



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



UMA CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL COM ESTRUTURA E COMPONENTES CONSTRUTIVOS FABRICADOS A PARTIR DE AÇOS PLANOS

AUTOR: ASCANIO MERRIGHI DE FIGUEIREDO SILVA

ORIENTADORA: Profa. Dra. Arlene Maria Sarmanho Freitas

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, Outubro de 2004.

ÍNDICE:

RESUMO.....	1
--------------------	----------

ABSTRACT.....	2
----------------------	----------

PREFÁCIO	4
-----------------------	----------

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1	Considerações Gerais.....	8
1.2	Habitação Coletiva – Arquitetura.....	10
1.3	Objetivos e Estruturação do Trabalho.....	20

CAPÍTULO 2: ANÁLISE DE PROJETOS EXISTENTES – ESTUDOS DE CASO

2.1	Introdução.....	24
2.2	Aspectos Dimensionais – Definições.....	25
2.2.1	Áreas de Projeto.....	25
2.2.2	Outras Dimensões.....	27
2.3	Aspectos Estruturais – Definições.....	28
2.3.1	Desempenho Global da Estrutura.....	28
2.4	Aspectos Construtivos – Definições.....	29
2.4.1	Desempenho Construtivo das Edificações.....	29
2.5	Projetos Analisados.....	31
2.5.1	Edifício Múltipla – Alphametal – Interamericana.....	31
2.5.1.1	Descrição Geral do Sistema Construtivo	32
2.5.1.2	Lista de Materiais Estruturais.....	38
2.5.1.3	Quadro Resumo de Dados.....	39
2.5.1.4	Entrevista.....	39
2.5.2	Edifício Alusa – Brastubo..	42

2.5.2.1 Descrição Geral do Sistema Construtivo	43
2.5.2.2 Lista de Materiais Estruturais.....	47
2.5.2.3 Quadro Resumo de Dados.....	50
2.5.2.4 Entrevista.....	50
2.5.3 Edifício Camargo Corrêa - Usiminas.....	52
2.5.3.1 Descrição Geral do Sistema Construtivo	52
2.5.3.2 Lista de Materiais Estruturais.....	57
2.5.3.3 Quadro Resumo de Dados.....	58
2.5.4 Edifício Bouganville– Construtora Castro Pimenta.....	58
2.5.4.1 Descrição Geral do Sistema Construtivo	59
2.5.4.2 Lista Resumida dos Componentes em Aço.....	64
2.5.4.3 Quadro Resumo de Dados.....	65
2.5.4.4 Entrevista.....	65
2.6 Duas Outras Soluções.....	67
2.6.1 Entrevista.....	76
2.7 Cruzamento de dados e Análises Comparativas.....	79

CAPÍTULO 3: CONFIGURAÇÃO DA BASE DE DADOS

3.1 Introdução ao Projeto.....	84
3.2 Definições Iniciais.....	89
3.2.1 Limites de Projeto e Partido Arquitetônico.....	89
3.2.2 Programa Arquitetônico.....	93
3.2.3 Modulação de Projeto.....	97

CAPÍTULO 4: ANTEPROJETO ARQUITETÔNICO

4.1 Projeto Básico.....	101
4.2 Modulação Construtiva e Solução Arquitetônica.....	104
4.3 Sistema Estrutural.....	107
4.4 Desenhos Técnicos Arquitetônicos.....	110
4.5 Desenhos Técnicos do Conceito Estrutural.....	123
4.6 Prédimensionamento Estrutural.....	126
4.6.1 Considerações de Materiais.....	126
4.6.2 Cargas Adotadas e Sistema Estrutural.....	126
4.6.3 Resultados.....	127

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Performance Global do Projeto	128
5.2 Sequência de Montagem e Execução da Obra.....	132
5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	134
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
APÊNDICES.....	139

ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEF – Caixa Econômica Federal

CBCA- Centro Brasileiro da Construção em Aço

CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo

CGA – Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – USIMINAS

COHABs – Cooperativas Habitacionais (estaduais em todo país exceto no estado de São Paulo onde são municipais)

CREA – Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia

FCO – Fundação Christiano Ottoni

FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

PAR – Programa de Arrendamento Residencial

IISI – International Iron and Steel Institute

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia

PBQPh – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no habitat

PSQs – Planos Setoriais de Qualidade

LISTA DE FIGURAS

Figura Prefácio: Projeto de Lúcio Costa para a Cidade de João Monlevade. Vista Geral da Implantação

- 1.1** O Pedregulho
- 1.2** Edifício Copan, São Paulo-SP 1951-52
- 1.3** Conjunto Juscelino Kubitschek, Belo Horizonte – MG , 1951
- 1.4** Quadras Econômicas de Brasília-DF, 1985
- 1.5** Apartamentos Econômicos de Gambôa, Rio de Janeiro-RJ 1933
- 1.6** “Painéis” de malha de taquara, barro liso e caiação no projeto das residências de operários de João Monlevade-MG
- 1.7** Plano de ocupação da faixa urbana de linha férrea no Rio de Janeiro – Arquiteto Sérgio Bernardes
- 1.8** Edifícios residenciais próximos ao campus da UnB – Arquiteto João Filgueiras Lima
- 1.9** Seis Casas a Baixo Custo (1980-81) – Arquitetos Éolo Maia, Jô Vasconcelos e Sylvio Podestá
- 1.10** Unidade de Habitação de Marselha – Arquiteto Le Corbusier
- 1.11** Vila Operária de Weissenhof – Arquiteto Mies van der Rohe
- 1.12** Vila de Trabalhadores da Quinta da Malagueira – Arquiteto Álvaro Siza
- 1.13** Vila Olímpica de Barcelona
- 2.1** Unidade típica, sequência construtiva e vista de canteiro (Itaim Paulista–SP)
- 2.2** Planta do pavimento tipo do edifício Múltipla - Alphametla
- 2.3** Seções transversais de perfis formados a frio
- 2.4** Sequência de montagem das estruturas metálicas do edifício Múltipla / Alphametal
- 2.5** Sequência de execução das lajes com do edifício Múltipla / Alphametal
- 2.6** Sequência de execução das alvenarias com visualização das ligações da estrutura metálica do edifício Múltipla / Alphametal
- 2.7** Detalhe da pintura elastomérica entre reboco de revestimento das alvenarias e vigas do edifício Múltipla / Alphametal
- 2.8** Vistas externa (a) e interna (b) do quadro executado de alvenaria do edifício Múltipla / Alphametal.
- 2.9** Edifício Alusa / Brastubo
- 2.10** Pavimento tipo do edifício Alusa / Brastubo
- 2.11** Sistema construtivo com recobrimento das alvenarias e estrutura do edifício Alusa / Brastubo
- 2.12** Ligações parafusadas do edifício Alusa / Brastubo
- 2.13** Sistema de lajes do edifício Alusa / Brastubo
- 2.14** Ligações entre as alvenarias de tijolos furados cerâmicos convencionais e a estrutura do edifício Alusa / Brastubo
- 2.15** Revestimento externo do edifício Alusa / Brastubo, em reboco de argamassa
- 2.16** Pavimento-tipo inicial do edifício Camargo Corrêa-Usiminas
- 2.17** Modulação do projeto do edifício Camargo Corrêa

- 2.18 Pavimento-tipo do edifício Camargo Corrêa, com o alargamento da caixa de escada
- 2.19 Edifício Bouganville
- 2.20 Pavimento tipo do edifício Bouganville
- 2.21 Espaço de entre-forro do edifício Bouganville
- 2.22 Sistema de estabilização da estrutura do edifício Bouganville
- 2.23 Ligações aparafusadas do edifício Bouganville
- 2.24 Processo de montagem da estrutura com grua apoiada sobre vigas
- 2.25 Fixação das Placas de granito sobre a estrutura auxiliar de fachada
- 2.26 Sistema de fixação do fechamento externo no Hotel Íbis, São Paulo – SP
- 2.27 Paginação de painéis de concreto celular autoclavado nas paredes de hotel em Caldas Novas – GO
- 2.28 Soluções de fixação em painéis de concreto celular autoclavado
- 2.29 Coordenação modular entre sistemas construtivos e notação técnica
- 2.30 Tabela global de parâmetros de projeto para eficiência energética e conclusões de Grimshaw e equipe para definições do estudo no Rio de Janeiro
- 2.31 Especificações Básicas do projeto de Grimshaw no Rio de Janeiro
- 2.32 Condicionamento natural da edificação
- 2.33 Simulação de sequência de execução do módulo básico
- 2.34 Módulo básico pronto e vistas gerais do conjunto
- 2.35 Protótipo do sistema de Pisos Esbeltos (“slimflor”) e detalhe geral de sistema de forma incorporada encaixada em vigas de abas desiguais (“slimdeck”)
- 3.1 Condomínio residencial (Cotia-SP) – Arquiteto Joan Villà
- 3.2 Vila São José – Arquiteto Alcino Fonseca
- 3.3 Projeto vencedor do 2º Prêmio Usiminas de Arquitetura em Aço – Arquiteto Sylvio de Podestá
- 3.4 Delimitações da área de projeto
- 3.5 Apartamentos de quarto conjugado das décadas de 30 a 60
- 3.6 Diagrama em corte esquemático com setorização dos usos e visualização do condicionamento ambiental natural
- 3.7 Sistema de coordenação modular extraído da Norma DIM 1800 e sua relação tridimensional com os elementos construtivos
- 4.1 Ilustração do pavimento tipo inicial consolidado no processo de projeto
- 4.2 Simulação de transformação do pavimento tipo
- 4.3 Trincas no reboco a partir da extremidade da abertura
- 4.4 Desenho do sistema *Slimflor*® com fôrma-laje metálica e foto de ensaios estruturais
- 4.5 Planta de Implantação
- 4.6 Planta pavimento térreo
- 4.7 Planta pavimento tipo inicial
- 4.8 Planta pavimento tipo modificado
- 4.9 Planta quarto pavimento
- 4.10 Planta cobertura
- 4.11 Corte longitudinal 1
- 4.12 Corte longitudinal 2
- 4.13 Corte transversal

- 4.14** Fachada frontal
- 4.15** Fachada fundos
- 4.16** Fachada lateral direita
- 4.17** Fachada lateral esquerda
- 4.18** Detalhe
- 4.19** Planta quarteirão
- 4.20** Planta subsolo / garagem (estudo de possibilidade)
- 4.21** Planta ampliada da unidade de dois quartos
- 4.22** Estrutura – Planta pavimento tipo
- 4.23** Estrutura – Cortes longitudinal e transversal
- 4.24** Estrutura – Detalhes

- 5.1** Obra em execução em Tóquio, Japão, detalhe do orifício para injeção de concreto pressurizado nos pilares metálicos tubulares. Foto do Autor
- 5.2** Sequência de montagem e execução da concepção arquitetônica apresentada

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Lista de materiais estruturais – Edifício Múltipla / Alphametal

Tabela 02 – Quadro resumo – Edifício Múltipla / Alphametal

Tabela 03 – Lista resumida de materiais estruturais – Edifício Alusa / Brastubo

Tabela 04 – Quadro resumo – Edifício Alusa / Brastubo

Tabela 05 – Lista resumida de materiais estruturais – Edifício Camargo Corrêa / Usiminas

Tabela 06 – Quadro resumo – Edifício Camargo Corrêa / Usiminas

Tabela 07 – Lista resumida de componentes de aço – Edifício Bouganville

Tabela 08 – Quadro resumo de dados – Edifício Bouganville.

Tabela 09 – Resumo do pré-dimensionamento estrutural da concepção de projeto proposta.

Tabela 10 – Quadro resumo das características dimensionais e construtivas da concepção de projeto proposta.

Tabela 11 – Quadro comparativo entre valores levantados nos projetos analisados

RESUMO

O estudo representado neste trabalho tem por objetivo desenvolver um anteprojeto arquitetônico de edifício residencial multifamiliar vertical com estrutura e componentes construtivos fabricados a partir de aço planos. O desenvolvimento do projeto foi precedido por estudos de casos de experiências recentes de construções no mercado brasileiro que lidaram com o mesmo tema valendo-se de sistemas estruturais em aço para materializá-los.

O processo de configuração da base de dados que respaldou as decisões de projeto fez referência constante às verificações detectadas nos estudos de caso apresentados. A definição final desta base de dados de projeto ocorreu com o acréscimo de valores considerados como diferenciais para configuração de uma proposta original ao tema abordado.

Os principais parâmetros técnicos para desenvolvimento do projeto foram a determinação de um sistema de modulação coordenado com princípios construtivos e estruturais e o desenvolvimento de uma planta flexível que atendesse tanto aos programas dos apartamentos geralmente produzidos para o mercado de unidades habitacionais econômicas quanto a possibilidades de evolução gradual do mesmo. Uma unidade com 2 quartos pode passar para três ou quatro quartos com aumento relativo da infra-estrutura de espaços de serviços (banheiros) e da área de convívio (estar e jantar) ao aumento d número médio de moradores previsto por cada programa.

Aos desafios funcionais propostos no desenvolvimento do projeto somaram-se outros de ordem estética, como desenvolvimento de volumetria e composição de fachadas heterogêneas, e ambientais, como ventilações cruzadas permanentes em todas as unidades e dispositivos para coleta e armazenagem de água pluvial para finalidades onde sua qualidade não comprometa. A especificação de processos construtivos industrializados, com redução das perdas envolvidas na metodologia construtiva, e o desenvolvimento de solução com características de desempenho da construção evolutivas ou próximas aos valores explicitados nas análises iniciais de projeto foram também premissas para a definição da concepção arquitetônica desenvolvida. O resultado final atende satisfatoriamente a todos os desafios estabelecidos ou indicados ao longo do trabalho.

Palavras Chave: Arquitetura, residencial, aço planos.

ABSTRACT

This work's goal was to configure a multifamily, medium rise, residential building architectural design with structural members and building systems manufacture from flat steel supplies. It was developed to offer a low income residential market design solution gathering the advantages of building systems previously exposed on case studies and other arguments configured as a design guidelines data base.

The housing project background was established by steel structure and building systems good practice construction requirements along with more specific architectural challenges such as volume arrangements, image related aspects associated with its construction technics and coordination among different program items space requirements. Architectural program was defined to cover usual low income residential market demand and future plan evolution possibilities.

The design task was supposed to respond as well to current environmental issues on its material specs and functionality aspects and achieved this concern by allowing cross ventilation on its plan solution, on proposing rain water storage systems for specific uses and thought sustainability of its materials and processes.

Key Words: Architecture, housing, flat steel.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, irmãos, avós e a uma Mocinha especial.

A todas as pessoas determinantes na nossa formação profissional: colegas de trabalho da CGA na Usiminas, da GSI Architects nos Estados Unidos e os que batalham na tarefa de fazer arquitetura no Brasil. Aos professores, amigos e colegas cuja convivência foi ou é crucial para evoluir sempre a maneira de ver as coisas.

PREFÁCIO

No ano de 2004 o mais importante salão de tecnologia e comércio da indústria náutica mundial, BREST 2004, acontece em julho na Bretanha, França. Jangadeiros, que com alguma frequência são vistos no mar a cento e cinquenta milhas náuticas da costa brasileira por outras embarcações esportivas ou comerciais, foram convidados a participar especialmente do evento. Quatro países, dentre os quais o Brasil, têm pavilhões de destaque na feira.

Os dezessete pescadores nordestinos que usam as jangadas como ferramenta de trabalho chamaram a atenção de sofisticadas facções da indústria náutica global por não utilizarem sequer bússolas em seus processos de navegação e flutuarem no mar aberto na simplicidade de suas embarcações sem qualquer equipamento moderno ou mesmo uma simples amarração de seus corpos ao barco. Alguns contam histórias de virtuais renascimentos após situações de naufrágio em que nadaram por mais de dez horas seguidas para salvarem-se. Outros, dos muitos que não sabem sequer nadar e entregam-se por ofício ao mar aberto, não tiveram a mesma sorte e foram vítimas fatais desta combinação controversa de necessidade de sobrevivência, precariedade perante infra-estruturas tecnológicas disponíveis e demonstração de superação e criatividade para, com os recursos acessíveis, construir mecanismos simples mas eficazes o suficiente para lidar com a complexa situação imposta pelo oceano. Perguntado sobre seu sistema de navegação um desses pescadores descreve ao mesmo tempo inocente e com essencial consistência, que “navegamos sem bússola, só mesmo com a imaginação”.

Um dos que embarcam para o evento foi entrevistado por repórter que elaborava matéria sobre a feira náutica e questionado sobre qual deveria ser a intenção por trás da homenagem e do convite que lhes foi prestado pela elite mundial da navegação. Em meio a uma aula de etiqueta, encomendada pela associação de classe para não “fazerem feio” na França o representante brasileiro abandona momentaneamente a descontração sugerida por aqueles ensinamentos ‘desconcertantes’ e responde devagar, pensando por partes na dúvida que o pegara desprevenido, não despreparado:

_ “Primeiro achamos que será uma grande oportunidade de conhecer e aprender coisas novas para melhorar nossas condições de trabalho. Depois temos certeza que o convite veio porque também temos o que ensinar sobre um modo de navegação original que desenvolvemos em barcos únicos, como são tantos outros pelo mundo. Agora quero dizer também, em meu nome e de meus colegas, que este convite, independente da intenção, é um grande incentivo para manter a tradição das jangadas que chegou até nós contada pelos nossos pais, tios, avós e nos permite tirar o sustento da família até hoje, como eles fizeram.”

As vésperas do prazo de finalização do presente trabalho esses relatos nos fizeram relacionar seus conceitos explícitos e subentendidos com a generalidade da situação que estávamos abordando. Acredita-se na possibilidade de ampliar a percepção e abrangência dos dados da situação descrita a quaisquer ou várias outras delimitações de campos de raciocínio e trabalho. No caso da abordagem arquitetônica do tema habitacional todos os componentes relacionados na situação acima, ou dela decorrentes, compõe a base de dados com a qual devemos trabalhar e representam a integridade de uma situação que não deve ter presumidos nem super-valorizados nenhum de seus aspectos, sejam tecnológicos, sociais, históricos, econômicos ou culturais. O enfoque do trabalho desenvolvido nesta dissertação é prático e baseado no desenvolvimento tecnológico de uma solução arquitetônica. No entanto, é forte a crença de que a apropriação das diferentes tecnologias incorporadas à consolidação final de um projeto não deverá ser resultado de uma incorporação imediata de solução técnica importada de outro contexto, a revelia da rica tradição construtiva que temos cultivada em nosso país, tanto na prática do canteiro de obras quanto no desenvolvimento dos raciocínios e definições de prancheta.

Cabe lembrar que soluções originalmente estrangeiras são constantes no desenvolvimento da cultura brasileira e na construção de seus espaços públicos e privados. O inegável caráter de terra descoberta, conquistada e desenvolvida inicialmente por europeus e habitantes nativos e mais tarde por africanos e orientais

evidencia e registra esta característica. Alguma informação externa é sempre incorporada ou faz-se matriz inicial das diversas soluções originais presentes no desenvolver de nossa cultura, seja ela uma jangada ou uma proposta do Arquiteto Lúcio Costa para a vila operária de João Monlevade em Minas Gerais (foto 01).

A autenticidade cultural num contexto de informações e tecnologias genéricas vindas de diversas fontes e facilmente disponíveis talvez esteja na postura em lidar com estes dados com o conhecimento de bases históricas (remotas e recentes) e percepção do contexto atual. Cabe registrar que também não se acredita na obrigatoriedade em transformar toda e qualquer solução antes de incorporá-la a um determinado contexto. Essencial à tarefa de projeto é o controle, pelo arquiteto e sua equipe, na definição de suas intenções, seu embasamento nas evidências precedentes às mesmas e no controle processual das soluções por elas geradas.

Parte significativa de um processo de projeto não é necessariamente óbvio. Um ou outro detalhe sem proporção preestabelecida pode até não se estabelecer lógico. Mas grande parte dele pode e deve ser orientado por parâmetros de organização e referências que estabeleçam pontos comuns para uma coordenação lógica mínima entre seus diversos componentes.

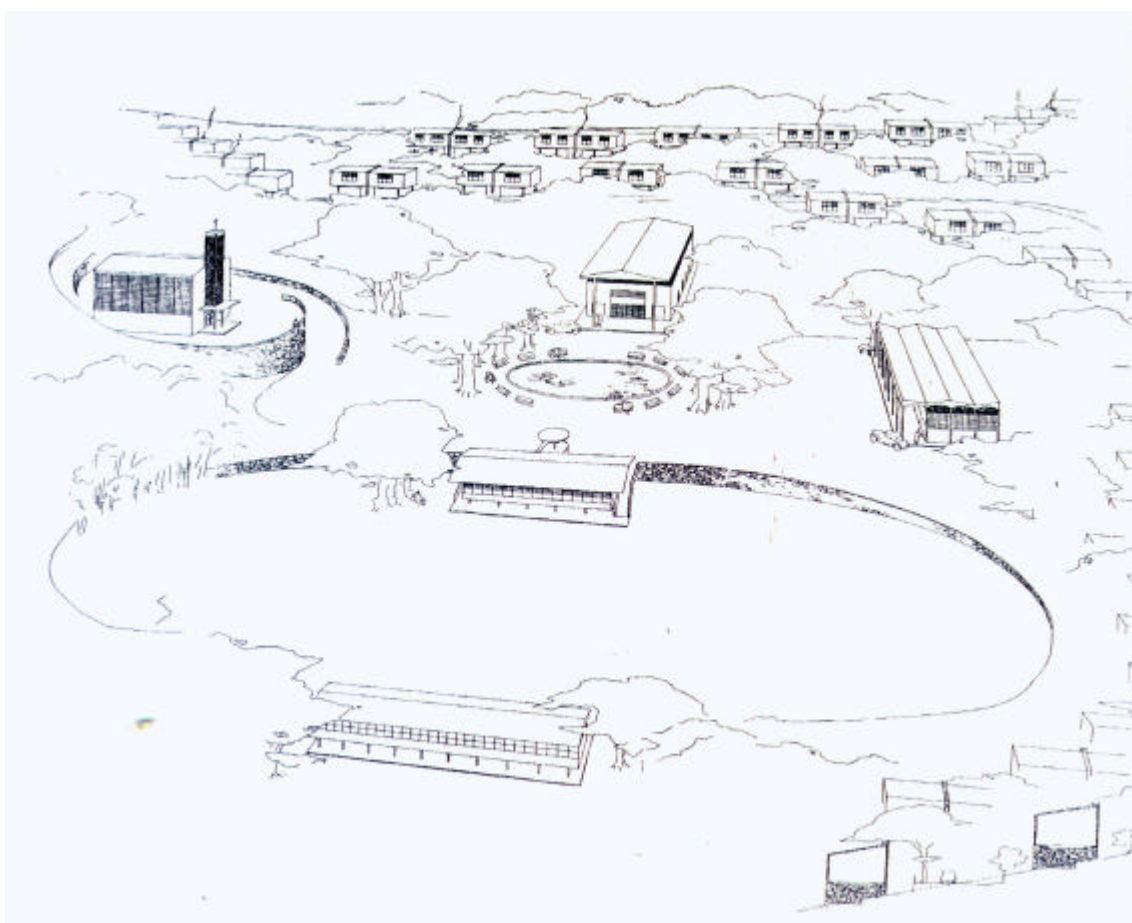


Figura: Projeto de Lúcio Costa para a Cidade de João Monlevade
Vista Geral da Implantação (COSTA, 1995)

CAPÍTULO 1 : INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O tema que motiva este trabalho é e vem sendo, há tempos, igualmente uma estatística negativa no quadro do desenvolvimento sócio-econômico do país e fonte inspiradora de diversos estudos, projetos e tantas outras dissertações e teses acadêmicas. Os últimos números do déficit habitacional brasileiro, segundo pronunciamentos oficiais do Ministério das Cidades, estão em 6,65 milhões de moradias além de outro valor tão ou mais significativo ser representado por moradias em subcondições de higiene, segurança e outras deficiências. A mesma fonte registra que 83,2% deste déficit concentra-se em famílias com renda inferior a três salários mínimos, 41% de seu montante é relativo a famílias que habitam a região sudeste e 32% a nordeste. O Secretário Nacional da Habitação em exercício no ano de 2004, Sr. Jorge Fontes Hereda, e sua equipe prevêm que, para um equacionamento planejado do Déficit até o ano de 2023 fazem-se necessários investimentos de R\$ 245 bilhões, ou R\$ 12,2 bilhões por ano, com construção de 600.000 a 700.000 moradias por ano até a data referida (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004).

Outros dados significativos para o início das discussões sobre o tema habitacional são a previsão de uma concentração próxima a 90% da população brasileira nos centros urbanos até o fim de 2008. Os atuais índices de concentração por região, segundo a CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção, são de 69,80% na região Norte, 69,00% na Nordeste, 86,70% na Centro Oeste, 90,50% na Sudeste e 80,90% na Sul (CBIC, 2004). Frente a estas informações têm-se as estratégias anunciadas pelo governo para estimular a produção de imóveis residenciais no país, que passam por três meios principalmente:

- a **Caixa Econômica Federal**, maior agente financiador da construção habitacional no país e principal ferramenta fomentadora do mercado imobiliário residencial do próprio governo, atua no gerenciamento direto de fontes de recursos relacionadas a compra e

construção de novos imóveis como o FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço) dos trabalhadores;

- os **órgãos públicos** em três instâncias que sempre atuaram no setor, sendo os Ministérios e Secretarias Públicas Federais, as Cooperativas Habitacionais, COHABs, estaduais ou municipais, as Secretarias de Habitação das Prefeituras ou a CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano) no caso específico do estado de São Paulo;
- finalmente, a **iniciativa privada**, que mais recentemente vem sendo atraída pelos próprios dados de mercado a ampliar sua participação espontânea no setor consumidor de recursos mais escassos, e cuja crescente participação no combate ao déficit é vista como imprescindível pelo atual governo para combatê-lo de forma minimamente eficaz.

As três fontes de financiamento citadas são especialmente importantes para a concepção de projeto porque ou têm padrões técnicos próprios, caso dos manuais de engenharia e construção da CEF ou da CDHU e dos códigos de obras de prefeituras, ou são regidas, como as construtoras de mercado, pelas normas técnicas brasileiras da ABNT, PSQs (programas setoriais de qualidade), pelo PBQPh (Plano Brasileiro de Qualidade e Produtividade no habitat) e sujeitas a fiscalizações/exigências de CREAs (Conselhos Regionais de Engenharia e Arquitetura), de outros órgãos públicos de segurança civil e do código de direito dos consumidores.

As contribuições para um cenário melhor podem vir de cada competência individual ou organizada, e, acreditando nisso, encontra-se a principal motivação para o desenvolvimento do tema, não bastasse o diagnóstico descrito. O desafio da habitação acessível é alvo constante no trabalho de vários arquitetos e equipes de projeto. Os depoimentos, as propostas visionárias, os trabalhos escritos e as várias e valiosas obras construídas em escala discreta ou imponente são os principais instigadores de uma contribuição profissional individual frente a questão habitacional coletiva, almejando reunir em solução própria alguns

dos ingredientes presentes nas manifestações consideradas mais abrangentes e complexas na abordagem deste desafio.

1.2 Habitações coletivas - Arquitetura

No cenário nacional, Lauro Cavalcanti reúne em dissertação de mestrado defendida junto à Universidade Federal do Rio de Janeiro na década de oitenta intitulada “Casas para o Povo, Arquitetura Moderna e Habitações Econômicas” (CAVALCANTI, 1983) importantes depoimentos de quatro expoentes da arquitetura moderna no Brasil. Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Ernani Vasconcelos e a dupla Carmem Portinho e Affonso Eduardo Reidy têm registradas no trabalho diversas posturas sobre o tema que nem sempre podem ser explicitamente lidas na experiência das obras que realizaram. Cavalcanti cita no trabalho que para Reidy e Portinho por exemplo, “o problema da habitação está intrinsecamente ligado ao transporte...” e assim projetam sua principal obra habitacional “dispondo de serviços que lhe permitam certa autonomia...”. O edifício, conhecido como **‘O Pedregulho’** (figura 1.1), tem partido arquitetônico com formas sinuosas no seu bloco principal e programa funcional complexo apresentando-se na paisagem com boas soluções de projeto, sendo um dos marcos da expressiva arquitetura moderna brasileira. Para Ernani de Vasconcelos no entanto, pioneiro no comando da COHAB do Rio de Janeiro ainda no governo Carlos Lacerda o edifício do Pedregulho “...era um sonho. A arquitetura é muito gostosa mas não é, de forma alguma, habitação popular; aquilo era para família nobre.” Para ele a arquitetura dita popular não condiz com eventual atitude de arquitetos que querem fazer a obra perfeita e famosa.

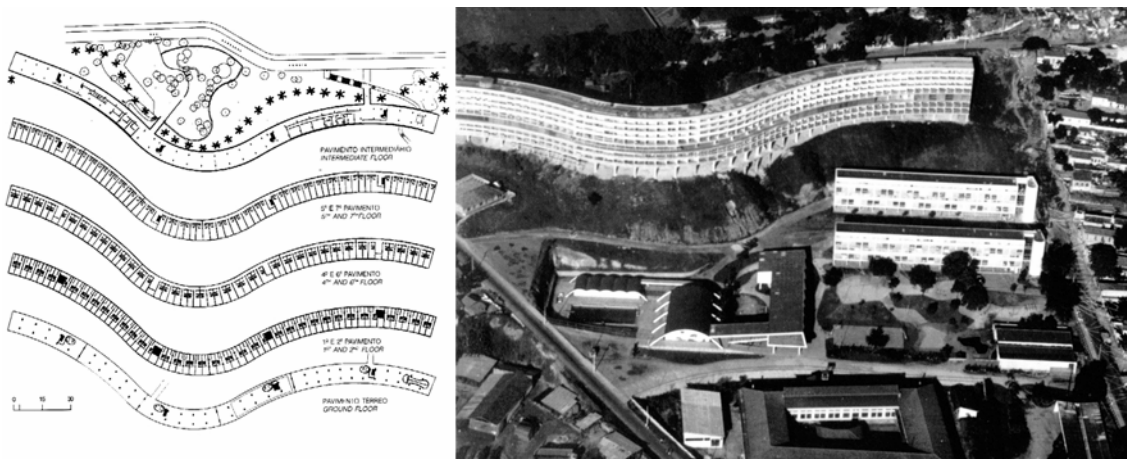


Figura 1.1: ‘O Pedregulho’ (CAVALCANTI, 1987)

Niemeyer tem registrado no mencionado trabalho sua conhecida postura política. Para ele “a contribuição que o arquiteto pode dar não é sentado na sua prancheta e, sim engajado em movimentos progressistas”. Continua seus depoimentos dizendo que “...o que se pode fazer está muito longe de escala razoável. Acho essa questão de habitação popular algo sempre tratado de forma demagógica e paternalista”, diz o mais representativo e importante arquiteto brasileiro. Consideradas ou não na íntegra estas frases convivem, vindas da mesma fonte, com importantes obras habitacionais coletivas tais como o **Edifício Copan** (1951-52) em São Paulo – SP (figura 1.2) e o **Conjunto Juscelino Kubitschek** (figura 1.3) em Belo Horizonte – MG (1951), ambas representativas de época em que o tema era abordado em escala grandiosa. Não é possível dissociar estas e várias outras de suas obras da imagem do arquiteto “sentado na sua prancheta”.

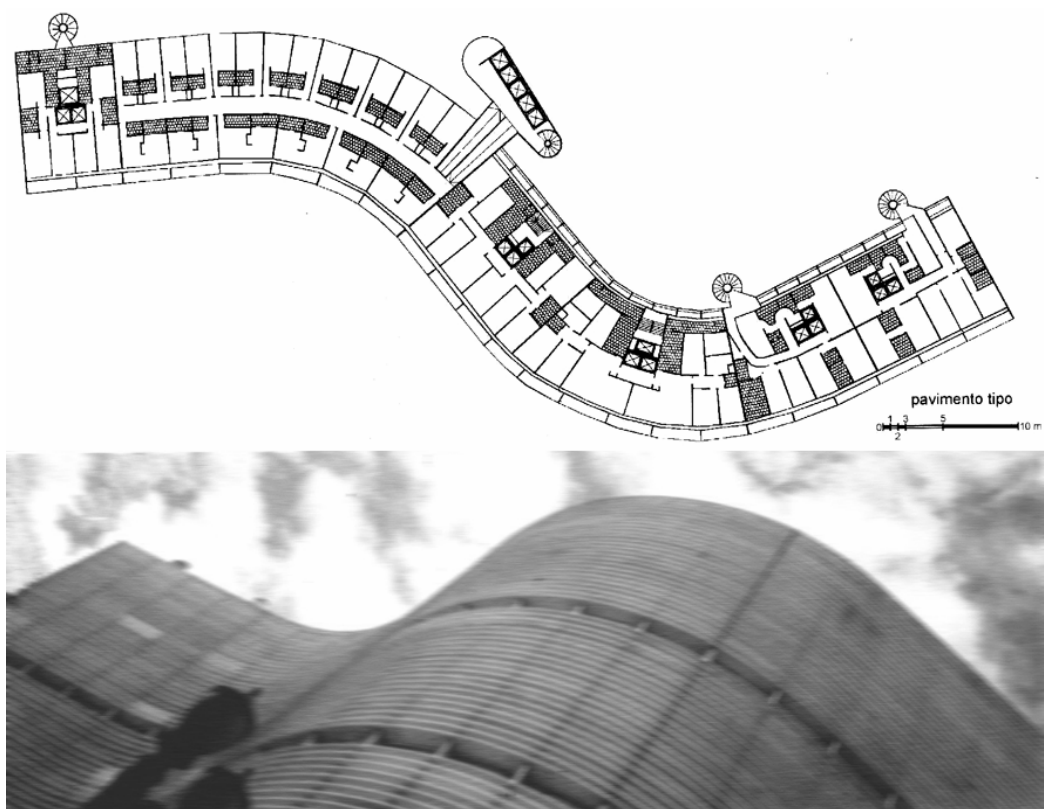


Figura 1.2: Edifício Copan, São Paulo – SP, 1951-52 (SAMPAIO, 2002)

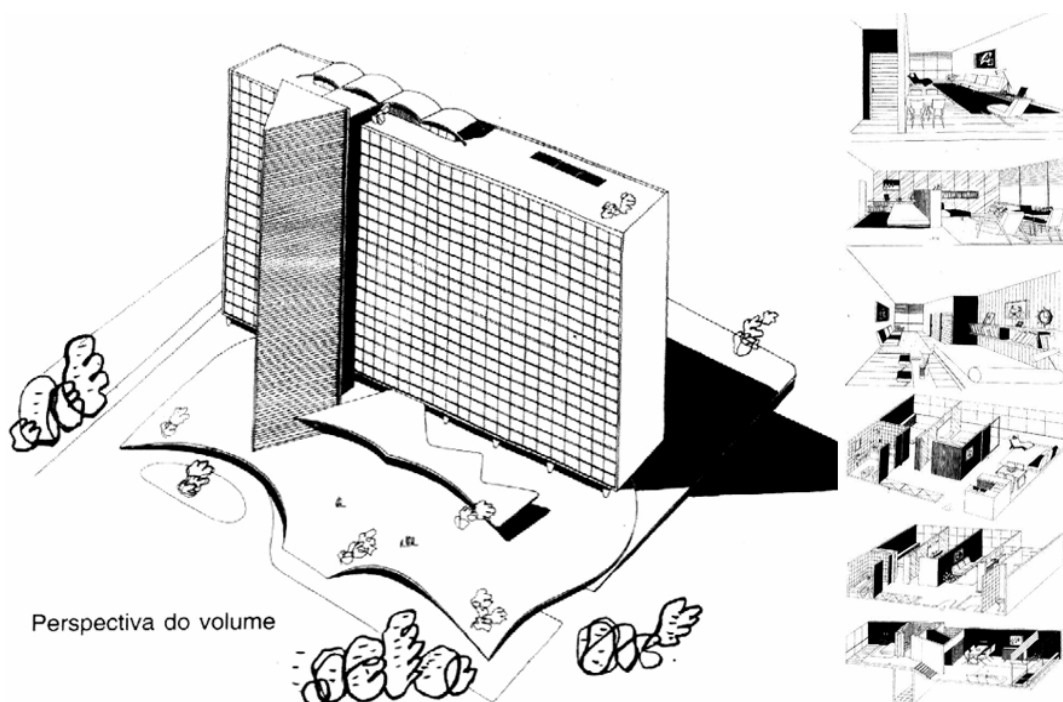


Figura 1.3: Conjunto Juscelino Kubitschek, Belo Horizonte – MG , 1951 (SAMPAIO, 2002)

Já Lúcio Costa é mais cauteloso em seus depoimentos, sem deixar de registrar uma abordagem arquitetônica interativa com a questão social em frases do tipo “ é bom colocar o proletário comendo na mesa do burguês uma vez ou outra, diariamente só causará embaraços” ou “em outros países o operário, de modo geral, mora em casas alugadas, mudando de acordo com suas necessidades. No Brasil, com esse pavor de comunismo, a idéia é incluir em todo proletário a noção de propriedade. O operário pode morar até em casa de cachorro, mas é dele.” Independente do teor dessas e outras declarações, Lúcio Costa, talvez o principal articulador e impulsionador do que hoje temos como a mais representativa expressividade da imagem urbana brasileira, deixou registrado uma postura de projeto objetiva e consistente em vários trabalhos construídos como as **Quadras Econômicas de Brasília** de 1985 (figura 1.4) e os **Apartamentos Econômicos da Gambôa** de 1933 (figura 1.5), com solução de planta inúmeras vezes recorrente no tema de habitação popular: quadrado em quatro módulos distribuídos em dois quartos, sala e áreas “molhadas” com cozinha e banheiro. O já mencionado (brevemente no prefácio) projeto para a **Cidade de Monlevade** (1934) traz na proposta tecnológica de suas casas para operários

soluções que resgatam técnicas construtivas introduzidas nas cidades coloniais pelos portugueses. Os “painéis” de malha de taquara, barro liso e caiação (figura 1.6) que mais tarde seriam desenvolvidos pela equipe que acompanhara Lúcio Costa a Brasília e associados ao princípio dos painéis de argamassa armada são importante aspecto desse projeto não executado. Os projetos, textos e as atitudes profissionais da carreira de Lúcio Costa podem ser aferidos com profundidade e justiça nos livros **“Lúcio Costa, Registro de uma Vivência”** (COSTA. 1995) e na coletânea **“Lúcio Costa”** (WISNIK, 2001)



Figura 1.4: Quadras Econômicas de Brasília-DF, 1985 (WISNIK, 2001)

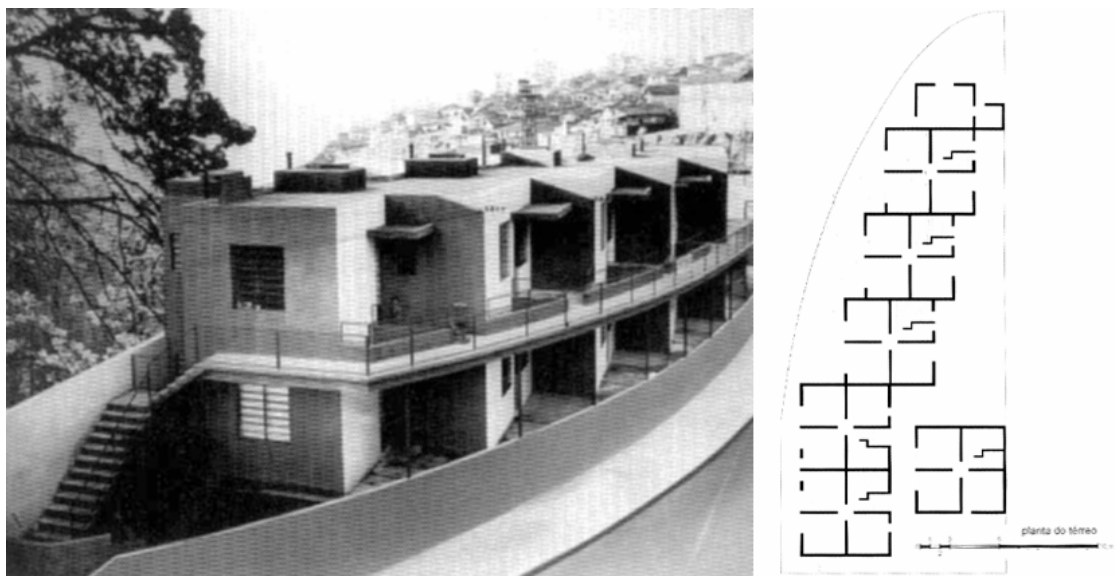


Figura 1.5: Apartamentos Econômicos de Gambôa, Rio de Janeiro-RJ 1933 (WISNIK, 2001).

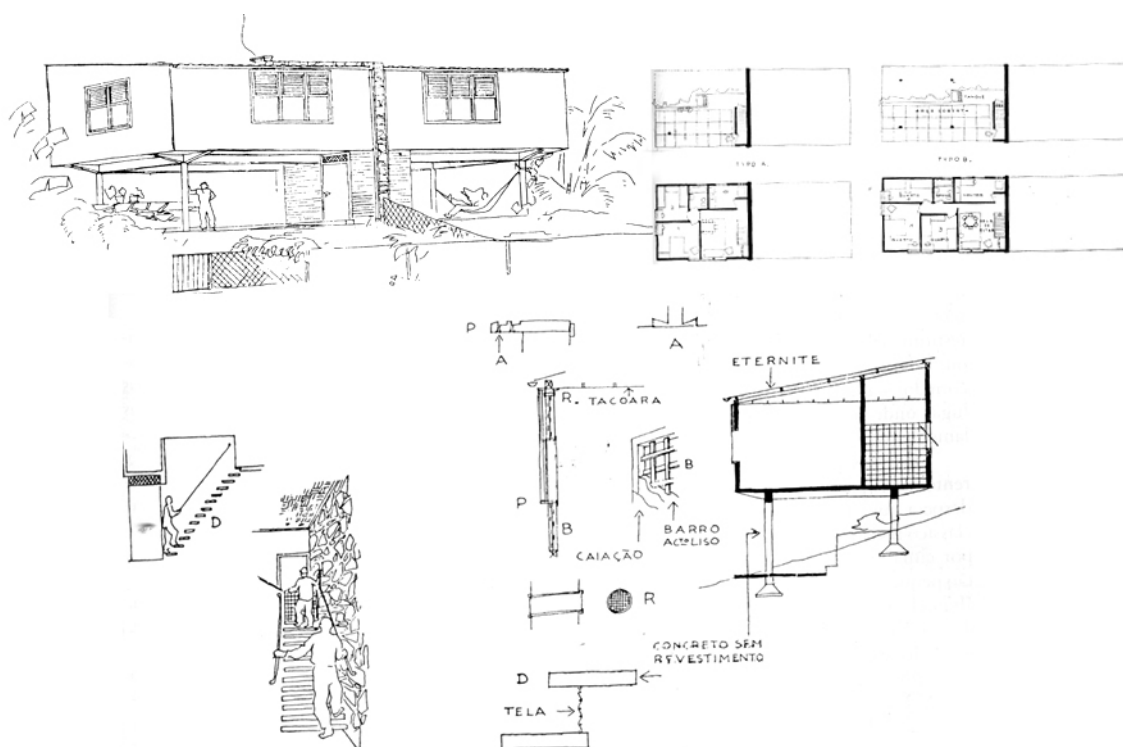


Figura 1. 6: “Painéis” de malha de taquara, barro liso e caiação no projeto das residências de operários de João Monlevade-MG (COSTA, 1995).

Notáveis soluções visionárias e nunca executadas podem igualmente marcar presença nesta coletânea de exemplos aqui citados. O arquiteto carioca Sérgio Bernardes, autor de várias obras construídas mas reconhecido e por vezes injustamente apenas lembrado pelos seus importantes estudos e simulações, desenvolveu na década de setenta os chamados módulos básicos de habitação de 25m² em células tridimensionais empilháveis (Revista Módulo, 1983). São notáveis também outros estudos seus como o plano de ocupação da faixa urbana de linha férrea no Rio de Janeiro com proposta de uso múltiplo envolvendo habitações e serviços públicos (figura 1.7). No curso desta trajetória recente da arquitetura projetada vieram vários outros arquitetos contribuindo com propostas às vezes mais marcadas pela racionalidade das soluções construtivas, outras com maior teor de originalidade e capacidade de surpreender quem as experimenta e ainda aquelas que contemplam bem os dois ingredientes. O caso das obras de João Filgueiras Lima, por exemplo, responsável por conceber projetos que trazem ambos aspectos citados. Começa sua carreira profissional em Brasília na sequência das realizações de Lúcio Costa e Niemeyer e projeta naquela cidade edifícios residenciais para professores da UnB de 1962 (LATORRACA, 2000) (figura 1.8). Os arquitetos Éolo Maia, Jô Vasconcelos e Sylvio Podestá desenvolvem trabalhos nesta área que instauram maneira diferente de encarar o tema, crítica ao extinto BNH, muito bem representada nos trabalhos das Seis Casas a Baixo Custo (1980-81) (figura 1.9), em conjunto projetado para a COHAB - São Paulo também do mesmo ano e noutros trabalhos. No livro **“3 Arquitetos”** (MAIA et al., 1985) com projetos de 1980 a 1985 registram o seguinte depoimento, em tom de protesto contra a política habitacional à época vigente:...”podem-se dizer duas coisas a respeito da atuação dos arquitetos brasileiros nisso que se convencionou chamar de habitações coletivas ou conjuntos habitacionais: que ela foi reduzida ou praticamente nula. Entre a insignificância e o nada cresceu no país um sistema habitacional imposto por um poder desvinculado da realidade, criaram-se os monstruosos conjuntos do BNH - Banco Nacional da Habitação, desrespeitou-se o direito de se ter um espaço urbano digno, dentro das tradições e vivências de quem vive lá. A praça, o encontro, a convivência foram destruídos. Toda a referência do dia-a-dia, essa coisa interpessoal que leva à amizade, ao bate-papo descompromissado, foi roubada aos moradores dos conjuntos.”

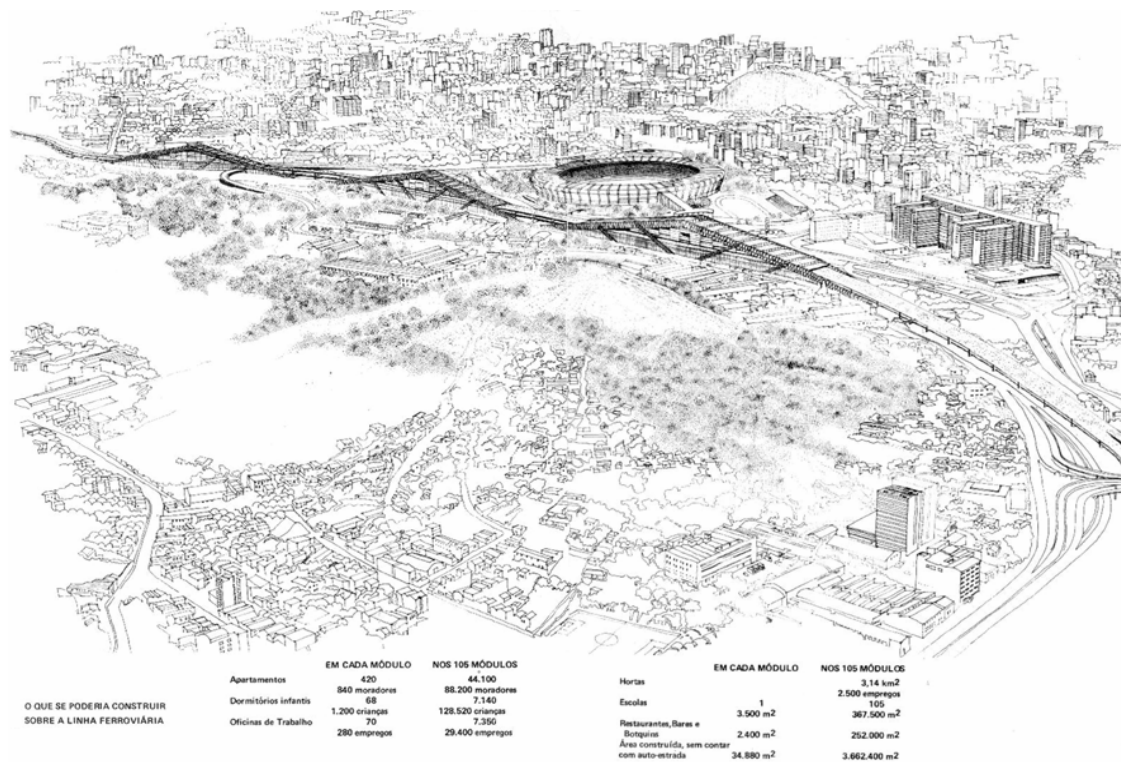


Figura 1.7: Plano de ocupação da faixa urbana de linha férrea no Rio de Janeiro – Arquiteto Sérgio Bernardes (Revista Módulo, 1983)



Figura 1.8: edifícios residenciais próximos ao campus da UnB – Arquiteto João Filgueiras Lima (LATORRACA, 2000)



Figura 1.9: Seis Casas a Baixo Custo (1980-81) – Arquitetos Éolo Maia, Jô Vasconcelos e Sylvio Podestá (MAIA et al., 1985)

No âmbito internacional, desde as contribuições da Bauhaus e outros movimentos de arquitetura moderna surgidos durante a reconstrução europeia no pós primeira guerra, incluindo seu principal mentor, o arquiteto franco-suíço Le Corbusier, também é representativo o envolvimento de arquitetos com o tema da habitação coletiva. Além da conhecida **Unidade de Habitação de Marselha** (figura 1.10) de Corbusier (SAMPAIO, 2002), podemos mencionar em destaque o plano da **Vila Operária de Weissenhof** (figura 1.11), próximo a Stuttgart na Alemanha, dirigido pelo arquiteto Ludwig Mies van der Rohe com o qual contribuíram mais dezesseis arquitetos (CARTER, 1999). Especialmente mencionáveis pela consistência de projeto, associando soluções técnicas com proposta estética e direções de organização e planejamento são os projetos do arquiteto português Álvaro Siza Vieira para a **Vila de Trabalhadores da Quinta da Malagueira** (figura 1.12) em Évora, Portugal e outro do mesmo autor em Amsterdã, Holanda (FRAMPTON et al., 1988). Várias cidades aproveitaram-se do fato de sediarem eventos internacionais de grande porte para redirecionarem seu planejamento urbano criando grandes bairros que mais tarde incorporam-se à infra-estrutura cotidiana regional. Dentre esses empreendimentos o que mais pode ser destacado pela qualidade dos projetos arquitetônico e urbanístico é a **Vila**

Olímpica de Barcelona (figura 1.13) com contribuições de vários arquitetos em suas propostas de habitação coletiva (BOHIGAS et al., 1992).

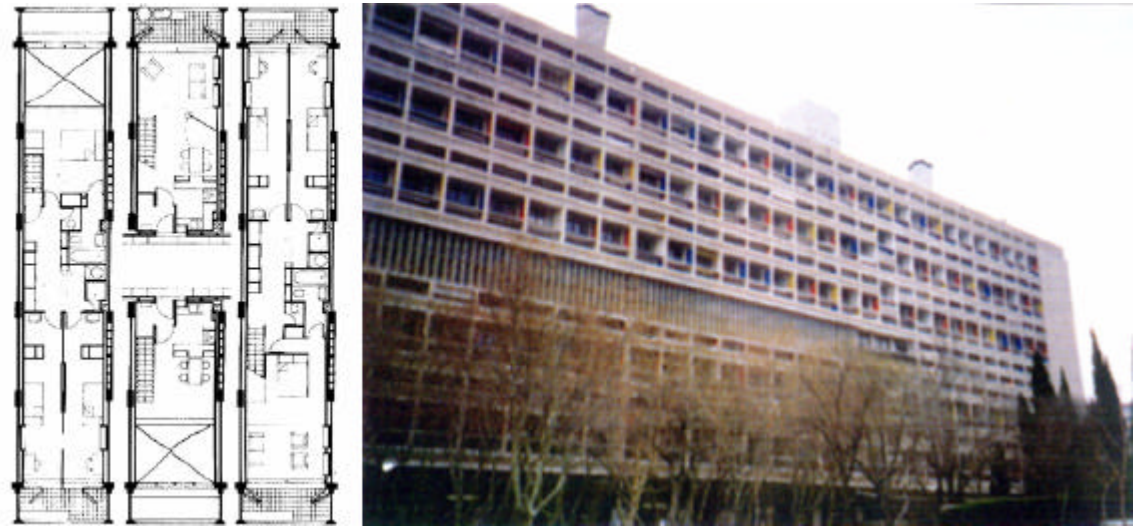


Figura 1.10: Unidade de Habitação de Marselha – Arquiteto Le Corbusier (SAMPAIO, 2002)



Figura 1.11: Vila Operária de Weissenhof – Arquiteto Mies van der Rohe (VILLINGER, 1998)

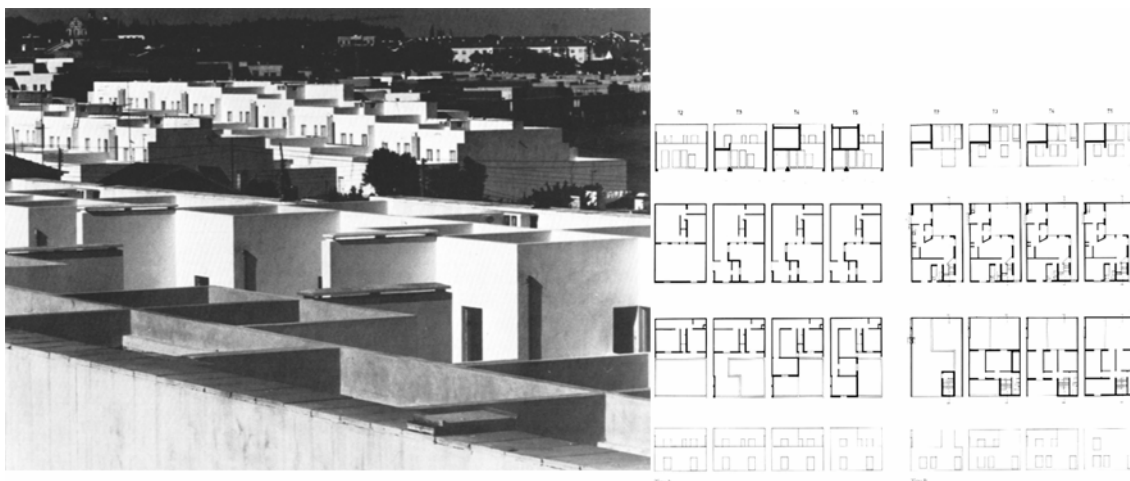


Figura 1.12: Vila de Trabalhadores da Quinta da Malagueira – Arquiteto Álvaro Siza
(FRAMPTON et al., 1988)

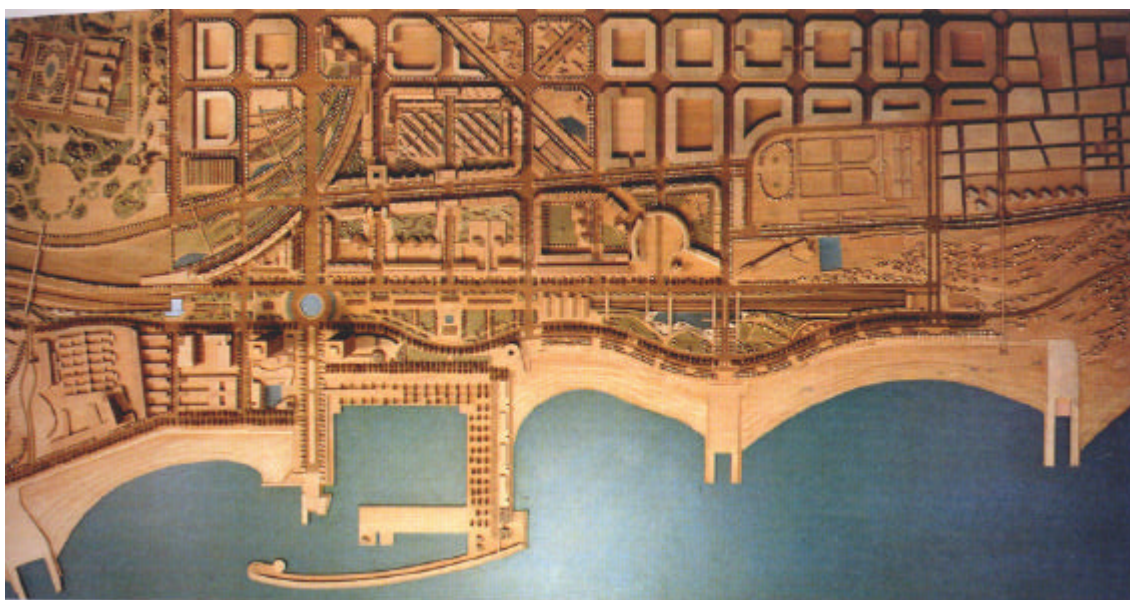


Figura 1.13: Vila Olímpica de Barcelona (BOHIGAS et al., 1992)

Esses exemplos de obras e depoimentos podem ser considerados precisos, consistentes, extremos, exagerados ou contidos. Podem representar parte ou combinação destas e outras qualificações. Foram seleccionados para ilustrar a crença de que é possível ao arquiteto identificar os condicionantes de uma certa situação, delimitar parâmetros de trabalho e, frente a ela, interagir com resposta digna aos desafios impostos, tanto pela profissão quanto por aspectos específicos de uma base de dados precedente ao projeto. Acredita-se que a

qualidade da arquitetura nas várias propostas relacionadas ao tema discutido neste trabalho é mais dependente de uma percepção da realidade identificada e do conhecimento técnico para materializar as soluções vislumbradas que das frases de efeito ou posições políticas assumidas por seus arquitetos. Só podem, portanto, sair da prancheta, do computador ou de outras fontes de produção de projeto que dispõe os arquitetos e não necessariamente devem ser precedidas da intenção em representar “projetos para obras perfeitas e famosas.”

Não está sendo descartada a noção clara de que algo conecta fortemente esta temática ao cenário das ações políticas. A incorporação prática desses trabalhos no cotidiano depende da ressonância de seus ideais na vontade política pública ou na iniciativa privada incentivada a atuar no setor, o que não vem acontecendo com a frequência necessária no cenário brasileiro das últimas décadas. Pode ser destacado sem medo que isto deve-se muito mais à pobreza das mentalidades dos envolvidos nas tomadas de decisões ou estabelecimento de estratégias que a recorrente carência de recursos usada com justificativa para manutenção e crescimento das deficiências em infra-estrutura básica descritas pelos vários índices estatísticos disponíveis.

1.3 Objetivos e Estruturação do Trabalho

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução arquitetônica completa em todos seus aspectos técnicos construtivos que interaja com os dados levantados e definidos como a base à qual a proposta deve responder de forma consistente e inclusiva. Este, por definições de antemão, deverá ser atingido através de solução com uso de componentes estruturais e outros elementos construtivos confeccionados a partir de matérias primas básicas de aços planos: bobinas e chapas.

O desenvolvimento do projeto tem como referências as principais vivências profissionais decorrentes dos últimos oito anos de trabalho como arquiteto, sendo as experiências individuais de projeto, um período de três anos e meio de contribuição com a empresa GSI Architects - Gilberti Spittler International, em Cleveland, EUA e os últimos três anos trabalhando como arquiteto na CGA - Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço na Usiminas. Destas três fontes, traz-se para o processo um desenvolvimento constante dos

ideais e raciocínios pessoais de projeto, uma experiência e conhecimento instrumental prático de coordenação entre sistemas e tecnologias de projeto em complexas construções industrializadas e, por último, realizações e desenvolvimentos com a incorporação dos ideais da industrialização construtiva através das estruturas de aço na realidade brasileira que vem sendo a causa da equipe da CGA há cerca de vinte anos. Servirão também como importante referência e fonte de informações as estratégias anunciadas no ano de 2004 pelo IISI – International Iron and Steel Institute para crescimento de mercado da siderurgia através da construção habitacional.

A metodologia de trabalho seguirá duas etapas de macro-organização que podem ser assim descritas e subdivididas:

1) Constituição da base de dados de projeto:

- análise e descrições técnicas de experiências recentes do mercado de construção público e privado em habitações coletivas estruturadas em aço com ênfase nos aspectos de projeto relacionados a custos, rendimentos, flexibilidade da proposta arquitetônica e performance estrutural de suas concepções quanto aos cuidados específicos das estruturas metálicas;
- seleção e breve análise de projetos relativos ao tema da habitação coletiva, independente de material estrutural, considerados referências de soluções arquitetônicas bem sucedidas;
- depoimentos e respostas a questões semelhantes direcionadas a arquitetos e engenheiros envolvidos com as experiências de projeto e/ou construções abordadas.

2) Elaboração de projeto arquitetônico:

- definição de programa e intenções de funcionalidade e flexibilidade espacial pretendida com o projeto bem como suas apropriações e tipos de uso possíveis de ser combinados com o habitacional predominante;

- delimitação dos limites de projeto segundo parâmetros coletados por experiências de mercado imobiliário e situações planialtimétricas mais restritivas e comuns confrontadas na prática;
- definições e justificativas dos parâmetros técnicos a serem utilizados e especificados referendando-se em aspectos de normas, instruções e manuais técnicos aplicáveis às condições de projetos habitacionais coletivos de andares múltiplos sendo principalmente: parâmetros iniciais de organização espacial e coordenação modular aplicáveis ao projeto; tipo de perfis e sistema estrutural mais adequados; meios de estabilização e maximização da performance estrutural global; sistemas construtivos complementares de lajes, vedações externas, divisórias internas, coberturas e outros componentes; estratégias de projeto para caracterização de isenção da proteção passiva contra incêndio de sua estrutura; soluções a serem adotadas para garantia de um bom condicionamento ambiental natural da edificação, prevenção e indicação dos melhores caminhos para coordenação interdisciplinar do projeto arquitetônico com seus complementares;
- depuração e revisão constante das soluções técnicas estabelecidas com o intuito de controlar o curso do projeto na direção de uma proposta estética condizente com a crença de uma concepção arquitetônica honesta, digna das práticas profissionais referendadas ao longo do trabalho;
- execução de pré-dimensionamento da solução estrutural, apresentação de seus resultados e cruzamento de dados com os dos edifícios analisados na primeira etapa do trabalho;
- execução de material gráfico de apresentação da proposta arquitetônica isolada e simulação de implantação urbanística possível com seus padrões dimensionais;
- descrição das etapas construtivas e detalhamento de cronograma de obra tecnicamente possível com recursos técnicos especificados.

Após o desenvolvimento das etapas descritas seguem-se as considerações finais analítica de seus resultados e conjunto de informações anexas julgadas pertinentes para compreensão dos projetos, além de suas justificativas e descrição dos raciocínios considerados.

CAPÍTULO 2: ANÁLISE DE PROJETOS EXISTENTES – ESTUDOS DE CASO

2.1 Introdução

Segue-se com a descrição e análise técnica de quatro projetos de mercado executados com soluções em estruturas de aço. Sua abordagem não se restringirá aos aspectos da solução estrutural, agregando a esta dados das características dimensionais e construtivas dos edifícios que contribuem para uma configuração da performance global das propostas. Os projetos a serem descritos serão os seguintes:

- solução utilizada pelo consórcio Múltipla / Alphametal para edifício de cinco pavimentos, com partido arquitetônico em “H”, tipologia V052 da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano de São Paulo, CDHU. A especificação integrada de sistema construtivo e projeto estrutural foi desenvolvida em conjunto por profissionais da CGA-Usiminas, FCO - Fundação Christiano Ottoni e empresas privadas de consultoria técnica;
- solução apresentada pelo consórcio Alusa / Brastubo para um edifício de sete pavimentos, também da CDHU, tipologia V072, desenvolvida por profissionais da Cosipa, empresas privadas de consultoria e suporte de desenvolvimento técnico das mesmas referências anteriores, CGA-Usiminas e FCO;
- projeto de edifício habitacional com finalidade de atendimento aos requisitos do Programa de Arrendamento Residencial, PAR da Caixa Econômica Federal, desenvolvida em conjunto por profissionais da CGA-Usiminas e da Construtora Camargo Corrêa e da empresa Mil Arquitetos;
- torre residencial em construção no município de Contagem – MG por empresa do mercado imobiliário, Construtora Castro Pimenta, com utilização de sistemas metálicos em quase todos componentes construtivos. O desenvolvimento dos

projetos e soluções técnicas aplicadas à obra é de responsabilidade total das empresas e profissionais envolvidos no empreendimento,

Duas outras situações de projeto serão abordadas a título de complementação das informações levantadas nas soluções construtivas das experiências anteriores. Um sistema construtivo aplicado a hotéis recém construídos na região de Caldas Novas – GO e um projeto contratado pelo IISI (International Iron and Steel Institute) a um escritório de arquitetura inglês como referência ilustrativa de uma estratégia desta entidade em incrementar o consumo global de aço através de suas aplicações em construções residenciais.

Todos os aspectos técnicos a serem abordados nos estudos de caso selecionados têm relação direta com o desenvolvimento dos seus projetos arquitetônicos, tendo sido por eles determinados. Dos quatro edifícios selecionados dois (o primeiro e o último) enquadram-se na situação prática de ocorrência mais típica, embora não recomendável, na realidade de mercado. Tratam-se de soluções em estrutura de aço adaptadas a projetos originalmente desenvolvidos para outra opção estrutural, o contraponto “recomendável” seria o desenvolvimento de solução com tecnologia construtiva pré-definida no processo de projeto. Os outros dois casos desenvolveram-se desta forma mais indicada e são projetos concebidos com solução estrutural em aço pré determinada. Estas situações díspares terão seus efeitos notados nos resultados práticos dos aspectos analisados. Estes serão divididos em três grupos: aspectos dimensionais, estruturais e construtivos. Os itens relacionados para avaliação das características dos edifícios analisados, as justificativas para sua inclusão num universo de critérios técnicos e a abordagem dada a cada um desses aspectos vêm a seguir.

2.2 Aspectos Dimensionais - Definições

2.2.1 Áreas de projeto

As áreas de projeto apresentadas são de caráter meramente descritivo e são importantes como referências comparativas das possibilidades de ocupação das unidades e de custo

relativo por unidade de área, permitindo também analisar o rendimento do prédio quanto às possibilidades de implantação em glebas ou lotes urbanos.

Área líquida por unidade: termo relativo à metragem quadrada de piso exposto do apartamento, é a área de uso efetivo da unidade habitacional.

Área do pavimento tipo: área do polígono definido pelos limites do perímetro externo de fachada de um pavimento tipo da edificação, inclui paredes externas e internas, áreas de circulações horizontal e vertical comuns às unidades privativas e aquelas destinadas a dutos verticais vazados para disposição de instalações técnicas complementares ou fosso de elevadores, quando houver.

Área útil por unidade: é a soma da área líquida dos apartamentos mais sua fração relativa das áreas comuns (área do pavimento tipo, menos as áreas líquidas de todas as unidades, dividida pelo número de unidades).

Área de projeção: é basicamente a área de cobertura do edifício, ou a projeção dos seus elementos construtivos mais extremos sobre o solo.

Área total construída: metragem quadrada total do edifício pronto (área do pavimento tipo vezes o número de pavimentos mais áreas de pilotis, garagens e outras de uso privativo ou comum não mencionadas)

Área de influência: é a área do retângulo constituído pelas retas paralelas às paredes mais extremas em ambas direções do pavimento tipo considerando-se os seguintes recuos mínimos: frontal de três metros (3,00m), laterais e de fundos de um metro e meio (1,50m).

Área para norma de incêndio: calculada segundo o exposto na página 2, item 3.2 da seção “Definições” especificada como “área bruta de pavimento”, da norma NBR 14432:2000 (ABNT, 2000): “Medida, em qualquer pavimento de uma edificação, do espaço compreendido pelo perímetro interno das paredes externas e paredes corta-fogo, excluindo a área das antecâmaras e dos recintos fechados de escadas e rampas.” A área total para determinar necessidade ou isenção de proteção passiva contra incêndio das

estruturas é esta multiplicada pelo número de pavimentos. Lembra-se que a mesma Norma, em seu Anexo A (normativo), item “c”, da página 6 estabelece que:

“c) estão isentas dos requisitos de resistência ao fogo estabelecidos nesta Norma as edificações:- cuja área total seja menor ou igual a 750m²;

2.2.2 Outras dimensões

Diversas dimensões são freqüentemente desprezadas nos desenvolvimentos de projetos de habitação popular, principalmente em sua solução mais comum, o partido em “H”, estão as dimensões relacionadas à área construída de fachada. A correta execução das paredes externas de um edifício segundo os princípios elementares de estanqueidade, resistência a impactos horizontais, performance termo-acústica e acabamentos é um item a ser considerado especialmente por poder influenciar nos custos e no desempenho técnico da edificação. Este item é tão intenso quanto outros menos esquecidos como a área total construída ou os sistemas estruturais, construtivos e acabamentos internos especificados. São estes os aspectos a serem mensurados para uma consideração de sua influência no desempenho de um projeto:

Perímetro de fachada: comprimento em metros do contorno externo do pavimento típico de um projeto.

Altura Total Construída: o pé-direito, distância piso a piso, ou a altura em metros do nível superior de uma laje ao nível superior da próxima multiplicado pelo número total de pavimentos da torre do edifício é sua altura total a ser construída.

Área total de Fachada: a multiplicação do perímetro de fachada pela altura total construída fornece a área total de fachada projetada. A principal correlação que deve ser feita para avaliação deste dado é sua razão com a área total construída do edifício. Como veremos, os casos descritos têm relações díspares de “m² de fachada/m² construído” o que impactua fortemente no custo de construção do projeto.

2.3 Aspectos Estruturais - Definições

2.3.1 Desempenho Global da Estrutura

O peso total da estrutura de aço de um edifício, e portanto grande parte de seu custo (entre 20% e 30% do custo de uma construção são referentes à sua superestrutura), tem relação direta com a modulação utilizada, o tamanho dos vãos projetados, o sistema de estabilização estrutural proposto e o número de pavimentos da torre típica, relacionado às cargas de vento consideradas no dimensionamento do sistema de estabilização e acumulação de peso nos pilares da base. Outra relação importante são as dimensões globais de esbeltez da malha estrutural proposta, em planta (comprimento e largura) com sua dimensão vertical (altura do edifício), que também contribui para o dimensionamento de seu sistema de estabilização segundo as cargas de vento consideradas em cálculo. Alguns pontos selecionados para a descrição da malha estrutural:

Peso das peças: análise separada dos pesos (kg) e das taxas de consumo (kg/m²) de todos os elementos estruturais principais de determinada solução, sendo vigas, pilares, escadas, contraventamentos, ligações e engradamento de cobertura.

Quantidade de peças: A quantidade de peças por área construída somada às informações de seus tamanhos e pesos isolados permitirão uma avaliação de rendimento de montagem de uma estrutura.

Ligações: a determinação do sistema de ligações utilizado, basicamente se parafusadas, soldadas ou mistas é relevante no conjunto das soluções técnicas de projeto. Cada uma tem suas vantagens e desvantagens, variando do custo de sua execução até o controle de sua precisão e agilidade de montagem.

Sistemas de estabilização: as soluções para estabilização da malha estrutural nas três direções necessárias, duas nos planos verticais de pilares e vigas transversal e longitudinal ao edifício e uma no plano horizontal da retícula de vigas e laje de piso, são também fatores que contribuem como decisões de projeto determinantes de sua

viabilidade. Estas soluções serão avaliadas e comentadas como vantagens ou desvantagens dentro de cada contexto.

Transporte e Montagem: o peso global da estrutura, as dimensões e pesos isolados de seus elementos fabricados, considerando as situações mais críticas de cada caso, permitirão avaliar outro forte indicador que é a relação “custo-benefício” de uma determinada solução de projeto. Os equipamentos e etapas necessários para transportar os elementos estruturais da fábrica ao canteiro de obras e o içamento da malha estrutural têm impacto significativo na viabilização de uma obra em aço, podendo variar muito de uma necessidade a outra.

2.4 Aspectos Construtivos - Definições

2.4.1 Desempenho construtivo das edificações

O desempenho construtivo de uma proposta deve ser considerado em igual proporção ao peso final de sua estrutura na análise de viabilidade de determinada solução arquitetônica. Esta definição abrange as soluções de interfaces entre a estrutura de aço e os outros componentes construtivos que fazem um edifício acabado. O sistema estrutural independente com a malha de pilares e vigas de aço e suas lajes tem características próprias e propaga aos demais sistemas como vedações externas e divisórias internas, necessidades de mecanismos que absorvam satisfatoriamente os diferentes comportamentos evitando a geração de patologias indesejadas. Em relação à estruturas de aço, pode-se citar parâmetros como a inércia do componente estrutural e a flexibilidade de suas ligações. A consequência desses parâmetros é uma maior suscetibilidade do conjunto estrutural a movimentações por esforços de cargas variáveis e amplitude térmica incidente, com transferência destes movimentos aos sistemas complementares conectados à estrutura. Há muito tempo estas questões são dominadas e contornadas por técnicas simples de solução das interfaces estrutura / vedações, estrutura / divisórias ou outras. Além de livros técnicos como **‘Estruturas de Aço, Conceitos, Técnicas e Linguagem’** (DIAS, 1998), o CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço), entidade ligada ao IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia), tem

publicado manuais técnicos com esclarecimento e detalhamento de soluções de projeto para as mais variadas situações defrontadas na prática. Poderíamos mencionar os que trazem soluções entre estruturas de aço e **Alvenarias** (NASCIMENTO, 2002), **Painéis de Vedação** (SILVA, 2003), **Proteção Contra Incêndio** (VARGAS, 2003), **Pintura e Tratamentos Superficiais** (GNECCO, 2003). Associar a ocorrência de patologias construtivas inesperadas à opção estrutural em aço de determinado edifício é, já há tempos, uma demonstração de desconhecimento e desinformação sobre as soluções técnicas que as evitam. Nos edifícios a serem analisados, esclareceremos ao máximo os mecanismos especificados nas interfaces entre estrutura e demais componentes construtivos, procurando compreender a opção especificada em cada contexto, inclusive com depoimentos dos técnicos envolvidos em sua determinação. Estes serão os principais tópicos abordados:

Vedações Externas: descrição do sistema usado e detalhamento de sua conexão com a estrutura.

Divisórias Internas: descrição do sistema usado e detalhamento de sua conexão com a estrutura.

Execução de Lajes: descrição do sistema usado e detalhamento de seu sistema de execução, principalmente quanto a escoramentos e tempo de desforma.

Sistema de Cobertura: descrição do tipo de telhas, engradamento, sistema de vedação das empenas ou platibandas.

Instalações / construção: descrição dos métodos de compatibilização entre componentes do sistema construtivo e suas interferências com instalações elétricas, hidráulicas e outras.

2.5 Projetos analisados

2.5.1 Edifício Múltipla / Alphametal

O projeto analisado (figura 2.1) partiu da solução utilizada pelo consórcio Múltipla / Alphametal para edifício de cinco pavimentos, com partido arquitetônico em “H”, tipologia V052 da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano de São Paulo, CDHU. A especificação integrada de sistema construtivo e projeto estrutural foi desenvolvida em conjunto por profissionais da CGA-Usiminas, FCO - Fundação Christiano Ottoni e empresas privadas de consultoria técnica.

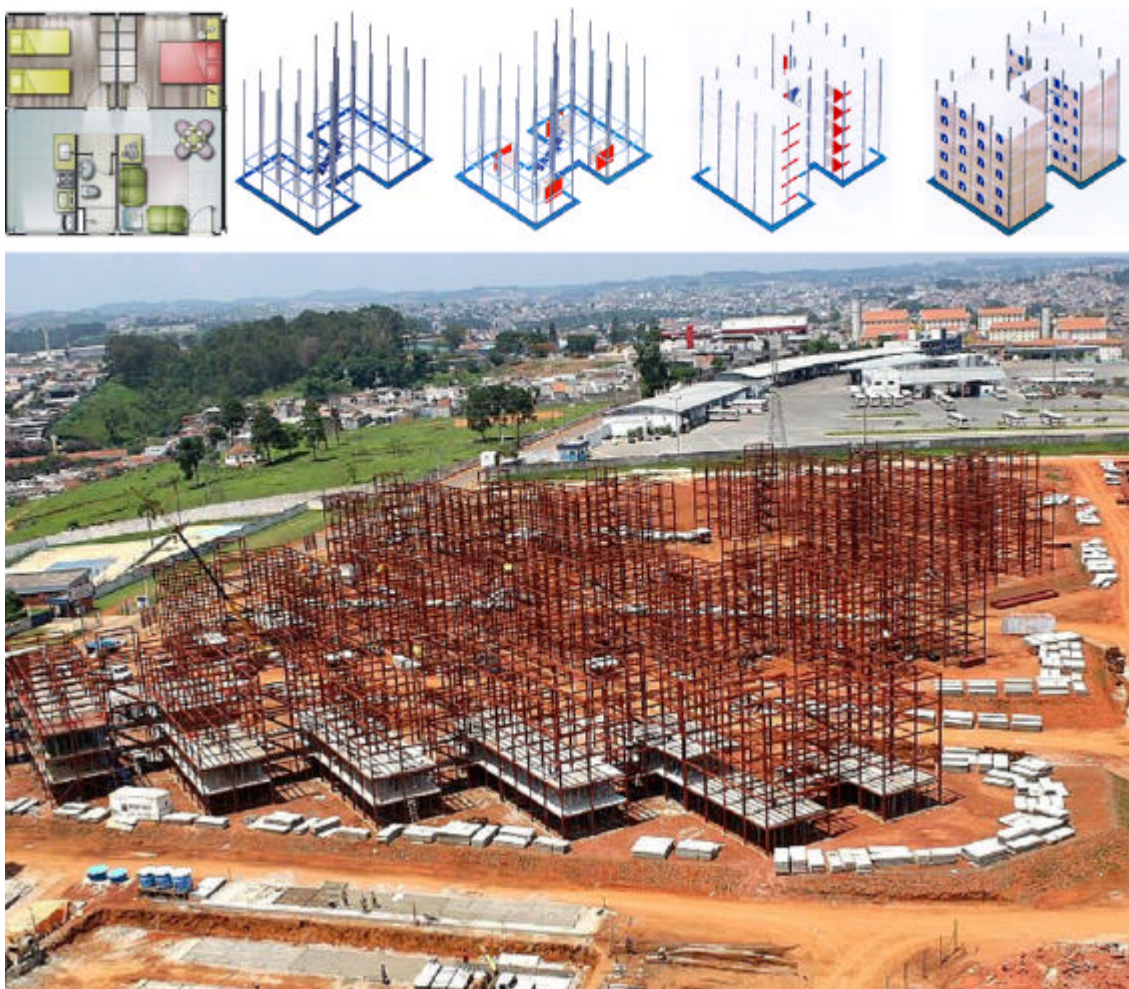


Figura 2.1: Unidade típica, sequência construtiva e vista de canteiro (Itaim Paulista–SP)

Fonte: CGA-Usiminas e Construtora Múltipla

Projeto Arquitetônico: Equipe CDHU, Arq. Irene Borges Rizo, Interamericana de Projetos e Construções, Eng. Wilson Ceccon. **Projeto Estrutural:** CGA-Usiminas, Eng. Osmar Francisco da Silva; FCO-Fundação Christiano Ottoni, Prof. Dr. Francisco Carlos Rodrigues; Alphametal Engenharia, Eng. Paulo S. C. Vieira. **Sistema Construtivo:** CGA-Usiminas; FCO-Fundação Christtiano Ottoni; Consultare Eng. Otávio Luiz do Nascimento; Múltipla Engenharia, Eng. Osvaldo Garcia.

2.5.1.1 Descrição Geral do Sistema Construtivo

O edifício possui 5 (cinco) pavimentos, com 20 (vinte) unidades habitacionais, partido em “H” com dois blocos retangulares de dois apartamentos cada totalizando quatro por pavimento, conectados por caixa de circulação horizontal e vertical também retangular como mostrado na planta do pavimento tipo (figura 2.2).

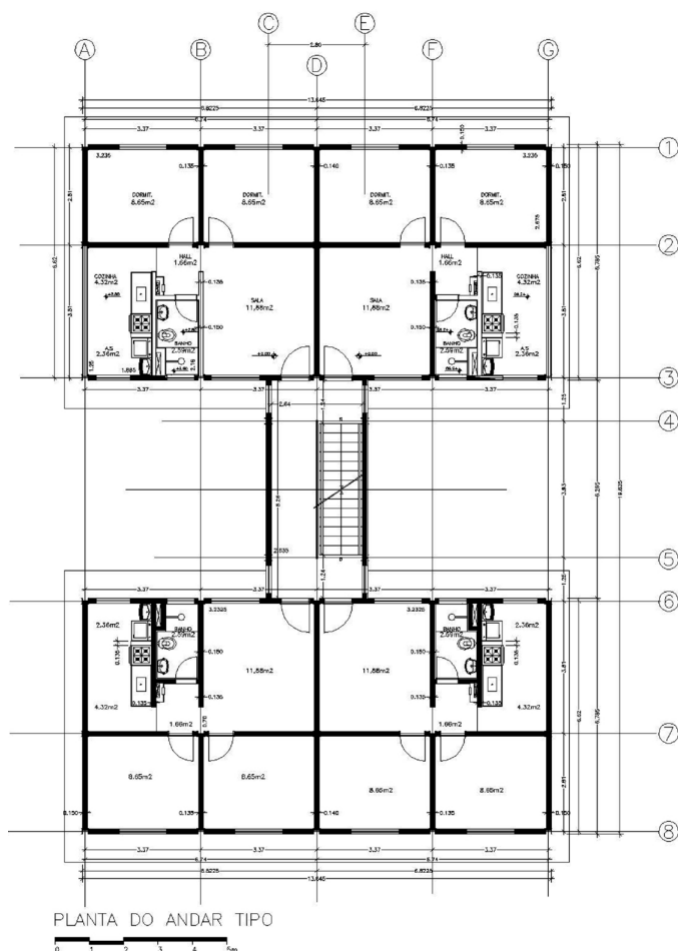


Figura 2.2: Planta do pavimento tipo do edifício Múltipla - Alphametla. (Fonte: Interamericana de Projetos)

O material da estrutura é o aço USI SAC 300. Foi fabricada em perfis formados a frio segundo critérios formalizados na norma NBR6355 (ABNT, 2003), sendo as seções transversais em “duplo cartola” utilizada nos pilares e a “caixa” nas vigas (figura 2.3), com ligações soldadas entre pilar e viga ou entre viga e viga.



Figura 2.3: Seções transversais de perfis formados a frio. Fonte: Arquivo do Autor

Na sequência de montagem em série ilustrada abaixo (figura 2.4) temos: (a) o detalhe da fixação dos pilares nas fundações; (b) vista dos pilares e ponteamto das vigas com marcação de seus locais definitivos e nivelamento; (c) consolidação das ligações com solda elétrica em eletrodo ou arame com cordão intermitente ao longo de todas as arestas de contato; (d) vista geral da montagem das estruturas concluída.

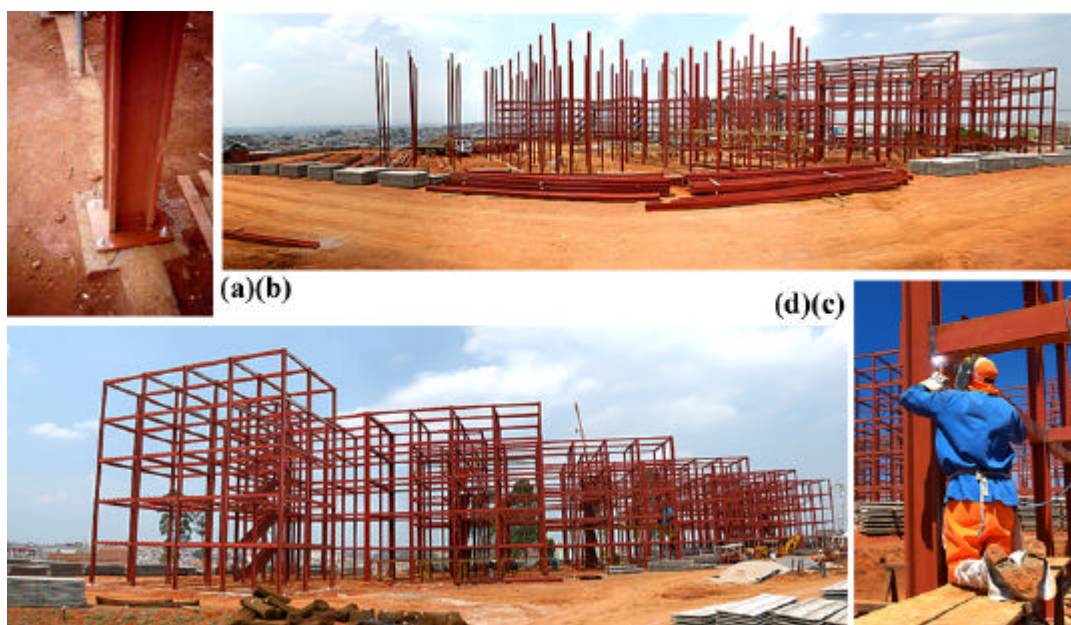


Figura 2.4: Sequência de montagem das estruturas metálicas do edifício Múltipla / Alphametal. Fonte: Construtora Múltipla

A figura 2.5 mostra, de (a) até (d), a sequência de execução das lajes utilizadas no Edifício Múltipla / Alphametal. As lajes foram executadas em sistema de placas treliçadas pré-moldadas no próprio canteiro com 3cm (três centímetros) de espessura, acrescida de um capeamento em concreto estrutural lançado “in loco” de 5cm (cinco centímetros). A espessura da laje acabada é de 8cm (oito centímetros), com interação total entre o concreto da laje e as vigas, em sistema de vigas-mistas. A ligação entre as vigas e a laje que permite esse comportamento estrutural ocorre por meio de conectores de cisalhamento (pontos de ancoragem) constituídos por seções de perfis laminados de seção transversal tipo “U”, que foram soldados sobre as vigas. A estabilização estrutural ocorre via contraventamentos nas fachadas cegas, também em perfis de seção transversal tipo “U” simples, na direção transversal a cada bloco retangular do “H” e por pórticos rígidos na direção longitudinal aos mesmos. Entre cada bloco a caixa de escada também funciona como travamento transversal da estrutura. No plano horizontal a estabilização da malha estrutural é garantida pelas lajes de concreto armado e suas conexões com as vigas.

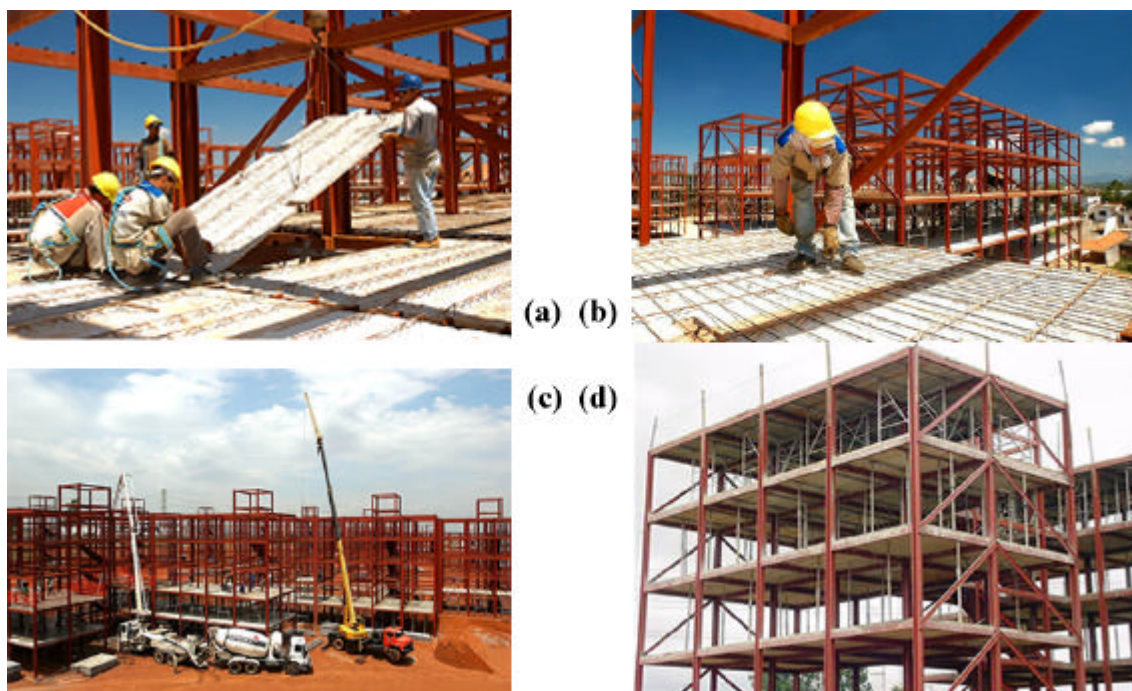


Figura 2.5: Sequência de execução das lajes com do edifício Múltipla / Alphametal.

O sistema de cobertura utiliza engradamento metálico em perfis formados a frio, fabricado com o mesmo aço da estrutura e telhas cerâmicas tradicionais. As vedações

externas e divisórias internas são em alvenaria de tijolos furados, não portantes, em espessura variável. Suas disposições em planta são quase que totalmente sobre os eixos estruturais, confinadas dentro dos quadros formados por pilares, vigas e lajes. A figura 2.6 mostra a seqüência de execução das alvenarias onde vê-se: (a) fixação de telas de aço eletrossoldadas nos pilares por pistola de ar comprimido; (b) tela fixada pronta para conectar as fiadas de tijolos; (c) execução das fiadas de tijolo envolvidas pelas telas de amarração; (d) alvenaria pronta sem revestimento. As alvenarias são executadas diretamente sobre as lajes, com ligação entre pilares por telas de aço eletrossoldadas fixas aos mesmos penetrando dentro das fiadas de tijolos a cada três delas. Além desse sistema, a seção do pilar é projetada de forma a permitir receber as alvenarias encaixadas nas quatro direções do “duplo cartola”. A transição entre alvenarias e vigas se dá por meio de camada flexível de argamassa convencional com aditivo expensor. Este conjunto de ligações caracteriza o pano de alvenaria como parcialmente vinculado ao quadro estrutural em ligação flexível que absorve qualquer movimentação da estrutura e evita sua transferência ao mesmo ocasionando trincas.



Figura 2.6: Sequência de execução das alvenarias com visualização das ligações da estrutura metálica do edifício Múltipla / Alphametal.

No revestimento externo da alvenaria (reboco de argamassa) as transições são detalhadas com pintura elastomérica (figura 2.7) que preserva a argamassa do reboco das patologias construtivas. As aberturas das esquadrias, fabricadas em aço compatível com aquele da estrutura, são emolduradas pela alvenaria sem alteração de sua paginação no limite inferior e pela própria viga na parte superior, evitando a necessidade de vergas



Figura 2.7: Detalhe da pintura elastomérica entre reboco de revestimento das alvenarias e vigas do edifício Múltipla / Alphametal. (Fonte: CGA – Usiminas)

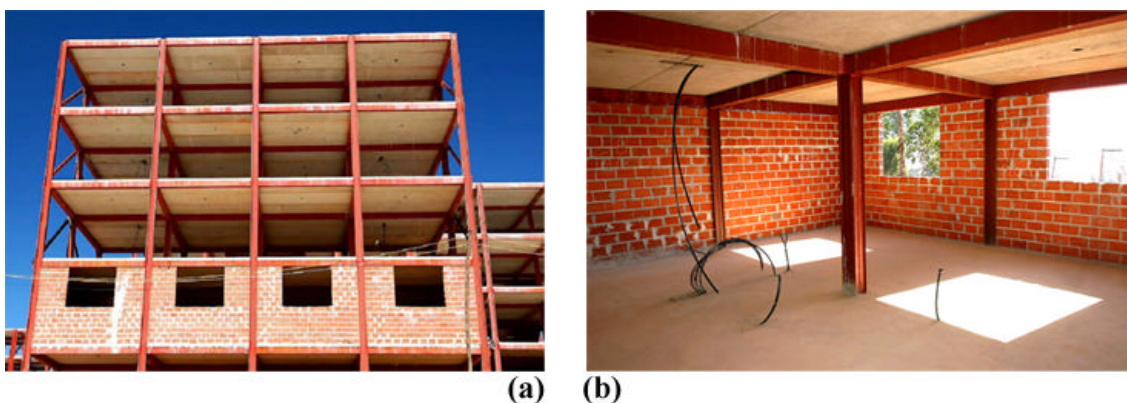


Figura 2.8: Vistas externa (a) e interna (b) do quadro executado de alvenaria do edifício Múltipla / Alphametal. (Fonte: Construtora Múltipla)

As instalações complementares correm por dutos verticais definidos em planta e pelas alvenarias (caso das hidráulicas) como convencionalmente executados na realidade brasileira de construção, ou pela laje de piso e paredes (elétricas), eventualmente

passando através das vigas em furos previamente definidos e executados na fábrica de estruturas, como determinado em projeto.

Esta tipologia é isenta de proteção passiva contra incêndio de sua estrutura por ter as áreas das duas torres nas extremidades da caixa central de circulações, isoladas, abaixo de 750m² cada. Este cálculo de áreas isolado é possibilitado porque a separação entre as fachadas das duas torres é maior que 6 (seis) metros, distância mínima calculada para este caso.

A modulação do projeto arquitetônico não foi considerada inicialmente para solução estrutural em aço, embora sua ortogonalidade rígida seja muito favorável a uma adaptação. Mesmo alcançando excelente resultado nas taxas de consumo de material estrutural acredita-se na possibilidade de uma significativa melhoria desta taxa aplicando-se o mesmo conceito estrutural a projeto concebido desde seu estudo preliminar sob parâmetros dimensionais mais adequados à lógica destas estruturas de aço específicas.

O comportamento estrutural global da concepção típica em “H” não é também o mais favorável ao dimensionamento do sistema de estabilização do edifício. Como o prédio em questão é relativamente baixo, com cinco pavimentos, esta disposição desfavorável não se refletiu tão fortemente na razão do comprimento e largura em planta com a altura em fachada da edificação. Se fosse mais alta, e portanto sujeita a cargas laterais de vento mais acentuadas, o impacto desta conformação em planta na taxa de consumo estrutural seria bem maior e contrário à viabilização do sistema.

O mesmo conceito estrutural e construtivo, aplicado a projeto padronizado de edifício com quatro pavimentos da solução USITETO, programa da Usiminas de moradias de interesse social, dispensa contraventamentos de estabilização e, pela modulação estrutural previamente concebida para aço, atinge taxas de consumo na estrutura ainda mais atraentes que as desta solução da CDHU. Este projeto de edifício Usiteto apresenta a mesma disposição em planta das tipologias em “H”, pouco favorável para soluções em aço (pela relação comprimento largura e altura dos blocos) mas consagrada no mercado de residências coletivas de baixo custo.

2.5.1.2 Lista de Materiais Estruturais:

Tabela 01 – Lista de materiais estruturais – Edifício Múltipla / Alphametal

PILARES	Dimensões:	Peso (kg)
1A, 1C e 1D	160 x 160 x 30 x 3,75 x 13.081	7.692,00
1B	160 x 160 x 30 x 4,75 x 13.081	2.025,00
1E	160 x 160 x 30 x 3,75 x 3.150	256,00
1F	200 x 150 x 20 x 2,0 x 3.150	150,00
P/1C e 1D	U 150 x 50 x 4,75 x 300	138,00
P/1C	U 150 x 50 x 4,75 x 200	14,00
Placas de base	CH 3/4" x 300 x 360	549,00
Peso Total		10.824,00

VIGAS	Dimensões (mm):	Peso (kg)
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 3.206	4.570,00
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 2.800	1.663,00
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 3.800	2.257,00
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 4.000	665,00
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 1130	376,00
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 3.860	229,00
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 2.856	474,00
	200 x 150 x 20 x 2,0 x 2.870	136,00
	U 50 x 25 x 3,0x 90	550,00
Peso Total		10.920,00

CONTRAVENTAMENTOS	Dimensões (mm)	Peso (kg)
	U 140 x 40 x 3,0 x 3.934	78,00
	U 140 x 40 x 3,0 x 4.711	93,00
	U 140 x 40 x 3,0 x 4.010	318,00
	U 140 x 40 x 3,0 x 4.768	378,00
Peso Total		867,00

ESCADAS:	Perfis e chapas diversos
Peso Total	1.585,50 kg

ENGRADAMENTO DE COBERTURA:	Perfis e chapas diversos
Peso Total	2.600,00 kg

CONSUMO TOTAL DA ESTRUTURA:	26.805,50 kg
------------------------------------	---------------------

2.5.1.3 Quadro resumo de dados

Tabela 02 – Quadro resumo – Edifício Múltipla / Alphametal. Desenvolvimento do Autor.

MÚLTIPLA/ALPHAMETAL - CARACTERÍSTICAS DO PROJETO			
	INFORMAÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
DIMENSIONAIS	1 ÁREA TOTAL CONSTRUIDA	995,00	m ²
	2 ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	199,00	m ²
	3 ÁREA DE PROJEÇÃO	260,00	m ²
	4 ÁREA DE INFLUÊNCIA (COM RECUOS)	414,00	m ²
	5 ÁREA PARA NORMA DE INCENDIO	432,00	m ²
	6 PERIMETRO DA FACHADA	88,22	m
	7 DISTÂNCIA PISO A PISO	2,6	m
	8 NÚMEROS DE PAVIMENTOS	5	
	9 ÁREA DE FACHADA	1.143,48	m ²
	10 NÚMERO DE UNIDADES (TIPO E ÁREA LÍQUIDA)	2 quartos / 20 unidades / 40,2 m ²	
	11 m ² de FACHADA / m ² CONSTRUÍDO	1,15	
ESTRUTURA	12 NÚMERO DE PILARES	34	
	13 NÚMERO DE VIGAS	250	
	14 NÚMERO DE LIGAÇÕES	520	
	15 PESO TOTAL (PILARES, VIGAS, ESCADA, ENGRA)	26.805,50 kg	
	16 TAXA TOTAL	26,94kg/m ²	
	17 RENDIMENTO DE MONTAGEM		
	NÚMERO DE PILARES E VIGAS / m ²	0,29/ m ²	
CONSTRUTIVO	NUMERO DE LIGAÇÕES / m ²	0,52/ m ²	
	18 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO	Contraventamentos, lajes e escadas	
	19 TIPO DE LAJE	Lajes treliçadas pré-moldadas + capeamento	
	20 INTERAÇÃO VIGAS/LAJES	Vigas mistas, conectores soldados	
	21 VEDAÇÕES EXTERNAS	Alvenaria bloco cerâmico, não portante	
	22 DIVISÓRIAS INTERNAS	Alvenaria bloco cerâmico, não portante	
	23 INSTALAÇÃO/CONSTRUÇÃO	P/lajes e dutos verticais (shafts)	
	24 LIGAÇÕES ESTRUTURA/PAREDE	Flexíveis, telas galvanizadas e argamassa expansiva	

2.5.1.4 Entrevista

Eng. Osvaldo Garcia, diretor técnico da Múltipla Engenharia, empresa construtora de 160 edifícios com estrutura de aço em vários canteiros da CDHU.

- 1) O sistema de estrutura metálica com perfis “duplo cartola” nos pilares e “caixa” nas vigas é dos mais leves que existem para edifícios de 4 a 7 pavimentos e já foi

utilizado com várias soluções técnicas nos sistemas complementares de lajes e vedações. Quais você apontaria como as principais vantagens e desvantagens do processo construtivo utilizado pela Múltipla na CDHU com esta solução estrutural?

Eng. Osvaldo Garcia: *A concorrência 036/02 da CDHU previa a execução de unidades habitacionais de interesse social, verticais, com mais de 04 pavimentos para atender ao Programa Paulista de Mutirão, sendo ainda uma das características deste contrato o reduzido prazo para a execução dos serviços. Foram estas características contratuais que levaram a Multipla a optar pela utilização de prédios pré-fabricados em estrutura metálica, com “perfis duplo cartola” nos pilares e “caixa” nas vigas, que apresentam como vantagens competitivas a facilidade de alinhamento (o que faz diferença nos serviços executados pelos mutirantes) bem como a velocidade para a montagem das estruturas. As dificuldades enfrentadas foram relativas a necessidade de solda e portanto de mão de obra especializada (ressalvando-se que na fase de montagem das estruturas os serviços não são de responsabilidade dos mutirantes) , além disso, o fato de neste projeto as vigas trabalharem junto com as lajes para dar estabilidade a estrutura faz com que seja necessário o escoramento, o que compromete em parte o ganho de tempo.*

2) Que sugestões técnicas você teria para aprimorar esta solução adotada pela Múltipla?

Eng. Osvaldo Garcia: *A utilização de parafusos ao invés de soldas simplificaria a montagem das estruturas, permitindo ao construtor a não utilização de mão de obra especializada / terceirizada (soldadores), o que com certeza acarretará numa redução de custo (que é o principal “gargalo” do sistema). Também seria interessante que a estrutura não fosse escorada, o que potencializaria o ganho de tempo do sistema. O desenvolvimento do sistema steel-deck e sua viabilização econômica (hoje o custo é proibitivo para utilização neste segmento da construção) seria um grande salto para que o sistema pudesse “deslanchar”.*

3) A empresa que você representa tem larga experiência em construções habitacionais com alvenaria de blocos estruturais. Uma solução com estrutura industrializada

independente (pilares e vigas) tem vantagens técnicas diretas sobre outra com paredes estruturais, além de vantagens indiretas na logística da obra. Em quais condições você diria que estas vantagens superam o menor custo direto da alvenaria estrutural?

Eng. Osvaldo Garcia: *A utilização de estruturas industrializadas independentes (pilares e vigas) é uma alternativa interessante, atualmente, em obras que tenham como fator decisivo o prazo de execução.*

Nos canteiros de pequeno porte (em que mobilizar toda uma infra-estrutura seria muito oneroso) e nas obras em que não se disponha de mão de obra qualificada a alternativa também é atraente

- 4) As obras da CDHU são situações muito específicas de construções parcialmente contratadas, complementadas com mão de obra não remunerada e não especializada (mutirão), assistida por técnicos da companhia estadual. Algum outro sistema construtivo teria a mesma eficiência nestas condições?

Eng. Osvaldo Garcia: *Os pré-moldados de concreto são alternativas interessantes, e apresentam um custo altamente competitivo (atualmente menores do que os de estrutura metálicas).*

- 5) No ponto de vista dos empresários qual seria a solução técnica e qual deveria ser a principal estratégia, com poder público e iniciativa privada, para uma redução eficaz do impressionante déficit habitacional brasileiro?

Eng. Osvaldo Garcia: *O déficit habitacional do Brasil concentra-se esmagadoramente nas menores faixas de renda, sendo que a maioria da população a ser atendida tem renda mensal inferior a 03 salários mínimos, o que impossibilita a contratação de empréstimos / financiamentos através do sistema bancário. Apesar de ser um tabu em economias abertas, a única maneira de se atender a esta camada da população no que diz respeito a habitação é o desenvolvimento das políticas que contemplem subsídios. É curioso mas num passado recente o setor reclamava da falta de linhas de financiamento, hoje houve uma inversão e apesar de haver linhas de financiamento o*

que não existe no mercado são compradores que atendam as exigência para tomar os empréstimos.

Com relação a tecnologia para a execução dos projetos habitacionais em andamento ou a serem criados ela já existe, sendo evidente que existe espaço para desenvolvimento e ganhos de produtividade e custo (principalmente na área de pré-moldados / pré-fabricados).

Com relação ao aço especificamente, a situação atual do mercado interno e externo faz com que a sua vantagem competitiva esteja temporariamente comprometida, basta ver que o concreto passou os últimos 12 meses com seu preço estagnado (havendo até mesmo deflação), porém, assim que os preço dos dois insumos recuperarem a sua proporção histórica o sistema de construção em estrutura metálica volta a ser uma alternativa altamente competitiva frente aos demais sistemas existentes.

2.5.2 Edifício Alusa / Brastubo

O projeto analisado (figura 2.9) partiu da solução apresentada pelo consórcio Alusa / Brastubo para um edifício de sete pavimentos, também da CDHU, tipologia V072, desenvolvida por profissionais da Cosipa, empresas privadas de consultoria e suporte de desenvolvimento técnico das mesmas referências anteriores, CGA-Usiminas e FCO.



Figura 2.9: Edifício Alusa / Brastubos. (Fonte: Brastubos)

Ficha Técnica:

Projeto Arquitetônico: Equipe Cosipa, Arq. Roberto Inaba, Arq. Lícia Maria de Campos. **Projeto Estrutural:** Cosipa; Eng. Alessandro de Souza Campos; Tecsteel, Eng. Mauri Rezende Vargas; CGA-Usiminas, Eng. Osmar Francisco da Silva; FCO-Fundação Christiano Ottoni, Prof. Dr. Francisco Carlos Rodrigues. **Sistema Construtivo:** Equipe Cosipa, Tecsteel; Consultare Eng. Otávio Luiz do Nascimento.

2.5.2.1 Descrição Geral do Sistema Construtivo

Edifício de 7 pavimentos, com 28 unidades habitacionais, com partido em torre de circulações vertical e horizontal centralizada, mas disposta em relação aos blocos laterais de habitações de forma diferenciada do partido em “H” tradicional como mostra a planta do pavimento tipo (figura 2.10). O edifício não possui elevadores o que é possibilitado por sua implantação em declive, com acesso por nível intermediário. A estrutura é fabricada com aço base COS AR COR 400E e os perfis utilizados são formados a frio, sendo a seção transversal tipo “caixa” usada nos pilares e nas vigas de seção transversal “U” simples. A estrutura, semelhante ao caso anterior, é posicionada no mesmo alinhamento das alvenarias utilizadas nas vedações e divisórias, exceto nos pórticos contraventados tubulares (figura 2.11). Estes são externos aos quadros dos fechamentos e responsabilizam-se por grande parte pela estabilização dos planos verticais da malha estrutural, tanto no sentido transversal quanto no longitudinal a sua retícula. Todas as ligações (figura 2.12) pilar / viga, viga / viga, contraventamento / pilar, são parafusadas, sendo que em alguns casos tendem a rótulas e noutros a nós rígidos, quando também contribuem para estabilização global da malha estrutural.

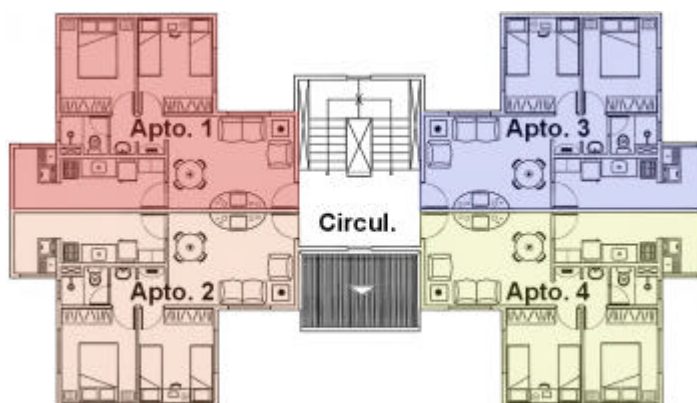


Figura 2.10: Pavimento tipo do edifício Alusa / Brastubo. (Fonte: Núcleo do Aço: Cosipa)



Figura 2.11: Sistema construtivo com recobrimento das alvenarias e estrutura do edifício Alusa / Brastubo (Fonte: Núcleo do Aço: Cosipa)



Figura 2.12: Ligações parafusadas do edifício Alusa / Brastubo. Fonte: Núcleo do Aço, Cosipa.

O sistema de lajes (figura 2.13) especificado e utilizado nas construções são similares ao do caso anterior porém com painéis pré-moldados mais estreitos e compridos que aqueles da solução já apresentada. As tiras de lajes treliçadas têm 30cm (trinta centímetros) de largura e comprimento que atravessa dois quadros estruturais do edifício, indo de uma fachada a outra apoiando-se nos vigamentos de extremidade e no intermediário. Este plano inicial pré-moldado treliçado com 3cm (três centímetros) de espessura é complementado com capeamento de concreto estrutural de 5cm (cinco centímetros) totalizando uma laje acabada de 8cm (oito centímetros) de espessura em interação parcial com as vigas. Não foi especificado e considerado em cálculo o uso de vigas mistas completas, sendo que a interação viga / laje considerada contribui como diafragma rígido para estabilização horizontal da estrutura.



Figura 2.13: Sistema de lajes do edifício Alusa / Brastubo. Fonte: Núcleo do Aço: Cosipa.

O engradamento de cobertura montado em perfis de aço formados a frio é dimensionado para distância entre apoios e sobrecarga de telhas cerâmicas. As ligações entre as alvenarias de tijolos furados cerâmicos convencionais e a estrutura (figura 2.14) têm dois elementos básicos: vergalhões em aço estrutural para concreto armado dobrados penetrando nas camadas de tijolos a cada três fiadas com extremidades soldadas nos pilares e argamassa colante flexível, tipo “cimentcola” (AC3), aplicada na interface entre os tijolos e os perfis caixa (seção tubular retangular) dos pilares. A alvenaria sobe até a base das vigas e uma fiada de tijolos dentro das mesmas as encobre totalmente e elimina sua exposição no interior dos apartamentos. Na faixa de contato horizontal entre

tijolos e vigas temos igualmente a junta de argamassa colante flexível. O revestimento externo em reboco de argamassa recobre toda a superfície do prédio e sua aderência sobre as vigas é garantida pela aplicação desta mesma massa colante, tipo “cimentcola” (AC3) parcialmente responsável pela ligação da alvenaria nos pilares (figura 2.15).



Figura 2.14: Ligações entre as alvenarias de tijolos furados cerâmicos convencionais e a estrutura do edifício Alusa / Brastubo. Fonte: Núcleo do Aço: Cosipa.



Figura 2.15: Revestimento externo do edifício Alusa / Brastubo, em reboco de argamassa. Fonte: Núcleo do Aço: Cosipa.

O conjunto de soluções das interfaces entre alvenarias e estrutura tem impacto fundamental na viabilização do sistema com relação ao aspecto construtivo. Por ter a área calculada segundo a norma de incêndio superior a 750m² a estrutura deve necessariamente receber proteção passiva contra incêndio nas faces expostas dos elementos estruturais. A própria solução construtiva, que recobre a estrutura quase totalmente reduz a níveis irrisórios a superfície de aço exposta a ser protegida. O único componente estrutural que no exterior do edifício fica exposto é isento de proteção

passiva por estar localizado a distância mínima de segurança das aberturas por onde, em casos de incêndio, sairiam chamas do interior do edifício. São os pórticos de estabilização contraventados.

As modulações e concepção de planta deste projeto foram estabelecidas com definição prévia do sistema estrutural em aço. A taxa de consumo da estrutura (kg/m²) é mais elevada que a da solução anterior sendo mais correto associar este aumento ao tipo de ligação adotado, à maior carga de vento considerada no cálculo (determinada por norma, cresce com a altura do edifício) e aos maiores valores de compressão sobre os pilares dos andares de baixo (maior número de pavimentos). A relação de dimensões da base (comprimento e largura) com as de altura, nesta solução arquitetônica, são mais favoráveis à estabilização do edifício, e portanto ao menor consumo estrutural, que as da planta em “H” tradicional do caso anterior.

2.5.2.2 Lista resumida de materiais estruturais:

Tabela 03 – Lista resumida de materiais estruturais – Edifício Alusa / Brastubo

PILARES	Dimensões(mm)	Peso(kg)
Tubo	Ø 60 x 3,2	85,10
Tubo	Ø 219 x 3,75	1.619,90
Tubo	Ø 219 x 4,75	2.648,80
Tubo	Ø 219 x 6,3	1.072,10
	250 x 180 x 3,00	4.175,90
	250 x 180 x 3,75	2.625,75
	250 x 180 x 4,75	2.683,00
	250 x 180 x 6,30	950,54
Peso Total(kg)		15.861,04

LIGAÇÕES	Dimensões (mm)	Peso (kg)
CH.3,0		26,90
C.H.5,0		51,00
C.H.6,3		29,90
C.H.12,7		109,60
Placas de base		
C.H.22		557,70
C.H.25		120,50
Barra red	d = 19	38,10

Barra red	d = 22	110,10
PESO TOTAL		1.043,80

VIGAS	Dimensões (mm)	Peso(kg)
	200 x 50 x 4,75	43,80
	300 x 85 x 25 x 2,25	3.201,72
	300 x 85 x 25 x 3,0	1.948,50
	300 x 85 x 25 x 3,75	1.540,03
	300 x 85 x 25 x 4,75	2.619,54
	300 x 90 x 40 x 4,75	4.965,39
	300 x 110 x 50 x 8,0	4.358,02
	200 x 180 x 3,0	34,66
Barra red	d= 6,3	108,00
Peso Total		18.819,70

CONTRAVENTAMENTOS:	Dimensões (mm)	Peso(kg)
Tubo	Ø 101,6 x 2,25	1.591,95
Tubo	Ø 101,6 x 2,25	154,21
Tubo	Ø 101,6 x 6,3	268,89
Peso Total		2.015,05

LIGAÇÕES:	Dimensões (mm)	Peso(kg)
CH.6,3		727,10
C.H.8,0		155,60
C.H.9,5		963,60
C.H.12,7		99,60
PLACAS DE BASE:		
C.H.28		403,40
Barra red	d = 25	457,70
PESO TOTAL		2.807,00

ESCADAS:	Dimensões (mm)	Peso(kg)
	200 x 50 x 3,75	851,77
C.H. 2,25	219 x 3,75	792,90
Peso Total		1.644,67

ENGRADAMENTO:	Dimensões (mm)	Peso(kg)
	300 x 85 x 25 x 2,25	1.540,45
	300 x 85 x 25 x 3,0	48,75

	300 x 90 x 40 x 4,75	403,31
Barra red	d = 6,3	18,00
Peso Total		2.010,51

SUPORTE CAIXA D'ÁGUA:	Dimensões (mm):	Peso (kg)
	300 x 85 x 25 x 2,25	100,20
	300 x 85 x 25 x 3,75	162,90
	300 x 110 x 50 x 8,0	293,30
VE	400 x 44	184,80
Barra red	d=6,3	3,30
Peso Total		744,51

CONSUMO TOTAL DA ESTRUTURA:	44.948,25 kg
------------------------------------	---------------------

2.5.2.3 Quadro resumo de dados

Tabela 04 – Quadro resumo – Edifício Alusa / Brastubo. Desenvolvimento do Autor.

ALUSA / BRASTUBO - CARACTERÍSTICAS DO PROJETO				
DIMENSIONAIS	INFORMAÇÃO		QUANTIDADE	UNIDADE
	1	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA	1.491,00	m²
	2	ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	213,00	m²
	3	AREA DE PROJEÇÃO	334,00	m²
	4	AREA DE INFLUENCIA (COM RECUOS)	459,00	m²
	5	AREA PARA NORMA DE INCENDIO	1.294,00	m²
	6	PERIMETRO DA FACHADA	91,00	m
	7	DISTANCIA PISO A PISO	2,6	m
	8	NÚMEROS DE PAVIMENTOS	7	
	9	ÁREA DE FACHADA	1656,20	m²
	10	NÚMERO DE UNIDADES (TIPO E ÁREA LÍQUIDA)	2 quartos / 28 unidades / 40,9 m²	
11	m² de FACHADA / m² CONSTRUÍDO	1,11		
ESTRUTURA	12	NÚMERO DE PILARES	60	
	13	NÚMERO DE VIGAS	371	
	14	NÚMERO DE LIGAÇÕES	637	
	15	PESO TOTAL (PILARES, VIGAS, ESCADA, ENGRA)	44.948,25 kg	
	16	TAXA TOTAL	30.15kg/m²	
	17	RENDIMENTO DE MONTAGEM		
		NÚMERO DE PILARES E VIGAS / m²	0,29/ m²	
	NUMERO DE LIGAÇÕES / m²	0,43/ m²		
CONSTRUTIVO	18	SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO	Pórticos contraventados	
	19	TIPO DE LAJE	Laje treliçada pré-moldada + capeamento	
	20	INTERAÇÃO VIGAS/LAJES	Parcial, estabilização do plano horizontal	
	21	VEDAÇÕES EXTERNAS	Alvenaria blocos cerâmicos, não portante	
	22	DIVISÓRIAS INTERNAS	Alvenaria blocos cerâmicos, não portante	
	23	INSTALAÇÃO/CONSTRUÇÃO	P/lajes e dutos verticais (shafts)	
	24	LIGAÇÕES ESTRUTURA/PAREDE	Barras de aço dobradas e argamassa colante	

2.5.2.4 Entrevista

Arq. Roberto Inaba, membro da equipe técnica que desenvolveu o sistema construtivo apresentado pelo consórcio Alusa / Brastubo:

- 1) A solução global do edifício de sete pavimentos tem grande entrosamento entre os diversos componentes construtivos e soluções técnicas, bem consolidado nas

interfaces da estrutura com os sistemas complementares. Quais foram os principais aspectos definidores da modulação estrutural e dos tipos de perfis adotados?

Arq. Roberto Inaba: *O custo da estrutura tem que ser o menor possível para que se viabilize obras para população de baixa renda. Partindo dessa premissa, a escolha por perfis conformados a frio foi o caminho natural além da redução no número de bitolas de chapa. O uso de pilares tubulares de seção circular nos pórticos contraventados foi uma opção arquitetônica para que o edifício tivesse um “apelo” diferenciado de outros projetos e criasse assim uma identidade característica para o Projeto Cosipa.*

O uso de ligações parafusadas foi premissa adotada para dar velocidade e qualidade à montagem das estruturas e evitar os problemas oriundos da soldagem de campo.

A concepção geral do projeto visava a simplicidade, uso sempre que possível de sistemas e/ou materiais já aprovados pela CDHU e boa aceitação pelas construtoras. Por isso naquela época (1999/2000), não se pensou em soluções mais inovadoras como steel-decks, vigas mistas, painéis de fechamento, etc. Tudo isso para simplificar a aprovação do projeto por aquele órgão público.

- 2) Quais opções técnicas você acredita que possam ser incorporadas, para habitações populares independente se por órgãos públicos ou iniciativa privada, como evoluções naturais das especificações utilizadas nas obras recentes com o sistema construtivo que vocês vem aplicando na CDHU?

Arq. Roberto Inaba: *Acho que o uso de painéis pré-fabricados para fechamentos e concepção como estrutura mista, são alguns itens que podem ser trabalhados.*

- 3) Você citaria alguma referência anterior a esta solução como definidora de uma ou mais especificações do desenvolvimento técnico deste projeto?

Arq. Roberto Inaba: *A experiência da própria CDHU com o conjunto São Judas Tadeu em Cubatão serviu de fonte para orientar diversas opções do Projeto Cosipa. Esse caso é exemplar: o projeto do Zanetinni é bom, as soluções no papel parecem adequadas e bem resolvidas mas na prática a obra mostrou deficiências que trouxeram problemas posteriores para a CDHU.*

- 4) Porque vocês optaram por não considerar o concreto das lajes no dimensionamento estrutural das vigas, tirando proveito dele apenas para estabilização horizontal da malha estrutural?

Arq. Roberto Inaba: *Por achar na época, que os benefícios dessa concepção estrutural não compensavam os riscos de se trabalhar com uma tecnologia que ainda não está normatizada.*

- 5) Quais as vantagens construtivas da estabilização através dos pórticos contraventados externos definidos no projeto

Arq. Roberto Inaba: *A colocação externa do pórtico contraventado cumpre na realidade duas funções: evita a necessidade de proteção daquela estrutura contra a ação de incêndios e serve também como elemento caracterizador da identidade do projeto e ainda para mostrar que o edifício é feito em aço.*

2.5.3 Edifício Camargo Corrêa / Usiminas

O projeto analisado consiste em um edifício habitacional com finalidade de atendimento aos requisitos do Programa de Arrendamento Residencial, PAR da Caixa Econômica Federal, desenvolvida em conjunto por profissionais da CGA-Usiminas e da Construtora Camargo Corrêa e da empresa Mil Arquitetos.

Ficha Técnica:

Projeto Arquitetônico: Mil Arquitetos, Arq. Michail Lieders. **Projeto Estrutural:** CGA Usiminas, Eng Jackson Costa Machado; Fy Engenharia, Eng. Fernando Franco da Cunha. **Sistema Construtivo:** CGA Usiminas, Arq. Ascanio Merrighi e Construtora Camargo Corrêa, Eng. Gustavo Pellicciari de Andrade.

2.5.3.1 Descrição Geral do Sistema Construtivo

O edifício possui 5 (cinco) pavimentos com quatro unidades por andar, totalizando vinte, e caixa de circulações vertical e horizontal central, com disposição em planta semelhante à anterior, conforme planta do pavimento tipo apresentada na figura 2.16.

Este projeto é resultado de atividades conjuntas de desenvolvimento tecnológico entre equipes da Usiminas e da Construtora Camargo Corrêa. O objetivo era desenvolver uma solução construtiva industrializada segundo parâmetros técnicos de projeto que atendessem simultaneamente as normas da Caixa Econômica Federal para o plano PAR (Programa de Arrendamento Residencial), padrões razoáveis de modulação para estrutura metálica e medidas padronizadas da fábrica de lajes pré-moldadas da Reago, empresa do grupo da construtora. A esteira de fabricação das lajes protendidas alveolares tem 1250mm de largura o que seria um dos principais determinantes da modulação trabalhada no desenvolvimento do projeto (figura 2.17).

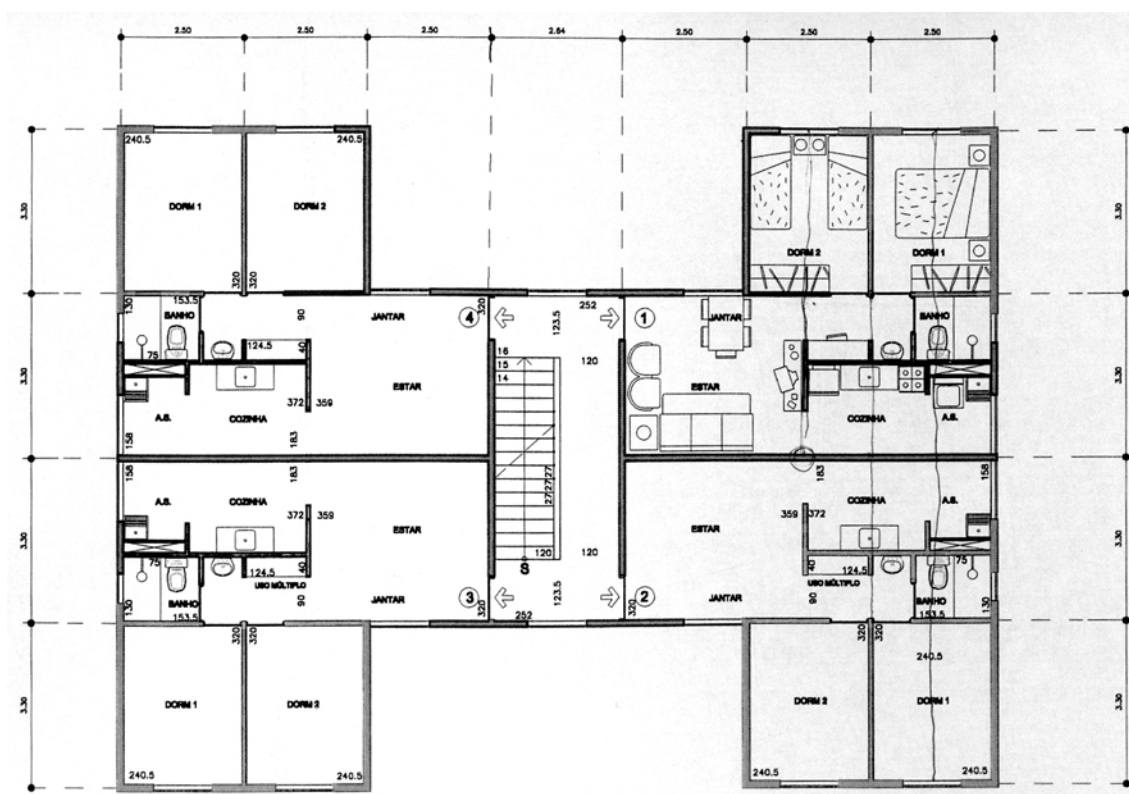


Figura 2.16: Pavimento-tipo inicial do edifício Camargo Corrêa-Usiminas. Fonte: CGA
USIMINAS

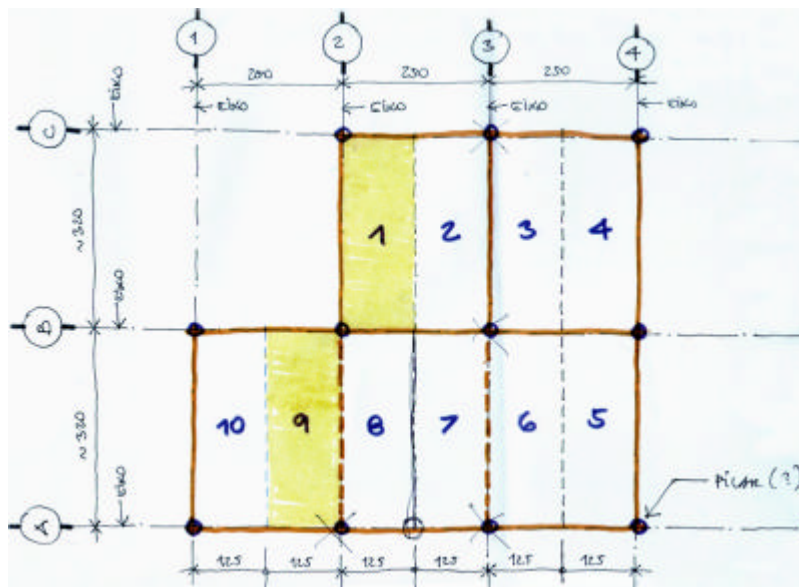


Figura 2.17: Modulação do projeto do edifício Camargo Corrêa. Fonte: CGA
USIMINAS

O estudo inicial contemplava um solução estrutural híbrida, com uma malha contínua de pilares e vigas de aço e algumas paredes externas em painéis autoportantes de concreto pré-moldado que ao solidarizarem-se com estrutura e lajes funcionariam como paredes de cisalhamento e estabilizariam o sistema estrutural nas direções ortogonais dos planos verticais do conjunto. Nestas paredes não haveria vigas, cabendo aos painéis a responsabilidade das mesmas de transferência direta dos esforços às fundações. Esta solução foi tecnicamente desenvolvida e definida como mais complexa que a expectativa inicial do projeto. Demandava sistema de estabilização provisório de montagem e utilização de normas estrangeiras por inexistência no país de prescrições que tratassem tal caso: sistemas estruturais mistos com painéis/paredes de cisalhamento (shear walls) autoportantes.

Assim, o projeto foi redimensionado com estrutura de aço convencional de pilares e vigas em perfis eletrossoldados, mesma solução de lajes pré-moldadas da Reago, vedações externas e divisórias internas em alvenaria de blocos convencionais, não portantes, e sistema de estabilização por contraventamentos dispostos em seis quadros estruturais por pavimento, com previsão de ligações parafusadas entre elementos estruturais.

Inicialmente pela área construída total de 855 m² a estrutura deveria ser sujeita a proteção passiva contra incêndio. Pelos cálculos desenvolvidos teria suprimida esta exigência caso o afastamento entre paredes de apartamentos, que é calculado caso a caso, fosse um mínimo de 3 (três) metros. Esta constatação fez modificar a disposição da caixa de escada levando inclusive à retirada de dois pilares extremos do patamar intermediário entre andares, com o alinhamento de sua face externa junto à fachada do edifício. Com este alargamento da caixa de escada criou-se dois patamares intermediários com 6 (seis) degraus entre eles e o espaçamento necessário entre as faces internas dos blocos de apartamentos que caracterizariam sua compartimentação isolada (figura 2.18). Se a execução da escada ficaria assim mais complexa sua taxa de consumo de aço não variaria e a isenção de proteção passiva da estrutura contribuiria mais decisivamente para viabilidade do conjunto de soluções do projeto. A solução final ficou assim definida, com dois pilares a menos e fachada externa do edifício contínua entre os blocos extremos de apartamentos e a caixa central de circulação na fachada de fundos.

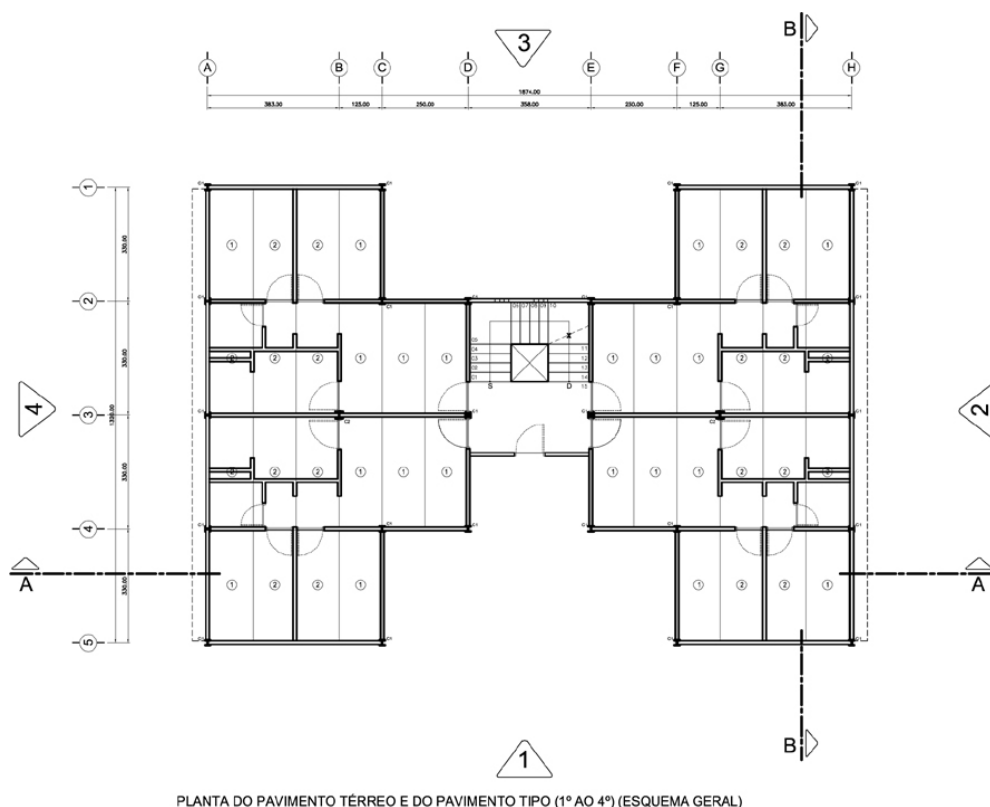


Figura 2.18: Pavimento-tipo do edifício Camargo Corrêa, com o alargamento da caixa de escada. Fonte CGA USIMINAS

Comentário do Engenheiro Mauri Rezende Vargas:

“Sugerimos que a distância entre os 2 blocos seja modificada para 3 metros de forma que sejam considerados isolados. Essa distância é calculada por meio da IT 07 do CB/SP e é válida para os municípios que possuam Corpo de Bombeiros, e acredito que também possa ser válida para qualquer cidade do país.

Esse distanciamento permite considerar que a área da edificação seja menor que 750m² e portanto , as estruturas metálicas ficam isentas de se demonstrar sua resistência ao fogo, não havendo necessidade de aplicação de material de proteção térmica.

Outro aspecto de extrema importância é a isenção de hidrantes, o que seria exigido para o Estado de SP, caso a área ultrapasse 750m².”

Este é o único dos casos abordados nesta etapa de trabalho não vinculado a experiência prática de construção. Julgou-se importante contudo a exposição de seus resultados para embasamento das decisões futuras dos parâmetros técnicos do projeto objetivo desta dissertação. O conjunto de soluções, principalmente sua modulação e relações das dimensões globais de comprimento, largura e altura do prédio, colocam esta proposta numa situação intermediária às duas anteriores, agregando as vantagens de número de pavimentos da primeira com relações das proporções em planta e pré-definição estrutural da segunda. A concepção estrutural foi desenvolvida com perfis eletrossoldados, fabricados em linha automática de produção através da fusão das três tiras planas que configuram a alma e as duas mesas, inferior e superior, da seção. A definição destes perfis poderia implicar num consumo estrutural maior que o de uma solução construtiva em perfis formados a frio de chapas finas (entre 2,00 e 6,30mm) o que é absorvido pela incorporação das vantagens notadas nas concepções de projeto dos casos anteriores. Estes números estão refletidos nos dados expostos a seguir.

2.5.3.2 Lista Resumida dos Materiais Estruturais

Tabela 05 – Lista resumida de materiais estruturais – Edifício Camargo Corrêa / Usiminas

VIGAS:	Dimensões (mm)	Peso (kg)
V1	VE 150x100x4,75x4,75x3	1421,1
V2	VE 150x100x4,75x4,75x3	710,6
V3	VE 150x100x4,75x4,75x3	710,6
V7	VE 150x100x4,75x4,75x3	538,3
V8	VE 150x100x4,75x4,75x3	284,2
V9	VE 150x100x4,75x4,75x3	215,9
V6	VE 250x130x6,35x6,35x4,75	817,8
V5	VE 250x130x8x8x4,75	939,5
V4	VE 250x150x8x8x4,75	2756,5
Peso Total:		8394,6

COLONAS:	Dimensões (mm):	Peso (kg)
C1	CE 150x150x6,35x4,75	6022,1
C2	CE 200x200x8x6,35	857,3
Peso Total:		6879,4

LIGAÇÕES:	Perfis e chapas diversos
Peso Total	1.527,40 kg

ESCADAS:	Perfis e chapas diversos
Peso Total	1.855,0 kg

ENGRADAMENTO DE COBERTURA:	Perfis e chapas diversos
Peso Total	950,00 kg

CONSUMO TOTAL DA ESTRUTURA:	19.696,40 kg
------------------------------------	---------------------

2.5.3.3 Quadro resumo de dados

Tabela 06 – Quadro resumo – Edifício Camargo Corrêa / Usiminas. Desenvolvimento do Autor.

CAMARGO/USIMINAS - CARACTERÍSTICAS DO PROJETO			
	INFORMAÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
DIMENSIONAIS	1 ÁREA TOTAL CONSTRUIDA	995,00	m ²
	2 ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	187,00	m ²
	3 ÁREA DE PROJEÇÃO	198,00	m ²
	4 ÁREA DE INFLUÊNCIA (COM RECUOS)	403,00	m ²
	5 ÁREA PARA NORMA DE INCENDIO	406,00	m ²
	6 PERIMETRO DA FACHADA	75,24	m
	7 DISTÂNCIA PISO A PISO	2,6	m
	8 NÚMEROS DE PAVIMENTOS	5	
	9 ÁREA DE FACHADA	978,12	m ²
	10 NÚMERO DE UNIDADES (TIPO E ÁREA LÍQUIDA)	2 quartos / 20 unidades / 38,4 m ²	
	11 m ² de FACHADA / m ² CONSTRUÍDO	0,98	
ESTRUTURA	12 NÚMERO DE PILARES	26	
	13 NÚMERO DE VIGAS	190	
	14 NÚMERO DE LIGAÇÕES	260	
	15 PESO TOTAL (PILARES, VIGAS, ESCADA, ENGRA)	19.696,40 kg	
	16 TAXA TOTAL	19,80kg/m ²	
	17 RENDIMENTO DE MONTAGEM		
	NÚMERO DE PILARES E VIGAS / m ²	0,22/ m ²	
CONSTRUTIVO	NUMERO DE LIGAÇÕES / m ²	0,26/ m ²	
	18 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO	Contraventamentos e lajes	
	19 TIPO DE LAJE	Lajes protendidas alveolares com 125mm de largura	
	20 INTERAÇÃO VIGAS/LAJES	Parcial, estabilização do plano horizontal	
	21 VEDAÇÕES EXTERNAS	Alvenaria concreto celular, não portante	
	22 DIVISÓRIAS INTERNAS	Alvenaria concreto celular, não portante	
	23 INSTALAÇÃO/CONSTRUÇÃO	P/lajes e dutos verticais (shafts)	
	24 LIGAÇÕES ESTRUTURA/PAREDE	Flexíveis, telas galvanizadas e argamassa expansiva	

2.5.4 Edifício Bouganville, Construtora Castro Pimenta

O projeto analisado consiste em uma torre residencial em construção (figura 2.19) no município de Contagem (MG) por construtora do mercado imobiliário convencional, com utilização de sistemas metálicos em quase todos componentes construtivos,

desenvolvimento dos projetos e soluções técnicas a cargo das empresas de mercado envolvidas no empreendimento.



Figura 2.19: Edifício Bouganville. Fonte Construtora Castro Pimenta

Ficha Técnica:

Projeto Arquitetônico: Arq. Marcos Antônio da Silva; **Projeto Estrutural:** Pórtico Engenharia, Eng. Flávio Sérgio Gibram Silva, Eng. Humberto Horta Ribeiro de Pinho, Costa Baião, Eng. Osvaldo Baião, Suporte técnico CGA-Usiminas. **Sistema Construtivo:** Construtora Castro Pimenta, Eng. Alaor Pimenta

2.5.4.1 Descrição Geral do Sistema Construtivo

Edifício com 10 pavimentos tipos, sendo duas unidades habitacionais em cada (figura 2.20) e base de dois pavimentos de garagem mais pilotis. Este estudo de caso, mesmo sendo relativo a tipologia habitacional de unidades destinadas à classe média alta, é de especial interesse para o presente trabalho pelos recursos construtivos empregados e seu alto grau de racionalização e industrialização dos processos construtivos.

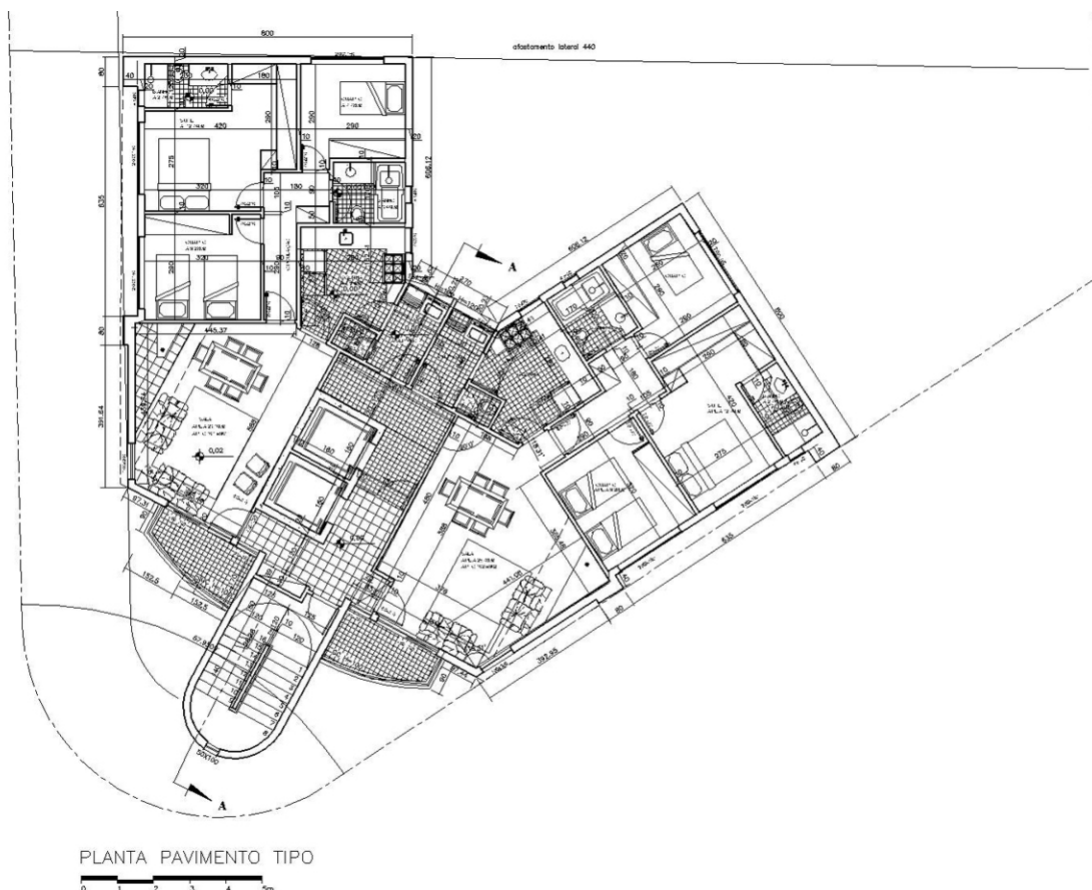


Figura 2.20: Pavimento tipo do edifício Bouganville. Fonte: Construtora Castro Pimenta

Foram especificados componentes construtivos fabricados a partir de matérias primas básicas de aços planos em vários itens, tais como: super estrutura em perfis eletrossoldados, vedações externas em sistema desenvolvido pela própria construtora com estrutura auxiliar de perfis formados a frio em USI SAC 300, espessura de 2mm, onde são fixadas placas de granito no exterior e placas de gesso acartonado no interior, divisórias internas em paredes a seco convencionais (malha de perfis galvanizados fechados com placas de gesso acartonado) e lajes em sistemas de forma metálica incorporada em aço estrutural galvanizado ZAR 280. O fechamento externo, assim definido, é instalado por fora do edifício num pano único, em sistema de “parede cortina” ou “pele de fechamento” que descarrega seu peso diretamente na super-estrutura. As eventuais movimentações da estrutura transferidas ao sistema de vedação das placas de granito são completamente absorvidas pelas juntas elásticas entre estas. Pelo entreferro, espaço entre o forro de gesso e a base da forma metálica da laje, correm

todo o vigamento estrutural do andar e todas instalações complementares elétricas e hidráulicas (figura 2.21), sem interferências com as peças da super estrutura. Dutos verticais dispostos em planta garantem a distribuição das instalações pelos demais andares. O dimensionamento da estrutura utiliza recursos de vigas mistas, com pinos de ancoragem aplicados a quente sobre as formas metálicas e as vigas conectando o sistema ao concreto estrutural lançado sobre a forma. O sistema de estabilização da estrutura (figura 2.22) usa contraventamentos dispostos dentro das paredes e devidamente coordenados com as aberturas. As ligações são todas parafusadas (figura 2.23) e a montagem da estrutura foi também executada com maquinário (grua) da própria construtora. O equipamento não tem a autonomia para atender toda a altura do edifício e sobe junto com a estrutura num processo também original (figura 2.24).



Figura 2.21: Espaço de entre-forro do edifício Bouganville. Fonte: Construtora Castro Pimenta



Figura 2.22: Sistema de estabilização da estrutura do edifício Bouganville. Fonte: Construtora Castro Pimenta



Figura 2.23: Ligações aparafusadas do edifício Bouganville. Fonte: Construtora Castro Pimenta



Figura 2.24: Processo de montagem da estrutura com grua apoiada sobre vigas. Fonte: Construtora Castro Pimenta

A disposição geral da estrutura e das instalações sempre confinadas por placas de gesso e acabamentos possibilita tanto a aplicação de proteção passiva contra incêndio através da placa de gesso apropriada quanto a solução mais barata disponível com projeção de argamassa com adição de vermiculita sobre pilares e vigas, ou mesmo a utilização do artifício da proteção ativa (sistema de “sprinklers”) que normalmente não é utilizada em tipologias habitacionais.

Este é mais um caso de solução adaptada, sem estabelecimento de modulação de projeto para solução em estrutura de aço previamente determinada. A maior taxa de consumo estrutural de todos os casos apresentados cabe a este principalmente por ser o único edifício de dez pavimentos aqui descrito. Certamente, e neste caso com reflexo direto em todos sistemas industrializados empregados, uma modulação de projeto dentro da lógica construtiva e de dimensionamento comum aplicada a fabricação dos componentes industrializados reduziria muito as taxas de perdas de materiais desta solução e consequentemente também de forma significativa o custo final de sua execução. O peso total do edifício nesta solução construtiva, segundo o Eng. Alaor Pimenta, ficou em torno de 1/3 (um terço) abaixo do peso total do mesmo edifício caso tivesse sua superestrutura executada em concreto armado convencional, o que resultou

num dimensionamento das fundações com 30% de economia em relação a esta outra solução estrutural.

2.5.4.2 Lista Resumida dos Componentes de Aço:

Tabela 07 – Lista resumida de componentes de aço – Edifício Bouganville.

SUPERESTRUTURA: USISAC 300, COS AR CORR400E :	Perfis e chapas diversos
Peso Total	143.500,00 kg
FORMA LAJE: USI ZAR 280	Trapezoidal, Bobinas e= 0,8mm
Peso Total	34.500,0 kg
CONSUMO TOTAL DA ESTRUTURA:	178.000,0 kg
VEDAÇÃO EXTERNA: USI SAC 300:	Perfis U, bobinas e= 2mm
Peso Total	15.000,00 kg
DIVISÓRIAS INTERNAS: NBR 7008 ZC:	Perfis U, bobinas e= 0,50mm
Peso Total	6.600,00 kg
CONSUMO TOTAL DE AÇOS PLANOS:	199.600,0 kg

2.5.4.3 Quadro Resumo de Dados:

Tabela 08 – Quadro resumo de dados – Edifício Bouganville. Desenvolvimento do Autor.

CASTRO PIMENTA - CARACTERÍSTICAS DO PROJETO				
DIMENSIONAIS	INFORMAÇÃO		QUANTIDADE	UNIDADE
	1	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA	3.489,00	m ²
	2	ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	222,00	m ²
	3	ÁREA DE PROJEÇÃO	222,00	m ²
	4	ÁREA DE INFLUÊNCIA (COM RECUOS)	590,00	m ²
	5	ÁREA PARA NORMA DE INCENDIO	1.752,00	m ²
	6	PERIMETRO DA FACHADA	62,00-	m
	7	DISTÂNCIA PISO A PISO	3,05	m
	8	NÚMEROS DE PAVIMENTOS	10 + 3	
	9	ÁREA DE FACHADA	2458,3	m ²
	10	NÚMERO DE UNIDADES (TIPO E ÁREA LÍQUIDA)	3 quartos / 20 unidades / 81,6 m ²	
ESTRUTURA	11	m ² de FACHADA / m ² CONSTRUÍDO	0,85	
	12	NÚMERO DE PILARES	22x3=66	
	13	NÚMERO DE VIGAS	494	
	14	NÚMERO DE LIGAÇÕES	1116	
	15	PESO TOTAL (PILARES, VIGAS, ESCADA, ENGRA)	145,6 ton	
	16	TAXA TOTAL	41,72 kg/m ²	
	17	RENDIMENTO DE MONTAGEM (para 2886m ²)		
CONSTRUTIVO		NÚMERO DE PILARES E VIGAS / m ²	0,19/ m ²	
		NÚMERO DE LIGAÇÕES / m ²	0,39/ m ²	
	18	SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO	Contraventamento nas paredes, lajes e caixa de escada	
	19	TIPO DE LAJE	Forma metálica incorporada	
	20	INTERAÇÃO VIGAS/LAJES	Vigas mistas (com pinos de ancoragem)	
	21	VEDAÇÕES EXTERNAS	Estrutura auxiliar de perfis onde são fixas placas de granitos	
	22	DIVISÓRIAS INTERNAS	Alvenaria de tijolo furado executados sobre a laje	
	23	INSTALAÇÃO/CONSTRUÇÃO	Corre livre pelo entreferro e por dutos verticais (shafts)	
	24	LIGAÇÕES ESTRUTURA/PAREDE	Flexíveis por perfis galvanizados (paredes a seco)	

2.5.4.4 Entrevista

Eng. Alaor Pimenta, responsável técnico da Construtora Castro Pimenta, executante do Edifício Bouganville em Contagem - MG.

- 1) A Castro Pimenta já teve outras experiências com estruturas mistas e estruturas de concreto moldado “in loco”, sempre com utilização de sistemas industrializados nos

fechamentos e nas divisórias. Quais pontos podem ser destacados na obra deste edifício com a inclusão de sistemas industrializados para lajes e superestrutura?

Eng. Alaor Pimenta: *Precisão , otimização , leveza e uniformidade.*

- 2) O sistema desenvolvido para as fachadas, já aplicado a outras obras da construtora, é uma parede cortina com placas de granito fixadas sobre uma estrutura de aço auxiliar. Como é o detalhamento que permite os ajustes de fixação e absorção das movimentações entre a pele externa e a superestrutura?

Eng. Alaor Pimenta: *Veja desenho que vou enviar.* (figura 2.25)

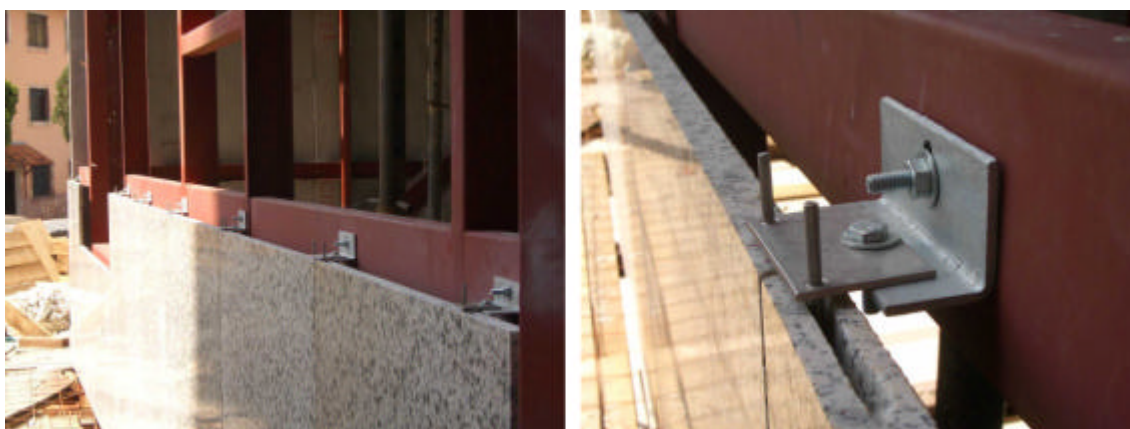


Figura 2.25: Fixação das Placas de granito sobre a estrutura auxiliar de fachada. Fonte: Arquivo do autor.

- 3) A estabilização por contraventamentos diagonais e lajes com contribuição da escada em concreto foi a solução mais vantajosa? Porquê utilizar esta opção e qual suas conseqüências no processo construtivo?

Eng. Alaor Pimenta: *Os contraventos foram bem vindos no aspecto econômico, porém no arquitetônico foram um desastre. Quanto a utilização , não só as escadas mas também os halls, são padrões do Corpo de Bombeiros e da Castro Pimenta já utilizados em outras obras.*

- 4) Suas paredes externas e entre-forro, acabados, terão largura maior comparados a soluções construtivas triviais. Você entende que as soluções adotadas nesta obra

poderiam ser aplicadas a edifícios direcionados a um público com menor poder aquisitivo?

Eng. Alaor Pimenta: *Os vãos internos terão um ganho de área, mas teremos uma redução na altura do teto em relação aos sistemas triviais.*

Esta solução: Vejo que é ideal para obras com mais de quatro lajes, para um mercado que exige revestimento externo e complexidade em acabamentos e instalações. Então não é um sistema para obras de baixo custo.

2.5.5 Duas Outras Soluções

Neste item tem-se a descrição de duas outras soluções que diferem das citadas anteriormente em função dos sistemas de fechamento utilizados. Os edifícios são: Hotel em Caldas Novas, no estado de Goiás, e edifício residencial na cidade do Rio de Janeiro.

A primeira dessas duas soluções acrescentadas neste item tem um motivo específico para sua inclusão neste estudo: a execução dos fechamentos externos em painéis de concreto celular autoclavado fora da projeção do eixo estrutural periférico, descarregando seu peso no prolongamento em balanço das lajes. Solução similar é comum nas situações de fechamentos (execução das paredes externas) com painéis pré fabricados vencendo o vão entre cada dois pilares da fachada. Nestes casos os painéis são montados externamente à estrutura como “pele de vedação” e descarregam seus pesos diretamente nos eixos dos pilares ou nas vigas. Quando a carga de vedação é lançada sobre as vigas, estas devem ser dimensionadas para responder a esforços de torção ou ter algum dispositivo de transição que transfira o peso do painel diretamente para o seu eixo de simetria vertical ou coincidente com o centro de cisalhamento. Outra diferença deste caso para o primeiro é que a laje não precisa se estender até a base dos elementos de fechamento ou até a linha externa de fachada, pois estes não se apoiam sobre ela. Exemplo destes sistemas de fixação do fechamento externo em painéis podem ser vistos na obra do Hotel Íbis da Avenida Paulista em São Paulo –SP (figura 2.26).



Figura 2.26: Sistema de fixação do fechamento externo no Hotel Íbis, São Paulo – SP.

Fonte: CGA USIMINAS

No caso dos hotéis construídos em Caldas Novas - GO a solução de montagem dos painéis de concreto celular autoclavado fica tecnicamente classificada a meio termo entre um processo de alvenaria de blocos e o de painéis pré-fabricados vencendo vãos inteiros. Neste processo há paginação dos elementos que configuram a parede e seu assentamento envolve tanto o apoio na base quanto ligação entre painéis, conformação de “vergas” sobre aberturas e outros aspectos semelhantes aos de execução de paredes em alvenaria de blocos com um grau mais elevado de simplicidade executiva e pré-fabricação (figura 2.27). A execução das paredes externas fora do eixo de projeção traz duas diferenças em relação à sua execução totalmente confinada dentro do quadro estrutural: a ligação entre parede e estrutura têm menos elementos de fixação e a influência das eventuais movimentações da estrutura sobre a alvenaria é menor (menor superfície de contato entre estrutura e alvenaria). Nos detalhes a seguir (figura 2.28) tem-se a especificação do mesmo processo construtivo para os dois casos, vedação confinada entre quadro estrutural e vedação externa à malha da estrutura.



Figura 2.27: Paginação de painéis de concreto celular autoclavado nas paredes de hotel em Caldas Novas – GO. Fonte: Sical Industrial.

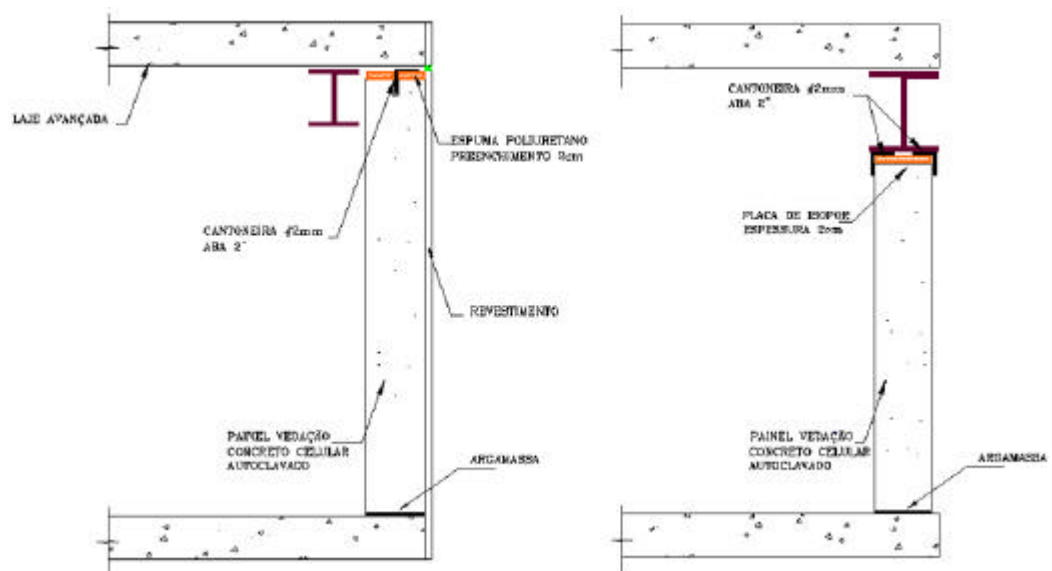


Figura 2.28: Soluções de fixação em painéis de concreto celular autoclavado (SICAL INDUSTRIAL, 2004)

Outra diferença no processo construtivo entre as duas soluções é o dimensionamento e a paginação do fechamento externo em relação à modulação estrutural estabelecida no projeto. No caso da execução de paredes entre elementos estruturais, sua dimensão não é necessariamente condicionada à distância entre os eixos, ficando dependente do sentido de orientação e da geometria dos pilares. Só nos casos de pilares de seção transversal aberta (“H”) e paredes confinadas entre suas almas é que a dimensão e a lógica de paginação dos seus elementos pode obedecer às distâncias entre eixos definidos na modulação estrutural. As paredes executadas fora dos eixos estruturais têm relação direta com sua dimensão, e podem ter a paginação dos seus elementos construtivos diretamente definidos pela mesma medida estabelecida na malha estrutural. Nestes casos apenas as quinas das paredes pedem solução fora da malha, que pode ser lógica e padronizada.

Mais uma observação deve ser feita em relação a esta solução: seja a parede externa executada em painéis de concreto autoclavado ou em qualquer outro sistema os revestimentos que sobre ela vêm assentados quando estão fora do eixo estrutural também seguem a modulação estabelecida para a estrutura. Esta lógica de projeto transforma modulação estrutural em coordenação modular entre estrutura e sistemas construtivos complementares. A última descrição, por exemplo, coordenou estrutura, vedação e materiais de revestimentos em uma mesma malha de projeto. (figura 2.29).

A necessidade de estabelecer-se uma lógica de coordenação modular entre os diversos componentes construtivos cresce proporcionalmente ao nível de industrialização das soluções adotadas. Este é o motivo da inclusão do próximo projeto nesta análise: o arquiteto inglês Nicholas Grimshaw, contratado pelo IISI – International Iron and Steel Institute, a desenvolver um projeto para a cidade do Rio de Janeiro teve como premissa a incorporação, nas soluções construtivas projetadas, do máximo possível de sistemas e componentes metálicos industrializados (INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE, 2004).

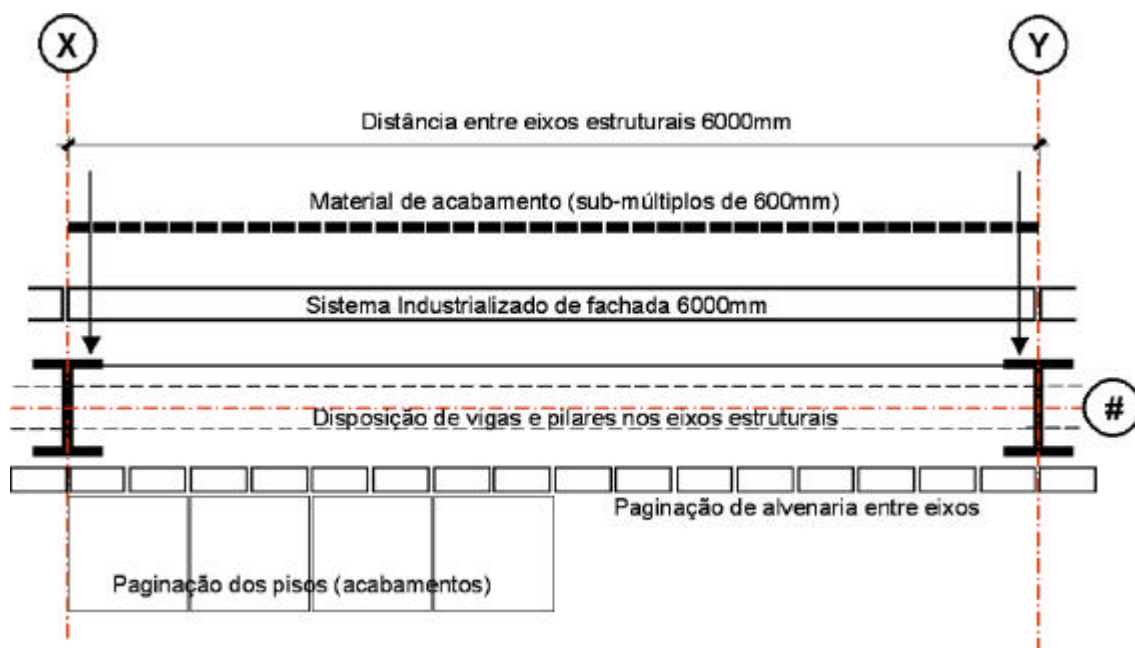


Figura 2.29: Coordenação modular entre sistemas construtivos e notação técnica. Fonte: Arquivo do autor.

A resposta a esta consulta está sob a forma de Estudo Preliminar de Arquitetura mas nos fornece dados para uma descrição abrangente de suas especificações além de permitir compreender uma preocupação de projeto além das lógicas construtivas diretas até então abordadas. Todo o levantamento precedente ao início do projeto fornece uma base de dados para respaldar suas decisões iniciais e determina o desempenho energético pretendido com a edificação. A tabela “Energy Saving Measures by Global Regions” (JONES, 1998) (figura 2.30) especifica parâmetros básicos de economia de energia por características climáticas regionais e permite iniciar o desenvolvimento do projeto com algumas premissas iniciais definidas. Vários parâmetros de projeto são classificados entre “Nenhuma importância”, valor “Zero” e cor azul clara, e “Muito importante”, valor “Sete” e cor vermelha. A tabela permitiu a equipe de projeto de Grimshaw apontar, para a região da cidade do Rio de Janeiro (clima Tropical), as seguintes direções iniciais: fomento da ventilação natural, construção preferencialmente leve, necessidade de sombreamento da luz solar direta com apropriação da iluminação natural e especificação de sistemas construtivos com baixa contenção de energia.

ENERGY-SAVING MEASURES BY GLOBAL REGIONS		CLIMATIC ZONES										
		Ice Caps	Tundra	Uplands	Continental	Temperate	Mediterranean	Subtropical	Tropical	Savannah	Steppe	Desert
PASSIVE COMFORT MEASURES	ACTIVE COMFORT MEASURES											
Natural Ventilation		0	0	1	4	6	6	7	7	7	7	7
	Mechanical Ventilation	5	5	3	3	3	4	5	6	6	6	6
Night Ventilation		0	1	2	3	5	6	7	7	7	7	7
	Artificial Cooling	0	0	0	1	1	3	5	5	5	5	6
Evaporative Cooling		0	0	0	1	2	3	2	2	5	6	7
	Free Cooling	0	0	0	4	3	5	6	6	7	7	7
Heavy Construction		3	4	4	6	5	6	2	2	3	5	6
Lightweight Construction		3	3	2	2	3	3	5	5	6	4	4
	Artificial Heating	7	7	7	7	6	4	0	0	2	4	1
Solar Heating		2	3	6	6	7	6	0	0	2	3	0
	Free Heating	7	7	7	6	6	5	0	0	0	3	0
Incidental Heat		6	6	6	5	5	4	0	0	1	2	0
Insulation/Permeability		7	7	7	7	6	5	0	0	1	3	4
Solar Control/Shading		0	1	3	4	5	6	6	6	6	7	7
	Artificial Lighting During Daytime	6	6	4	4	4	3	3	3	2	2	2
Daylight		6	6	6	6	6	6	5	5	5	4	4

Key

0 No Importance 7 Very Important

ENERGY-EFFICIENT MEASURES WHICH ARE CONSTANT WHEREVER THE BUILDING IS LOCATED

Embodied, Grey and Induced Energy Comfort Management Energy Generation

FOR RIO DE JANEIRO: Natural ventilation, Lightweight construction, Solar shading, Daylight, Low embodied energy

Figura 2.30: Tabela global de parâmetros de projeto para eficiência energética e conclusões de Grimshaw e equipe para definições do estudo no Rio de Janeiro. (JONES, 1998; INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE, 2004)

Os componentes construtivos identificáveis no material descritivo do projeto apresentado são os seguintes: superestrutura com pilares e vigas em perfis de aço convencionais, divisórias internas em estruturas leves de perfis galvanizados com placas

Lightweight Construction

Super-estrutura em aço

Vedações em Painéis com estrutura de aço leve

Escadas com estrutura de aço leve

Estrutura em aço na fachada sul para assoalhos dos corredores de acesso

Esta proposta é de uma concepção idealizada que, provavelmente, não considera em suas definições parâmetros do mercado imobiliário local como taxas de ocupação

possíveis, unidades com áreas comercialmente aceitas ou economicamente viáveis, mas representa importante material de análise para este estudo por diversos motivos. Primeiro ressalta-se uma postura de projeto externa à nossa realidade originária de profissional com domínio de técnicas construtivas mais recentemente desenvolvidas e aplicadas em contexto com alto grau de industrialização nas construções dos diversos empreendimentos direcionados a qualquer finalidade. O segundo ponto digno de nota é a preocupação na concepção de projeto com uma definição dos espaços de transição entre áreas públicas e privadas, diversificação de usos e ocupações com setorização para utilização comercial no nível térreo e áreas privativas abertas para cada unidade habitacional. A proposta apresenta módulos básicos de construção que dispostos em conjunto também permitem a configuração de uma estratificação de projeto necessária a qualquer intervenção arquitetônica em espaço urbano pré-definido (figura 2.33). As preocupações ambientais recorrentes e cada vez mais exigidas em aprovações de empreendimentos ganham força e procuram estabelecer-se como norma em qualquer situação de projeto. Seus valores têm-se concentrado na auto sustentabilidade dos processos e materiais propostos, fixando-se em conceitos de reciclabilidade, baixo consumo de energia na manutenção de seus parâmetros mínimos de conforto ambiental e outros aspectos ainda pouco abordados como o conceito de contenção de energia de determinado material ou sistema empregado no processo construtivo. Estes aspectos validam a inclusão deste estudo preliminar de arquitetura no universo de informações a ser descrito antes do início do desenvolvimento do projeto que será proposto neste trabalho. A análise de seus dados ilustra preocupações relevantes que transcendem especificações técnicas diretas e conectam suas definições a referências também técnicas mas independentes dos parâmetros imediatistas que normalmente regem o mercado imobiliário. Pode não ser o caso deste estudo em particular, até mesmo pelo seu caráter embrionário e experimental, mas os conceitos aqui apresentados são realidade em vários cenários e propostas de construção e comercialização de imóveis, sem perder de vista parâmetros também relevantes como custo, área total construída, retorno do capital investido e outros.

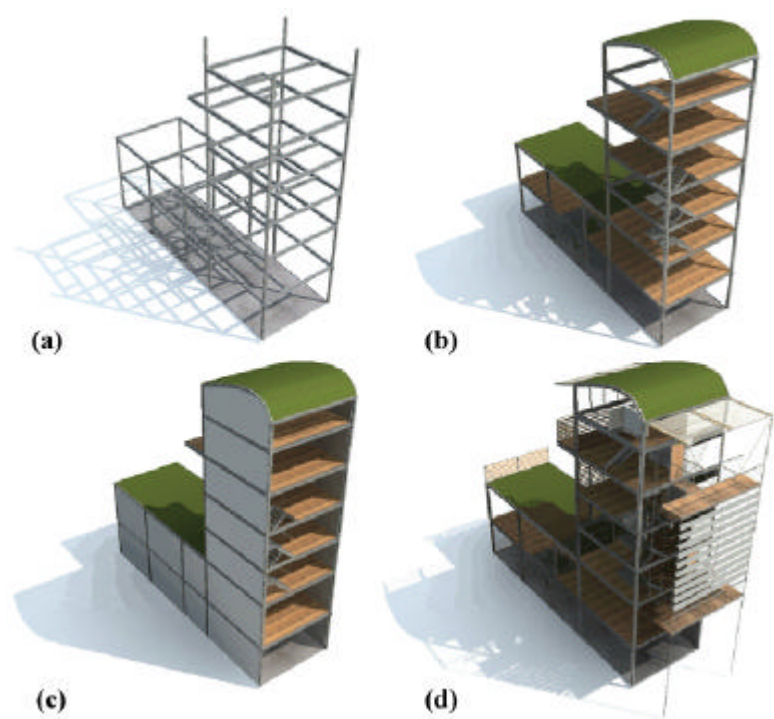


Figura 2.33: Simulação de sequência de execução do módulo básico (INTERNATION IRON AND STEEL INSTITUTE, 2004)

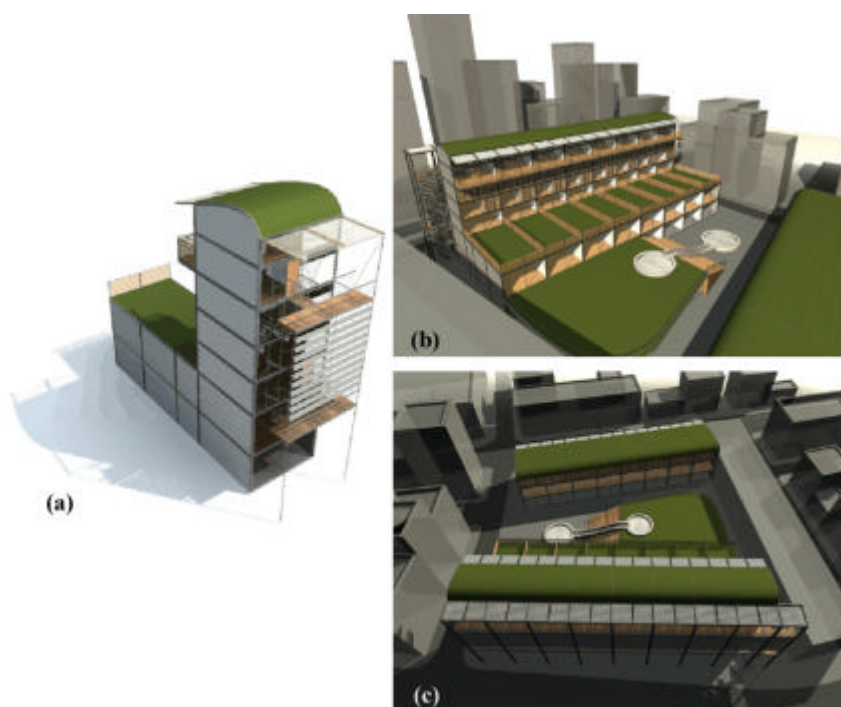


Figura 2.34: Módulo básico pronto e vistas gerais do conjunto (INTERNATION IRON AND STEEL INSTITUTE, 2004)

2.6.1 Entrevistas

Eng. Otávio Nascimento, diretor técnico da empresa Consultare e autor do Manual de Construção em Aço “Alvenarias” publicado pela CBCA.

- 1) Como consultor de três das soluções técnicas para interfaces entre vedações e estrutura de aço apresentadas neste estudo (edifícios Múltipla e Alusa na CDHU e dos edifícios de hotéis em Caldas Novas - GO) qual você apontaria como principal vantagem da especificação das vedações fora do eixo estrutural em relação a sua localização confinada entre o quadro estrutural formado por pilares viga e laje?

Eng. Otávio Nascimento: A principal vantagem seria minimização de tratamento com interface da estrutura coma a alvenaria, ponto de grande incidência de patologia.

- 2) Sabemos que existem respostas técnicas satisfatórias e vantagens para os dois casos (alvenaria em plano diferente da estrutura ou confinada entre seus quadros). Especificamente quanto ao impacto das movimentações da estrutura sobre os fechamentos quais são as principais diferenças entre as duas situações? Quais os mecanismos de absorção dessas movimentações nos dois casos?

Eng. Otávio Nascimento: A principal diferença é que a Alvenaria fora do eixo da estrutura, como dito anteriormente, não apresenta interface entre a estrutura de forma geral e a alvenaria, situação que requer cuidados específicos no seu tratamento, tanto na sua ligação, quanto no revestimento.

Porém, não é impossível tal tratamento. A utilização de material elástico, reforços com tela, execução de juntas e frisos são técnicas aplicáveis quando a alvenaria está confinada.

- 3) Quais as soluções de projeto para o revestimento de pilares e vigas mantidos a mostra fora dos panos de alvenaria nos edifícios dos Hotéis em Caldas Novas?

Eng. Otávio Nascimento:

- Pilares metálicos aparentes com aplicação de pintura a base de epóxi;

- *Pilares e vigas revestidos com argamassa, reforço com tela e chapisco colante modificado;*

- *Pilares e vigas revestidos com carenagem de placas cimentícias.*

- 4) Em qualquer solução estrutural é muito comum a manifestação de trincas diagonais no exterior da fachada (reboco externo) a partir dos cantos de vãos das aberturas, principalmente naquelas das fachadas com maior incidência direta de raios solares . Qual seria uma medida eficaz de projeto para prevenir estas ocorrências?

Eng. Otávio Nascimento: *A incidência de fissuras diagonais, nas aberturas, geralmente se dá por se tratar de pontos de grande tensão associados a uma região “sofrida” pela fixação dos marcos das esquadrias, necessita de tratamento específico. A utilização de gabaritos pré-moldados nas aberturas, assim como o tratamento de enrijecimento da região com reforço com telas, ou até mesmo, um estudo específico quanto à migração de água nesse ponto, são medidas aplicáveis e eficazes.*

Architect Michael Pawlyn, Senior Associate of Nicholas Grimshaw and Partners, Architects, Planners & Industrial Designers.

“Dear Ascanio Merrighi

I have been asked to respond to your questions on Sir Nicholas's behalf as I was directly involved in the HSI project. I note that you requested a response by 22.10.04 so I hope these answers are still of use.

A general point to note is that the scheme we did was a very brief concept study assembled under onerous time constraints. The study suggested a number of possible approaches but did not necessarily suggest that those would be the ultimate solutions. The intention was that the next stage of the project would involve extensive and detailed discussions with specialists from a range of disciplines in order to establish the most appropriate solutions.

I hope this helps.

Best wishes

Michael Pawlyn, Senior Associate, Grimshaw & Partners Limited”

- 1) Your firm were recently hired by IISI (International Iron and Steel Institute) to design a mixed use building in Rio de Janeiro, Brasil, as part of a program so called “Growing the Market for Steel in Construction”. Design guidelines initially considered David Lloyd’s table “Energy Saving Measures by Global Region” to reach an energy efficient solution. The first overall technology strategy one can note on the approach is the mixed use of main structural steel frame with lightweight steel subsystems on structural floors, partitions and stairs. If your basis were focused on lightweight construction why did you avoid a complete lightweight, galvanised, steel framed building system?

Arch. Michael Pawlyn: We would explore the optimum way of using steel during the next project stage.

- 2) Based on your previous experiences how long can you say the designed building would take to be assembled on a normal basis?

Arch. Michael Pawlyn: The assembly period would be heavily dependent on the degree of off-site manufacturing involved. It could be as little as 6 months.

- 3) Exterior and separation (between units) walls, as noted on your design presentation, were set inside the structural frames or, we could say, under the column lines. Wouldn’t it be better, for modular coordination among main structure, wall units systems (boards, masonry units or panels) and finishes under a same basic module, to place them aside on floor plans?

Arch. Michael Pawlyn: You may well be right.

- 4) We couldn’t find much information about main structure stabilisation system. How are you planning to deal with it on your design?

Arch. Michael Pawlyn: No structural engineer was involved but it is likely to achieve a lighter overall steel weight if we braced the structure rather than use rigid joints.

- 5) Hollowed brick Masonry walls are very common on Brazilian constructions, working as main structure on load bearing walls or as the building enclosing and

partition systems. Builders also consider this the cheapest solution. Considering no mandatory material choice, would you revise any item of your design based on this information?

Arch. Michael Pawlyn: The builders you speak of may be right but it is often the case that building contractors are not completely up to date with technological developments and often rely on traditional, or at least familiar, methods of building. There is a considerable reluctance to changing methods of building in the UK and I would guess that Brazil may be the same.

- 6) Which can you say would be the greatest steel contribution to a residential building design approach? Meaning the material it self and it's unique qualities brought to a contemporary context and aesthetics possibilities.

Arch. Michael Pawlyn: As I am sure you know, steel can achieve a very refined aesthetic as a result of its slenderness relative to heavyweight construction. This is equally applicable to the exterior of the building as it is to the internal elements.

- 7) Fire protection on steel structures is been an important issue lately. How was it approached or how is it planned to be covered on your conceptual design solution?

Arch. Michael Pawlyn: This was not addressed in detail during our concept study but in principle we would use lightweight steel protection such as plasterboard where we were not expressing the structure and perhaps intumescent coatings where we were expressing the structure. There has been some interesting research recently into unprotected steel framed buildings - ie. relying on inherent resistance and designing within these limits.

2.7 Cruzamento de Dados e Análises Comparativas:

Algumas das designações dos projetos citados já foram tecnicamente comentadas no momento de sua descrição, inclusive com comparações de suas conseqüências no contexto da obra ou projeto com as especificações diferentes dos outros casos. As experiências descritas nesta etapa de trabalho têm aspectos técnicos e interfaces entre

estrutura e demais sistemas propostos resolvidas de forma clara e eficiente, cada uma em seu contexto particular. O desenvolvimento das soluções em tal nível de diversidade é o principal respaldo que configura 2.o universo de projeto como um conjunto de possibilidades que devem ser correlacionadas de maneira lógica, de acordo com premissas e condicionantes pré determinados em cada caso. Todas as configurações têm vantagens nítidas em alguns pontos específicos mas que incorrem em soluções de outros aspectos que não necessariamente seriam, consideradas de maneira isolada, as mais indicadas ou vantajosas.

Um sistema estrutural em aço, leve e eficiente, foi o determinante do desenvolvimento de cada solução apresentada. Em alguns casos este objetivo foi muito favoravelmente atingido, em outros a performance global foi inferior neste aspecto isolado. A qualidade maior de determinados projetos não está concentrada na taxa de consumo estrutural mas recai sobre sua agilidade de montagem e por isso determina um maior investimento na fabricação de sua estrutura. Outro projeto opta por um número maior de pavimentos mesmo que isto recaia num consumo estrutural por unidade de área bem superior a dos demais por que a situação abordada era satisfatória a esta decisão. A opção por maior grau de industrialização dos processos construtivos não apresentou-se apenas no último caso abordado, como uma visão estrangeira isolada e desconcertada da realidade local, mostrando-se também viável em caso palpável e situação trivial do mercado imobiliário. Os projetos descritos representam uma gama de soluções que abrangem desde unidades prediais padronizadas que são mais viáveis quando repetidas e implantadas em grande escala a edifício concebido para atender uma única situação, passando por soluções modulares repetidas em escala mais modesta e por aquelas que tem na repetição horizontal de seu módulo básico a configuração de um edifício único a ser implantado em seu contexto particular. A lógica construtiva foi atingida nos diversos casos vistos mas não é o único aspecto ao qual deve deter-se uma proposta arquitetônica.

Os precedentes de cada situação devem ser considerados na justaposição de suas soluções. A intenção não é estabelecer a melhor entre elas mas compreender suas diferentes prescrições em cada contexto de projeto, mesmo que semelhantes, e cruzar

seus dados para mais a frente estabelecer onde prevalecem suas vantagens e quais aspectos são menos privilegiados em detrimento daqueles eleitos como primordiais.

Os sistemas estruturais apresentados têm perfis confeccionados a partir do beneficiamento de tiras planas de aço estruturais, seja por formação a frio das seções ou por eletrofusão das partes que os configuram (mesas e alma das geometrias em I ou H). A primeira análise estrutural cabível recai sobre a performance das seções vistas e da combinação entre as formas utilizadas. As seções bissimétricas de geometria fechada (tubos circulares, quadrados e retangulares) têm comprovada melhor performance estrutural definida tanto pela distribuição periférica uniforme do material estrutural quanto pela melhor capacidade de resistência (inércia) puramente definida por seus aspectos geométricos, com centros de inércia e cisalhamento coincidentes. Seções do tipo descrito são utilizadas em perfis de vigas em um caso e no dos pilares em outros mas em nenhum dos casos apresentados temos perfis de vigas e pilares especificados conjuntamente com estas características geométricas. As combinações de pilar e viga descritas têm sempre um dos dois elementos determinados em seções abertas. Ambos os casos são relativos a projetos construídos para a CDHU em São Paulo: a primeira solução traz perfis abertos nos pilares (duplo cartola) e fechados nas vigas (caixa de seção retangular), a segunda com tubos circulares ou retangulares nos pilares e vigas em seção U abertas. As aberturas das seções de vigas e pilares são preenchidas no processo construtivo com as execução das alvenarias nos dois casos: num as paredes encaixam-se nas aberturas do pilar a elas direcionadas, incorporando esta característica no sistema de ligação parede / estrutura, na outra a viga é preenchida com os blocos da alvenaria e fica completamente embutida na parede acabada. Nos dois casos o principal argumento para a utilização intercalada de seções abertas e fechadas é a configuração de uma situação mais propícia à execução das ligações entre vigas e pilares. Esta vantagem teve destaque nas duas soluções apresentadas, uma com ligações soldadas e outra parafusadas, apresentando condições mais favoráveis à configuração dos nós rígidos que contribuem para a estabilização da solução soldada (maior aresta de contado e encaixe do perfil caixa com o duplo cartola) e apresentando uma taxa de consumo desprezível, dentro do contexto global da estrutura, na ligação das vigas abertas com os pilares tubulares da solução parafusada.

Em quase todas os projetos a estrutura fica confinada dentro das paredes acabadas, exceção feita ao exemplo citado dos hotéis em Caldas Novas, onde as paredes externas ficam fora do eixo estrutural e têm todas as vantagens de coordenação modular já mencionadas no tópico anterior. No edifício de Contagem, os sistemas de construção a seco das paredes garantem o confinamento total da estrutura minimizando seus impactos diretos sobre os fechamentos e divisórias, o que acontece também com as vigas, enclausuradas no entre-forro. As opções com alvenaria de blocos executadas dentro dos quadros estruturais envolvem completamente a estrutura e minimizam seu impacto no aspecto final do projeto. A definição dos fechamentos externos fora dos eixos estruturais deixa duas opções: assumir a estrutura aparente interna ou externa à edificação como parte da proposta arquitetônica mostrando suas vigas e maioria dos pilares ou enclausurar seus elementos com placas de revestimentos ou uso de sistemas de piso (vigas, laje e forro) favoráveis a soluções esbeltas, com todos elementos embutidos em seus limites inferior e superior. Exemplos desta soluções são os sistemas de piso esbelto recentemente desenvolvidos na Inglaterra e já “tropicalizados”, com diferenciais, sob as condições locais: lajes maciças ou formas lajes de material galvanizado embutidas em vigas monossimétricas, chamados respectivamente, “slim floor” e “slim deck” (figura 2.35).

Nas etapas posteriores referentes ao desenvolvimento do projeto proposto neste trabalho recorreremos aos dados levantados nesta etapa para justificar ou referenciar as decisões especificadas no projeto.

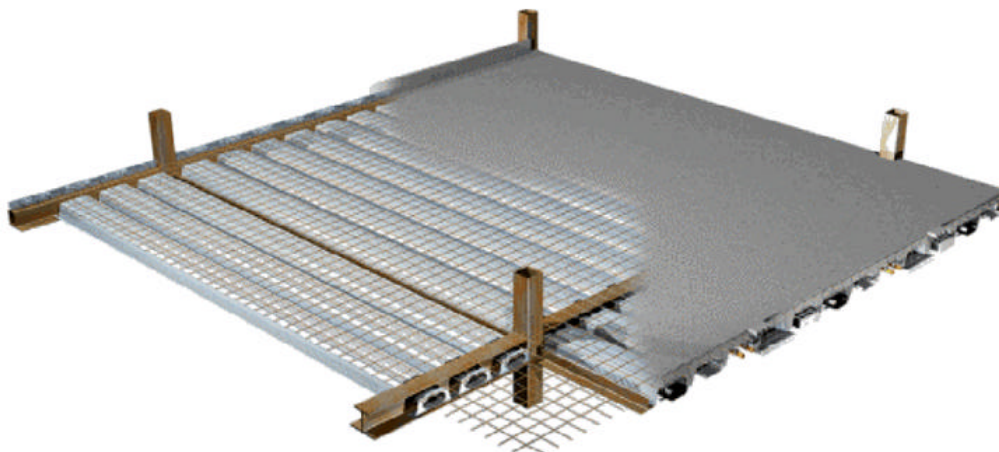


Figura 2.35: Protótipo do sistema de Pisos Esbeltos (“slimflor”) e detalhe geral de sistema de forma incorporada encaixada em vigas de abas desiguais (“slimdeck”)

Fontes: CGA Usiminas e catálogos da Corus.

CAPÍTULO 3: Configuração da Base de Dados

3.1 Introdução ao Projeto

A melhor maneira de introduzir as intenções precedentes a este projeto é esclarecer os raciocínios considerados em seu desenvolvimento.

A imensa maioria das soluções executadas para habitações econômicas trata de forma simplista a questão e não transparece grande esforço ou investimento em tempo da equipe de projeto nas suas consolidações. Há exceções, mas o que pode ser notado, tanto nas iniciativas imobiliárias privadas, quanto naquelas originárias do poder público, é que são escassas em qualidade arquitetônica. Sendo um termo de difícil mensuração, esta qualidade deve ser entendida como investimento em processo de projeto e, normalmente, pode ser detectada naquelas soluções que buscam diferenciar-se das opções mais comuns encontradas nas cidades. Boa referência para esta definição é um projeto recente do Arquiteto Joan Villà para um condomínio residencial de baixo custo em Cotia - SP (figura 3.1) concluído em 2002. Esta solução integra proposta arquitetônica bem articulada a técnicas construtivas de bom rendimento, com componentes pré-fabricados no próprio canteiro de obras, em tijolos cerâmicos. O processo construtivo foi desenvolvido sob coordenação do próprio arquiteto junto ao Laboratório de Habitação da Universidade Estadual de Campinas (revista *Arquitetura & Urbanismo* número 126, setembro de 2004). Vários outros projetos, alguns já mencionados nos capítulos anteriores, e alguns textos com reflexões sobre propostas habitacionais foram agrupados e organizados por Maria Ruth Amaral de Sampaio (SAMPAIO, 2002) em documento com grande abrangência da produção arquitetônica modernista brasileira dos anos trinta à década de sessenta.

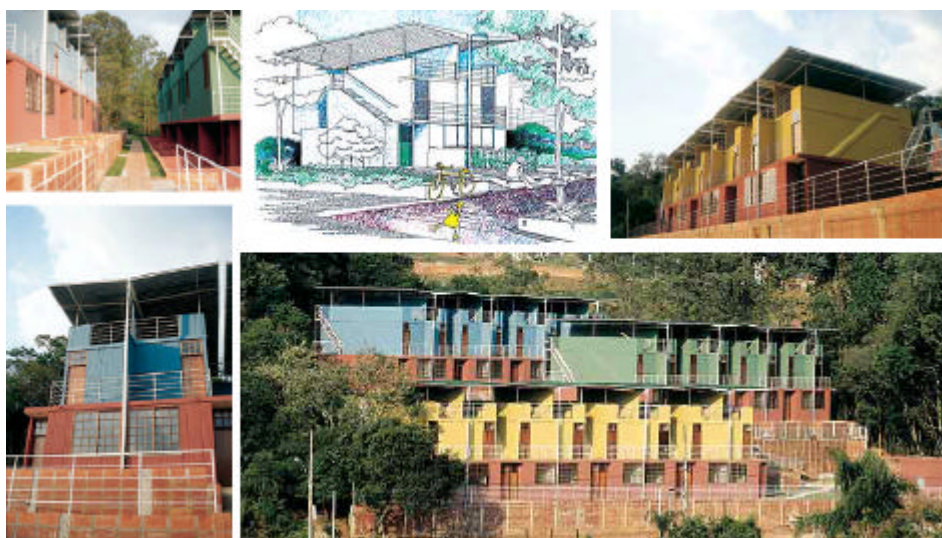


Figura 3.1: Condomínio residencial (Cotia-SP) – Arquiteto Joan Villà (Revista Arquitetura e Urbanismo, 126-2004)

Esta e algumas outras iniciativas mencionadas ao longo do trabalho ilustram que as possibilidades não se restringem aos argumentos comumente apresentados para barrar iniciativas mais elaboradas de habitações econômicas. Quando Oscar Niemeyer, como citado na dissertação de Lauro Cavalcanti, menciona a demagogia com que o tema é normalmente tratado a primeira associação que se faz é que, por alguma linha de raciocínio, o espaço essencial da habitação econômica possa ser diferente ou menos criterioso que o mesmo espaço em qualquer outro formato de tipologia residencial. As necessidades básicas, independentes dos recursos envolvidos são as mesmas. Os móveis têm as mesmas dimensões mínimas aceitáveis, o mesmo acontecendo com os requisitos mínimos para desenvolvimento de ações práticas vitais ou usufruto de momentos de lazer e descanso em determinado espaço pré-concebido por projeto. Estes dados independem da pessoa ou de seu poder aquisitivo. Pode-se pagar por mais espaço ou pela utilização de materiais mais caros que aqueles considerados econômicos, mas não se pode admitir impossibilidades espaciais elementares num imóvel qualquer pela limitação de recursos para investir no patrimônio pessoal. A situação de projetos e bens construídos chegou a ponto tal que a Caixa Econômica Federal, principal financiadora do mercado imobiliário brasileiro na atualidade, exige dimensões mínimas de cômodos

e quantidade estabelecida de móveis com dimensões e espaços mínimos de circulação pré-definidos para aprovação das linhas de crédito dos empreendimentos. Para tomar tal medida e consolidar seu “Manual de Projeto e Engenharia” muitas aberrações deliberadas e mal intencionadas de projetos e obras devem ter tido suas aprovações forçadas.

Outra opção considerada fora de questão é a especificação de materiais ou procedimentos com qualidade que comprometam a longevidade mínima esperada de um bem que pode acompanhar toda a história de vida de uma família ou pessoa. Alguns programas do Governo Federal, já em fase de implementação, buscam sistematizar as opções para qualquer especificação de projeto, classificando produtos e fabricantes quanto ao seu nível de qualidade: são os PSQs, Programas Setoriais de Qualidade, e o PBQPh, o Plano Brasileiro de Qualidade e Produtividade no habitat. Órgãos e entidades promotoras da produção de unidades habitacionais no Brasil já trabalham com requisitos mínimos para os fornecedores de componentes construtivos de seus empreendimentos.

Um outro aspecto relacionado à longevidade das unidades habitacionais indica o primeiro parâmetro de projeto a ser definido para o início de seu desenvolvimento: a flexibilidade das plantas, ou a capacidade do imóvel em modificar-se ao longo das variações de demandas programáticas de seus habitantes. Uma deficiência pouco abordada pelos projetos relativos ao tema cujas plantas propostas são quase sempre estáticas. O usuário ou cliente final adquirir um imóvel com todo o recurso que dispõe ou poderá dispor ao longo de sua vida e este “produto”, juntamente com o seu formato de administração e ou comercialização, não oferece a possibilidade de atender a demandas diferentes daquela inicial, sendo quase sempre estabelecido que aquele morador só poderá usufruir de dois quartos, uma sala, uma cozinha com área de serviço e um banheiro. Caso contrário deve desfazer-se deste imóvel e buscar outra solução, num processo por vezes mais complexo e burocrático que as possibilidades do proprietário que acaba adaptando alguma solução desfavorável dentro dos mesmos limites iniciais.

Dois projetos de desenvolvimento recente propõem soluções com possibilidades de flexibilização das plantas. O arquiteto Alcino Fonseca desenvolveu uma solução para a tradicional tipologia em “H” há tempos utilizada por Cohabs e outros órgãos públicos. Sua proposta foi adotada pela Prefeitura de Belo Horizonte em 13 (treze) edifícios (primeira fase de obras da Vila São José) (figura 3.2). Uma análise imediata da solução, com apartamentos de 1 (um), 2 (dois) e 3 (três) quartos, aponta para uma maneira desfavorável de resolvê-la: as áreas de convívio e de serviços do programa arquitetônico são as mesmas nos três casos e independem do número de dormitórios (portanto de moradores). O resultado é uma proporção ótima nas unidades de um dormitório, razoável nas de dois e aquém do necessário nas de três dormitórios.



Figura 3.2: Vila São José – Arquiteto Alcino Fonseca. Fonte: CGA USIMINAS

O arquiteto Sylvio de Podestá aborda a questão de forma mais abrangente no projeto vencedor do 2º Prêmio Usiminas de Arquitetura em Aço (figura 3.3) cujo tema foi voltado a soluções habitacionais para população de baixa renda. Seu projeto prevê a possível evolução proporcional da planta além de agregar à solução global várias outras características importantes na abordagem do tema voltado a solução em estrutura metálica: modulação estrutural rígida, sistema construtivo de grande agilidade e várias possibilidades de configurações do módulo básico de 3 (três) por 3 (três) metros entre eixos que forma espaços iniciais de 12 por 3 metros por unidade. A ilustração abaixo define as possibilidades de evolução da configuração dos módulos em edifício de quatro pavimentos, com o preenchimento dos vazios previstos na volumetria inicial como

caminho para evolução gradual das plantas. O aspecto externo do edifício transforma-se com os progressivos acréscimos de cômodos nas plantas iniciais dos apartamentos.

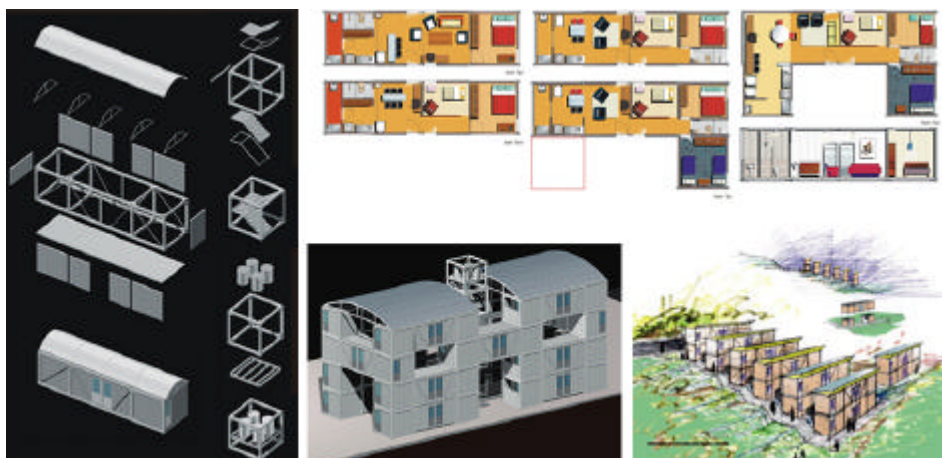


Figura 3.3: Projeto vencedor do 2º Prêmio Usiminas de Arquitetura em Aço –
Arquiteto Sylvio de Podestá. Fonte: CGA USIMINAS.

Sabe-se que a implementação de uma ou outra concepção de projeto passa por vários condicionantes e principalmente pela mentalidade e senso prático do construtor ou do responsável pelas últimas decisões nas instâncias de empresas e órgãos públicos responsáveis pelos empreendimentos. Muitas vezes o próprio projeto sofre grande influência destas fontes, ficando o arquiteto autor da proposta em situação desfavorável para decidir o que consideraria a melhor solução, seja por falta de argumentos e clareza na exposição de idéias ou mesmo de preparo técnico e segurança para propor soluções que fujam das triviais com as quais o empreendedor já se acostumou a aplicar. Definiu-se que o desenvolvimento de uma solução, “independente” destes condicionantes, que represente modo coerente de abordar o tema deve incluir outras premissas consideradas básicas. Estas seriam as delimitadoras do horizonte de projeto e configurariam os desafios aos quais seu desenvolvimento deverá responder. São estes os pontos de partida que este trabalho assume:

- Desenvolver solução de edifício para situação típica (genérica), que possa e deva ser sujeita a estudo específico para implantações em terrenos pré-definidos.

- Delimitar área de trabalho que represente situação mais comum e restritiva no mercado imobiliário com a seguinte abrangência: implantações em lotes urbanos mais característicos (12 x 30 metros) ou em glebas com dimensões mais livres.
- Buscar configuração geométrica adequada a definições próprias das estruturas metálicas, principalmente quanto a estabilização da malha estrutural.
- Definir modulação adequada a abranger tanto a padronizações lógicas dos elementos estruturais quanto dos sistemas construtivos complementares.
- Buscar implantações que favoreçam ao condicionamento ambiental natural da edificação.
- Especificar soluções técnicas preventivas quanto às patologias construtivas mais comuns das edificações residenciais
- Buscar aplicações de soluções técnicas, estruturais ou construtivas, novas ou de desenvolvimento recente no cenário brasileiro visando desenvolver solução que sirva como parâmetro para detecção de deficiências e pontos a serem explorados por outras pesquisas, mais focadas nos aspectos técnicos ou no cálculo estrutural destas novas soluções.

3.2 Definições iniciais

3.2.1 Limites de Projeto e Partido Arquitetônico

As situações mais comumente abordadas na realidade da construção civil voltada ao mercado habitacional para população de baixa e média renda são duas: empreendimentos de edifício único em lote urbano com potencial construtivo adequado ao perfil de construção multifamiliar vertical, sem elevadores, ou terrenos mais amplos, definidos como “Glebas”, que permitam implementação de vários edifícios sem as restrições de um lote. Normalmente este segmento de mercado opta por empreendimentos com um número maior de edifícios, e conseqüentemente de unidades habitacionais, tanto pela redução dos custos globais quanto para favorecer e

potencializar as vantagens da aplicação dos sistemas construtivos com maior repetição de processos padronizados. A solução que este trabalho apresentará aborda aspectos das duas situações, levando em conta que a mais favorável é aquela que produz um maior número de unidades em glebas urbanas, principalmente com utilização de sistemas construtivos industrializados.

Defini-se que o ponto de partida para estabelecer a área de desenvolvimento inicial do projeto é a do lote urbano genérico mais típico nas situações das cidades brasileiras, já mencionado anteriormente, com dimensões de 12m (doze metros) de frente por 30m (trinta metros) de profundidade. Nestes limites consideram-se recuos mínimos frontal, laterais e de fundos respectivamente de 3m (três metros) para o primeiro e de 1,50m (um metro e cinquenta centímetros) para os demais (figura 3.4). Estes valores variam localmente de acordo com as legislações de cada município mas podem ser considerados como razoáveis com ressalva para possibilidade de adequação em situações que exijam afastamentos diferentes destes. Afastamentos mínimos são medidas preventivas para implantação de edifícios lado a lado mantendo-se condições de ocupação favoráveis a boas exposições de iluminação natural, circulação de ar e preservação da privacidade de imóveis justapostos na configuração das cidades. Sua origem é vinculada ao desenvolvimento de teorias urbanas surgidas ainda no século XIX e prosseguindo no seguinte. São conceitos formalizados em estudos como o de Cidade Jardim (Ebenezer Howard, 1898), Cidade Industrial (Tony Garnier, 1917) ou da Vila Radial e outras correlatas sugeridas por Le Corbusier na década de 30. Estas propostas visavam definir situações novas à época para desenvolvimento e planejamento urbano em melhores condições de higiene e salubridade que aquelas características de cidades pré-industriais. O desenvolvimento destes conceitos prosseguiu nos anos seguintes sendo consolidados pela arquitetura moderna nas primeiras décadas do século XX e formalizados, juntamente com outros tópicos, no CIAM - Congresso Internacional de Arquitetura Moderna de 1933- em documento conhecido como “Carta de Atenas”.

Excluído:

Do planejamento regional e estabelecimento de melhores condições de vida urbana preconizados nestas teorias remotas do século XIX e início do XX resultam as

área de um lote. Mesmo não sendo a melhor configuração, estabelecer autonomia completa entre as duas metades de um edifício geminado, permite que a solução baseada neste princípio possa ser construída em um lote urbano genérico com as dimensões mencionadas. Esta autonomia entre as metades geminadas deverá estender-se a todos os parâmetros técnicos necessários a configuração de um projeto com melhor aproveitamento de área, melhores condições de ambientação natural dos espaços e segurança em eventuais situações de emergência. Defini-se então que todo o edifício será concebido para esta situação inicial mais favorável de dois lotes genéricos com dimensões de 12 x 30m, totalizando área de implantação inicial de 24m (vinte e quatro metros) por 30m (trinta metros) (figura 3.4). Dentro desta área foi desenvolvido um projeto de edifício com configuração de duas metades geminadas sendo que uma delas confina-se na área delimitada pela região dos afastamentos mínimos determinados para um dos lotes (área de 9 x 25,5 metros).

A autonomia entre estas duas metades geminadas deve ser determinada pelos seguintes condicionantes: circulação horizontal e vertical independentes, isolamento completo de uma em relação a outra segundo parâmetros determinados pelas normas e instruções técnicas para estruturas de edifícios em situação de incêndio (compartimentação e isolamento para consideração de edifícios geminados como unidades autônomas).

O desenvolvimento da solução de projeto com esta definição inicial de área será favorável à consolidação dos seguintes aspectos:

Excluído:

- estabelecimento da geometria plana que originará a retícula estrutural mais próxima das proporções de um quadrado sendo mais favorável à estabilidade do sistema estrutural e a padronização;
- melhores condições para estabelecimento de um pátio interno à configuração dos edifícios geminados o que favorece ao condicionamento ambiental natural da construção possibilitando consolidar ventilações cruzadas permanentes em todas unidades habitacionais propostas;
- definição de situações distintas no pavimento térreo que permitam desenvolver soluções para dois tipos de utilização do mesmo: situações favoráveis a ocupação

térrea residencial com garantia de privacidade e definições de áreas de uso coletivo para lazer e serviços comuns às unidades.

3.2.2 Programa Arquitetônico

Como premissa para desenvolvimento do programa inicial considera-se aquele já tradicional nas habitações de interesse social:

Excluído:

- 2 dormitórios;
- Banheiro com lavatório independente;
- Sala conjugada de estar e jantar;
- Cozinha.
- Área de Serviço

Excluído:

A intenção do projeto é configurar este programa em uma articulação que permita gerar uma volumetria externa mais diversificada que o usual com objetividade entre os fluxos internos e setorização clara dos cômodos de serviços, espaços individualizados, áreas de uso coletivo e íntimas. A maior ou menor independência entre estas setorizações ficará limitada tanto pela área líquida restrita das unidades (ideal em torno de 40m²) quanto pela maior articulação pretendida para a volumetria externa do edifício. Edifícios com este programa isolado, dissolvido nas plantas de andares típicos em vários dos projetos já mencionados, com vimos principalmente no exemplo da Vila São José, são ineficientes quanto a flexibilidade de evolução gradual da planta. A pretensão de incorporar esta possibilidade de transformação do programa inicial indica para necessidade de utilização de um recurso na planta típica que viabilize este funcionamento. A solução encontrada é incorporar ao pavimento tipo apartamentos com o programa mais restritos e que possam funcionar como região de expansão e ainda resolver outra deficiência freqüentemente detectada em projetos desta tipologia. Não existem opções de unidades menores, tipo quitinete, com programa compacto de quarto conjugado com cozinha de apoio e banheiro. Estas unidades eram freqüentes nos

empreendimentos habitacionais entre as décadas de 30 a 60 (SAMPAIO, 2002), como mostra a figura 3.5. Além de incorporar uma possibilidade de transformação da planta original das unidades de dois dormitórios este recurso possibilita o acréscimo de cômodos com aumento das áreas de convívio (salas de estar e jantar) e da infra-estrutura de serviços (banheiro) proporcional ao aumento de moradores da nova configuração.



Figura 3.5: Apartamentos de quarto conjugado das décadas de 30 a 60 (SAMPAIO, 2002).

Unidades habitacionais de quarto conjugado e banheiro têm custo final pequeno para aquisição ou locação por um público interessado em moradias provisórias, comum nas situações urbanas, seja por que terão período de estadia provisório naquele local, ou porque poderão usufruir daquele espaço por um período da vida em que não necessitem ou possam arcar com áreas superiores àquela. Moradias provisórias, compactas e de baixo custo têm grande demanda de mercado tanto nas situações com que lida o poder público, quanto nas usuais do mercado imobiliário convencional. A incorporação destas

unidades ao programa inicial com habitações de dois dormitórios confere versatilidade ao projeto, ampliando seu conceito de interação com as necessidades variáveis (figura 3.6).

Condicionantes de redução do custo final da edificação, melhor aproveitamento da área estabelecida e definição de densidade média de ocupação do terreno, apontam para uma melhor consolidação do edifício em cinco pavimentos com a seguinte ocupação: estratificação das áreas térreas entre ocupação privativa (unidades habitacionais resguardadas) e espaços de uso coletivo, andares típicos intermediários com ocupação exclusiva de unidades habitacionais e pavimento superior com uso misto (unidades habitacionais e espaços de uso coletivo).

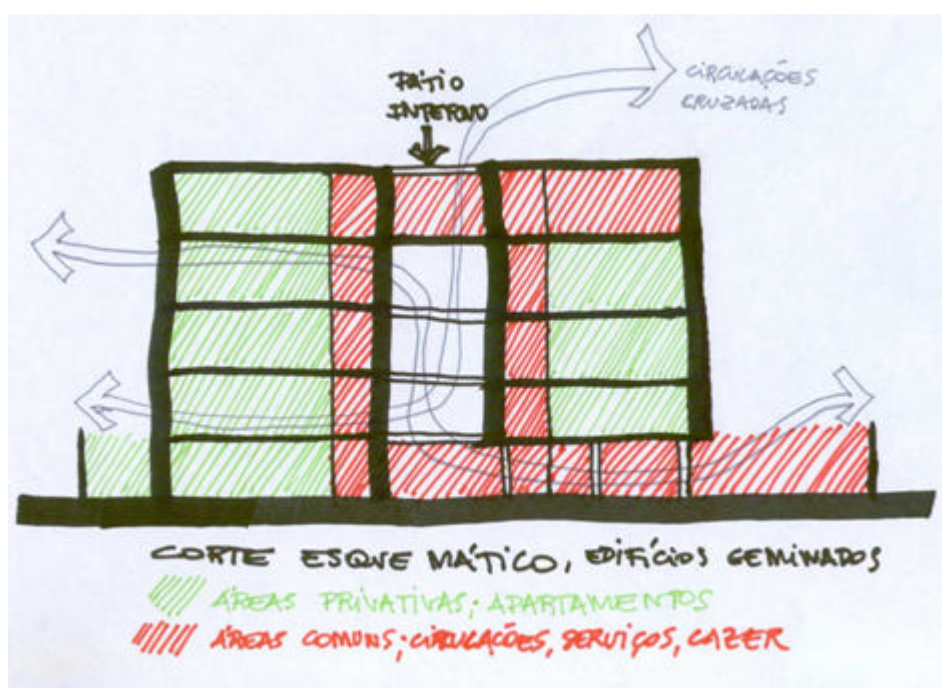


Figura 3.6: Diagrama em corte esquemático com setorialização dos usos e visualização do condicionamento ambiental natural. Fonte: Arquivo do autor

A definição do edifício com cinco pavimentos também é favorável a um melhor dimensionamento da estrutura (consumo de aço por área construída) por lidar com as menores cargas de vento para cálculo da estrutura e definir melhor relação entre área da

base (axb) geométrica e a altura do edifício. (h). A definição dos cinco pavimentos tem argumentos validados também por ser propícia ao cálculo das áreas totais das partes compartimentadas geminadas abaixo da área máxima permitida para isentar a estrutura de proteção passiva contra incêndio (cada metade geminada terá menos que 750m² segundo os parâmetros de cálculo de área definidos na NBR 14432: 2000).

As definições iniciais de programa e partido arquitetônico ficam assim estabelecidas:

- Edifício de cinco pavimentos com plantas típicas flexíveis e a seguinte disposição inicial:

Pavimento térreo: 2 unidades de dois quartos, 2 unidades de um quarto conjugado, acesso coletivo a circulações horizontais e verticais independentes, áreas de uso coletivo e cômodos de serviços comuns (suporte a zeladores e eventuais funcionários do condomínio, correios, sala de medidores de energia, cômodos para armazenagem de lixo);

Pavimento tipo (1º ao 3º): 4 unidades de dois quartos, 4 unidades de um quarto conjugado, circulações horizontais e verticais independentes para cada 4 unidades (duas de cada);

Quarto pavimento: 2 unidades de dois quartos, 2 unidades de um quarto conjugado, circulações horizontal e vertical, área coletiva de lazer coberta.

- Programa de apartamento de dois dormitórios: além dos dois quartos, sala de jantar e estar conjugadas, varanda, banheiro com lavatório independente, cozinha com área de serviços integrada. Área líquida estimada: em torno de 40m²;
- Programa para unidade de um dormitório: dormitório conjugado com sala e cozinha de apoio (copa) e banheiro com lavatório independente. Área líquida estimada: em torno de 20m²;
- Principais associações e transformações possíveis: unidade de dois quartos incorpora unidade quarto conjugado gerando uma unidade de 3 (três) quartos com aumento da área de estar e jantar e acréscimo de uma suite (quarto com banheiro

privativo); a unidade de três quarto gerada poderá ainda incorporar outra unidade de quarto conjugado transformando-se em unidade de 4 (quatro) quartos com aumento da área de estar e jantar e acréscimo de um quarto individual.

3.2.2 Modulação de Projeto

A configuração dos eixos estruturais tem relação preponderante com os processos construtivos envolvidos na proposta consolidada e com as necessidades espaciais e relação em planta dos itens estabelecidos no programa arquitetônico. Com esta consideração inicial objetiva-se determinar as distâncias entre eixos estruturais de forma a coordenar, como mencionado em capítulos anteriores, as relações de vãos economicamente mais adequados com os sistemas de estabilização e demais processos envolvidos na construção do edifício como um todo.

Uma das primeiras formalizações dos princípios de coordenação modular aplicados a sistemas construtivos está descrito na norma alemã DIM 1800. Esta norma e as relativas subsequentes descritas nos padrões internacionais (ISO) e nas normas técnicas brasileiras (NBR), também sobre coordenação modular das construções, definem um módulo básico genérico como sendo o metro, ou 1000 milímetros. No entanto, deixam em aberto o estabelecimento de módulos básicos por projeto (“M”) com sugestão para definição das distâncias entre eixos estruturais em valores múltiplos ou submúltiplos ($n \times M$) deste módulo básico.(figura 3.7).

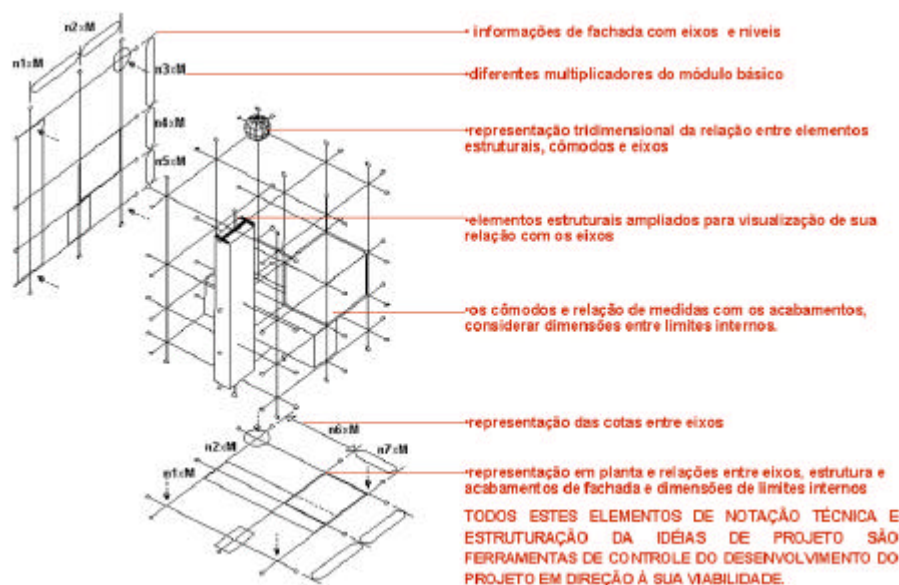


Figura 3.7: Sistema de coordenação modular extraído da Norma DIM 1800 e sua relação tridimensional com os elementos construtivos. Fonte: Arquivo do autor

O ponto de partida para definição do módulo básico do projeto deste trabalho é os componentes construtivos. Fabricados em quase todos países no sistema métrico, estes com muita frequência têm dimensão de execução, considerando-se o componente básico e as juntas de conexão entre eles, descritas como frações exatas do valor 1.200mm (mil e duzentos milímetros). Neste valor cheio poderíamos considerar: número exato de tijolos cerâmicos (dimensão em planta 300mm); número exato de placas de gesso acartonado ou cimentícias para execução de paredes a seco bem como o espaçamento entre perfis galvanizados para estruturação interna da mesma (placas de 1.200mm, espaçamento entre perfis de 600mm) número exato de diversos itens de acabamentos (cerâmicas 300x300mm, 400x400mm, 200x 200mm, 100 x 100 mm, ou azulejos de 150x150mm). Esta constatação determina a consideração inicial de projeto considerando o módulo básico de 1.200mm, devendo os eixos estruturais, para uma bom desempenho construtivo, serem definidos como múltiplos e submúltiplos deste valor.

Partindo deste módulo básico o estabelecimento dos eixos estruturais pode seguir modulação adequada ao bom desenvolvimento das necessidades programáticas de cada cômodo e atendeu satisfatoriamente aos vãos máximos razoáveis pertinentes à utilização da tecnologia construtiva e do sistema estrutural propostos. Como será apresentado a seguir nos desenhos técnicos, os valores das distâncias entre eixos estruturais ficaram assim estabelecidos: distância preponderante de 2.400mm (2xM) entre eixos longitudinais ao projeto e de 3.600mm (3xM) entre os transversais. A esta modulação básica foi acrescido um eixo longitudinal em cada extremidade do edifício geminado de 1.800mm (1,5 x M) que permitiu resolver duas situações de projeto: criação de uma área de varanda aberta em balanço atirantado nas unidades de dois quartos e ampliação da maior distância dos módulos das unidades de quarto conjugado para 4.200mm (3,5 x M). O desenvolvimento do programa básico das unidades de quarto conjugado seria insuficiente ou excessivo com qualquer combinação entre os valores dos módulos predominantes determinados de 2.400 e 3.600mm. Com a adição dos eixos de extremidades de 1.800mm atingiu-se área satisfatória de 4.200 x 3.600mm. Outro fator que determinou o acréscimo destes eixos de extremidade foi a somatória total das distâncias entre os eixos longitudinais de metade do edifício geminado de 9.000mm ($3 \times 2.400 + 1.800 = 9.000$) ficando esta metade do conjunto confinada exatamente entre os recuos da frente do terreno de 12.000mm ($12.000 - 2 \times 1.500 = 9.000$ mm). Em desenvolvimento coordenado com as necessidades do programa de cada pavimento do edifício ficou assim estabelecida a modulação estrutural do projeto. Esta modulação ainda seria favorável para determinar outras dimensões condizentes com a proposta do trabalho: possibilidade de coordenação com programa de garagens possíveis de ser desenvolvido em subsolos (módulo estrutural de 7.200 x 2.400mm ou 7.200 x 4.800mm), configuração de pátio interno suficiente para estabelecimento de um núcleo central contraventado que responda favoravelmente às necessidades de estabilização da malha estrutural (7.200 x 4.800mm) e configuração geométrica em planta de um retângulo de dimensões próximas a de um quadrado (18.000 x 15.000 mm). A modulação vertical, estabelecida no “pé direito” ou distância piso a piso entre dois pavimentos subsequentes fica estabelecida em 2.700mm (2,25 x 1.200mm) assim configura-se um volume de malha estrutural com boas relações entre medidas da base e altura para questões de estabilidade da mesma: 18.000 x 15.000 x 13.500mm (a x b x h).

A este volume central foram acopladas quatro torres de menor proporção para locação das áreas relativas aos dormitórios das unidades de dois quartos e assim ficou definido o volume básico e toda a modulação estrutural e construtiva do edifício geminado.

CAPÍTULO 4: Anteprojeto Arquitetônico

4.1 Projeto Básico

Os seguintes documentos técnicos serão expostos neste capítulo:

- Plantas: implantação do edifício no terreno, pavimento térreo, pavimento tipo inicial (figura 4.1), simulação de um desenvolvimento possível do pavimento tipo inicial (figura 4.2), quarto pavimento e cobertura;
- Cortes: dois cortes longitudinais e um transversal em pontos definidos para total compreensão das diferentes situações de projeto;
- Fachadas: todas as quatro fachadas do edifício, sem definição de orientação cartográfica por se tratar de estudo para situação genérica de implantação;
- Detalhes: especificação de alguns detalhes construtivos, principalmente aqueles pouco usuais, para compreensão de suas especificações e visualização das vantagens que incorporam ao projeto;
- Estrutura: desenhos de plantas, cortes e detalhes esclarecedores do sistema estrutural definido no anteprojeto arquitetônico;
- Urbanização: simulação de implantação de vários edifícios em gleba urbana com indicação do melhor aproveitamento e exploração das possibilidades de ocupação de áreas térreas para uso de estar e lazer coletivo e subsolos com garagens;
- Simulação construtiva: encontra-se anexado ao trabalho um CD com vídeo de animação gráfica simulando as etapas da construção do projeto, desde a montagem da estrutura até sua conclusão final.



Figura 4.1: Ilustração do pavimento tipo inicial consolidado no processo de projeto.

Fonte: Arquivo do autor



Figura 4.2: Simulação de transformação do pavimento tipo. Fonte: Arquivo do autor.

4.2 Modulação Construtiva e Solução Arquitetônica

A metodologia de projeto usou de alguns artifícios para estabelecer a coordenação entre a configuração dos elementos definidos no programa arquitetônico (com dimensões e áreas mínimas aceitáveis), a modulação estrutural e os sistemas construtivos propostos. Como indicado na análise dos projetos do Capítulo 2, considerou-se ponto de partida primordial a desvinculação entre os eixos dos planos de execução de vedações externas e divisórias internas e os eixos estruturais. Por razões que já foram expostas, a locação dos eixos das paredes fora dos estruturais sujeita sua execução aos mesmos princípios dimensionais estabelecidos para a modulação estrutural, e minimiza as perdas de materiais no processo de execução da obra. As paredes de vedação externa do edifício são locadas por dentro ou por fora da malha estrutural, apoiadas diretamente sobre a laje nos dois casos (ver detalhes construtivos e estruturais nos desenhos técnicos). Este princípio não é mandatário, sendo por vezes necessária a locação de paredes confinadas dentro de quadros estruturais como acontece com algumas paredes divisórias internas (entre unidades e entre dormitórios da unidade de dois quartos).

Além de vincular os processos de fabricação dos elementos estruturais e construtivos à mesma lógica básica de modulação o recurso de desvinculação entre estes eixos torna viável, por exemplo, que as necessidades programáticas de um dormitório sejam preenchidas utilizando a modulação estrutural de 2.400 x 3.600mm, restando, como mostrado nas plantas técnicas, uma área líquida interna ao quarto de 7,72m² com dimensões livres de 2450 x 3150mm. A ligação das alvenarias à estrutura também é reduzida com este recurso. Com as paredes passando ao lado dos pilares não há necessidade de elementos de ligação entre estes dois componentes nas duas faces do pilar, uma conexão basta para vinculá-los sem risco de transferência dos esforços da estrutura para o sistema de paredes.

Os elementos de vedação externa foram especificados em sistema de execução mista: alvenaria de tijolos cerâmicos até a altura dos peitoris (ver detalhe nos desenhos técnicos arquitetônicos) e sistema de parede a seco acima desta altura, onde serão fixadas as aberturas. Este recurso é preventivo contra duas situações comuns nas construções revestidas com reboco externo. A primeira questão favorável a esta

especificação são as trincas diagonais a partir das extremidades de aberturas de fachada, que, independente do sistema construtivo das paredes e da composição do reboco de revestimento, surgem a partir deste ponto (figura 4.3). Estas trincas são associadas a determinadas exposições a incidência de luz solar direta e são de difícil controle por artifícios de projeto e execução. Outro ponto favorável a especificação de sistema misto na execução de paredes externas é a necessidade de construção de vergas sobre as aberturas ou de amarrar a locação de janelas na parte inferior das vigas ou de outro elemento estrutural. A execução da parte superior das paredes em sistema a seco, estruturadas internamente com perfis galvanizados e revestida com placas industrializadas, previne estas duas situações de obra: uma indesejada, no caso das trincas de reboco, outra evitável, no caso da execução de vergas fundidas “in loco” sobre janelas.



Figura 4.3: Trincas no reboco a partir da extremidade da abertura. Fonte: CGA USIMINAS.

A alternância de locação das vedações externas por fora e por dentro dos eixos configura pórticos estruturais expostos em todas as fachadas e associa a imagem do edifício à sua solução estrutural com perfis de aço. Esta materialização do projeto reforça suas intenções iniciais e amarra a composição formal arquitetônica com suas soluções construtivas. Outro ponto de destaque na imagem final do edifício, também condizente com as premissas iniciais do projeto, é a utilização de telhas metálicas galvanizadas, com ou sem pintura, nas vedações das paredes externas até a altura dos

peitoris fixadas diretamente sobre as alvenarias. Processo semelhante, sem necessidade de alvenarias, foi especificado para vedação das platibandas que enclausuram a cobertura, com as telhas de fechamento lateral fixadas diretamente sobre o engradamento metálico (treliças) da estrutura de cobertura. A utilização de perfis formados a frio em estruturas de edifícios residenciais hoje aplicada em escala considerável na realidade brasileira tem sua origem nos projetos de galpões industriais. O sucesso de sua utilização, principalmente nos estudos de casos apresentados neste trabalho, é diretamente associado a reduções de peso da estrutura global e a agilidade de montagem dos elementos isolados, também de peso reduzido, reduzindo os custos diretos e indiretos de sua execução. A idéia da incorporação de telhas metálicas na vedação das paredes externas tem a mesma origem e potencial para reduzir custos finais de execução do projeto pelas mesmas razões: agilização de processo construtivo e custo final baixo do material com qualidade assegurada (produtores sujeitos a parâmetros de avaliação e níveis de qualidade estabelecidos por PSQs e PBQPh, programas de qualidade do Governo Federal).

Os sistemas e componentes construtivos fabricados a partir do beneficiamento direto de matérias primas básicas de aços planos (bobinas e chapas) estão em intenso processo de certificações e homologações técnicas por vários elos da cadeia produtiva de habitações de interesse social. A CEF disponibiliza em sua página eletrônica documentos com critérios técnicos mínimos para aprovação de financiamentos de obras estruturadas em aço ou com especificação de divisórias internas executadas com paredes em sistema a seco com perfis galvanizados. O PBQPh tem um de seus Programas Setoriais de Qualidade, PSQ, voltado especificamente para fabricantes de esquadrias de aço que terão seus produtos qualificados em diferentes níveis (A,B,C..) com variação de performance nos testes determinados por norma. Esquadrias de aço, além da vantagem de maior resistência mecânica do material, são mais econômicas que outras fabricadas a partir de matérias primas diferentes, quando com parados produtos com os mesmos tipos de dispositivos (venezianas, grades, paginação de vidros). Os cuidados ao especificar estes sistemas são relativos à performance de durabilidade e resistência do tratamento superficial, espessuras de chapas utilizadas, peso final do

produto e tipo de material base empregado. Estes são os principais condicionantes que determinam a qualidade e durabilidade destes componentes.

Além destes sistemas construtivos, as especificações básicas de materiais de projeto contemplam componentes fabricados a partir de aços planos nos seguintes componentes: tanques de reservatórios de água superior e inferior, engradamento metálico e vedação de empenas e paredes externas até a altura do peitoril (parte executada em alvenaria).

4.3 Sistema Estrutural

A definição do sistema estrutural parte da premissa de vinculá-lo a aplicação de uma solução original em relação àquelas até então aplicadas em projetos residenciais no Brasil. Algumas soluções, com desenvolvimento inicial em outros países vem sendo adaptadas para aplicação no mercado brasileiro de construção civil. A que mais motiva um estudo e desenvolvimento de projeto com modulação voltada para seus parâmetros, é um sistema de originário da área de desenvolvimento tecnológico da siderúrgica anglo-holandesa Corus (British Steel). Consolidada em vários catálogos de apresentação do sistema e com parâmetros de projeto definidos no documento SCI Publication P175, a pesquisa de Lawson et al. (1997) traz parâmetros de cálculo para dimensionamento de pisos estruturais esbeltos, com formas metálicas profundas (225mm de altura) incorporadas ao sistema de vigamentos e lajes, apoiando na parte inferior de vigas com abas desiguais (Figura 4.4). Este sistema gera uma altura total do piso estrutural para vãos de edifícios comerciais (até 7.500mm) entre 340 e 450mm, dependendo das sobrecargas consideradas e outras variáveis de projeto específicas caso a caso. O sistema usa capeamento de concreto estrutural mínimo de 30mm com malha metálica aplicada homogeneamente sobre o recobrimento da malha de vigas e formas metálicas.

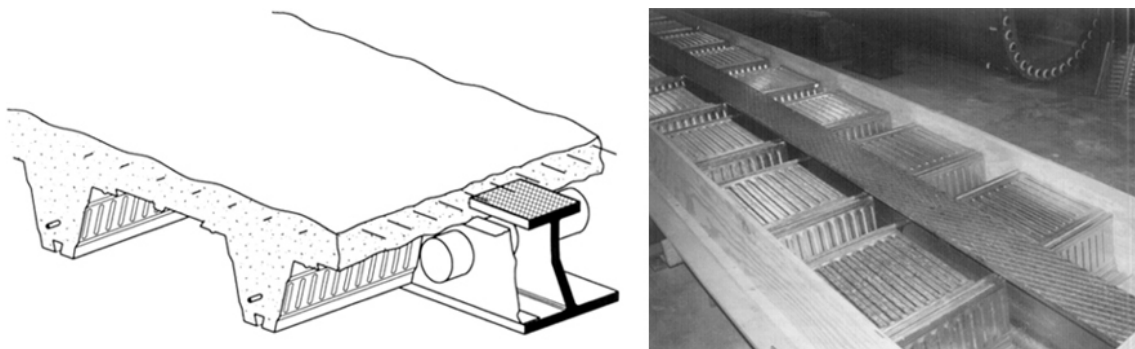


Figura 4.4: Desenho do sistema *Slimflor*® com fôrma-laje metálica e foto de ensaios estruturais (LAWSON et al., 1997)

A incorporação deste sistema estrutural no contexto de uma construção residencial no Brasil está sendo proposta com as seguintes especificações básicas: fabricação de vigas com abas desiguais por processo de industrializados de eletrofusão, utilização de fôrma laje metálica já existente no mercado nacional com altura de 75mm. Como esta fôrma só vence vão, sem escoramento, de até 2400mm, este ficou estabelecido como a distância máxima entre apoios das fôrmas. Para minimizar o número de pilares do edifício esta paginação de vigas consolida-se com o uso de vigas principais e secundárias. Todas as vigas secundárias são completamente inseridas dentro do piso estrutural esbelto com 150mm de altura total proposto no projeto. A maioria das vigas principais é especificadas como vigas mistas “I” convencionais dispostas sob a laje com fôrma incorporada e conectores de cisalhamento. Esta alternância de situações das vigas dá-se pela dificuldade em configurar a continuidade da armadura positiva das fôrmas metálicas através das vigas completamente incorporadas às lajes. Este é o principal desafio estrutural a ser vencido para um melhor desempenho deste sistema e sua total aplicação, como inicialmente concebido, para situações de vãos e sobrecargas residenciais com altura estrutural bem reduzida. Esta solução já está bem consolidada em sistemas metálicos com laje de concreto maciço fundida in loco e uso de vigas de abas desiguais incorporadas ao sistema de laje. Poderia ser aplicada à modulação desenvolvida neste projeto com bom desempenho de economia e consumo de material estrutural, mas preferiu-se a investigação de uma solução nova, para, através dos resultados alcançados, abrir um caminho de discussão e pesquisas que possam aprimorar seu dimensionamento.

A estabilização da malha estrutural é feita pelo contraventamento do núcleo central definido na concepção arquitetônica. Os contraventamentos assim dispostos estão livres de interferência com qualquer outro elemento construtivo. Sua geometria foi estabelecida para permitir os fluxos de pedestres através dos pórticos contraventados no pavimento térreo e na cobertura.

As vigas abertas de aba desigual ou não permitem trabalhar o projeto com perfis caixa nos pilares (tubos quadrados constituídos por dois perfis “U” enrijecidos soldados). Este perfil de conformação tubular tem uma das melhores relações geometria/resistência à compressão entre as seções e permite boa qualidade de acabamento e interação com os sistemas construtivos. Outra vantagem da combinação proposta de perfis de vigas e pilares é a facilidade e o baixo impacto no peso global da estrutura sobre o sistema de ligação parafusada possível de ser detalhado para conexão entre as seções. Estes perfis utilizados em conjunto possibilitam tanto ligações parafusadas entre pilares e vigas, quanto entre vigas apenas, com pouca incorporação de chapas de ligação. A ligação parafusada é especificada neste caso para potencializar o alto grau de industrialização dos sistemas construtivos propostos.

Num sistema completamente estabilizado através de um núcleo central rígido, podemos desprezar a contribuição das escadas no processo de estabilização da malha estrutural e propor sua especificação em sistema de perfis metálicos galvanizados leves com fechamentos em placas industrializadas parafusadas aos mesmos. Esta medida facilita sua execução e reduz as taxas de consumo de aço estrutural das escadas dos usuais 70kg/m² para uma bem menor, em torno de 45kg/m².

A definição do projeto em cinco pavimentos e suas definições de modulação são favoráveis à logística de fabricação, transporte e montagem da estrutura. Por consequência são também favoráveis a potencializar o desempenho de construção do projeto proposto. As maiores peças, todos os pilares com 13.5000 mm, têm dimensões e pesos que não requerem condições especiais de transporte e podem ser montados em uma única operação com equipamento pouco sofisticado e de fácil acesso.

4.4 Desenhos Técnicos Arquitetônicos

Lista de desenhos expostos a seguir e anexados em arquivos digitais no CD integrante deste trabalho:

ÍNDICE DE DESENHOS

A-01: PLANTA DE IMPLANTAÇÃO (figura 4.5)

A-02: PLANTA PAVIMENTO TÉRREO (figura 4.6)

A-03: PLANTA TIPO INICIAL (figura 4.7)

A-04: PLANTA TIPO MODIFICADO (figura 4.8)

A-05: PLANTA QUARTO PAVIMENTO (figura 4.9)

A-06: PLANTA COBERTURA (figura 4.10)

A-07: CORTE LONGITUDINAL 1 (figura 4.11)

A-08: CORTE LONGITUDINAL 2 (figura 4.12)

A-09: CORTE TRANSVERSAL (figura 4.13)

A-10: FACHADA FRONTAL (figura 4.14)

A-11: FACHADA FUNDOS (figura 4.15)

A-12: FACHADA LATERAL DIREITA (figura 4.16)

A-13: FACHADA LATERAL ESQUERDA (figura 4.17)

A-14: DETALHE (figura 4.18)

A-15: PLANTA QUARTEIRÃO (figura 4.19)

A-16: PLANTA SUBSOLO/GARAGEM (figura 4.20)

A-17: PLANTA AMPLIADA (figura 4.21)

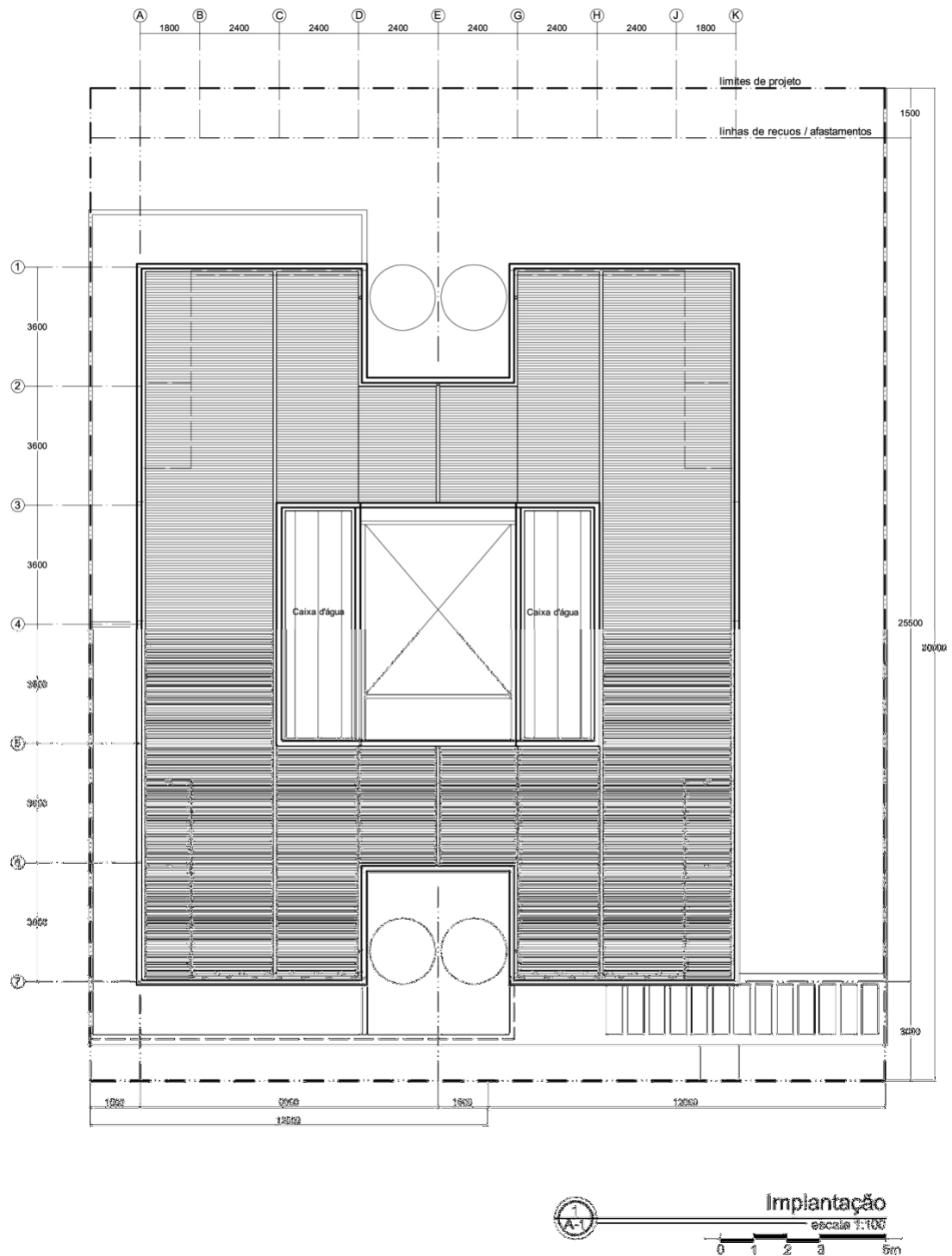


Figura 4.5: Planta de Implantação. Fonte: Arquivo do autor

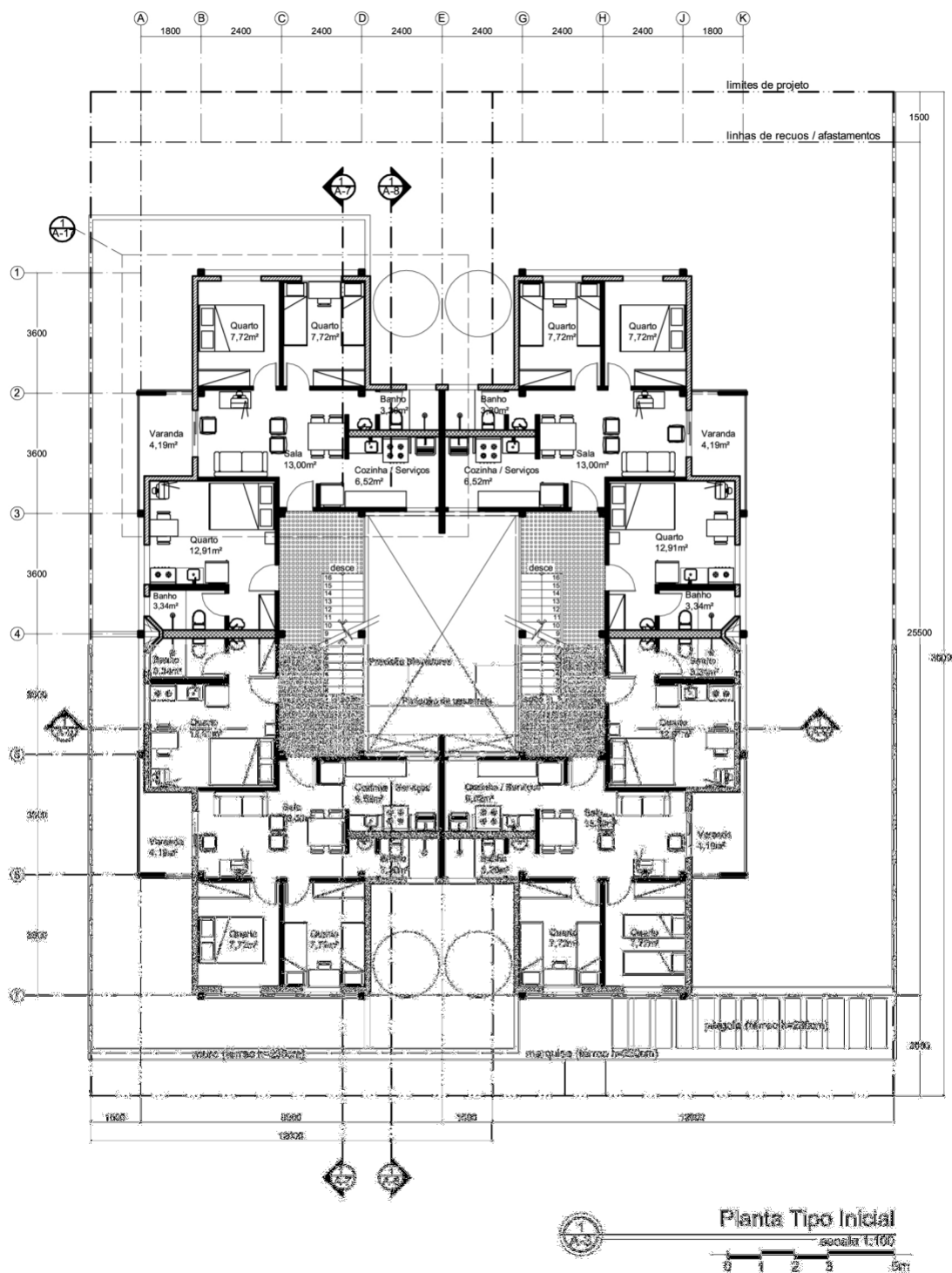


Figura 4.7: Planta pavimento tipo inicial. Fonte: Arquivo do autor

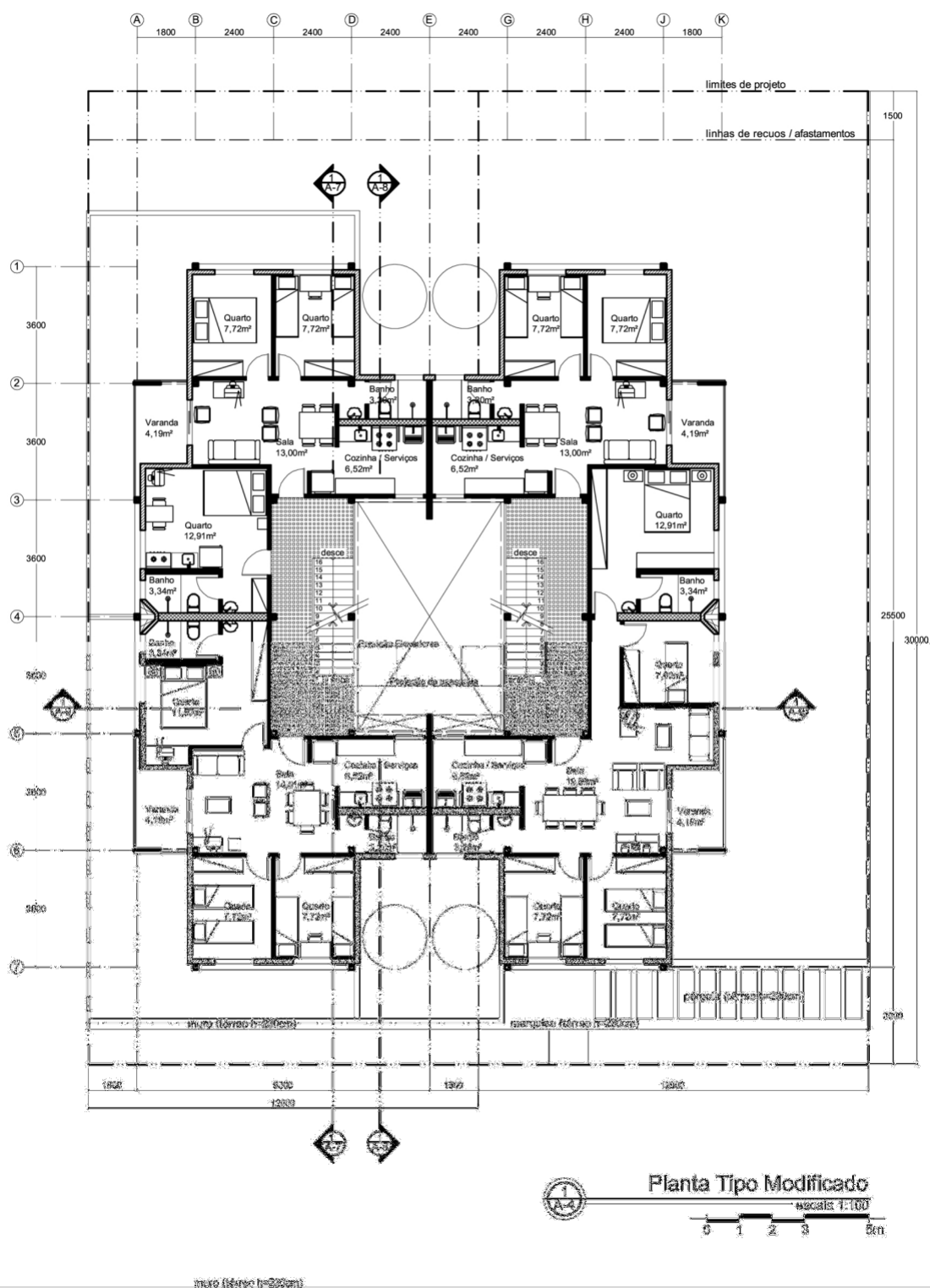


Figura 4.8: Planta pavimento tipo modificado. Fonte: Arquivo do autor

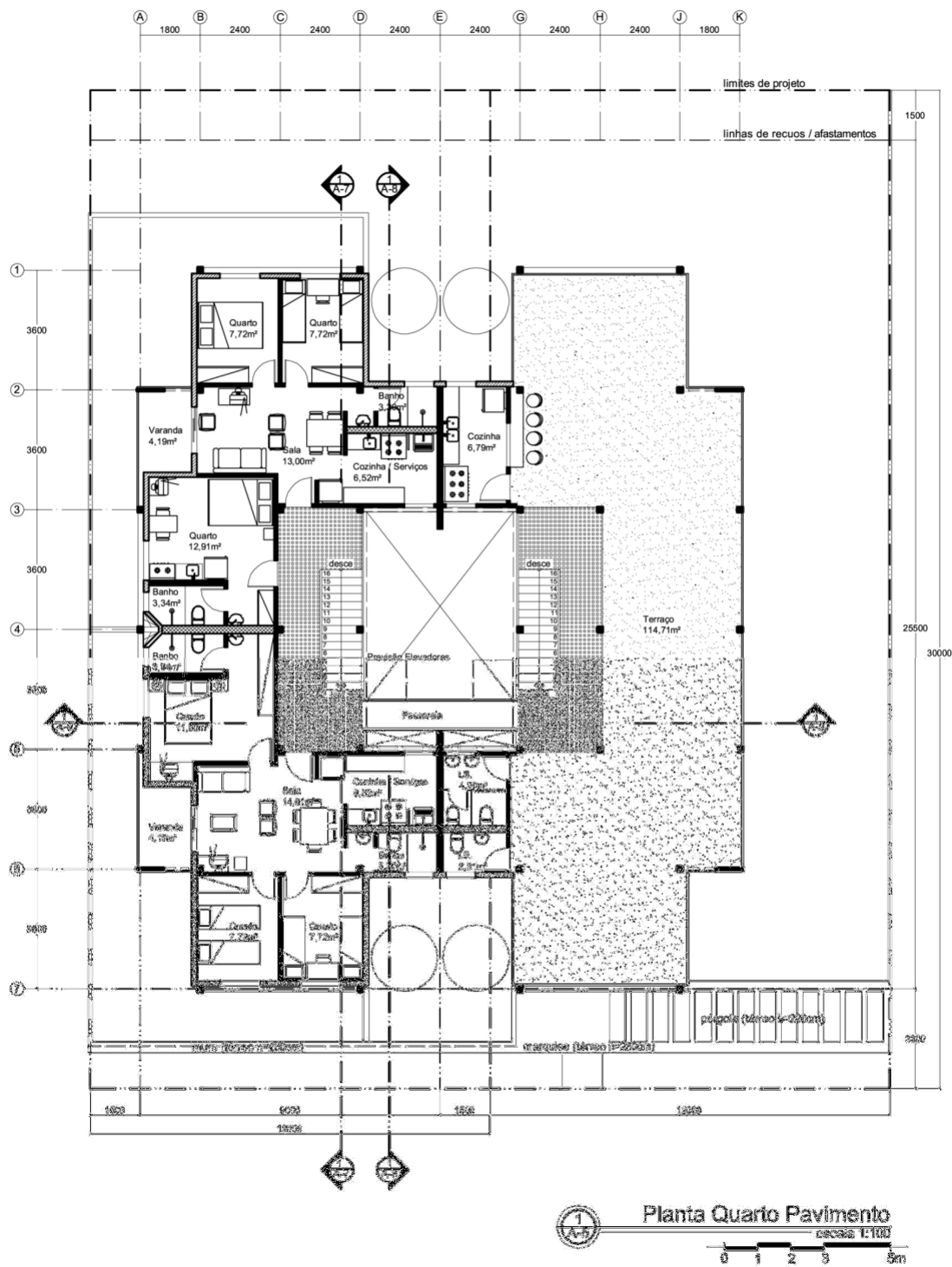


Figura 4.9: Planta quarto pavimento. Fonte: Arquivo do autor

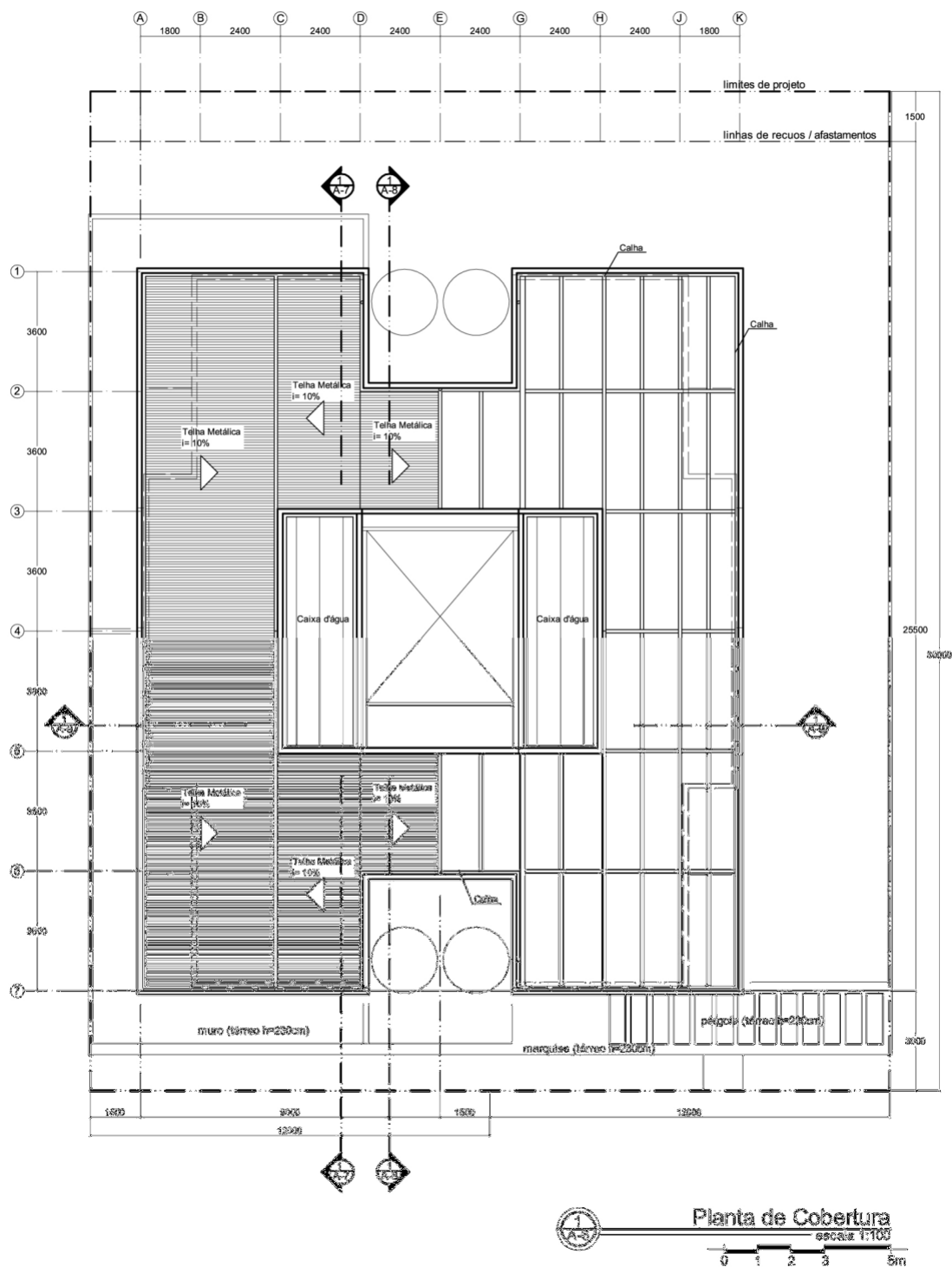


Figura 4.10: Planta cobertura. Fonte: Arquivo do autor

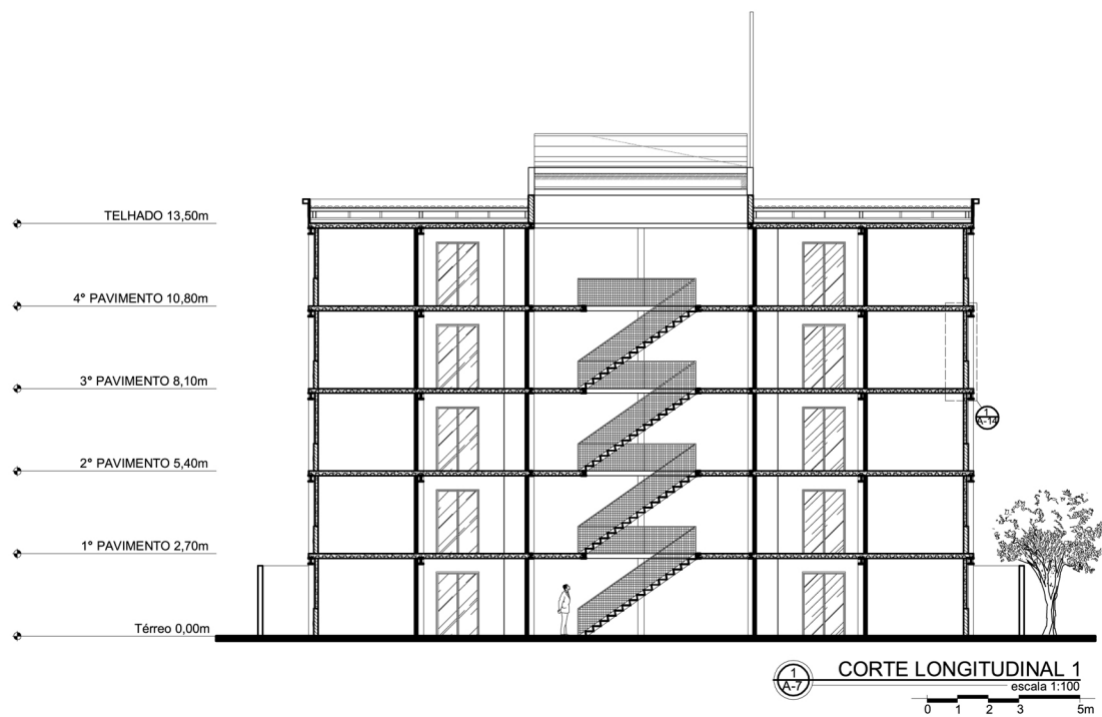


Figura 4.11: Corte longitudinal 1. Fonte: Arquivo do autor

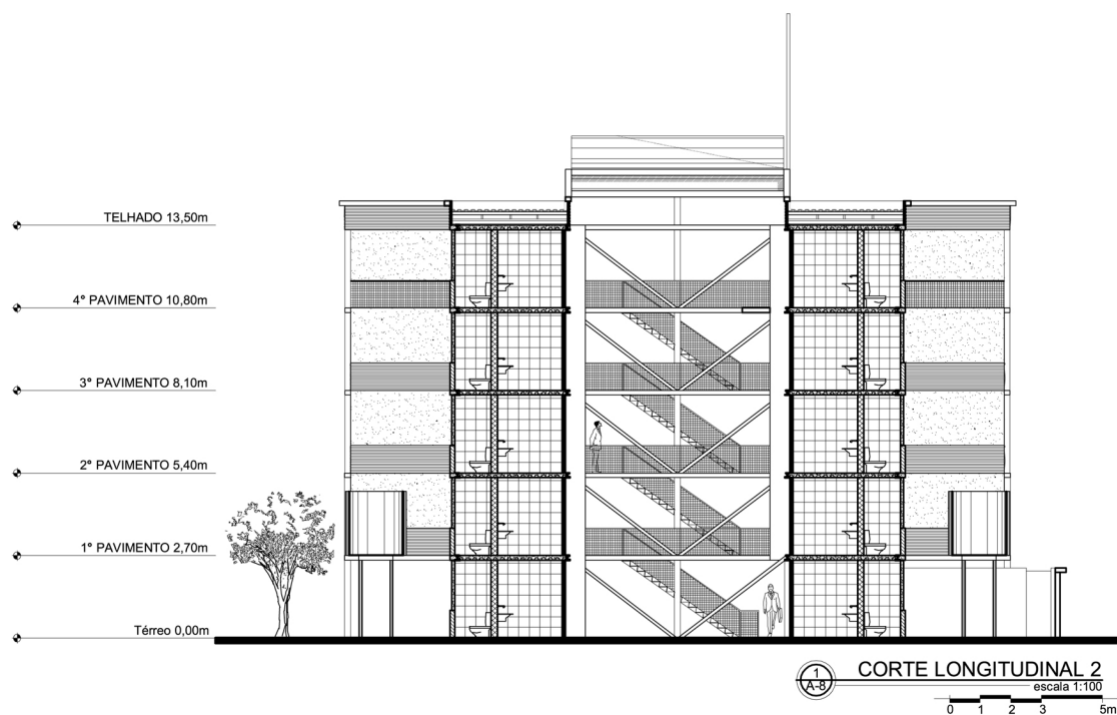


Figura 4.12: Corte longitudinal 2. Fonte: Arquivo do autor

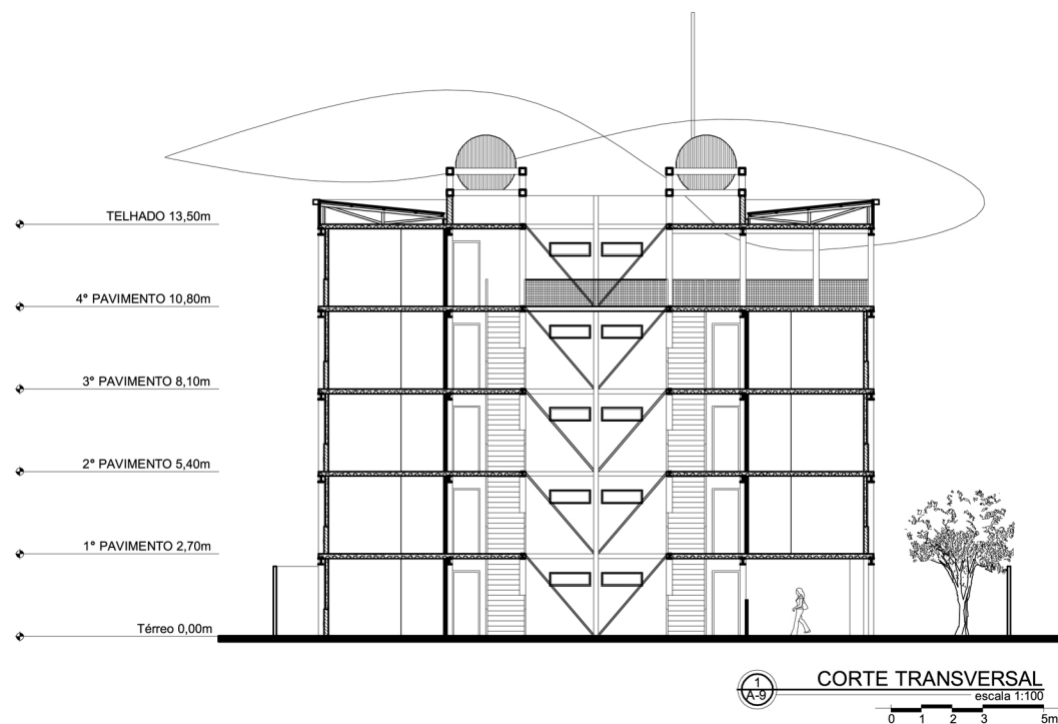


Figura 4.13: Corte transversal. Fonte: Arquivo do autor

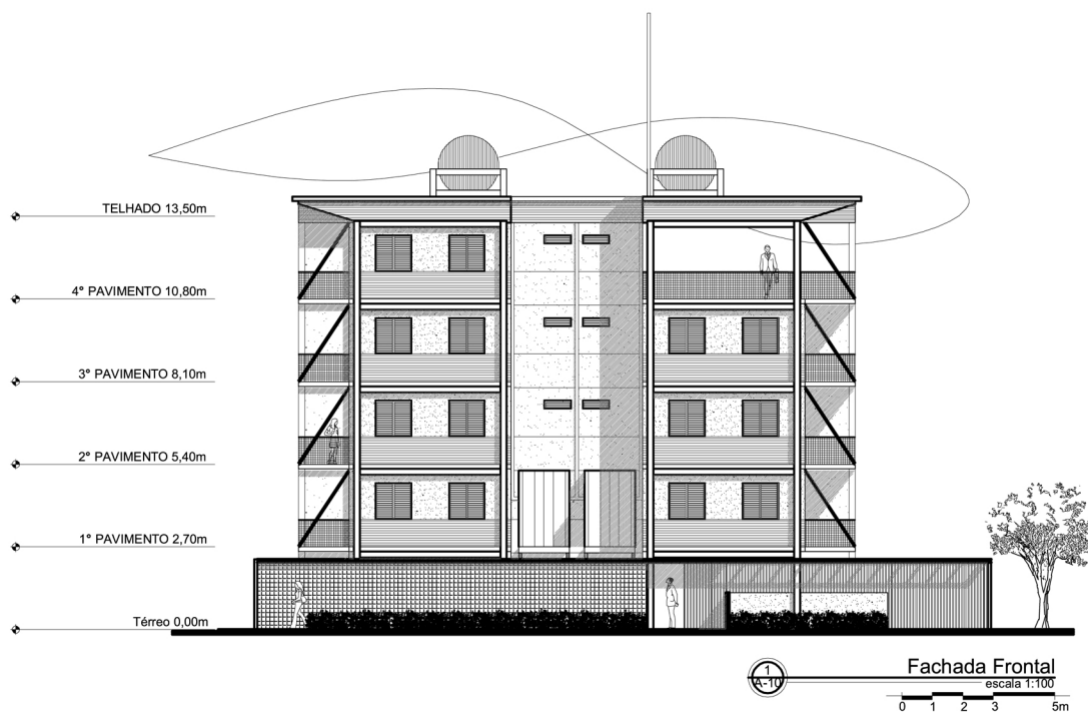


Figura 4.14: Fachada frontal. Fonte: Arquivo do autor

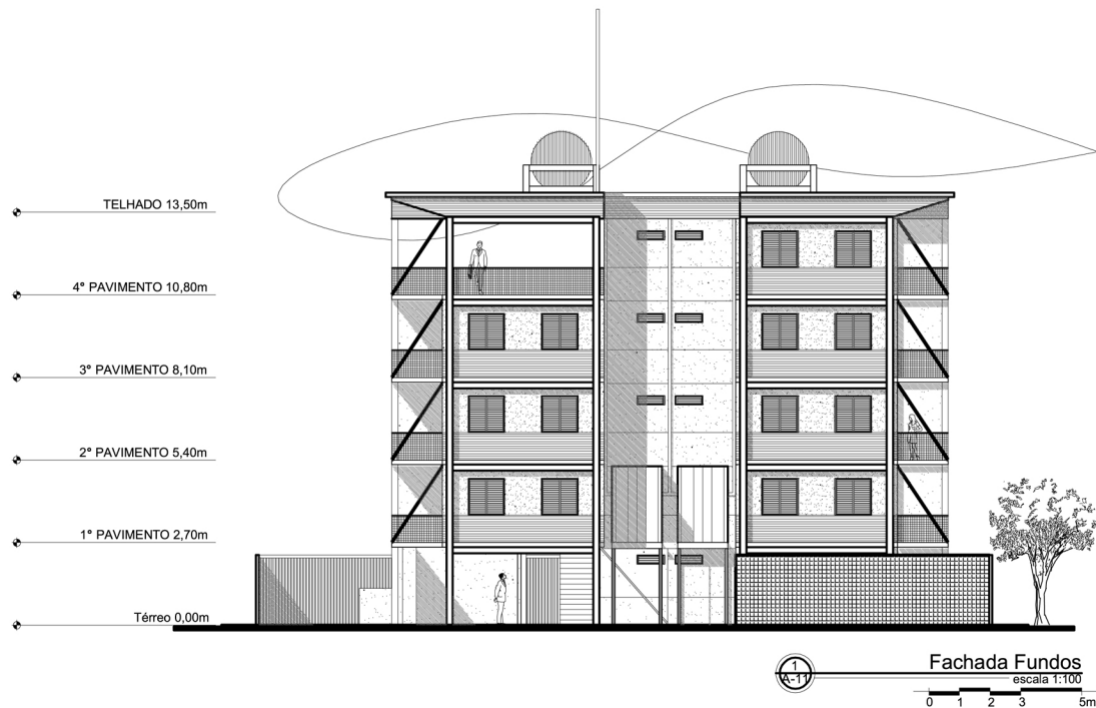


Figura 4.15: Fachada fundos. Fonte: Arquivo do autor

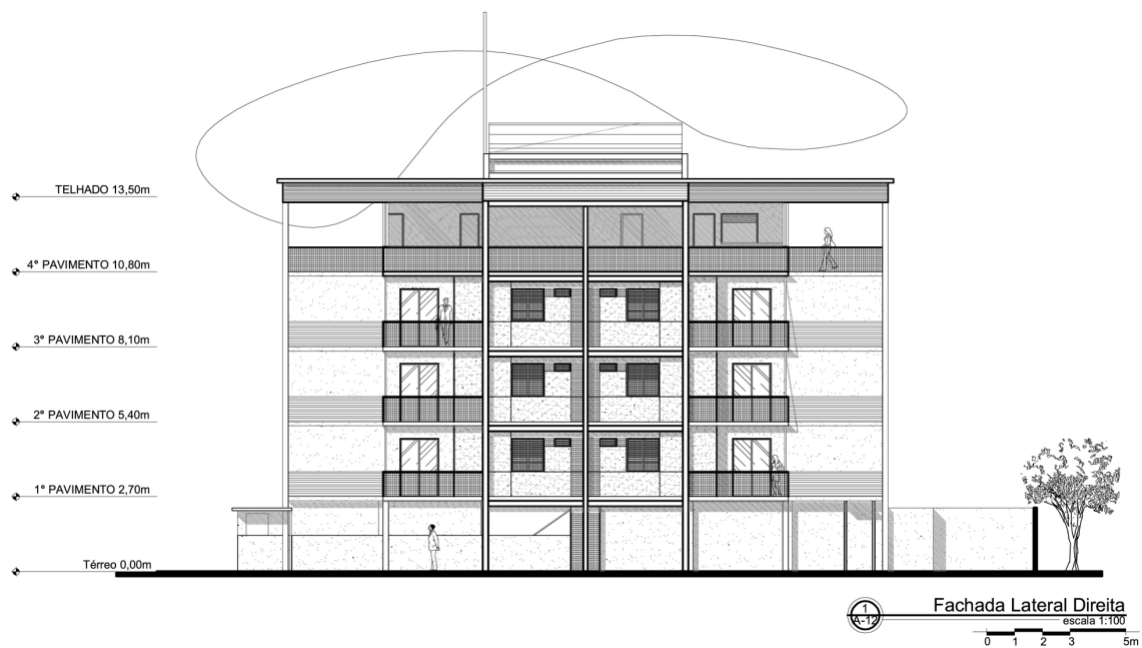


Figura 4.16: Fachada lateral direita. Fonte: Arquivo do autor



Figura 4.17: Fachada lateral esquerda. Fonte: Arquivo do autor

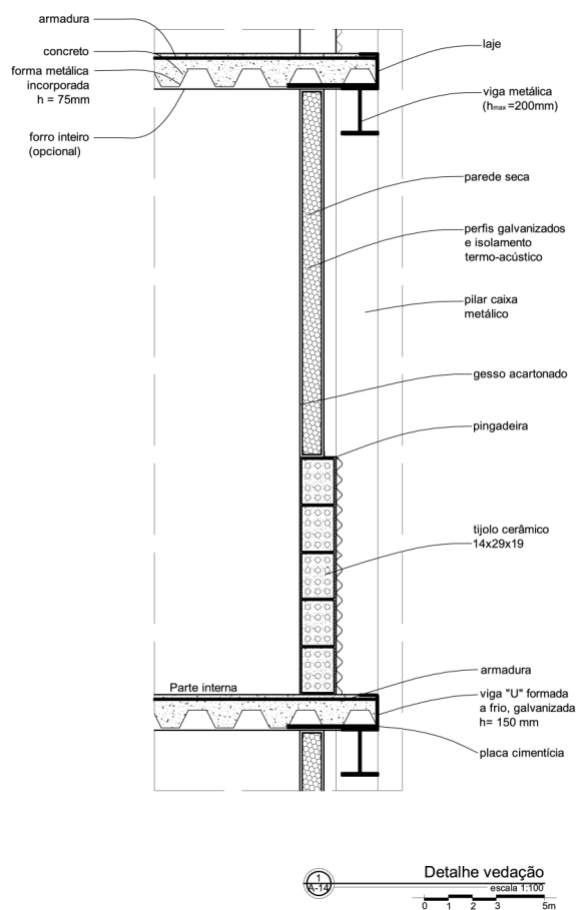


Figura 4.18: Detalhe. Fonte: Arquivo do autor

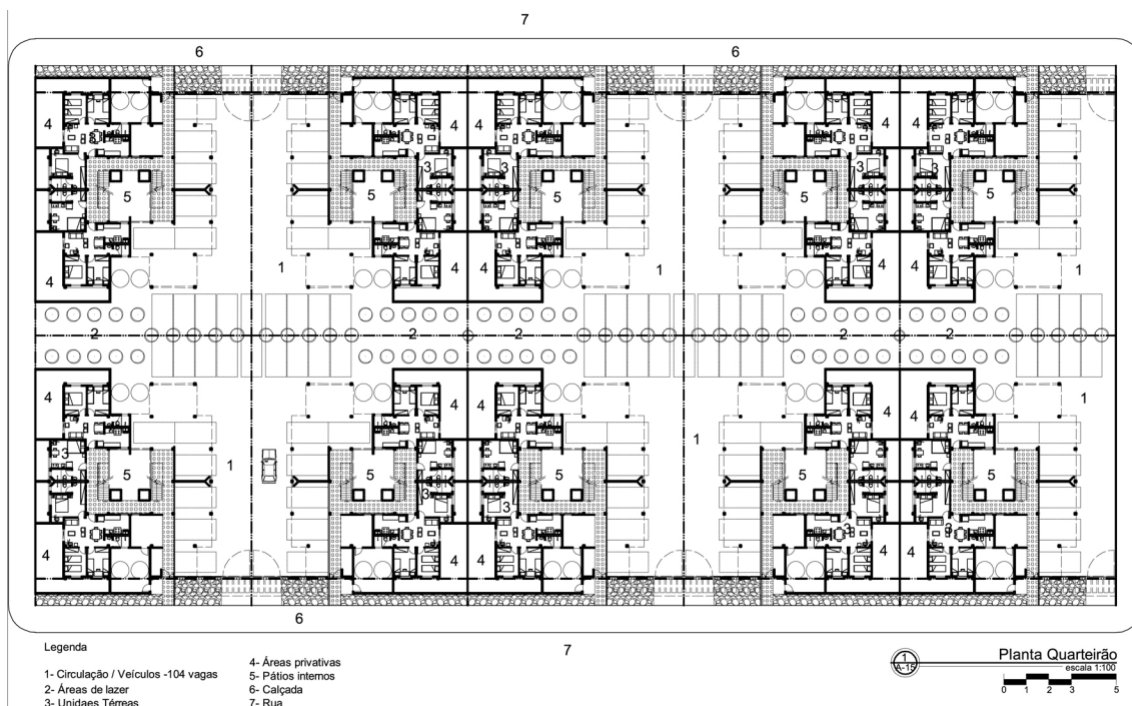


Figura 4.19: Planta quarteirão. Fonte: Arquivo do autor

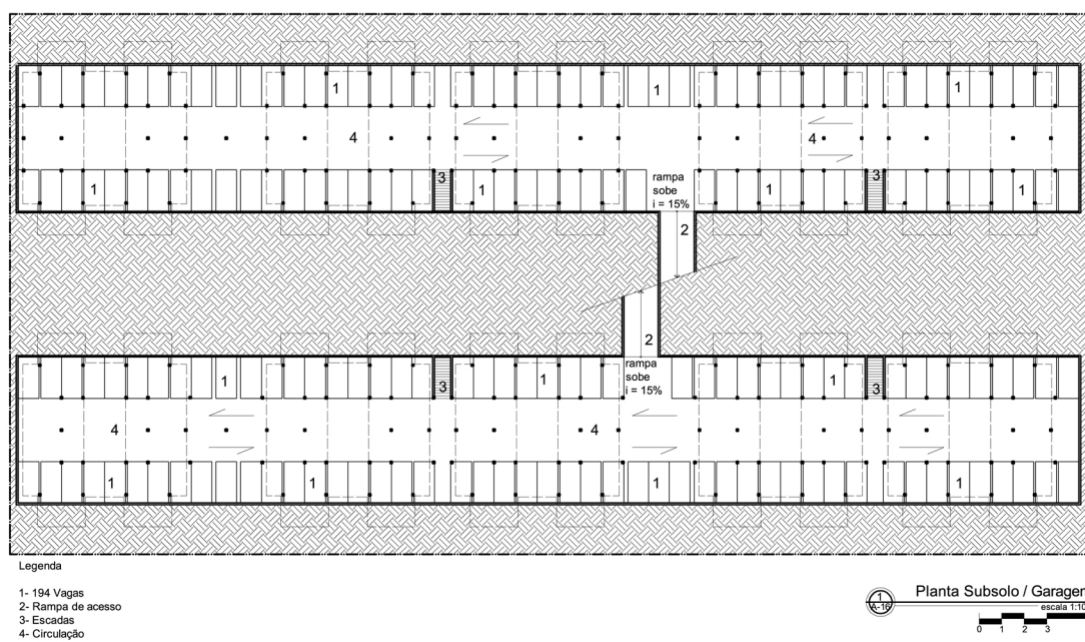
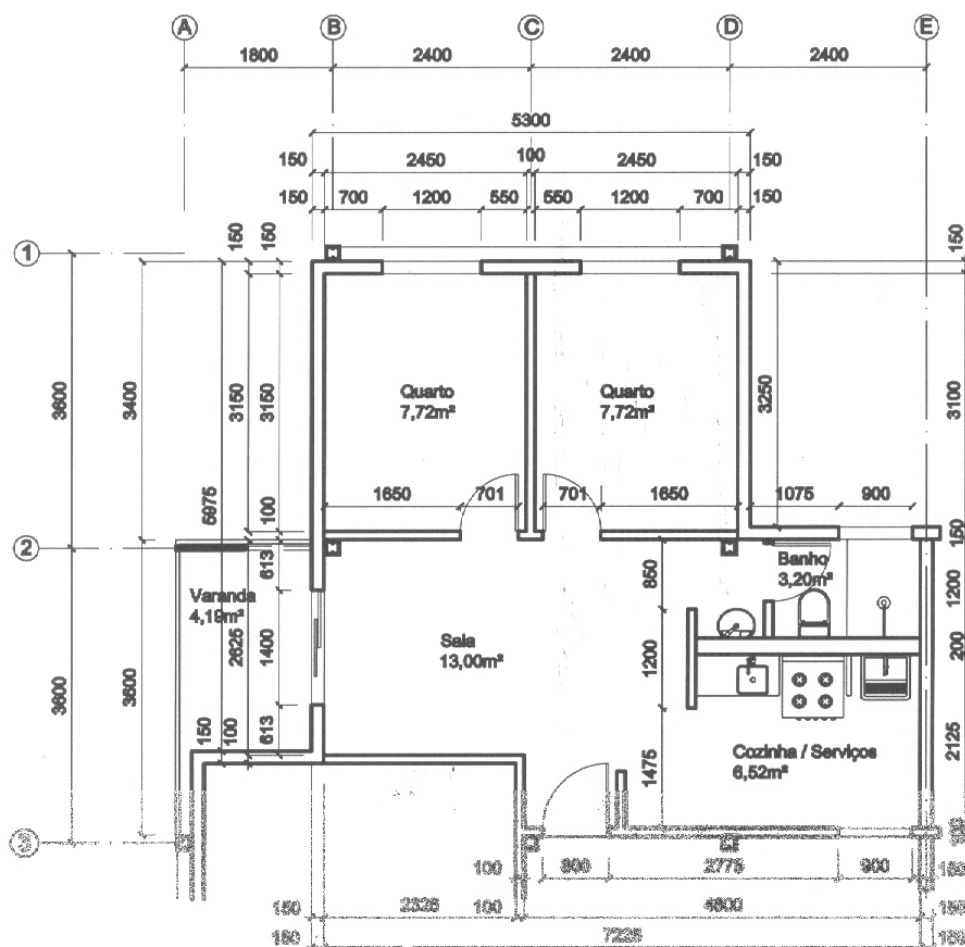


Figura 4.20: Planta subsolo / garagem (estudo de possibilidade). Fonte: Arquivo do autor



Notas/ Sistemas Construtivos:

Vedação Externa:

parede mieta com alvenaria até altura dos peitoris e sistema de parede a seco na parte superior.

Divisórias Internas:

sistema de parede a seco com estrutura interna de perfil galvanizado formados a frio a partir de chapas com 0,50mm de espessura.

Fechamento em placas de gesso acartonado.

Cômodo	Área
Sala	13,00m²
Cozinha / Serviços	6,52m²
Quarto 01	7,72m²
Quarto 02	7,72m²
Banho	3,20m²
Área Útil total	38,16m²
Varanda	4,18m²
Área Total	42,35m²



Figura 4.21: Planta ampliada da unidade de dois quartos. Fonte: Arquivo do autor

4.5 Desenhos Técnicos do Conceito Estrutural

E-01: PLANTA PAVIMENTO TIPO (figura 4.22)

E-02: CORTES LONGITUDINAL E TRANSVERSAL (figura 4.23)

E-03: DETALHES (figura 4.24)

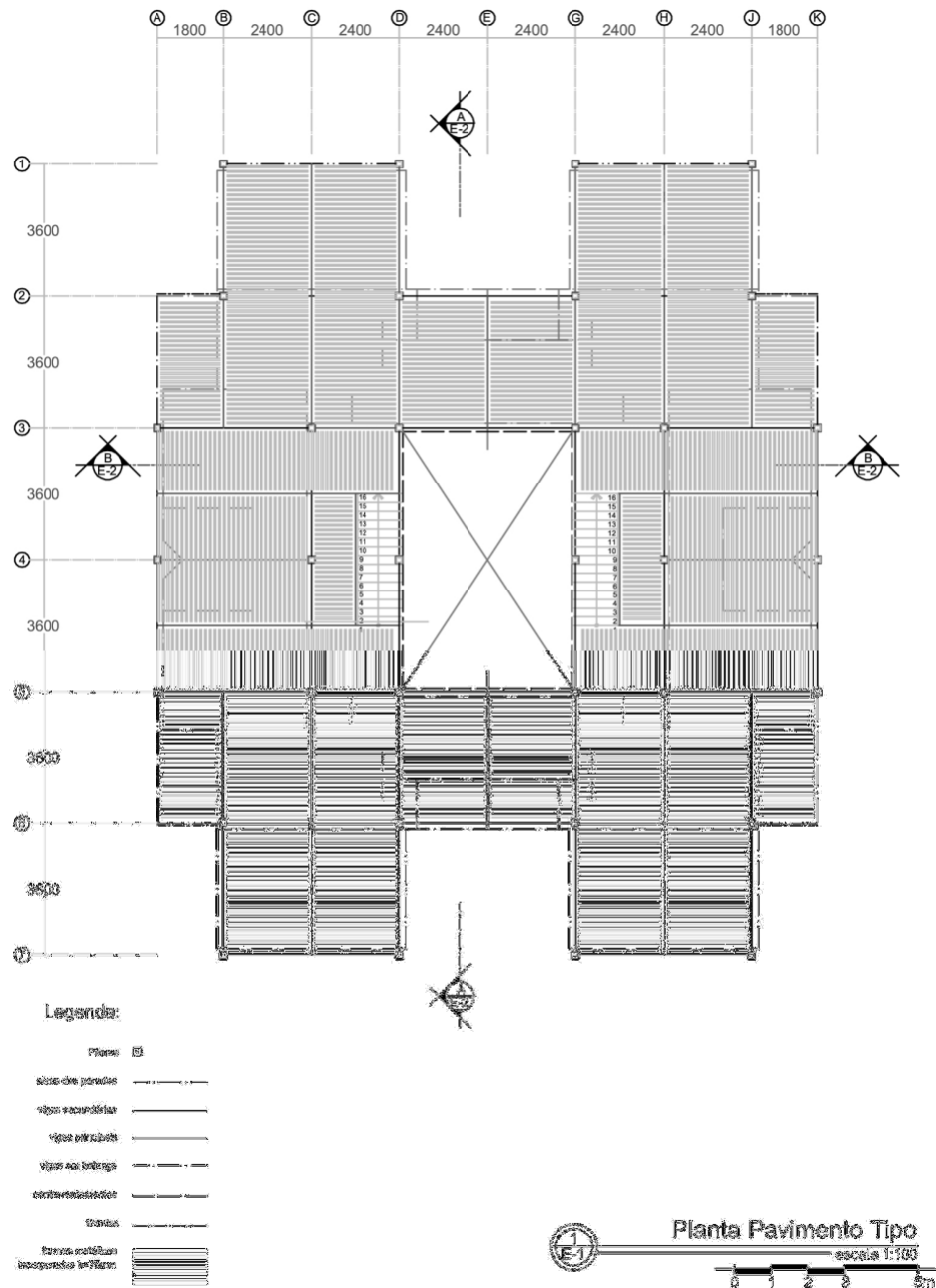


Figura 4.22: Estrutura – Planta pavimento tipo. Fonte: Arquivo do autor

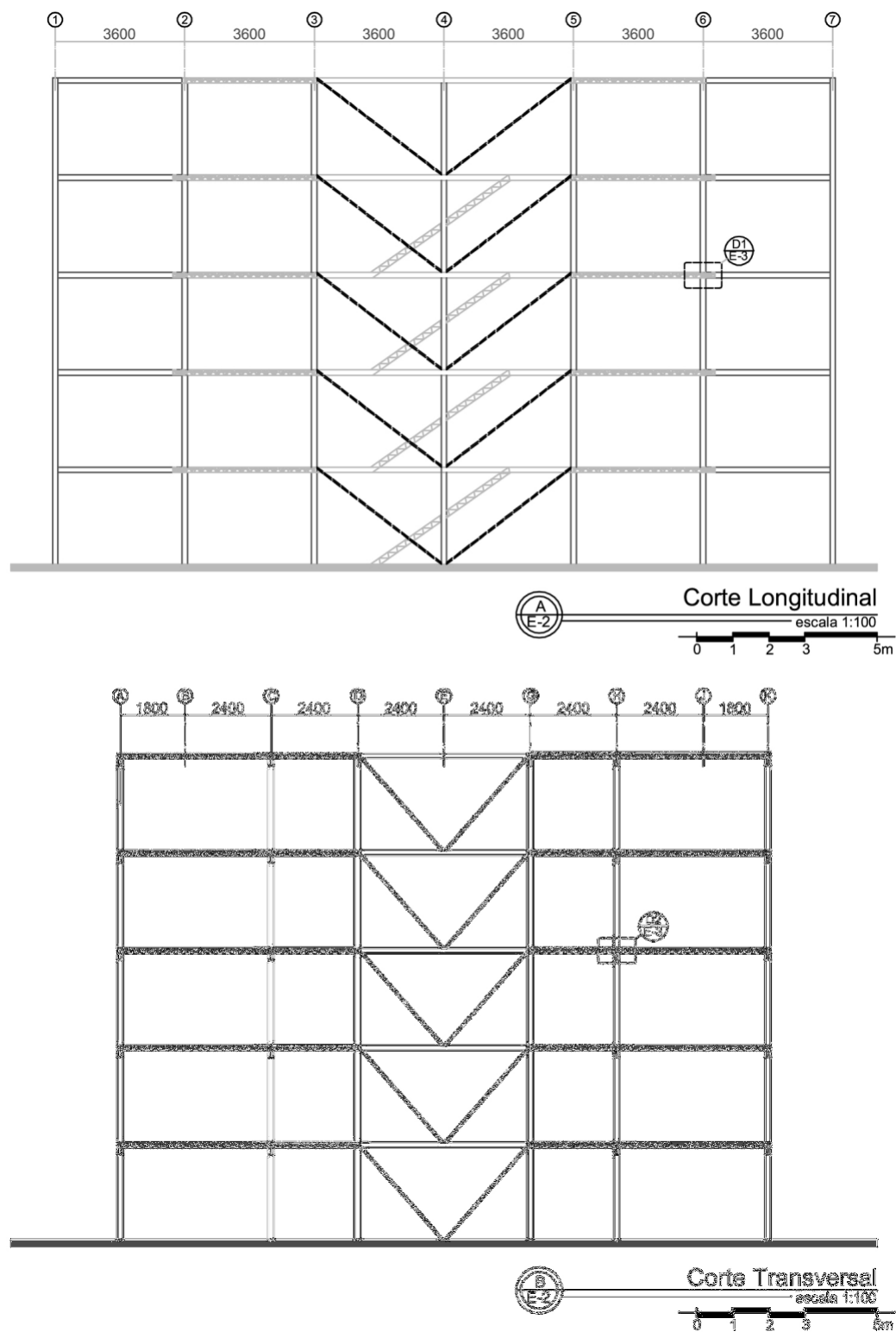


Figura 4.23: Estrutura – Cortes longitudinal e transversal. Fonte: Arquivo do autor

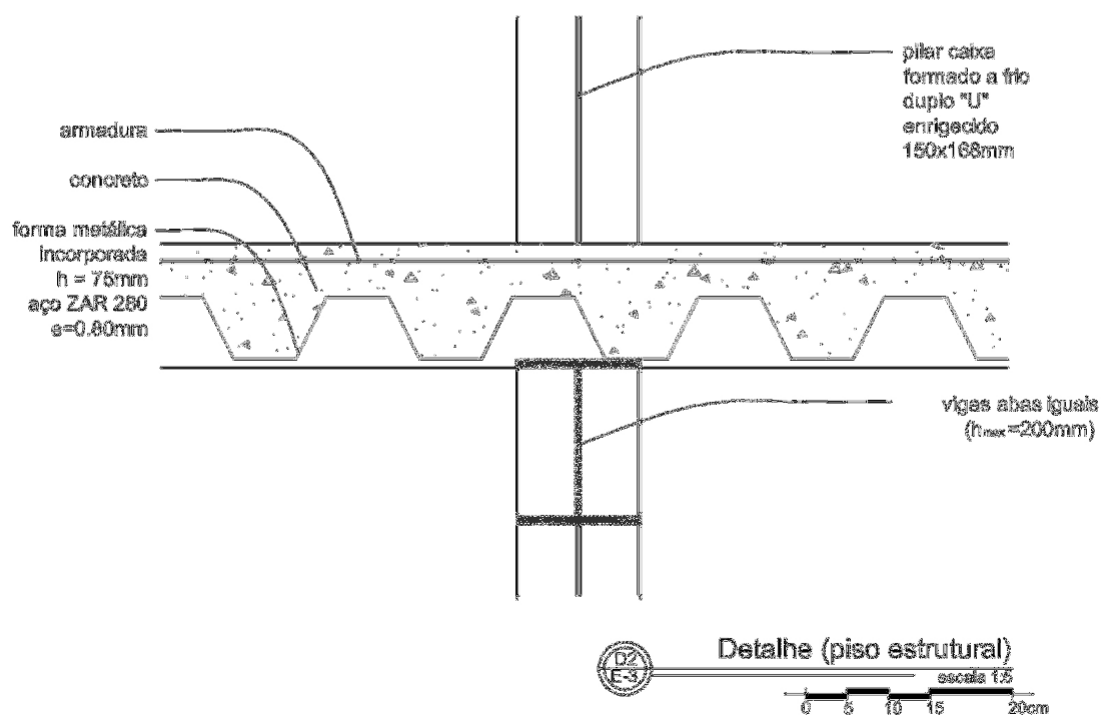
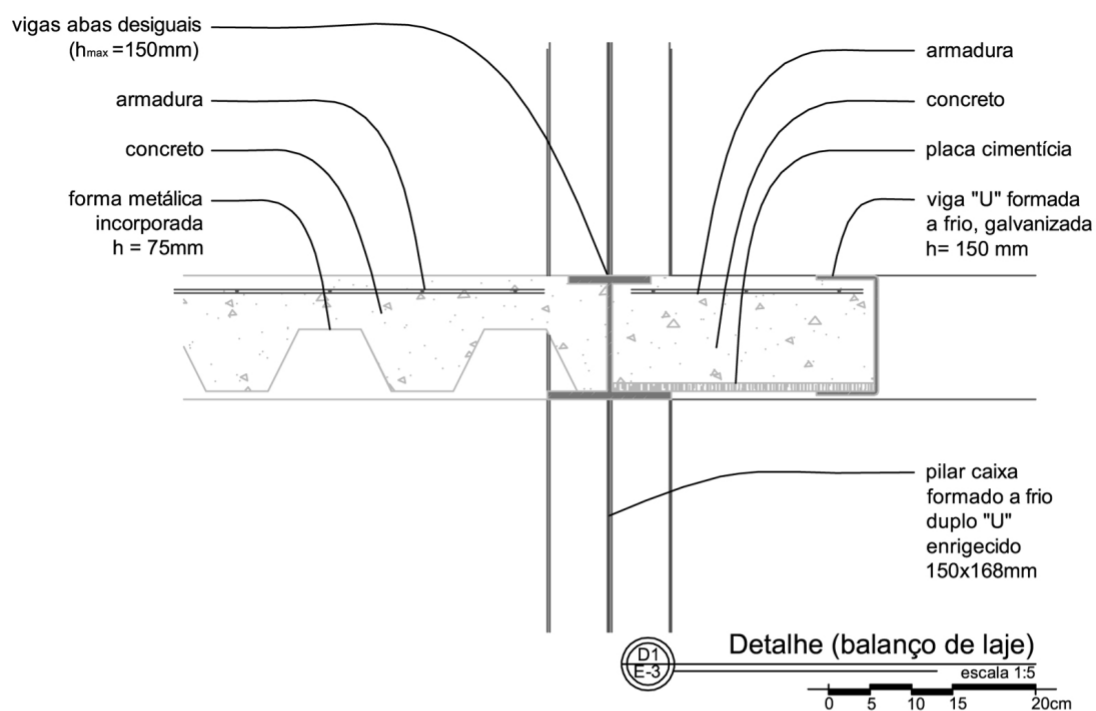


Figura 4.24: Estrutura – Detalhes. Fonte: Arquivo do autor

4.6 Pré-dimensionamento Estrutural

O desenvolvimento de um pré-dimensionamento do sistema estrutural definido na concepção arquitetônica faz-se necessário para configuração dos parâmetros de comparação com aqueles explicitados nas tecnologias analisadas no Capítulo 2. Por se tratar de solução estrutural original seus resultados serão expostos sem maior grau de detalhes, cabendo uma futura análise mais aprimorada de suas reais possibilidades de implantação prática.

4.6.1 Considerações de Materiais:

O aço utilizado nos elementos estruturais é do tipo estrutural patinável com limites de resistência igual $f_y = 300$ MPa; $f_u = 410$ MPa, referentes a tensão de escoamento e última do material. O concreto utilizado foi especificado com resistência a compressão de $f_{ck} = 25$ MPa. Considerou-se ainda para avaliação do peso dos fechamentos:

- Sistemas de vedação e divisórias internas com paredes a seco estruturadas internamente com perfis galvanizados formados a frio com chapas de 0,50mm de espessura e fechamento em placas de gesso acartonado ou cimentícias;
- Vedações externas em alvenaria de blocos cerâmicos furados de 140mm de espessura até a altura dos peitoris.

4.6.2 Cargas Adotadas e Sistema Estrutural.

Pavimento Tipo residencial: cargas permanentes de $3,5 \text{ kN/m}^2$; sobrecargas de $2,0 \text{ kN/m}^2$.

Sistema estrutural com pilares em seção transversa tipo “caixa” em perfil formado a frio e vigas em perfil de seção transversal tipo “I” eletrosoldados embutidas na laje de concreto (sistema “slim-floor”). Lajes com fôrma de aço incorporada (Steel Deck), com $h = 150\text{mm}$ e espessura da chapa em aço galvanizado ZAR 280 de $0,80 \text{ mm}$.

Normas consideradas no pré-dimensionamento estrutural:

NBR 8800/86 (errata de 88) - Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios;

AISC LRFD 2nd Edition – Metric Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Buildings

NBR 6120/80 - Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações.

NBR 6123/88 - Forças Devidas ao Vento em edificações

4.6.3 Resultados

Tabela 09 – Resumo do pré-dimensionamento estrutural da concepção de projeto proposta

Vigas:

Perfil I	Peso/m	Comp.	Quant.	Comp.	Peso Total	Taxa
Eletrossoldados	(kg/m)	(m)		(m)	(kg)	(kg/m ²)
Subtotal					26330,9	18,46

Pilares

Perfil Caixa	Peso/m	Comp.	Quant.	Comp.	Peso Total	Taxa
Duplo U enrijecidos, formados a frio	(kg/m)	(m)		(m)	(kg)	(kg/m ²)
Subtotal					697,2	11,52

Resumo:

Peso da Estrutura (kg)	42762,4
Peso + 10 % (kg)	47038,6
Área Construída (m ²)	1519,7
Taxa (kg/m ²)	32,99
Área de Escadas (m ²)	43,2
Peso de Escadas (kg) - Taxa de 45 kg/m ²	1944
Peso Total da Estrutura c/ Escadas (kg)	48982,6
Taxa c/ Escadas (kg/m ²)	32,2

Capítulo 5: Considerações finais

5.1 Desempenho Global do Projeto

Aplicamos ao conjunto de especificações propostas nesta concepção arquitetônica os mesmos parâmetros de avaliação levantados para os projetos analisados nos estudos de casos do capítulo 2 deste trabalho. O intuito é situar a concepção desenvolvida e apresentada, com suas preocupações e propostas específicas, em relação àquelas inicialmente expostas. Não há uma preocupação explícita em gerar melhores resultados práticos diretos, para tanto bastava aplicar alguma das tecnologias já consagradas à modulação de projeto desenvolvida.

A intenção primordial aqui lançada é situar uma investigação de projeto em relação a propostas de mercado, indicando ser possível lidar com as necessidades de obra e produção de unidades habitacionais em escala condizente com o déficit habitacional brasileiro sem deixar de lado a complexidade de situação que uma proposta arquitetônica cuidadosamente desenvolvida pode oferecer. Investiu-se grande tempo de projeto na concepção deste estudo. O resultado atingido atende a todos os desafios pré-estabelecidos na configuração de sua base de dados. Principalmente, os valores descritivos do projeto serão expostos como uma investigação científica de estruturação e concepção arquitetônica com um caminho a ser explorado em pesquisas voltadas a avaliação estrutural e desempenho técnico do conjunto de sistemas construtivos especificados. A seguir tem-se uma tabela com o resumo das características de projeto apresentadas no decorrer do trabalho.

Tabela 10 – Quadro resumo das características dimensionais e construtivas da concepção de projeto proposta.

ASCANIO MERRIGHI - CARACTERISTICAS DO PROJETO				
DIMENSIONAIS	INFORMAÇÃO		QUANTIDADE	UNIDADE
	1	ÁREA TOTAL CONSTRUIDA	1519,65	m²
	2	ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	303,93	m²
	3	AREA DE PROJEÇÃO	334,90	m²
	4	AREA DE INFLUENCIA (COM RECUOS)	550,00	m²
	5	AREA PARA NORMA DE INCENDIO	571,25	m²
	6	PERIMETRO DA FACHADA (metade da planta)	45,7	m
	7	DISTANCIA PISO A PISO	2,70	m
	8	NÚMEROS DE PAVIMENTOS	5 + 3	un.
	9	ÁREA DE FACHADA	987,12	m²
	10	NÚMERO DE UNIDADES (TIPO E ÁREA LIQUIDA)	1 quartos / 16 unidades / 16,3 m² 2 quartos / 16 unidades / 42,4 m²	
11	m² de FACHADA / m² CONSTRUÍDO	0,65		
ESTRUTURA	12	NÚMERO DE PILARES	34	
	13	NÚMERO DE VIGAS	370	
	14	NÚMERO DE LIGAÇÕES	600	
	15	PESO TOTAL (PILARES, VIGAS, ESCADA, ENGRA)	50.512,60 kg	
	16	TAXA TOTAL	33,23	
	17	RENDIMENTO DE MONTAGEM		
		NÚMERO DE PILARES E VIGAS / m²	0,26	
		NUMERO DE LIGAÇÕES / m²	0,40	
CONSTRUTIVO	18	SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO	Núcleo central contraventado	
	19	TIPO DE LAJE	Piso estrutural esbelto com fôrma metálica incorporada a vigas de abas desiguais	
	20	INTERAÇÃO VIGAS/LAJES	Vigas embutidas nas lajes e vigas mistas sobre o piso estrutural	
	21	VEDAÇÕES EXTERNAS	Misto em alvenaria de tijolo furado e sistemas de parede a seco	
	22	DIVISÓRIAS INTERNAS	Paredes a seco com perfis galvanizados e placas de fechamento	
	23	INSTALAÇÃO/CONSTRUÇÃO	Paredes hidráulicas, dutos verticais e embutidas sob a fôrma-laje	
	24	LIGAÇÕES ESTRUTURA/PAREDE	Vedações e divisórias fixadas na laje e em um ponto a cada pilar	

A partir das referências estabelecidas nos Estudos de Caso apresentados podem ser ressaltadas algumas informações.

A taxa de consumo estrutural é superior, mas próxima, dos edifícios executados de cinco pavimentos (consórcio Múltipla – Interamericana). O sistema proposto tem ainda um rendimento global de montagem também semelhante ao destes edifícios com os seguintes pontos favoráveis: produz um número maior de unidades habitacionais,

oferece uma maior flexibilidade de soluções em planta e pode ser executado com maior agilidade construtiva principalmente nos sistemas de lajes e paredes.

Tabela 11 – Quadro comparativo entre valores levantados nos projetos analisados

PROJETOS:	MÚLTIPLA	ALUSA	CAMARGO	C. PIMENTA	ESTE
m ² fac./m ² const.	1,15	1,11	0,98	0,85	0,65
Taxa Estrutura	27Kg/m ²	30Kg/m ²	20Kg/m ²	42Kg/m ²	33Kg/m ²
PIL.+VIG. /m ²	0,29/m ²	0,29/m ²	0,22/m ²	0,19/m ²	0,26/m ²
LIGAÇÕES/m ²	0,52/m ²	0,43/m ²	0,26/m ²	0,39/m ²	0,40/m ²
No. UNIDADES	20	28	20	20	32
ÁREA TOTAL	995m ²	1491m ²	995m ²	2886m ²	1520m ²

A incorporação das fôrmas metálicas à laje normalmente amplia a necessidade de vigas, passando a malha do vigamento a depender de vigas principais e secundárias, mantendo o vão máximo de 2400 mm para o processo ser executado sem a necessidade de escoramento das lajes (considerando espessuras e sobrecargas aplicáveis). Este aumento é compensado pelo sistema híbrido proposto com vigas secundárias incorporadas à laje na concepção de piso estrutural esbelto (*Slimflor*®) e principais sob a mesma (vigas expostas na fachada, as em frente aos dois dormitórios e as divisórias entre unidades são vigas “T” convencionais bissimétricas como exposto nos desenhos técnicos). Outro fator que compensa um provável aumento significativo do peso estrutural global é a utilização de pilares formados a frio com seção tubular quadrada, com inércia geométrica e configuração propícia para melhor resistência a compressão. Esta especificação também favorece a alternativa do desenvolvimento de solução com pilares mistos, preenchidos por concreto estrutural. Esta é uma opção muito vantajosa e pouco comum na realidade de construção brasileira, sua melhor execução é feita por injeção de concreto líquido de alta resistência inicial, bombeado para dentro dos pilares através de aberturas executadas em sua base. O concreto preenche a seção de baixo para cima,

evitando sua má consolidação no interior do perfil, numa prática muito utilizada em países com Estados Unidos e Japão (figura 5.1). Na obra da foto exibida a seguir, um edifício com vinte pavimentos de salas de aula do Tokyo Institute of Technology, os pilares foram concretados a cada oito andares em uma única operação, que posteriormente a sua cura inicial era completada para preenchimento de todo perfil. Esta especificação estrutural tira proveito das melhores características dos dois materiais compondo relação atrativa de custo benefício com grande agilidade de execução.



Figura 5.1: Obra em execução em Tóquio, Japão, detalhe do orifício para injeção de concreto pressurizado nos pilares metálicos tubulares. Foto do Autor

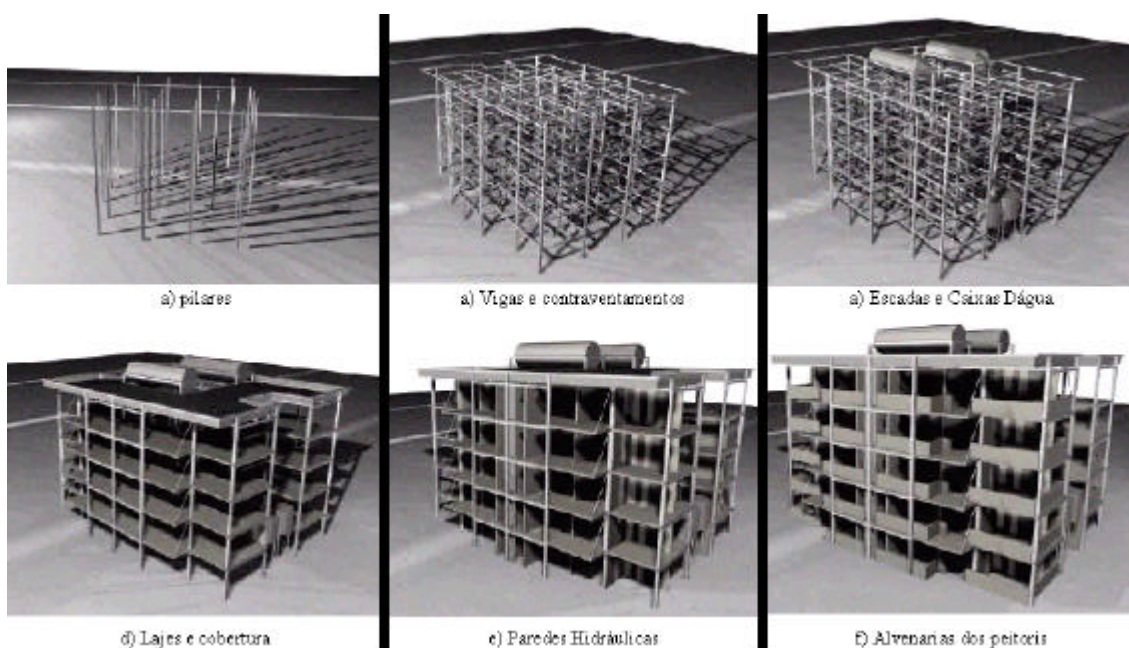
Outra evidência notável na análise dos números do projeto apresentado é a relação de área de fachada por área total construída bem abaixo dos valores levantados nos estudos de caso. A área de fachada foi calculada de modo diferenciado dos demais pelas suas características próprias. Inicialmente foi medido o perímetro de metade do pavimento tipo que multiplicado pela distância piso a piso oito vezes, considerando cinco andares com apartamentos de um lado do edifício geminado e três do outro, gerou o valor procurado. Como mencionado nas definições dos aspectos dimensionais considerados nos estudos de caso, este dado é tão importante para definição da viabilidade de um estudo quanto outros aspectos menos esquecidos, tais como peso estrutural, especificações de materiais de acabamento e área total construída. A execução do acabamento externo das fachadas é um item de obra que deve ser criteriosamente desenvolvido para atender satisfatoriamente aos requisitos mínimos de estanqueidade e performance de isolamento termo-acústico do sistema de vedação. A concepção do projeto desenvolvido neste estudo reduz o perímetro externo do pavimento tipo em relação a sua área construída sem comprometer o desenvolvimento de uma volumetria externa do conjunto heterogênea, com reentrâncias e planos cheios e vazados que ressaltem as variações de luz e sombras ao longo do dia. A aproximação das quatro torres de dormitórios das unidades de dois quartos em planta melhoraria substancialmente a relação perímetro de fachada / área total construída do pavimento tipo. Esta concepção ainda poderia gerar um espaço de distribuição entre as portas dos quartos e o banheiro resguardando-os mais das áreas de convívio coletivo, como nas plantas dos edifícios Alusa / Brastubos e Camargo Corrêa / Usiminas. Mas a opção por esta solução tornaria o volume externo do conjunto muito homogêneo e eliminaria a exposição direta ao sol e à ventilação também direta dos banheiros e por estes motivos foi preterida, mesmo incorrendo na abertura das portas dos quartos diretamente para a sala de estar e jantar.

Preocupações relativa a performances ambientais e auto-sustentabilidade do conjunto de especificações estão presentes tanto dos processos construtivos prescritos quanto em dispositivos previstos como, por exemplo, o sistema de coleta e armazenagem de água pluvial em tanques locados no pavimento térreo. Estes sistemas, para utilização da água armazenada em finalidades não comprometidas pela sua qualidade, são de baixo custo

inicial, proporcionalmente ao investimento de um conjunto com no mínimo 32 unidades, e de rápido retorno financeiro para a administração do condomínio pela economia no consumo mensal de água que pode representar. Outros recursos, como utilização de energia solar para aquecimento de água e geração de energia elétrica, estão muito bem consolidados tecnicamente e podem ser prescritos dentro da configuração global estabelecida nesta concepção arquitetônica, potencializando ainda mais sua performance de auto-sustentabilidade e preservação de recursos ambientais.

5.2 Seqüência de Montagem Execução da Obra

Na figura a seguir (figura 5.2) temos a visualização da seqüência de montagem e execução da obra prevista para as especificações de seu projeto extraídas do vídeo em CD anexo a este estudo.



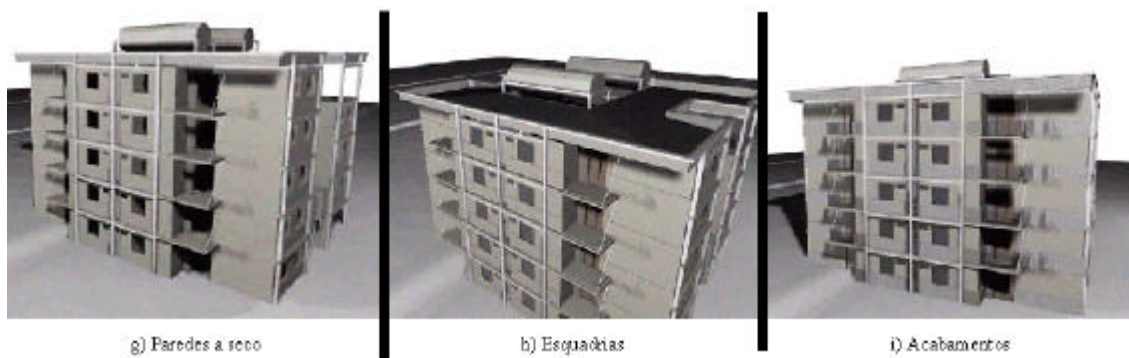


Figura 5.2 – Seqüência de montagem execução da concepção arquitetônica proposta.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros podem ser listadas as seguintes possibilidades:

- avaliação numérica do conforto térmico da edificação através do software ESP-R
- avaliação da performance do sistema de vedação quanto a estanqueidade
- detalhamento do projeto executivo observando-se parâmetros para melhor avaliação dos passos de execução e consolidação de cronograma de obra
- construção de protótipo de testes para aprimoramento da tecnologia relativa a fechamentos, utilização dos pilares em caixa e performance das ligações viga-pilar-laje no sistemas estrutural proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1977). NBR 5706: Coordenação modular da construção. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1982). NBR 5707: Posição dos componentes da construção em relação à quadrícula modular de referência. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1980). NBR 6120: Cargas para cálculo de estrutura de edificações. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1982). NBR 5708: Vãos modulares e seus fechamentos. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1982). NBR 5709: Multimódulos. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1988). NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1994). NBR 6492: Representação de projetos de arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1995). NBR 13532: Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (1999). NBR 14323: Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (2001). NBR 14432: Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (2001). NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (2003). NBR 6355: Perfis Estruturais de aço, formados a frio – Padronização. Norma em processo de votação, aberta a consulta pública. Rio de Janeiro: ABNT.

AMERICAN WELDING SOCIETY (2004) AWS D 1.1-2004. Structural Welding Code – Steel. AWS.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (1996) Cold Formed Steel Design Manual. AISI.

Bohigas, O. et al. (1992). Barcelona: arquitectura y ciudad 1980-1992. Barcelona: Gustavo Gili. 3ª edición. ISBN 84-252-1454-8.

Bonduki, N. e Portinho, C. (2000). Affonso Eduardo Reidy: arquitetos brasileiros. Lisboa: Blau.

Bruand, Y. (2002). Arquitetura contemporânea no Brasil. São Paulo: Perspectiva. 4ª edição.

Campos, I.C.; Lahr, F. A. R.; Ino, A. (2004). Painéis estruturais de madeira e derivados de madeira para composição de pisos em habitação. Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural. Mendoza.

Carter, P. (1999). Mies van der Rohe at work. London: Phaidon. ISBN 0-7184-3896-9.

Cavalcanti, L. (1987). Casa para o povo: arquitetura moderna e habitações econômicas. Dissertação de Mestrado (Antropologia Social – Universidade Federal do Rio de Janeiro). Rio de Janeiro: Museu Nacional - UFRJ.

Costa, L. (1995). Lúcio Costa: registro de uma vivência. São Paulo: Empresa das Artes.

Curtis, W. J. R. et al. (2000). Carlos Ferrater. Barcelona: Actar. ISBN 84-95273-39-X.

Deilmann, H.; Kirschenmann, J. C.; Pfeiffer, H. (1973). El hábitat. Barcelona: Gustavo Gili. ISBN 84-252-0782-7.

Dias, L. A. M. (1998). Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo: Zigurate. 2ª edição. ISBN 85-85570-02-4.

_____. (1999). Edificações de aço no Brasil. São Paulo: Zigurate. 2ª edição. ISBN 85-85570-01-6.

_____. (2001). Aço e arquitetura: estudo de edificações de aço no Brasil. São Paulo: Zigurate. ISBN 85-85570-06-7.

Engel, H. (1991). The Japanese house: a tradition for contemporary architecture. Tokyo: Charles E. Tuttle Company. 495p.

_____. (2001). Sistemas de estruturas. Barcelona: Gustavo Gili. ISBN 84-252-1800-4.

Firno, C. da S. (2003). Estruturas tubulares enrijecidas por superfícies de dupla curvatura (hiperbólicas). Dissertação de Mestrado, UFOP. 194p.

Frampton, K. et al. (1988). Alvaro Siza Vieira: professione poetica. Barcelona: Gustavo Gili. 3ª edição.

Gnecco, C. (2004). Tratamento superficial e pintura. Série Manuais da Construção Metálica. Rio de Janeiro: CBCA.

Hart, F.; Henn, W.; Sontag, H. (1976). El atlas de la construcción metálica: casas de pesos. Barcelona: Gustavo Gili. ISBN 84-252-0611-1.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE (2004). Growing the market for steel in construction. Brussels: IISI. CD-ROM.

Jones, D. L. (1998) Architecture and the Environment: bioclimatic buildings design. Overlook. ISBN 0-87951-819-6.

Klein, D. L. e Silva Filho, L. C. P. (2004). Análise experimental de painéis mistos de PVC com recheio de concreto utilizados em unidades habitacionais. Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural. Mendoza.

Latorraca, G. (org.) (2000). João Filgueiras Lima – Lelé. São Paulo: Instituto Lina Bo e P. M. Bardi.

Lawson, R. M.; Mullet, D. L.; Rackham, J. W. (1997). Design of Asymmetric Slimflor® Beams using Deep Composite Decking. Berkshire: Steel Construction Institute.

Maia, E. e Vasconcellos, M. J. (1995). Éolo Maia & Jô Vasconcellos: arquitetos. Rio de Janeiro: Salamandra.

Maia, E.; Vasconcellos, M. J.; Podestá, S. E. (1985). 3 arquitetos. Belo Horizonte: Cultura.

Molina, J. C. e Bertolino Júnior, R. (2004). Análise de painéis laterais de edifícios em aço utilizando-se o efeito da ação diafragma na contenção lateral. Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural. Mendoza.

Nascimento, O. L. (2002). Interfaces entre alvenaria e estrutura metálica. Série Manuais da Construção Metálica. Rio de Janeiro: CBCA.

Revista Arquitetura e Urbanismo (2004). Revista Arquitetura e Urbanismo ANO 19 número 126.

Revista Módulo (1983). Revista Módulo, edição especial Catálogo oficial da exposição Sergio Bernardes.

Rush, R. D. (ed.) (1986). The building systems integration handbook. Newton: Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-9198-0.

Sá, R. (1982). Edros. São Paulo: Projeto.

Sampaio, M. R. A. (org.) (2002). A promoção privada de habitação econômica e a arquitetura moderna: 1930-1964. São Carlos, RiMa. ISBN 85-86552-41-0.

Silva, M. E. G. e Silva, V. G. (2003). Painéis de vedação. Série Manuais da Construção Metálica. Rio de Janeiro: CBCA.

Vargas, M. R. (2003). Resistência ao fogo das estruturas de aço. Série Manuais da Construção Metálica. Rio de Janeiro: CBCA.

Villinger, C. (org.) (1998). Mies van der Rohe: architecture and design in Stuttgart, Barcelona, Brno. Milano: Vitra Design Museum / Skira. ISBN 3-931936-15-5.

Wisnik, G. (2001). Lúcio Costa. São Paulo: Cosac & Naify.

APÊNDICE

Desenhos plotados a partir do autocad, com configurações de penas corretas e escala gráfica.