

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

ESTUDO E CONCEPÇÃO DE EDIFÍCIOS EM MÓDULOS PRÉ-FABRICADOS ESTRUTURADOS EM AÇO

KNEIPP DE FIGUEIREDO CAIADO

ORIENTADOR: 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: Construção Metálica.

Ouro Preto, setembro de 2005.

DEDICATÓRIA

A Deus.

A minha mãe que acreditou em seu único filho.

A meu Pai que estaria muito feliz vendo mais um sonho seu sendo realizado.

AGRADECIMENTOS

*Aos professores do DECIV;
A profa. Dra. Arlene Maria Sarmanho Freitas pelas orientações e idéias
troçadas no desenvolvimento do trabalho;
Ao Prof. Dr. João Luiz Calmon, pelos incentivos à pesquisa e por
acreditar em mim;
À Claudia Amorim, pela compreensão, paciência, carinho, amor e
apoio profissional tão importante na fase mais difícil do curso;
À Paulete Almeida por tantos anos de carinho;
À Claudia Kamei pelo seu carinho e suas consultorias estruturais;
À Arquistudio, por me proporcionar o prazer de “fazer” arquitetura;
Aos amigos da minha turma mestrado, com os quais passei muitos
momentos de alegrias;
À Roberto Coelho pelos ensinamentos e apoio profissionais.*

*Agradecimentos...são tantos pelos momentos, ajuda, convivência,
paciência , disponibilidade, e outras coisas mais...são tantos em tão poucas
linhas....Não me importo em não poder citar todos.*

*Porém me importo de lembrar de todos...lembrar dos momentos felizes
e tristes, das frustrações e das alegrias, dos momentos juntos fazendo o que um
pesquisador deve fazer....questionar para buscar soluções...momentos que estão
gravados em cds, fotos mas principalmente numa memória que não pode e não
deve ser apagada.*

*A todos que participaram e contribuíram nesta fase da minha
vida....meu*

MUITO OBRIGADO

“Minha doutrina se resume em uma só, que abrange tudo. Toda a sabedoria consiste em aperfeiçoar-se a si mesmo e amar os outros como a si mesmo.”

“Aspire ao caminho, repouse na virtude, confie na humanidade, divirta-se nas artes”

“O homem prudente ama a água e o homem perfeito as montanhas. O homem prudente movimenta-se (como a água) e o homem perfeito permanece imóvel (como a montanha). O prudente vive feliz e o perfeito tem longa vida”

(Kung Chung-ni)

“A Arquitetura está para a construção assim como a poesia está para a literatura, é o entusiasmo dramático do ofício”.

“O arquiteto, ordenando forma, realiza uma ordem que é pura criação de seu espírito, pelas formas afeta intensamente nossos sentidos, provocando emoções plásticas, pelas relações que cria, desperta em nós ressonâncias profundas, nos dá a medida de uma ordem que sentimos acordar com a ordem do mundo, determina movimentos diversos de nosso espírito e de nossos sentimentos, sentimos a beleza então.”

(Le Corbusier)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE QUADROS	XIV
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	2
1.2 – OBJETIVO	3
1.3 – LIMITAÇÕES DA PESQUISA	3
1.3 – ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	4
2 – INDUSTRIALIZAÇÃO	6
2.1 – CONCEITO DE INDUSTRIALIZAÇÃO	7
2.2 – PROCESSO E SISTEMA DE PRODUÇÃO	8
2.3 – A EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO: DO ARTEZANAL AO SISTEMA ENXUTO	9
2.4 – PADRONIZAÇÃO	13
2.5 – COORDEANÇÃO MODULAR	14
3 – A CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	19
3.1 – HISTÓRICO	20
3.2 – A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
3.3 – ENGENHARIA SIMULTÂNEA	31
3.4 – A RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA	34
3.5 – O EDIFÍCIO: CONDICIONANTES DE PROJETO	35
3.5.1 – Definição De Desempenho	36

3.5.2 – Simplicidade/Flexibilidade	37
3.5.3 – Construtibilidade	39
4 – SISTEMAS CONSTRUTIVOS	41
<hr/>	
4.1 – ESTRUTURA	43
4.1.1 – Light Steel Frame	45
4.1.2 – Sistema modular	52
4.2 – PAINEÍIS DE VEDAÇÃO	54
4.2.1 – Vedações Moldadas in loco ou Alvenarias	55
4.2.2 – Vedações industrializadas	56
4.2.3 – Paineis de Vedação Interno	64
4.3 – LAJE	66
4.3.1 – Lajes Pré-Fabricadas	67
4.4 - COBERTURA	72
4.5 – INSTALAÇÕES	72
5 – SISTEMA MODULAR: ESTUDO E CONCEPÇÃO	73
<hr/>	
5.1 – O EDIFÍCIO COMO OBJETO MANUFATURADO	75
5.2 – SISTEMA MODULAR	77
5.2.1 – Definição Métrica	82
5.2.2 – O Módulo	83
5.3 – ESTRUTURA	86
5.4 – LOGÍSTICA	90
5.4.1 – Transporte Horizontal (terrestre)	91
5.4.2 – Transporte Vertical	91

6 – O EDIFÍCIO: CONCEPÇÃO DO SISTEMA	96
6.1 – DESENVOLVIMENTO PROJETUAL	97
6.2 – CONSIDERAÇÕES REFERENTES AO PROCESSO DE PROJETO	118
7 – CONCLUSÃO	121
7.1 – CONSIDERAÇÕES QUANTO AO PROJETO	122
7.2 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Vista do Nagakin Capsule- Edifício em módulos de concreto localizado em Tóquio (KUROKAWA, 2004).....	17
Figura 2.2 - Fachada do Nagakin Capsule- Edifício em módulos de concreto localizado em Tóquio (KUROKAWA, 2004).....	17
Figura 2.3 - Aplausus Hotel – Osaka/ Japão (foto arquivo do particular do autor).....	18
Figura 3.1 - Evolução esquemática de produção industrial de casas (COELHO, 2002, p.17)..	19
Figura 3.2 - Exemplo de detalhamento em projeto da varanda de uma residência japonesa (foto, arquivo pessoal do autor).....	30
Figura 3.3 - Vista da maquete de um módulo da cobertura do estádio de Oita, Japão. (foto, arquivo pessoal do autor).....	30
Figura 3.4 - Foto do projeto do sistema móvel da cobertura do estádio de Oita, Japão. (foto, arquivo pessoal do autor).....	31
Figura 4.1 - Wood Frame: Montantes e guias em madeira (YTONG, 2000, p . 06).....	41
Figura 4.2 - Steel Frame: Montantes e guias em aço galvanizado. (YTONG, 2000, p . 08).....	41
Figura 4.3 - Método Balão. (CRASTO, 2005, p. 29).....	43
Figura 4.4 - Método Plataforma. (CRASTO, 2005, p. 29).....	43
Figura 4.5 - Transporte da grade estrutural (SCI, 1994, p. 26).....	44
Figura 4.6 - Seqüência de montagem de frames de parede (SCI, 1994, p. 26).....	44
Figura 4.7 - Grade estrutural instalada (SCI, 1994, p. 26).....	44
Figura 4.8 - Estruturação de uma residência em steel frame (ENERGY, 2002).....	45
Figura 4.9 - Sistema de montagem de módulos estruturais (IISI, 1996, pg 35).....	46
Figura 4.10 - Módulos estruturais instalados (IISI, 1996, pg 35).....	46
Figura 4.11 - Sistema de módulos industriais japoneses sem acabamento.(foto arquivo pessoal do autor).....	47
Figura 4.12 - Sistema de módulos industriais japoneses com acabamento.(foto arquivo pessoal do autor).....	47
Figura 4.13 - Sistema de módulos não estruturais em fase de montagem, Inglaterra (CASAS PARA O SÉCULO XXI, 2004, p. 97).....	48
Figura 4.14 - Sistema de módulos não estruturais após o acabamento. Inglaterra. (CASAS PARA O SECULO XXI, 2004, p. 99).....	48

Figura 4.15 - Sistema Shutter (ALVARENGA, 2002, p. 75).....	49
Figura 4.16 - Detalhamento do sistema vertical de fixação de painéis (YTONG, 2000,p. 36)..	53
Figura 4.17 - Detalhamento do sistema horizontal de fixação de painéis (YTONG, 2000,p. 48).....	53
Figura 4.18 - Detalhes de projeto de painéis (YTONG, 2000, p.106).....	54
Figura 4.19 - Imagem dos painéis japoneses aplicados (YTONG, 2000, p.121).....	55
Figura 4.20 - Diversidade de textura e cores dos painéis japoneses. (YTONG, 2000, p.98)....	55
Figura 4.21 - Figura esquemática da composição estrutural de um painel misto. (OLIVEIRA, 2002, p. 18).....	57
Figura 4.22 - Sistema de fechamento em placa cimentícia (ALVARENGA, 2002, p. 78).....	59
Figura 4.23 - Esquema dos montantes e guias com guia de 48 mm. (Dry-Wall, 2005, p. 15)..	60
Figura 4.24 - Esquema dos montantes e guias com guia de 70 mm. (Dry-Wall, 2005, p. 15)..	60
Figura 4.25 - Esquema dos montantes e guias com guia de 90 mm. (Dry-Wall, 2005, p. 15)..	60
Figura 4.26 - Imagem dos componentes do sistema com a placa de gesso acartonado no Japão. (arquivo pessoal do autor, 2000).....	61
Figura 4.27 - Imagem dos componentes estruturais do sistema no Japão. (arquivo pessoal do autor, 2000).....	61
Figura 4.28 - Esquema dos componentes estruturais do Painel Wall.....	63
Figura 4.29 - Esquema do sistema de fixação do Painel Wall conforme o sistema estrutural..	63
Figura 4.30 - Sistema esquemático da composição do piso quando utilizado a placa cimentícia. (BRICKAWALL, 2004,p. 4).....	64
Figura 4.31 - Perspectivas demonstrando a complexidade do sistema utilizado no Japão. (SIPOREX, 2002, p. 89).....	65
Figura 4.32 - Foto do painel OSB instalado (arquivo pessoal do autor).....	66
Figura 4.33 - Sistema de cobertura industrializada (IISI, 2002, p. 23).....	67
Figura 5.1 - Vista do edifício da Microflats. (CASA VOGUE, 2003, p. 89).....	79
Figura 5.2 - Cortes esquemáticos dos microflats. (CASA VOGUE, 2003, p. 90).....	79
Figura 5.3 - Início da montagem do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27).....	80
Figura 5.4 - Montagem do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27).....	80
Figura 5.5 - Fachada principal do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27).....	80
Figura 5.6 - Vista pátio interno do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27).....	80
Figura 5.7 - Planta baixa do Nagakin Capsule (KUROKAWA, 2004, p. 27).....	81

Figura 5.8 - Fachada do Nagakin Capsule (KUROKAWA, 2004, p. 27).....	81
Figura 5.9 - Detalhe do sistema de fixação da cápsula na estrutura (KUROKAWA, 2004, p. 27).....	81
Figura 5.10 - Perspectiva isometria da cápsula (KUROKAWA, 2004, p. 28).....	82
Figura 5.11 - Vista interna da cápsula (KUROKAWA, 2004, p. 28).....	82
Figura 5.12 - Perspectiva isométrica do módulo.....	84
Figura 5.13 - Planta baixa do módulo.....	85
Figura 5.14 - Corte longitudinal do módulo.....	85
Figura 5.15 - Esquema isométrico da sobreposição dos módulos.....	87
Figura 5.16 - Esquema isométrico da laje pré-moldada.....	89
Figura 5.17 - Planta da laje pré-moldada.....	89
Figura 5.18 - Esquema das guias de torre estática com lança horizontal: fixa, sobre trilhos e ascensional (OLIVEIRA , 2002, p. 112).....	94
Figura 5.19 - Sistema de montagem de uma edificação em sistema modular (IISI, 2000, p. 04).....	95
Figura 6.1 - Vista do acesso ao edifício modelo.....	98
Figura 6.2 - Vista do volume das salas do edifício modelo.....	98
Figura 6.3 - Vista área do acesso do edifício modelo.....	99
Figura 6.4 - Vista área do volume das salas do edifício modelo.....	99
Figura 6.5 - Planta baixa do térreo do edifício modelo.....	100
Figura 6.6 - Perspectiva isométrica do pavimento térreo do edifício modelo.....	100
Figura 6.7 - Planta baixa da sala tipo composta por três módulos.....	101
Figura 6.8 - Chumbador Hilt (COELHO, 2002, p. 47).....	102
Figura 6.9 - Sistema de transporte vertical (THE ARCHITECTS' JOURNAL, 1999, p. 30).....	103
Figura 6.10 - Esquema estrutural do pavimento térreo.....	104
Figura 6.11 - Esquema estrutural do edifício na sua totalidade.....	104
Figura 6.12 - Peça de ligação vertical com vista do pilar metálico.....	105
Figura 6.13 - Peça de ligação vertical com vista do pilar e vigas metálicas.....	105
Figura 6.14 - Peça de ligação vertical de dois pilares.....	106
Figura 6.15 - Peça de ligação vertical de quatro pilares.....	106
Figura 6.16 - Detalhe das placas horizontais para dois pilares.....	107
Figura 6.17 - Detalhe das placas horizontais para quatro pilares.....	107
Figura 6.18 - Esquema da fixação das placas horizontais.....	108

Figura 6.19 - Vista do espaçamento entre dois módulos.....	108
Figura 6.20 - Vista da placa superior solda no topo dos pilares.....	109
Figura 6.21 - Vista da laje pré-moldada.....	109
Figura 6.22 - Vista da laje apoiada sobre o engradamento metálico e o espaçamento entre as mesmas.....	110
Figura 6.23 - Planta da disposição das lajes pré-moldadas.....	111
Figura 6.24 - Vista da disposição do Dry-Wall na sala tipo.....	112
Figura 6.25 - Vista da placa cimentícia instalada.....	113
Figura 6.26 - Vista do suporte da parta inferior do módulo	113
Figura 6.27 - Vista da fixação do módulo na parte superior e inferior do módulo.....	114
Figura 6.28 - Esquema do posicionamento da placa cimentícia.....	114
Figura 6.29 - Detalhe da proteção contra-fumaça instalada entre a placa cimentícia e face externa da laje pré-moldada.....	115
Figura 6.30 - Vista da localização das juntas verticais de dilatação nos encontros dos Módulos.....	116
Figura 6.31 - Vista do posicionamento das juntas horizontais e verticais de dilatação.....	116
Figura 6.32 - Vista da cobertura em telha metálica.....	117
Figura 6.33 - Detalhe das peças de ligação instaladas.....	119
Figura 6.34 - Vista dos componentes metálicos instalados.....	119
Figura 6.35 - Perspectiva da estrutura do edifício modelo.....	120
Figura 6.36 - Corte transversal do edifício modelo.	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Classificação dos diversos sistemas estruturais em Light Steel Frame (Baseado em POPO-OLA, TREBILCOCK, WAITE, LAWSON apud ALVARENGA (2002).....	42
Quadro 5.1 - Conceitos de Flexibilidade (Brandão apud ALVARENGA, 2002).....	73
Quadro 5.2 - Descrição dos subsistemas utilizados no modelo 01.....	87
Quadro 5.2a: Descrição das seções transversais utilizadas no modelo 01.....	87
Quadro 5.3: Descrição dos subsistemas utilizados no modelo 02.....	88
Quadro 5.3a: Descrição das seções transversais utilizadas no modelo 02.....	88
Quadro 5.4: Descrição dos subsistemas utilizados no modelo 03.....	90
Quadro 5.4a: Descrição das seções transversais utilizadas no modelo 03.....	90

RESUMO

A nova realidade de competição internacional, globalização do capital e a estabilidade monetária no país, obriga-nos a refletir sobre o quadro atual da indústria da construção civil brasileira frente à competitividade produtiva no sentido industrial.

A utilização de tecnologias construtivas inovadoras estruturados em aço, tem-se por, potencialmente, contribuir para incrementar os níveis de industrialização dos processos de produção, bem como a qualidade do produto final a custos reduzidos. Diversos sistemas construtivos industrializados e semi-industrializados para a fabricação principalmente de residências têm sido importada, não se preocupando com a adequabilidade dos mesmos às condições e particularidades do Brasil.

O presente trabalho apresenta uma reflexão sobre o sistema modular para edifícios comerciais, desenvolve o conceito de projeto de produto industrializado para a da construção civil brasileira e demonstra a aplicabilidade destes na concepção de um edifício comercial de 04 pavimentos.

No Brasil, entretanto, não existem ainda normas ou manuais técnicos que balizem a utilização dessa tecnologia construtiva. Por isso, este trabalho sistematiza o conhecimento sobre a tecnologia do sistema modular para emprego de edifícios de múltiplos pavimentos, por meio da apresentação dos principais fatores que devem ser considerados nas fases de elaboração dos projetos de empreendimento e sua concepção. Fatores, esses, que condicionam o desempenho e a eficiência do processo de produção de edificações em sistemas modulares.

ABSTRACT

The new reality of the international competitiveness, globalization of the economy and the stabilization of the economy in the country, leads us to think about the current situation of the Brazilian civil construction industry compared to the productive industry competitiveness.

The use of new steel structured building technology, has a potential to contribute to increase the productive processes industrialization level, as well as the product's final quality with reduced costs.

Different industrialized and semi-industrialized systems for the manufacturing of homes in special, has been imported, without any concern about customization to typical Brazilian conditions.

This work presents a reflection about modular systems for commercial buildings, develops industrialized product project concept for the Brazilian civil construction and demonstrates the applicability of this concepts to a four story commercial building.

Brazil has no rules and standards or technical manuals that guides the use of this building technology. This work implements the knowledge about modular system technology for the usage in multiple story buildings, by presenting the principle factors that should be considered in the business project elaboration phases and the conception.

This factors guide the performance and the efficiency of the modular system building production process.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A economia inflacionada, em que os preços resultavam da soma dos custos de produção de uma empresa e dos lucros previamente arbitrários e a estabilização monetária impôs mudanças nos paradigmas de eficiência para os setores produtivos, conduzindo a uma formulação em que o lucro decorre do diferencial entre os preços praticados pelo mercado e os custos diretos e indiretos decorridos na geração do produto. Desta forma, a lucratividade das empresas passou a ser condicionada pela gestão dos seus processos produtivos por parte da empresa. (GRILLO, 1999)

Na construção de edificações, os processos ocorreram de forma seqüencial, surgindo etapas que se sobrepõem, de modo a provocar interferências mutuas.

Para MELHADO (1998) tanto a indústria seriada como a indústria da construção brasileira vive hoje a busca da eficiência produtiva, da qualidade de seus produtos e uma melhor adaptação às mudanças que ocorrem em seus mercados. A busca de processos construtivos inovadores, vem sendo uma constante e foi incrementada pela crescente entrada de investidores estrangeiros no setor hoteleiro e comercial.

Para MEDEIROS (2003) do ponto de vista macroeconômico, o que impulsionou o uso mais intensivo dos sistemas industrializados no Brasil foi a internacionalização da economia. Nos últimos anos com a chegada de empreendedores estrangeiros, habituados à utilização dos pré-fabricados e a obras rápidas, a demanda cresceu muito, isso ocorreu notadamente no ramo hoteleiro, de shoppings e hipermercados.

NOVAES (1998) informa que inserido nesse processo de melhoria de qualidade na produção de edificações, o processo de projeto deve ter sua importância reconhecida. Para que este reconhecimento se efetive, o conjunto de projetos elaborados deve propiciar a satisfação de necessidades do empreendimento e da edificação, subsidiando as demais etapas do processo de produção com soluções e especificações técnicas que permitam a obtenção de melhores níveis de produtividade nos processos e de qualidade nos produtos.

Neste contexto encontra-se o sistema modular de edificações, amplamente utilizados na Europa e no Japão, onde a qualidade do planejamento, do projeto, e principalmente do produto, em conjunto com as inovações dos sistemas construtivos, constitui componentes de competitividade na construção de edifícios, a ser melhor entendido e explorados ao se considerar o atual contexto de evolução da construção de edifícios.

O sistema modular oferece uma grande agilidade e rapidez na concepção de edificações residenciais e comerciais, por tratar-se de um módulo construtivo totalmente concebido na indústria e por oferecer facilidades em adaptar-se à variação topográfica.

Considerando as características citadas anteriormente o sistema modular tem argumentos persuasivos como a velocidade, controle de qualidade e custos, economia e cronograma, pois sua confecção é realizada no interior de uma indústria, aliada à questão da logística. Segundo informações obtidas em empresas Inglesas e Japonesas pelo autor, o cronograma total da obra tem redução em cerca de 50%.

1.2 – OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é a avaliação de todo o processo que envolve o sistema modular em aço, suas versatilidades, modulação ideal e contextualização na construção civil. O trabalho também propiciará o desenvolvimento de um sistema modular industrializado utilizando perfis de aço formados a frio. Assim, o sistema modular deve ser adequado à realidade da arquitetura e construção civil brasileira para um sistema voltado a edificações comerciais verticais de 02 (dois) a 04 (quatro) pavimentos, empregando os conceitos de construção enxuta e industrialização de um produto.

1.3 – LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O estudo limita-se a uma unidade modular que atende os setores comerciais, sendo este módulo concebido em uma unidade industrial, dentro do procedimento operacional de produção de um produto em série, oferecendo variações volumétricas verticais e horizontais na arquitetura da edificação.

Os módulos serão compostos por sistemas industrializados, empregando o aço (perfil formado a frio) como elemento estrutural, lajes e painéis externos pré-fabricados, de modo a constituírem-se em uma peça industrial única. Foi observada uma máxima racionalização, aliada ao menor custo do produto, enfatizando-se ainda uma maior flexibilidade possível em termos de processos de fabricação, transporte e montagem.

1.4 – ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em sete capítulos. No primeiro encontra-se o contexto da pesquisa e o objetivo do trabalho.

O segundo capítulo apresenta o contexto da indústria, sistema de produção industrial, a história do desenvolvimento industrial da produção em série e sua influência nas demais indústrias, a questão da padronização e coordenação modular.

No terceiro capítulo aborda-se a construção civil industrializada, seu histórico e o conceito de industrialização, dentro deste contexto desenvolvem a racionalização construtiva e a produção enxuta para a construção civil aliada a engenharia simultânea.

O quarto capítulo descreve os subsistemas construtivos que compõem o edifício. Limitou-se os subsistemas industrializados que compatibilizam com o sistema, tema do trabalho.

No quinto capítulo é abordado os condicionantes do projeto do sistema, com a definição de desempenho, simplicidade, flexibilidade, construtibilidade da edificação. É apresentado o estudo e concepção do sistema, onde este é caracterizado pelo desenvolvimento do edifício como objeto manufaturado. Partindo das características do sistema é definidos o módulo, com sua relação métrica, a estrutura , realizando um pré-dimensionamento do mesmo e faz-se um estudo da logística com relação ao transporte horizontal e vertical.

No sexto capítulo é descrito o desenvolvimento projetual do edifício, buscando a intercambiabilidade e compatibilização dos subsistemas que compõem o mesmo.

2 – INDUSTRIALIZAÇÃO

O tema do presente trabalho, embora esteja dentro do universo da indústria da construção civil, encontra-se vinculado à indústria seriada, referenciado mais especificamente como indústria de bens de consumo. Por conta disso, para melhor entendimento, faz-se necessário um estudo direcionado aos principais elementos que compõem o sistema industrial.

Inicia-se o capítulo conceituando a industrialização e conseqüentemente processo e sistema de produção. Posteriormente é descrito a evolução do sistema de produção, desde o sistema artesanal até o sistema de produção enxuto, onde se pode fazer um apanhado da evolução da cultura do sistema de produção seriada.

Referentes à indústria, torna-se necessário o estudo e análise dos conceitos de padronização e coordenação modular. Conceitos estes fundamentais para a posterior análise da indústria da construção civil.

2.1 – CONCEITO DE INDUSTRIALIZAÇÃO

Segundo Arnold (1999) o conceito de industrialização compreende processos, contínuos ou discretos, de transformação de matérias primas na fabricação de bens de consumo ou de produção. Esses processos pressupõem uma infra-estrutura de energia e de redes de comunicação. Os processos contínuos são automatizados e transformam materiais, substâncias ou objetos ininterruptamente podendo conter operações biofísicoquímicas durante o processo. Os discretos, não contínuos, que geralmente requerem a intervenção direta do profissional, caracterizam-se por operações físicas de controle das formas dos produtos. Com a crescente automação, os processos discretos tendem a assemelhar-se aos processos contínuos, de modo que o profissional interfira de forma indireta por meio de sistemas micro-processados. A demanda humana, contudo, é indispensável para o controle em ambos os processos, demandando um profissional apto para desenvolver atividades de planejamento, instalação, operação, manutenção, qualidade e produtividade.

2.2 – PROCESSO E SISTEMA DE PRODUÇÃO

FORD apud COELHO (2003,) descreve:

“O conceito de produção em série é utilizado para descrever o método pelo qual se fabricam grandes quantidades de um produto padronizado. A produção em série não é simplesmente produção em quantidade., nem produção mecânica”.

“A produção em série é a aplicação de princípios de potência, precisão, economia, método, continuidade e velocidade a um processo de fabricação.”

“A principal diretriz consiste na interpretação destes princípios através do estudo de operações e desenvolvimento de maquinário e sua coordenação. E o resultado lógico é uma organização produtiva que proporcione grande quantidade de artigos de material, mão-de-obra e desenhos padronizados a um custo mínimo...”

Pode-se dizer que processo é o conjunto dos atos por que se realiza determinada operação técnica. (AURÉLIO, 2002)

Segundo Arnold (1999) processo é o conjunto formado pela união de tarefas de forma ordenada. O processo transforma uma entrada (insumo) em saída (produto final) através de uma ou mais tarefas onde a produção é o ato ou efeito de produzir e o produto o resultado de produção, o resultado da multiplicação.

A produção é o processo, através do qual se criam mercadorias (produtos) e serviços. Os processos de produção se encontram em fábricas, escritórios, hospitais e supermercados. A administração da produção concerne à tomada de decisão com relação aos processos de produção, de modo que a mercadoria (produto) ou o serviço resultante seja produzido de acordo com as especificações, segundo as quantidades e programas requeridos e um custo mínimo. Ao realizar estes objetivos, a administração da produção se associa as duas grandes áreas de atividade: o projeto e o controle dos sistemas de produção.

Segundo Arnold (1999) sistema é qualquer conjunto de processos, em relação aos quais se tem algum interesse. Esses processos interagem e relacionam-se com vistas ao atender a objetivos bem definidos ou o sistema é o conjunto de partes coordenadas entre si; conjunto de partes similares; conjunto de princípios, leis, de regras que regulam certa ordem de fenômenos.

Um sistema necessita de gestão para otimizar e harmonizar o desenvolvimento e desdobramento de seus processos. Para que um sistema seja eficiente e eficaz é preciso que seus processos estejam perfeitamente definidos e a gestão seja feita de forma a observá-los, corrigi-los e aprimorá-los constantemente.

2.3 - A EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO: DO ARTESANAL AO SISTEMA ENXUTO

WOMACK (1997) denominou a indústria automobilística como sendo “a indústria das indústrias”, sendo a maior atividade industrial do mundo. Enfatizando a sua importância onde por duas vezes no século XX, ela alterou as noções mais fundamentais de como produzir bens.

O sistema de produção automotivo seguiu basicamente por três modelos com características e particularidades próprias.

Inicialmente a produção artesanal utilizou trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples mas flexíveis para produzir exatamente o que o consumidor deseja.

Bens produzidos pelo método artesanal custavam caro demais para a maioria dos consumidores. Em suma, a produção artesanal possuía as seguintes características:

- Uma força de trabalho altamente qualificada em projeto, operação de máquinas, ajuste e acabamento. Muitos trabalhadores progrediam através de um aprendizado abrangendo todo um conjunto de habilidades artesanais;
- Organizações extremamente descentralizadas, ainda que concentradas numa só cidade. A maioria das peças e grande parte do projeto do automóvel provinham de pequenas oficinas. O sistema era coordenado por um proprietário/empresário, em contacto direto com todos os envolvidos: consumidores, empregados e fornecedores;
- O emprego de máquinas de uso geral para realizar a perfuração, corte e demais operações em metal ou madeira;

- Um volume de produção baixo.
- Os custos de produção artesanal eram elevados e não diminuían com o volume, significando que apenas os muito ricos podiam se dar ao luxo de adquirir carros. Além disso, porque cada carro produzido era, na verdade, um protótipo, a consistência e confiabilidade eram ilusórias;

Posterior ao sistema de produção artesanal surgiu a produção em massa, que utilizava profissionais excessivamente especializados para projetar produtos manufaturados por trabalhadores semi ou não qualificados, utilizando máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa. Essas geram produtos padronizados em altíssimos volumes.

Por ser a maquinaria de custo elevado e pouco versátil, o produtor em massa adiciona várias tolerâncias – suprimentos adicionais, trabalhadores extras e espaço extra para assegurar a continuidade da produção. Sendo a mudança para um novo produto tão dispendiosa, o produtor em massa mantém os modelos padrão em produção o maior tempo possível. Como resultado para o consumidor obtêm-se preços mais baixos, mas à custa de pouca variedade, e com métodos de trabalho que muitos trabalhadores julgam monótonos e sem sentido.

Henry Ford foi o precursor deste sistema, onde o modelo T da Ford de 1908 foi seu vigésimo projeto de um período de cinco anos, começando com a produção do original modelo A, em 1903. A chave da produção em massa não residia na linha de montagem em movimento contínuo, pelo contrário, consistia na completa e consistente intercambiabilidade das peças e na facilidade de ajustá-las entre si. Essas foram as inovações na fabricação que tornaram a linha de montagem possível.

Para conseguir a intercambiabilidade, Ford insistiu que o mesmo sistema de medidas fosse usado para todas as peças ao longo de todo o processo de fabricação. Sua insistência na padronização das medidas por todo o processo decorreu de ter ele percebido os benefícios financeiros que resultariam nos custos de montagem.

Ford beneficiou-se dos recentes avanços nas máquinas-ferramenta, capazes de trabalhar com metais pré-endurecidos. Tomados conjuntamente, a intercambiabilidade, simplicidade e facilidade de ajuste proporcionam a Ford diversas vantagens em relação aos competidores. Por exemplo, ele pôde eliminar os ajustadores qualificados, que sempre haviam constituído a maior parte da força de trabalho de montagem.

A linha de montagem móvel de Ford consistia em duas tiras de Lâmina de metal, sob as rodas nos dois lados do carro, deslocando-se ao longo de toda a fábrica. No final da linha de montagem, as tiras, montadas sobre uma correia transportadora, rolavam para baixo do assoalho, voltando ao início. O dispositivo se assemelhava aos compridos “pisos rolantes” sobre os quais as pessoas atualmente se deslocam. Como Ford só necessitava da correia e de um motor elétrico para movimentá-la, o custo era mínimo.

A produção em massa de Henry Ford orientou a indústria automobilística por mais de meio século, e acabou sendo adotada em quase toda atividade industrial na Europa e América do Norte. Atualmente, porém, essas mesmas técnicas, baseadas na filosofia de fabricação, estão frustrando os esforços de muitas companhias ocidentais no salto para a produção enxuta, descrita a seguir.

A produção Enxuta combina as vantagens da produção artesanal somada a produção em massa, evitando os altos custos dessa primeira e a rigidez desta última. Com essa finalidade, emprega a produção enxuta equipes de trabalhadores multiquificados em todos os níveis da organização, além de máquinas altamente flexíveis e cada vez mais automatizadas para produzir imensos volumes de produtos de ampla variedade.

A produção enxuta (expressão foi definida pelo pesquisador do IMVP¹ John Krafcik é “enxuta” por utilizar menor quantidade de tudo em comparação com a produção em massa: metade do esforço dos operários na fábrica, metade do espaço para fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de

¹ IMVP: International Motor Vehicle Program

planejamento para desenvolver novos produtos em metade do tempo. Requer também bem menos da metade dos estoques atuais no local de fabricação, além de resultar em bem menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos.

Os produtos em massa estabelecem uma meta limitada que redundará numa quantidade tolerável de defeitos, num nível máximo de estoques aceitável e numa limitada variedade de produtos padronizados. Os produtos enxutos almejam abertamente a perfeição, custos cada vez menores, ausência de itens defeituosos, nenhum estoque e uma miríade de novos produtos.

Womack & Jones (1996), em posterior estudo, conseguiram chegar à consolidação das práticas que guiavam empresas que tinham processos produtivos considerados enxutos onde tais processos deveriam ser entendidos como aqueles sistemas que conviviam com um volume reduzido de perdas, relacionadas a atividades de projeto, gerenciamento de informações ou transformações físicas que não contribuíam para a geração do valor agregado para o produto final do ponto de vista do cliente.

Para Machado (2000), é interessante notar que a teoria de produção enxuta vem sendo moldada através da desagregação de princípios de algumas teorias já existentes e do aproveitamento somente daqueles associados aos fundamentos gerais assumidos como diretrizes para essa nova proposta de administração da produção.

Cussumanu (1994) indica um conjunto de princípios destinados à produção enxuta entre eles: a minimização dos lotes de produção, a minimização de estoques intermediários no processo, a concentração geográfica da produção de componentes e montagem, o nivelamento da produção, a redução do tempo de preparação das máquinas, a padronização do trabalho, entregas automatizadas a prova de falhas, trabalhadores polivalentes, aumento da terceirização, uso seletivo da automação e melhoria contínua do processo.

Para o desenvolvimento de projetos, Cussumanu (1994) propõe os seguintes princípios: a substituição rápida de modelos, a expansão constante da linha de

modelos, a sobreposição e compressão das etapas de desenvolvimento de projetos, o aumento da participação dos fornecedores no processo de desenvolvimento do projeto, a utilização de gerentes de projeto para a coordenação do desenvolvimento dos projetos, a manutenção e continuidade dos gerentes de projetos e dos times de projetos, o cumprimento rígido da programação de engenharia, o estabelecimento de bons mecanismos de comunicação, a utilização de engenheiros e equipes de projetos polivalentes (abordagem multidisciplinar), habilidade para utilizar ferramentas de projeto baseada no computador, melhoria contínua do produto.

2.4- PADRONIZAÇÃO

A padronização deve ser vista dentro das organizações de uma única forma, ou seja, como algo que trará benefícios para todos: diretoria, gerentes, executantes, fornecedores e, em especial, aos clientes.

A empresa é um sistema composto de partes, que são os seus subsistemas: logística, produção, vendas, marketing, finanças. Nestas circunstâncias, o processo (subsistemas) de padronização se integra aos demais subsistemas da empresa, subsidiando-os e coordenando-se com os mesmos, no enfoque sistêmico.

Para ARNOLD (1999) existem na padronização três conceitos estabelecidos: o padrão (sistema métrico), a própria padronização e o sistema padronizado coordenado com os demais sistemas (ou subsistemas) da empresa:

- O padrão, no contexto gerencial dos sistemas de uma organização humana, em que a divisão dos trabalhos (processos) envolve inúmeras tarefas que devem ser desempenhadas de forma simples, honesta e lucrativa, gerando valor para os clientes, deve ser conceituado como um documento onde se estabelece a melhor prática, a mais segura, de forma lucrativa e consensual.
- Para que se execute conforme padrão, é preciso, em primeiro lugar, estabelecer ou criar o padrão. Em seguida, treinar as pessoas que cumprirão esse padrão para finalmente, verificar os resultados do seu uso.
- O conjunto de ações planejadas de elaborar o padrão, educar, treinar continuamente os executantes dos processos denomina-se padronização,

através da qual se busca a permanente uniformização do comportamento operacional.

- Padronização é o conjunto de ações ou atividades sistemáticas para estabelecer, utilizar e avaliar padrões quanto ao seu cumprimento, à sua adequação e aos seus efeitos sobre os resultados.

No projeto do produto, um padrão é uma especificação cuidadosamente estabelecida que abrange o material, a configuração, as medidas do produto e etc.

Todos os produtos fabricados segundo uma especificação serão semelhantes e intercambiáveis, pois várias especificações padronizadas podem ser estabelecidas, de modo a cobrir a maioria das utilizações do item.

Como padronização de produtos permite que as peças sejam intercambiáveis, contanto que a gama de especificações padronizadas tenha sido bem escolhida, é necessária uma variedade menor de componentes. Ex: lâmpadas.

Outro aspecto da padronização é o modo como as peças se encaixam. Se os projetos dos conjuntos são padronizados, de modo que vários modelos ou produtos possam ser montados do mesmo modo, é possível então uma grande produção.

A padronização não necessariamente reduz a gama de escolhas do cliente. Ao padronizar componentes, um fabricante pode produzir uma variedade de produtos acabados, um dos quais provavelmente irá satisfazer o consumidor.

2.5 – COORDENAÇÃO MODULAR

A coordenação modular na construção civil está relacionada diretamente ao conceito de módulo, onde este é uma medida adotada para regular as proporções das diversas partes de uma construção. A menor medida comum que devem aprestar os diferentes elementos (componentes) que entram na composição de um edifício, a fim que possam tais elementos justapor-se e sobrepor-se no espaço sem necessidade de rotação quanto da respectiva colocação².

² Novíssima Enciclopédia Delta-Laorusse, Editora Delta S. A., Rio de Janeiro, 1982.

Segundo Firmo (2004) o termo módulo vem do latim “modulus” (pequena medida) e tem sido sempre usado em edificações desde o tempo de Vitruvius (SÉC I A.C.). O módulo corresponde basicamente a uma unidade de medida em edificações da qual todas as dimensões são derivadas.

A industrialização contemporânea das edificações tem se prontificado a buscar uma medida simplificadora que possa ao mesmo tempo ser uma unidade conveniente para a arquitetura, o design, bem como uma unidade conveniente para a produção industrial. Devido a essa analogia com a “ordem” clássica, a essa medida chamamos de “módulo”; a compreensão da coordenação de todas as atividades em uma edificação e de seus componentes em conformidade, com essa unidade de medida chamamos de Coordenação Modular. Isso difere do módulo passado pelo fato de não ser uma função estética, mas sim uma medida prática e funcional que está longe de ser uma medida relativa ao tamanho de cada edificação, mas sim de uma medida absoluta.

Para Lucini (2001) a coordenação modular estabelece uma linguagem gráfica, descritiva e de especificações que é comum a fabricantes, projetistas e construtores e que pode ser aplicada nas diversas etapas do processo de produção, desde a concepção inicial do projeto até a sua execução em canteiro.

Salas (1992) destaca conforme os princípios do grupo Sticking Architecture Research – SAR, que existem objetivos principais que justificam a adoção da coordenação modular, quais sejam:

- Facilitar a cooperação entre projetistas, fabricantes e distribuidores;
- Permitir o uso de componentes padronizados;
- Simplificar a preparação de projetos, possibilitando determinar as dimensões;
- De cada componente no edifício e sua posição em relação a outros componentes e ao edifício como um todo;
- Otimizar a variedade de dimensões dos componentes;
- Permitir a intercambiabilidade destes componentes, sem preocupação com o material, forma ou método de fabricação;

- Simplificar os trabalhos “in loco”, mediante a racionalização da colocação e união dos componentes, reduzindo ao mínimo os ajustes, retoques e tempos necessários de montagem; e
- Assegurar uma coordenação dimensional entre instalações, unidades de armazenamento e equipamentos complementares com o resto do edifício.

É de grande importância que, na etapa de elaboração de projetos, as dimensões das peças sejam estabelecidas por meio da análise de uma quadrícula modular e do estabelecimento de medidas modulares. Para a melhor compreensão desses termos define-se, conforme LUCINI (2001):

Quadrícula modular de referência: projeção ortogonal de uma malha espacial sobre um plano horizontal ou vertical. Possibilita o posicionamento de componentes, juntas e acabamentos no projeto e o lançamento de medidas em obra;

Módulo: é o elemento fundamental que define todo o sistema de medidas e espaços modulares. O módulo básico proposto para o Brasil desde 1936 é $M=100\text{mm}=10\text{cm}$ (TEIXEIRA, 1990).

Medida modular: medida de um componente, vão ou distância entre partes da construção. A medida modular inclui o componente e a folga necessária para absorver tanto as tolerâncias de produto como de montagem;

Medida nominal: medida determinada para o projeto ou produção de um componente, sempre inferior à medida modular, para possibilitar a adição das tolerâncias de produto e montagem;

Junta nominal: distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção, considerados a partir da medida nominal;

Ajuste modular: estabelece a dimensão entre a medida nominal e modular de um componente. Nada mais é que o estabelecimento da folga necessária entre componentes para absorver as tolerâncias de produto (fabricação) e montagem.

Firno (2004) para demonstrar a importância da coordenação modular, utilizou como exemplo a casa japonesa, onde a malha estruturadora baseia-se em um sistema reticulado de quadrados e arestas correspondentes a $\frac{1}{2}$ KEN (Tamanho padrão japonês referente a seis pés japoneses), onde a combinação de módulos retangulares de $1 \times \frac{1}{2}$ KEN define toda a organização espacial da casa japonesa. Módulo e malha estão intimamente ligados, uma vez que o módulo define praticamente toda a malha, permitindo o máximo de composições possíveis entre eles.

Assim, pode-se citar como exemplo o edifício residencial Nagakin Capsule, situado em Tóquio. Projeto de Kisho Kurokawa, onde ele dispôs da coordenação modular, utilizando um único módulo em concreto. A tipologia da edificação ficou a cargo da variação do sentido dos módulos, respeitando a circulação vertical e horizontal e o sistema de ancoragem dos módulos. Tal situação ofereceu alternativas nas plantas baixas da edificação, demonstrando que o correto uso do módulo e de uma coordenação modular oferece variabilidade visual e estética (figuras 2.1 e 2.2).

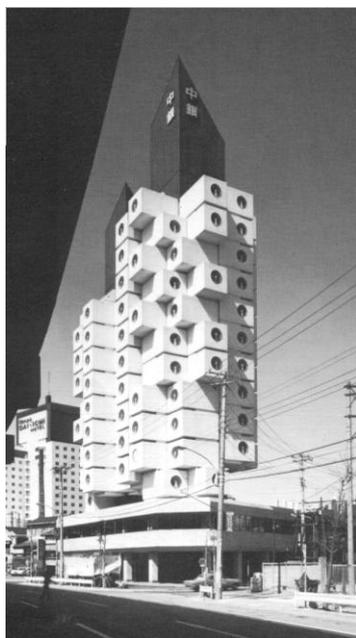


Figura 2.1 - Vista do Nagakin Capsule- Edifício em módulos de concreto localizado em Tóquio (KUROKAWA, 2004)

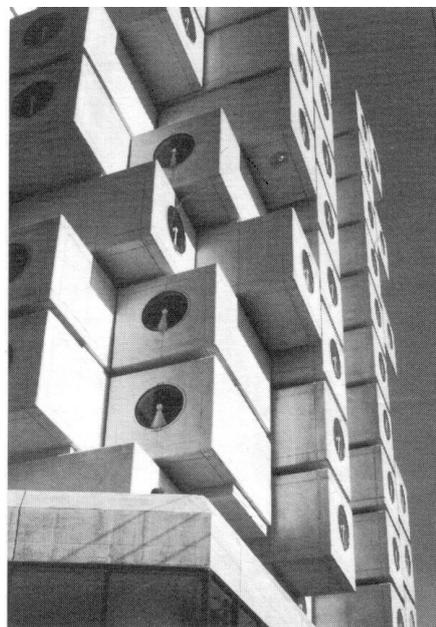


Figura 2.2 - Fachada do Nagakin Capsule - Edifício em módulos de concreto localizado em Tóquio (KUROKAWA, 2004)

Como outro exemplo, o Aplausus Hotel, situado na cidade de Osaka, onde a equipe da Takenaka Corporation, que projetou e construiu o hotel, utilizou conhecimento da coordenação modular no sistema construtivo de fechamento externo, onde os painéis pré-moldados foram dispostos de forma a valorizar a verticalidade da edificação, mesmo valorizado esteticamente, a disposição dos painéis demonstra a simplificação do sistema e sua montagem, conforme figura 2.3.



Figura 2.3 – Aplausus Hotel – Osaka/ Japão (fotografia arquivo particular do autor)

3 - A CONSTRUÇÃO CIVIL INDUSTRIALIZADA

No capítulo anterior foram expostos os conceitos, definições e histórico da indústria. Neste capítulo objetiva-se abordar as questões da indústria da construção civil, direcionando estas para a construção industrializada.

Para tanto, inicia-se o capítulo fazendo um apanhado histórico da construção civil industrializada no mundo e no Brasil. Posteriormente aborda o conceito de industrialização na construção civil onde se faz necessário o estudo da engenharia simultânea, da racionalização construtiva e da produção enxuta.

3.1 – HISTÓRICO

Para Firmo (2004), a industrialização da construção civil teve a sua origem provavelmente no Japão a cerca de 03 (três) séculos.

A predominância da madeira com elemento construtivo nas antigas habitações japonesas, propiciava inúmeros incêndios nas cidades e vilarejos do país decorrente principalmente da estreita aproximação entre as edificações, dos terremotos e dos tufões naquele país.

Devido a um incêndio de grandes proporções em Tóquio, adotou-se em 1657 para todo o Japão um sistema de medida que padronizou e regulamentou todas as dimensões construtivas, incluindo portas e janelas, distâncias entre pilares, etc.

Este novo sistema se derivou do existente método Kiwari-ho (normatização para proporcionalidade da madeira) que estabeleceu como unidade de medida fundamental o Ken (seis pés japoneses), ou seja 1.818 mm, e que corresponde ao comprimento de um tatame tipo Inakawa (1.818 x 909 mm).

Para Firmo (2004) esta medida de racionalização simplificou e barateou consideravelmente todas as construções no Japão, revolucionando o sistema e despertando a atenção de todo o mundo.

Nos Estados Unidos, Coelho (2003) comenta através de um recorte de jornal que em 1886 a Sociedade da Cruz Vermelha, alertava a sociedade para a necessidade de desenvolvimento de hospitais portáteis, possíveis de serem montados nos campos de batalhas, tendo em vista o grande número de soldados que perdiam as

vidas por falta de uma assistência médica adequada. O que envolvia uma industrialização.

A evolução do processo de industrialização é demonstrada esquematicamente a partir da produção de uma simples cabana de madeira roliça até uma casa móvel – “moto home”, montada sobre estrutura com rodas e facilmente deslocada de um local para outro, como apresentado na figura 3.1. Para Coelho (2003) o desenvolvimento de casas móveis possibilitou ampla liberdade ao usuário e sua comercialização teve grande impulso nos EUA, nos anos 60 e 70. Disseminando conceitos e parâmetros de moradia.

No período pós 2º Guerra Mundial, principalmente na Europa, foi onde iniciou, verdadeiramente a história da pré-fabricação como “manifestação mais significativa da industrialização na construção”. Sendo que a utilização intensiva do pré-fabricado em concreto deu-se em função da necessidade de se construir em grande escala. Ordenéz (1974).

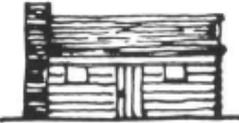
TIPO DE CASA	TRABALHO FORA DA OBRA	TRABALHO NA OBRA
<p>CABANA</p> 		<ul style="list-style-type: none"> -Cortar árvores -Conformar e preparar os troncos -Desbastar pranchas para tetos, pisos e móveis
<p>PRIMEIRAS ESTRUTURAS "BALLOON"</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Serrar a madeira -Produção de ferragens e pintura -Móveis industrializados 	<ul style="list-style-type: none"> -Corte e preparação da madeira para estrutura, etc. -Execução de janelas, portas, escadas, carpintaria -Revestimentos (reboco) -Pintura e acabamentos
<p>ESTRUTURA CONVENCIONAL DE MADEIRA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Serrar a madeira -Produção de ferragens e pintura -Móveis, marcenaria, janelas, portas, placas para divisórias 	<ul style="list-style-type: none"> -Corte e preparação da madeira para estrutura e fechamentos -Instalação dos elementos pré-fabricados -Pintura e acabamento
<p>CASA POR COMPONENTES</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Projeto e fabricação de um grupo de componentes de construção coordenados, para estrutura, fechamentos, unidades de instalações, janelas, portas, divisórias internas, e unidades de armazenamento 	<ul style="list-style-type: none"> -Montagem dos componentes pré-fabricados
<p>"MOTO-HOME" E CASA POR SEÇÕES</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Produção completa de uma casa pré-fabricada com todos os acabamentos e complementos 	

Figura 3.1 – Evolução esquemática de produção industrial de casas (COELHO, 2002, p.17).

De acordo com SALAS (1988), pode-se dividir o emprego da pré-fabricação na Europa em três etapas:

- De 1950 a 1970 – Etapa em que houve a necessidade de se construir muitos edifícios, tanto habitacionais quanto escolas, hospitais e indústrias, devido à falta de edificações ocasionada por demolições da guerra. Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados, cujos componentes como os próprios painéis, contra-marcos, esquadrias, fixação e outros, eram procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou chamar de ciclo fechado de produção. Os ciclos fechados, especialmente aqueles à base de pré-fabricados, marcaram o apogeu da fase de reconstrução da Europa, que durou até o final da década de 60;
- De 1970 a 1980 – Etapa em que ocorreram acidentes com alguns edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados como, por exemplo, o caso do edifício “Ronan Point”, na Inglaterra, que ruiu parcialmente após a explosão de um botijão de gás e teve sua imagem associada a um “castelo de cartas” (SALAS, 1988). Esses acidentes provocaram, além de uma rejeição social a esse tipo de edifício, uma profunda revisão no conceito de utilização dos processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados. E neste contexto teve início o declínio dos sistemas pré-fabricados do ciclo fechado de produção. Cabe ressaltar que edifícios comerciais e industriais também foram construídos num ciclo fechado de produção, porém, em menor número e objetivando atender a funções diferentes daquelas dos edifícios residenciais. Assim, apresentaram menos problemas patológicos e, praticamente, nenhum de ordem social;
- Pós 1980 – Esta etapa caracterizou-se, em primeiro lugar, pela demolição de alguns grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. E, em segundo lugar, pela consolidação de uma pré-fabricação de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis, de origens diversas. Segundo BRUNA (1976), “a industrialização de componentes destinados ao mercado e não,

exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como CICLO ABERTO”.

Portanto, após 1980, a Europa avançou para uma segunda geração tecnológica no campo da construção pré-fabricada, em que foi introduzido o sistema de ciclo aberto de produção, ou seja, aquele que dispõe de processos de produção flexíveis, nos quais os componentes são de origens diversas, conseqüentemente, de diferentes produtores (MAEOKA, 1970).

Nesta segunda geração tecnológica houve a necessidade de desenvolver um sistema de coordenação modular que possibilitasse que as peças, mesmo de diferentes produtores, apresentassem dimensões padronizadas, a fim de atenderem a vários projetos. Paralelamente necessitou-se de um sistema de normas técnicas que garantissem a qualidade das edificações.

Na década de 80, as indústrias japonesas, em decorrência do alto grau de industrialização da construção civil, desenvolveram um sistema de casas em módulos, que é produzida dentro da planta física da indústria e “montada” no local. Este sistema difundiu-se na Europa principalmente nos países escandinavos, Inglaterra e Holanda na produção de edifícios de múltiplos andares.

Nos Estados Unidos os perfis formados a frio têm sido utilizado a pelo menos um século em elementos corrugados, fechamentos e outras estruturas. A utilização na indústria e em construções comerciais iniciou na metade do século 20 e a utilização em residências iniciou-se a aproximadamente duas décadas. FREITAS & CRASTO (2005).

No Brasil, tal como nos EUA e Canadá, não existiu uma circunstância que provocasse a falta de edificações em grande escala, como houve na Europa após a 2ª Guerra Mundial. No entanto, a preocupação com a racionalização e a “industrialização” de processos construtivos apareceu no final da década de 50.

Com o contínuo aumento populacional dos centros urbanos e, conseqüentemente, o crescimento do déficit habitacional, criou-se em 1966 o Banco Nacional da Habitação – BNH. Sua finalidade era amenizar esse déficit, impulsionando o setor da

construção civil, que detinha 5% do PIB do país, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1987).

No início da sua atuação, o BNH adotou uma política de desestímulo a pré-fabricação no setor da habitação, tentando privilegiar a geração de empregos. Na segunda metade dos anos 70, o banco adotou novas diretrizes para o setor, reorientando sua atuação para o atendimento das camadas de menor poder aquisitivo, passando a estimular, ainda que timidamente, a introdução de novas tecnologias, como a construção com elementos pré-fabricados de concreto.

Orientado para a busca de alternativas tecnológicas para a construção habitacional, o BNH e seus agentes patrocinaram a pesquisa e desenvolvimento de alguns processos construtivos à base de componentes pré-fabricados. Através desta iniciativa, organizaram a instalação de canteiros experimentais, como o de Narendiba, na Bahia, em 1978; o Carapicuíba VII, em São Paulo, em 1980; e o de Jardim São Paulo, em São Paulo, em 1981. Os anos oitenta assistiram ao esgotamento do ciclo de expansão das atividades do sub-setor de edificações habitacionais, iniciado em 1964. O agravamento da crise econômica, no começo da década de 80, influenciou o modelo de política habitacional, que viabilizava o crescimento das atividades do setor da construção civil, através da sua principal base de sustentação, o Sistema Financeiro de Habitação (FARAH,1992).

Segundo GRILLO (1999), com a economia inflacionária, em que os preços resultavam da soma dos custos de produção de uma empresa e dos lucros previamente arbitrados, não sendo necessário para as mesmas, estudar e desenvolver novos materiais e tecnologias que impulsionassem a produtividade do setor, mantendo-se assim a indústria da construção civil, salvo algumas exceções, inserida em um contexto de desperdício e atraso tecnológico.

A estabilização monetária impôs mudanças nos paradigmas de eficiência para os setores produtivos, conduzindo a uma formulação em que o lucro decorre do diferencial entre os preços praticados pelo mercado e os custos diretos e indiretos incorridos na geração do produto. Desta forma, a lucratividade das empresas passou a ser condicionada pela gestão dos processos produtivos por parte da empresa. O

que levou a indústria da construção civil a impulsionar estudos e desenvolvimento de sistemas racionalizados e industrializados.

Com relação a construção metálica, segundo CASTRO (1999), as construções metálicas, até a década de 70, eram restritas, basicamente, a instalações industriais e galpões metálicos. Só a partir de meados dos anos 80, começou-se a utilizar a estrutura metálica em maior escala. Sendo que nos anos 90 foi marcado pelo início utilização dos perfis de chapa fina de aço formados a frio em residências.

Para COELHO (2003) o estágio mais elevado da industrialização da construção de edifícios no Brasil, até esta data, concentra-se nas obras de padrão elevado. São empreendimentos onde o prazo de execução é o elemento que define os sistemas a serem empregados, justificando o preço inicial mais elevado. São construções para fins comerciais como hotéis ou centros comerciais, bancos, aeroportos e supermercados.

3.2 – A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil historicamente buscou inspiração nas práticas da manufatura seriada também conhecida como indústria da transformação, para organizar seu processo de produção. KOSKELA (1992) sustenta que, por muito tempo, se buscou uma solução para os problemas do setor da construção civil através da industrialização, pré-fabricação e modularização dos componentes da construção.

Analisando a indústria da construção civil tradicional em relação à produção, contata-se que esta difere em vários aspectos da indústria de transformação, de onde surgiram muitos conceitos e ferramentas para a melhoria e otimização da produtividade.

BAUERMANN (2002) determina algumas características peculiares da construção civil que dificultam a transposição dos conceitos e ferramentas da indústria de transformação para a construção civil, entre elas:

1. a construção civil é uma indústria de caráter nômade;

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

Porém, segundo MELHADO (1998), “a construção civil brasileira nos últimos dez anos tem apresentado mudanças contínuas e progressivas em direção a um patamar mais alto de evolução como indústria”.

Com isso torna-se necessário à compreensão dos níveis de produção de edificações na indústria da construção civil, onde BRUNA apud BAUERMANN (2002) define três níveis de produção na construção civil sendo: 1- Tradicional; 2 – Racionalizado e 3 – Industrialização Plena, onde:

- A. Tradicional – é o nível em que trabalha grande parte das empresas, quando são utilizados sistemas construtivos tradicionais sem nenhuma preocupação com a otimização, como alvenaria sem modulação ou cortes aleatórios para embutimento das instalações.
- B. Racionalização – é quando o processo utiliza componentes que ainda exigem preparação e montagem in loco, como revestimento com argamassa, mas de forma a buscar a máxima eficiência dos sistemas. Assim a pré-fabricação, quando executada junto ao canteiro de montagem, dever ser entendida como uma forma de racionalização do sistema construtivo; assim como, a mecanização deve ser entendida como uma racionalização da energia gasta na produção, representadas pelas guas, betoneiras, entre outras, uma vez

que não implica na organização ou produção em série. Para BRUNA apud BAUERMANN (2002).

A pré-fabricação, segundo Ordenéz (1974), é uma fabricação industrial, fora do canteiro, de partes da construção, capazes de serem utilizadas mediante ações posteriores de montagem.

SABATTINI apud COELHO (2003) separa a racionalização na construção em dois níveis: para o setor e para as técnicas construtivas. Neste último contexto o autor define a racionalização construtiva como: *“um processo composto por um conjunto de ações que tenham como objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas suas fases”*.

No entanto, Trigo (1978) destaca que a industrialização corresponde a uma noção muito mais ampla que a pré-fabricação, ou seja, a pré-fabricação é uma das manifestações da industrialização, mas, por si só, não traduz toda a complexidade que envolve o processo da construção industrializada.

- C. Industrialização Plena – é quando atividades de canteiro se reduzem a montagem de elementos e componentes, sendo o máximo que se pode alcançar em termos de produtividade. Assim a industrialização está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, os quais deverão ser entendidos, analisando de forma mais ampla as relações de produção envolvidas e a mecanização dos meios de produção, ou seja, a industrialização equivale à associação da racionalização e da mecanização. (BRUNA apud BAUERMANN, 2002)

Alvarenga (2002) conceitua a construção industrializada como seca, a qual pode ser definida como a tecnologia que não usa componentes moldados no canteiro. Não se trata necessariamente de construções pré-fabricadas, mas sim, de componentes industrializados ou pré-industrializados que são montados fora da obra e transportados em partes. Diferente dos sistemas pré-fabricados, que pode haver componentes feitos sob encomenda.

Ainda em relação à industrialização, alguns autores, como Orlandi (1979), estabelecem que os processos industrializados são função de um método em que os componentes e elementos construtivos são pré-fabricados em usinas e, posteriormente, acoplados às obras mediante operações de montagem, ou seja, estabelecem que os processos industrializados são, essencialmente, pré-fabricados.

Para Bauermann (2002), com relação ao processo de produção de edifícios estruturados em aço, a especificação da estrutura metálica associada a sistemas industrializados de fechamento de fachada, vedações, módulos de banheiros, atribui ao processo de construção um elevado nível de industrialização do canteiro de obras.

Segundo Coelho (2003) o desenvolvimento e o aprimoramento da indústria da construção civil brasileira está relacionado diretamente com a mudança dos conceitos e formas de se projetar conhecido como Engenharia Simultânea ou Design Building, que será melhor descrito ainda neste capítulo, onde ao iniciar o desenvolvimento de um projeto devem ser estabelecidos, prioritariamente, parâmetros que norteiem todos os trabalhos relacionados com a produção de um edifício, desde a sua forma até a sua execução, utilização e preservação.

A produção de edifícios, com racionalização e alto grau de industrialização atribui ao como construir, um papel chave e determinante das condições de contorno, que balizarão o desenvolvimento de todos os projetos e das técnicas empregadas na edificação da obra.

Requer estudo e pesquisa dos materiais e sistemas disponíveis no mercado, preços, desempenho sob todos os aspectos (segurança, habitabilidade, conforto termo-acústico, durabilidade, ausência de patologias, etc.) e principalmente a análise criteriosa dos métodos e meios de transporte e de montagem.

No Japão, a indústria da construção civil está plenamente inserida no conceito da produção industrializada, onde o projeto do produto e o projeto do processo são realizados simultaneamente.

Este avanço tecnológico reflete no detalhamento projetual da edificação, fazendo uma analogia ao sistema de produção fabril, onde todas as peças que fazem parte do conjunto do produto são descritas, seguindo a especificação de catálogos e normas. Obtendo-se assim um controle maior do produto a ser construído e uma qualidade superior. Como exemplo apresenta-se a figura 3.2 que referencia o nível de detalhamento de uma varanda de uma residência japonesa, e a figura 3.3 do Oita Dome (Estádio de Oita, Japão).

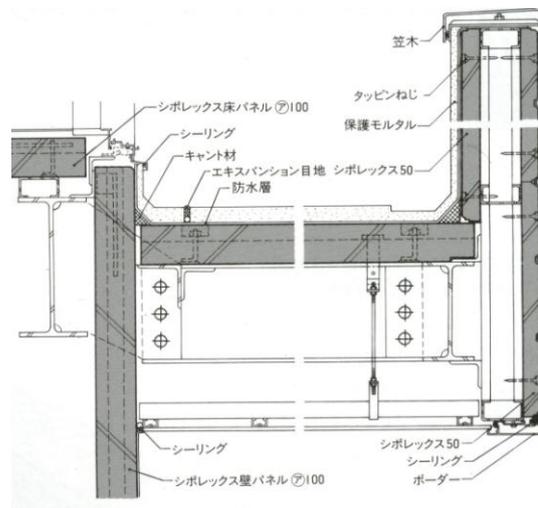


Figura 3.2 – Exemplo de detalhamento em projeto da varanda de uma residência japonesa (foto, arquivo pessoal do autor)



Figura 3.3: Vista da maquete de um módulo da cobertura do estádio de Oita, Japão. (foto, arquivo pessoal do autor)

3.3 - ENGENHARIA SIMULTÂNEA

A engenharia simultânea surgiu em ambiente industrial e pode ter outras denominações, tais como engenharia paralela ou engenharia concorrente, porém a primeira, além de ser utilizada pela indústria automobilística mundial, é a terminologia mais conhecida no Brasil (HARTLEY, 1998).

A engenharia simultânea surgiu como uma necessidade de sobrevivência no mercado, em virtude do aumento da competitividade pela redução do custo total e do tempo de desenvolvimento do produto, juntamente com a melhoria de qualidade. Tem sido aplicada nas indústrias automotivas, eletrônicas, aeroespaciais e na informática (WERNER, 1994).

Projetar produtos para fabricação a custos baixos exige íntima coordenação entre o projeto do produto e o projeto do processo. Se os dois grupos puderem trabalhar juntos, terão maiores chances de projetar um produto que irá funcionar bem no mercado e poderá ser fabricado ao menor custo. Essa relação entre projeto do produto e o projeto do processo pode definir o sucesso ou fracasso de um produto. Se um produto não puder ser fabricado a um custo que permita a obtenção de lucros, ele representa um fracasso para a empresa.

A abordagem tradicional dos projetos de produto e do processo têm sido seqüenciais, ou seja, quando a área de projeto do produto termina sua tarefa, passa o trabalho para a área de projeto de processo, para que este último especifique um modo de fabricar o produto. Esse sistema provou ser dispendioso e demorado.

Hoje, muitas empresas desenvolvem simultaneamente o projeto para o produto e para o processo. Muitas vezes, uma equipe é composta de pessoas das áreas de projeto do produto, de projeto de processo, de garantia da qualidade, de planejamento da produção, de marketing e outras. Esse grupo trabalha em conjunto para desenvolver o projeto do produto de modo a satisfazer às necessidades dos clientes e possa ser produzido e entregue aos mesmos a um custo baixo.

Essa abordagem apresenta várias vantagens:

- O tempo decorrido até a comercialização é reduzido – a empresa coloca seus produtos no mercado antes que a concorrência obtenha forte vantagem competitiva.
- O custo é reduzido – como todas as pessoas envolvidas participam do processo desde o início, há menor necessidade de alterações custosas posteriormente.
- Maior qualidade – como o produto é projetado para que haja facilidade na fabricação e na manutenção da qualidade durante a fabricação, o número de rejeitos é reduzido.
- O custo total do sistema é reduzido – como todos os grupos envolvidos com o projeto do produto são consultados, todos os interesses são abordados.

O projeto do produto é responsável pela criação de um conjunto de especificações que a produção pode utilizar na fabricação do produto. Os produtos devem ser projetados para ser:

- Funcionais;
- Capazes de um processamento a baixos custos.

O produto funcional é o projetado para um desempenho que segue as especificações do mercado. A área de marketing cria uma especificação de mercado, indicando os valores de desempenho, volume de venda e aparência esperadas pelo produto.

Os engenheiros de projeto do produto projetam-no para satisfazer às necessidades mercadológicas. Os engenheiros estabelecem dimensões, configurações e especificações para cada item que formam o produto.

Processamento a custos baixos. O produto deve ser projetado de modo que sua fabricação implique o mínimo custo possível. O projetista de produto especifica os materiais, as tolerâncias, os formatos básicos, os métodos de unir as peças, e assim por diante. Por meio dessas especificações, fixa o custo mínimo do produto.

Um projeto inadequado pode adicionar custos ao processamento de várias maneiras:

- O produto e seus componentes podem ser projetados de modo a impossibilitar a produção com os métodos mais econômicos;
- As peças podem ser projetadas de modo que seja necessária a remoção de material excessivo;
- As peças podem ser projetadas de modo a dificultar as operações;
- A falta de componentes padronizados pode conduzir a lotes de trabalho pequenos. A utilização de peças padronizadas em vários produtos reduz o número de peças no estoque, na ferramentarias e no treinamento de operadores. Tudo isso reduz o custo do produto.

Segundo CASTELLS & LUNA apud MORAES (2000), a engenharia simultânea converge para dois princípios fundamentais:

- Quanto mais tarde se faz mudanças nos projetos, mais onerosas essas mudanças se tornarão;
- Diferentes estágios de projeto desenvolvidos simultaneamente diminuem o tempo de execução total do projeto, quando comparado ao desenvolvimento seqüencial.

Assim sendo,

“Do ponto de vista operacional, o Projeto Simultâneo está associado, à realização em paralelo de atividades de projeto de forma a trazer para a concepção do produto a participação de vários especialistas envolvidos em diferentes “fases” do ciclo de produção do empreendimento, buscando considerar precocemente as necessidades e visões dos clientes.” (FABRÍCIO apud MORAES, 2000, pg.).

3.4 – A RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA

A racionalização surgiu como proposta da industrialização do setor, quando se defendia a aproximação da construção com os paradigmas da indústria fabril seriada (FARAH, 1992). Assim, segundo definição de SABBATINI apresentada por Novaes (1996), conclui-se que a racionalização, dentro da escala do empreendimento, pode ser vista como uma das dimensões da industrialização.

A pré-fabricação, segundo Ordonez (1974), “é uma fabricação industrial, fora do canteiro, de partes da construção, capazes de serem utilizadas mediante ações posteriores de montagem”. A pré-fabricação somente é uma ferramenta eficiente para incrementar os níveis de industrialização dos processos de produção se adotada dentro de uma visão sistêmica da construção de um edifício, em que a racionalização seja parte fundamental deste processo.

Melhado (1994, p. 108) define a racionalização construtiva, como:

“(...) um princípio que pode ser aplicado a qualquer método, processo ou sistema construtivo e, no caso do processo construtivo tradicional, significa a implantação de medidas de padronização de componentes, simplificação de operações e aumento de produtividade que podem trazer grandes reduções de custo.”

Portanto, com a utilização de componentes padronizados e/ou pré-fabricados alcançam-se maiores níveis de produtividade e redução de desperdícios, através da eliminação de cortes e ajuste de componentes.

A racionalização construtiva busca o desenvolvimento de um projeto baseado na economia, na eficiência e na otimização aproximando-se do enfoque adotado pela construtibilidade.

3.5 - O EDIFÍCIO: CONDICIONANTES DO PROJETO

Uma vez definidos os problemas, torna-se necessário também definir os tipos de soluções que se quer atingir: Uma solução provisória ou uma solução definitiva, uma solução puramente comercial, uma solução que dure no tempo, fora das modas que impõem um certo gosto naquele momento, uma solução tecnicamente sofisticada ou uma solução simples e econômica.

Qualquer que seja a solução, pode-se dividi-lo em seus componentes. Resolvidos os pequenos problemas, um de cada vez, recompõem-se de maneira coerente, de acordo com todas as características funcionais de cada parte e funcionais entre si, de acordo com as características materiais, estruturais, econômicas e, por último, formais. O belo é consequência do justo (preceito japonês).

O princípio de decompor um problema em seus componentes para poder analisá-lo remonta ao método cartesiano segundo Munari (1998). Visto que, especialmente hoje em dia, os problemas tornaram-se muito complexos, sendo necessário que o arquiteto e projetistas tenham uma série de informações acerca de cada problema, isoladamente, para maior segurança no projeto.

MOLES apud MUNARI (1998), define complexidade de modo a distinguir complexo daquilo que é complicado. Um produto é complicado quando os elementos que o compõem pertencem a numerosas classes diferentes; é complexo se contém um grande número de elementos reagrupáveis, mas em poucas classes. O automóvel é um exemplo de produto complicado, e a calculadora eletrônica como produto complexo. Sendo que há uma tendência para a produção de objetos menos complicados, para a reprodução do número de classes dos elementos que formam o produto. Teremos pois, no futuro, cada vez mais produtos complexos e cada vez menos produtos complicados.

Para isso torna-se necessário o recolhimento de dados para decidir depois sobre os elementos constituídos do projeto e analisá-los para averiguar como foram resolvidos certos subproblemas. Esta análise pode orientar o projeto de outros materiais, outras tecnologias, outros custos.

Dessas experiências resultam amostras, conclusões, informações que podem levar à construção de modelos demonstrativos de novas aplicações com fins particulares. Estas novas aplicações podem destinar-se à resolução de subproblemas parciais como o desempenho, flexibilidade e construtibilidade de uma edificação que, por sua vez, juntamente com os outros, concorrerão para a solução global.

Para isso os programas e desenhos de construção devem servir para comunicar todas as informações úteis a confecção do objeto, no caso do presente estudo, do edifício. Estes serão executados de maneira clara e legível, em quantidade suficiente para se evidenciarem bem todos os aspectos.

3.5.1 – A Definição de Desempenho

Tratando o edifício como um produto da indústria da construção civil, segundo ALVARENGA (2002), a grande dificuldade ao lidar com inovações tecnológicas, principalmente quando o nível destas inovações abrange quase todos os componentes e subsistemas de uma edificação, é a garantia destes sistemas atenderem aos requisitos mínimos ao bem estar e segurança dos usuários.

Segundo MITIDIERE FILHO & GUELPA apud ALVARENGA (2002), as transformações rápidas construtivas levantaram a questão de como avaliar estas inovações. Em vários países já existem sistemáticas habituais para avaliação por desempenho de novos sistemas construtivos. No Brasil, sistemática similar foi desenvolvida pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, em pesquisa denominada: “Formulação de Critérios para Avaliação de Desempenho de Habitações”, pelo extinto BNH – Banco Nacional de Habitação.

Segundo a NBR 5674 (1999), desempenho é a capacidade de uma edificação atender às necessidades de seus usuários, a saber, exigências quanto à segurança, saúde, conforto, adequação ao uso e economia, cujo atendimento é condição para realização das atividades previstas no projeto durante a vida útil do empreendimento, ou seja, durante o intervalo de tempo ao longo do qual a edificação e suas partes constituintes atendem aos requisitos funcionais para os

quais foram projetadas, obedecidos os planos de uso, operação e manutenção previstos.

Uma vez delimitada a repetibilidade e definido o sistema (processo), o próximo passo é a simplificação que consta da redução do número de produtos, componentes, materiais e procedimentos e da simplificação dos projetos dos produtos, visando reduzir custos.

3.5.2 – Simplicidade/Flexibilidade

Inserido o edifício no conceito do desenvolvimento de um produto industrializado, simplificar significa procurar resolver o problema eliminando tudo o que não serve à realização dos objetivos. Para MUNARI (1998) simplificar quer dizer reduzir custos e diminuir o tempo de trabalho, de montagem, de acabamento, ou seja, resolver dois problemas ao mesmo tempo com a mesma solução.

Segundo KOSKELA apud MORAES (2000), simplificação pode ser entendida como:

- Redução do número de componentes de um produto;
- Redução do número de passos de fluxo de material ou informação

Para Moraes (2000), a simplificação pode ser realizada através da eliminação de atividades que não adicionam valor para o processo de produção e também pela reconfiguração de passos/componentes das atividades que adicionam valor.

Como padronização de produtos permite que as peças sejam intercambiáveis, contanto que a gama de especificações padronizadas tenha sido bem escolhida, é necessária uma variedade menor de componentes.

Se existe variação na demanda de um produto, o processo deve ser flexível o suficiente para responder rapidamente a essas mudanças. Os processos flexíveis exigem equipamentos e pessoal flexível, capazes de desempenhar várias funções.

“Flexibilidade significa ser capaz de mudar a operação de alguma forma. Pode ser alterar o que a operação faz, como faz ou quando faz. Mudança é a idéia-chave.” (SLACK apud MORAES., 2000, p. 106).

A flexibilidade, entretanto, deve atender a quatro tipos de exigências: (a) flexibilidade de produto/serviço (habilidade de introduzir novos produtos e serviços); (b) flexibilidade de composto (habilidade de fornecer grande variedade ou composto de produtos e serviços); (c) flexibilidade de volume (volumes ou quantidades diferentes de produtos e serviços), e; (d) flexibilidade de entrega (habilidade de mudar a programação de entrega do bem ou serviço) (SLACK apud MORAES, 2000).

Em primeira instância, aumentar a flexibilidade de um processo de produção parece ser contraditório ao conceito de simplificação. Alguns elementos-chave para a obtenção dessa flexibilidade é a modulação do projeto, juntamente com a utilização de outros princípios como redução de tempo de ciclo e aumento de transparência (KOSKELA, 1992). Ter a possibilidade de aumentar ou reduzir a produção com a mesma estrutura de trabalho é um dos benefícios da aplicação de flexibilidade.

Na indústria da construção civil um fator importante para ALVARENGA (2002) é a flexibilidade e a possibilidade de intervenções do cliente modificando o projeto, adequando-os a suas necessidades. Esta flexibilidade deve garantir a possibilidade de elaboração de projetos personalizados e também do crescimento e adequações futuras. Assim a flexibilidade é um fator fundamental para garantir a boa aceitabilidade de um empreendimento imobiliário o que pode ser sintetizado no quadro 5.1 onde se tem o conceito de flexibilidade para construção civil.

Quadro 5.1 – Conceitos de Flexibilidade (Brandão apud ALVARENGA, 2002)

Flexibilidade Planejada	Flexibilidade oferecida aos potenciais clientes da construção civil na fase de lançamento do empreendimento.
Flexibilidade Permitida	Flexibilidade no projeto permitido apenas a partir da demanda específica do cliente.
Variabilidade	Refere-se a gama de opções de flexibilidade de um empreendimento.
Flexibilidade inicial	Acontece ao longo da fase de projeto e execução.
Flexibilidade contínua	Permanece possível ao longo da ocupação do imóvel.

3.5.3 – Construtibilidade

SABBATTINI apud COELHO (2003) define construtibilidade de um edifício ou de um elemento, como a "propriedade inerente ao projeto de um edifício, ou de uma sua parte, que exprime a aptidão que este edifício (ou sua parte) tem de ser construído". Afirma que "o emprego de uma metodologia de projeto que incorpore o conceito de construtibilidade, constitui-se em uma ação voltada para o aperfeiçoamento da habilidade que o objeto do projeto tem em ser construído. E neste contexto, é entendida como uma ação totalmente direcionada para a racionalização da construção."

Para Coelho (2002) como resultado da consideração dos métodos e processos construtivos no desenvolvimento do projeto tem-se que:

- a duração do projeto é reduzida;
- menores atrasos são efetivamente priorizados em campo;
- as atividades de engenharia e administração são efetivamente priorizadas;
- o trabalho em campo é mais efetivo e há um aumento na percepção dos verdadeiros objetivos de projetos pessoais".

"A racionalização de um processo construtivo nasce na concepção, desenvolve-se no projeto e materializa-se na construção de uma edificação."(COELHO, 2002)

A construtibilidade é definida pelo Construction Industry Institute CII apud Griffith e Sidwell (1995) como: "O uso ótimo do conhecimento e da experiência em construção no planejamento, projeto, contratação e trabalho no canteiro, para atingir os objetivos globais do empreendimento"

Por sua vez, Griffith & Sidwell (1995) definem a construtibilidade no projeto como a "consideração detalhada dos elementos de projeto para atender os requerimentos técnicos e financeiros do empreendimento, considerando quando possível a relação

projeto - construção para melhorar a efetividade do projeto e com isto subsidiar o processo de construção no canteiro”.

A partir dessas definições, pode-se dizer que a construtibilidade refere-se ao emprego adequado do conhecimento e da experiência técnica em vários níveis para racionalizar a execução dos empreendimentos, enfatizando a inter-relação entre as etapas de projeto e execução. A construtibilidade no projeto pode ser considerada como a aplicação desse conhecimento e experiência durante o desenvolvimento dos projetos, junto às diretrizes gerais que permitam racionalizar a execução dos empreendimentos.

4 – SISTEMAS CONSTRUTIVOS

O edifício é um produto ou objeto constituído por um aglomerado de subsistemas construtivos intercambiáveis. Os sistemas subdividem-se basicamente em fundações, estrutura, vedação horizontal e vertical, lógica, instalações elétrica/telefônica, instalações hidráulica, instalações sanitárias, esquadrias, cobertura/impermeabilização e pintura. Com isso, neste capítulo, realiza-se o estudo das características destes com o intuito de utilizar tais informações na aplicabilidade dos mesmos no sistema modular, tema do presente trabalho.

A busca por um processo integrado, com alto grau de industrialização, definido como SISTEMA, no qual todas as partes apresentem um elevado grau de industrialização, foi a diretriz deste trabalho. Neste contexto vale repetir a conceituação proposta por SABATTINI apud COELHO (2003) para evolução dos sistemas construtivos:

- **TÉCNICA CONSTRUTIVA:** é um conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção;
- **MÉTODO CONSTRUTIVO:** é um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregadas na construção de uma parte (subsistema ou elemento) de uma edificação;
- **PROCESSO CONSTRUTIVO:** é um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro);
- **SISTEMA CONSTRUTIVO:** é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.

Também neste capítulo, estuda-se o sistema estrutural denominado Light Steel Frame, por tratar-se de um sistema construtivo que está inserido nos conceitos de industrialização mencionados nos capítulos 2 e 3, e visa identificar os subsídios e critérios que venham ser aplicáveis destes no desenvolvimento de um sistema modular.

4.1 – ESTRUTURA

A estrutura é o subsistema norteador do presente trabalho, limitando-se o estudo aos perfis de chapa fina de aço formados a frio. Perfis obtidos por dobramento, em prensa dobradeira, de lâminas recortadas de chapas de tiras, ou por perfilagem, em mesa de roletes ou matrizes rotativas, a partir de bobinas laminadas a frio ou a quente, sendo ambas as operações realizadas com o aço a temperatura ambiente.

No contexto da indústria da construção civil, WAITE, et al apud ALVARENGA (2002) enumeram algumas vantagens da aplicabilidade dos perfis conformados a frio entre estes:

- Rapidez na construção: Obtém-se a redução de aproximadamente 50 a 60% do tempo total da obra;
- Qualidade superior: Alcançada devido aos métodos de controle de qualidade. O aço possui uma qualidade confiável, garantida pela matéria-prima;
- Economia: Eficientes processos de fabricação definem e fixam preços antecipadamente, para que haja um rápido retorno de capital;
- Precisão dimensional: pequenas tolerâncias podem ser alcançadas e mantidas no interior do módulo, no seu tamanho e no posicionamento das aberturas;
- Facilidade de remoção: edifícios feitos de módulos de aço podem ser facilmente desmontados e os módulos remanejados para criar novos edifícios de forma rápida e econômica;
- Uso em terrenos de pequenas dimensões em região de grande densidade, onde a instalação de canteiros de obra são inviáveis: os componentes pré-fabricados ou modulares são viáveis para pequenas áreas urbanas, particularmente quando não é economicamente viável construir devido a problemas e perturbações na vizinhança;

- Redução da solicitação de trabalho *in loco*: as equipes de montagem e finalização, que instalam e completam as construções, envolvem um menor número de funcionários no local da obra que a construção tradicional;
- Aperfeiçoamento das técnicas de fabricação: na medida em que as tecnologias são desenvolvidas, significa que os trabalhos na fábrica e no terreno são reduzidos e simplificados, devido ao avanço das técnicas de fabricação;
- Construção segura: a construção modular provou ser significativamente mais segura que os métodos tradicionais devido a um maior controle de suas operações;
- Componentes intercambiáveis: a padronização dos componentes, detalhes de junção e o uso de gabaritos para montagem, significa que os componentes das estruturas de aço leve, principalmente os modulares, são facilmente intercambiáveis;
- Adaptabilidade e capacidade de extensão: adicionar ou remover os módulos e um edifício é um processo rápido e direto que não atrapalha o andamento das demais atividades das obras adjacentes;
- Mobilidade: os módulos e componentes são projetados para serem facilmente transportados;
- Flexibilidade de projeto: os módulos de aço podem ser agrupados vertical e horizontalmente, pois possuem boa resistência;

FREITAS & CRASTO (2005) evidencia vantagens fundamentais destes perfis, como a grande versatilidade, tanto na fabricação de seções de formas variadas e que podem ser adaptadas a um grande número de aplicações, quanto na montagem de estruturas, pois se tratam de elementos extremamente leves se comparados aos tradicionais perfis laminados e soldados.

FREITAS & CRASTO (2005) resume as vantagens da utilização dos perfis conformados a frio (ou leve) em relação às estruturas metálicas compostas de perfis soldados ou laminados e em relação às estruturas compostas por outros materiais. Estas são:

- Variação de seções transversais;
- Facilidade de obtenção;
- Facilidade de produção em série e baixo custo de estoque;;
- Facilidade de montagem.

Por tratar-se de um sistema industrializado, a estrutura metálica demanda um planejamento e tempo de projeto maior, onde os cuidados com a sua confecção, tolerâncias dimensionais e estudo de compatibilidade com os demais subsistemas com os quais constituirá o conjunto edificado, tornam-se importantes para a viabilidade tecnológica do sistema.

4.1.1 – Light Steel Frame

ALVARENGA (2002) para uma melhor explanação do sistema Light Steel Frame, menciona a técnica construtiva para construções de pequeno porte, principalmente residências, utilizada na maioria dos países ocidentais e no Japão é o chamado Wood Frame (figura 4.1), ou estrutura em madeira. Sistema este que antecede o Litght Steel Frame (figura 4.2), onde este utiliza a mesma técnica construtiva, substituindo a madeira pelo aço galvanizado formado a frio. Na maioria dos casos as fundações são sobre radiers de concreto in-loco, vedações internas de gesso acartonado, esquadrias em alumínio, ferro ou madeira, telhados com telhas asfálticas do tipo Shingles¹, assentadas sobre assoalho de compensado.

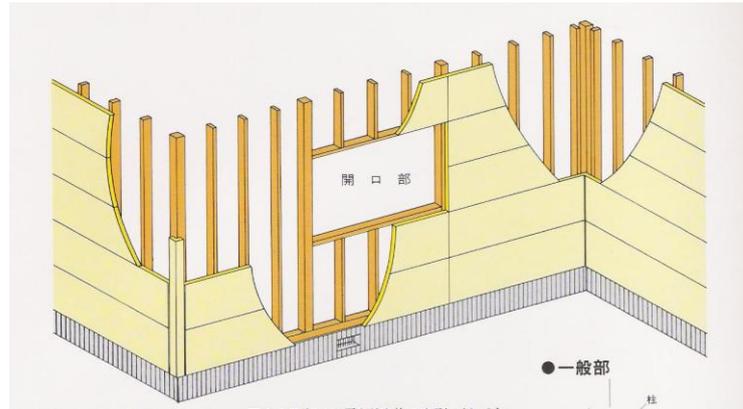


Figura 4.1 – Wood Frame: Montantes e guias em madeira (YTONG, 2000, p . 06)

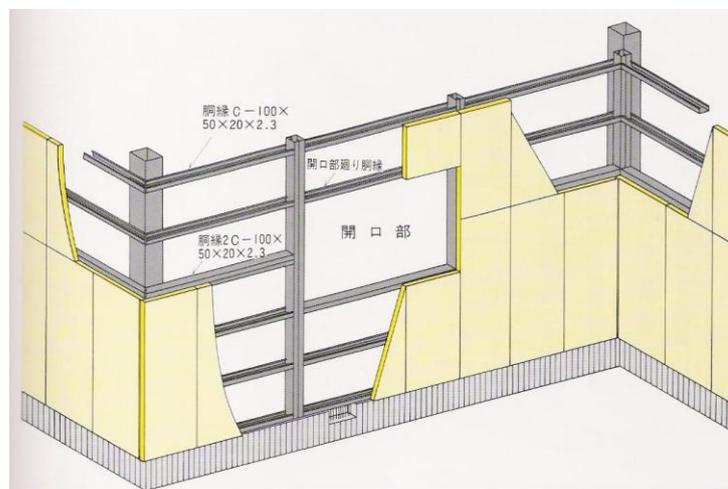


Figura 4.2 – Steel Frame: Montantes e guias em aço galvanizado. (YTONG, 2000, p . 08)

Segundo Alvarenga (2002), muitos dos exemplos do uso do Light Steel Frame apóiam-se no conceito da construção modular, onde componentes pré-fabricados são utilizados para compor parte ou totalmente a edificação. O uso de construções modulares e em peças de pequena espessura, teve seu desenvolvimento impulsionado nas décadas de 20 e 30 na Alemanha e nos Estados Unidos através de arquitetos como Walter Gropius, Peter Behrens, Richard Neutra e Buckminster Fuller.

LAWSON apud ALVARENGA (2002) descreve que após a segunda guerra, a produção desse tipo de tecnologia aumentou bruscamente, não apenas para as unidades móveis, mas também para as fixas, gerando assim, um novo tipo de construção.

Na montagem da gaiola ou frames estruturais em geral não se usa solda, decorrente da pequena espessura utilizada nos perfis. Utilizam-se com mais frequência ferramentas de autoperfuração ou conexões com alicates de amassamento.

Esta montagem obedece a diferentes processos a depender do tipo de sistema utilizado. No quadro 4.1 tem-se uma seguinte classificação para quatro diferentes tipos de sistema de estrutura em perfis formados a frio e em seguida tem-se uma breve discussão de cada processo construtivo.

Quadro 4.1 – Classificação dos diversos sistemas estruturais em Light Steel Frame (Baseado em POPO-OLA, TREBILCOCK, WAITE, LAWSON apud ALVARENGA (2002)).

Processo construtivo	Descrição Sumária	
a) Componentes Individuais	Os perfis estruturais são fornecidos isoladamente e montados na obra	
b) Em painéis	Paredes, telhados e pisos pré-fabricados em painéis	
c) Pré-Engenheirados	Utiliza sistemas de painéis ou modulares industrializados	
d) Volumétricos ou Modulares	- Módulos Estruturais	Unidades modulares que podem ser empilhadas sem necessidade de estrutura de suporte
	- Módulos não Estruturais	Unidades “encaixadas” em uma grelha estrutural
	- Módulos Shutter	A unidades modulares funcionam como formas perdidas para concretagem no local.

a) Estruturas em componentes individuais:

As diversas partes da estrutura são montadas no terreno, formando a estrutura para edifícios de até quatro pavimentos. Esta montagem é feita através de parafusos de auto-perfuração dentre outros métodos. Painéis podem ser montados no terreno utilizando os métodos “balão” ou plataforma.

- Método balão: As colunas são contínuas para formar o próximo pavimento. A partir das colunas nasce a estrutura para os pisos. Uma viga “I” deitada, formada por dois perfis “C”, serve de elemento de enrijecimento para as cantoneiras de apoio do assoalho. O sistema

assemelha-se a construção metálica convencional com colunas e vigas de apoio (ALVARENGA, 2002). Ver figura 4.3.

- Método plataforma: As vigas, colunas e assoalho do piso inferior formam uma plataforma de suporte para a montagem do piso superior (ALVARENGA,2002). Ver figura 4.4.

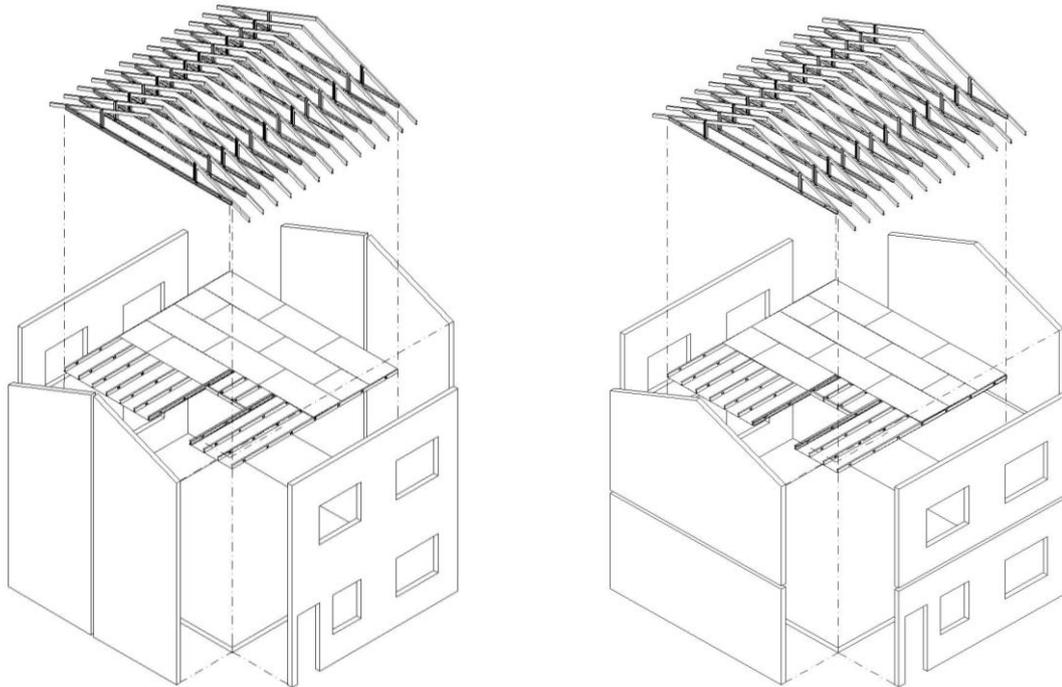


Figura 4.3 – Método Balão. (CRASTO, 2005) Figura 4.4 – Método Plataforma. (CRASTO, 2005)

b) Painéis pré-fabricados para parede, pisos e forros:

Os painéis e subestruturas são montados na fábrica e transportados na obra, manualmente ou por meio de guas. Para montá-los é necessário apenas que as peças sejam alinhadas e depois encaixadas entre si. O sistema pode também ser usado para reformas, apoio à estrutura, acréscimo entre outros fins. Na figura 4.5, 4.6 e 4.7 apresentam-se uma seqüência de montagem de painéis para paredes. (TREBILCOCK apud ALVARENGA, 2002)



Figura 4.5 – Transporte da grade estrutural (SCI, 1994, p. 26)



Figura 4.6 – Seqüência de montagem de frames de parede (SCI, 1994, p. 26)



Figura 4.7 – Grade estrutural instalada (SCI, 1994, p. 26)

c) sistemas pré-engenheirados:

Inúmeros sistemas pré-engenheirados foram desenvolvidos por inúmeras companhias nos Estados Unidos e Europa. Estes sistemas utilizam peças pré-montadas de grande tamanho, que diminui sensivelmente o tempo de montagem da obra. Investe-se em projetos e sistemas de montagem, que visam oferecer aos clientes kits de montagem, ou projetos padrão de residências, não sendo

necessário um novo projeto ou dimensionamento para cada nova obra conforme figura 4.8. (WAITE apud ALVARENGA, 2002)

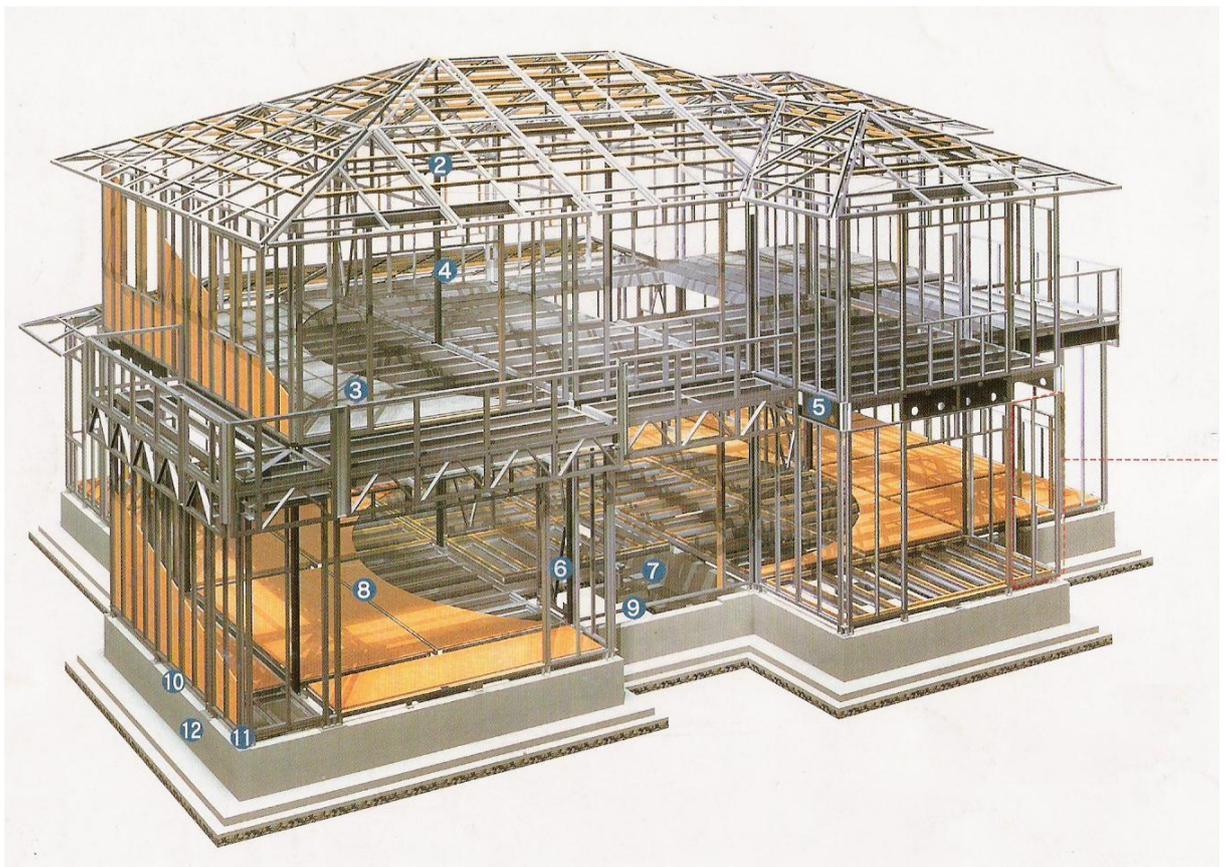


Figura 4.8 – Estruturação de uma residência em steel frame (ENERGY, 2002)

d) Sistemas Modulares: (LAWSON apud ALVARENGA, 2002)

Nos sistemas modulares as peças são entregues em módulos, podendo ser rebocadas. São padronizados em tamanho e acabamento. Os módulos também podem servir como base estrutural para todo o prédio.

O sistema modular constitui o tipo mais prático do sistema de estruturas leves, sendo utilizadas em diversas obras. Assemelha-se com o sistema de container onde no seu transporte horizontal utiliza-se de caminhões pequeno a médio porte, e de guindastes ou gruas para o transporte vertical para a sobreposição de uma unidade sobre a outra. Esta técnica agiliza a construção, além de garantir uma padronização e o perfeito encaixe das peças por tratar-se de um produto manufaturado em um parque industrial.

Segundo Alvarenga (2002), os módulos isolados são amplamente conhecidos e utilizados a décadas, como o caso dos banheiros e escadas. Porém, uma construção pode ser inteiramente construída pela justaposição ou montagem de módulos, formando a estrutura, vedação, piso e cobertura. Conforme esquema de montagem das figuras 4.9 e 4.10.



Figuras 4.9 – Sistema de montagem de módulos estruturais (IISI, 1996, pg 35)



Figuras 4.10 – Módulos estruturais instalados (IISI, 1996, pg 35)

4.1.2 – Sistema Modular

Por tratar-se do tema do presente trabalho, torna-se necessário dar ênfase maior ao sistema, visto que as suas características servem como parâmetros para a identificação dos requisitos mínimos necessários e que atendam as funções satisfatórias de produção de edificações.

a) Módulos estruturais:

Sua função estrutural é de suportar as cargas exercidas sobre a mesma, bem como as de caixa de vedação. Os módulos, analogamente aos containeres, podem ser empilhados formando prédios de vários pavimentos, ou então combinados com a estrutura principal da edificação (no caso de não estruturais), principalmente nos caos em que esta tiver que suportar cargas mais elevadas. (figuras 4.11 e 4.12).



Figuras 4.11 – Sistema de módulos industriais japoneses sem acabamento.(foto arquivo pessoal do autor)



Figuras 4.12 – Sistema de módulos industriais japoneses com acabamento.(foto arquivo pessoal do autor)

b) Módulos não estruturais:

Seu peso é suportado por uma malha estrutural o apoiado em um piso de concreto. Esse tipo de módulo pode ser utilizado entre as partes da estrutura primária. Como exemplo tomemos as figuras 4.13 e 4.14.



Figura 4.13 – Sistema de módulos não estruturais em fase de montagem, Inglaterra (CASAS PARA O SÉCULO XXI, 2004, p. 97)



Figura 4.14 – Sistema de módulos não estruturais após o acabamento. Inglaterra. (CASAS PARA O SÉCULO XXI, 2004, p. 99)

c) Módulo Shutter:

Nesta técnica, os módulos de aço funcionam como moldes permanentes para concretagem in-situ conforme figura 4.15. A aplicação das cargas é suportada pelo concreto das paredes e piso, como nas construções convencionais de concreto. As estruturas leves de aço suportam as cargas durante a construção.

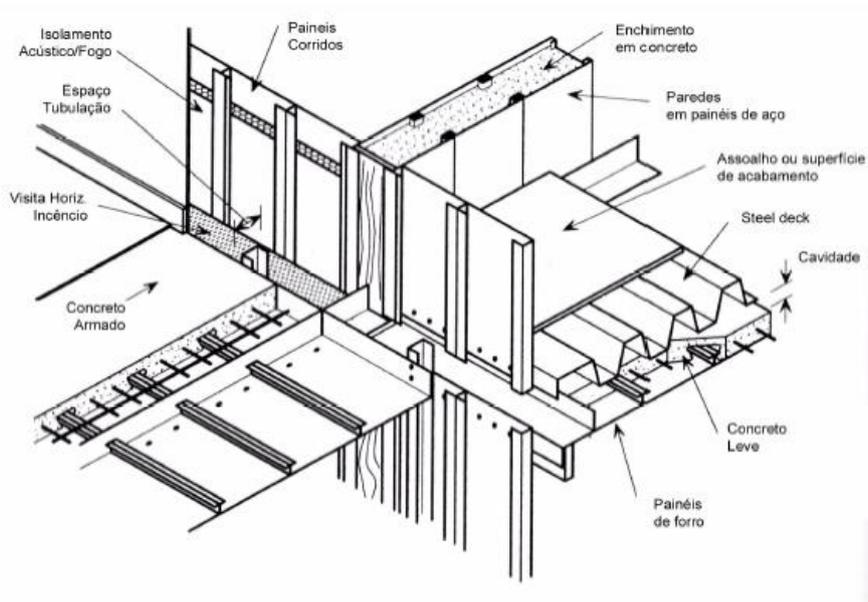


Figura 4.15 – Sistema Shutter (ALVARENGA, 2002, p. 75)

WAITE apud ALVARENGA (2002) destaca algumas desvantagens ao sistema modular e ao Light Steel Frame, principalmente relacionadas à falta de hábito do brasileiro com sistemas industrializados leves. É comum em edifícios onde se adotou a tecnologia do Dry-Wall, consumidores estranharem a aparente fragilidade das paredes. Este tipo de preconceito tem sido vencido gradualmente.

4.2 - PAINEL DE VEDAÇÃO

O subsistema de vedação vertical pode, ainda, ser classificado em função do grau de industrialização do seu processo de produção. Os processos com elevado grau de industrialização são considerados industrializados; os de grau intermediário, como tradicionais racionalizados, racionalizados ou, até mesmo, semi-industrializados (SABBATINI, 1989).

O subsistema vedação externa das construções racionalizadas e industrializadas é o ponto determinante para o bom desempenho da edificação quanto ao isolamento térmico e acústico, a resistências de esforços horizontais, além de serem responsáveis pela quase totalidade das superfícies de fachada de uma edificação.

A utilização de estruturas metálicas contribui para o desenvolvimento da tecnologia e uso de vedações verticais pré-fabricadas em que o elevado grau de industrialização permite a obtenção de benefícios referentes à montagem desvinculada do canteiro de obras.

Segundo Coelho (2003), é parte do processo de dimensionamento e detalhamento das vedações, considerar as condições particulares de cada obra e atender às prescrições normativas vigentes, onde as vedações, principalmente as externas, são projetadas para resistir aos esforços horizontais oriundos da ação do vento e outras ações relevantes.

Coelho (2003) classifica a vedação em dois grupos:

- Vedação moldada *in loco* ou alvenarias;
- Vedação industrializada;

4.2.1 - Vedações moldadas *in loco* ou alvenarias:

São produzidos pela união de blocos através de uma argamassa de assentamento. São baseados na produção artesanal, com uso intensivo de mão-de-obra, baixa mecanização com elevado desperdício de mão-de-obra, material e tempo. Apesar de incorporar pouco ou nenhum grau de industrialização, possui vantagens quanto à modulação e forma final.

A escolha adequada dos materiais utilizados, especialmente quando às suas opções de modulação, permite aprimorar a metodologia de aplicação, podendo gerar um processo construtivo racional incorporando princípios de planejamento e controle, tendo como objetivo eliminar desperdícios, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção e programar decisões, mas que dificilmente atingirá o grau de sistema dado o baixo nível de industrialização.

Por ser uma técnica de conhecimento amplamente disseminado, a produção de alvenarias *in loco* pode ser viabilizada em qualquer tipo de obra, desde que o fator tempo não seja um elemento decisivo e que haja disponibilidade de materiais.

A incompatibilidade de materiais, somado a baixa produtividade quando empregado em edificações onde o aço é o sistema estrutural, indicam a não utilização desta técnica em edificações industrializadas, limitando-se assim o presente estudo aos sistemas de vedações industrializadas.

4.2.2 - Vedações industrializadas

Os vedações industrializadas denominadas de painéis, são em geral posicionados na estrutura da edificação, funcionando como uma “pele”, não necessitando de uma estrutura de apoio auxiliar, o que é provido apenas pela sua própria geometria e resistência. (COELHO, 2003)

Requer um preciso dimensionamento visto que estão sujeitos a diversas solicitações. Porém estes possuem uma qualidade dimensional confiável, por serem confeccionados dentro do parque tecnológico industrial estando subordinados às ferramentas de controle de qualidade de produção.

Segundo SABATTINI e FRANCO (2005), os painéis pré-fabricados podem ser classificados:

a) quanto à posição no edifício:

- Externa (de fachadas): vedação envoltória do edifício, sendo que uma das faces está sempre em contato com o meio ambiente externo ao edifício;
- Interna: vedação interna ao edifício.

b) quanto à técnica de execução:

- Por conformação: vedações obtidas por moldagem a úmido no local;
- Por acoplamento a seco: vedações obtidas por montagem através de dispositivos de fixação (pregos, parafusos, rebites etc.);

- Por acoplamento úmido: vedações obtidas por montagem a seco de componentes com solidarização posterior com argamassa ou concreto.

c) quanto à densidade superficial:

- Leve: vedação de baixa densidade superficial. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – (1990) expõe que são consideradas leves as vedações que estão num intervalo entre 60 e 100kg/m² e que não podem ter função estrutural;
- Pesada: vedação com densidade superior ao limite convencionado, podem ou não ter função estrutural.

d) quanto à estruturação:

- Auto-suporte: não possui uma estrutura complementar, pois a vedação se auto-suporta;
- Estruturada: possui uma estrutura reticular para suporte dos componentes de vedação;

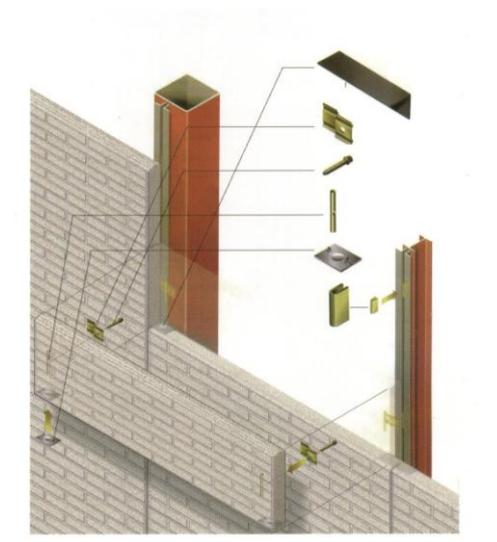
e) quanto à continuidade do pano (em relação à distribuição de esforços):

- Contínua: a absorção dos esforços se dá no pano como um todo;
- Descontínua: a absorção dos esforços é feita pelos componentes (placas ou painéis) e distribuídos por entre a estrutura da própria vedação e, necessariamente, existem juntas entre os componentes, que podem ser aparentes ou não.

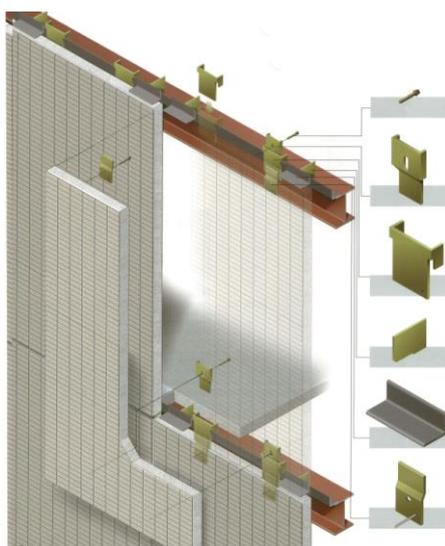
f) quanto à continuidade superficial (em relação à visibilidade das juntas):

- Monolítica: sem juntas aparentes;
- Modular: com juntas aparentes.

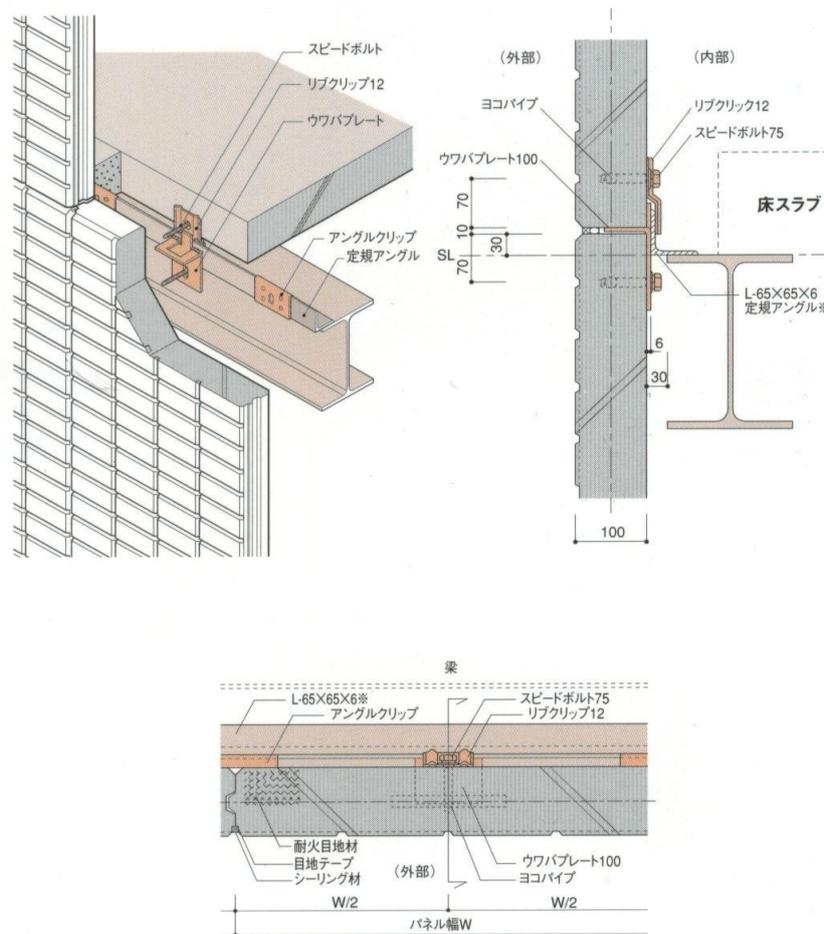
No Japão a tecnologia do sistema de painéis é extremamente avançada, onde o grau de industrialização alcançou o nível de produção seriada, sendo possível escolher a pintura e o tipo de revestimento no catálogo. Este alto nível de industrialização reflete na obra, onde a variedade de peças auxiliares torna possível a intercambiabilidade do subsistema vedação com o subsistema estrutural. Como exemplos as imagens do manual de fixação de uma indústria de painéis japonesa para cada tipo de estrutura, conforme figuras 4.16 ,4.17e 4.18.



Figuras 4.16 – Detalhamento do sistema vertical de fixação de painéis (YTONG, 2000,p. 36)



Figuras 4.17 – Detalhamento do sistema horizontal de fixação de painéis (YTONG, 2000,p. 48)



Figuras 4.18 – Detalhes de projeto de painéis (YTONG, 2000, p.106)

É importante salientar o atual estágio tecnológico das indústrias brasileiras que fornecem os componentes e subsistemas para a indústria da construção civil do país. Estas utilizam cada vez mais de métodos industriais na obtenção de produtos e componentes que possam vir a aumentar a introdução das técnicas de produção industrial e dos elementos pré-fabricados na construção de edifícios.

Como exemplo o Japão, onde os painéis de fechamento externo, em sua grande maioria, são de concreto celular autoclavado, onde as empresas além de oferecem diversidade de componentes de instalação e fixação do mesmo nas edificações conforme descrito anteriormente, também oferecem uma grande variedade de acabamentos externos exemplificadas nas figuras 4.19 e 4.20.



Figura 4.19– Imagem dos painéis japoneses aplicados (YTONG, 2000, p.121)

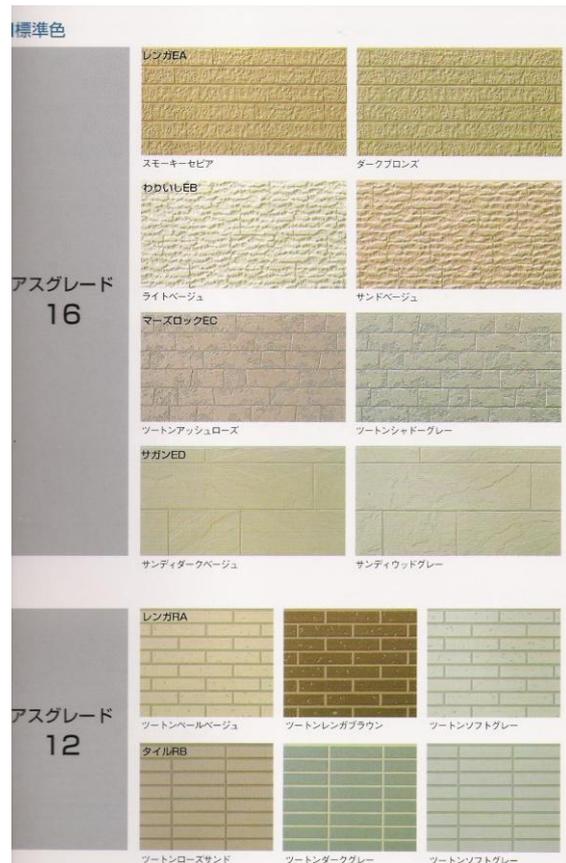


Figura 4.20– Diversidade de textura e cores dos painéis japoneses. (YTONG, 2000, p.98)

Na década de 60 se instalou a primeira fábrica de concreto autoclavado no país, apresentado inicialmente desempenho insatisfatório, juntamente com outros fatores, tornando-se necessário grandes investimentos das empresas para adaptar este material à realidade brasileira. Estes são maciços e bons isolantes térmicos, onde a densidade varia em torno de 500 kg/m³. Porém não podem ficar aparentes, e como os blocos de concreto, são mais susceptíveis à presença de umidade. (KRÜGER, 2000)

Este exemplo demonstra a diferença tecnológica entre os países e que existe a possibilidade de emprego, com bons resultados técnicos deste painel na construção civil brasileira, porém torna-se necessário um estudo de adequação e melhoria tecnológica do produto produzido no país ou da viabilidade da importação deste painel em detrimento do seu custo de transporte e compatibilização com o sistema produtivo de edifícios do Brasil.

Após pesquisa bibliográfica e estudos referentes ao sistema de vedação externo, limitou-se à análise dos painéis que compatibilizam com o sistema modular na tipologia, similaridade construtiva e material empregado. Foram selecionados alguns painéis que serão descritos a seguir que são: (a) Painel de Concreto Armado; (b) Painel Misto; (c) Painel em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro (GFRC); (d) Placa Cimentícia , este sendo utilizado no presente trabalho.

As principais diretrizes que orientam o projeto de painéis podem ser reunidas em torno de dois princípios básicos: (1) dimensionar o painel de modo que as tensões sejam sempre mantidas abaixo do limite elástico do compósito e (2) permitir que a camada movimente-se livremente em resposta às alterações ambientais. (SILVA, 1998)

Assim devem ser estudadas as características individuais de cada edificação para posterior análise e definição do melhor subsistema de fechamento a ser empregado. Para isto torna-se necessário o estudo dos subsistemas utilizados e produzidos no Brasil, isentando-se o presente trabalho de estudar subsistemas que estão sendo.

a) Painel de Vedação de Concreto Armado de Baixa Densidade

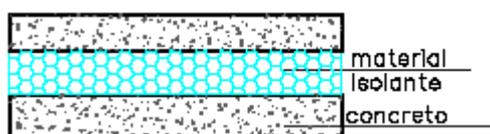
Ressalta-se, no entanto, que o subsistema vedação vertical é composto de elementos que, por sua vez, são formados por componentes. Portanto, para definir o elemento construtivo, objeto do presente trabalho, propõe-se uma segunda classificação que se refere à tecnologia não como um componente individual, mas como um elemento formado pelos componentes: painel, fixação e juntas. Assim, admite-se que: O elemento painel pré-fabricado arquitetônico de concreto é aquele composto de unidades pré-fabricadas em fôrmas especiais ou padronizadas, com revestimento em pelo menos uma de suas faces, geralmente a externa, com função de fechamento, fixados na estrutura-suporte por meio de dispositivos de fixação metálicos, com presença de juntas entre as unidades, identificados neste trabalho pela sigla PPAC³.

³ PPCA – Painel Pré-fabricado Arquitetônico de Concreto

Segundo COELHO (2000), os painéis de concreto armado apesar de mais resistentes e de assumirem diversas formas volumétricas, são geralmente maciços, pesados e têm baixo desempenho como isolante térmico. Apoiam-se nas vigas, lajes ou pilares, necessitando geralmente de uma vedação adicional interna tipo placa de gesso acartonado.

b) Painel de Vedação Tipo Misto

Tem-se também a terminologia painel sanduíche, onde estes são constituídos de duas camadas de concreto separadas por um material não-estrutural com características de isolante térmico e ou acústico. Como exemplo a figura 4.21. (OLIVEIRA, 2002)



Figuras 4.21 – Esquema da composição estrutural de um painel misto. (OLIVEIRA, 2002, p. 18)

Assim os painéis mistos são executados com formas retas e, quando aplicados encostados na estrutura não necessitam acabamento interno extra além de pintura com emassamento. Sendo mais leves que os maciços, podem ser produzidos com maiores dimensões de forma a se apoiarem diretamente nos pilares, reduzindo a carga de solicitação nas vigas. COELHO (2002)

COELHO (2002) também descreve que os painéis mistos são constituídos de concreto armado, placas de EPS (poliestireno expandido) e um sistema de grelha espacial.

c) Painel de vedação em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro (GFRC)

A nomenclatura GFRC representa as iniciais da designação em inglês Glass Fiber Reinforced Concrete, que significam um composto de concreto reforçado com fibras de vidro, como o amianto no fibro-cimento.

Um painel pronto apresenta uma massa que é cerca de $\frac{1}{4}$ da habitual para um painel equivalente em concreto tradicional, bem como um comportamento térmico e acústico muito superior.

A vantagem em relação a este material é a rapidez de montagem no canteiro de obras. Se o projeto estiver bem detalhado, com suas junções e fixações devidamente especificadas, pode-se alcançar uma velocidade de montagem em torno de 200 m² de fachada / dia, com uma equipe de 04 a 05 pessoas. E, como os painéis são relativamente mais leves com o seu peso em torno de 80Kg / m, o transporte também é facilitado. (OLIVEIRA, 2002)

d) Painel de vedação de Placa Cimentícia

O painel de placa cimentícia é um sistema de fechamento onde a sua instalação assemelha-se com o Dry-Wall, descrito a seguir, sendo utilizado predominantemente no fechamento de ambientes externos ou expostos à ação da água, com cozinha e banheiro.

As placas são compostas basicamente de cimento reforçado com fibras de celulose ou telas de fibra de vidro. Segundo KRÜGER (2000) podem ser adicionados à composição da placa quartzos ou argamassa de baixa densidade.

Suas dimensões segundo KRÜGER (2000) variam de acordo com o fabricante, sendo 900 mm de largura e 1.250 mm de comprimento e 12,5 de espessura (denominadas Perlcon Board), 1200 mm x 2400 mm com diversas espessuras (denominadas Superboard ou Useplac).

A Eterflex desenvolvido pela Eternit é uma placa composta por cimento reforçado com fio sintético onde possui 1.200mm de largura com comprimento variando entre 2000 mm a 3000 mm. Seu peso varia de 19,2 a 74,0 kg. De acordo com as informações técnicas do fornecedor, a densidade é de 1,60 g/cm³, a dilatação por absorção de água é inferior a 2mm/m, o módulo de elasticidade e de 75.000 kg/cm² (saturado) e 100.000 kg/cm² (seco) e sua resistência à flexão é superior a 130 kg/cm². Como exemplo do sistema a figura 4.22.



Figura 4.22 – Sistema de fechamento em placa cimentícia (ALVARENGA, 2002, p. 78)

4.2.3 – PAINEL DE VEDAÇÃO INTERNO

Dos sistemas de vedação interno estudados, selecionou-se o Dry-wall que é largamente difundido na construção civil industrializada. Sendo composto de chapa de aço galvanizado e placas de gesso acartonado, a baixa resistência à tração do gesso é suprida pelo papel cartão aderido a sua superfície externa, funcionando como uma malha de tração conferindo um melhor acabamento final.

O sistema requer uma ampla gama de acessórios e ferramentas específicas fornecidas juntamente com as placas.

Os detalhes da união com a estrutura ou outro elemento devem ser rigorosamente estudados, compreendidos e detalhados.

O vazio existente entre as placas pode ser preenchido com materiais que aumentam o desempenho térmico e acústico, juntamente além das instalações elétricas e hidráulicas.

As placas de gesso acartonado normalmente utilizadas possuem dimensões nominais de 12,5 mm de espessura, 1,20 m de largura e entre 1,80m a 3,00 m de comprimento. Os tipos de placas considerados são as seguintes:

- Placas ST – Tipo Standard, destinadas a paredes de áreas secas;
- Placas RU – Tipo resistente à ação da umidade, destinadas a áreas sujeitas à ação da umidade por tempo limitado, de forma intermitente.

Para sua fixação e composição de painéis utilizam-se perfis metálicos zincados devem possuir espessura de chapa de no mínimo 0,50 mm. Utilizam-se para guias os perfis G48, G75 e G90, com largura nominal de 48mm, 75mm e 90mm, respectivamente. Para montantes são utilizados os perfis M48, M75 e M90 com largura nominal de 48mm, 75mm e 90mm respectivamente, e altura nominal de abas de 35mm. Devem ser empregadas chapas zincadas classe B, no mínimo, conforme as figuras 4.23, 4.24 e 4.25.

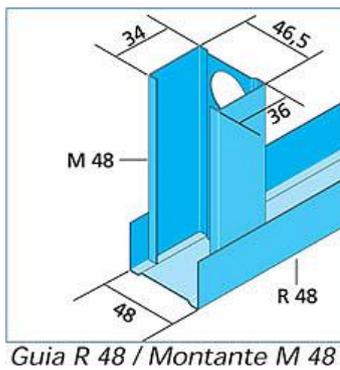


Figura 4.23 – Esquema dos montantes e guias com guia de 48 mm. (Dry-Wall, 2005, p. 15)

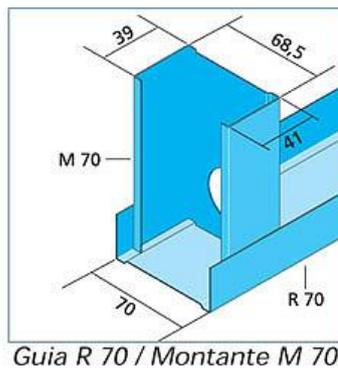


Figura 4.24 – Esquema dos montantes e guias com guia de 70 mm. (Dry-Wall, 2005, p. 15)

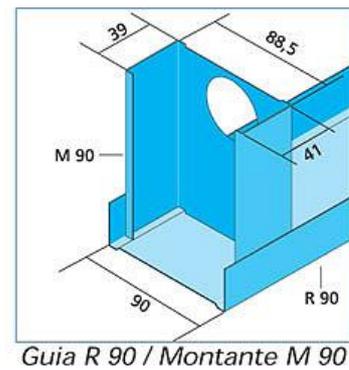


Figura 4.25 – Esquema dos montantes e guias com guia de 90 mm. (Dry-Wall, 2005, p. 15)

As figuras 4.26 e 4.27 demonstram visualmente o subsistema Dry-Wall



Figura 4.26– Imagem dos componentes do sistema com a placa de gesso acartonado no Japão. (fotografia arquivo pessoal do autor, 2000)



Figura 4.27– Imagem dos componentes estruturais do sistema no Japão. (fotografia arquivo pessoal do autor, 2000)

4.3 – LAJE

Lajes são elementos estruturais, que unidas à estrutura de forma vital, garantem a sua sustentação. São responsáveis pela transferência de cargas verticais às vigas e das horizontais aos pilares. A escolha do tipo de laje determina não só o desempenho da estrutura, como todo o desenvolvimento da obra, quanto à produtividade, velocidade, precisão e segurança. (COELHO, 2003)

Para o presente trabalho, limita-se a descrever as lajes pré-fabricas mais empregadas nas construções racionalizadas e industrializadas no Brasil.

4.3.1 – Lajes Pré-Fabricadas

Alguns tipos de lajes pré-fabricadas se caracterizam pelo baixo peso e extrema facilidade de execução e rapidez de montagem e são, portanto, as mais indicadas para edifícios em estruturas metálicas.

Apresentam uma série de vantagens em relação as lajes convencionais, entre elas podemos citar:

- Rapidez e facilidade de colocação, com o mínimo emprego de mão-de-obra;
- São extremamente leves e apresentam fácil manuseio dos painéis metálicos;
- Dispensam a utilização de formas;
- Pré-fabricação dos elementos;
- Possibilidade de se obter, logo após a montagem do esqueleto metálico, fixando as chapas corrugadas na estrutura, uma plataforma de serviço sobre a qual se pode trabalhar, executando todos os trabalhos inerentes à construção;
- Redução na altura do prédio, da seção das colunas e das cargas nas fundações devido ao menor peso da laje;
- Não necessitam serem estocadas no terreno, podendo ser colocadas no esqueleto metálico onde vão ser utilizados;
- Especialmente importantes em canteiros com área restrita.

A seguir tem-se um a breve descrição de alguns tipos de lajes pré-fabricadas e aquela utilizada no presente trabalho.

a) Painel WALL

Os Painéis Wall são painéis de madeira de 4cm de altura revestidos com cimento amianto. As placas apresentam as seguintes dimensões: 2,50x1,20 m e necessitam

de apoios a cada 1,25m para não flambarem. Possuindo peso próprio equivalente a 40 kg/m^2 . Como exemplo as figuras 4.28 e 4.29.



Figura 4.28 - Esquema dos componentes estruturais do Painel Wall.



Figura 4.29 - Esquema do sistema de fixação do Painel Wall conforme o sistema estrutural

b) Painel OSB

As placas de OSB (oriented strand board), podem ser utilizadas como fechamento da face interna e externa dos painéis, para forros, pisos e como substrato para cobertura do telhado. Porém, devido as suas características, não deve estar exposto a intempéries, necessitando de um acabamento impermeável em áreas externas.

O OSB ou painel de tiras de madeira orientadas é produzido a partir de madeira de reflorestamento como o pinus, orientadas em três camadas perpendiculares, que aumentam sua resistência mecânica e rigidez. Essas tiras de madeira são unidas com resinas e prensadas sob alta temperatura. (CRASTRO, 2005)

O OSB foi concebido visando grande versatilidade de uso e alta durabilidade. Não possuem vazios em seu interior, nem nós, nem problemas de laminação. Apresenta

grande trabalhabilidade, permitindo serrar, perfurar, pregar, pintar, envernizar e colar. São tratadas contra insetos e possuem uma relativa resistência à umidade, devido aos adesivos utilizados na confecção das chapas e as bordas seladas (borda verde). São comercializadas nas dimensões de 1,22 m x 2,44 m e com espessuras que variam entre 9, 12, 15 e 18 mm. (CRASTRO, 2005)

c) Placa Cimentícia

Possui as mesmas características que as placas para fechamento, sendo necessário estarem apoiadas sobre um sub-piso ou base devido a sua baixa resistência a flexão, normalmente empregando o painel OSB ou compensado naval. Podem ser fixadas por pregos ou parafusos espaçados no máximo a cada 15cm de eixo a eixo ou coladas com argamassa colante. Exemplificando o sistema a figura 4.30.

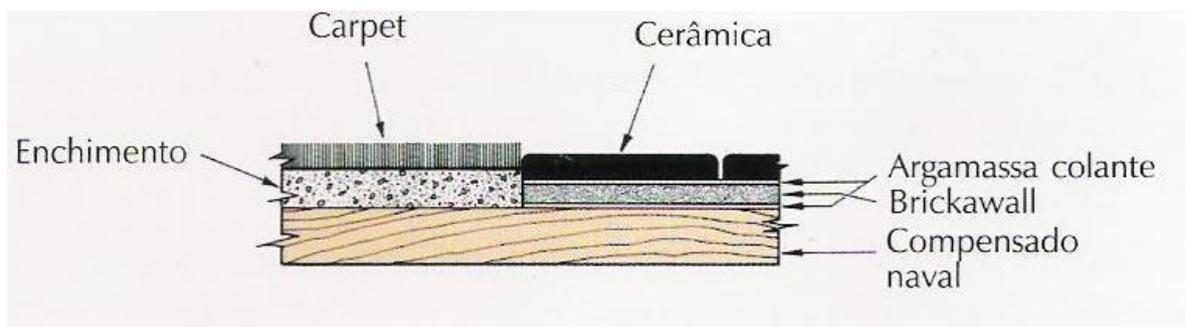


Figura 4.30 – Sistema esquemático da composição do piso quando utilizado a placa cimentícia. (BRICKAWALL, 2004,p. 4)

d) Painel de Concreto Celular Autoclavado

Denominados de Painéis-lajes, são unidades retangulares armadas, para peso-próprio e diferentes alternativas de sobrecargas. A sua armação consiste na malha de aço soldado, a qual é protegida contra corrosão por um composto especial a base de cimento.

É desaconselhável a utilização dos painéis em balanço e nas lajes-piso prever capeamento mínimo: $h=2,5$ cm.

No Japão o sistema é largamente difundido, sendo empregado como sub-piso, utilizando diversas peças que auxiliam o sistema conforme exemplo a figura 4.31. Estas demonstram o nível de complexidade e o grau do avanço tecnológico deste elemento.

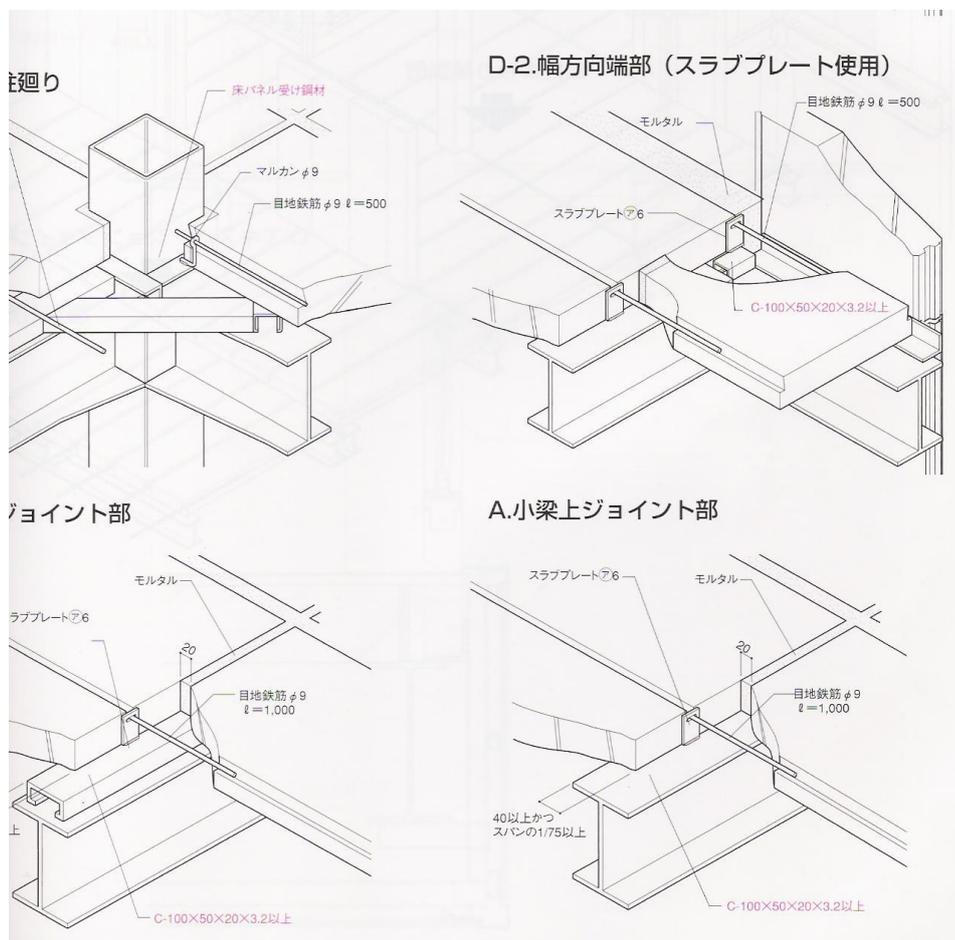


Figura 4.31 – Perspectivas demonstrando a complexidade do sistema utilizado no Japão. (SIPOREX, 2002, p. 89)

a) Laje Pré-moldada Maciça

A laje pré-moldada maciça possui características da laje moldada *in loco*, onde uma malha de aço é recoberta por concreto, porém, difere por ser produzida em moldes e fora do canteiro de obra, sendo necessário o seu transporte até o mesmo.

Sendo confeccionada em uma indústria, pode ter características individuais de acordo com a edificação, adaptando-se a qualquer situação e dimensões variadas,

além de estar sujeita a um controle de qualidade maior, seguindo o sistema da indústria com seus padrões e normas de qualidade.

Devido a sua versatilidade e adaptação ao sistema, foi a laje selecionada entre as demais onde as suas características métricas e materiais serão descritas no capítulo 5.

Alguns fatores foram decisivos para a não escolha das demais lajes descritas como:

- Painel Wall – O desconforto devido a vibração do piso;
- Painel OSB – A possibilidade de patologias por tratar-se de um material que não suporta umidade;
- Placa Cimentícia – Por necessitar de materiais e elementos que façam parte da composição do seu subsistema, demandando tempo de confecção;
- Painel de Concreto Celular Autoclavado – Pela ausência de tecnologia comparada com países como o Japão.

Porém, o ponto principal foi a longevidade do material referente a possíveis patologias e desgaste do material, como exemplo a figura 4.32 que mostra o painel OSB utilizado como piso.



Figura 4.32 – Foto do painel OSB instalado (fotografia arquivo pessoal do autor)

4.4 – COBERTURA

Nas edificações industrializadas empregam-se as telhas metálicas, onde é oferecida uma a variabilidade de produtos no mercado, destacando-se a telha metálica sanduíche por oferecer um bom desempenho térmico e acústico, leveza na estrutura e flexibilidade nas formas, sendo esta a utilizada no sistema. Como exemplo das características mencionadas a figura 4.33.

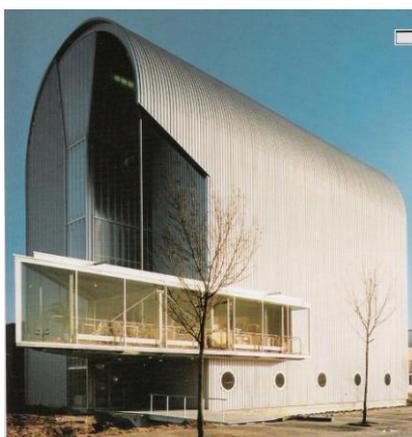


Figura 4.33 – Sistema de cobertura industrializada (IISI, 2002, p. 23)

4.5 – INSTALAÇÕES

Para ALVARENGA (2002) , uma das características mais importantes dos sistemas industrializados e sobretudo o LSF é a utilização de painéis com fechamentos duplos, tipo sanduíche, pois os perfis de aço são perfurados previamente e possibilitam a passagem de tubulações no seu interior.

Uma tendência observada nas construções industrializadas em geral é o uso de tubulação hidráulica flexível, comercialmente chamada no Brasil de PEX (Polietileno Reticulado).

O sistema PEX é resistente à alta temperatura, à dilatação de água congelada, a resíduos químicos e a impacto. Por ter flexibilidade, permite a passagem da caixa de distribuição até a parte de consumo por meio de conduítes.

5 – O SISTEMA MODULAR: ESTUDO E CONCEPÇÃO

Este capítulo apresenta o sistema construtivo modular, proposto no neste trabalho, o qual é exemplificado na concepção de um edifício de 04 pavimentos. A premissa do sistema é calcado no sistema de produção industrial inserido no conceito de produto manufaturado, de forma a aumentar a racionalização e produtividade do mesmo.

A viabilidade do sistema calca-se no processo industrial, caracterizado pela exeqüibilidade técnica e conceituação geral dos subsistemas que compõem o edifício definido como produto. Assim reduzindo e eliminando todas as etapas de execução que não agregam valores o que é possível com emprego de sistemas produzidos industrialmente (fora do canteiro) e transferidos para a obra onde serão apenas montados. (COELHO, 2003)

O presente trabalho envolve o desenvolvimento do sistema como um todo com a compatibilização de suas interfaces com os demais subsistemas estudados no capítulo 4 e realizando um pré-dimensionando da estrutura com o objetivo desta servir como parâmetro estrutural para o detalhamento do sistema.

Para tanto, este capítulo trata de fatores que, apesar de diferentes, são interligados pelo fato de interferirem na eficiência do processo de montagem. Esses fatores referem-se ao projeto do produto; às especificações de tolerâncias; ao estabelecimento de um sistema de coordenação modular, o pré-dimensionamento da estrutura, a compatibilização das interfaces dos subsistemas e à definição dos equipamentos de transporte horizontal e vertical.

Referindo-se ao sistema industrial, a edificação industrializada segue as premissas do desenvolvimento de um produto, sendo assim, para definir as condicionantes projetuais é necessário partir do princípio da necessidade de definir os problemas a serem solucionados, que servirá também para definir os limites dentro dos quais será trabalhado.

5.1 - O EDIFÍCIO COMO OBJETO MANUFATURADO

O presente trabalho aborda o edifício como um objeto manufaturado. Inserido neste contexto à atividade de desenvolvimento do produto segue o conceito da engenharia simultânea, conforme capítulo 2, definida como atividade de novo projeto do produto. Moraes (2000) define como *lean desing* o sistema de projeto de produto e projeto de processo voltado para a construção civil. Onde Segundo BHUTA & TUCKER apud Moraes (2000), a engenharia simultânea é uma metodologia de projeto utilizada para definir uma série de estágios por meio dos quais as várias atividades do processo de projeto são conduzidas de forma paralela ao invés de seqüencial, obtendo como vantagem competitiva à redução do tempo total da etapa de projeto.

A atividade de novo projeto deverá assegurar que a confiabilidade adequada e outros dados referentes a componentes tornam-se acessíveis e que um programa integral antes da produção e da utilização do objeto seja estabelecido. De forma equivalente, a atividade do novo projeto deverá incentivar o esforço do arquiteto, projetista e engenheiro de projeto em contornar problemas na qualidade engendrados por projetos anteriores, tanto na planta como no campo. Deverá gerar consciência de tais problemas na qualidade.

A atividade de controle do novo projeto, apresenta ainda um efeito fundamental sobre o próprio processo de engenharia simultânea. Para assegurar a qualidade do projeto, esse processo deverá incluir:

- O projeto de sistemas para o produto;
- A determinação da amplitude aceitável dos parâmetros da qualidade da confiabilidade dos componentes e submontagens;
- O estabelecimento de tolerâncias e especificações de dimensões finais.

Tratando-se de um objeto da indústria da construção civil, torna-se necessário estabelecer junto ao proprietário os requisitos e planos globais de construtibilidade que são:

- Analisar os resultados de desempenho em empreendimentos similares já executados;
- Analisar as soluções alternativas de projeto junto aos projetistas e proprietário, distinguindo quais as características que fazem uma solução particular mais efetiva que outra;
- Identificar as restrições de projeto (custo, prazo, clima, materiais, componentes, mão-de-obra);
- Identificar os níveis de complexidade dos diferentes sistemas prediais;
- Identificar as interfaces entre materiais e elementos construtivos; e
- Identificar a complexidade da seqüência de operações no canteiro e as tolerâncias a serem consideradas.

Definidos as diretrizes e obtidas as informações necessárias o projeto do edifício é completado juntamente com especificações, padrões, garantias, planejamento da qualidade e desenhos da produção final. Especificações dos componentes, submontagens e montagens são completadas, planos de inspeções das montagens são desenvolvidos, projeto do ferramental e aquisição são concluídos, e o custo é finalizado.

Com referência a indústria da construção civil, a pré-fabricação somente é uma ferramenta eficiente para incrementar os níveis de industrialização dos processos de produção se adotada dentro de uma visão sistêmica da construção de um edifício, em que a racionalização seja parte fundamental deste processo.

Especificamente ao sistema modular, tema do presente trabalho, a avaliação da produtividade dá-se a partir da identificação dos serviços que são necessários para a montagem definitiva dos módulos, como descrito nos capítulos e itens anteriores, além dos serviços de posicionamento, alinhamento, especificações dos componentes, projeto do ferramental quando necessário, incluindo os componentes e submontagens a serem utilizados;

Todos os itens mencionados funcionam como ferramentas auxiliaadoras para o desenvolvimento e elaboração de uma arquitetura onde a imagem caracteriza-se pela tecnologia manufaturada, funcionalidade singular e flexibilidade construtiva. Estas características refletem na estética do edifício, compondo formas que se apóiam em um sistema dinâmico e contemporâneo.

5.2 – SISTEMA MODULAR

Inserido no contexto da coordenação modular, mencionado no capítulo 2, a modularização é um sistema que pode servir como referência para a compatibilização espacial e dimensional de todos os elementos presentes em uma obra. Essa compatibilização pode ser realizada mediante um método que implica no emprego de um módulo básico ou de multimódulos.

Os arquitetos e projetistas quando inseridos num processo de gestão do processo de projeto relacionado ao sistema modular, deverão se preocupar com a racionalização das soluções técnicas, a racionalização do custo do trabalho (que essas soluções implicam) e com a racionalização dos custos de operação e manutenção. Em função das características dos diferentes tipos de sistemas prediais, cada projeto deverá ter uma abordagem particular, mas podem ser indicadas as seguintes diretrizes gerais para todos os projetistas, conforme Griffith e Sidwell (1995):

- Simplificar os detalhes de projeto para simplificar a execução;
- Projetar para seqüências práticas e simples das operações de construção;
- Projetar para substituições e tolerâncias práticas dos materiais/componentes no local do trabalho;
- Projetar para padronizar e usar o número máximo de repetições quando apropriado;
- Projetar para simplificar as substituições; e

- Projetar para uma fácil comunicação com o construtor.

Este sistema oferece vantagens persuasivas ainda que relacionado com os demais sistemas industrializados, onde a produção do módulo dentro das indústrias, livres de intempéries, favorece o maior controle de qualidade dos elementos construtivos e conseqüentemente da produção do sistema, acarretando uma maior produtividade e velocidade da obra. Pickard (2000), menciona que o sistema oferece uma economia de aproximadamente 30% no canteiro de obra.

O conceito de modularização, onde a simplificação de detalhamento e execução influencia na velocidade de produção, não significa igualdade ou monotonia visual. A concepção de edifícios dentro do conceito de produção industrial, mencionado no capítulo 2, onde é desenvolvido um sistema produtivo aliando a velocidade da produção em série com a diversidade e o individualismo da produção artesanal, também definido como personalização, concerne a variação nos partidos arquitetônicos dos edifícios.

Como exemplo têm-se as figuras 5.1 e 5.2 onde se observa os conjunto de Microflats da Microflats Company em Londres, Inglaterra. Os módulos desses micro-apartamentos são pré-fabricados em sua estrutura composta por um caixilho de aço embutido na espessura da parede. Nota-se que os volumes em madeira seguem o mesmo padrão métrico, mudando somente a direção do volume que sobressai na fachada.



Figura 5.1 – Vista do edifício da Microflats. (CASA VOGUE, 2003, p.156)



Figura 5.2 – Cortes esquemáticos dos microflats. (CASA VOGUE, 2003, p. 160)

Outro exemplo é o Peabody Trut's Murray Grove Housing em Londres, construído pela Yorkon Company. Onde mesmo utilizando o sistema modular, a variabilidade visual é concernida pelo tratamento das circulações verticais e horizontais, somados ao desenho da varanda voltada para o pátio interno, conforme as figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6.



Figura 5.3: Início da montagem do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27)



Figura 5.4: Montagem do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27)



Figura 5.5: Fachada principal do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27)



Figura 5.6: Vista pátio interno do edifício (THE ARCHITECTS' JORUNAL, 1999, p. 27)

No Nagakin Capule, edifício situado em Tóquio de 1972, mencionado no capítulo 3, Kisho Kurokawa aplicou todo o conceito de modularização e industrialização do edifício como um produto manufaturado contextualizado no design, onde a planta baixa diverge na disposição dos módulos, que são apartamentos. E por sua vez todos os objetos internos foram desenvolvidos e dispostos para o máximo

aproveitamento interno, utilizando a tecnologia disponível na época. Conforme as figuras 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11.

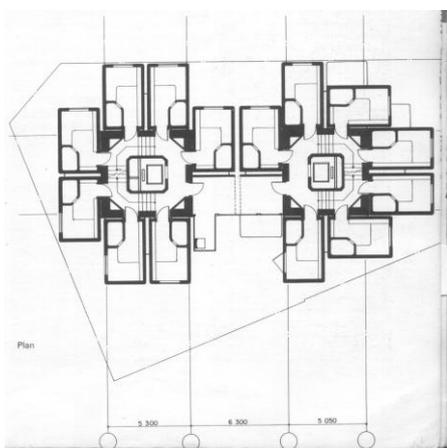


Figura 5.7: Planta baixa do Nagakin Capsule (KUROKAWA, 2004, p. 27)

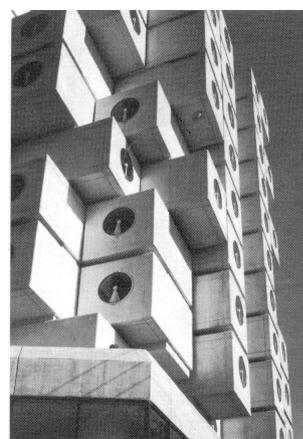


Figura 5.8: Fachada do Nagakin Capsule (KUROKAWA, 2004, p. 27)

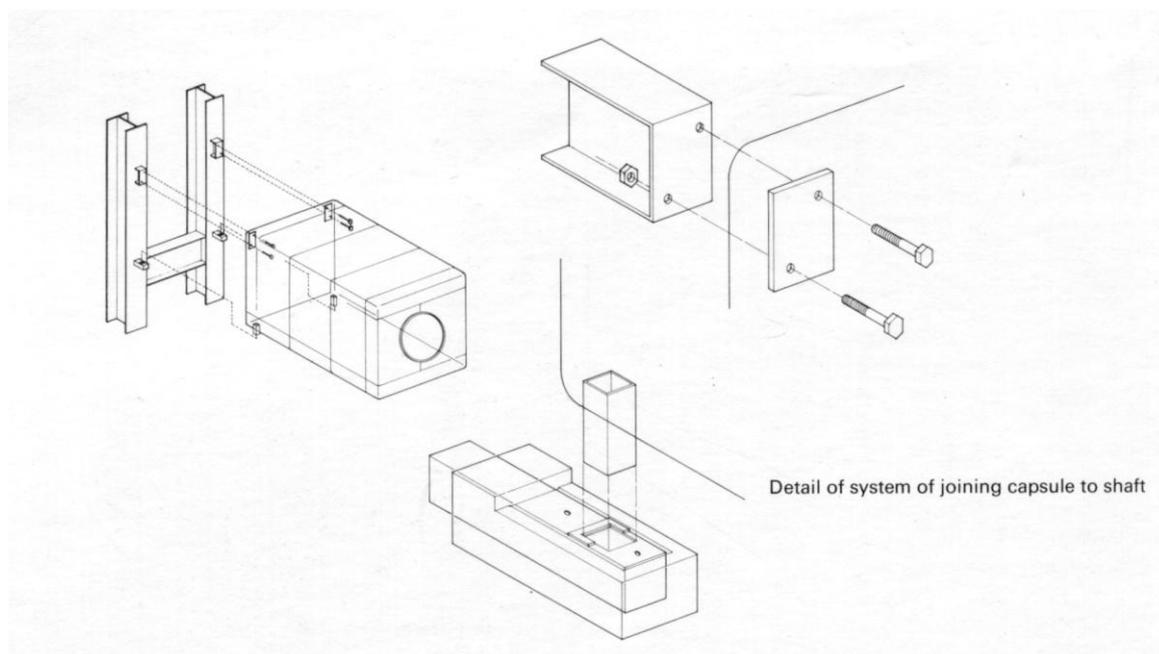


Figura 5.9: Detalhe do sistema de fixação da cápsula na estrutura (KUROKAWA, 2004, p. 27)

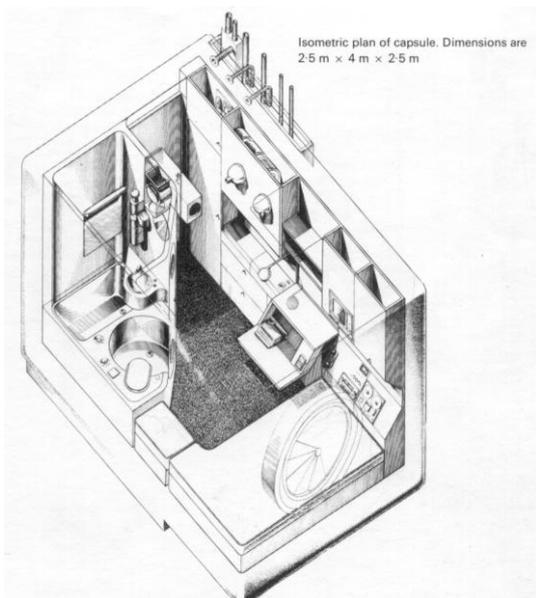


Figura 5.10: Perspectiva isometria da cápsula
(KUROKAWA, 2004, p. 28)

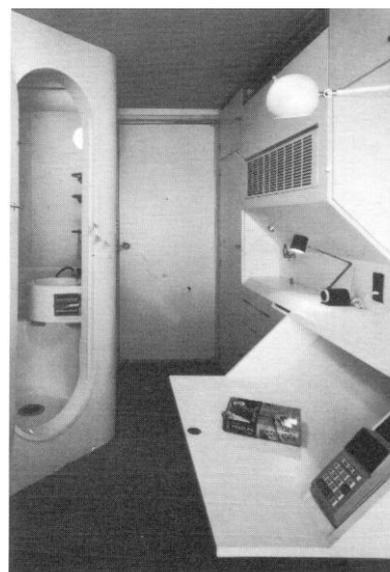


Figura 5.11: Vista interna da cápsula
(KUROKAWA, 2004, p. 28)

5.2.1 – Definição Métrica

Fundamentado dentro do contexto de pré-fabricação, inicialmente o tamanho do módulo foi concebido em função das dimensões máximas de transporte através de caminhões sem restrições de tráfego segundo o DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagens) são:

- 18,15 m (comprimento)
- 2,60 m (largura)
- 4,40 m (altura)

Posteriormente, as medidas dos planos do módulo foram definidas segundo a tendência da construção civil brasileira, sendo múltiplos de 30.

Com relação a modularização, estudou-se uma relação métrica onde pudesse tirar o máximo do aproveitamento em relação a flexibilidade construtiva e estética.

Com isso definiu-se o módulo com:

- 480 cm (comprimento)
- 240 cm (largura)
- 280 cm (altura)

Estas medidas favorecem o transporte horizontal, sobre caminhões de médio porte, com 2 ou 3 eixos, não acarretando grandes dificuldades relacionadas à logística dentro da malha urbana das cidades.

A relação métrica favorece a disposição dos módulos, podendo assim desenvolver um jogo de formas, além de auxiliar o sistema estrutural que será mencionado posteriormente.

5.2.2 – O Módulo

O projeto do módulo seguiu diretrizes que nortearam a sua concepção. Estas são:

- Confecção – Facilidade confecção e produção do módulo. As peças foram definidas com o objetivo de simplificar o processo de produção fabril;
- Montagem - Facilidade de montagem dos módulos na concepção do edifício como um todo;
- Utilização de soldas na fábrica – Podendo utilizar ferramentas que aferem maior qualidade ao serviço;
- Utilização de ligações parafusadas em campo – Por agilizar a produtividade e velocidade da obra;
- Perfis encontrados no mercado – relacionado às questões de economia e custos do empreendimento;
- Transporte vertical – Estudo para anular as ações dos esforços atuantes que possam vir a prejudicar ou interferir na montagem da edificação;
- Compatibilização com os demais subsistemas.
- Intercambiabilidade das peças.

Em decorrência das diretrizes, foram definidas as seções transversais que oriundas da concepção estrutural do módulo.

- Pilares - tubo de seção quadrada – Por ser uma peça que oferece intercambiabilidade, facilidade e padronização nas ligações, independente do sentido destas;
- Viga inferior – tipo caixão de seção quadrada – Definida no primeiro momento em função do pré-dimensionamento, seguido por oferecer intercambiabilidade e facilidade de confecção das ligações entre as peças estruturais e dos demais subsistemas e alta rigidez na flambagem lateral por torção;
- Vigotas – perfil “U” simples – Oferece maior rigidez ao módulo além de servir como base para a laje;
- Viga superior – perfil “U” simples – Definida pela sua principal função de travamento do módulo estrutural.

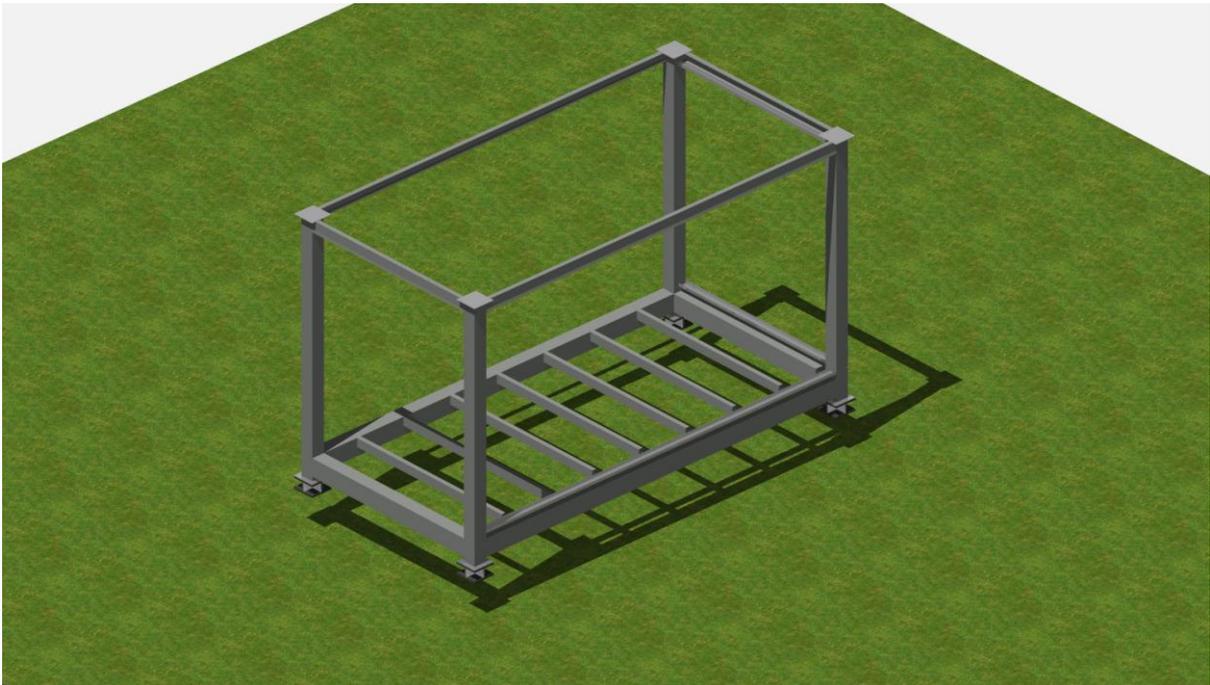


Figura 5.12: Perspectiva isométrica do módulo

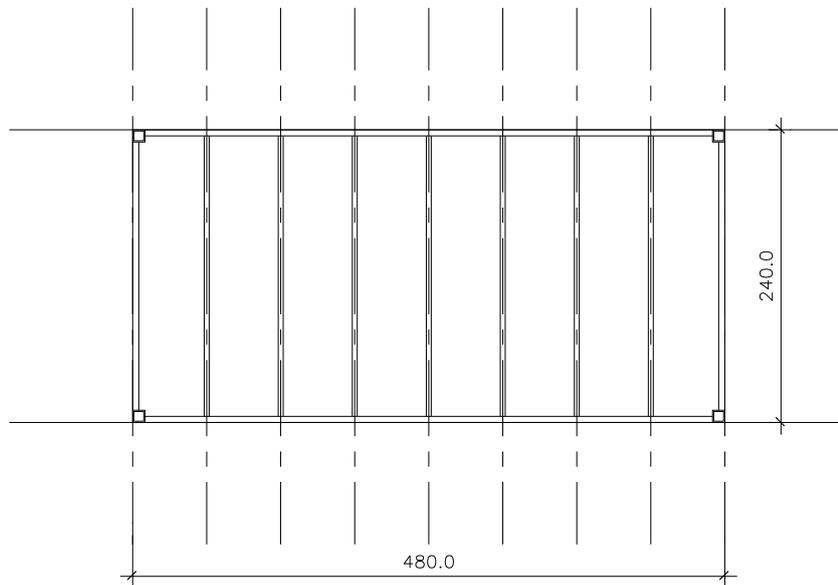


Figura 5.13: Planta baixa do módulo

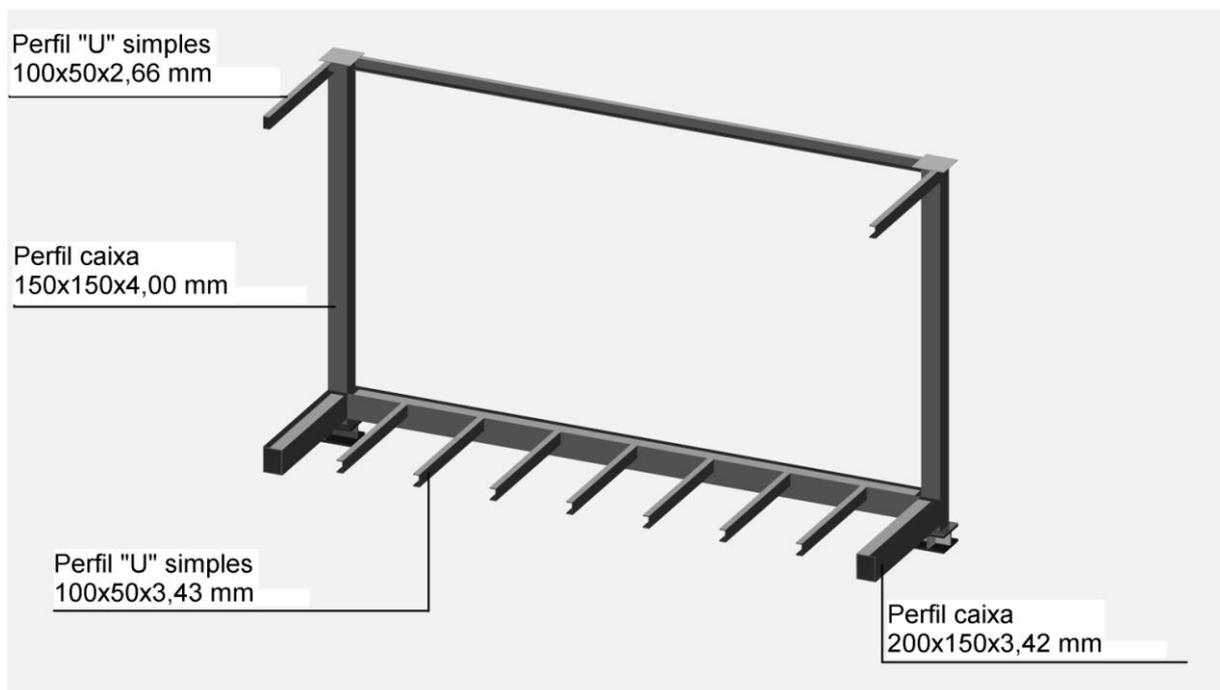


Figura 5.14: Corte longitudinal do módulo

5.3 – ESTRUTURA: PARÂMETROS ESTRUTURAIS

Após a realização dos estudos do sistema modular e definido as relações métricas, diretrizes de confecção e seções transversais a serem utilizadas, fez-se necessário um pré-dimensionamento com o objetivo maior de balizar o projeto em relação a compatibilização e intercambiabilidade das interfaces dos subsistemas. Ainda tem-se a necessidade da obtenção de parâmetros numéricos para a análise e comparação de desempenho estrutural e posteriores conclusões.

Foram definidos 03 modelos para serem estudados. Os modelos diferiram no que se referem aos materiais e componentes dos subsistemas fechamento externo e laje:

1. No modelo 01 foi utilizada a placa cimentícia como fechamento externo e na laje foi utilizada a placa cimentícia sobre o painel OSB.
2. No modelo 02 foi utilizada a placa cimentícia como fechamento externo e laje pré-moldada.
3. No modelo 03 foi utilizado painel de concreto armado como fechamento externo e laje pré-moldada.

Para efeito do pré-dimensionamento, foi utilizado a NBR 1476, onde foi aplicado os mesmos dados das cargas acidentais, materiais de fechamento interno, forro e revestimentos para todos os modelos.

Devido as tipologias arquitetônicas variadas das edificações, torna-se necessário o estudo estrutural individual para cada caso, por isso o presente trabalho limitou-se o pré-dimensionamento estrutural de um módulo e sua sobreposição conforme figura 5.15, não sendo utilizado a carga de vento. Porém, para efeito de exemplo, conforme capítulo 6, a caixa de escada e do elevador podem trabalhar como núcleos rígidos com a função de estabilizar o edifício com relação às cargas horizontais, segundo a direção do mesmo plano.

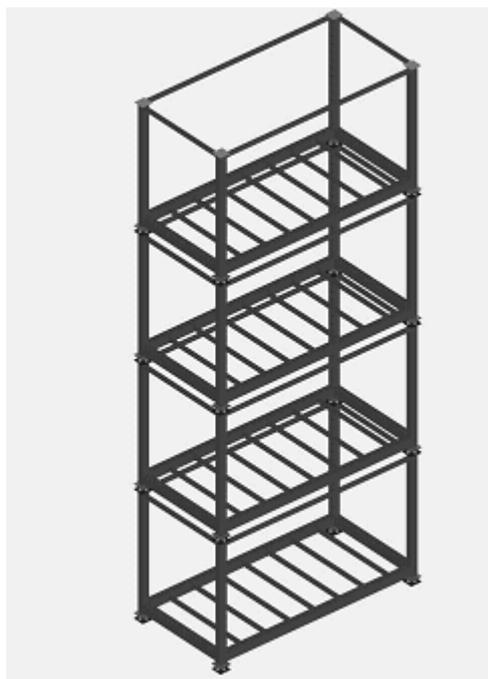


Figura 5.15: Esquema isométrico da sobreposição dos módulos

Os quadros a seguir ilustram as características dimensionais e de peso dos subsistemas e as seções transversais utilizadas para cada um dos modelos analisados.

- MODELO 01:

Quadro 5.2: Descrição dos subsistemas utilizados no modelo 01.

SUBSISTEMAS	TIPO	DIMENSÃO	PESO
Fechamento externo	Placa cimentícia	120x280 cm	20 kg/m ²
Laje	Placa cimentícia sobre PAINEL OSB	120X240 cm	20 kg/m ²

Quadro 5.2a: Descrição das seções transversais utilizadas no modelo 01.

USO	TIPO	SEÇÃO (mm)
Pilar	Tubo de seção quadrada	150x150x4,0
Viga Inferior	CAIXA	200x150x3,42
Viga superior	“U” Simples	100x50x2,66
Vigota	“U” Simples	100x50x3,42

- MOLDELO 02:

Quadro 5.3: Descrição dos subsistemas utilizados no modelo 02.

SUBSISTEMAS	TIPO	DIMENSÃO	PESO
Fechamento externo	Placa cimentícia	120x280 cm	20 kg/m ²
Laje	Laje pré-moldada	59X119 cm	150 kg/m ²

Quadro 5.3a: Descrição das seções transversais utilizadas no modelo 02.

USO	TIPO	SEÇÃO (mm)
Pilar	Tubo de seção quadrada	150x150x4,0
Viga Inferior	CAIXA	200x150x4,76
Viga superior	“U” Simples	100x50x2,66
Vigota	“U” Simples	100x50x3,42

Neste modelo após os estudos realizados sobre o subsistema laje, para melhor desempenho e longevidade do sistema, foi necessário o desenvolvimento de uma laje pré-moldada em placas em virtude da necessidade de combater as possíveis patologias. Esta segue as premissas da industrialização onde deverá ser confeccionado dentro da planta física fabril para maior controle de qualidade com relação às dimensões e materiais e transportadas para o módulo.

Características da laje pré-moldada:

- Dimensões - 59cm (largura) x 119cm (comprimento) x 6cm (altura)
- Para fins de cálculo, foram utilizadas cargas acidentais para uso de escritório (divisórias, revestimento, mobiliário, etc.) e peso próprio.
- Após análise, utilizou-se armadura mínima de Ø 6.3 mm. Inicialmente ficou constatada a necessidade de armadura somente no sentido longitudinal, pois a placa estará apoiada sobre as vigotas da grade do módulo que se

encentram no sentido transversal, porém em função do transporte do molde até o módulo ficou definida a necessidade de armadura nos sentidos longitudinal e transversal.

- A laje pré-fabricada foi desenvolvida com o intuito de aumentar o pé-direito além de interferir o mínimo possível na instalação do revestimento.
- As medidas horizontais foram definidas em função do sistema, onde se faz necessário à ligação entre as placas para maior enrijecimento do piso, amenizando a movimentação estrutural e conseqüentemente o surgimento de possíveis patologias como fissuras e descolamento do piso. Os detalhes referentes a sua aplicabilidade no módulo será descrito no capítulo 6.



Figura 5.16: Esquema isométrico da laje pré-moldada

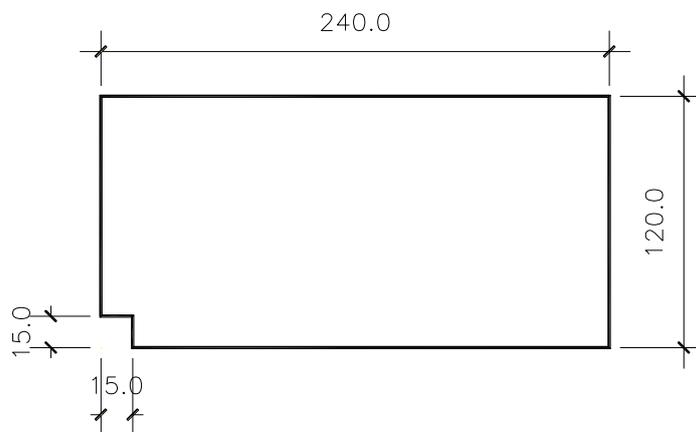


Figura 5.17: Planta da laje pré-moldada - medidas em centímetros

- MODELO 03:

Quadro 5.4: Descrição dos subsistemas utilizados no modelo 03.

SUBSISTEMAS	TIPO	DIMENSÃO	PESO
Fechamento externo	Painel de concreto de baixa densidade	4800x280x10 cm	1.840 kg/m ²
Laje	Laje pré-moldada	59X119 cm	150 kg/m ²

Quadro 5.4a: Descrição das seções transversais utilizadas no modelo 03.

USO	TIPO	SEÇÃO (mm)
Pilar	Tubo de seção quadrada	150x150x10,0
Viga Inferior	CAIXA	200x150x4,76
Viga superior	“U” Simples	100x50x2,66
Vigota	“U” Simples	100x50x3,42

Após a análise dos 03 modelos, constatou-se:

1. Em todos os modelos as seções diferiram em suas espessuras;
2. A única seção que sofreu alteração no modelo 02 em relação ao modelo 01 foi a seção caixa, alterando de 200x150x3,42 mm para 200x150x4,76 mm;
3. No modelo 03 a espessura de 10 mm do tubo de seção quadrada é consequência do peso do painel de concreto, sendo que este está fixado somente nos pilares.

5.4 – LOGÍSTICA

O projeto do edifício concebido no sistema modular deve-se levar em conta a logística. O planejamento do transporte horizontal e vertical torna-se importante na análise de viabilidade do empreendimento, por ser o fator preponderante da produtividade e velocidade da obra.

5.4.1 – Transporte horizontal (terrestre)

Por ser o tema do presente trabalho direcionado para edifícios de escritórios, o transporte de carga horizontal foi delimitado à área urbana para análise. Não sendo analisado o transporte rodoviário de cargas nas estradas nacionais.

Os tipos de veículos de transporte de carga que possuem facilidade de tráfego e manobra nas áreas urbanas brasileiras segundo o DNER são:

- caminhão com eixo duplo na carroceria (conhecido como truck) - capacidade ± 15 t.
- caminhão com eixo simples na carroceria (conhecido como toco) - capacidade ± 8 t.

Análogo ao sistema de transporte de container, onde suas medidas são:

- Maximo em m^3 (metro cúbico) container de 20' = $33m^3$
- Maximo em m^3 (metro cúbico) container de 40' = $67m^3$
- Dimensões internas (Comprimento x Largura x Altura)
- Container de 20' : 5.90m x 2.34m x 2.38m
- Container de 40' HC : 12m x 2.34m x 2.68m

Comparando e analisando os sistemas de transporte, conclui-se que os caminhões tipo truck e toco são aptos a transportar o módulo dentro da malha urbana de uma cidade. Levando em conta as questões de acessibilidade e condições de tráfego, que não serão aprofundadas no presente trabalho.

5.4.2 – Transporte vertical

Na análise do planejamento da montagem dos módulos, é essencial que os arquitetos e projetistas conheçam as características dos equipamentos de transporte vertical mais viáveis para cada obra, evitando projetar de modo que, chegando ao canteiro, não possam ser transportadas para seu local definitivo, devido à incompatibilidade com as características do equipamento.

O transporte vertical estudado no presente trabalho apresenta-se em dois modelos:

(a) Guindaste Móvel e (b) Guindaste de Torre (Grua).

A escolha do tipo de guindaste mais viável para a obra deve ser feita o mais cedo possível, de preferência na etapa de elaboração dos projetos, pois, além de influir na produtividade da montagem dos módulos, irá interferir no custo do processo de produção como um todo.

a) – Guindaste Móvel

Segundo a definição de LICHTENSTEIN apud OLIVERIA (2002), *“os guindastes móveis são formados por uma lança treliçada ou telescópica, uma cabina e um chassi montado sobre esteiras, sobre pneus ou sobre rodas de aço para circulação em trilhos”*.

Os movimentos básicos dos equipamentos são:

- içamento vertical da carga;
- rotação da lança em torno de um eixo horizontal;
- rotação da cabine e lança em torno de um eixo vertical.

Além destes movimentos básicos, o guindaste equipado com lança telescópica possui a alternativa da telescopagem da lança, aumentando o alcance do equipamento.

A capacidade do guindaste móvel também depende do posicionamento das esteiras (retraídas ou estendidas), do uso ou não de patolas (no caso de guindaste sobre rodas), tipo de contrapeso e comprimento da lança.

Outro aspecto a ser analisado é relativo às condições de apoio, ou seja, sobre qual tipo de terreno o equipamento estará apoiado, pois o guindaste deve estar sempre em nível e apoiado sobre terreno firme.

Portanto, se o canteiro de obras apresentar espaço suficiente para circulação e movimentação, tanto do guindaste como de sua lança, acesso para entrada e patolamento dos mesmos, terreno firme e compactado, o guindaste móvel pode ser uma alternativa tecnicamente viável. No entanto, após essa análise técnica é

necessário uma análise econômica, ou seja, se o custo de locação, que depende do tipo do guindaste e de sua capacidade de carga e içamento, é viável para o empreendimento.

b) – Guindaste de Torre (Grua)

Oliveira (2002), descreve que nos guindastes de torre, também denominados grua, a lança é suportada por uma estrutura metálica vertical denominada “torre”. Existe uma enorme variedade de modelos de gruas, podendo-se citar :

- Torre giratória com lança móvel (horizontal ou inclinada);
- Torre estática com lança horizontal;
- Torre giratória com lança horizontal;
- Torre estática com lança móvel; e
- Torre estática com lança articulada.

Segundo LICHTENSTEIN apud OLIVERIA (2002), o que caracteriza todos os modelos mencionados anteriormente como gruas é a existência de uma lança (horizontal, inclinada ou articulada) que é suportada por uma torre metálica (estática ou giratória).

Dentre esses modelos, as gruas de torre estática com lança horizontal são as mais utilizadas na construção civil brasileira. Por isso, somente as características deste equipamento são apresentadas neste trabalho.

O modelo de grua de torre estática com lança horizontal é formado basicamente por uma torre, uma lança, uma contra-lança e um sistema de cabos e motores, podendo ser classificadas em:

- Gruas fixas ou estacionárias;
- Gruas ascensionais;

- Guas móveis sobre trilhos.

A figura 6.18 ilustra os três modelos de guas:

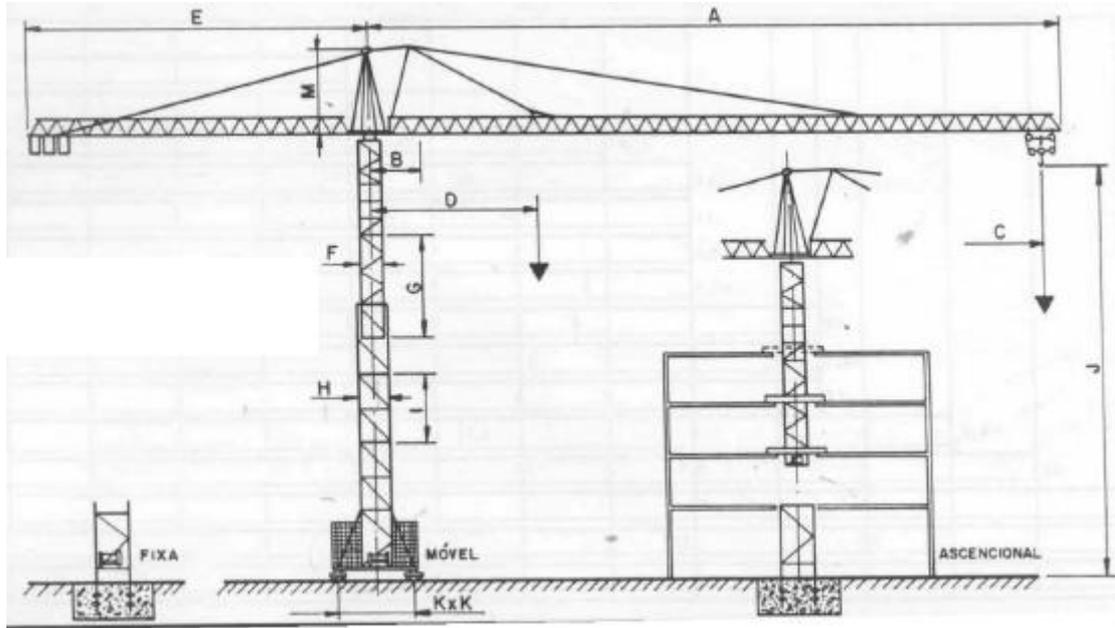


Figura 5.18 – Esquema das guas de torre estática com lança horizontal: fixa, sobre trilhos e ascensional (OLIVEIRA, 2002, p. 112)

As guas fixas fazem três movimentos básicos: içamento vertical, translação da grua longo da lança e rotação da lança em torno do eixo da torre; e são apoiadas sobre de fundação de concreto, como ilustra a Figura 5.18. As guas ascensionais têm possibilidade da realização, além dos movimentos básicos da grua fixa, da ascensão conjunto no interior do edifício, apoiando-se na estrutura deste. E, as guas móveis trilhos podem executar a translação de todo o conjunto ao longo de um segmento ou mesmo de uma curva de grande raio de curvatura (LICHTENSTEIN apud OLIVEIRA, 2002).

Oliveira (2002) conclui que dentre os três tipos de guas de torre estática com lança horizontal apresentadas, pode-se dizer que o emprego das guas móveis sobre trilhos só é viável em terrenos de grandes dimensões, devido à sua movimentação, feita através da translação de todo o seu conjunto. Para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos em regiões urbanas é mais viável a utilização de grua fixa ou grua ascensional. Cabendo ressaltar que, além da análise das vantagens e desvantagens da utilização de cada um desses tipos, é preciso observar qual é a

localização definida, pois este é um aspecto de extrema importância para a escolha do tipo da grua.

Pode-se, então, concluir que há possibilidade de utilizar tanto os guindastes móveis quanto os fixos (gruas) para a montagem dos módulos nos edifícios, mas essa escolha depende de análises das condições do canteiro de obras, das características de cada equipamento e dos recursos financeiros direcionados para alocar tais equipamentos. Como exemplo a figura 5.19.



Figura 5.19 : Sistema de montagem de uma edificação em sistema modular (IISI, 2000, p. 04)

Após a análise dos fatores (projeto do produto, às especificações de tolerâncias, o estabelecimento de um sistema de coordenação modular, o pré-dimensionamento da estrutura, a compatibilização das interfaces dos subsistemas e à definição dos equipamentos de transporte horizontal e vertical), conclui-se que todos devem ser criteriosamente estudados e definidos na etapa de elaboração dos projetos e da concepção do empreendimento, para que todo o potencial de aumentar a velocidade de execução do edifício e incrementar os níveis de industrialização do processo seja atingido.

6 – O EDIFÍCIO: CONCEPÇÃO DO SISTEMA

6.1 – DESENVOLVIMENTO PROJETUAL

Ao se projetar um edifício, os fatores que condicionam o seu desempenho são um dos primeiros aspectos a serem discutidos, pois é essa discussão que balizará, empírica e cientificamente, a escolha dos elementos construtivos.

Para AGOPYAN apud OLIVEIRA (2002) a análise desses fatores é tarefa complexa, que exige critério, pois é necessária, inicialmente, a identificação das características que os elementos devam possuir para atender à finalidade a que se destinam, ou seja, devem-se definir os requisitos de desempenho para o atendimento às exigências humanas.

O presente trabalho busca caracterizar o desenvolvimento da atividade de construção de edifícios, onde as quantificações dessas características criam subsídios (critérios) para a elaboração das especificações de projeto buscando a eficiência produtiva e de montagem do edifício.

No montante da realização dos edifícios, uma série de decisões e detalhamentos são necessárias para a tradução e complementação das especificações dos projetos de processo e produto em soluções construtivas.

Para estudo de caso, desenvolveu-se o projeto de um edifício de escritórios, onde a escolha da tipologia do edifício conforme as figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, têm como objetivo demonstrar as possibilidades de um modelo de arranjo modular e detalhes construtivos referentes ao sistema.

O projeto do edifício, denominado **edifício modelo**, conforme as figuras 6.5, 6.6 e 6.7, segue um programa simples: 04 pavimentos tipos com 06 salas de aproximadamente 34m², cobertura, circulações verticais (elevadores e escadas) e horizontais.



Figura 6.1: Vista do acesso ao edifício modelo



Figura 6.2: Vista do volume das salas do edifício modelo



Figura 6.3: Vista área do acesso do edifício modelo



Figura 6.4: Vista área do volume das salas do edifício modelo

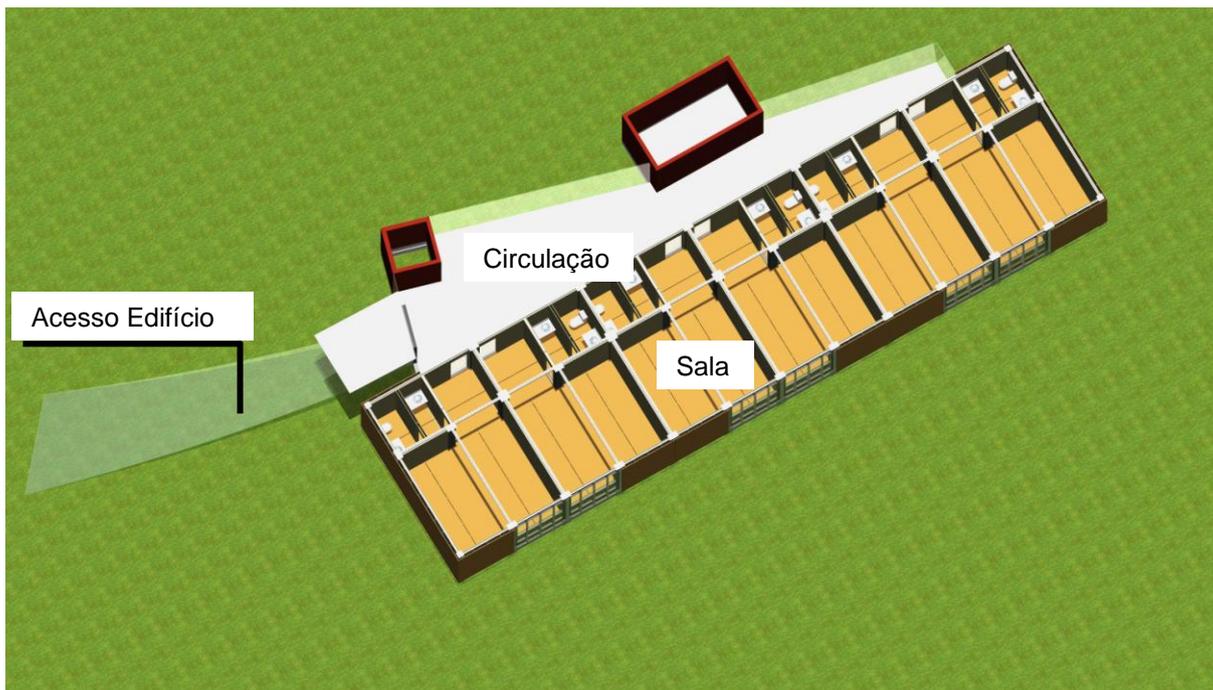


Figura 6.5: Planta baixa do térreo do edifício modelo

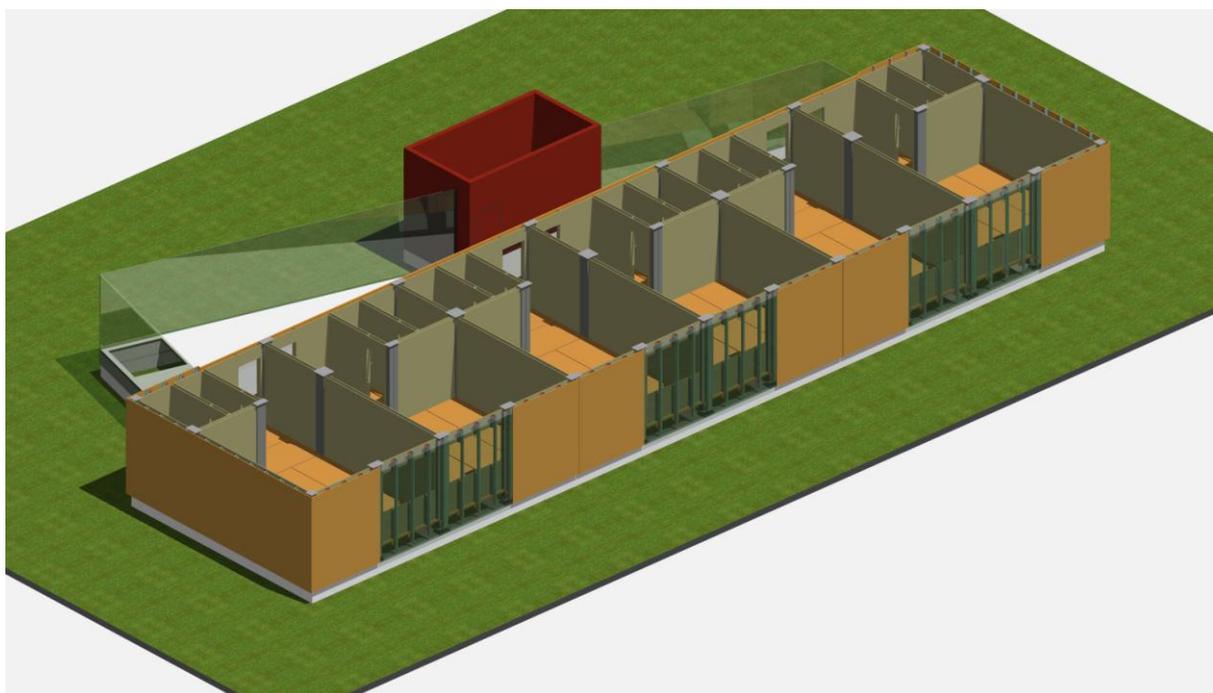


Figura 6.6: Perspectiva isométrica do pavimento térreo do edifício modelo

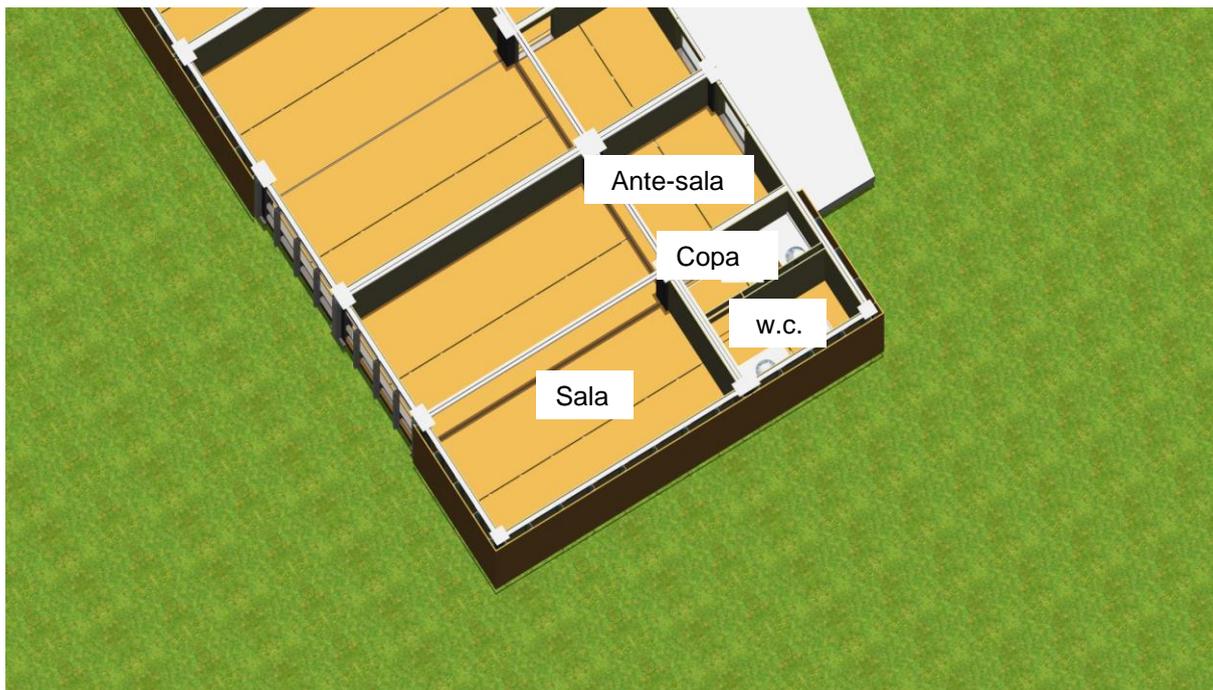


Figura 6.7: Planta baixa da sala tipo composta por três módulos.

No desenvolvimento do projeto identificaram-se agentes e fatores que influenciaram nos elementos construtivos e na concepção do edifício. Conseqüentemente, estas geraram soluções que serão descritas a seguir no detalhamento do projeto.

Dentro das premissas citadas, foram definidas as etapas a serem seguidas no detalhamento do projeto conforme a seqüência de montagem e concepção do edifício, sendo estas:

1. Fundação
2. Transporte (horizontal/vertical)
3. Montagem
 - a. Grade estrutural
 - b. Ligações
4. Laje
5. Fechamento interno

6. Fechamento externo

7. Forro

8. Cobertura

A seguir tem-se uma descrição das diversas etapas citadas anteriormente.

1. Fundação

Por tratar-se de uma edificação estruturada em aço, optou-se pela montagem desenvolvida por COELHO (2002) aplicando-se o sistema HY-150 (Hilti) que consisti na execução de furos nos blocos, simultaneamente com a montagem da estrutura, onde utilizaram-se serras tipo copo para a abertura dos furos e fixação de barras de aço especial, retas com rosca ao longo de toda a extensão, fixadas com resina química com tempo de endurecimento de 45 minutos. Segue como exemplo a figura 6.8 deste sistema.



Figura 6.8: Chumbador Hilt (COELHO, 2002, p. 47)

Com bases nos estudos realizados, ficou definido que o edifício deve encontrar-se no nível + 40 cm em relação ao solo. Esta cota refere-se aos cuidados relacionados à estrutura metálica, com o intuito de minimizar as possíveis patologias referentes à oxidação e ao acúmulo de água, aumentando assim a longevidade da mesma.

2. Transporte

Definiu-se que transporte horizontal será realizado por caminhões truck com capacidade de 15 t. por oferecer maior qualidade e segurança no transporte, além de poder transportar junto ao módulo os materiais que compõem o mesmo e que serão instalados in loco, como exemplo o forro.

No transporte vertical, neste caso específico, determinou-se a utilização de grua onde levou em consideração a questão da torção do módulo no momento do içamento, desenvolvendo assim a estrutura do módulo de forma a minimizar este efeito, conforme a figura 6.9.



Figura 6.9: Sistema de transporte vertical (THE ARCHITECTS' JOURNAL, 1999, p. 30)

3. Montagem

Definiu-se pelo termo montagem, por tratar-se de uma obra industrializada onde a confecção do edifício se faz através da sobreposição dos módulos. Estes constituem não só na grade estrutural, como define a tipologia arquitetônica do mesmo.

Para cada caso específico deve-se realizar um estudo particular o ponto e a direção a qual se iniciará a montagem. Porém, fica estabelecido que se deva primeiro completar o sentido horizontal na sua totalidade conforme a figura 6.10, com o intuito principal de fornecer a rigidez necessária à estrutura para que haja a completa compatibilização dos subsistemas e intercambiabilidade dos demais pavimentos, exemplificado na figura 6.11.

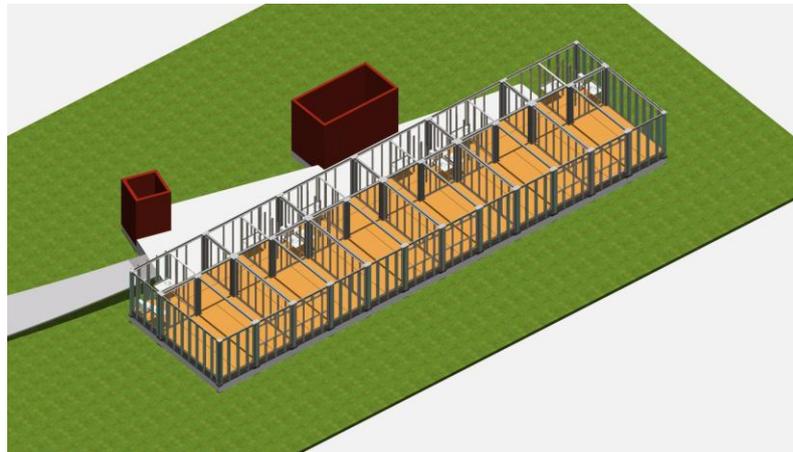
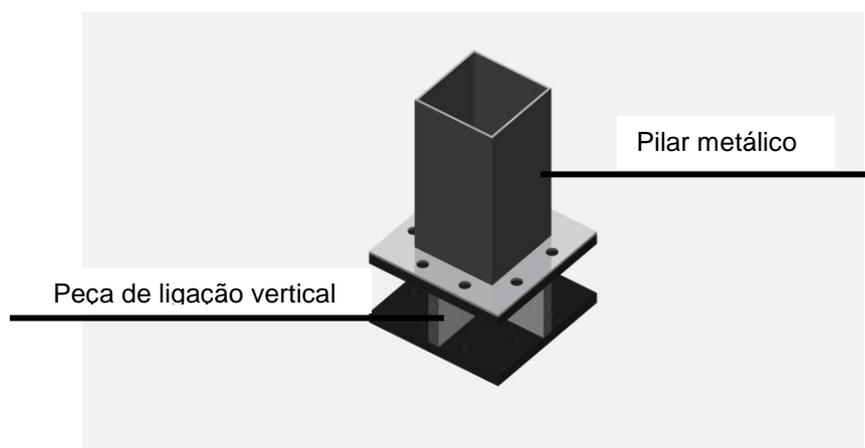


Figura 6.10: Esquema estrutural do pavimento térreo

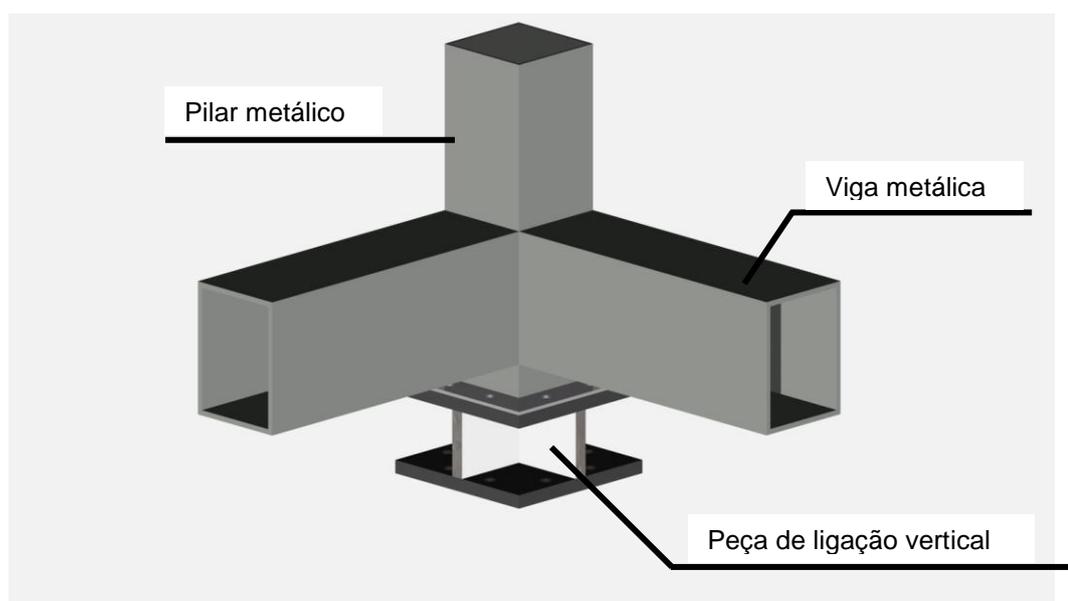


Figura 6.11: Esquema estrutural do edifício na sua totalidade

No estudo da montagem, fez-se necessário desenvolver uma peça denominada **peça de ligação vertical** dos módulos. A figura 6.12 ilustra a peça de ligação vertical com a vista do pilar e na figura 6.13 tem-se o detalhe do posicionamento das vigas que compõem a parte inferior do módulo. Esta peça foi desenvolvida em função do equilíbrio estático da estrutura e principalmente com relação a construtibilidade do edifício, oferecendo facilidade do trabalho na união estrutural dos módulos.



Figuras 6.12: Peça de ligação vertical com vista do pilar metálico



Figuras 6.13: Peça de ligação vertical com vista do pilar e vigas metálicas

Ressalta-se que não coube ao presente trabalho realizar o cálculo estrutural da peça descrita, enfatizando sim, a concepção e construtibilidade do sistema no cuidado em projetar o espaçamento entre as mesmas para que seja possível a trabalhabilidade da peça com relação a soldas, parafusamento, pintura protetora entre outras.

Na união dos módulos, constatou-se a necessidade de estudar a união das peças com relação à posição dos pilares. Desenvolvendo as peças para o pilar da aresta do edifício, para a união de 02 pilares conforme figura 6.14 e para a união de 04 pilares conforme figura 6.15. Estes remetem a tipologia do edifício em função da disposição dos módulos.

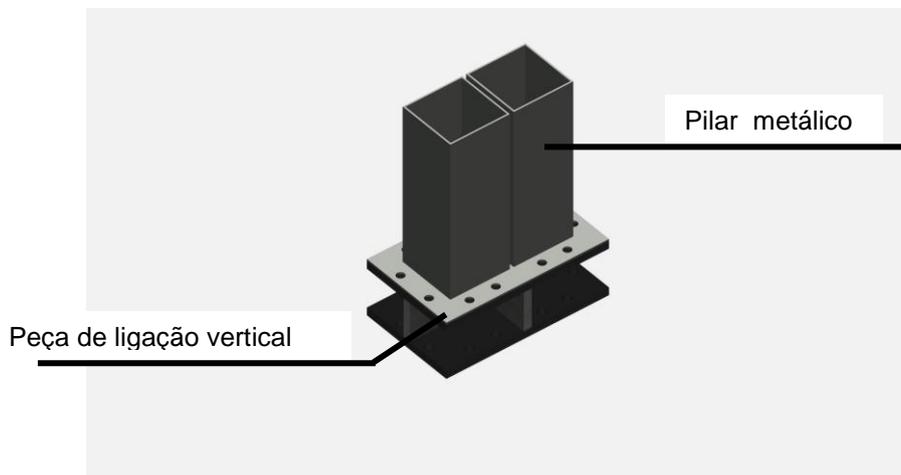


Figura 6.14: Peça de ligação vertical de dois pilares

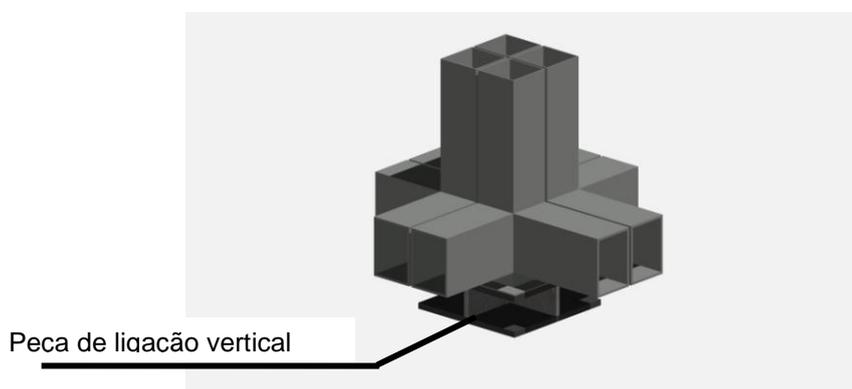


Figura 6.15: Peça de ligação vertical de quatro pilares

Para a união horizontal dos módulos, foi confeccionada uma placa denominada de **placa horizontal** que se encontra soldada nos pilares. Estas estão posicionadas de modo que facilite o trabalho de união entre os módulos conforme a figura 6,16, porém, para cada tipo de união de 2, 3 e 4 módulos, foi necessário desenvolver variantes da mesma, seguindo a mesma premissa de padronização e construtibilidade do sistema conforme as figuras 6.17 e 6.18.

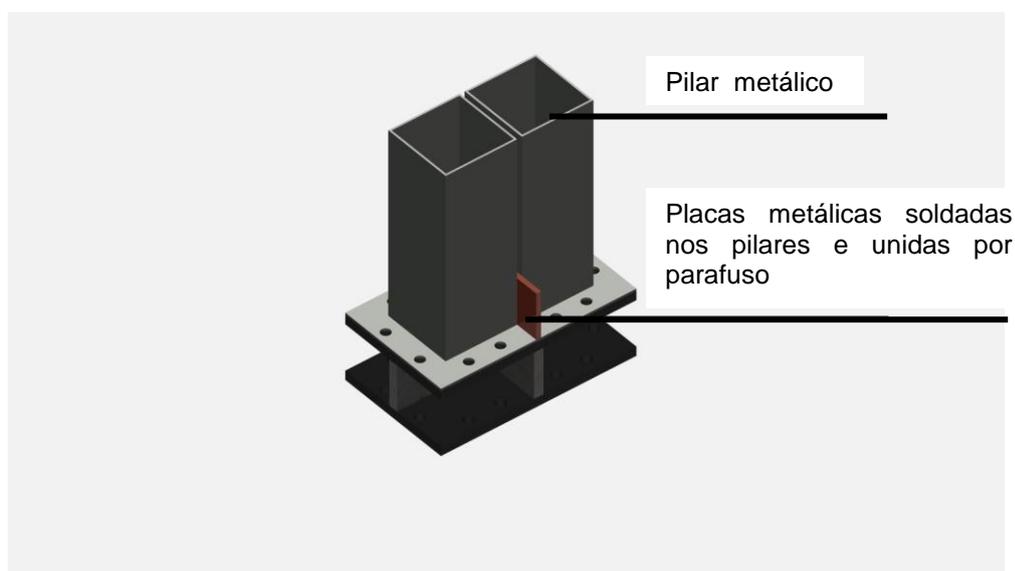


Figura 6.16: Detalhe das placas horizontais para dois pilares

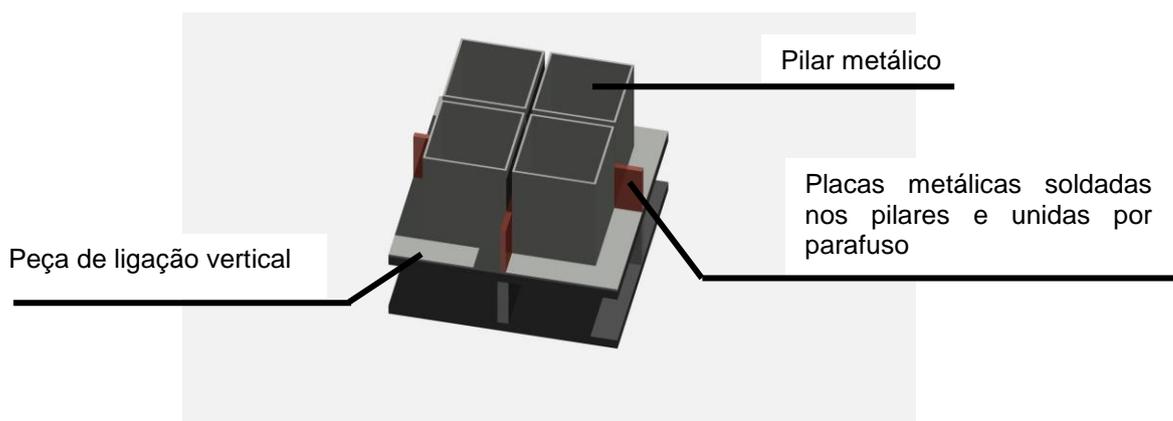


Figura 6.17: Detalhe das placas horizontais para quatro pilares

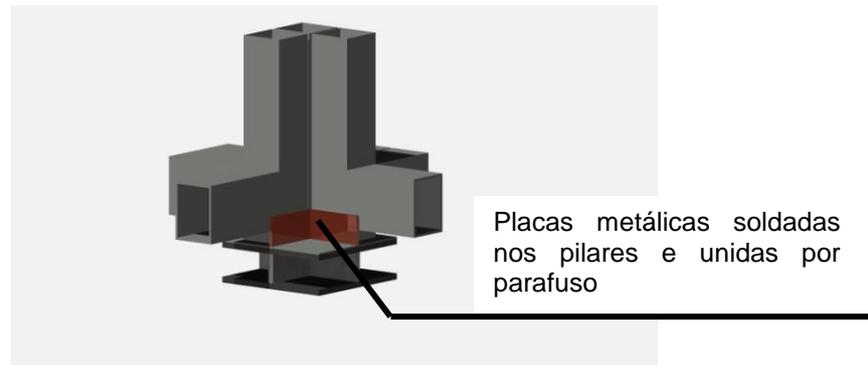


Figura 6.18: Esquema da fixação das placas horizontais

A figura 6.19 mostra que entre os módulos encontra-se um espaçamento que será eliminado quando for inserido o concreto entre as lajes conforme mencionado no capítulo 4 para o enrijecimento do sistema, diminuindo a movimentação da estrutura.

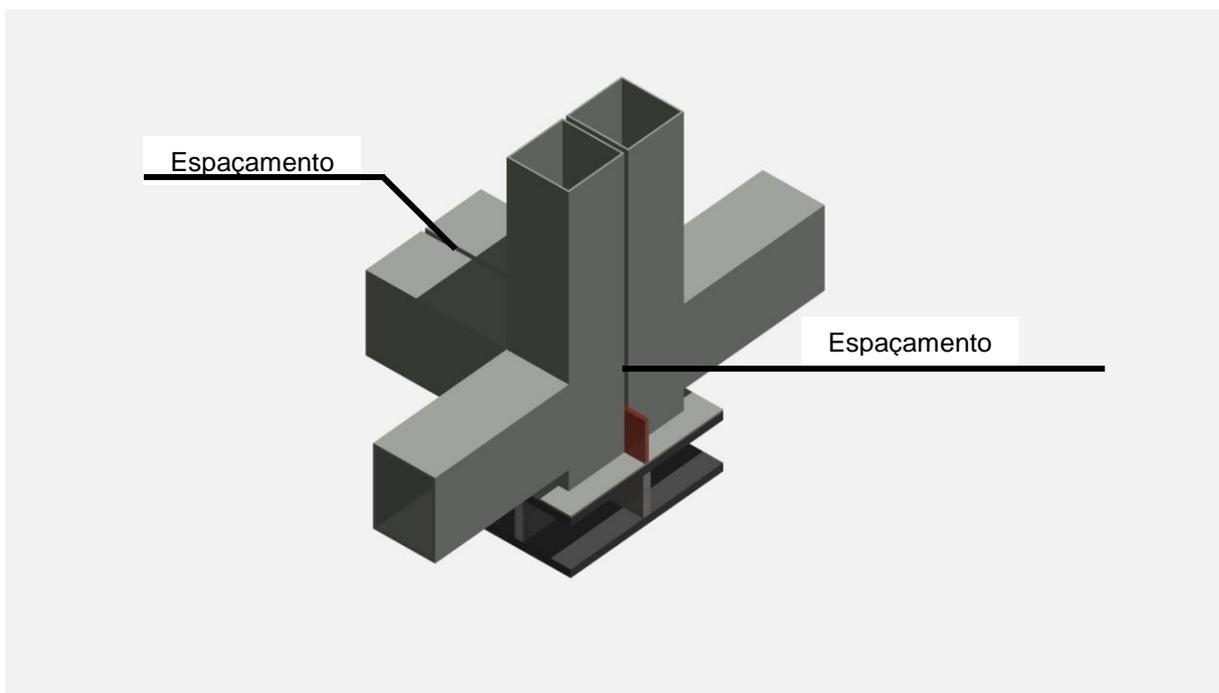


Figura 6.19: Vista do espaçamento entre dois módulos

No topo do pilar encontra-se uma placa metálica soldada a estrutura denominada **placa superior**. Esta tem a função de unir o pilar a placa de ligação do módulo do módulo que se encontra na cota superior, conforme a figura 6.20.

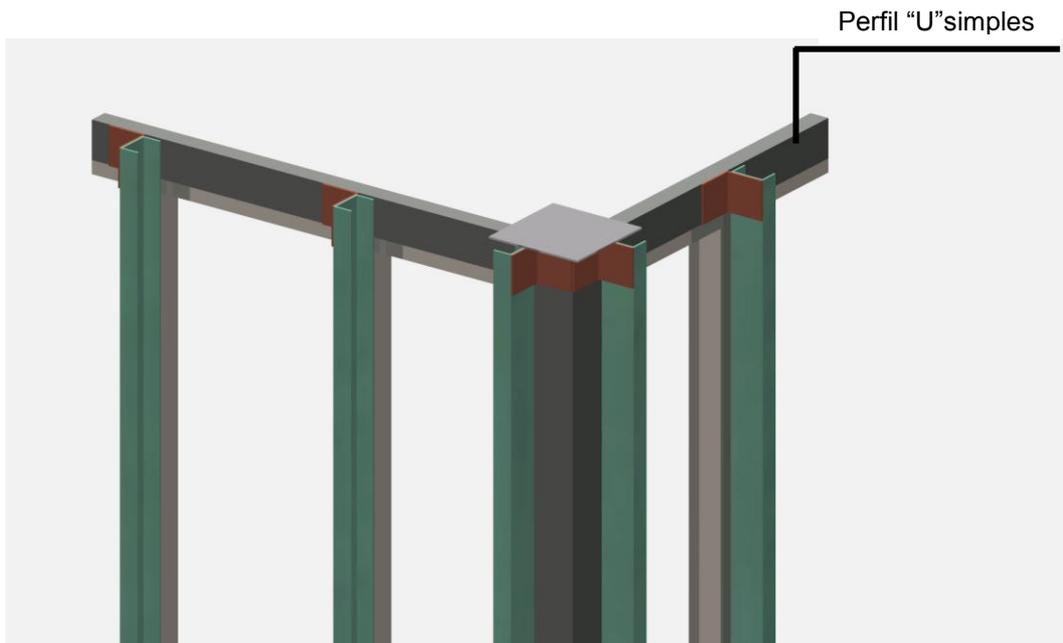


Figura 6.20: Vista da placa superior solda no topo dos pilares

Em virtude das suas dimensões, parte da peça extrapolou as dimensões externas do módulo, ocasionando um maior desenvolvimento de detalhes construtivos do sistema, sendo mais bem descrito no sistema de vedação externo a seguir.

4. Laje

Conforme o capítulo 4, desenvolveu-se uma laje pré-moldada especificamente para o sistema com as dimensões de 59x119x6 cm (largura x comprimento x altura), conforme a figura 6.21.

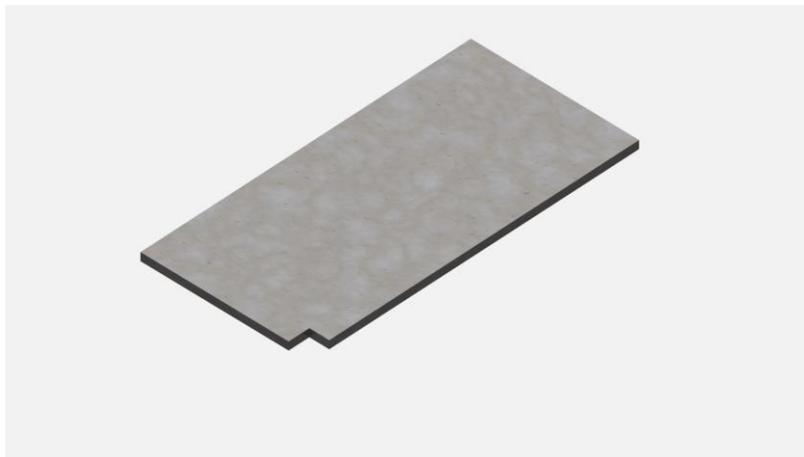


Figura 6.21: Vista da laje pré-moldada

Na concepção do edifício constatou que em decorrência da disposição dos módulos, as placas sofrem pequenas alterações nas dimensões horizontais devido à necessidade da presença de uma junta de concreto entre as lajes para a inserção do cimento que tem como principal objetivo a solidarização horizontal do sistema conforme figura 6.22.

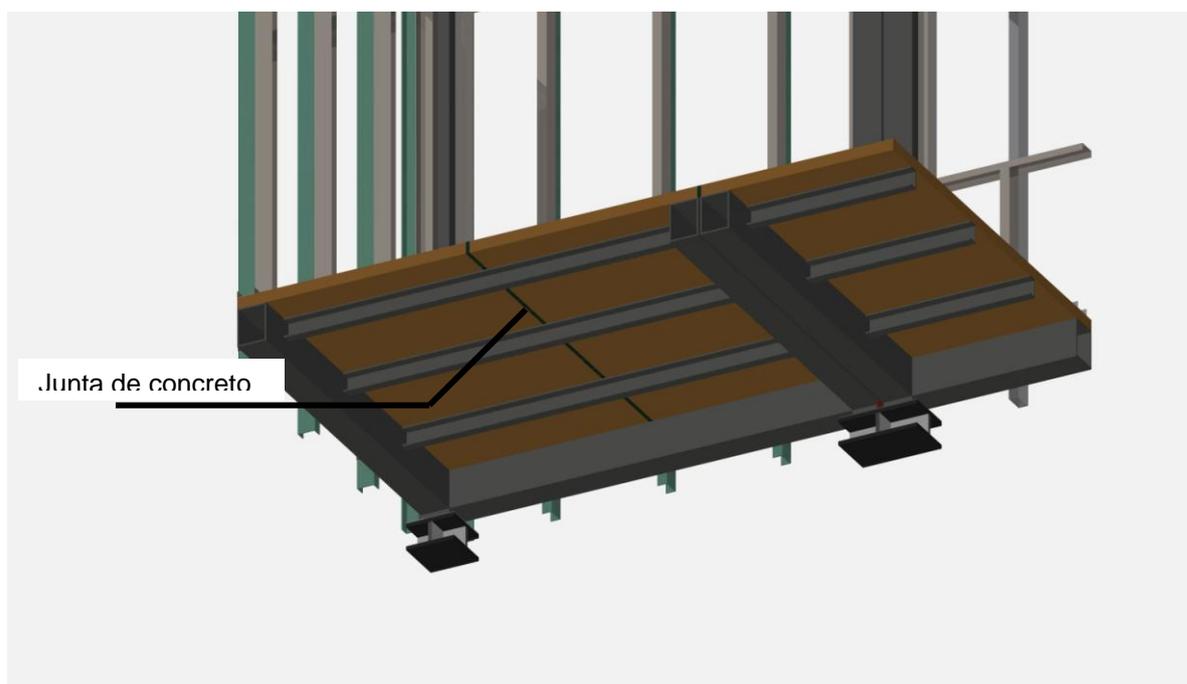


Figura 6.22: Vista da laje apoiada sobre o engradamento metálico e o espaçamento entre as mesmas.

Conforme a figura 6.23, identifica-se 04 modelos de placas que serão utilizadas em todo o restante do edifício onde para melhor explanação da mesma utilizou-se as coordenadas X e Y.

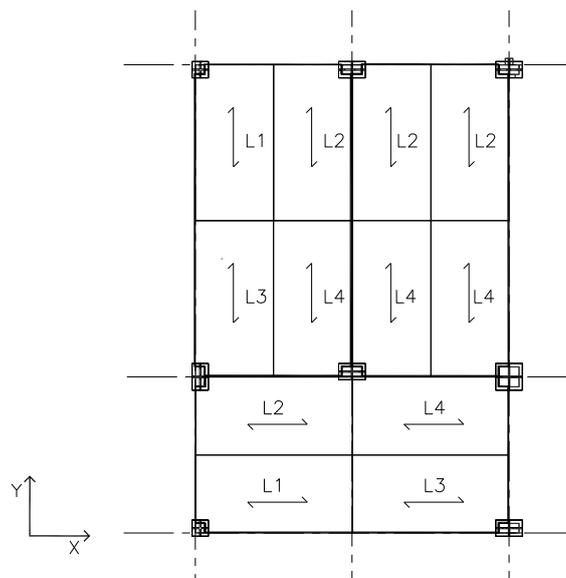


Figura 6.23: Planta da disposição das lajes pré-moldadas.

- Placa tipo 01 (L1) – Dimensões de 59x119x6 cm, por encontrarem-se no vértice do módulo.
- Placa tipo 02 (L2) – Dimensões de 58x119x6 cm, por encontrar-se no limite externo da estrutura e divisa com as placas tipo 1 e 2 em ambos os lados do sentido x.
- Placa tipo 03 (L3) – Dimensões de 59x118x6 cm, por encontra-se no sentido X entre o limite externo da estrutura no lado esquerdo e a placa tipo 3 no lado direito. No sentido Y entre as placas tipo 2 e 4.
- Placa tipo 04 (L4) – Dimensões de 58x118x6 cm, por encontrar-se no sentido X entre as placas tipo 3 e 4. No sentido Y entre as placas tipo 2 em ambas as direções.

Mesmo em um subsistema constituído por uma única peça como a laje, nota-se que o desenvolvimento projetual é parte fundamental a concepção do sistema. Seguindo os preceitos da industrialização, padronizou-se 04 tipos de placas para a disposição dos módulos utilizados na proposta do presente trabalho. Cabe ressaltar que se deve fazer um estudo particular para cada tipologia arquitetônica onde esta conseqüentemente influenciará na disposição dos módulos.

5. Vedação interna

Foi utilizado como fechamento interno o sistema Dry-Wall, onde se deve fazer o estudo da viabilidade econômica das salas em virtude da sua metragem comercial.

Como a premissa do módulo ser transportado e posicionado no edifício com o Dry-Wall, pois este é instalado na fábrica, torna-se necessário um estudo para definir quais os módulos que conterão estes, visto que não é necessário a instalação de uma divisória com montante duplo entre as salas, ou seja, alguns módulos serão confeccionados com o Dry-wall e outros não, ocasionando a economia no sistema como um todo. (Figura 6.24)

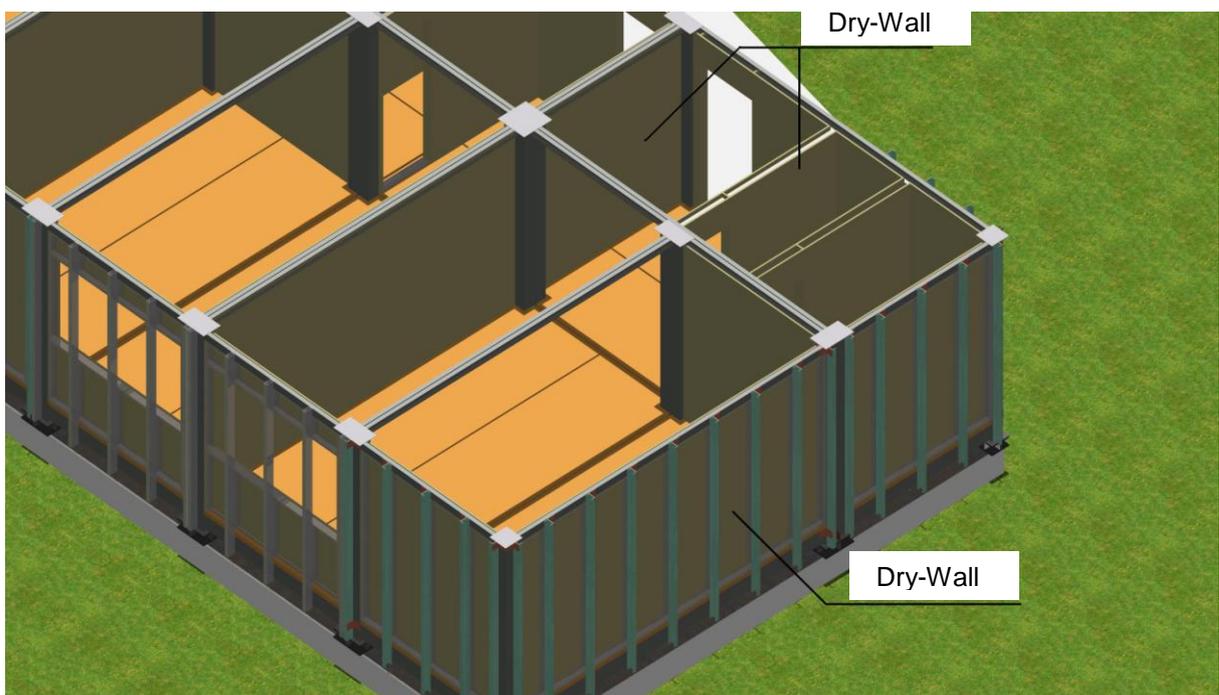


Figura 6.24: Vista da disposição do Dry-Wall na sala tipo.

6. Vedação externa

No edifício modelo empregou a placa cimentícia conforme figura 6.25 para o fechamento externo de acordo com o capítulo 4. Após a análise dos estudos realizados, constatou-se que a vedação externa funcionaria melhor como uma “pele”. Assim utilizou-se um acessório que funciona como suporte fixado nas vigas e nos montantes de sustentação da placa. Este acessório é denominado de **suporte**. (Figuras 6.26 e 6.27)

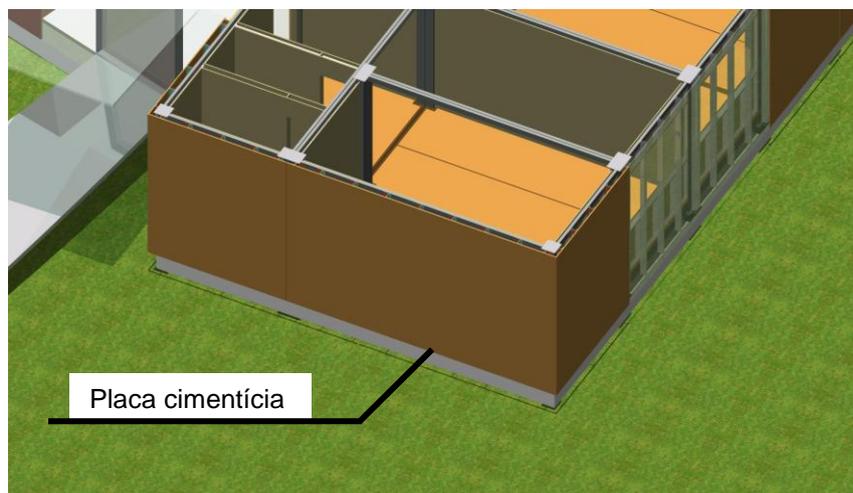


Figura 6.25: Vista da placa cimentícia instalada.

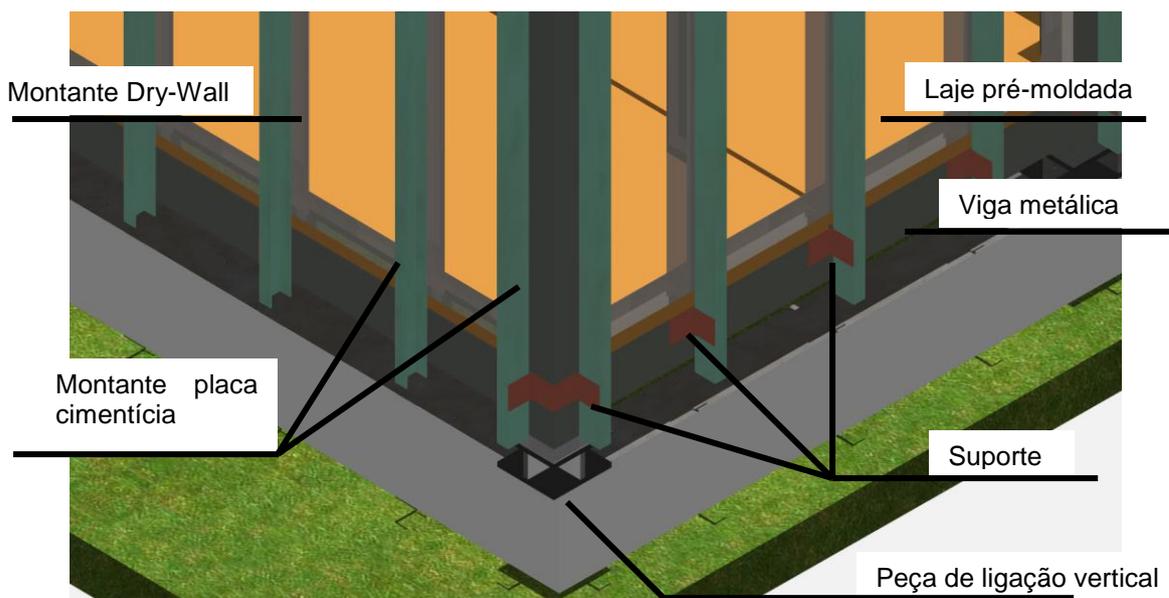


Figura 6.26: Vista do suporte da parte inferior do módulo .

Observa-se na figura 6.27 que no caso da placa cimentícia o edifício modelo terá 02 tipos de montantes: o tipo 01 para o Dry-Wall e o tipo 02 para a placa cimentícia.

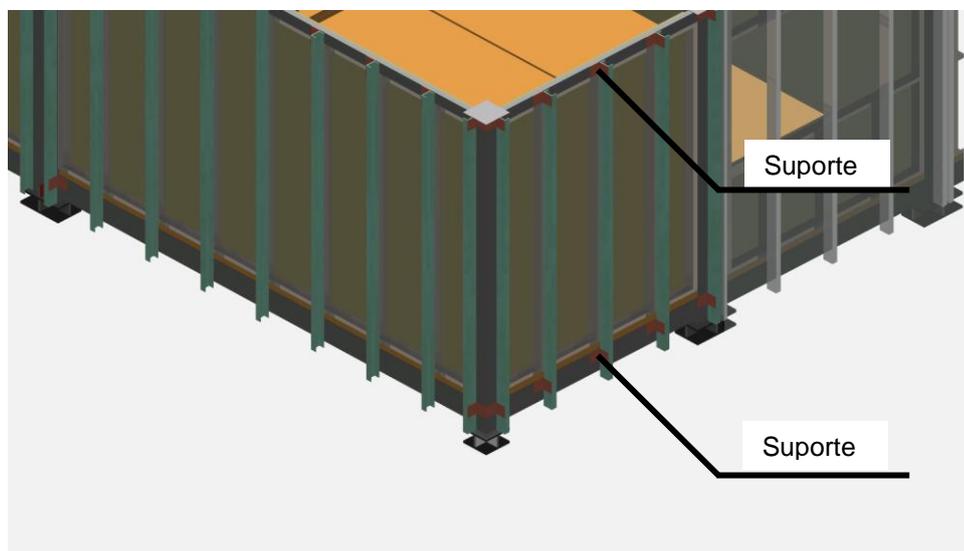


Figura 6.27: Vista da fixação do módulo na parte superior e inferior do módulo.

Estando externa a estrutura, a placa não é interrompida pela peça de ligação vertical conforme a figura 6.28.

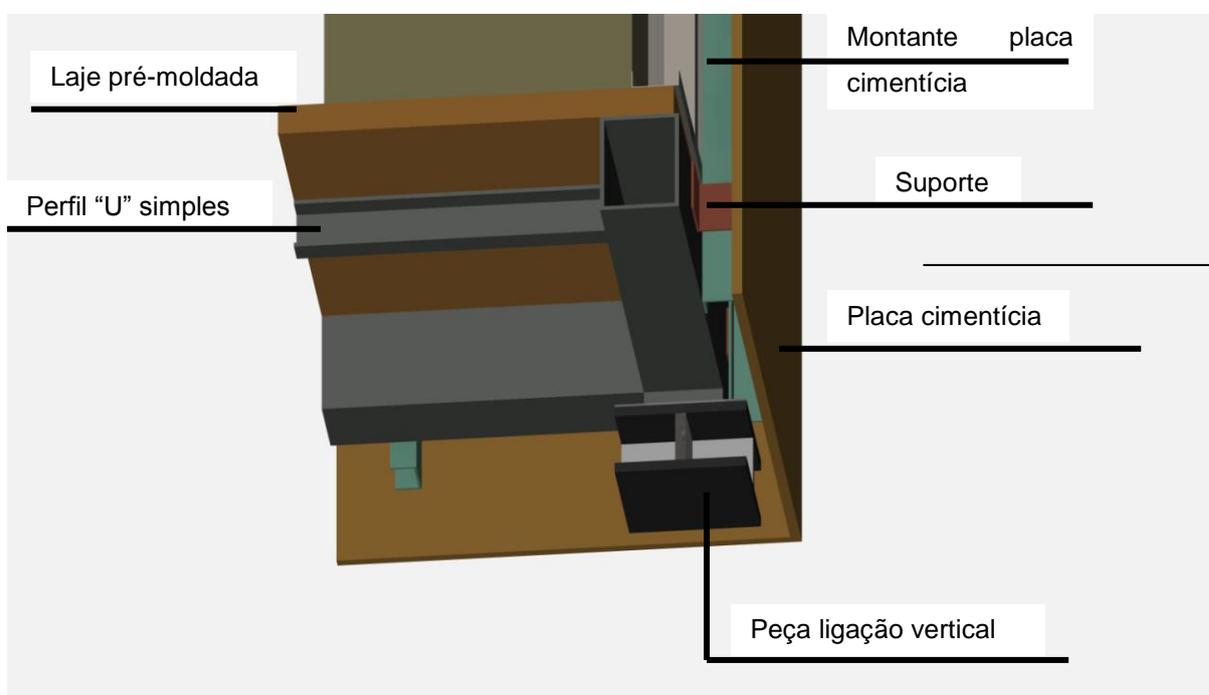


Figura 6.28: Esquema do posicionamento da placa cimentícia.

Para o caso do sistema de fechamento externo ser composto por painéis pré-moldados de concreto, os montantes externos não são necessários, pois o painel é fixado somente nos pilares com o objetivo de eliminar as cargas do seu peso próprio nas vigas. Sendo necessário somente os montantes do Dry-Wall.

Para ambos os casos, torna-se necessário a proteção contra-fumaça entre os pavimentos através de uma vedação contra fumaça, conforme a figura 6.29, ao qual funciona como vedação entre os pavimentos.

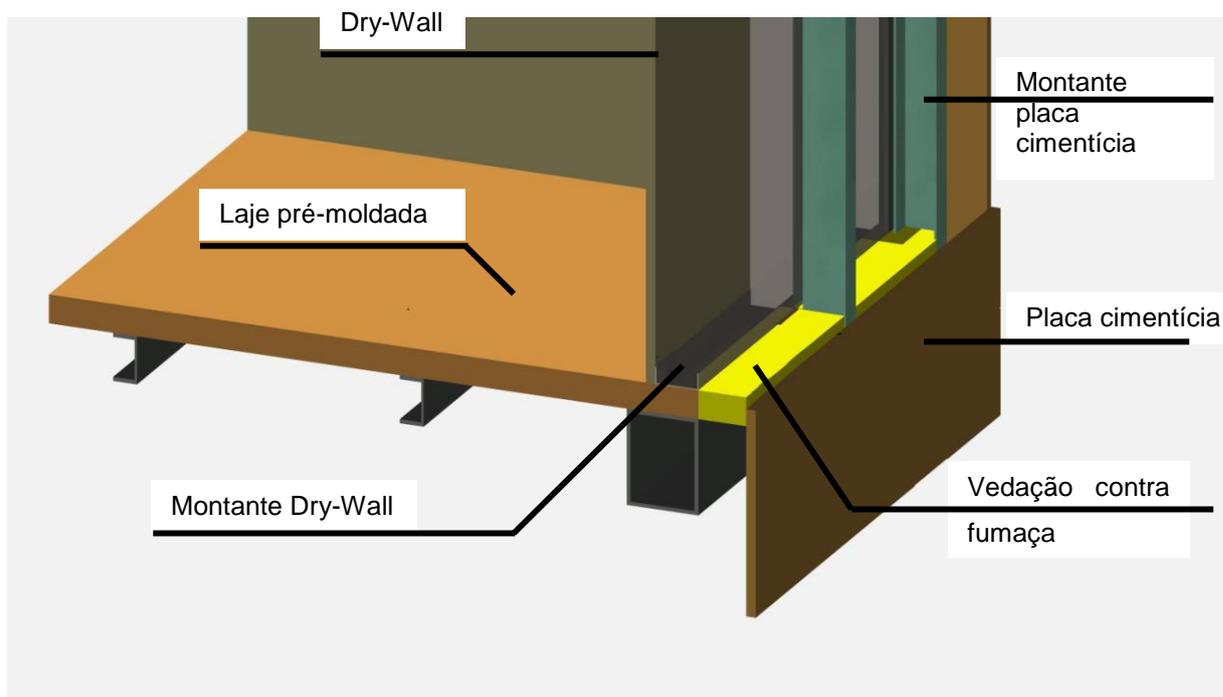


Figura 6.29: Detalhe da proteção contra-fumaça instalada entre a placa cimentícia e face externa da laje pré-moldada.

Com relação às juntas de dilatação das placas cimentícias, devem ter de 3 a 5 mm de abertura, devendo preencher as juntas horizontais com argamassa, sendo aplicada em uma faixa de 15 cm.

Segundo Coelho (2002) as juntas de dilatação tanto horizontais, quanto verticais, devem ser projetadas de forma a impedir a passagem de água para o interior do edifício. Devem ter uma vedação adicional, à base de materiais elastoméricos, resistentes à ação dos raios solares, de forma a promoverem a completa vedação

mesmo sob os efeitos cíclicos de contração e dilatação térmica dos painéis e dos movimentos da estrutura de apoio.

Com base na movimentação da estrutura, estas juntas de dilatação a base de materiais elastoméricos foram aplicadas nas faixas de união dos módulos, tanto horizontais quanto verticais conforme as figuras 6.30 e 6.31.



Figura 6.30: Vista da localização das juntas verticais de dilatação nos encontros dos módulos.

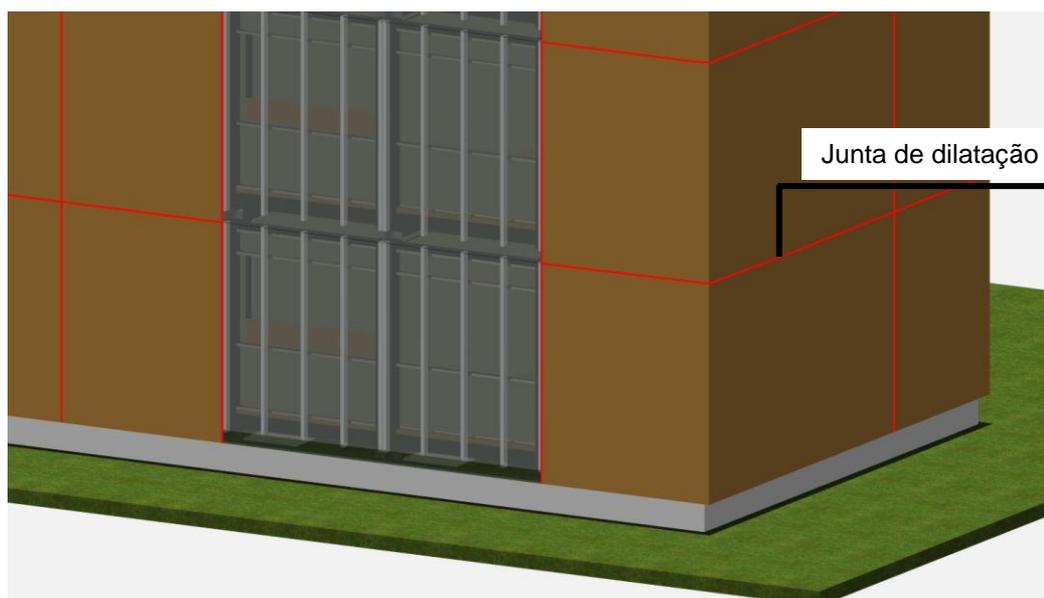


Figura 6.31: Vista do posicionamento das juntas horizontais e verticais de dilatação.

7. Forro

A necessidade em fazer a ligação estrutural tanto horizontal quanto vertical entre os módulos e das instalações elétrica, lógica e hidro-sanitárias, faz com que a instalação deste subsistema seja in loco.

Esta pode utilizar as vigotas do módulo que se encontra no pavimento superior como base para fixar as hastes de suporte do forro, onde estas já são instaladas na fábrica, aumentando assim a produtividade da obra.

8. Cobertura

Para a cobertura, foi escolhida a telha metálica conforme o item 4.4, por apresentar vantagens como leveza, facilidade e rapidez de montagem, pois esta será instalada in loco.

Para demonstração de aplicabilidade deste subsistema, segue a proposta de cobertura do edifício modelo, onde se fez uso do sistema de cabos para diminuir a carga da estrutura do telhado sobre os módulos.



Figura 6.32: Vista da cobertura em telha metálica.

6.2 - CONSIDERAÇÕES REFERENTES AO PROCESSO DE PROJETO

Ao projetar o edifício, diversos fatores interferiram na sua concepção inicial, onde a importância da compreensão dos elementos empregados na obra geraram uma necessidade maior de detalhamentos construtivos relativos a adequabilidade e intercambialibilidade dos subsistemas empregados.

Fatores como o desenvolvimento da peça de ligação vertical dos módulos onde esta ultrapassa dimensionalmente os limites externos definidos anteriormente, gerando um estudo projetual no que se refere à sua interferência no subsistema vedação externa.

No ato de projetar o edifício, foi necessário estudar simultaneamente os critérios de montagem horizontal e vertical, as ligações horizontais e verticais e os fechamentos internos e externos em detrimento da necessidade de adaptação tecnológica às variantes que surgiram devido ao grande número de elementos que compõem os subsistemas.

Cabe ressaltar a complexidade do projeto do edifício modelo, onde a elaboração e coordenação destes subsistemas definem as diretrizes de controle de execução da obra, tolerâncias permitidas e a seqüência das atividades que compõem a atividade de concepção do edifício.

Como exemplo as figuras 6.33 a 6.36 que mostram o nível de complexidade e a variedade de peças e elementos que compõem o edifício modelo.

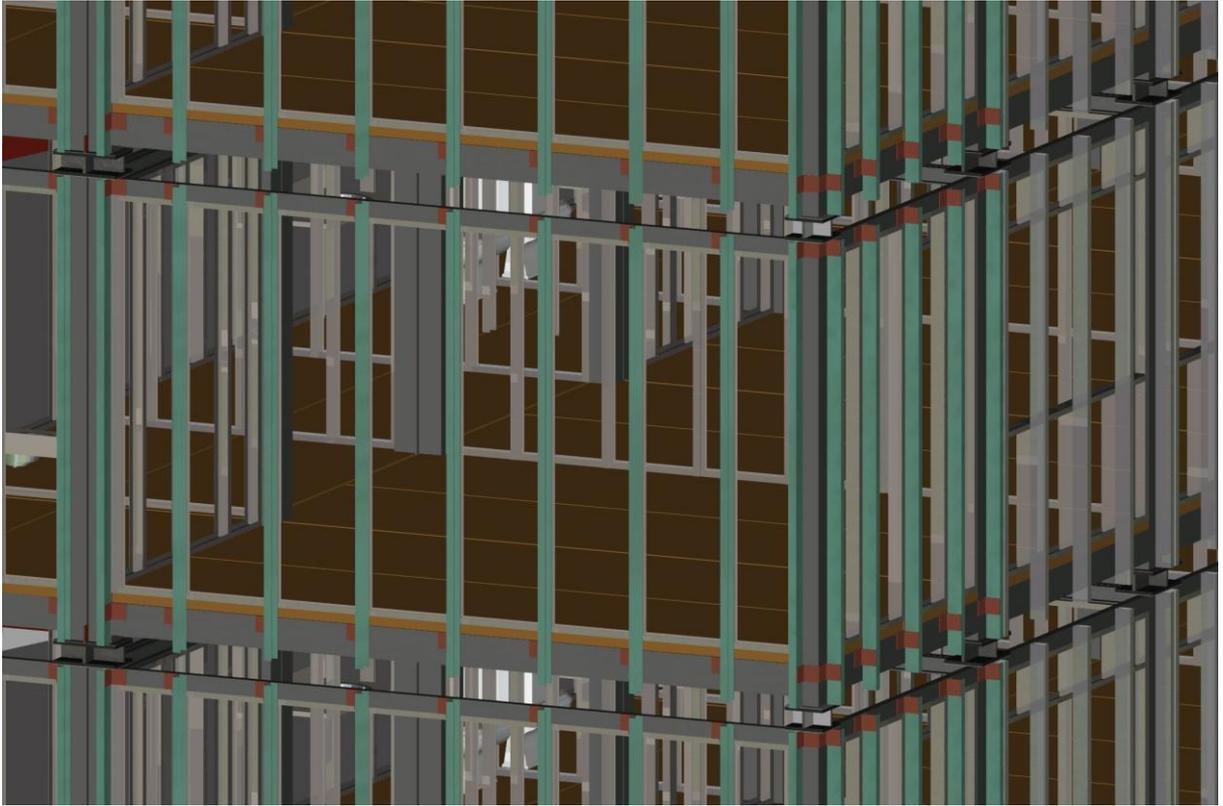


Figura 6.33: Detalhe das peças de ligação instaladas

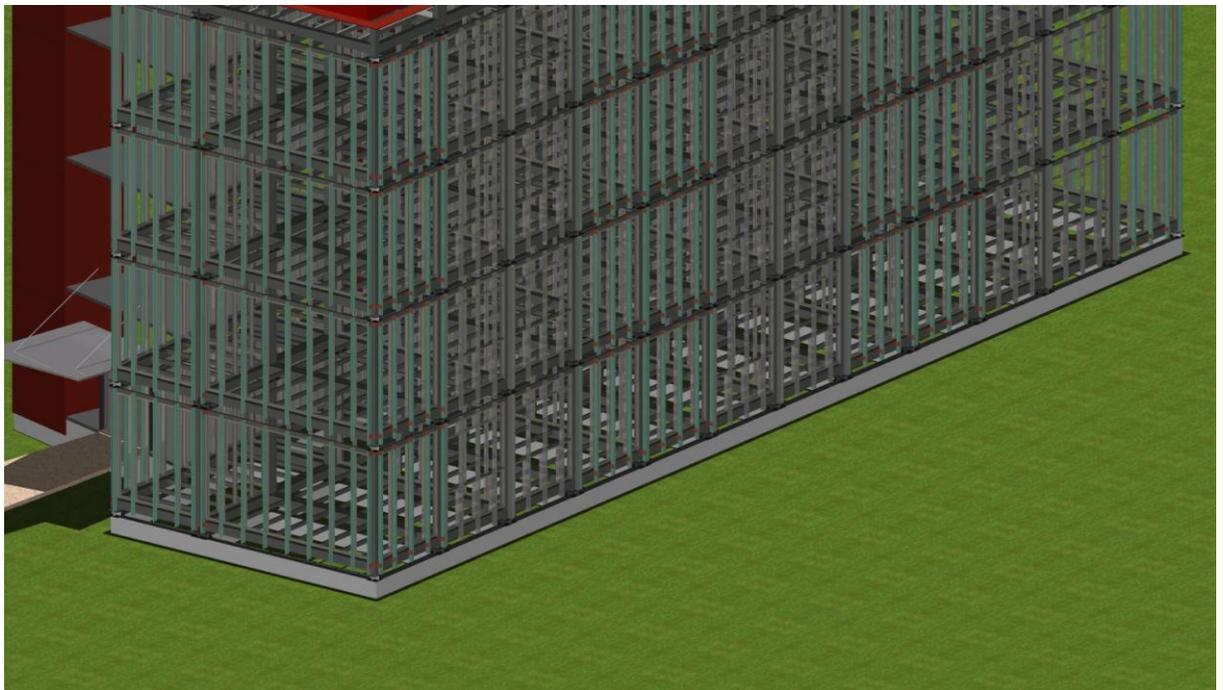


Figura 6.34: Vista dos componentes metálicos instalados.



Figura 6.35: Perspectiva da estrutura do edifício modelo.



Figura 6.36: Corte transversal do edifício modelo.

7 – CONCLUSÃO

7.1 - CONSIDERAÇÕES REFERENTES AO PROCESSO DE PROJETO

No decorrer do trabalho, foram apresentadas diversas considerações referentes aos itens abordados sobre o tema proposto. Neste capítulo pretende-se, resumidamente, fazer algumas conclusões sobre os principais assuntos tratados, principalmente à sistematização do conhecimento sobre a tecnologia dos sistemas modulares.

O trabalho apresenta algumas propostas a serem feitas na etapa de projeto onde a adoção do conceito de Projeto Simultâneo representa um significativo avanço na forma de focar o desenvolvimento de produto na construção de edifícios, englobando no processo de projeto e todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento imobiliário.

A soma das evidências empíricas com os estudos e análise da literatura permitiram confirmar plenamente a hipótese de que o processo de projeto de edifícios deve ser otimizado e qualificado pela introdução das premissas da Engenharia Simultânea, mas devem ser adaptadas ao ambiente do setor e às necessidades e possibilidades particulares dos empreendimentos de edificações.

Referindo-se à elaboração dos projetos do sistema modular, este deve ocorrer concomitantemente à concepção do empreendimento, de modo que as decisões sejam analisadas em conjunto, visando solucionar, o quanto antes, todas as interfaces com as demais disciplinas de projeto, com a fábrica e com o canteiro de obra.

Com relação desenvolvimento tecnológico do sistema, conclui-se que o sistema modular deve funcionar como base para todos os processos construtivos, sendo um sistema de referência e orientação para o processo de planejamento e processo de execução, unificando e uniformizando os diferentes elementos construtivos do edifício. Onde os detalhes devem atender as características funcionais dos componentes contendo as indicações relativas às juntas necessárias à sua união com componentes vizinhos e a definição da posição do componente em relação ao reticulado modular espacial de referência que será fixada pelo ajusto modular.

A preocupação deve-se ao fato de que esses dispositivos de fixação encontram-se, geralmente, em locais de difícil manutenção (como por trás de chapas de gesso acartonado ou sob pisos elevados). Por isso, devem ser feitos com material que apresente resistência à corrosão adequada e coerente com a vida útil da edificação. Recomenda-se, ainda, prever a aplicação sobre esse material de um revestimento à base de pintura epóxi com tinta de fundo anti-corrosiva, reduzindo possíveis riscos de corrosão e perda de integridade do material. Ainda recomenda-se o aço anticorrosivo (patináveis) por ser a seção caixa fechada, portanto, sem acesso a parte interna, o que inviabiliza a percepção de corrosão iniciada de dentro para fora da seção.

Com relação à montagem dos módulos na estrutura, dois fatores devem ser considerados primordiais na fase de elaboração de projetos para contribuir com o aumento da eficiência produtiva do edifício.

O primeiro é relativo ao projeto e planejamento da montagem em que devem ser analisados aspectos como: seqüência de fabricação e envio das peças; localização e capacidade suporte dos equipamentos de transporte; espaço disponível para armazenamento dos painéis; e tipos de fixações de alinhamento que facilitem a montagem.

Ressalta-se que uma das maneiras de melhorar a eficiência de montagem é içar e fixar os módulos em uma única etapa, sem armazenar peças em canteiro, a análise da localização e capacidade suporte dos equipamentos de transporte também é de fundamental importância, pois em função do peso dos módulos são definidas a capacidade desses equipamentos e a sua localização em relação ao ponto mais distante de descarregamento dos módulos. Ressalta-se que para a locação desse outro equipamento também é necessário analisar a disponibilidade de canteiro.

O segundo fator refere-se ao estabelecimento de tolerâncias dimensionais, onde as juntas também são responsáveis por absorver imprecisões métricas dos elementos construtivos, por isso devem ser projetadas com folgas, recomendando-se que as

folgas sejam projetadas em função da pior situação. Essas folgas nada mais são do que a soma das tolerâncias de fabricação, de montagem, de interfaces, mais as variações dimensionais provenientes de deformações.

Por tratar-se de um sistema produzido quase que na sua totalidade dentro de uma indústria, conclui-se que o controle de qualidade referente à compatibilidade entre os subsistemas e demais elementos construtivos possibilitam o emprego de tolerâncias menores acarretando um volume menor de materiais utilizados na confecção do sistema.

Acredita-se, também, que a industrialização de processos construtivos é uma tendência do setor da construção civil. No entanto, em âmbito nacional, há a necessidade de passar, principalmente, por um período de adaptação, em que pelo menos dois fatores devem ser considerados:

- aperfeiçoamento de profissionais, buscando conscientizá-los que a construção industrializada precisa ser concebida de maneira diferente da tradicional; e
- desenvolvimento de manuais e normas técnicas que estabeleçam um balizamento tanto para os profissionais quanto para os clientes (investidores e construtores), através de especificações técnicas relativas a critérios de desempenho, tolerâncias e coordenação dimensional, buscando a padronização dimensional e funcional dos edifícios e subsistemas construtivos.

Com relação ao projeto arquitetônico do edifício modelo, este foi desenvolvido dentro dos preceitos explanados no trabalho, adotando-se o projeto de produto, a coordenação modular, a construtibilidade e a racionalização dos elementos construtivos. Constatando-se que na confecção do edifício apresentando vantagens produtivas em comparação ao sistema tradicional de construção. Estas foram:

- Utilização de um número mínimo de componentes;
- Utilização de materiais disponíveis no mercado, com tamanhos e configurações padronizados;
- Utilização materiais e componentes fáceis de serem conectados;
- Padroniza os meios de ação;
- Utilização de uma seqüência rítmica executiva;
- Segmentação os projetos em pacotes construtivos;
- Uniformidade modular; e
- Redução de precedências.

Conclui-se que o desenvolvimento tecnológico do sistema apontou a importância do projeto como medida de melhorar a performance operacional da obra e da utilização dos perfis formados a frio como elemento estrutural do módulo por estar inserido no conceito de produto manufaturado produzido dentro de uma indústria, aferindo flexibilidade, padronização confiabilidade métrica ao sistema, conseqüentemente, diminuindo a probabilidade de erros e desperdícios na confecção da edificação. Obtendo-se assim, um produto racionalizado com qualidade, leveza, flexibilidade, rapidez de execução, com redução de desperdício, beleza e principalmente melhorando a produtividade e aumentando a competitividade da indústria da construção civil brasileira.

7. 2 - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho não esgota todos os aspectos relevantes sobre a tecnologia de sistema modular para a construção de civil, dada a complexidade do assunto. Por isso, sugerem-se alguns outros temas para a continuidade da pesquisa:

- Análise do sistema quanto ao desempenho e conforto;
- Desenvolvimento do mesmo conceito para edificações residências;
- Avaliação de um modelo real quanto a sua utilização;
- Desenvolvimento e avaliação da questão de ampliações e versatilidade no processo de montagem e desmontagem do sistema.
- Logística no processo de construção de edifícios em módulo pré-fabricados estruturados em aço;
- Análise de custos econômicos da construção de edifícios em módulo pré-fabricados estruturados em aço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Augusto: **Habitação de Aço Leve e Componentes Reciclados: Um Ensaio Projetual**. 2002. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

ARNOLD, J. R. TONY. **Administração de Materiais: Uma Introdução**. Tradução: Celso Rinald, Lenita R. Esteias. São Paulo: Atlas, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14672**: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio . Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6355**: Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2003. 37p.

BAUERMANN, Maristela. **Uma Investigação Sobre o Processo de Projeto em Edifícios de andares Múltiplos em Aço**. 2002. 254 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002.

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**, 1976. 312 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo.

CAMPOS, P. E. F. **Industrialização da construção e argamassa armada**, 1989. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

CASAS PARA O SECULO XXI. . Instituto Monsa de Ediciones S. A.. Barcelona, Espanha. 2004. 215p.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica** [CD-ROM]. 1999. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

COELHO, Roberto de Araujo. **Sistema Construtivo Integrado em Estruturas Metálicas**. 2003.140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2003.

COELHO, Roberto de Araujo. **Vedações para Edifícios em Estruturas Metálicas**. Apostila de curso realizado no III seminário Internacional “O Uso de Estruturas metálicas na Construção Civil”, Belo Horizonte. 2000. Não publicado.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados - Light Steel Framing**. 2005, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CUSUMANO, Michael A. (1994). **The Limits of “Lean”**. Sloan Management Review, p. 27- 32.

EICKHOFF, M. **A coordenação modular como instrumento para atingir a qualidade total em projetos de arquitetura**, 1997. 159 f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FARAH, M. F. S. **Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional**, 1992. 297 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FERREIRA, I. C. G. **Qualidade no projeto e o sistema modular na construção**. 1999. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1999.

FIRMO. Célio. **Estruturas tubulares enrijecidas por superfícies de dupla curvatura (hiperbólica)**. 2004. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

FREITAS, A. M. S., CRASTO, R. C. M. **Sistema Light Steel Framing: um guia para arquitetos**. Belo Horizonte: Centro Brasileiro de Construção em Aço – CBCA (em elaboração), 2005.

GRIFFITH A., SIDWELL T., **Constructability in building and engineering projects**. Londres, Macmillan, 1995.

GRILLO. L. M. **Gestão de Qualidade na Construção Edificada: Projeto Orientado à Produção**. 1999. 355 f. Relatório final apresentado a Pró-Reitoria, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1999.

HARTLEY, J. H. **Engenharia simultânea: um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos**. Tradução de Francisco José Soares Horbe. Porto Alegre : Artes Médicas, 1998. 266 p.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Innovations in Steel. **Economic Structures**. Belgium. Staalbouw Institute. 2000. Anual.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Innovations in Steel. **Transparent Architecture**. Belgium. Staalbouw Institute. 1999. Anual.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Innovations in Steel. **Sports Structures Around the World**. Belgium. Staalbouw Institute. 1998. Anual.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Innovations in Steel. **Bridges Around the World**. Belgium. Staalbouw Institute. 1997. Anual.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Innovations in Steel. **Residential Construction Around the World**. Belgium. Staalbouw Institute. 1996. Anual.

JT. Tóquio: shinken-chiku-sha, mensal, N. 9910, out. 1999.

KOSKELA, Lauri (1992). **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Technical Report. CIFE (Center for Integrated Facility Engineering).

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction.** Technical Report n. 72. Stanford : CIFE, september, 1992. 72 p.

KRUGËR, Paulo G.V. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica.** 2000. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto , 2000.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias.** São Paulo: Editora Pini, 2001.

MAEOKA, J. M. **Pré fabricação, racionalização e industrialização.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1970.

MELHADO, Silvio B. **Metodologia de Projeto Voltada à Qualidade na Construção de Edifícios.** 1998. Artigo (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Artigo apresentado no VII encontro de Tecnologia do Ambiente Construtivo (ENTAC).

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** 1994. 294 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MORAES, F.R. **Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de empreendimentos em construção metálica – uma visão segundo a nova filosofia de produção.** 2000. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2000.

MUNARI, Bruno. **Das Coisas Nascem as Coisas.** Tradução: José Manuel de Vasconcelos. São Paulo: Martim Fontes, 1998.

NOVAES, C. C. **A modernização do setor da construção de edifícios e a melhoria da qualidade do projeto.** In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis : ANTAC, 1998. v.2, p.167- 175.

NOVAES, C. C. **Diretrizes para garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios habitacionais**. 1996. 389 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Novíssima Enciclopédia Delta-Laorusse, Editora Delta S. A., Rio de Janeiro, 1982.

OLIVEIRA, Luciana Alves de. **Tecnologia de Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios**. 2002, 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002.

ORDONEZ, J. A. F. Pre-Fabricación – teoría y práctica. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974. v.1.

PEREIRA , Tatiana Camargo Alves. **Avaliação de Desempenho de Sistemas Racionalizados de Vedação para Edifícios com Estruturas Metálicas**. 2001. 127 p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

PICKARD, James. Urban Pioneer. **The Architects' Journal**, Londres, p. 26-34, nov. 1999, n. 47, 25 de nov. 1999.

PROCESS: ARQUITETURE. Tokyo: Vol. 70. 1996. p 1-203, Foster Tower: Hong Kong Bank a Re-Evaluation Of Tall Building.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**, 1989. 336p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SABBATINI, F. H; FRANCO, L. **Notas de aula da disciplina de Tecnologia de produção de vedações verticais** – TG 04 e PCC2435. São Paulo: EPUSP, 2005. Disponível em: < <http://pcc2435.pcc.usp.br/pdf/PCC2435-aula18a.pdf>, 05 de julho de 2005.

SALAS, S. J. **Construção industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988 (Apostila de curso realizado em São Paulo, set.,1988).

SHINKENCHIKU. Tóquio: shinken-chiku-sha, mensal, nº 2, fev. 2000. 266p. ISSN1342-5447.

TEIXEIRA, E. H. S. **Seleção de sistemas construtivos destinados a edifícios escolares**, 1990. 244 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo- FAU, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

TRIGO, J. T. **Tecnologia da construção da habitação**. Lisboa: LNEC, 1978.

WERNER, L. **Engenharia simultânea**. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1994, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABEP - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1993. v.2, p. 1112-1117.

WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Tradução de Ivo Korytowski. Rio de Janeiro : Campus, 1997. 347 p.

WOMACK, J. P., JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscilla Martins Celeste. Rio de Janeiro : Campus, 1998. 427 p.

WOMACK, J.P., JONES, D.T. (1996). **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**, Simon & Schuster.