos de fabricação e montagem, fornecer elementos para o desenvolvimento e a compatibilização de todos os projetos da edificação.

Na fase seguinte, são elaborados os **desenhos de fabricação da estrutura**, por quem elaborou os desenhos de projeto ou pelo fabricante da estrutura metálica (quando

distintos), com base na memória de cálculo, nos desenhos de projeto e na estratégia de logística adotada. São os desenhos de detalhamento que definem todas as peças que compõem a estrutura, todos os detalhes de encaixe e ligação, os quais determinam todas as operações de fabricação necessárias. As ligações estão intimamente relacionadas à capacidade de cada fábrica e, desta forma, são definidas conforme o mais conveniente para a fabricação e montagem, respeitando, porém, os esforços máximos indicados nos desenhos de projeto ou na memória de cálculo. As ligações podem ser determinadas pelo próprio calculista através de croquis ou desenhos de projeto com detalhe das ligações, desde que a forma mais conveniente seja previamente combinada com a fábrica. Durante esta fase, são geradas as listas de parafusos com suas especificações (diâmetro, comprimento, arruelas e porcas, peças que o utilizam) e a quantidade. Isto posto, os parafusos são classificados por tipo, diâmetro e comprimento para gerar a lista resumo de parafusos, necessária para aquisição.

Cada peça detalhada recebe uma denominação de fabricação, a qual será marcada na peça para orientar a montagem da estrutura. Já os desenhos de montagem devem ser elaborados por quem detalha a estrutura (desenhos de fabricação).

Nas etapas de **fabricação, transporte e montagem**, o departamento de planejamento e controle da produção é responsável por estipular as tarefas de produção (qual máquina, de qual obra, qual a duração), otimizando o uso dos recursos de fábrica (físico x financeiro), com base nos desenhos de detalhamento e na lista de material definitiva. A produção, de posse do planejamento, da programação e dos materiais necessários, executa as tarefas, gerenciando a logística do processo, de acordo com o cronograma da obra.

Para a fabricação das peças, basta o término do primeiro desenho de detalhe. Mas, os detalhes e a fabricação devem atender a necessidade da execução: os chumbadores e as demais peças de ligação da estrutura devem ser produzidos em primeiro lugar, a fim de possibilitar a conclusão das fundações. Posteriormente, deve-se produzir as colunas (tramos) e as vigas dos pórticos e dos contraventamentos, de acordo com o cronograma de montagem; em seguida, as vigas secundárias e de piso e, posteriormente, as tesouras,

travessas e terças (se existirem).

Na automatização do processo, o sistema CAE/CAD/CAM oferece uma metodologia de integração. Os softwares CAE (*Computer aided engineering*) possibilitam modelar a estrutura em 3D, personalizar arquivos, e analisar e especificar ligações soldadas ou parafusadas; analisar estruturas treliçadas, inserir carregamentos, fazer análises estáticas ou dinâmicas de acordo com normas e considerar a ação do vento. Permite, ainda, gerar resultados de resistência e instabilidade dos componentes através de gráficos, gerar diagramas de tensões, estimativa de peso (lista de material avançada) e pré-dimensionamento da estrutura. O CAE permite a transferência automática de dados em 3D para 2D e de 2D para programas CAD, para detalhamento. No CAD (*Computer aided design*), é possível escolher escalas para inserção de parâmetros; inserir símbolos; automaticamente, gerar catálogos do usuário com todas as particularidades construtivas e carregar desenhos pré-concebidos; importar cálculos do CAE; gerar detalhamento da estrutura e lista de material definitiva. Os *softwares* CAM (*Computer aided manufacture*) promovem a interface entre os *softwares* CAD e as máquinas CNC (*Computer Numeric Control*). Com programas CAM, pode-se gerenciar o estoque de materiais, otimizar o uso dos materiais durante as tarefas, criar listas de prioridades, otimizar os ciclos de produção, interagir sobre as necessidades de campo com a produção e estimar custos. As informações de fabricação, armazenadas na forma eletrônica, podem ser transferidas para o equipamento através da rede interna ou de disquetes.

Além disso, a prática corrente para o desenvolvimento dos projetos foi investigada, a partir do ambiente de um escritório especializado em projeto. A figura 5.2 ilustra as fases desse processo de projeto.

O critério usado para o cálculo do **orçamento do projeto** varia de empresa para empresa, podendo ser baseado no número de formatos (pranchas) de desenho, tempo de trabalho necessário para a execução da tarefa ou porcentagem do valor relativo ao peso estimado da estrutura (3-5%).

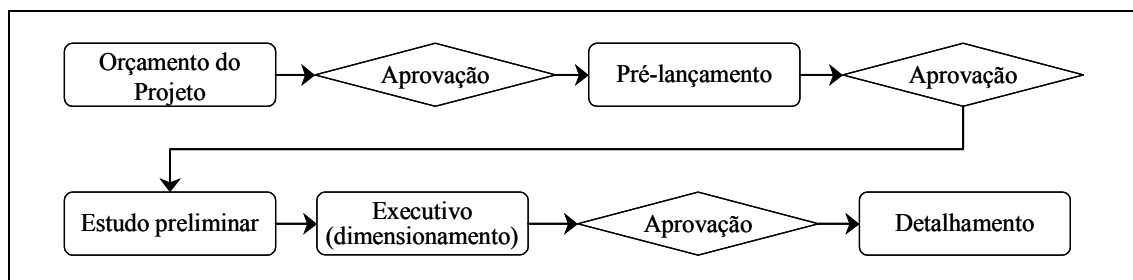


FIGURA 5.2 – Diagrama das fases do processo de projeto da estrutura metálica, por um escritório especializado em projeto.

Na fase de **pré-lançamento**, define-se o partido da solução estrutural, através da disposição de vigas, colunas e contraventamentos, sem executar o dimensionamento propriamente dito. Em geral, esta proposta é elaborada sobre o estudo preliminar ou o projeto básico de arquitetura. Esta atividade costuma ser baseada no conhecimento especialista do projetista: os vãos ideais, o posicionamento ideal para os contraventamentos e assim por diante. No caso do sistema vertical de estabilização horizontal, são necessários, no mínimo, três sistemas de contraventamentos; os contraventamentos devem facear a laje; o posicionamento de contraventamentos em fachadas externas de caixas de escada, elevadores, em geral, apresenta menor eficiência. A figura 5.3 esboça os exemplos apresentados.

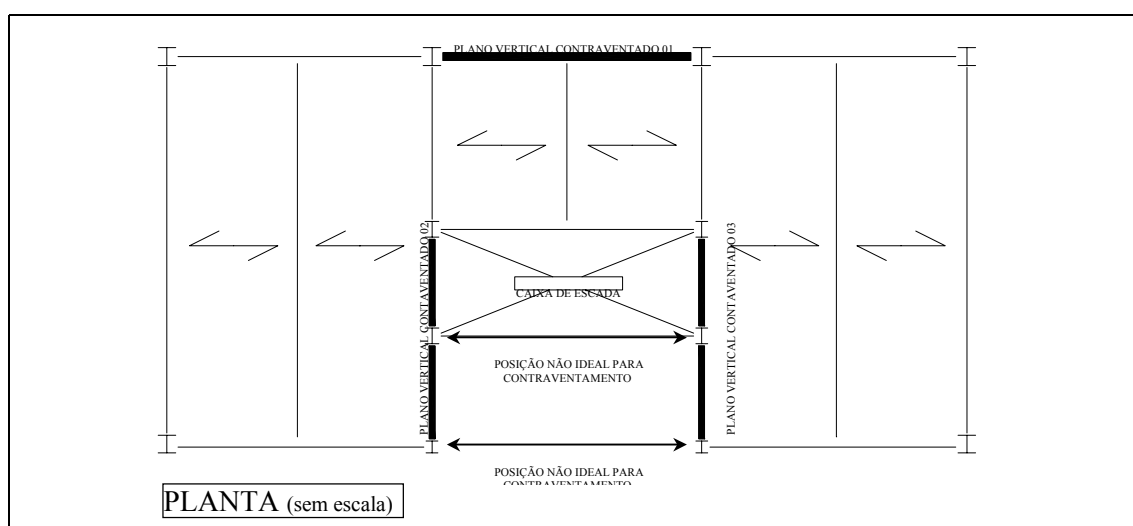


FIGURA 5.3 – Esboço, em planta, de um lançamento estrutural não real.

Após o arquiteto ou coordenador ter aprovado a proposta de pré-lançamento, inicia-se o

estudo preliminar estrutural, o qual costuma ser caracterizado pela definição do diagrama de locação das colunas, do quadro de cargas e das especificações das chapas de base. A função desse projeto, em geral, é atender as necessidades das atividades de projeto e execução da especialidade de fundações.

A atividade de dimensionamento da estrutura, na **fase de projeto executivo**, é continuação dos cálculos iniciados no estudo preliminar. Ao final do dimensionamento, as vigas, as colunas, os contraventamentos, as ligações, as placas de base, entre outros elementos, deverão estar dimensionados. Desenhos em detalhe costumam ser elaborados, quando necessários para a compreensão do projeto. Programas computacionais específicos de análise estrutural são, geralmente, utilizados para efeito de verificação da ação do vento na estrutura.

Aprovado o projeto executivo, inicia-se o **detalhamento** das peças para o início da fabricação.

Quanto à forma de apresentação dos projetos, nas pesquisas realizadas, constatou-se que:

- [1] é padrão a representação por diagramas unifilares (figura 5.3);
- [2] não é padrão a representação dos elementos respeitando uma escala proporcional;
- [3] não é padrão a representação dos elementos de um mesmo desenho com iguais razões proporcionais;
- [4] não é padrão a representação das mesas das vigas em planta;
- [5] é padrão não destacar em planta os vãos contraventados;
- [6] é padrão não especificar as dimensões (altura e largura das mesas do perfil) das vigas ou colunas junto aos elementos, tanto em planta quanto em elevação;
- [7] é padrão a elaboração de elevações dos eixos referenciais, para a representação dos contraventamentos;
- [8] é padrão indicar as especificações dos perfis de contraventamento junto aos elementos, nas elevações dos eixos, assim como, as mesmas se referirem à altura e ao peso por metro do perfil (PS 300 x 20 kg/m);

[9] é padrão as vigas serem nomenclaturadas no projeto executivo (de engenharia) de acordo com o perfil utilizado (VS51), e suas dimensões serem especificadas em tabelas correlacionadas;

[10] é padrão as colunas serem identificadas através da leitura dos eixos referenciais das plantas dos pavimentos;

[11] não é padrão, nos desenhos de elevação dos eixos, os elementos de viga e de coluna serem representados em verdadeira escala;

[12] não é padrão, nos desenhos de elevação dos eixos, a representação dos elementos de contraventamento em verdadeira escala, mas, comumente, de forma unifilar;

[13] a definição da nomenclatura de fabricação utilizada na identificação das vigas não é padrão, mas, em geral, é a mesma utilizada no projeto de montagem;

[14] não é padrão, para a representação das vigas na planta do pavimento, o desenho das vigas de projeção, ou seja, na planta do pavimento térreo, a representação das vigas que suportam o pavimento imediatamente superior, conforme o procedimento utilizado pelas outras especialidades de projeto;

[15] é padrão a entrega dos desenhos gerados a partir de programas computacionais em formato de plotagem, ou seja, extensão “plt”.

5.1.2 ALGUNS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

5.1.2.1 O SISTEMA DE FECHAMENTO HORIZONTAL

Como elementos de **fechamento horizontal**, as lajes podem ser do tipo convencional, em concreto moldado *in loco*, protendidas, alveolares ou em concreto moldado *in loco* com forma incorporada de aço, *steel deck*. A especificação da laje é realizada, comumente, pelo projetista estrutural ou pelo fabricante da estrutura metálica. Na especificação, deve-se considerar como critérios o custo, a logística e o prazo de construção.

Em relação ao tempo: moldar *in loco* ou usar componentes pré-fabricados. Para a moldagem *in loco*, em função das formas exigidas, qual tipo de escoramento seria indicado? Ele é viável logisticamente? E economicamente? E em função da

concretagem, os horários de trabalho definidos pela legislação, a localização e a área do terreno viabilizam esta atividade?

Para o uso de componentes pré-fabricados, o principal critério está em função do uso de equipamentos de transporte vertical. Qual a capacidade máxima e a altura máxima alcançada pelos equipamentos disponíveis? O custo desses equipamentos é viável? Em função do tipo do sistema pré-fabricado, o sistema pode ou não trabalhar como diafragma? Permite ou não o embutimento de tubulações para a passagem das instalações? Esta é uma exigência?

Essas são algumas, das muitas questões que poderão interferir na seleção do sistema mais adequado, mas, em se tratando do sistema estrutural em aço, o prazo é o fator principal, pois, se incompatível, poderá inviabilizar a estrutura metálica. Vários são os sistemas disponíveis no mercado, dos quais, três serão tratados de forma introdutória.

As lajes convencionais moldadas *in loco* raramente são utilizadas, devido à necessidade de escoramento, que diminuem consideravelmente a autonomia do processo.

A laje pré-moldada em concreto alveolar é uma solução para os escoramentos. É um sistema que trabalha bi-apoiado e vence um grande vão. O embutimento de instalações em seus alveolos é uma solução que exige muito critério e não é a ideal. É uma solução rara em edifícios altos devido ao elevado peso das peças dificultarem o transporte vertical.

Devido às características da principal solução estrutural adotada para construção de edifícios de múltiplos pavimentos estruturados em aço, a laje tipo *steel deck* tem sido o sistema mais empregado. Este sistema se caracteriza pelo uso de formas metálicas que são incorporadas à laje, trabalhando como armadura positiva. Com o uso de conectores de cisalhamento, permite estabelecer um sistema de viga mista. Este tipo de laje não vence um grande vão, sendo comum o uso de vigas secundárias, formando vãos próximos a 3 metros. O embutimento das instalações não é a solução ideal, e os furos na laje, para a passagem de *shafts* e tubos, devem ser executados com critério,

principalmente perto da região de apoio, de modo a garantir o comportamento misto. Deve-se lembrar que, por vezes, este sistema não possibilita a rigidez horizontal necessária para funcionar como diafragma. Além disso, em pesquisa junto ao canteiro de obras, pôde-se verificar que, na concretagem, a obtenção de uma laje tipo nível zero é um processo difícil e delicado, pois este sistema trabalha com espessuras pré-determinadas, não aceitando variações excessivas, podendo incorrer em deformações que podem comprometê-la.

5.1.2.2 O SISTEMA DE FECHAMENTO VERTICAL

Com relação ao **sistema de fechamento vertical**, os painéis de concreto, maciços ou preenchidos com poliestireno, são os mais comuns para a execução de fachadas, quando a estrutura não é aparente. Mais recentes, são os fechamentos em painéis de cimento reforçado com fibra de vidro (GRFC), mais leves que os primeiros.

Observa-se que o uso desse sistema tem crescido nos últimos anos na indústria da construção civil, sendo utilizado nos mais diversos tipos de construções, estruturadas em aço ou em concreto, convencionais ou pré-fabricadas. Constatou-se, nos estudos de casos, que o número de empresas que fornecem esse sistema ainda é pequeno, mas o mercado já apresenta concorrência.

Com relação à estrutura metálica, o principal problema na associação dos sistemas é a deficiência de soluções, principalmente, de fixação; ou seja, os detalhes de ligações não estão ainda totalmente resolvidos. Este problema tende a ser mais evidente em produtos desenvolvidos por fabricantes novos no mercado, como o sistema em GRFC, por exemplo. Em geral, o desenvolvimento do seu projeto ainda está sob a responsabilidade do fabricante.

Uma das vantagens do sistema de fechamento industrializado é a possibilidade de aquisição dos painéis já com revestimento ou esquadrias. Para uso desse sistema, a paginação arquitetônica deve considerar aspectos de fabricação, transporte e montagem.

Para a concepção, o painel deve ser considerado como um elemento estrutural: uma viga, quando disposto no plano vertical; e uma laje, quando no plano horizontal. Por exemplo, quando instalado, deve suportar o seu peso próprio e a carga de vento. Desta forma, suas características dependem de uma relação entre espessura, altura e vão livre entre apoios.

A forma de fixação dos painéis na estrutura também estabelece critérios de projeto. Para a definição dos tipos de fixação e das características estruturais dos painéis, devem ser consideradas as características do sistema estrutural adotado: o material é aço ou concreto, pré-moldado ou moldado *in loco*; a laje é convencional, pré-fabricada, cogumelo, protendida, armada ou nervurada; o painel deve ser apoiado no pilar, na laje ou na viga; o painel pode ou deve ser autoportante? A definição do apoio dos painéis deve considerar as deformações de cada elemento em cada sistema estrutural, de modo a definir a flexibilidade das ligações. O apoio diretamente no pilar é a solução que exige menor preocupação com a interface painel-estrutura-caixilhos; um apoio deve ser fixo, e o outro, móvel, mas com um grau de liberdade menor, gerado apenas com a deflexão do elastrômero, que deve absorver a deformação global do edifício. Já para apoio em vigas ou lajes, devido ao esforço de flexão existente nesses elementos, que pode resultar em deformações, os *inserts* devem apresentar mobilidade vertical para acompanhar a flecha da estrutura, além de mobilidade no curso da deformação global. Porém, principalmente quando os caixilhos não são embutidos nos painéis, esta solução deve ser evitada, porque, se existirem movimentações diferenciadas na interface painel-caixilho, essas podem causar problemas de vedação ou comprometer o componente. Além disso, para definição do ponto de apoio e do tipo de ligação, deve-se considerar: (a) para apoio na laje ou na viga, a existência ou não de piso elevado; a possibilidade do embutimento do *insert* na laje e a execução posterior de capeamento; (b) para apoio no pilar, a possibilidade de deixar ou não aparente o *insert*, pois, esta solução só é possível se a estrutura não for aparente (neste caso, a coluna deve ser revestida com placas de gesso acartonado ou com alvenaria, e a caixa de revestimento deve permitir o embutimento do *insert*). Como para o transporte vertical são previstos guinchos para içar, o painel também deve ser dimensionado como uma viga para suportar o seu peso próprio, em relação à posição dos guinchos.

Além disso, na montagem, uma necessidade do sistema é o uso de guias, e a capacidade da mesma dita requisitos para a modulação e dimensões das peças. Como diretriz para painéis de concreto, pode-se considerar: se uma dimensão alcançar 3 metros de comprimento, a outra não poderá ultrapassar 3 metros; se uma dimensão for menor que 3 metros, a outra poderá chegar a 12 metros, por exemplo. Neste caso, o peso da peça determinará o comprimento máximo da mesma, uma vez que, no Brasil, as guias utilizadas possuem capacidade em torno de 7.200 kg, quando a lança estiver em seu alcance máximo. Além disso, como a espessura do painel influencia significativamente no seu peso final, o preenchimento do painel com poliestireno ajuda reduzir o seu peso e proporciona melhor isolamento acústico. O revestimento utilizado também deve ser computado no peso final da peça.

No transporte, a preocupação incide nas limitações determinadas pelas vias rodoviárias, principalmente urbanas: altura máxima, peso máximo, largura máxima do carregamento.

Com relação à fabricação, o painel deve ser dimensionado como uma laje, quando disposto no plano horizontal, e como uma viga, quando colocado na vertical; ou seja, durante a moldagem e a desforma, respectivamente.

Para a execução do projeto dos painéis de fachada, é necessário que o projeto arquitetônico esteja em nível de pré-executivo (planta, corte, elevação), com a estrutura lançada, e com conceitos de paginação, de isolamento acústico, de revestimento e de fixações definidos. Devem ser conhecidas as deformações máximas a serem permitidas para a estrutura. Quando existir a necessidade de furos para passagem de tubulações, os mesmos deverão estar definidos. Quando as instalações forem embutidas, o projeto das mesmas deverá estar definido. Em geral, os desenhos elaborados são desenhos de paginação, de forma, das armações, dos *inserts*, desenhos especiais de transporte e de detalhes especiais de ligação.

Dentro do sistema de fechamento vertical, o uso de fachadas de **pele de vidro** foi anterior ao uso de painéis de concreto. Seus principais atributos sempre foram o seu

caráter arrojado e o seu caráter industrial, sendo simplesmente instalado na obra. Neste sistema, como qualquer outro de fechamento, os cuidados devem estar nas soluções de vedação entre elementos e de fixação na estrutura. Um critério importante na especificação desse sistema é o conforto térmico, assim, a especificação do vidro a ser utilizado é fundamental, e suas características influirão no dimensionamento do sistema de condicionamento artificial.

Como elemento de fechamento vertical interno (vedação), o sistema de parede tipo *dry wall* já se apresenta mais difundido na indústria da construção civil brasileira, principalmente em edifícios comerciais, hotéis e edifícios residenciais de médio padrão. O sistema apresenta soluções para uso em áreas secas e molhadas, porém em áreas abrigadas das ações atmosféricas. Atualmente, o projeto de vedações do sistema de *dry wall* tem sido desenvolvido por escritórios de projeto especializados ou pelos próprios escritórios de arquitetura, saindo da alçada do fabricante. Uma solução para uso em áreas expostas as ações atmosféricas são as placas cimentícias, que utilizam um sistema de fixação semelhante ao sistema tipo *dry wall*.

Quanto à **alvenaria**, esta não é uma solução que acompanha a velocidade de execução da estrutura metálica, mas é uma empregada, principalmente, como fechamento de áreas que requerem maior tempo de proteção contra incêndio, ou bom desempenho quanto à segurança (escadas, elevadores, *shafts*), ou em áreas de serviço. São utilizadas também para o fechamento de fachadas, quando se deseja deixar a estrutura aparente, principalmente. Para a execução de alvenarias, deve-se dar especial atenção à sua interface com a estrutura. Diversas são as soluções propostas para a ligação da alvenaria à estrutura e as mesmas devem ser sempre consideradas em projeto. O projeto de detalhamento das soluções de interface é essencial para a prevenção de patologias físicas. O grande problema da associação dos sistemas é a prática de contratação de um especialista: somente quando os problemas surgem. Os blocos ou os painéis de concreto celular autoclavado são os materiais mais indicados para a execução de alvenarias em edifícios de múltiplos pavimentos estruturados em aço por apresentarem baixo peso e boa trabalhabilidade, o que permite que sejam facilmente recortados e moldados na estrutura, sem perdas significativas de material.

Mas, como pode ser observado, na associação entre os sistemas de fechamento verticais e a estrutura metálica, a interface se apresenta como ponto crítico para qualquer sistema utilizado. A grande flexibilidade da estrutura metálica exige que os dois sistemas apresentem vínculos flexíveis, que os permitam trabalhar individualmente. KRÜGER; COELHO (2000) apresentam algumas das soluções utilizadas.

5.1.2.3 AS UNIDADES MODULARES DE CONSTRUÇÃO

No Brasil, o sistema de construção de unidades modulares é inovador e tem se restringido ao fornecimento de partes de um edifício. Conforme demonstram os estudos de casos, os módulos de banheiro constituem o carro chefe desse sistema, atualmente, e têm se viabilizado em hotéis e *flats*, devido à especificação estar associada à quantidade e à padronização. O concreto, a argamassa armada e o cimento reforçado com fibra de vidro (GRFC) são as principais matérias primas utilizadas. O uso de GRFC tem resultado em módulos mais leves e em superfícies com acabamentos satisfatórios. O nível de acabamento em fábrica pode chegar à instalação de equipamentos e ao suprimento de materiais necessários à operação.

O projeto desses módulos tem sido desenvolvido pelos próprios fabricantes, os quais ainda são em número reduzido. O peso do módulo, a solução definida para o sistema de instalações, o planejamento logístico, a solução estrutural, são critérios para a definição do seu projeto e determinação das suas dimensões. A sua solução deve considerar o peso e as dimensões viáveis para o transporte rodoviário e içamento, a altura dos carrinhos utilizados durante a instalação, o pé-direito livre para deslocamento do módulo no pavimento e a existência de *shafts*, suas localizações e dimensões.

5.2 O PROJETO DE EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO

Se a transformação do canteiro de obras em um canteiro de montagem tem contribuído para a redução significativa dos prazos para a conclusão do edifício e de grande parte dos problemas gerados pela mão-de-obra desqualificada e falta de controle do processo, também tem incrementado o grau de complexidade das atividades de projeto. Neste

processo construtivo, entender o processo de projeto como um processo de produção é fundamental. Sendo assim, se a produção exige o planejamento das atividades de execução, o projeto, que é a execução do edifício “no papel”, também exige o planejamento das suas atividades.

Desta forma, para o planejamento do processo de desenvolvimento dos projetos de uma obra industrializada, devem ser considerados, além da ordem interna desse processo, o tempo que o mesmo demanda, o tempo necessário para atendimento de exigências legais, o cronograma do processo de execução em canteiro e o tempo necessário para a aquisição de suprimentos de fabricação, para a fabricação e para o transporte dos componentes industrializados.

Já, para a elaboração do projeto, o critério de construtibilidade passa a abranger, além da facilidade de execução das tarefas no canteiro de obras, a facilidade de fabricação, de transporte e de montagem dos componentes industrializados.

A construção de um edifício com sistema estrutural de aço pressupõe uma abordagem sistêmica para os sistemas construtivos e a busca pela otimização da produtividade industrial, através da redução do número de tipos a serem produzidos. Como exemplo, têm-se as ligações entre as peças estruturais, que, quando padronizadas, apresentam melhor relação custo-benefício, devendo ser especificadas sempre que possível e indicadas mediante convenção [OWENS, 2000].

Além disso, a tendência de antecipação da obra ao término do projeto, o crescente uso de especificações de desempenho, e a realização do detalhamento de projeto por diferentes especialistas tornam imperativos a pré-determinação do grau de precisão construtiva a ser permitido para cada sistema e o estabelecimento de tolerâncias entre eles [RYDER-RICHARDSON, 1993], dentro de uma coordenação dimensional rigorosa e universal.

Dentro deste contexto, a coordenação modular¹⁷ se apresenta como um critério do projeto de edifícios industrializados. Porém, não deve ser confundida com a simples repetitividade de componentes ou de edifícios, nem com a monotonia plástica. Uma solução arquitetônica dentro de critérios de coordenação modular, mais do que nunca, está associada ao processo criativo, porém com critérios técnicos claramente definidos.

Para a concepção do partido arquitetônico, considerar as tecnologias a serem empregadas para a execução e as exigências para a manutenção das mesmas é requisito básico para a garantia da qualidade do projeto de um edifício estruturado em aço. Além disso, o sistema estrutural deve ser considerado como parte de um todo arquitetônico que se completa com uma grande quantidade de componentes – vedações, esquadrias, coberturas, divisórias, materiais de revestimentos e de acabamento, e que com os mesmos deve ter soluções específicas de compatibilização...”, ZANETTINI (2001).

Desta forma, segundo Siegbert Zanettini, arquiteto com vasta experiência em projetos de edificações estruturadas em aço, pensar a estrutura metálica tridimensionalmente é fundamental: os elementos estruturais, vigas, colunas, lajes, contraventamentos, não devem ser considerados individualmente, nem bidimensionalmente. Devido ao comportamento tridimensional da estrutura (em que cada elemento interfere no comportamento de todo o sistema estrutural), segundo o arquiteto, a linguagem do aço deve ser abordada como a “linguagem do vazio”, em que a permeabilidade da estrutura define os espaços, que traduzem a leveza do material.

Do ponto de vista da elaboração do projeto, para ZANETTINI (2001), o projeto de edifícios estruturados em aço se confunde com o projeto de desenho industrial, uma vez que o detalhe tem a mesma importância que a concepção global. Nesse processo, o arquiteto deve ter o controle tecnológico do projeto para garantir a visão tridimensional do mesmo [ZANETTINI, 2001].

¹⁷ “Um sistema de coordenação modular forma a base para a padronização, incluindo a introdução de um sistema padrão de tolerâncias, um sistema de dimensões principais”, HART *et al.* (1978). Seu objetivo é “organizar as dimensões das construções, de maneira a reduzir a variedade de tamanhos nos quais todos os componentes e equipamentos devam ser produzidos, e permitir seu uso no canteiro sem modificações, cortes ou retoques, tomando como referência a dimensão de base denominada módulo” [BRUNA, 1976]. O módulo pode ser organizado como módulo básico, múltiplos módulos e em submódulos, sendo o básico designado pelo metro, ou seja, 1000 milímetros [HART *et al.* , 1978].

Para LE GOOD (1993), resolver cada nova tarefa que surge durante o desenvolvimento do projeto será mais fácil para o projetista se uma clara estratégia global for adotada. O primeiro passo para isso, segundo o mesmo autor, é reconhecer que um problema existe e então definir claros objetivos globais para o projeto; o segundo passo é pesquisar sobre o problema e investigar informações relevantes; o terceiro, envolver possíveis soluções para o problema; o quarto, decidir ou refinar a melhor solução estabelecendo claras prioridades para ação, em termos de manufatura, construção, operação e manutenção; e, posteriormente, comunicar as decisões para os outros envolvidos no problema.

No processo de projeto desenvolvido pelo arquiteto Siegbert Zanettini, devido ao seu profundo conhecimento sobre o sistema estrutural em aço (sobre o comportamento da estrutura, as suas razões proporcionais, as características de um edifício que tornam o sistema vantajoso e a interface entre os diferentes sistemas), o estudo preliminar apresentado pelo arquiteto se equivale a um anteprojeto arquitetônico, com a solução apresentada para o edifício se estabelecendo sobre critérios que já consideram a viabilidade da solução estrutural e suas interfaces com os demais sistemas construtivos.

Como detém controle sobre a tecnologia, executa o lançamento estrutural e define diretrizes para os detalhes de ligação da estrutura. Desta forma, permanece em suas mãos o resultado global da obra, o que para ele é fundamental. O restante do processo, devido à visão sistêmica e planejada estar presente desde a definição da solução arquitetônica, tende a ser desenvolvido de forma tranquila, sem muitas incompatibilidades entre as interfaces dos sistemas construtivos. Esse método de trabalho demonstra a importância em se ter definidos critérios técnicos de projeto na fase de definição do produto e concepção da solução.

Além disso, devido ao seu vasto conhecimento sobre o material, em seus projetos, as vantagens apresentadas pelo aço são potencializadas, e as limitações, compreendidas, tornando raro o risco de frustração pela inviabilização técnica ou econômica da solução. Para ele, o emprego do aço está associado às exigências do espaço, ou seja, grandes vãos estruturais (edifícios de escritório, shoppings, coberturas), ou a características

específicas como restrições de prazo, de canteiro de obras ou técnicas (hotéis, escolas, ampliações ou reformas, ampliação do número de pavimentos dos edifícios, execução de escadas ou estruturas para elevadores externos ao edifício existente, entre outros).

A EQUIPE DE PROJETOS

Segundo SILVA (1998) *apud* JACQUES e FORMOSO (2000), à medida que se aumenta o grau de complexidade da edificação, aumenta-se também a exigência quanto ao grau de especialização dos projetistas e quanto à qualidade do projeto. A especialização dos projetistas corresponde à subdivisão em um número maior de especialidades de projeto e, conseqüentemente, na participação de um número maior de profissionais de diferentes formações, que atuam em diferentes setores da construção civil (setor industrial ou de prestação de serviços). Nesse processo, cada especialista deve ter capacidade de produzir o empreendimento como um todo [MELHADO, 1997].

Com base na classificação por grupos, proposta por ASSUNÇÃO e FUGAZZA (2001), a seguir serão apresentadas as principais especialidades verificadas no processo de projeto de edifícios de múltiplos pavimentos, destinados ao uso comercial (escritórios) ou à prestação de serviço de hotelaria. O empréstimo dessa classificação não tem por objetivo determinar níveis de importância às diferentes especialidades, mas de organizar as mesmas.

Segundo os autores, fazem parte do “grupo de definição do produto” as especialidades de projeto que definem a forma, as características da edificação; do “grupo de projetos complementares I”, as especialidades necessárias ao funcionamento adequado da edificação; do “grupo de projetos complementares II”, as especialidades complementares de instalações; e do “grupo de projetos especiais”, as especialidades de valorização do empreendimento. Neste sentido, têm-se, em geral:

[Grupo 1] Definição do produto: projeto de arquitetura;

[Grupo 2] Complementares I: **projeto de estrutura metálica, proteção passiva contra**

incêndio, estrutura metálica decorativa, estrutura de concreto, fundações e contenções, instalações hidro-sanitárias e elétricas, ar-condicionado, exaustão e pressurização, vedações, painéis de fachada, caixilhos, esquadrias, elevadores, unidades de construções modulares;

[Grupo 3] Complementar II: projeto de automação predial, telemática, áudio, vídeo e sonorização, acústica, luminotécnica, detecção e alarme contra incêndio, combate a incêndio, impermeabilização, drenagem, descargas atmosféricas, telemática, gás combustível, água pluvial;

[Grupo 4] Especiais: paisagismo, decoração, comunicação visual, cozinha industrial, heliponto, *cyber room*, *fitness*, etc.

Nesta relação, deve-se considerar inerente a cada especialidade a função de elaboração de projetos para aprovação, quando for exigência. Mas, em uma mesma especialidade, profissionais ou empresas distintas podem ser responsáveis pela elaboração de projetos de diferentes níveis de detalhamento, como por exemplo, para o projeto de ar-condicionado, em que o projetista elabora o anteprojeto, e a instaladora, os projetos executivos e de detalhamento. Além disso, pode ainda ser necessário a contratação de consultores, auditores, entre outros.

CAPITULO 6

ANÁLISE E CONCLUSÕES

Neste capítulo, apresenta-se a análise dos resultados da pesquisa, as conclusões e algumas sugestões para a melhoria do processo de projeto de edifícios de múltiplos pavimentos obtidos a partir de sistemas industrializados e estruturados em aço. Sugestões para futuros trabalhos também são apresentadas.

SOBRE O CONCEITO DE PATOLOGIA

Os estudos de casos demonstraram que o conceito corrente de patologia tem grande potencial de omissão das principais patologias das construções obtidas a partir de sistemas construtivos industrializados e estruturadas em aço, uma vez que as principais patologias não mais se referem ao edifício em si, mas ao empreendimento. Embora os problemas físico-construtivos e o desperdício de material tenham sido, praticamente, inexistentes, ainda foi grande o desperdício de capital e de tempo. Além disso, demonstraram, ainda, que as patologias de natureza de projeto (incluindo planejamento) são as principais, e a causa principal é a deficiência dos próprios processos utilizados.

SOBRE O PROCESSO DE PROJETO

Considerando inquestionável a capacidade técnica, gerencial e financeira dos profissionais e das empresas que desenvolveram os empreendimentos estudados, pode-se dizer que a pesquisa demonstrou que, embora sejam fundamentais, algumas das ações de melhoria propostas na literatura para o processo de projeto não são suficientes para atender as necessidades do processo de construção de edifícios obtidos a partir de sistemas industrializados e estruturados em aço, em face dos problemas levantados.

As ações consideradas insuficientes são: (a) formação de equipes multidisciplinares

(considerada chave para a melhoria do processo), coordenadas, somente para o desenvolvimento dos projetos para execução, (b) supervisão do processo de projeto pela construtora, (c) compatibilização das soluções propostas somente durante a fase de desenvolvimento dos projetos para a execução (conforme é a prática), (d) participação dos responsáveis pelo processo de execução na equipe multidisciplinar, (e) elaboração de projetos para produção, (f) certificação dos procedimentos de trabalho dos escritórios de projeto, das construtoras ou dos fabricantes, ou a padronização dos procedimentos internos de trabalho. Outras, como a retroalimentação sistematizada do processo e a simulação gráfica tridimensional não foram verificadas como usuais. Já se verificou que as ferramentas computacionais empregadas são, muitas vezes, subutilizadas.

No processo de execução, a estrutura metálica é o primeiro sistema construtivo a ser montado, depois da execução das fundações, e o seu processo de produção determina que todas as atividades sejam executadas em fábrica. O processo de projeto da estrutura metálica se desenvolve a partir do dimensionamento da estrutura. Para tanto, todas as informações que interferem na solução estrutural devem estar definidas, assim como: as exigências da logística de execução da obra, dos sistemas de serviços e instalações, de utilização ao longo da vida útil do edifício, as exigências da solução arquitetônica, além das sobrecargas dos sistemas construtivos, a forma de distribuição das mesmas, entre outras.

Essas informações de entrada para o projeto da estrutura metálica caracterizam a exigência do amadurecimento prematuro de outras especialidades de projeto, as quais dependem de outros fatores. A solução dessas especialidades para posterior solução da estrutura não resolve o problema, pois as decisões apresentam elevados graus de interdependência. Desta forma, (a) o planejamento do processo de execução depois de desenvolvido o projeto; (b) o desenvolvimento dos projetos das diferentes especialidades simultaneamente e ao longo de fases, definidas em função do nível de detalhamento dos desenhos e com marcos de início e fim; (c) o desenvolvimento dos projetos para execução de acordo com o cronograma de execução da obra; (d) a atribuição da responsabilidade de verificação da viabilidade das soluções somente às equipes de compatibilização e de coordenação, sem realização do autocontrole,

ocorrendo a verificação da viabilidade somente depois de executados os projetos, através da “compatibilização”; (e) e a não consideração do processo de projeto como um processo de produção, sem o planejamento das atividades, são causas da grande iteratividade existente no processo de projeto de edifícios estruturados em aço e, conseqüentemente, de reestudo de projetos, retrabalho, desperdício de material, de capital, de tempo e de soluções subótimas.

Neste contexto, considerando que a compatibilização dos projetos das diferentes especialidades é o ponto crítico do processo, propõe-se que:

[1] os sistemas construtivos industrializados sejam definidos anteriormente ao início do desenvolvimento dos projetos para a execução;

[2] o planejamento do processo de execução seja iniciado tão logo sejam definidos os sistemas construtivos e as tecnologias, e anteriormente ao início do desenvolvimento dos projetos para execução;

[3] as atividades de desenvolvimento dos projetos para a execução sejam planejadas conforme um processo de produção, de acordo com os pré-requisitos definidos pelas interfaces entre as especialidades de projeto, de acordo com as necessidades da logística de execução e de acordo com os prazos requeridos para fabricação e transporte dos componentes industrializados para atendimento da obra;

[4] a compatibilização das soluções seja iniciada no nível de planejamento do processo de projeto e seja realizada no nível de elaboração dos projetos através do autocontrole.

Para tanto, sugere-se a determinação, como produto do planejamento, de critérios técnicos de projeto, a partir das condicionantes ambientais, da finalidade da edificação, das necessidades, exigências e expectativas dos clientes, das características do ciclo de vida do empreendimento, dos regulamentos e normas técnicas, das ciências das construções e dos pré-requisitos definidos pelas interfaces entre as especialidades de projeto. Esses critérios técnicos de projeto são premissas iniciais para cada

especialidade de projeto e são atributos para a avaliação das soluções no nível do autocontrole. Os documentos que definem os critérios técnicos de projeto devem ser entregues a cada especialidade de projeto, e, assim, tornam o processo transparente e reduzem as atividades de inspeção e o número de reuniões de coordenação.

A determinação de critérios técnicos para edifícios de múltiplos pavimentos destinados ao uso de escritórios ou de hotéis (mercados potenciais da estrutura metálica) é uma iniciativa possível, devido:

(a) a muitas das características das edificações serem definidas pelo mercado imobiliário, pelas legislações, pelas exigências dos clientes e pela competitividade entre construtoras, por exemplo:

- o mercado define como pré-requisito para a planta do pavimento-tipo o princípio de máximo aproveitamento;

- no mercado, a flexibilidade do edifício já é uma exigência, que significa a flexibilidade da estrutura, dos sistemas de serviço e de instalações, no sentido de variação de layout, facilidade de manutenção e reparos, de alteração da sobrecarga original da estrutura, etc. Essa flexibilização define a independência entre os sistemas construtivos ainda no partido arquitetônico, de forma que, mesmo que eles não estejam definidos, galerias técnicas e *shafts* visitáveis são considerados premissas iniciais;

(b) às restrições de prazo que já definem determinadas alternativas para o sistema estrutural e sistemas de fechamento, que podem ainda ser avaliadas do ponto de vista das restrições técnicas, de logística (área do terreno, acesso de veículos), entre outros.

Assim, demonstra-se que, mesmo que sejam muitas as incertezas das fases iniciais do processo de construção - principalmente na fase de definição do partido arquitetônico, cada empreendimento tem um conjunto de condicionantes e requisitos que automaticamente delimitam um conjunto de alternativas de soluções, que tendem a apresentar maiores chances de virem a ser viabilizadas.

Definidos os sistemas construtivos, outros critérios se estabelecem, por exemplo:

- (a) duas situações são possíveis para a integração entre o sistema estrutural e o sistema de serviço: a passagem de dutos sob as vigas ou a passagem de dutos através das vigas. Essa decisão depende principalmente do capital disponível, e é tomada em função do custo dos sistemas de fechamento e dos acabamentos que são definidos, também, em função do pé-direito dos andares;
- (b) as diferenças de custo dos componentes de fixação das guias dos elevadores em função da geometria dos elementos estruturais;
- (c) ou a necessidade de flexibilidade para a alteração das características do uso de determinados pavimentos, como a definição de sobrecargas, que atendam qualquer possível exigência futura.

Neste sentido, pesquisas, como a aqui realizada, apresentam-se como contribuições importantes, pois subsidiam a criação de bancos de dados para a retroalimentação do processo de projeto e definição de critérios técnicos.

Assim, os estudos de casos demonstraram que as interfaces mais problemáticas da estrutura metálica têm relação com as especialidades de projeto de: (a) sistema de elevadores, na fixação das guias de corrida e das portas; (b) sistema de ar-condicionado, pelas dimensões dos seus dutos, equipamentos e pela localização das áreas técnicas; (c) sistema de esgoto, devido à necessidade de inclinação da tubulação, o que dificulta a padronização dos furos; (d) sistema de fechamento vertical, na fixação dos painéis, na determinação de tolerâncias dimensionais entre os sistemas e na definição das sobrecargas; (e) paisagismo, por definirem as sobrecargas das lajes; (f) e arquitetura, na definição das áreas úteis, na definição de vãos livres, áreas de passagem e nas interfaces resultantes de interferências entre todos os sistemas construtivos.

Visto que o sistema de ar-condicionado foi o que apresentou problemas mais freqüentes, de forma a reduzir a iteratividade entre este sistema e as vigas e os contraventamentos

da estrutura metálica, CHUNG e LAWSON (2001), OWENS (2000), SCI (1997), SCHOLLAR e GREGSON (1993) apresentam soluções e diretrizes que podem auxiliar a determinação de critérios técnicos antes do início dos projetos para a execução. Por exemplo, a partir do *layout* estrutural, pode ser estimada a altura das vigas; com base em CHUNG e LAWSON (2001), as seções máximas e os intervalos para as aberturas na alma das vigas podem ser também estimados. Com essas duas informações, pode-se definir o número de ramais principais e secundários de dutos do sistema de ar-condicionado e suas dimensões máximas. A avaliação desses dados, sob o ponto de vista da demanda térmica definida em função da solução arquitetônica e de condições ambientais, poderá definir a localização ideal das áreas técnicas no pavimento, a configuração das vigas, o tipo de abertura, o tipo de viga a ser empregada, ou até a inviabilidade da passagem dos dutos através das mesmas.

Além disso, a partir da observação dos estudos de casos, as seguintes considerações podem ser estabelecidas:

[1] Como, na prática corrente, o processo de construção é mais fragmentado do que simplesmente processo de projeto e processo de execução, existindo uma separação entre a fase de concepção do edifício (definição do partido arquitetônico) e a fase de desenvolvimento dos projetos para execução [de forma que, para os integrantes da equipe multidisciplinar, o processo de projeto tem início na fase de desenvolvimento dos projetos para a execução e não na fase de concepção do edifício a qual se integra ao processo de incorporação e se define desde o surgimento da idéia de construir até a confirmação da viabilidade do produto e contratação dos serviços], deseja-se chamar a atenção para o fato de que a definição prática do início do processo de projeto tem interpretação diferente da considerada na literatura, o que deve ser levado em consideração na apresentação de propostas de melhoria; pois, sugerir que todas as características do material estrutural sejam consideradas desde a fase inicial do processo de projeto, por exemplo, pode não significar o mesmo que sugerir que as características do material estrutural sejam consideradas para definição do partido arquitetônico;

[2] Existe uma dificuldade de contratação de projetistas na fase de concepção do

produto devido à incerteza na viabilização do mesmo, costumando a arquitetura, além de ser a primeira especialidade a ser contratada, ser a única contratada durante o processo de incorporação; sendo as demais especialidades de projeto representadas por consultores, quando julgados necessários, observa-se que sua atuação durante o processo de incorporação do empreendimento tende a ser ineficiente (a) pelo fato de as soluções se restringirem a diretrizes gerais para questões que exigem definição imediata, sem o estudo sobre desenhos, enquanto grande parte das interferências são detectadas somente quando se amplia o nível de detalhamento das soluções, e (b) por não ser comum as soluções definidas constarem em contrato e, assim, por não existir segurança de que as definições iniciais permaneçam. Desta forma, considera-se fundamental, para o sucesso do processo de projeto de edifícios estruturados em aço, que, se estabelecida a relação de consultoria, as definições apresentem um nível maior de detalhe e sejam formalizadas, para servirem de documentos de controle, inclusive para avaliação do prestador de serviço. Reconhece-se que essas medidas têm como limitante o fato de ser comum a participação informal dos consultores, sem contrato e sem garantias de posterior contratação, mas o trabalho em parceria pode minimizar este problema;

[3] Não é comum a apresentação de várias alternativas de soluções de projetos para avaliação e escolha, conforme sugerido na literatura, devendo ser incentivada esta iniciativa;

[4] Devido às informações de projeto consideradas como óbvias tenderem a ser negligenciadas, no processo de projeto, a gerência, a coordenação e cada especialista não devem considerar qualquer informação como “óbvia” para todos os integrantes da equipe, embora seja exigido o conhecimento da prática da construção civil, inclusive para os projetistas da estrutura metálica. Além disso, como a relação de direitos e deveres entre os integrantes da equipe se estabelece por acordos contratuais, todas as definições devem ser estabelecidas formalmente;

[5] As tolerâncias dimensionais entre sistemas, principalmente entre os sistemas de fechamento vertical de fachada e estrutura metálica, têm sido subestimadas ou negligenciadas. Assim, fazem-se necessários estudos nesta área, principalmente para a

determinação do desaprumo real das estruturas, permitindo, assim, a definição mais aproximada das tolerâncias;

[6] O desenho referencial apresentado na fase de orçamento pela estrutura metálica não deve ser utilizado como base para as atividades de projeto da equipe multidisciplinar, a menos que se garanta a precisão do pré-dimensionamento, com todas as especificações constando em contrato.

A INFLUÊNCIA DA FORMA ORGANIZACIONAL DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO SOBRE O PROCESSO DE PROJETO

Nos estudos de casos, verifica-se que, devido às vantagens que o aço apresenta como material estrutural, restrições técnicas, de prazo ou de logística de execução são os principais fatores que influenciam na viabilização da estrutura metálica em edifícios de múltiplos pavimentos. Assim, pode-se concluir que, quando a redução do prazo é determinante - sendo grande a pressão sobre o tempo de desenvolvimento dos projetos, a principal hipótese a ser considerada é o desenvolvimento dos projetos para execução em paralelo à execução da obra, semelhante ao modelo de organização *Fast track construction*. Mas, quando o prazo não é determinante, a tendência de organização dos edifícios estruturados em aço é o modelo projeto-execução (*design-build*).

Assim, como em todos os estudos de casos as construtoras atuaram sobre o desenvolvimento dos projetos para a execução e definiram as tecnologias, com relação às estruturas organizacionais, pode-se concluir:

[1] A estrutura *Fast track construction*, quando coordenada pela construtora (caso E-4), tende a apresentar menor número de problemas, visto que, no caso E-4, a maioria das revisões, modificações de projeto, aditivos de contrato e atrasos do cronograma foram funções das muitas alterações solicitadas pelo cliente, devido às oportunidades de negócios. Já no caso E-2 [caso em que os projetos foram gerenciados pela construtora e coordenados pelo escritório de arquitetura], existiram muitas revisões e mudanças de projeto, aditivos de contrato, execução de reforços estruturais e de atividades de fábrica em canteiro, devido à construtora ter se concentrado no controle do cronograma de

projeto para atender a obra e, assim, ter contratado os projetos detalhados de acordo com a necessidade do cronograma da execução; e devido ao coordenador não ter tido controle sobre a contratação dos projetistas para a execução dos projetos. O melhor resultado decorre também da antecipação das decisões relacionadas com a estrutura metálica e suas interfaces, no início do desenvolvimento dos projetos para a execução, por exemplo: definição do partido a ser empregado para a distribuição dos dutos e das áreas disponíveis para a passagem dos mesmos, no caso E-4. Ou seja, o processo de projeto foi planejado para atender a obra e para atender as necessidades de cada sistema construtivo, enquanto que, no E-2, o processo de projeto foi desenvolvido de forma a atender a obra e ao projeto arquitetônico;

[2] Quanto à estrutura *design-build*, observa-se que, *per se*, a mesma não apresentou vantagens com relação à estrutura *fast track construction*, embora as pressões no prazo para construção tenham sido maiores na segunda: tanto E-3 quanto E-4 apresentaram interferências entre o sistema estrutural e o sistema de fechamento externo, inviabilizando a montagem de painéis.

As considerações anteriores, indicam que, independente do tempo disponível para execução das atividades, planejar o processo de desenvolvimento dos projetos, definindo os critérios técnicos exigidos para cada especialidade, é fundamental para o sucesso de uma obra com elevado nível de industrialização.

SOBRE A INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO E DE PROJETO DA ESTRUTURA METÁLICA SOBRE O PROCESSO DE PROJETO

São evidentes, nesta pesquisa, as vantagens do uso do aço como material estrutural em edifícios de múltiplos pavimentos. A sua resposta para atender as solicitações de mudanças por parte dos clientes, como no caso E-4, demonstra que a estrutura metálica é ideal para ser empregada em processos de construção organizados conforme a estrutura *fast track construction*. Porém, o seu processo de produção e projeto ainda

apresentam algumas deficiências.

Os problemas que ocorrem no processo de construção de edifícios e são decorrentes da introdução da indústria seriada no processo de projeto, de um modo geral, são causados pela falta de uma equipe de projeto preparada para atender a um processo de construção e a uma equipe multidisciplinar e não, simplesmente, à linha de produção, e pelas falhas ainda existentes na comunicação interna entre os departamentos comerciais, de projeto e de fabricação das próprias empresas. A linguagem gráfica comumente empregada na representação dos projetos estruturais também influencia o processo de projeto negativamente.

Com relação à indústria da estrutura metálica, observa-se que, por décadas, os fornecedores de estrutura metálica se restringiram a atender os setores de construção pesada ou de montagem industrial, cujas características são distintas do setor de edificações.

Em obras industriais ou pesadas, a estrutura é determinante e, desta forma, define o projeto; os critérios que determinam a qualidade para o cliente se baseiam no custo, prazo e desempenho técnico, não sendo exigência do cliente o detalhe de acabamento, por exemplo; são grandes as dimensões com que se trabalha e pequeno o número de sistemas a serem compatibilizados, quando a estrutura metálica não é o único. Além disso, em um projeto industrial, não se trabalha com minúcias e são raras as interferências entre as instalações e a estrutura, sendo o projeto voltado exclusivamente à linha de produção.

Em contraste, nos edifícios de múltiplos pavimentos, que tendem a apresentar níveis maiores de complexidade, as decisões não dependem exclusivamente do sistema estrutural, é grande o número de sistemas a serem compatibilizados, assim como o número de profissionais que participam da equipe de projetos. Além disso, adaptação às mudanças de mercado e às exigências dos clientes é fundamental.

Desta forma, observa-se que são grandes as diferenças entre os dois setores, assim

como, a forma de prestação de serviço: (a) os desenhos devem atender as necessidades de uma equipe multidisciplinar, de modo que a linguagem gráfica deve ser clara e de fácil compreensão; (b) as soluções são resultados ponderados entre inúmeras variáveis; (c) o sistema estrutural determina apenas uma parte do conjunto de variáveis a serem estudadas; (d) a atividade de compatibilização é uma atividade necessária; (e) o produto final deve ser fiel ao produto vendido e, assim, a solução arquitetônica (que resulta de outras soluções, como do sistema de serviço) é preponderante.

Neste contexto, conclui-se que existe uma deficiência da indústria do aço para atender as necessidades do processo de projeto de edifícios. Algumas fábricas já vêm acumulando experiência neste setor da construção civil e buscando se adaptar às necessidades de cada nova equipe. Porém, observa-se que as modificações implementadas para realizar essas adaptações individualmente não costumam ser consideradas padrões em projetos futuros. Desta forma, há necessidade de reconhecimento real das exigências daquele setor e de sistematização das melhorias para que as mesmas façam parte dos procedimentos padrões das empresas.

Para a entrada do aço no setor de construção de edifícios, têm sido grandes os investimentos na divulgação da estrutura metálica entre os profissionais das diversas especialidades (principalmente arquitetos), na criação de departamentos de suporte a esses projetistas, construtoras, investidores, dentro das indústrias siderúrgicas, no desenvolvimento de livros, normas técnicas, entre outros. Mas, com frequência, os esforços para a melhoria dos recursos humanos estão direcionados ao “mercado da estrutura metálica”, incluindo arquitetos, engenheiros, construtores. As medidas de melhoria dos recursos humanos internos das empresas de estrutura metálica (fábricas, montadoras) têm se restringido ao caráter técnico, com a exceção do departamento comercial de algumas empresas, voltado a estratégias de competitividade do mercado.

Assim, aos projetistas (departamento de engenharia) da estrutura metálica costuma ser atribuída a responsabilidade do domínio técnico do sistema estrutural, do ponto de vista do comportamento, do cálculo, do dimensionamento, da fabricação e da montagem, ficando a cargo dos profissionais das demais especialidades de projeto o domínio do

sistema construtivo. Esta prática é inadequada, pois o processo de projeto de edifícios exige que o profissional de cada especialidade tenha capacidade de resolver o edifício como um todo. Ou seja, que cada profissional seja especialista na sua área, mas tenha conhecimento suficiente sobre a construção civil, para poder avaliar as soluções de projeto, inclusive as próprias.

A dificuldade de comunicação entre a equipe de projetos de um fabricante da estrutura metálica e a equipe de projetos do edifício, mesmo quando não chega a inviabilizar a estrutura metálica, tende a atribuir ao aço a imagem de sistema rígido, inflexível, do ponto de vista dos projetistas (arquitetura, ar-condicionado) e de profissionais da construção.

No processo de produção da estrutura metálica, a fragmentação do processo entre os diferentes departamentos de uma mesma empresa (comercial, de engenharia, de produção) ainda é causa de conflitos de decisões, onde o departamento técnico deseja atender o cliente mas o departamento comercial vê restrições para tal. Esses impasses têm resultado na insatisfação do cliente, que não sabe até que ponto as dificuldades técnicas para que possa ser atendido existem, não sendo as questões simplesmente comerciais.

Desta forma, estabelece-se, na falta de uma rotina menos burocrática, que o contato entre a especialidade da estrutura metálica e o cliente, ou o gerente ou o coordenador de projetos, seja efetuado sempre através de uma única pessoa, que responda por todas as decisões de projeto, para que sejam evitados conflitos entre as decisões e, além disso, perda de informações. Esta iniciativa deve ser estendida a todas as relações de trabalho.

Além disso, verificou-se que o contrato é uma ferramenta primordial para o sucesso do processo de construção e causa de muitos conflitos ocorridos no processo de projeto e de execução. Visto que as relações estabelecidas no processo de construção são baseadas em acordos contratuais, sendo o contrato a garantia de que todas as definições sejam cumpridas, constata-se as seguintes necessidades: (a) que o pré-dimensionamento seja o mais aproximado possível do que será executado, e (b) que as dimensões

máximas dos elementos estruturais, para cada pavimento, façam parte do contrato de prestação de serviço entre o fabricante e o cliente, quando o mesmo abranger tanto a execução dos projetos quanto a fabricação e montagem da estrutura.

A contratação de um escritório especializado em projetos estruturais em aço e posterior contratação da fabricação e montagem é uma alternativa especulada por muitos integrantes das equipes investigadas. Porém, constatou-se que esta estratégia também dá margem a alguns problemas, como o dimensionamento e detalhamento da estrutura em desacordo com os padrões do fabricante. Além disso, em estruturas organizacionais tipo a *fast track construction*, esta estratégia pode não atender a dinâmica do processo. Mas, de qualquer forma, para a contratação de um especialista para a execução dos projetos, deve-se buscar garantias que as decisões tomadas estejam de acordo com as necessidades dos processos de fabricação e montagem.

SOBRE O MERCADO DA ESTRUTURA METÁLICA

Constatou-se que ainda existe um número reduzido de fábricas capacitadas para fornecer um sistema estrutural que atenda o processo de construção de um edifício complexo, ou com capital financeiro suficiente para tornar o sistema competitivo, uma vez que, uma mesma empresa foi contratada por todas as construtoras para fabricar e montar a estrutura, mesmo as obras se localizando em estados diferentes: isto reflete a redução do poder de negociação das construtoras pela ausência de concorrência.

SOBRE A DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA

Observando que a responsabilidade de definição dos sistemas construtivos e das tecnologias a serem empregadas para a obtenção do edifício e a responsabilidade de gerenciamento do processo de desenvolvimento dos projetos para a execução (ou, pelo menos, a intensa atuação nesse processo)¹⁸ foram atribuições das construtoras em todos os casos estudados, pode-se dizer que a definição dos sistemas construtivos pela construtora é uma característica positiva, se analisado do ponto de vista de que a mesma

deve ter controle tecnológico sobre cada sistema empregado. Mas, observa-se que essa responsabilidade se estabelece em função, principalmente, da tendência de contratação da construtora, assim como de todos os fornecedores, a preço fechado e com prazos definidos, o que resulta de minuciosos estudos e muitas negociações.

Assim, os sistemas construtivos e as tecnologias tendem a ser confirmados somente após o estudo de viabilização econômica¹⁹ que por sua vez se realiza (a) após a definição do partido arquitetônico (desenvolvido pelo escritório de arquitetura), como no caso E-4, ou (b) depois de confirmada a viabilização legal ou comercial, como nos casos E-1, E-3 e E-5, podendo este processo se estender por meses. Pode ainda ser confirmada a viabilidade econômica somente durante o desenvolvimento do projeto executivo, devido ao lento processo de negociação com os fornecedores, como verificado com os sistemas de fechamento de fachada, no caso E-4, e de módulos de banheiro, no E-3.

Isto porque, na definição dos sistemas, o primeiro fator a ser considerado “é o custo, o segundo, o custo e o terceiro, o custo”, como afirma Luís Carlos Rocha, gerente da construtora Hochtief, em VIOTTO (2002), independentemente das características do incorporador. Esta situação somente é diferente quando “existem fatores arquitetônicos, técnicos ou de prazo, que superam os três primeiros”, completa.

Desta forma, constata-se que garantir que os sistemas construtivos sejam considerados desde a fase de concepção do partido arquitetônico e que a construtora tenha domínio sobre as tecnologias a serem empregadas parece um desafio para o processo de projeto de edifícios em aço. Em geral, este desafio somente é superado quando o custo passa a ser secundário ou quando o cliente deseja que seja utilizado um determinado sistema construtivo. Este desafio também pode ser vencido quando o mercado já preestabelece o uso de um determinado sistema construtivo. Com exemplo, tem-se o *dry wall*, já incorporado por algumas construtoras como sistema de fechamento vertical interno em

¹⁸ Conceitos encontrados no modelo de organização *design-build* ; leia mais em HUYSMANS e MAAS (2001).

¹⁹ Atualmente, a atividade de estudo da viabilidade econômica tem se aprimorado: considera-se o tempo de retorno do capital investido; contabilização da redução dos encargos sociais, dos custos indiretos; ou seja, muitas empresas têm aplicado conceitos da Engenharia de Valor.

edifícios residenciais de médio padrão.

Mas, devido às incertezas do mercado de construção, mesmo quando existem restrições técnicas, de logística e/ou de prazo (situação em que a estrutura metálica apresenta vantagens) e/ou o incorporador já tenha experiência no uso da tecnologia, observa-se que a máxima definição dada para a elaboração do partido arquitetônico é apenas a hipótese de se trabalhar com sistemas industrializados, sem a definição precisa do sistema estrutural, como nos casos E-1 e E-3.

Neste contexto, a consideração exata dos sistemas construtivos, em especial da estrutura metálica, no partido arquitetônico, se mostra um requisito difícil de ser atendido dentro do processo de construção praticado atualmente no mercado de edifícios de múltiplos pavimentos, e não deve ser vista como a principal forma de melhorar o processo.

Mas, deve-se estudar propostas que minimizem o impacto da desconsideração das características específicas inerentes aos sistemas construtivos industrializados no partido arquitetônico, sobre a qualidade final do produto, em termos de melhor custo-benefício e ausência de patologias, para que seja incrementada a participação do aço nesse mercado, e, assim, mudar naturalmente essa realidade, a exemplo do sistema de fechamento tipo *dry wall*, que há alguns anos, era uma tecnologia viabilizada através de muitos estudos e, atualmente, devido ao uso contínuo, é a solução padrão de muitas empresas e, desta forma, requisito do partido arquitetônico do edifício, como nos casos E-1, E-3 e E-5.

Mas, a partir dos casos estudados, conclui-se ainda que, para que o aço se torne padrão, é preciso que o processo de produção da estrutura metálica agregue valor para os seus clientes, oferecendo flexibilidade.

Durante o uso e operação, a flexibilidade já é considerada por muitos uma vantagem do sistema estrutural: variabilidade de *layout* em função dos grandes vãos livres, desmontagem e remontagem da edificação, ampliação e reforma com o mínimo de interferência na rotina dos usuários, construção sobre edifícios já existentes, mudança

ou reforço de elementos estruturais, são algumas das possibilidades permitidas pelo material, de acordo com os recursos financeiros disponíveis²⁰.

Durante a produção da estrutura, a flexibilidade pode ser proporcionada pela variabilidade de tipos produzidos em séries limitadas, de forma a atender clientes específicos.

Já durante a fase de projeto, a flexibilidade pode ser proporcionada através da disposição dos projetistas e dos fabricantes em buscar soluções alternativas para atender necessidades financeiras, técnicas ou plásticas; ou seja, apresentar capacidade para combinar soluções que atendam o cliente. Dois casos podem ser citados para ilustrar a questão:

[1] no caso E-5, conforme depoimento de um representante da construtora C-4, o aço dificilmente viria a ser a solução padrão da empresa em função das características estéticas definidas para o produto da empresa: varandas curvas, uma vez que soluções curvas não são consideradas adequadas para o aço devido ao maior custo operacional de fabricação que apresentam. Neste caso, uma solução que poderia ser viabilizada é a combinação da estrutura metálica com artefatos em concreto, por exemplo. As vigas curvas das sacadas poderiam ser pré-fabricadas (ou moldadas *in loco*) em concreto e fixadas na estrutura metálica;

[2] ou ainda, combinar diferentes soluções estruturais em um mesmo projeto. Por exemplo: combinar vigas de seção universal (perfil I) com vigas treliçadas, nos vãos em que a demanda de aberturas para a passagem de sistemas for grande.

Iniciativas como essas são necessárias para que o mercado da estrutura metálica consiga superar o rótulo de sistema rígido, e possa oferecer um sistema estrutural completo, visto que é uma tendência a falta de interesse das construtoras na comprar materiais de construção.

²⁰ Para maiores detalhes ver HART *et al.* (1978), pág. 169; SCHOLLAR e GREGSON (1993).

SOBRE A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PROJETOS

Sendo a atividade de projeto uma atividade de expressão gráfica e a análise e compatibilização das diferentes especialidades uma atividade essencialmente visual, constatou-se que a forma corrente de apresentação dos desenhos da estrutura metálica, descrita a seguir, não atende as necessidades das especialidades integrantes do processo de projeto de edifícios de múltiplos pavimentos:

- [1] a representação através de diagramas unifilares das vigas, nos desenhos em planta, e das vigas, colunas e contraventamentos, nos desenhos de elevação;
- [2] a simples indicação, em planta, dos vãos contraventados, sem a representação dos elementos;
- [3] a especificação das dimensões dos elementos somente em tabelas ou em desenhos de elevações, representados em pranchas específicas;
- [4] a especificação das dimensões dos elementos em cadernos de perfis ou em tabelas, contendo todos os perfis utilizados;
- [5] a representação das colunas, em elevação, sem a diferenciação entre as larguras dos flanges de cada tramo;
- [6] a representação exclusivamente bidimensional da estrutura.

Constatou-se, ainda, que a falta de elementos de desenho (mesas das vigas, por exemplo) requer um aumento considerável no número de especificações (dados numéricos, por exemplo), e que as informações na forma de especificações são difíceis de serem manipuladas e algumas vezes são ignoradas. Além disso, são grandes as dificuldades para a compatibilização dos contraventamentos e leitura das dimensões das colunas.

Assim, como o processo de projeto de edifícios complexos que utilizam sistemas construtivos industrializados exige que a atividade de compatibilização seja exercida com rigor, o que pressupõe que os projetos sejam representados de forma clara e precisa, sem deixar margem para dúvidas, os seguintes cuidados devem ser tomados

com relação à representação dos desenhos do sistema estrutural metálico, para que a qualidade dos desenhos dos projetos de edifícios de múltiplos pavimentos seja alcançada:

[1] a solução estrutural também deve ser apresentada em formato tridimensional, para facilitar a visualização da estrutura, principalmente dos contraventamentos;

[2] os desenhos de vigas, pilares, contraventamentos, ligações, em planta, corte ou elevação, devem ser sempre representados de acordo com uma escala preestabelecida; no caso de desenhos sem escala, todos os elementos que o definem devem ter a mesma razão proporcional;

[3] as mesas das vigas devem ser representadas nos desenhos em planta;

[4] deve-se indicar claramente o nível do plano de vigas representado, se referente ao piso ou à projeção do teto;

[5] junto à representação das vigas no desenho em planta, os contraventamentos existentes e pertencentes ao pavimento em questão devem estar indicados e a largura das mesas e as dimensões dos perfis devem estar representadas;

[6] os desenhos de elevação de todos os eixos devem ser elaborados, com as dimensões dos perfis de colunas, vigas e contraventamentos, respeitando uma escala proporcional preestabelecida;

[7] os arquivos eletrônicos gerados para impressão (em extensão “.plt”), entregues para a equipe de projetos multidisciplinar, devem conter todas e somente as informações necessárias ao trabalho daquela equipe;

[8] para o trabalho da equipe de compatibilização, as dimensões das seções dos perfis (altura x largura), tanto de vigas (V500x200) quanto de colunas (C300x300) e contraventamentos (CT300x200), são informações essenciais e devem estar indicadas junto aos elementos, no desenho;

[9] os nomes dos elementos referentes à fabricação e montagem devem estar representados nos projetos executivos finais, entregues para as equipes de coordenação e gerenciamento, para a liberação da produção;

[10] a unidade utilizada para cotar os desenhos deve pertencer ao sistema métrico internacional (metro, centímetro ou milímetro), sendo preferencial o uso da unidade milímetro;

[11] nos desenhos em CAD, deve-se atentar para que nenhuma informação fique sobreposta à outra, mesmo quando são gerenciadas por camadas diferentes.

Com relação à forma geral de representação dos projetos, constatou-se que:

[1] não se costuma utilizar uma unidade métrica padrão a todas as especialidades de projeto: enquanto a estrutura metálica especifica suas dimensões em milímetros, a arquitetura ou o ar-condicionado, ou outra especialidade, as especifica em metro ou centímetro;

[2] durante a atividade de compatibilização, costuma-se realizar a leitura das informações nos projetos impressos das diferentes especialidades, e redesenha-las dentro do sistema CAD, para a geração de desenhos referenciais;

[3] durante a compatibilização dos projetos, não é usual o uso de ferramentas computacionais para simulações gráficas do edifício em 3D.

Assim, sugere-se:

[1] os desenhos eletrônicos devem apresentar precisão e organização, de tal forma que permitam que parte das informações, ou mesmo todas, sejam incorporadas nos desenhos eletrônicos de outras especialidades, para que as equipes usuárias não precisem redesenhar as informações que desejam por desconfiança na precisão, e, assim, proporcionar à etapa de projeto a mesma precisão sugerida para a etapa de execução;

[2] deve-se garantir, através de comunicado por escrito, que as especialidades-clientes conheçam quais camadas de desenho guardam as informações geradas de que precisam e que os arquivos enviados tenham essas camadas ativadas;

[3] cada conjunto de informação ou elemento deve ser representado em uma camada específica, para permitir o gerenciamento adequado das informações;

[4] todos os desenhos devem ser cotados em milímetros, ou todas as especialidades devem utilizar a mesma unidade de medida;

[5] as interferências detectadas nos projetos devem ser indicadas de forma clara e evidente; além disso, sempre que possível, referenciadas em observações que expliquem o problema identificado;

[6] devem ser utilizadas ferramentas computacionais de desenho para o esclarecimento das soluções aos integrantes das equipes e para a simulação de interferências entre os sistemas construtivos durante a compatibilização dos projetos.

SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Como sugestões para futuros trabalhos, apresentam-se:

[1] Desenvolvimento de um estudo para a determinação da sequência ótima para o processo de projeto de edifícios de múltiplos pavimentos em aço, considerando os sistemas construtivos empregados e a ordem de execução da obra, e introduzindo uma etapa de planejamento para a determinação de critérios técnicos de projeto, conforme BAUERMANN *et al.* (2001);

[2] Desenvolvimento de ferramenta computacional, com base em bancos de dados, enfocando as grandezas relativas ao desempenho do sistema estrutural em aço na sua relação com os demais sistemas construtivos;

[3] Desenvolvimento de pesquisas estatísticas, através de estudos de casos, para a

determinação de tolerâncias dimensionais mais aproximadas entre sistemas construtivos, considerando as especificidades de execução de cada um, por exemplo: investigar a taxa de desaprumo real do esqueleto estrutural, entre outras;

[4] Desenvolvimento de pesquisas que subsidiem a revisão da Norma Brasileira (NBR 8800/86) quanto à execução de aberturas na alma das vigas de aço, para a passagem de sistema de serviço, tomando como referência o trabalho de CHUNG e LAWSON (2001).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. Números do desperdício. **Téchne**, São Paulo, n. 53, p. 30-33, ago. 2001.

ALARCÓN, L. F.; MARDONES, D. A. Improving the Design-Construction Interface. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., 1998, Guarujá. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/IGLC-6/index.html>>. Acesso em: ago. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5670**: seleção e contratação de serviços e obras de engenharia e arquitetura de natureza privada. Rio de Janeiro, 1977. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13531**: elaboração de projetos de edificações: atividades técnicas. Rio de Janeiro, 1995. 10p.

ASSUNÇÃO, J. F. P.; FUGAZZA, A. E. C. Coordenação de projetos de edifícios: um sistema para programação e controle do fluxo de atividades do processo de projetos. In: WORKSHOP NACIONAL SOBRE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. **Anais eletrônicos...** São Carlos: EESC/USP, 2001. 1 CD-ROM.

BALLARD, G. Can pull techniques be used in design management? In: CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING IN CONSTRUCTION, 1999, Helsinki, Finland. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.org>> (readings). Acesso em: ago. 2001.

BALLARD, G. Lean project delivery system. Estados Unidos: Lean Construction Institute, 2000. White Paper n. 8, revisão 1. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.org>> (readings). Acesso em: ago. 2001.

BAUERMANN, M.; CLARET, A. M.; ARAÚJO, E. C. A study of projects pathologies of steel-framed buildings. In: SETTIMANA DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO, 2., C.T.A. CONGRESS, 18., 2001, Veneza. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2001. v. 1, p. 109-118.

BARKAN *et al.* **Prototyping as a core development process.** [S.l.]: Draft, 1992. 17 p. (Mineo)

BOWEN, H. Implementation projects: decisions and expenditures. In: HEIM, J.; COMPTON, W. (Ed.). **Manufacturing system:** foundations of world-class practice. Washington: National Academy Press, 1992. p. 93-99.

BRUNA, P. J. V. Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento. São Paulo: Perspectiva, 1973. p 17-67.

BUCHARD, B.; PITZER, D.; SOEN, F. **Desvendando o AutoCAD 14.** Tradução: Marcos José Pinto; Marcos Vieira. Rio de Janeiro: Campus, 1998. p. 63.

CAMBIAGHI, H. Projeto e obra no difícil caminho da qualidade. **Obra, Planejamento e Construção**, São Paulo, n. 37, p. 10-12, jun. 1992.

CAMBIAGHI, H. A qualidade na área de projetos. **Construção**, São Paulo, set. 1997. Disponível em <<http://www.asbea.org.br/noticias/an15.htm>>. Acesso em: ago. 2001.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** 1999. 202 p. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 1999.

CHUNG, K. F. e LAWSON, R. M. Simplified design of composite beams with large web openings to Eurocode 4. **Journal of Constructional Steel Research**, n. 57, p. 135-163, 2001.

CLARCK, K.; FUJIMOTO T. **Product development performance.** Boston: Harvard Business School, 1991. 409p.

CLAUSING, D. **Total Quality Development.** New York: ASME, 1994. 506 p.

COELHO, R. Vedações para edifícios em estruturas metálicas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL “O USO DE ESTRUTURAS METÁLICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., Belo Horizonte, set. 2000. Apostila de curso, 48 p.

COLES, E.J. (1990). Design management: a study of practice in the building industry. The Chartered Institute of Building, occasional paper n. 40, 32 p.

CONDE, C. M. Gestão integrada de projetos – percepção de estudantes de arquitetura capixabas. **Engenharia, Ciência e Tecnologia**, Vitória, ano 3, n. 18, p. 41-49, nov./dez. 2000.

COZZA, E. Uma nova era para o aço. **Téchne**, São Paulo, n. 36, p. 18-23, set./out. 1998.

CROSS, N. **Engineering design methods. Strategies for product design**. 2. ed. London: Wiley, 1994. 179p.

DENADAI, B. **Análise de cadeia de valor da indústria de mármore e granito na construção civil do Espírito Santo**. Sumário executivo de construção civil. Vitória: IEL-ES, 1999. 297p.

DIAS, L. A. M. **Aço e arquitetura: estudos de edificações no Brasil**. São Paulo: Zigurate Editora, 2001. p. 133-170.

DOBLER, D.; BURT, D. **Purchasing and supply management**. Estados Unidos: McGraw Hill Companies, 1996.

DUPAGNE, A. (1991). **Computer Integrated Building**. Strategic Final Report. Espirit II: Exploratory Action n. 5604.

EPPINGER, S. D. *et al.* A model-based method for organising tasks in product development. **Research in Engineering and Management Design**, v. 6, p. 1-13, 1994.

FABRÍCIO, M. M.; MELHADO, S. B. A importância do estabelecimento de parcerias construtora-projetistas para a qualidade na construção de edifícios. In: VII

ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** [S.l.]: ANTAC, 1998. v. 1, p. 453-459.

_____. Brief reflection on improvement of design process efficiency in brazilian building projects. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, University of California, Berkeley. **Proceedings...** [S.l.]: IGLC, 1999. p. 345-356.

_____. Projeto simultâneo e a qualidade ao longo do ciclo de vida do empreendimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000. Salvador. **Anais...** [S.l.]: ANTAC, 2000. 1 CD-Rom.

FERREIRA, R. C. Os diferentes conceitos adotados entre gerência, coordenação e compatibilização de projeto na construção de edifícios. In: WORKSHOP NACIONAL SOBRE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2001. 1 CD-ROM.

FISCHER, N. Construção seca: industrialização máxima. **Téchne**, São Paulo, n. 53, p. 66-73, ago. 2001.

FONTENELLE, C. E.; MELHADO, S. B. Proposta para sistematização de informações e decisões nas etapas iniciais do processo de projeto de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais...** [S.l.]: ANTAC, 2000. 1 CD-Rom.

GOETSCH, D.; DAVIS, S. **Introduction to total quality**: quality, productivity, competitiveness. Singapore: Prentice Hall International Editions, 1994.

GUS, M. **Método para a concepção de sistemas de gerenciamento da etapa de projetos da construção civil**: um estudo de caso. 1996. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1996.

GRAY, C.; HUGES, W.; BENNETT, J. **The successful management of design.** Reading: Centre for strategic studies in construction, University of Reading, 1994. 100p.

HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P. E. Qualidade: cada erro tem seu preço. Tradução: Vera M. C. F. Hachich. **Téchne**, São Paulo, n. 1, p. 32-34, nov./dez. 1992.

HART, F.; HENN, W.; SONTAG, H. **Multi-storey building in steel.** Fundamentals of planning. In: GODFREY, G. B. (Editor da edição em inglês). London: Granada Publishing, 1978. p. 165-178.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1992. 213p.

HELENE, P. R. L. Patologia do concreto: roteiro de palestra. São Paulo: EPUSP, 1998. 29p.

HUOVILA, P.; KOSKELA, L.; LAUTANALA, M.; Fast or concurrent: the art of getting construction improved. In: ALARCÓN, L (Ed.). **Lean Construction.** Balkema: [n.s.], 1997. p. 143-160.

HUYSMANS, M. A. P. e MAAS, G. J. How to form a high performance design-build organization. In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS, Wellington, New Zealand, 2001. **Anais...** [S.l.: s.n.]. 1 CD-Rom. artigo HPT 34.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION. **ISO 9000:2000:** Quality management systems: fundamentals and vocabulary. 1999. Working draft.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION. **ISO 6241:** Performance standards in building: principles for their preparation and factor to be considered. 1984. 10 p.

JACQUES, J. J. e FORMOSO, C. T. (2000). Definições de informações no processo de projeto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Salvador, 2000. **Anais...** [S.l.]: ANTAC, 2000. 1 CD-Rom.

JÚNIOR, A. A. R. **Diretrizes para fabricação e montagem das estruturas metálicas**. 1999. 218 p. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 1999.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J.; EVBUOMWAN, N. F. O. Assessing the suitability of concurrent briefing practices in construction within a concurrent engineering framework. **International Journal of Project Management**, [S.l.], n. 19, p. 337-351, 2001.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Center for Integrated Facilities Engineering, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, 1992. 75p. Technical Report, n. 72. Disponível em: <http://www.leanconstruction.org> (readings). Acesso em: ago. 2001.

_____. Lean construction. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** [S.l.]: ANTAC, 1998. v. 1, p. 3-9.

_____. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 296 p. PhD Dissertation - VTT Building Technology, Espoo, Finland. VTT Publications, n. 408. ISBN 951-38-5565-1; 951-38-5566-X. Disponível em: <http://www.leanconstruction.org> (readings). Acesso em: ago. 2001.

KOSKELA, L.; BALLARD, G.; TANHUANPÄÄ, V. Towards lean design management. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 5., 1997, Griffith University, Gold Coast, Australia. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997. Disponível em: <http://www.leanconstruction.org> (readings). Acesso em: ago. 2001.

KRÜGER, P. G. VON. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. 160 p. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2000.

LAUFER, A. **Simultaneous management**: managing projects in a dynamic environmental. New York: Amacom, 1997. 313p.

LE GOOD, J. BASIC THEORY OF FRAMING. Colaborador: HARRISS, D. In: BLANC, A.; McEVOY, M.; PLANK, R. (Ed.). **Architecture and Construction in Steel**. 1. ed. London: E & FN Spon, 1993. cap. 11, p. 131-154.

LINTON, L. *et al.* (1992). **First principles of concurrent engineering**. CALS/Concurrent Engineering Working Group – Electronic System. Litton Amecon, College Park. 182p.

LUCK, R.; HAENLEIN, H.; BRIGHT, K. Project briefing for accessible design. **Design Studies**, Grã-bretanha, v. 22, n. 3, p. 297-315, maio 2001.

MARKUS, T.; ARCH, M. Optimization by evaluation in the appraisal of buildings. **Value in Building**. London: Hutton and Devonald, Applied Science, 1973. p. 82-111.

MACIEL, L. L.; MELHADO, S. B. **Qualidade na construção civil: fundamentos**. São Paulo: EPUSP, 1996. 23 p. TT/PCC/15. Texto técnico.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios : aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. 294 p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.

_____. O processo de projeto no contexto da busca de competitividade. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO – TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1997, São Paulo. **Anais...** [S.l: s.n.], 1997. v. 1, p. 7-51.

_____. Metodologia de projeto voltada à qualidade na construção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** [S.l]: ANTAC, 1998a. v. 1, p. 739-747.

_____. Designing for Lean Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., 1998, Guarujá. **Anais eletrônicos...** [S.l.: s.n.], 1998b. Disponível em: <http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/IGLC-6/index.html>. Acesso em: ago. 2001.

_____. A qualidade na construção de edifícios e o tratamento das interfaces entre os sistemas de gestão dos diversos agentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Salvador, 2000. **Anais...** [S.l]: ANTAC, 2000. 1 CD-Rom.

MELHADO, S.S.; BARROS, M.M.S.B.; SOUZA, A.L.R. **Qualidade do projeto de edifícios: metodologia envolvendo os novos procedimentos de projeto**. São Paulo: EPUSP-PCC, 1996. Documento CPqDCC, n. 20088 – EP/SC-1.

MESSEGUER, A. G. **Controle e garantia da qualidade na construção**. São Paulo: Sinduscon/SP, 1991.

MISTREE, F.; SMITH, W.; BRAS, B. A decision-based approach to concurrent design. In: H. R. PARSAEI; W. G. SULLIVAN (Eds.). **Concurrent Engineering: contemporary issues and modern design tools**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 127-158.

MORAES, F. R. **Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de empreendimentos em construção metálica** – uma visão segundo a nova filosofia de produção. 2000. 212 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2000.

NOVAES, C. C. **Diretrizes para a garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios habitacionais**. 1996. 396 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.

NOVAES, C. C. Ações para controle e garantia da qualidade de projetos na construção de edifícios. In: WORKSHOP NACIONAL SOBRE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2001. 1 CD-ROM.

OWENS, G. State of the art report: basic problems, design concepts and codification of steel and composite structures. Standards drafting: is there an opportunity for industry to improve value to its customers? – General report. **Journal of Constructional Steel Research**, [S.l.], n. 55, p. 7-27, 2000.

PENTEADO, H. M. **A arquitetura e a junção**: as estruturas espaciais em aço enquanto projeto do edifício. 1999. 140 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.

PEREIRA *et al.* Alternativas de vedações externas de edifícios com estruturas metálicas. **Engenharia, Ciência e Tecnologia**, Vitória, ano 3, n. 17, p. 18-26, set./out. 2000.

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. Conceitos e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas. **Construção Metálica**, São Paulo, ano 8, n. 35, p. 56-61, 1998. Artigo técnico.

PICCHI, F. (1993). **Sistemas da qualidade**: uso em empresas de construção de edifícios. 1993. 462 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

RIBA. **Handbook of architectural practice and management**. London, 1980.

RYDER-RICHARDSON, J. Construction management. Colaborador: MCEVOY, M. In: BLANC, A.; McEVOY, M.; PLANK, R. (Ed.). **Architecture and Construction in Steel**. 1. ed. London: E & FN Spon, 1993. cap. 23, p. 345-355.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. 2001. 249 p. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2001.

SANVIDO, V. E. Linking levels of abstraction of a building design. **Building and Environmental**, Grã Bretanha, v.27, n. 2, p. 195-208, 1992.

SCHOLLAR, T. e GREGSON, A. Floor framing and services above and below floors. In: BLANC, A.; McEVOY, M.; PLANK, R. (Ed.). **Architecture and Construction in Steel**. 1. ed. London: E & FN Spon, 1993. p. 181-196.

SCHRAGE, D. Concurrent design: a case study. In: ANDREW KUSIAK (Ed.). **Concurrent Engineering: automation, tools and techniques**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1993. p. 535-580.

SCI. **Design of steel-framed buildings for service integration**. UK: The Steel Construction Institute, 1997. n. SCI-P-166. ISBN 1 85942 047 8.

SILVA, E. **Uma Introdução ao Projeto Arquitetônico**. 2ª ed. Porto Alegre, Editora da Universidade/ UFRGS, (1998).

SOUZA, R. *et al.* **Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras**. São Paulo: SEBRAE/SINDUSCON-SP, 1995. 247 p.

SOUZA, A. L.; MELHADO, S. B. A importância do projeto para produção no incremento da qualidade do produto edifício. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1998, São Paulo. **Anais...** [S.l.: n.s.], 1998. v. 2, p 517-524.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 4. ed. São Paulo: Pini, 1998. 255 p., 3. tiragem. I.S.B.N. 85-7266-096-8.

STROETER, J. R. **Arquitetura & Teorias**. São Paulo: Nobel, 1986. 210 p.

SVERLINGER, P. Organizational co-ordination in the design phase. **Building Economics and Construction Management**, [S.l.]: Chalmers University of Technology, 1996. (In Swedish)

TZORTZOPOULUS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte**. 1999. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.

VIOTTO, D. A. O aço que não se vê. **Construção Metálica**. São Paulo, ano 11, n. 48, p. 14-21, maio/jun. 2001. ISSN 1414-6517.

WINNER *et al.* **The role of concurrent engineering in weapons system acquisition.** Alexandria: Institute for Defense Analyses, 1988. IDA Report, n. R-338. Disponível em: www.ceteam.com/glossary.htm>. Acesso em: nov. 2001.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods.** 2. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1994. 170 p.

ZANETTINI, S. Arquitetura contemporânea com utilização de estrutura metálica – Uma experiência de três décadas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL “O USO DE ESTRUTURAS METÁLICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4. CONGRESSO INTERNACIONAL DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 1., São Paulo, nov. 2001. **Anais eletrônicos...** Belo horizonte: SME/SCI/AMICEM, 2001. 1 CD-ROM.

ZEGARRA, S. L. V. **Diretrizes para a elaboração de um modelo de gestão de fluxos de informações como suporte à logística em empresas construtoras de edifícios.** 2000. 214 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. p. 24-42.