

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

**ALTERNATIVAS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
PARA CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS HORIZONTAIS
– ESTUDO DE CASO**

Francelene Hermida Rezende Villar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração:

Sistemas Estruturais e Tecnologia de Sistemas Construtivos.

Orientador:

Prof. Dr. Sydney Furlan Júnior

São Carlos
2005

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

V719as

Villar, Francelene Hermida Rezende.

Alternativas de sistemas construtivos para condomínios residenciais horizontais – estudo de caso / Francelene Hermida Rezende Villar. -- São Carlos : UFSCar, 2006. 150 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2005.

1. Alvenaria. 2. Alvenaria – sistemas construtivos. 3. Alvenaria estrutural. 4. Blocos de cerâmica. I. Título.

CDD: 693.1 (20^a)

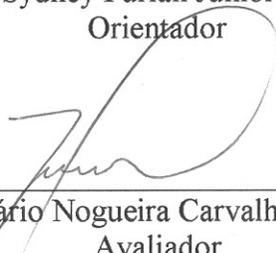
Alternativas de Sistemas Construtivos para Condomínios Residenciais Horizontais - Estudo de Caso

Francelene Hermida Rezende Villar

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 27 de outubro de 2005 pela
Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Sydney Furlan Júnior – (UFSCar)
Orientador



Prof. Dr. José Mário Nogueira Carvalho Júnior –(UFSCar)
Avaliador



Prof. Dr. Eloy Ferraz Machado Júnior (EESC/USP)
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

À Rodobens Negócios Imobiliários, na figura do engenheiro Geraldo Cesta, pelas sugestões, constante incentivo e importante apoio à realização do trabalho.

À empresa Jet Casa, através dos engenheiros Renato Arantes e Marcelo Teixeira pelo interesse e disponibilização de informações, sem as quais este não seria possível.

Ao Prof. Dr. Sydney Furlan Júnior, pela atenção, críticas, sugestões e a forma como me orientou durante estes anos.

Aos professores das disciplinas de pós-graduação que tive o prazer de conhecer e a satisfação de assistir.

À minha mãe, por todo o exemplo de vida.

Ao Sílvio e ao Miller, pelo amor, apoio e compreensão pelo tempo em que não estive presente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lajes, paredes simples e paredes duplas de telas Q-Lap.....	26
Figura 2 – Armação dos painéis Sical	28
Figura 3 – Interrupção das elevações de bloco Sical.....	29
Figura 4 – Amarração da alvenaria de bloco Sical.....	29
Figura 5 – Assentamento dos painéis Sical com utilização de argamassa colante	30
Figura 6 – Preenchimento do vazio entre os painéis Sical e o piso	30
Figura 7 – Passagem de tubulação nos painéis e blocos Sical.....	31
Figura 8 – Detalhe da ligação entre os painéis de laje e a alvenaria Sical	31
Figura 9 – Detalhes de unidades residenciais construídas com painéis e blocos Sical.....	32
Figura 10 – Tipos de tijolitos.....	34
Figura 11 – Lançamento da fiada de marcação no sistema Tijolito	34
Figura 12 – Detalhe de alinhamento, prumo e estabilização da alvenaria Tijolito.....	35
Figura 13 – Detalhe das esquadrias e acabamento do sistema Tijolito	36
Figura 14 – Fundações e montagem dos painéis do sistema Comodi.....	38
Figura 15 – Equipamentos utilizados na fabricação dos painéis e estocagem no sistema Premium	40
Figura 16 – Radier e gabarito para montagem dos painéis no Sistema Premium	40
Figura 17 – Detalhes de montagem, instalações e revestimentos dos painéis do Sistema Premium.....	41
Figura 18 – Exemplo de projeto padrão do Sistema Premium	42
Figura 19 – Esquema típico de casa em Steel Frame.....	43
Figura 20 – Chapa de fechamento das paredes no sistema Steel Frame	44
Figura 21 – Elementos pré-moldados de argamassa armada para a interligação dos painéis.....	46
Figura 22 – Detalhe da fixação dos painéis, elementos de ligação no contrapiso e cinta de amarração superior.....	47
Figura 23 – Alguns materiais e componentes dos painéis Jet Casa	55
Figura 24 – Montagem dos painéis Jet Casa	55
Figura 25 – Camada de argamassa dos blocos dos painéis Jet Casa.....	56
Figura 26 – Detalhamento da armadura dos painéis Jet Casa	57
Figura 27 – Detalhamento da armadura dos painéis Jet Casa	58
Figura 28 – Bancada para dobra da treliça	59
Figura 29 – Detalhamento de um “kit hidráulico” de um painel Jet Casa	60
Figura 30 – Modulação de blocos, tubulação hidráulica, elétrica e ferragem de um painel Jet Casa	61

Figura 31 – Detalhe do projeto executivo com quantitativos dos materiais de um painel Jet Casa	62
Figura 32 – Forma para montagem de painel Jet Casa com batente e tubulação elétrica.....	63
Figura 33 – Concretagem das nervuras e aplicação do chapisco rolado nos painéis Jet Casa.....	64
Figura 34 – Impermeabilização da base dos painéis Jet Casa e disposição para montagem	65
Figura 35 – Blocos de fundação pré-moldados do sistema Jet Casa	66
Figura 36 – Exemplo de seqüência de montagem dos painéis Jet Casa.....	67
Figura 37 – Posicionamento do 1º. painel Jet Casa.....	67
Figura 38 – Posicionamento do 2º. painel Jet Casa.....	68
Figura 39 – Soldagem das cantoneiras de ferro localizadas na parte superior dos painéis.....	69
Figura 40 – Detalhe dos pontos de solda nos encontros dos painéis	70
Figura 41 – Detalhe da laje pré-fabricada Jet Casa	71
Figura 42 – Armaduras das lajes nervuradas com ganchos de içamento.....	72
Figura 43 – Vista dos painéis de laje concretados	72
Figura 44 – Painéis de laje montados sobre os painéis de parede	73
Figura 45 – Detalhe do travamento dos oitões no sistema Jet Casa com ou sem a utilização de laje.....	74
Figura 46 – Panorama da montagem de um condomínio residencial com a utilização dos painéis Jet Casa.....	75
Figura 47 – Projeto da edificação utilizada nos ensaios de desempenho estrutural.....	79
Figura 48 – Detalhamento da ligação dos oitões	82
Figura 49 – Exemplos de projetos fornecidos pela Jet Casa	94
Figura 50 – Blocos cerâmicos para alvenaria com furos na horizontal e na vertical.....	100
Figura 51 – Projeto em alvenaria estrutural para as unidades de 3 dormitórios	109
Figura 52 – Projeto de forma da fundação	110
Figura 53 – Detalhes A e B do Projeto de formas da fundação	111
Figura 54 – Fases da execução do radier	111
Figura 55 – Execução da alvenaria estrutural	112
Figura 56 – Projeto de forma da 1ª fiada	113
Figura 57 – Detalhe da vista de uma parede.....	114
Figura 58 – Projeto de forma de locação de grautes.....	115
Figura 59 – Projeto de forma da cobertura.....	116
Figura 60 – Cortes da forma da cobertura.....	117

RESUMO

A melhoria da produtividade é um fator importante para atender o crescente déficit habitacional brasileiro. Além disso, a indústria da construção civil ocupa uma posição estratégica no desenvolvimento do país, devido à sua importância econômica e social. Neste cenário, o uso de sistemas construtivos industrializados tem se firmado cada vez mais, utilizados principalmente por construtoras de grande porte e em obras que necessitam de velocidade de execução.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar, sob a ótica dos parâmetros importantes para a construção de condomínios residenciais horizontais (racionalização, qualidade, custo e desempenho, entre outros), uma análise comparativa do sistema construtivo Jet Casa (sistema formado por painéis auto-portantes pré-fabricados, constituídos de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado), com o sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, tradicionalmente utilizados nestes empreendimentos. O trabalho se desenvolve através de estudo de caso realizado para a construção do Condomínio Jardins de Barcelona, em São José do Rio Preto, pela Rodobens Negócios Imobiliários, composto de 198 residências térreas e geminadas duas a duas.

Inicialmente são discutidos sucintamente alguns conceitos relacionados à concepção de condomínios residenciais horizontais, no que diz respeito à racionalização, qualidade e produtividade, com finalidade de embasamento teórico. Posteriormente, descreve-se alguns dentre os vários sistemas construtivos que estão sendo utilizados no Brasil para a construção de unidades residenciais em série, apresentando-se suas principais características (projeto, materiais, componentes e execução). Registra-se, assim, o panorama atual deste setor.

Na seqüência descreve-se detalhadamente o sistema construtivo Jet Casa: projeto, produção, montagem e demais características (produtividade, padronização de procedimentos, organização do canteiro de obras, custos, desempenho e racionalização). De forma sucinta, apresenta-se também o processo construtivo em alvenaria estrutural, para embasar o estudo de caso.

Finalmente, sob a ótica dos parâmetros importantes para a construção de condomínios residenciais horizontais (racionalização, qualidade, custo e desempenho, entre outros), compara-se estes dois processos construtivos para uso no empreendimento em questão. Desta análise comparativa, resultam as considerações finais, destacando-se a escolha efetuada pela empresa (ainda predominantemente pautada pelo custo) e os parâmetros que influenciaram nesta decisão.

ABSTRACT

Improvement in productivity is one important factor to tackle the increasing Brazilian housing deficit. Besides, civil construction industry holds strategic position in the development of the country due to its economical and social importance. In this scenery, the use of industrialized constructive systems has been more and more frequent, mainly by large construction companies and in buildings that need speed of execution.

The main purpose of the current work is to show, from the perspective of important parameters to the construction of horizontal properties jointly owned (rationalization, quality, cost and performance, among others), a comparative analysis of *Jet Casa* constructive system (a system comprised of prefabricated panels, consisted of ceramic stones and armed concrete pillars) with constructive system in structural masonry with ceramic stones, traditionally used in such enterprises. This study is developed through a case study carried out for the construction of Jardins de Barcelona Joint Owned Property, in São José do Rio Preto, by Rodobens Negócios Imobiliários, consisted of 198 one-story double houses.

Initially, some concepts related to the conception of horizontal properties jointly owned, as far as rationalization, quality and productivity are concerned, are briefly argued with theoretical base aim. Then, some constructive systems which are currently being used in Brazil for building residential units in a series are described and their main characteristics (project, materials, components and execution) are presented. This way, the current overview of this sector is provided.

After this, *Jet Casa* constructive system is described in details: project, production, assembly and other characteristics (productivity, standardization of procedures, building site organization, costs, performance and rationalization). Briefly, structural masonry constructive process is also shown, in order to give the case study some foundation.

Finally, from the perspective of important parameters to construction of horizontal properties jointly owned (rationalization, quality, cost and performance, among others), these two constructive processes are compared in order to be used in the enterprise in question. From this comparative analysis, the choice made by the company (still predominantly cost-oriented) and the parameters that influenced this decision are shown.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	3
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. METODOLOGIA.....	4
2. CONCEITOS GERAIS	5
2.1. RACIONALIZAÇÃO	8
2.2. PRODUTIVIDADE.....	11
2.3. QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	12
2.4. TÉCNICAS, MÉTODOS, PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS	13
2.5. INDUSTRIALIZAÇÃO E PRÉ-FABRICAÇÃO.....	16
3. A PRODUÇÃO DE UNIDADES RESIDENCIAIS SERIADAS.....	19
3.1. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS.....	21
3.2. ALGUNS SISTEMAS CONSTRUTIVOS UTILIZADOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	24
3.2.1. ETAM – Sistema de Alvenaria Q-LAP.....	24
3.2.2. Sistema Construtivo SICAL	27
3.2.3. Sistema AG de construção industrializada – TIJOLITO.....	32
3.2.4. ICOMA – Sistema Comodi	37
3.2.5. Sistema Construtivo Premium	39
3.2.6. Sistema Construtivo Steel Frame.....	42
3.2.7. Sistema Construtivo em Argamassa Armada	45
4. JET CASA E ALVENARIA ESTRUTURAL (ESTUDO DE CASO).....	50
4.1. SISTEMA JET CASA.....	51
4.1.1. Descrição do sistema	51
4.1.2. Principais materiais e componentes.....	52
4.1.3. Fabricação e montagem dos painéis	55

4.1.4. Condições e limitações de uso.....	75
4.1.5. Avaliação técnica.....	76
4.1.6. Projeto	93
4.2. ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS CERÂMICOS.....	95
4.2.1. Componentes da Alvenaria Estrutural.....	98
4.2.2. Considerações Gerais	104
4.2.3. Execução da obra de Alvenaria Estrutural	105
5. ESTUDO DE CASO	107
5.1. PROJETOS E EXECUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL.....	108
5.2. SISTEMA JET CASA.....	118
5.3. ANÁLISE COMPARATIVA	119
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, na década de 90, com a crise econômica nacional e mundial, o setor de construção de edificações habitacionais sofreu conseqüências decorrentes das dificuldades na obtenção de financiamentos para produção e comercialização, num setor sempre caracterizado como muito competitivo. Nos últimos anos, com a diminuição nos investimentos em obras públicas, verificou-se uma tendência ainda maior desta competição.

Além destas dificuldades, que se pode chamar de restrições do mercado, alguns outros fatores (aumento das exigências dos clientes, implantação do código de defesa do consumidor, diminuição de renda dos consumidores, entre outros) levaram as empresas do setor da Construção Civil a buscar a racionalização de seus processos e diminuição de custos, sem detrimento da qualidade final do produto.

A indústria da construção civil buscou, então, otimizar o seu processo produtivo, visando o aumento da produtividade através da racionalização do uso de recursos humanos, de materiais, do tempo para realização de suas atividades, além da padronização de projetos, do uso de novas tecnologias e de implantação de programas de qualidade. Essas mudanças tiveram o foco na manutenção e / ou conquista de novos clientes, peça fundamental para a sobrevivência, diante da grande competitividade existente no mercado.

Para SABBATINI (1998), a modernização da construção civil é hoje uma exigência da sociedade. “Os desperdícios, o atraso tecnológico, a primariedade dos métodos construtivos, o despreparo da mão de obra, são temas discutidos por toda a coletividade e não apenas no setor. Mas, mais que uma exigência social, ela se constitui hoje em fator essencial de sobrevivência para as empresas que atuam neste setor. O “evolui ou perecerás” parecer ter finalmente chegado para a construção de edifícios. Muitas empresas se aperceberam disto recentemente e estão investindo na modernização dos seus meios de produção. A necessidade de manter-se competitiva obriga a que todas as demais invistam e isto cria uma corrente favorável para a modernização”.

SOUZA (1990) propõe que o esforço de modernização tecnológica no setor de edificações deva ser orientado por quatro diretrizes básicas: racionalização e integração de projetos, racionalização dos processos de fabricação de materiais e componentes, racionalização dos processos construtivos tradicionais e modernização organizacional e gerencial. A racionalização e a industrialização estão muito relacionadas. “A base da industrialização é a aplicação de medidas que visem à

otimização dos recursos materiais, humanos e organizacionais empregados no processo construtivo”.

Segundo FRANCO (1992), a industrialização da construção é um “processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, de métodos de trabalho e de técnicas de planejamento e controle, tem como objetivo incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva”.

A construção civil no Brasil apresenta baixos índices de produtividade em relação a outros países. A produtividade nos canteiros brasileiros encontra-se em 45 HH / m² (homens-hora por metro quadrado), enquanto na Dinamarca é de 22 HH / m² (ROSSO, 1980). “No domínio da edificação pode se passar de uma produtividade de 80 HH / m² em um processo artesanal primitivo, para 10 HH / m² em um processo industrializado”.

As razões para esta baixa produtividade são inúmeras e não são decorrentes somente da desqualificação da mão de obra, mas também muitas vezes de falhas gerenciais dos empresários da construção civil, que durante anos não se preocuparam em investir no treinamento de seus empregados.

Para THOMAZ (2001), embora com muito atraso, começaram a aflorar processos de treinamento e requalificação de operários, programas setoriais para melhoria da qualidade dos produtos, criação de organismos independentes de certificação de produtos e de sistemas de gestão de qualidade.

PICCHI (1993) afirma que a produtividade no Brasil é menor que um quinto da produtividade dos países industrializados. “Esta situação obrigou as empresas a redefinir suas estratégias, visando aumentar a eficiência operacional, melhorando a qualidade e reduzindo custos”. O processo evolutivo industrial é conhecido genericamente como industrialização, sendo que os níveis evolutivos neste processo podem ser mensurados através do grau de desenvolvimento tecnológico atingidos. Este é, portanto, um parâmetro daquele, sendo normalmente confundido com o próprio processo de industrialização do setor.

A racionalização do processo construtivo é tema de um grande número de pesquisas na área da Construção Civil. Muitos destes estudos são baseados na implantação de novos métodos construtivos. Neste trabalho são apresentados alguns dos sistemas construtivos utilizados na execução de condomínios residenciais horizontais e unidades habitacionais produzidas em série. Apresenta-se e discute-se um estudo de caso elaborado por esta autora, atuando na empresa Rodobens Negócios Imobiliários, Construtora e Incorporadora de São José do Rio Preto – SP,

para estudo de viabilidade de um sistema construtivo para implantação em um caso real.

1.1 Justificativa

A evolução é um processo inerente à natureza humana. A busca do máximo desenvolvimento tecnológico como forma de viabilizar economicamente os empreendimentos é um fator que tem levado à industrialização da construção. A indústria brasileira vem passando por um processo de modernização e encontra reflexos em todos os setores, inclusive no da construção de edifícios. No entanto, o subsetor edificações é caracterizado, ainda hoje, por um elevado índice de desperdício, baixa produtividade e reduzida qualificação de mão-de-obra, além da baixa qualidade do seu produto final.

A melhoria da produtividade e a qualidade são fatores de sobrevivência para as Construtoras no contexto brasileiro, sendo, também, uma necessidade social em virtude do déficit habitacional do nosso país. Além disso, a indústria da construção civil ocupa uma posição estratégica no desenvolvimento do país, devido à sua importância econômica e social.

Nesse cenário, o uso de sistemas construtivos total ou parcialmente industrializados tem se firmado cada vez mais no Brasil, utilizados principalmente por construtoras de grande porte e em obras que necessitam de velocidade de execução. Nestes casos, os sistemas industrializados proporcionam ganho de tempo e, eventualmente, qualidade. Neste trabalho, busca-se indicar que a industrialização da construção aberta ou por componentes, focada na execução de unidades residenciais horizontais seriadas, é uma opção para mudar o estado atual do setor, ainda que baseado no tradicional método construtivo, amplamente utilizado nas diversas regiões do país.

1.2 Objetivos

Sob a ótica dos parâmetros importantes para a construção de condomínios residenciais horizontais (racionalização, qualidade, custo e desempenho, entre outros), o objetivo principal deste trabalho é apresentar e analisar o sistema construtivo Jet Casa, formado por painéis auto-portantes pré-fabricados (blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado), e compará-lo com o sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, para uso em um condomínio residencial horizontal. Outros objetivos específicos da pesquisa são:

- Desenvolvimento de uma base teórica sobre os principais requisitos necessários à concepção de condomínios residenciais horizontais: racionalização, produtividade, qualidade e custo.
- Apresentação de algumas alternativas de sistemas construtivos potencialmente viáveis para uso na execução de condomínios residenciais horizontais ou unidades residenciais produzidas em série.

1.3 Metodologia

O trabalho se desenvolve através de estudo realizado para a construção do Condomínio Jardins de Barcelona, em São José do Rio Preto, pela Rodobens Negócios Imobiliários, através de seu departamento técnico, do qual a autora participa. O Condomínio em questão é composto de 198 residências térreas e geminadas. A finalidade do estudo foi estabelecer o sistema construtivo mais viável para o empreendimento.

Inicialmente são discutidos sucintamente alguns conceitos relacionados à concepção de condomínios residenciais horizontais, no que diz respeito à racionalização, qualidade e produtividade. Essa conceituação é feita através de breve revisão bibliográfica, com finalidade de embasamento teórico.

Posteriormente, são descritos alguns dos vários sistemas construtivos que estão sendo utilizados no Brasil para a construção de unidades residenciais em série, apresentando-se suas principais características (projeto, materiais, componentes e execução). Com isso, pretende-se registrar o panorama atual deste setor.

Finalmente apresenta-se o sistema construtivo Jet Casa, que emprega painéis auto-portantes pré-fabricados, constituídos de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado. São descritas as particularidades construtivas do sistema e é feita uma abordagem dos aspectos relevantes para obra em questão, no que diz respeito ao aproveitamento da mão de obra e melhoria da produtividade, padronização de procedimentos, organização do canteiro de obras, custos, desempenho e racionalização. Apresenta-se também, sucintamente, o processo construtivo em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, enfocando-se prioritariamente aspectos relacionados ao empreendimento em questão. Estas duas alternativas são finalmente comparadas, para análise da viabilidade. Desta análise comparativa, resultam as considerações finais, destacando-se a escolha efetuada pela empresa para a obra em questão e os parâmetros que influenciaram nesta decisão.

2. CONCEITOS GERAIS

A atual configuração da indústria da construção civil, fundamentada na competitividade empresarial, não se estabeleceu em um curto espaço de tempo. Ela passou por diversos estágios sucessivos de evolução tecnológica. Considera-se que o primeiro estágio seja puramente técnico, ou seja, com ausência de qualquer ciência aplicada, limitando-se à adaptação de técnicas vindas do exterior às condições locais. O Brasil passou por esse estágio desde a sua descoberta até o início do século 19 (BARROS, 1996).

Nessa época, as técnicas utilizadas na construção das fortalezas, igrejas e edifícios eram as mesmas que os europeus utilizavam, adaptadas ao meio e às condições de trabalho coloniais. Não envolviam nenhum conhecimento teórico ou de pesquisa. As obras eram “riscadas” e construídas por mestres portugueses ou por militares “oficiais de engenharia” ou ainda por padres instituídos em questões de arquitetura para a construção de mosteiros e igrejas (VARGAS, 1994).

Segundo TELLES (1984), “a partir do primeiro quartel do século 17, tornam-se cada vez mais numerosas as construções de pedra e cal, inclusive casas particulares”, as quais eram feitas artesanalmente, sem nenhum plano formal, às vezes pelo próprio morador ou seus vizinhos e amigos. As técnicas empregadas nesse período eram, no caso de moradias mais simples, o pau-a-pique, adobe ou taipa de pilão e, nas habitações mais sofisticadas, a pedra, o barro e, às vezes, o tijolo e a cal.

O próximo estágio refere-se à aplicação de teorias e métodos científicos aos problemas da técnica já estabelecida. Esse estágio tem início no Brasil a partir da criação das escolas militares e de engenharia, com a chegada da corte portuguesa. Uma das principais alterações significativas no setor da construção ocorre em meados do século 19. Nessa época, a produção deixou de ser realizada apenas para uso próprio e passou a atender ao mercado, pois em função da expansão da atividade cafeeira, houve um adensamento dos centros urbanos, exigindo-se a construção de moradias, de obras de infra-estrutura urbana e também a abertura de caminhos para o escoamento da produção (FARAH, 1992).

No que se refere ao conhecimento embutido na atividade produtiva VARGAS (1994) salienta que nesse período os conhecimentos tecnológicos dos materiais e processos construtivos eram limitados; as propriedades dos materiais empregados eram mal conhecidas. Além disso, os processos e operações de construção eram deixados à prática empírica dos mestres de obra.

Na medida em que os edifícios passavam a ser produzidos como mercadoria, a produção de seus insumos também se convertia em produção para o mercado.

Segundo VARGAS (1994), “os primeiros materiais de construção industrializados, precariamente, foram os tijolos, vindo a substituir o processo artesanal da taipa nas construções das paredes de edifícios”.

Em fins do século 19, com a multiplicação das olarias em torno de São Paulo, começou a se difundir uma nova tecnologia: a alvenaria de tijolos. Segundo o IPT (1988), por essa época, “nas construções de pequeno porte passaram a predominar as alvenarias portantes de tijolos, às vezes complementadas por peças estruturais de aço ou de concreto armado”.

Para REIS FILHO (1978), a arquitetura do século 19, com o emprego dos tijolos maciços nas paredes de alvenaria, conseguiu reduzir significativamente os erros de medida de decímetros para centímetros; além disso, salienta que, com a uniformidade na largura das paredes, foi possível a produção mecanizada de portas e janelas.

Um outro estágio de evolução no conhecimento tem início quando aparecem, no começo do século 20, em São Paulo e no Rio de Janeiro, os institutos de pesquisas tecnológicas, que perduram até os dias atuais. Nesse período ocorreram grandes mudanças estruturais em toda a sociedade brasileira, com expressivas repercussões sobre a indústria da Construção. FARAH (1992) afirma que conhecimentos científicos passaram a ser aplicados na construção de edificações nas décadas de 20 e 30.

As alterações tecnológicas atingiram os canteiros de obras, sobretudo através da incorporação de novos materiais, componentes e ferramentas que permitiam pequenas transformações na produção de edifícios. Ao mesmo tempo em que o concreto armado passa a ser amplamente utilizado como estrutura, outros componentes de alvenaria aparecem no mercado, como por exemplo, os tijolos cerâmicos de oito furos em 1935, os blocos de concreto em meados da década de 50 e os blocos sílico calcários em meados da década de 70.

Com a verticalização, a questão estrutural passou a ser fundamental e o grande desenvolvimento concentrou-se na produção de estruturas de concreto. A alvenaria, por sua vez, passa a um segundo plano, uma vez que seu uso como elemento resistente ficou limitado às edificações de um só pavimento ou, então, como vedação de edifícios altos. Com isso, a utilização da estrutura reticulada de concreto e alvenaria de componentes cerâmicos na construção de edifícios, passou a ser o processo construtivo tradicional, sobretudo das cidades em desenvolvimento, como São Paulo e outras capitais do país.

Com a mudança de regime de governo em 1964, teve início uma nova etapa de desenvolvimento da indústria da construção civil. Intensificou-se o desenvolvimento dos sub-setores de construções pesadas e montagem industrial. Quanto à produção

de habitações, ainda que a demanda fosse crescente, o mercado estava praticamente paralisado por falta de recursos financeiros.

A resposta à grande demanda e à ausência de recursos foi a criação do Banco Nacional de Habitação (BNH), que buscava a produção em massa de unidades habitacionais, proporcionando condições para a expansão da área de edificações e do próprio setor de materiais e componentes. Por esse período o mercado voltou-se para a industrialização e a pré-fabricação, com o uso de mecanização intensiva, empregando-se, de modo geral, novos processos construtivos e, assim, mais uma vez, o processo construtivo tradicional de produção de edifícios foi deixado para um segundo plano.

Com a filosofia da industrialização, o setor teve grande expansão até o início da década de 70, começando a dar sinais de queda gradual a partir do seu final, intensificando-se a recessão em meados da década de 80. Com a retração do mercado, a racionalização da produção de edifícios construídos pelo processo construtivo tradicional passa a ser uma das estratégias de ação das empresas construtoras para enfrentar a concorrência.

Mas, para SABBATINI (1998), não podemos cometer os mesmos erros. “Devemos compreender que essencialmente o que necessitamos é de mudanças organizacionais que permitam atingir maiores níveis de eficiência. Novos métodos construtivos são importantes, mas nada resolvem se não estivermos preparados para tirar deles os resultados pretendidos e prometidos. E estarmos preparados é o mesmo que dispormos de uma organização produtiva coerente com os mesmos”.

As vantagens da utilização de sistemas industrializados de construção são inúmeras. No entanto, sua relação custo / benefício deve ser analisada para cada tipo de obra. Em obras de pequeno porte podem se tornar inviáveis pelo alto custo, uma vez que é necessária uma produção em maior quantidade para se viabilizar. Em termos gerais, ainda falta escala na industrialização para a construção civil, mas percebe-se uma preocupação cada vez maior na utilização de sistemas construtivos que proporcionam o uso mais adequado de materiais e mão de obra. Para MAMEDE (2001), atualmente, torna-se cada vez mais importante o fato da construção civil ser analisada sob aspectos referentes à industrialização através do emprego racionalizado de técnicas construtivas que viabilizem o aumento da produtividade e a redução de custos.

Na construção de edifícios, o resultado com ganho de qualidade dos produtos e a redução dos custos de produção passa pela racionalização da produção das diversas partes do edifício, desde a etapa de projeto até a execução.

Neste capítulo são apresentados sucintamente conceitos relacionados à racionalização, produtividade e qualidade na construção de edifícios. Também são abordados brevemente conceitos sobre sistemas construtivos, industrialização e pré-fabricação. Estes conceitos são importantes para um melhor embasamento do estudo ora proposto, pois estão relacionados à adoção de novas tecnologias construtivas racionalizadas, o que consiste numa meta a alcançar na implantação de condomínios similares ao empreendimento estudado. Embora estes conceitos sejam desenvolvidos preferencialmente focando-se o edifício de multi-pavimentos, entende-se que eles são gerais e se aplicam conceitualmente ao objeto deste estudo.

2.1 Racionalização

Os altos índices de desperdício ainda hoje são uma realidade na indústria da construção civil. A racionalização construtiva é uma das principais aliadas contra estes desperdícios. Eles podem ser minimizados, de acordo com SOUZA (2002), através de uma série de medidas de racionalização, como, por exemplo, uma eficiente coordenação de projetos, desde o anteprojeto; o estabelecimento de procedimentos executivos claros; a realização de projetos para a produção, detalhando a execução dos serviços. Para ele, é preciso estimular e sedimentar a mudança de postura por parte de empresários, engenheiros e arquitetos, para dar condições adequadas à discussão e adoção de soluções construtivas anteriormente à execução no canteiro de obras, no momento em que se realizam os serviços, evitando que decisões de última hora prejudiquem o potencial de racionalização da produção. “Adotar um projeto para produção tem o objetivo de garantir que as soluções adotadas tenham sido suficientemente abrangentes, integradas e detalhadas e que, depois de terminado o projeto, a execução ocorra de forma contínua, sem alterações e improvisos”.

MELHADO (1994) conceitua o projeto para produção como “um conjunto de elementos de projeto elaborado de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção em obra, contendo as definições de disposição e seqüência de atividades de obra e frentes de serviço; o uso de equipamentos e arranjo e evolução do canteiro de obras, dentre outros itens vinculados às características e recursos próprios da empresa construtora”.

SOUZA (2002) ainda cita que a experiência de países técnica e socialmente mais evoluídos do que o Brasil serve de inspiração para afirmar que a redução do número e da complexidade de etapas construtivas, a antecipação e a multidisciplinaridade das tomadas de decisão, associadas a uma clara definição de procedimentos construtivos, com treinamento de mão de obra e uso racional de

equipamentos adequados, permitem ganhos consideráveis de qualidade e produtividade e, conseqüentemente, de competitividade.

BARROS (1998) salienta que na racionalização da produção de todo um edifício que tem um grande número de atividades e variáveis envolvidas, a primeira opção é pensar em iniciar a racionalização pelo processo de execução do subsistema estrutura. Além de ser o elemento suporte de todo o edifício, a estrutura serve de referência para a execução das vedações, dos revestimentos, das instalações, entre outras atividades. Por esses motivos, a estrutura do edifício é um dos subsistemas que mais vem recebendo a atenção por parte dos envolvidos com a sua produção.

Mas a racionalização da produção de edifícios não é passível de ser obtida de um momento para outro. É preciso que a empresa esteja disposta a se organizar e a investir na melhoria contínua de seu processo de produção. Conclui-se que todas as ações deverão estar vinculadas a uma visão sistêmica que considere a produção do edifício como um todo, para que a racionalização possa ter um maior alcance, resultando em maiores ganhos de produtividade, qualidade e, por conseqüência, de competitividade empresarial.

O conceito de racionalização não é recente: há muito tempo fala-se em racionalizar uma determinada coisa ou atividade. É um termo que tem um significado bem definido, tanto coloquialmente como no meio técnico, ou seja, o termo racionalização pode ser entendido como o ato ou o efeito de racionalizar alguma coisa, tornar racional, tornar mais eficientes os processos de trabalho ou a organização de empreendimentos.

Entende-se a racionalização como um processo dinâmico que se desenvolve e se aperfeiçoa sistematicamente e que tem por objetivo a otimização na utilização dos recursos humanos, materiais e organizacionais que intervêm na construção (LIECHTENSTEIN, 1987). Outros autores se preocupam em ampliar mais ainda o conceito de racionalização e não focá-lo somente nos recursos em si.

ROSSO (1980) define racionalização como o processo mental que governa a ação contra os desperdícios temporais e materiais dos processos produtivos, aplicando o raciocínio sistemático e lógico, através de um conjunto de ações reformadoras que se propõe a substituir as práticas rotineiras convencionais por recursos e métodos baseados em raciocínio sistemático, visando eliminar a casualidade nas decisões. Ou seja, racionalizar é planejar totalmente um empreendimento antes de executá-lo. É utilizar a fase de planejamento para prever todas as etapas de construção.

SABBATINI (1989) particulariza o termo “racionalização” para a atividade específica de construção e propõe: “Racionalização construtiva é um processo

composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases”.

Para FRANCO (1998), esta definição, embora esteja de acordo com o senso comum, é muito mais abrangente que as ações que à primeira vista devem ser implementadas para a consecução de seus objetivos. Não se pode imaginar que a racionalização seja constituída simplesmente pela substituição dos materiais e equipamentos tradicionais por congêneres de maior qualidade e desempenho. Esta visão limita os possíveis resultados que podem advir da racionalização construtiva. Ele ainda afirma que o conceito de racionalização construtiva só pode ser plenamente empregado quando as ações são planejadas desde o momento da concepção do empreendimento.

BARROS (1996) propõe um modelo para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas em cinco diretrizes: desenvolvimento da atividade de projeto; desenvolvimento da documentação; desenvolvimento dos recursos humanos; desenvolvimento do setor de suprimentos voltado à produção e desenvolvimento do controle do processo de produção.

Para THOMAZ (2001), a racionalização da construção passa obrigatoriamente pela correta coordenação dimensional dos componentes e pela racionalização dos projetos. Para ele, é através do projeto que se pode recorrer às inovações tecnológicas existentes, ao nível de materiais, processos ou equipamentos. As definições do projeto é que determinarão a maior ou menor eficiência da forma de construir, a maior ou menor agregação de tecnologia ao objeto construído.

Nos sistemas tradicionais de construção, pequenas e variadas ferramentas vêm sendo desenvolvidas, visando atender aos requisitos ergonômicos dos trabalhadores e aumentando a produtividade dos serviços: gabaritos para o posicionamento de vãos, colheres em “Vê” para o assentamento de blocos vazados, desempenadeiras para cantos e quinas, rolos de espuma para aplicação de chapisco, apoios para caixas de massa, niveladores para concretagem de lajes, fitas adesivas com marcação das fiadas (substituindo o escantilhão), padiolas e carrinhos adaptados para as características dos materiais a serem transportados, entre outros.

Como providências na direção da racionalização THOMAZ (2001) ainda aponta o fornecimento de materiais em embalagens adequadas (pallets, proteção com filme de polietileno), a adoção de centrais para corte e dobramento de armaduras (ou através de fornecedores de armadura pré-montada), as centrais de preparação de kits das instalações elétricas e hidráulicas, as centrais de argamassa, e a pré-moldagem em canteiro (contramarcos, peitoris, vergas e contra-vergas, escadas, placas em

argamassa armada para fechamento de shafts, meio-fios, canaletas, lajotas e outros componentes).

Este contexto abrangente decorre do fato de que deficiências em atividades em qualquer uma destas áreas podem inviabilizar completamente o esforço de implantação efetiva da racionalização em uma empresa, não os consolidando como atitude permanente e restringindo os seus resultados positivos a apenas alguns empreendimentos específicos.

Apesar de ser notória essa tendência das empresas de buscar a racionalização na produção de edifícios, através da otimização das atividades de obra, abreviação de prazos, minimização de custos, etc., ainda há uma forte resistência em se mudar os aspectos gerenciais convencionais que caracterizam o setor. Mas deve-se ter em mente que as ações precisam ser abrangentes, envolvendo todo o pessoal que atua no processo construtivo, para se evitar as barreiras culturais quando da implantação de processos racionalizados.

2.2 Produtividade

O termo produtividade diz respeito aos bens produzidos com a utilização dos fatores de produção. É considerada por SOUZA (1998) como a eficácia na transformação de recursos em produtos. Para se medir a produtividade faz-se uso de indicadores, normalmente calculados por meio de uma relação entre as entradas necessárias e as saídas geradas pelo processo. Assim, o número de homens-hora demandados para se fazer um metro quadrado de vedação é um exemplo de indicador de produtividade, assim como o número de reais demandados pelo mesmo metro quadrado também o é.

Pode-se falar em indicadores globais ou parciais. Também é possível se falar em produtividade física (as entradas são representadas por quantidades dos recursos físicos, como por exemplo, número de tijolos, quilos de cimento) e em produtividade financeira (as entradas são calculadas em valores monetários, como por exemplo, em reais).

A produtividade pode ser analisada em vários níveis hierárquicos. Para a direção geral de um empreendimento, um indicador mais global sobre um serviço (por exemplo, o número de reais gastos por metro quadrado de vedação vertical) é normalmente desejável. Já para o setor responsável pela aquisição, um indicador interessante pode ser o que relaciona o número de reais demandados para a aquisição de cada unidade de material empregado na obra. Para o pessoal da produção propriamente dita, o conhecimento da eficácia em transformar cada unidade

de recurso físico em produto final (por exemplo, o número de homens-hora necessários para se executar uma unidade de serviço) pode ser a informação desejável.

Para se ter sucesso quanto aos custos, é importante cuidar da produtividade, seja financeira (mensurando o sucesso na aquisição dos recursos físicos necessários) ou física (mensurando o sucesso quanto ao uso dos recursos físicos na execução do serviço).

Teoricamente há uma dependência do custo direto com a produtividade, no uso dos recursos físicos. Investir em tecnologia e / ou avaliar novas tecnologias disponíveis é um caminho que pode levar a uma melhora da produtividade e, conseqüentemente, redução de custos. Há que se frisar, no entanto, que somente tecnologia não basta: a correta gestão pode ser também decisiva para distinguir utilizações de boa ou má produtividade, o que, no contexto atual, pode significar o sucesso ou insucesso quanto aos custos do sistema construtivo adotado.

Em um empreendimento onde teremos a produção de várias unidades em série, podemos ter uma maior ou menor produtividade de acordo com o sistema construtivo escolhido.

2.3 Qualidade na Construção Civil

Sendo a qualidade uma exigência cada vez mais solicitada pelo mercado, SABBATINI (1989) sugere que parece óbvio que uma empresa, para manter seu grau de competitividade, precisa atender melhor a esta exigência do que a concorrência. O que não é de entendimento consensual é que somente alterando profundamente a organização dos processos de produção é que será possível ter certeza da qualidade prometida e entregue. Qualidade entendida como satisfação das exigências do cliente, mas, também, como ausência de falhas que impliquem em custos de manutenção não previstos.

Além disso, para que um empreendimento tenha qualidade não basta a empresa construtora ter certificação de acordo com as normas da série ISO 9000. Hoje, os processos de certificação de qualidade são quase inevitáveis devido à grande competitividade ou exigência destes certificados por parte de alguns contratantes. A qualidade de um empreendimento é superior ao plano de qualidade da obra. O plano de qualidade de um empreendimento precisa ter claramente definidas as necessidades as quais este produto precisa atender.

Um elemento extremamente citado nos planos de Gestão da Qualidade para as empresas de Construção Civil é a melhoria contínua. A melhoria contínua deve ser

o foco das atividades produtivas de todos os setores das empresas e deve abranger todo o pessoal, principalmente a alta gerência, no sentido de dar credibilidade ao processo e fazer da qualidade um propósito em longo prazo.

Para SOUZA (2000), “não há sentido em se falar em qualidade na obra ou produtividade no processo construtivo quando não se tem planejado o local onde os serviços da construção acontecem”. MAMEDE (2001) ressalta que o investimento no planejamento e a elaboração de um canteiro de obra trarão resultados positivos para a empresa, tanto no sentido quantitativo como qualitativo. A correta estocagem de materiais e componentes reduzirá as perdas, a determinação de linhas de fluxo afetará a produtividade, e a melhoria das condições das áreas de vivência dos trabalhadores será absorvida como forma de motivação.

Todos esses procedimentos de qualidade e gestão podem resultar em economia, tão almejada para se obter lucro na construção civil.

2.4 Técnicas, Métodos, Processos e Sistemas Construtivos

Técnica Construtiva é definida por Barros (1996) como “o conjunto das habilidades de um determinado profissional, no caso presente, operário da construção, para realizar uma determinada operação”.

De acordo com SABBATINI (1989), técnica construtiva é “um conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma edificação”. Podemos considerar a técnica construtiva como uma subdivisão do método construtivo. SABBATINI (1989) define método construtivo como “um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte (subsistema ou elemento) de uma edificação”.

Já o sistema construtivo é visto por SABBATINI (1989) como “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”. E ele ainda resume processo construtivo como “um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura às vedações do edifício (invólucro)”.

Analisando a definição de método construtivo proposta por SABBATINI, verifica-se que o termo processo construtivo tem uma definição mais ampla. Para BARROS (1996), o conceito de processo construtivo é similar: consiste num conjunto de métodos construtivos pré-determinados, caracterizando-se também pela organização do processo de produção.

MARTUCCI (1990) considera que o processo construtivo “viabiliza, através da tecnologia e da técnica, a materialização das unidades habitacionais, ou seja, o processo construtivo é o responsável por definir as formas e as capacidades técnicas e econômicas de se construir” e envolve “um determinado estado tecnológico, indutor da forma de se executar os edifícios, ou seja, sintetiza o conjunto de conhecimentos técnicos e organizacionais passíveis de serem combinados, em função do grau de desenvolvimento tecnológico em que se encontram a indústria de materiais de construção e a indústria de máquinas, equipamentos e ferramentas para a construção civil, (...) bem como os processos de trabalho, incorporados nas técnicas construtivas”.

Para SABBATINI (1989), a diferença entre sistemas e processos construtivos é que sistema construtivo é “o conjunto de partes coordenadas que se inter-relacionam” e processo construtivo é “o conjunto de métodos inter-relacionados”. O termo sistema construtivo refere-se mais às características dos componentes e subsistemas e sua conseqüente montagem e desempenho, e processo construtivo refere-se ao uso de métodos ou processos construtivos específicos.

Ainda através das definições de alguns autores podem-se diferenciar processos construtivos tradicionais, racionalizados ou industrializados. De acordo com BARROS (1996) essa classificação pode ser proposta “considerando-se o grau de desenvolvimento tecnológico, ou seja, as características específicas da tecnologia construtiva empregada, bem como as características organizacionais implementadas para a produção de edifícios”.

SABBATINI (1989) classifica os processos construtivos como tradicionais, racionalizados e industrializados. Os processos construtivos tradicionais são aqueles “baseados na produção artesanal, com uso intensivo de mão-de-obra e baixa mecanização (produção essencialmente manual), com elevados desperdícios de mão-de-obra, material e tempo, dispersão e subjetividade nas decisões, descontinuidade e fragmentação da obra”. O INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (1988) denomina esse processo construtivo de “processo convencional” e ainda completa que “na construção convencional, os elementos do edifício são produzidos no próprio canteiro – via de regra no seu local definitivo de emprego – através da reunião de materiais e componentes fornecidos pela indústria de materiais e componentes”.

SABBATINI (1989) define que “processos construtivos racionalizados são aqueles nos quais as técnicas organizacionais utilizadas nas indústrias manufatureiras são empregadas na construção sem que disto resultem mudanças radicais nos métodos de produção”. O autor finalmente conceitua processo construtivo industrializado com sendo “aquele baseado no uso intensivo de componentes e

elementos produzidos em instalações fixas e acoplados no canteiro. Utiliza preponderantemente as técnicas industriais de produção, transporte e montagem. A integração do todo se submete aos princípios organizacionais da indústria estacionária”.

MARTUCCI (1990) apresenta conceituação similar, mas denomina os processos construtivos racionalizados de “tradicionais racionalizados”. Ele classifica os processos em cinco níveis: processos construtivos artesanais, tradicionais, tradicionais racionalizados, pré-fabricados e industrializados. Os processos construtivos artesanais são “aqueles que carregam um forte traço regional, cultural e histórico. São transmitidos de uma geração para outra como um patrimônio”. E ainda diferencia os processos construtivos tradicionais como sendo “aqueles que vêm se mantendo, na prática, através de longos anos. Estão incorporados culturalmente na história da construção de edificações”. “São processos que estão amplamente disseminados e arraigados na prática construtiva de pessoas, empresas e instituições em geral”.

BARROS (1996) realizou pesquisa junto a diversas empresas para subsidiar o desenvolvimento de sua tese de doutorado, que demonstrou na época que o processo construtivo tradicional era o mais empregado na cidade de São Paulo. E salienta que nos processos construtivos racionalizados, todas as etapas de projeto (arquitetura, estruturas, instalações, alvenarias, esquadrias, impermeabilização, revestimentos, etc.) são desenvolvidas em conjunto, interagindo e convergindo para o projeto voltado à produção, que deve conter informações necessárias e suficientes para que o edifício seja produzido sem a necessidade de tomada de decisões subjetivas e no momento da produção.

Prossegue afirmando que as técnicas organizacionais devem ser introduzidas tanto na etapa de projeto como na de produção. Nesses processos construtivos, os projetos passam a ser elaborados com maiores definições técnicas, voltando-se mais à produção e não se restringindo apenas ao produto. Há efetivamente a coordenação de projetos, buscando a otimização de todos os recursos que estarão envolvidos com a produção desde o início do empreendimento, levando o conhecimento das tecnologias construtivas utilizadas no canteiro à fase de projeto. Além disso, o canteiro passa a ser organizado, buscando-se maior racionalidade das atividades. Introduce-se o conceito de centralização da produção, montando-se unidades produtoras tais como de argamassas, formas, armaduras, “kits” hidráulicos e elétricos.

“Fica evidente a evolução que os processos construtivos vão alcançando à medida que se incorporam os princípios de organização e tecnologias construtivas que buscam a racionalização do processo, ou seja, que procuram diminuir os desperdícios

gerados pelo emprego inadequado de materiais, pelo retrabalho, pela baixa produtividade, entre outros”.

Pode-se considerar que a maioria dos sistemas construtivos que serão apresentados neste trabalho nos capítulos seguintes possui características de processos construtivos racionalizados, em diferentes níveis, que precisam ser planejados desde a fase anterior à concepção do empreendimento para que as vantagens de cada sistema possam ser aproveitadas em sua potencialidade.

2.5 Industrialização e Pré-fabricação

A pré-fabricação na construção civil no Brasil só apareceu nos anos 50 e seu uso, ao nível de industrialização, ocorreu mais efetivamente nos anos 60, ainda de forma limitada. Em 1978, com a criação da ABCI (Associação Brasileira da Construção Industrializada), houve um maior intercâmbio entre as várias regiões do país, impulsionando um pouco mais a construção pré-fabricada, uma vez que ela contribuiu para uma maior divulgação de técnicas, publicações e estudos voltados para industrialização de peças pré-moldadas de concreto armado.

Em 1986, a Associação Brasileira da Construção Industrializada lançou o Manual Técnico de Pré-Fabricados de Concreto, que, segundo seus autores, nasceu da consciência de que a construção industrializada precisaria ter uma linguagem comum para atingir o mercado da Construção Civil. Também nessa mesma época, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) produziu a NBR 9062, que fixa as condições exigíveis no projeto, na execução e no controle de estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido. Estes documentos, além de servirem de referência e normalizar a utilização dos pré-moldados, resultam de pesquisas e trabalhos que ajudaram a impulsionar o seu uso.

Apesar dos avanços tecnológicos na área da pré-fabricação, sua utilização ainda continua muito concentrada em edificações comerciais e industriais e na construção pesada. No entanto, as perspectivas para a utilização da pré-fabricação no Brasil são de crescimento, decorrentes da tendência atual de melhorar a produtividade com redução de custos e desperdícios, e ao mesmo tempo racionalizar os sistemas construtivos, especialmente em empreendimentos onde estas características são importantes (como hotéis, condomínios habitacionais e outras obras que tem um cronograma de execução pré-determinado).

A racionalização e a industrialização têm ligação entre si. É através da industrialização que se consegue implementar processos racionalizados na construção civil. Para FRANCO (1992), a industrialização da construção é o “processo evolutivo

que, através das ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, de métodos de trabalho, e técnicas de planejamento e controle, tem como objetivo incrementar a produtividade e o nível de produção, e aprimorar o desempenho da atividade construtiva”.

EL DEBS (2000) define a pré-moldagem como um processo de construção em que a obra, ou parte dela, é moldada fora de seu local de utilização definitivo. Frequentemente a pré-moldagem é relacionada a outros dois termos: a pré-fabricação e a industrialização da construção. Sugere ainda que a pré-moldagem aplicada à produção em grande escala resulta na pré-fabricação, que, por sua vez, é uma forma de buscar a industrialização da construção.

Entre as várias formas de se definir a industrialização da construção (ORDÓNEZ, 1974) destaca-se aquela apresentada pelo Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y Del Cemento, segundo o qual a “industrialização da construção é o emprego, de forma racional e mecanizada, de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas, para se conseguir uma maior produtividade”. Aproveitando ainda a reunião de definições apresentadas no livro de Fernández Ordóñez para a pré-fabricação, KONCZ (1996) *apud* EL DEBS (2000) diz que “... pré-fabricação é um método industrial de construção em que os elementos fabricados em grandes séries por métodos de produção em massa são montados na obra, mediante equipamentos e dispositivos de elevação”.

A NBR 9062/1985 define elemento pré-fabricado como aquele produzido fora do local de utilização definitiva na estrutura, em usina ou instalações analogamente adequadas aos recursos para produção, e que disponham de pessoal, organização de laboratórios e demais instalações permanentes para o controle de qualidade, devidamente inspecionados pela fiscalização do proprietário. O elemento pré-fabricado é, portanto, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade. Já o elemento pré-moldado é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade menos rigoroso que o elemento pré-fabricado.

A construção civil, de acordo com SABBATINI (1998), é fundamentalmente uma atividade industrial. Isto porque tem como objetivo transformar recursos existentes em produtos úteis à sociedade. Na construção civil, o conceito de industrialização não tem sido adequadamente compreendido. Muitos ainda confundem-no com o conceito de pré-fabricação, que nada mais é do que uma simples manifestação da industrialização. Meregaglia, citado por ORDÓNEZ (1974), entende que a industrialização na construção civil “é uma ação organizacional, uma mentalidade. Significa transformar a empresa de construção de mentalidade artesanal

em uma verdadeira indústria. Industrialização da construção é um processo que, por meio de desenvolvimentos tecnológicos, conceitos e métodos organizacionais e investimentos de capital visa incrementar a produtividade e elevar o nível de produção”. E acrescenta: “a essência da industrialização na construção de edifícios é a organização”.

Estas definições estabelecem que a evolução da indústria da construção civil deve ser implementada através de ações organizacionais e operativas, que objetivam aumentar progressivamente o nível de produtividade operacional (relação entre o que é produzido e os recursos investidos nesta produção). O desenvolvimento deve ocorrer não só com a utilização de novos métodos e processos construtivos, novas técnicas e novos materiais, mas principalmente com o incremento progressivo do nível de organização da atividade de construção civil em todas as suas fases, do projeto ao uso do produto fabricado pela indústria.

Segundo FOSTER (1973), como um processo organizacional, a industrialização pode ser aplicada a qualquer processo construtivo. Ou seja, não existe embutido no conceito de industrialização a exigência de que, para evoluir, obrigatoriamente uma empresa tenha de alterar os seus processos construtivos. Tem, sim, que organizá-los. Em outras palavras, a industrialização não é um processo associado a saltos tecnológicos ou a mudanças operacionais radicais. Ela é essencialmente um processo contínuo de organização da atividade produtiva.

De acordo com esta concepção organizacional e evolutiva, SABBATINI (1989), propôs a seguinte definição de industrialização: “é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva”.

Assim, o desenvolvimento da industrialização da construção civil de edificações deve ser conduzido tendo por objetivo construir mais e melhores edificações a um menor custo. As empresas construtoras, para manter a sua competitividade no mercado atual, têm que investir na industrialização do seu processo de produção e no desenvolvimento tecnológico.

3. A PRODUÇÃO DE UNIDADES RESIDENCIAIS SERIADAS

A utilização da alvenaria como principal material de construção acompanha o homem há muito tempo. Na antiguidade, tem-se notícia da utilização de tijolos secados ao sol nas construções persas e assírias, já a partir de 10.000 a.C., e de tijolos queimados em fornos a partir de 3.000 a.C. (FRANCO, 1998). São notáveis os exemplos de realizações de alvenaria da antiguidade, dentre os quais podem ser citados a Muralha da China, construída entre 300 e 200 a.C., o Coliseu em Roma, cuja construção terminou em 82 d.C. e o farol de Alexandria, construído em alvenaria de pedra há cerca de 2.260 anos, destruído por um terremoto no século 12.

No Brasil, a alvenaria de pedras foi utilizada nas cidades litorâneas em que este material existia em abundância. A utilização de tijolos só se tornou popular a partir do ciclo econômico do café, começando por obras ligadas diretamente ao beneficiamento daquele produto agrícola.

Em 1867, instalou-se em Campinas a primeira olaria mecanizada e com grande produtividade mensal. A partir de 1886, Ramos de Azevedo construiu edifícios públicos nos quais, o arquiteto mostrou toda a potencialidade da alvenaria. Este foi o método de construção dos palacetes da classe alta, a partir de 1890. Nos anos 30, iniciou-se a utilização intensiva do concreto armado mesmo nas construções de pequena altura (LEMOS, 1985).

O domínio tecnológico da produção das alvenarias e revestimentos até esta época era dos mestres de obra, responsáveis pelo andamento e qualidade da execução dos serviços. As técnicas eram repassadas informalmente de geração para geração de profissionais.

Segundo FRANCO (1998), a racionalização da construção do edifício tradicional passa necessariamente pela racionalização dos serviços de vedação vertical. A vedação vertical é um dos principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício, sendo a principal responsável por características ligadas ao conforto higro-térmico e acústico, pela segurança de utilização e pela estética. Suas características condicionam também a possibilidade de ocorrência de problemas patológicos (nos seus próprios componentes – alvenaria e revestimentos – ou nos subsistemas nela localizados, como as instalações prediais, ou ainda nas interfaces).

Nos últimos anos, algumas empresas têm reconhecido a importância da vedação vertical para a racionalização dos edifícios e têm investido na implantação de tecnologias racionalizadas para sua produção. Além disso, a competitividade estabelecida por uma economia globalizada certamente tem impulsionado as

empresas do setor para que revejam suas formas de produção, a fim de melhorar a qualidade de seus produtos e do processo produtivo (BARROS, 1996).

ROCHA LIMA JR. (1993) já afirmava que os que pretendessem se perpetuar no setor deveriam ter rotinas de ação empresarial orientadas por um vetor de modernidade balizado pela adequação dos métodos de administração e gerenciamento; pela capacidade de entender o relacionamento empreendedor / mercado em toda a sua dimensão e pelo condicionamento dos processos de produção a tecnologias que resultassem numa melhoria no nível de perdas, através da sua racionalização. Isso tem sido perseguido por muitas empresas, através de diferentes ações que almejam o mesmo objetivo, ou seja, a excelência da produção e do produto oferecido.

Dentre as muitas ações adotadas, destaca-se a busca pela racionalização da produção. Hoje, algumas empresas encontram-se num patamar de organização tal que grande parte da sua produção encontra-se racionalizada; entretanto, não se trata da maioria das empresas e muito ainda se tem por fazer para que se possa evoluir tecnologicamente. É evidente que se deve buscar a racionalização da produção de todo o edifício; porém, essa ação não é fácil de ser praticada, principalmente pela complexidade do processo construtivo.

O mercado de construção de edifícios tem assimilado as novas tecnologias. De acordo com o SINDUSCON (1997), muitas empresas têm buscado alternativas construtivas que tentam suprir as deficiências existentes e, dentro de um processo de evolução tecnológica, atender à necessidade de um produto final com custo e qualidade compatíveis com a realidade do país.

A falta de conhecimentos tecnológicos está presente em todo o processo de produção de edifícios e é causada por vários fatores como: ausência de motivação e de iniciativa dos técnicos de todos os níveis, diante das dificuldades de implantação de inovações; inexistência de uma postura tecnológica das empresas de construção civil; ausência de projetos específicos voltados à produção; uso de materiais e componentes praticamente desconhecidos quanto ao seu desempenho e falta de controle de todas as etapas do processo de produção (BARROS, 1996).

SABBATINI (1989) considera que “incrementar a produtividade operacional e evoluir tecnologicamente no setor de construção de edifícios são ações intrínsecas dependentes do desenvolvimento dos meios de produção, o que vale dizer, da criação de novos métodos, processos e sistemas construtivos e do aperfeiçoamento dos já existentes”.

Nos últimos anos foram desenvolvidos alguns sistemas construtivos e inovações tecnológicas voltados para habitação, que já foram utilizados e testados por

diversas empresas e que tiveram impacto significativo na produtividade e resultado final da obra imobiliária, conforme se apresenta sucintamente a seguir.

3.1 Inovações Tecnológicas

As alterações ocorridas no País ao longo da década de 90 proporcionaram maior estabilidade econômica. Com a abertura dos mercados aumentou o acesso a novos produtos e tecnologias vindos do exterior. Em algumas situações, estas alterações impactaram um setor tradicional que precisou se adaptar para se tornar competitivo. Geralmente, estas novas tecnologias visavam imprimir maior agilidade aos empreendimentos, com redução de etapas e diminuição de custos e da mão-de-obra envolvidos. São apresentadas a seguir algumas inovações introduzidas no mercado nos últimos anos que tiveram impacto na produtividade e no resultado final nos empreendimentos imobiliários, focando-se especialmente residências produzidas em série.

- **Radier**

É um tipo de fundação que vem sendo muito empregado em condomínios horizontais, pela simplicidade e rapidez, quando a solução é compatível com o tipo de solo. É um método de fundação direta, composto por uma laje maciça que suporta e distribui ao solo, de modo uniforme, a carga da edificação. Não é propriamente uma inovação, mas incorpora rapidez ao processo, pois diminui o número de etapas. Algumas empresas gerenciadoras de empreendimentos imobiliários registram ainda a tendência de substituir grande parte da armação convencional da laje por fibra metálica incorporada ao concreto. Outras construtoras optam pela melhoria do solo para poder executar o radier.

O radier é especialmente interessante em casa térrea ou assobradada, onde a carga é menor, podendo-se empregar lajes de pequena espessura, mais econômicas. Além disso, elimina-se a execução do contrapiso. Para a locação do radier o solo deve estar limpo e nivelado. Escavam-se as valas para posicionamento das instalações hidráulicas e elétricas, executa-se camada de brita e coloca-se lona plástica em toda a superfície do radier. A armadura é posicionada sobre a lona e efetua-se a concretagem, o desempenamento e a cura.

- **Pré-laje**

Empreendimentos como os condomínios horizontais cada vez mais têm utilizado as pré-lajes. São placas de concreto armado (eventualmente protendido),

produzidas em fábrica ou no próprio canteiro, fundidas na posição horizontal. Após atingirem a resistência necessária, as peças são erguidas para a posição definitiva com o auxílio de guindastes. Emprega-se concreto dosado em central (25 a 30 MPa) e fôrmas metálicas, embutindo-se previamente as tubulações das instalações. Para permitir um acabamento liso empregam-se desmoldantes, que deixam a laje pronta para pintura e possibilitam o empilhamento das peças no canteiro. Além da redução de pessoal na obra, incorporam qualidade e precisão nas medidas. Normalmente o sistema combina as peças pré-moldadas com concretagens no local, para melhorar a rigidez.

- **Revestimentos e pinturas**

De acordo com THOMAZ (2001), as argamassas tradicionais têm sido parcialmente substituídas por argamassas pré-dosadas ou argamassas industrializadas, fornecidas em sacos ou, mais recentemente, em silos. A cal vem sendo parcialmente substituída por aditivos plastificantes ou incorporadores de ar. Aditivos também têm sido introduzidos para aumentar a aderência das argamassas de revestimento, basicamente resinas fenólicas, acrílicas e vinílicas.

O revestimento de gesso em substituição ao tradicional reboco tem se mostrado vantajoso em paredes internas, pela alta produtividade e espessuras mínimas de acordo com a qualidade da alvenaria ou do tipo de fechamento utilizado. Todos estes revestimentos, hoje, podem ser aplicados através de projeção mecânica, o que potencializa a economia e a rapidez.

Têm sido utilizadas também argamassas coloridas para revestimentos externos, com várias possibilidades de texturas e acabamentos.

- **Drywall**

Os processos de construção a seco compreendem os métodos construtivos de montagem por acoplamento mecânico e se contrapõem aos métodos de moldagem no local, que empregam materiais dosados com água, como as argamassas e concretos (SABBATINI, 1989).

Em empreendimentos constituídos por várias unidades do mesmo padrão, a utilização do drywall pode trazer muitas vantagens, principalmente a rapidez (além de alívio de carga, postergação de investimento, etc.). A parede de drywall (ou gesso acartonado) é formada pelo aparafusamento de painéis de gesso em perfis de aço galvanizado. A passagem de instalações elétricas e hidráulicas ocorre entre os painéis. Este espaço proporciona ainda um melhor desempenho acústico. Por ser

mais leve que a alvenaria, o emprego do drywall resulta em alívio nas fundações e estruturas. Não há grandes restrições quanto à fixação de objetos nos painéis.

O gesso acartonado também pode ser utilizado como forro em substituição à laje de concreto armado. Esta substituição acelera a etapa de montagem da estrutura do telhado e pode ser postergada para que sua instalação ocorra após o telhamento de cada unidade residencial.

No entanto, ainda há certo preconceito por parte do usuário com relação a esta tecnologia, normalmente devido à falta de informações sobre as características de desempenho, que podem ser inclusive superiores ao da alvenaria de blocos. É importante o apoio técnico e informativo aos corretores de imóveis para que transmitam confiança no sistema drywall na comercialização dos empreendimentos, destacando claramente estas características. No empreendimento estudado, utilizou-se o forro de gesso acartonado em substituição à laje e houve treinamento para os corretores sobre as características do forro de gesso acartonado, bem como sua correta forma de utilização por parte do usuário final.

- **Porta pronta**

As portas prontas têm sido muito utilizadas em edifícios residenciais. Surgiu inicialmente em edifícios de alto padrão, mas atualmente são empregadas em outros empreendimentos, por reduzir etapas do processo construtivo, postergar o desembolso e garantir um controle de qualidade mais preciso.

A porta pronta é a transformação dos vários componentes e etapas de serviço de instalação de portas de uma obra em um sistema composto de kits pré-fabricados, padronizados e compatibilizados com os demais componentes construtivos da obra. O sistema de porta pronta é composto por batente, porta, jogos de guarnição, cunhas e fechadura. Os batentes possuem base impermeabilizada para evitar umidade do piso. Alguns fornecedores produzem batentes e guarnições reguláveis para evitar que as imperfeições nas paredes dificultem a instalação das portas.

Para atender às características construtivas e a falta de precisão na execução dos vãos, o sistema porta pronta foi lançado com o uso da espuma de poliuretano para fixação, o que possibilita uma tolerância de aproximadamente dois centímetros nos vãos de instalação.

A partir da definição do produto em projeto, é fundamental o acompanhamento da execução dos vãos, prumos e alinhamentos de paredes na obra (paredes em alvenaria ou chapas de gesso acartonado), para evitar o retrabalho na instalação dos kits. O fornecimento da porta já montada garante maior agilidade na instalação,

reduzindo o tempo da obra, o número de funcionários e o custo de colocação, principalmente na produção de um grande número de unidades habitacionais.

3.2 Alguns Sistemas Construtivos utilizados em edificações residenciais

Neste item são descritos alguns sistemas construtivos utilizados na construção de edificações residenciais. As informações têm caráter basicamente ilustrativo, já que são originárias principalmente dos produtores e responsáveis, e objetivam contextualizar o setor e apresentar algumas alternativas disponíveis no mercado. Ou seja, elas não foram analisadas de forma isenta e crítica neste trabalho. Isto será feito posteriormente, apenas para os sistemas comparados para aplicação no estudo de caso, quando os sistemas serão descritos em detalhes e analisados em seus diversos aspectos.

3.2.1 ETAM – Sistema de Alvenaria Q-LAP

O sistema de alvenaria Q-Lap foi idealizado e desenvolvido pela K-Lath Corporation, dos Estados Unidos. No Brasil, o responsável pela distribuição da tecnologia Q-Lap é a PECAN – Indústria e Comércio, que possui também várias subsidiárias distribuídas pelo Brasil, como a Q-Lap – Indústria e comércio em São Paulo e a Etam – Comércio e Representações Ltda., em Belo Horizonte.

As telas K-Lath são utilizadas há mais de 20 anos pela construção civil nos EUA e na Europa. São usadas principalmente em substituição à alvenaria tradicional de tijolos, em fachadas, divisórias, tetos rebaixados, forros, sobrepisos, etc. O sistema é constituído por telas de arame galvanizado, entremeadas com papel resistente de alta absorção, que possui orifícios por onde elas são soldadas à estrutura e através dos quais se obtém uma melhor fixação do revestimento, pois por ocasião de sua execução alguma argamassa fica neles depositada, funcionando como uma espécie de grampo de fixação. O produto final é uma alvenaria armada, cujo revestimento de argamassa pode variar a partir de 3,0 cm de espessura, com alto índice de resistência (superiores aos da alvenaria convencional) e de grande rapidez na execução.

As telas Q-Lap são oferecidas em quatro tipos diferentes, conforme a utilização:

- Q-Lap Interno, com arame de 1½” x 2”, utilizado para paredes internas, faces internas de paredes externas, divisórias, tetos rebaixados e nos serviços de arremate.

- Q-Lap Interno HD1, cuja malha é mais reforçada, com arames de 6" em 6", utilizado em paredes internas que receberão algum tipo de revestimento pesado, em pedras ou cerâmica.
- Q-Lap Externo, que possui a mesma estrutura da tela do Q-Lap Interno, porém com a adição de mais uma camada de papel betumado à prova d'água, utilizado para construção de faces externas de paredes externas, forros, telhados, cobertura e paredes de áreas úmidas.
- Q-Lap Externo HD1, que é o Q-Lap Externo, porém com o uso de arame de 6" em 6" na fabricação da tela, usado na construção de faces externas de paredes externas e fachadas, quando elas recebem algum tipo de revestimento pesado, como pedras e cerâmicas.

O sistema Q-Lap proporciona uma edificação leve, com as devidas vantagens para o sistema de fundação. O fechamento é executado com a montagem da estrutura para fixação das telas e com a fixação das telas propriamente ditas na estrutura.

A estrutura deve ser metálica ou de madeira. No caso de estrutura metálica para paredes simples e divisórias, o quadro estrutural do Q-Lap a ser construído é feito de perfil "U" $\frac{3}{4}$ " ou "U" $1\frac{1}{2}$ ", fixados por processo mecânico ou manual, diretamente à estrutura do edifício. Os elementos verticais "U" (montantes) são espaçados de 45 a 60 cm, onde são diretamente instaladas as telas através de grampos metálicos. Para paredes duplas de 13 a 15 cm de espessura são utilizados perfis "U" de 4". Para paredes acima de 15 cm de espessura utiliza-se dois perfis "U" $\frac{3}{4}$ ", um para cada parede. No caso de se utilizar estruturas de madeira para fixação das telas Q-Lap, segue-se o mesmo procedimento, porém, os montantes não devem estar espaçados mais que 50 cm.

A fixação das telas à estrutura pode ser feita manualmente, com arame galvanizado, ou mecanicamente, com um grampeador pneumático fornecido pela empresa, que confere maior velocidade à obra. Há também ganho de área útil com a diminuição da espessura da parede de 15 cm para 6 cm, o que possibilita um ganho de até 12% na área do pavimento, além de permitir total maleabilidade de formas.

Pode-se utilizar o sistema de telas Q-Lap também na execução de lajes. O sistema aceita quaisquer tipos de cobertura. Quanto às instalações hidro-sanitárias e elétricas, elas são executadas após a montagem de toda a estrutura (perfis "U") onde as telas serão fixadas. A montagem é simples devido à existência de pontos múltiplos para posicionamento e fixação das instalações. As telas são fixadas aos perfis só depois de montadas as instalações. Nos pontos de saída das caixas elétricas, a tela Q-Lap é cortada somente o necessário para a instalação das mesmas. A figura 1

mostra detalhes de lajes, paredes simples e paredes duplas utilizando-se as telas Q-Lap.

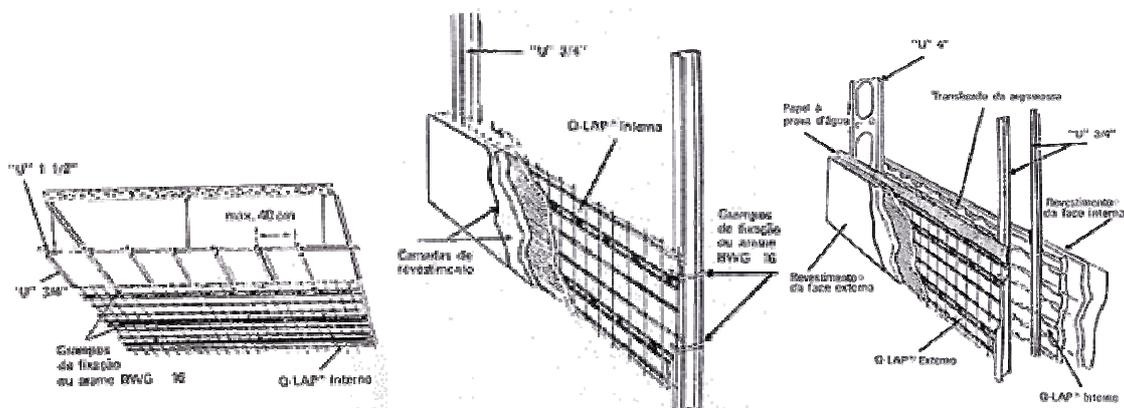


Figura 1 – Lajes, paredes simples e paredes duplas de telas Q-Lap

A demarcação dos vãos para instalação de portas e janelas é feita por perfis iguais aos utilizados no quadro estrutural da alvenaria Q-Lap, onde serão fixados posteriormente os marcos e caixilhos de portas e janelas.

O revestimento é feito logo após a fixação das telas. Inicialmente, executa-se o enrijecimento da parede Q-Lap, aplicando-se uma camada fina de argamassa de traço 1:2:2 (cimento, areia e saibro), com desempenadeira de aço comum. Depois se faz o revestimento de argamassa usual, que pode ser por processo mecânico, com o uso de bombas de jateamento controlado (que proporciona um acabamento mais uniforme), ou manual, com colher, desempenadeira e régua, de acordo com o método tradicional.

Depois de enrijecida, a alvenaria Q-Lap pode receber qualquer tipo de argamassa, revestimento em gesso, pintura, papel, plásticos, cerâmica, pedras, etc. De acordo com os fornecedores do sistema de alvenaria Q-Lap, algumas de suas vantagens são: agilidade na execução (até 5 vezes mais rápida do que a alvenaria convencional); redução de mão de obra; redução do desperdício; e redução no peso da estrutura.

O Q-Lap foi testado e aprovado em vários testes de resistência exigidos na construção civil. Com relação à resistência ao fogo, a alvenaria Q-Lap recebeu um laudo classificando-a dentro do critério de “condição incombustível” e não transmissora de calor, possuindo as características de “excelente material preventivo”, conforme texto do certificado nº 09/307.329/75, emitido pelo Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro.

3.2.2 Sistema construtivo SICAL

O sistema construtivo da Sical Industrial Ltda. é composto por painéis de vedação interna e externa, e painéis de laje. O material utilizado nos painéis é o CCA – Concreto Celular Autoclavado. O CCA foi desenvolvido na Suécia, em 1924. É produzido a partir de uma mistura de cimento, cal, areia, agente expensor (pó de alumínio) e água. A areia (com alto teor de quartzo) é moída em um moinho de bolas, via úmida, até atingir a granulometria adequada, e armazenada em tanques de homogeneização. Os outros materiais (cimento, cal e alumínio) são estocados em silos.

As matérias primas são pesadas e dosadas automaticamente e conduzidas a um misturador, onde é adicionado, por último, o agente expensor. Posteriormente a mistura é depositada em moldes. O alumínio reage com os componentes alcalinos do cimento e libera gás hidrogênio, gerando a expansão com a formação de inúmeras pequenas bolhas de ar, dispersas igualmente ao longo de todo o material. Após duas horas, a forma lateral é retirada e o material é cortado, conforme programação, utilizando-se arames especiais acoplados à máquina de corte. A cura final do material ocorre em autoclaves, por um tempo médio de dez horas, em ambiente de vapor saturado à pressão de doze atmosferas.

Para a construção de unidades residenciais, pode ser utilizada a alvenaria autoportante, que permite a construção de edificações até quatro pavimentos, ou os painéis autoportantes. Quando utilizada a alvenaria autoportante, o sistema é similar aos conhecidos processos construtivos em alvenaria estrutural de blocos de concreto ou cerâmico. Neste caso presente, as edificações são compostas por blocos com dimensões de 60 x 30 x espessura, canaletas de 30 x 30 x espessura, vergas e contra-vergas e painéis laje, que podem ser utilizados no piso, forro e degraus de escada. As espessuras podem variar de 10 a 30 centímetros, e é o projetista estrutural quem vai defini-las em função das cargas atuantes, da altura efetiva da parede e da resistência do bloco.

No caso dos painéis autoportantes, eles têm comprimento variável até 330 cm, largura de 30 até 55 cm e espessura de 10, 12,5 e 15 cm. Eles possuem armadura composta por malha de aço eletrosoldada, conforme mostra a figura 2, revestida com pintura específica para evitar oxidação. São painéis maciços e leves com densidade de 750 kg / m³ e sobrecarga de 150 kg / m². As propriedades físicas e mecânicas do painel de vedação externa são as mesmas do painel de vedação interna. O que os difere é a possibilidade do painel de vedação externa já sair de fábrica com o

revestimento aplicado. Todos os revestimentos são possíveis, tais como granito, mármore, cerâmica, pastilha, entre outros.

No canteiro de obras, tanto os blocos quanto os painéis devem ser estocados em local plano e arejado, em pilhas de no máximo 1 m de altura, sobre caibros de madeira, protegidos da chuva. O transporte vertical pode ser realizado através de guias, manualmente ou com guinchos. O transporte horizontal pode ser manual, com carrinhos tipo porta pallets.

A argamassa para assentamento da alvenaria ou dos painéis pode ser industrializada ou moldada "in loco", definida pelo projetista estrutural. Na falta de um traço específico, de acordo com o fabricante dos painéis, pode-se adotar a argamassa mista preparada "in loco" no traço 1:1:6 (cimento, cal hidratada e areia lavada média - em volume).



ARMAÇÃO DOS PAINÉIS

Figura 2 – Armação dos painéis Sical

No assentamento dos blocos, a espessura das juntas vertical e horizontal deve situar-se entre 10 e 15 mm. O procedimento é similar ao empregado em alvenaria estrutural, recomendando-se o assentamento diário máximo de oito fiadas, para preservar a estabilidade do conjunto. A figura 3 mostra detalhe de como interromper as paredes durante o assentamento dos blocos.

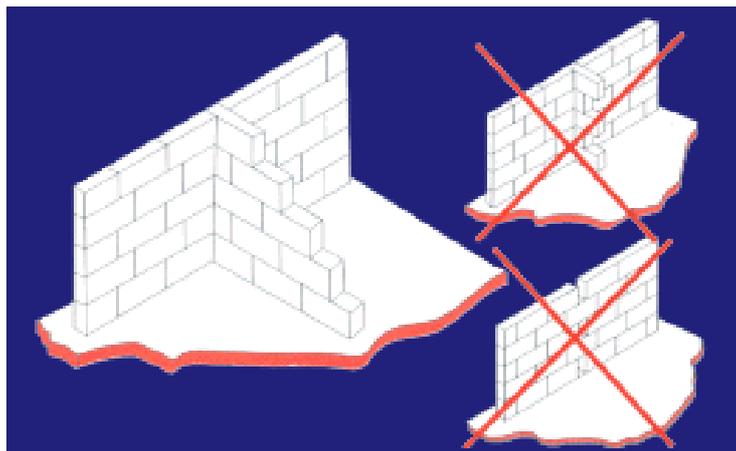


Figura 3 – Interrupção das elevações de blocos Sical

Os cuidados com a amarração permitem a construção de alvenarias com resistência significativamente superior àquelas onde estes não são considerados. Normalmente considera-se uma defasagem mínima de 40% da altura do bloco (12 cm para $h = 30$ cm) para as juntas verticais entre fiadas sucessivas. Valores inferiores a estes podem comprometer a estabilidade e contribuem para o surgimento de patologias. A união entre as paredes também requer atenção especial. Os blocos que compõe a interseção deverão ter comprimentos no mínimo iguais a meio bloco (30 cm). Para uma melhor amarração dos cantos e encontros de paredes e também para minimizar os efeitos de tensões de flexão e tração, deverão ser posicionadas armaduras nas fiadas, de acordo com a especificação do calculista. Estes detalhes podem ser vistos na figura 4.

As vergas e contra-vergas (portas e janelas) são executadas juntamente com a alvenaria. São utilizadas peças pré-fabricadas, também de Concreto Celular Autoclavado (CCA), ou blocos tipo canaleta preenchidos com micro-concreto e armadura. As contra-vergas deverão avançar no mínimo 50 cm para cada lado da abertura.

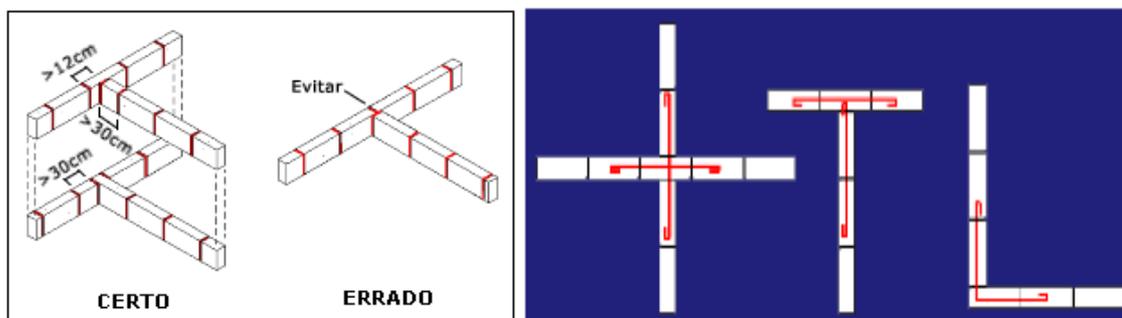


Figura 4 – Amarração da alvenaria de bloco Sical

No caso da utilização de painéis autoportantes, eles são unidos entre si através da face vertical, com argamassa colante, com juntas de espessura máxima de 0,5 cm.

Antes disso, as laterais e cabeceiras devem ser limpas com o auxílio de brocha molhada. Na montagem, os painéis são apoiados em perfis metálicos e EPS; com a ajuda de uma alavanca e de um martelo de borracha eles são pressionados uns contra os outros até a correta distribuição e compressão da argamassa nas juntas. Neste momento são utilizadas também cunhas de madeira (figura 5) para o correto posicionamento dos painéis, verificando-se seu nível e prumo.



ASSENTAMENTO PAINEL DE VEDAÇÃO. UNIÃO ENTRE PAINÉIS COM APLICAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE TIPO ACIII

Figura 5 – Assentamento dos painéis Sical com utilização de argamassa colante

Após a montagem, o vazio entre os painéis e o piso deve ser preenchido com argamassa de contrapiso, sem a retirada das cunhas de madeira, conforme figura 6. As mesmas só devem ser retiradas após o endurecimento da argamassa.

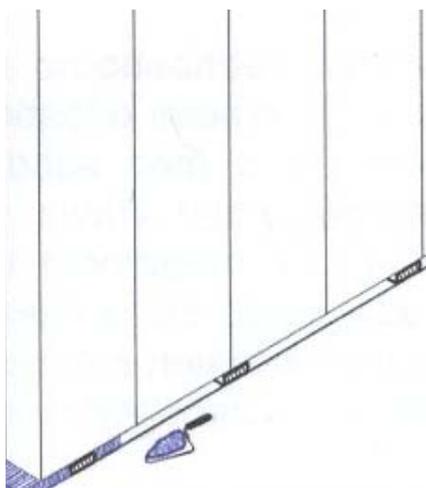


Figura 6 – Preenchimento do vazio entre os painéis Sical e o piso

As paredes hidráulicas devem exercer apenas função de vedação e devem ser executadas somente após a conclusão de todas as alvenarias autoportantes e lajes. Os sulcos para a passagem de tubulações e conduítes podem ser realizados ainda na fábrica, no caso dos painéis, ou no próprio local de montagem, no caso dos blocos,

através de rasgadores manuais ou elétricos. As tubulações com diâmetro superior a $1/3$ da espessura do painel devem ser embutidas em shafts (espaços entre os painéis), que posteriormente devem ser preenchidos com argamassa. O espaço mínimo entre a tubulação e a face do painel ou do bloco deve ser de 1,5 cm. Deve ser inserida tela de reforço metálica galvanizada # $1/2$, fio 24, transpassando 20 cm para cada lado da abertura. O detalhe pode ser visto na figura 7.

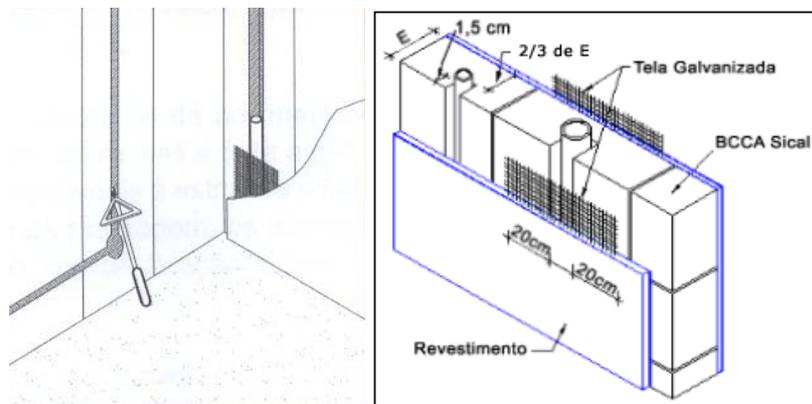


Figura 7 – Passagem de tubulação nos painéis e blocos Sical

A fiada de apoio da laje é formada por blocos tipo canaleta. Após a montagem da laje e com o grauteamento destes blocos ocorre a solidarização do conjunto, como pode ser visto na figura 8.

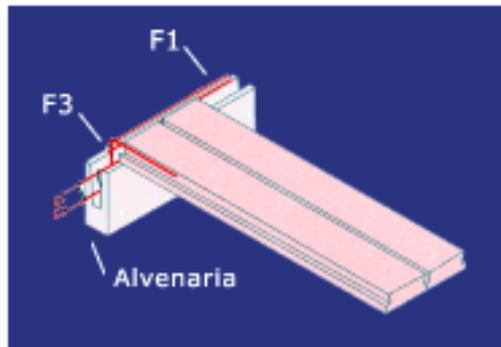


Figura 8 – Detalhe da ligação entre os painéis de laje e a alvenaria Sical

Como qualquer alvenaria autoportante, existe a desvantagem de não permitir alteração ou demolição das paredes resistentes do projeto inicial. Como vantagens, trata-se de material industrializado, com controle de qualidade apurado e com pequena variação nas suas propriedades físicas e dimensões, permitindo revestimentos com espessuras mínimas. Assim como na alvenaria estrutural, ao substituir pilares e vigas, a alvenaria autoportante reduz o consumo de concreto, aço e madeira para formas e escoramento.

A figura 9 mostra detalhes de unidades residências construídas com painéis e blocos autoportantes do sistema construtivo Sical.

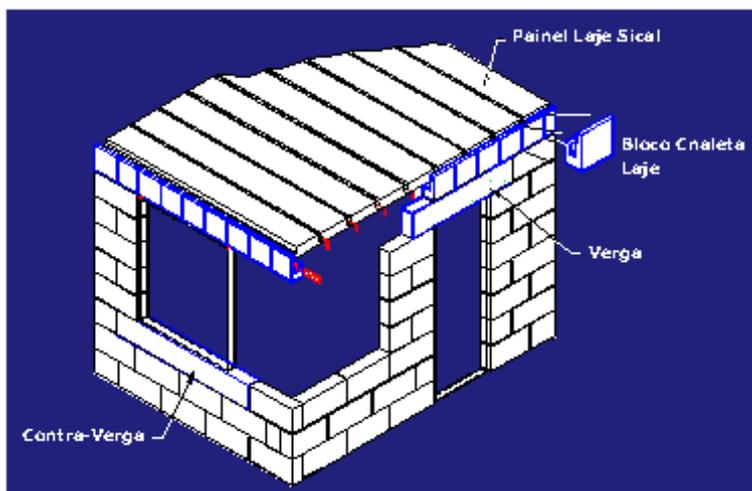


Figura 9 – Detalhes de unidades residenciais construídas com painéis e blocos Sical

3.2.3 Sistema AG de construção industrializada – TIJOLITO

O Sistema AG de Construção Industrializada é constituído de paredes de blocos de solo-cimento encaixados e intertravados, denominados tijolitos. Completam o sistema as esquadrias, estrutura do telhado e outros componentes industrializados. O sistema é produzido e comercializado pela Andrade Gutierrez, que o desenvolveu juntamente com o professor da Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais / PUC-MG, João Batista Santos de Assis.

A dimensão modular do sistema é de 0,11 m em planta e 0,10 m em corte. O Tijolito é um bloco de encaixe macho e fêmea, com dimensões de 11 x 10 x 22 cm. Apresenta saliências e reentrâncias que permitem que a alvenaria seja montada por encaixe, sem necessidade de equipamentos especiais e sem uso de argamassa de assentamento. O processo não necessita de mão de obra especializada. O desenho do bloco e o desenvolvimento do processo foram pensados de forma a evitar desperdícios e reduzir o tempo de construção. Na execução são utilizadas somente ferramentas manuais usuais de porte leve, dispensando-se equipamentos pesados.

O Tijolito é um bloco de solo-cimento fabricado em prensa hidráulica. O solo usado em sua fabricação deve conter baixa umidade. É necessário que seja preparado, desagregando-se os torrões e eliminando-se o material retido na peneira ABNT 4,8 mm. O solo e o cimento são misturados até completa homogeneização, adicionando-se água até atingir a umidade ideal. A mistura é prensada em uma prensa hidráulica de alta pressão, quando é expelida e colocada em bandejas para a cura. O processo é limpo, sem danos à natureza, pois não há queima de lenha e não libera gases tóxicos.

O solo pode ser retirado do próprio canteiro de obra, desde que atenda a todas as especificações necessárias, assim como a unidade de produção pode ser instalada junto à obra, desde que a escala econômica seja compatível. A escolha do solo tem grande importância, pois é o componente de maior quantidade na mistura, influenciando diretamente na qualidade e no custo final do tijolo produzido.

Para verificar se um determinado solo atende a esses requisitos, é necessária a realização dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação e dos limites de plasticidade e de liquidez. No caso de solos argilosos, é sempre possível corrigir a granulometria e a plasticidade por meio de adição de areia. Solos com elevados teores de mica não devem ser empregados, porque não resistem às expansões da argila durante os ciclos de secagem e molhagem. Os solos orgânicos e turfosos também são inadequados e não devem ser empregados.

Pode-se utilizar qualquer tipo de cimento para a produção de tijolos. Os mais usados são o cimento Portland comum, CPI, e o cimento Portland comum com adição, CPI-S. A água a ser utilizada no preparo da mistura do solo com o cimento deve ser potável.

As peças devem ser fabricadas com rigoroso controle de qualidade, para que tenham dimensões e acabamentos bem definidos. O bloco padrão possui furos circulares verticais e encaixes macho e fêmea, que permitem o travamento horizontal da alvenaria, dispensando o uso de argamassa no assentamento.

Os furos menores (diâmetro = 31 mm) são utilizados para a estabilização vertical, aplicando-se argamassa que, após o endurecimento, forma pequenas colunas. Em algumas situações os dois furos maiores também são utilizados para esse fim; entretanto, sua função é permitir a passagem das tubulações hidráulica e elétrica, dispensando a necessidade de cortes na alvenaria.

A partir do Tijolito padrão (TJ100) foram criadas algumas variações que permitem padronizar as soluções de acabamento. O bloco TJ101 tem a metade da dimensão do bloco padrão (meio-tijolito), usado na execução dos encontros da alvenaria. Para a execução das caixas de saída elétrica e hidráulica existem blocos especiais (TJ102, TJ103 e TJ104). O TJ105 é utilizado nas vergas de portas e janelas. E para os ensaios de laboratório foi criado o modelo TJ106. A figura 10 ilustra estes modelos. O projeto deve ser modulado. Assim, é imprescindível que a dimensão dos cômodos (largura e comprimento) seja ajustada às dimensões do tijolo.

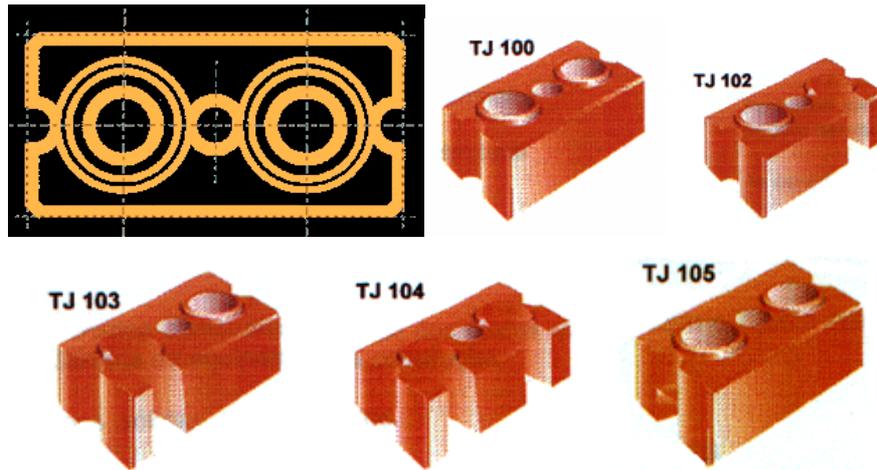


Figura 10 – Tipos de tijolitos

O tipo de fundação é determinado pelo projeto, em função das características do terreno onde será assentada, balizada por parâmetros de segurança, funcionalidade e economia, como em todos os outros sistemas construtivos. A fundação deve ser impermeabilizada.

Recomenda-se que os tijolos da fiada de marcação sejam espalhados sem argamassa de assentamento sobre a fundação, para verificar a distribuição dos ambientes, os vãos de portas, o posicionamento das instalações elétricas e hidráulicas, e o nivelamento e alinhamento da fundação. O assentamento da primeira fiada (figura 11) deve contemplar o nível e esquadro das alvenarias.



Figura 11 – Lançamento da fiada de marcação no sistema Tijolito

O assentamento dos tijolos da alvenaria é executado juntamente com os pilaretes, tubulações, eletrodutos, pontos de luz, água, esgoto e esquadrias. A parede

é levantada em ciclos de três em três fiadas consecutivas, com controle de alinhamento, nivelamento e prumo, como se mostra na figura 12. A estabilização é feita com aplicação de argamassa fluída de cimento, cal e areia em todos os orifícios de menor diâmetro. Os furos de maior diâmetro normalmente são preenchidos em regiões mais solicitadas, como nas primeiras e nas três últimas fiadas da construção, nas fiadas sobre janelas, portas e sob janelas (figura 12).



Figura 12 – Detalhe de alinhamento, prumo e estabilização da alvenaria Tijolito

A argamassa de assentamento deve receber cuidados especiais, pois é a principal causa de fissuras em paredes de solo-cimento. A mistura deve ser plástica e coesa, para melhor espalhamento e facilidade de uso. Podem ser utilizados dois tipos de argamassa: uma constituída por cimento mais solo no traço 1:4; ou de cimento, cal e solo, no traço 1:3:12. A resistência deve ser igual ou inferior à resistência dos tijolos. Até a 3a. fiada, a argamassa deve conter hidrofugantes para garantir a impermeabilização da parede. É proibido o uso de cola à base de PVA (acetato de polivinila) no assentamento dos tijolos.

As esquadrias devem ser fabricadas especialmente para o sistema, como pode ser visto na figura 13. A combinação do desenho da esquadria e do bloco especial para execução das vergas de portas e janelas permite que o assentamento das esquadrias seja feito simultaneamente ao levantamento das paredes. O marco das janelas e portas pode ser metálico ou de madeira, em forma de “U” , com base de 11 cm e profundidade adequada, de forma a permitir o encaixe dos blocos em seu interior, dispensado o chumbamento.

Devido à qualidade de acabamento superficial do tijolito (em função da granulometria dos materiais e do processo de prensagem), a alvenaria dispensa emboço e reboco. No entanto, as juntas verticais e horizontais nos encontros dos blocos devem ser calafetadas com uma demão de massa corretiva aplicada com bisnaga, para impedir infiltração (figura 13).



Figura 13 – Detalhe das esquadrias e acabamento do sistema Tijolito

Deve-se limitar o comprimento das paredes de tijolos de solo-cimento, no sentido de minimizar a retração. O comprimento máximo de uma parede deve ser de 4,0 a 5,0 metros. A ligação entre paredes tem fundamental importância na garantia da rigidez e estabilidade do conjunto. A ligação dos cantos pode ser feita com amarração dos tijolos, ou por meio de grampos colocados nos furos dos blocos e preenchidos com microconcreto ou graute.

Os furos dos tijolos de cada uma das extremidades da construção, no encontro das paredes e em torno das aberturas, recebem uma barra de 6,3 mm de diâmetro, engastada desde a fundação até a extremidade superior da cinta de amarração, sendo posteriormente preenchidos com graute. Para evitar a ocorrência de vazios na concretagem, o preenchimento dos furos dos tijolos deve ser feito em etapas (3ª, 12ª, 21ª, 30ª e 39ª fiadas).

Nos locais preferenciais de aparecimento de trincas, como as aberturas de portas e janelas, devem-se empregar armações suplementares, executando-se vergas e contravergas sobre e sob as aberturas de portas e janelas.

A face externa da parede necessita de acabamento em pintura impermeabilizante em duas demãos de tinta acrílica especial, para evitar infiltração e obter uma maior durabilidade do material. Tal procedimento é indispensável. Nas áreas úmidas é necessário que se faça algum tipo de impermeabilização, como uma barra de argamassa de cimento, cal e areia com pintura a óleo, azulejos ou qualquer outro tipo de revestimento impermeabilizante, pois a retração do tijolo de solo-cimento é maior que a retração do tijolo comum. O solo-cimento, por ser um material poroso, tem capacidade de absorver ou perder umidade em função das variações de umidade do meio.

A instalação do kit esgoto é feita durante a preparação do terreno para a execução da fundação, com o uso de um gabarito especial. Toda a tubulação fica embutida nos furos maiores do tijolito, sem necessidade de “rasgar” as paredes depois

da construção. O bom acabamento dos orifícios do Tijolito permite também que os fios da instalação elétrica passem pelos furos sem necessidade de eletrodutos.

A construção de uma casa padrão de 38,40 m² leva cerca de 40 dias. A modulação do sistema proporciona perdas pequenas. Segundo dados fornecidos pela Andrade Gutierrez, enquanto os desperdícios na construção civil no Brasil giram em torno de 20% a 40%, na Europa em torno de 10% a 15%, as perdas com o Sistema AG de Construção Industrializada são de apenas 2% a 6%.

Deve haver supervisão técnica na elaboração de todos os projetos. A obra recebe os projetos executivos detalhados, manual de construção e procedimentos de execução. Para fornecimento de Kits dispõe-se de tele-assistência técnica ou assistência no próprio local da obra.

O tijolo de solo-cimento apresenta características de desempenho similares às dos tijolos cerâmicos comuns, mas o uso do solo-cimento proporciona uma redução em torno de 30% nos custos finais da obra, de acordo com PICORIELLO (2003). Essa redução se deve ao baixo investimento para implantação da unidade produtora de tijolos, à obtenção de paredes bem alinhadas e apuradas e, ainda, à facilidade de construção, proporcionando uma obra simples com número reduzido de profissionais, se comparado com obras convencionais que utilizam tijolos cerâmicos comuns.

3.2.4 ICOMA – Sistema Comodi

Trata-se de um sistema construtivo constituído por painéis de micro-concreto, armados com tela de aço e preenchidos com isopor. A empresa faz a venda direta, empreitada global ou fornece kits e repassa a tecnologia, podendo fornecer para mutirões.

A fundação normalmente emprega viga baldrame de concreto armado pré-moldada, fornecida em módulos transportáveis. A união entre as vigas é feita através de concreto moldado "in-loco". Normalmente elas são apoiadas sobre brocas. Caso seja necessário (em solos com pequena capacidade de suporte), nestes pontos de apoio se executa a amarração do contrapiso armado. As vigas pré-moldadas possuem canais na face superior, com largura igual à espessura dos painéis, que são encaixados e rejuntados, como se observa na figura 14.

As paredes externas e internas são constituídas por painéis estruturais modulados, padronizados na largura (598 mm e 1196 mm) e espessura (75 mm), com comprimentos variáveis de acordo com pé direito pretendido (2,54 m, 2,80 m. e 3,02 m).

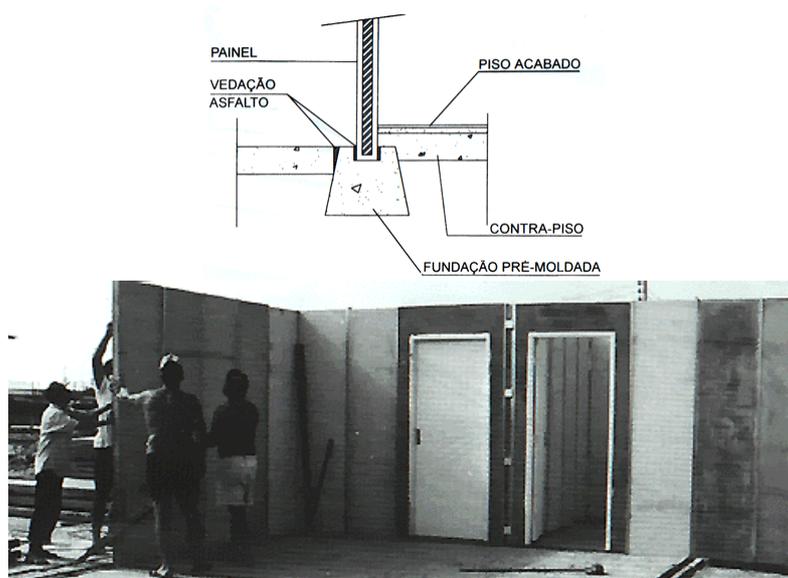


Figura 14 – Fundações e montagem dos painéis do sistema Comodi

Os painéis são executados em micro-concreto armado com tela de aço soldada, empregando cimento ARI e fibras plásticas. A armadura dupla de tela envelopa o miolo constituído de poliestireno expandido (EPS), o que confere à parede melhor isolamento térmico e acústico.

As juntas entre painéis são feitas com perfis metálicos, madeira e PVC (montantes), encaixados ou parafusados; ou sem perfis, com emprego de pinos de aço cimentados com adesivo estrutural de poliéster ou epóxi. O travamento na parte superior é feito com perfil metálico encaixado e parafusado, e na parte inferior por encaixe.

A laje é constituída de peças pré-moldadas de argamassa armada, com espessura de 25 a 35 mm na mesa e 75 mm na nervura central, em formato trapezoidal. Na sua face inferior é plana, com juntas bisotadas justapostas a cada 30 cm. Na face superior, os vãos entre as nervuras são preenchidos com material isolante térmico. A laje possui características de laje forro, desenvolvida para suportar cargas de até 150 kg/m², sem necessitar de concretagem (enchimento) no local da obra. Permite ainda que se obtenha uma laje piso, com capacidade de carga de até 300 kg/m², prevendo-se, neste caso, concretagem de capa similar àquela realizada nas lajes convencionais, acrescentando-se armadura adequada de acordo com o calculo estrutural.

As instalações de água fria são embutidas nos painéis. As tubulações de PVC rígido soldável são alimentadas pelo piso. O reservatório de água é em fibrocimento e a tubulação sanitária de PVC rígido fica embutida no piso. Os eletrodutos de PVC flexível (5/8") são embutidos nos painéis.

A cobertura possui estrutura convencional de madeira ou metálica. São utilizados vários tipos de telhas.

O revestimento das paredes pode ser feito em massa fina, pintura, gesso, azulejo, cerâmica. Os painéis também podem ficar aparentes, apenas com aplicação de verniz ou silicone.

As paredes formadas pelos painéis não necessitam de colunas ou montantes, pois apresenta resistência a impacto e à compressão adequadas à finalidade. Uma parede de 1,20 x 2,54 metros, com 7,5cm de espessura, pode suportar até 34 toneladas de compressão axial no topo da parede, o que lhe confere características estruturais para edificações de até 2 pavimentos.

Segundo o fabricante, uma casa de 75m² pode ser finalizada em sete dias. O período pode se estender devido à duração da fase de acabamento. O sistema já foi testado e aprovado pela TELEBRÁS, sendo utilizado em várias obras de prédios de Telefonia Celular nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

3.2.5 Sistema Construtivo Premium

O Sistema Construtivo Premium é um sistema construtivo que emprega elementos pré-moldados de concreto armado. É produzido e comercializado pela Construtora Andrade Ltda. – Divisão Pré-moldados, com sede em Itatiba – SP. É uma empresa que está há 30 anos no mercado nos segmentos residenciais, comerciais, industriais e institucionais. O Sistema Premium teve sua origem na Europa e em 1989 a Construtora Andrade trouxe a tecnologia ao Brasil.

O sistema é constituído por placas pré-moldadas de concreto armado moduladas. Cada placa pode ter 0,30 m, 0,60 m, 0,90 m ou 1,20 m de largura e 2,75 m de altura. Ou seja, a modulação em planta é de 30 cm.

Na fabricação das placas são utilizados betoneira, mesa vibratória, forma metálica e pórtico com guincho. O cimento utilizado no concreto é o CP V – ARI, que permite desforma após 1 ou 2 dias após a concretagem. A seqüência de fotos da figura 15 ilustra detalhes da produção, com os equipamentos utilizados na fabricação dos painéis e a estocagem dos produtos na fábrica.



Figura 15 – Equipamentos utilizados na fabricação dos painéis e estocagem no sistema Premium

O tipo de fundação mais utilizado é o radier, posicionando-se as instalações antes da concretagem. Após a impermeabilização (de acordo com o gabarito executado para montagem dos painéis – figura 16), montam-se os painéis, aplicando-se um painel cada face da parede, formando um sanduíche com um “colchão” de ar interno, perfazendo uma espessura total da parede de 14,5 cm.



Figura 16 – Radier e gabarito para montagem dos painéis no sistema Premium

Nos encontros entre as placas formam-se vazios, posteriormente grauteados, transformando-se em pilaretes. A montagem em planta pode ser vista através na seqüência de fotos da figura 17, assim como as vistas das paredes prontas, as instalações embutidas nas placas, e os revestimentos internos em gesso e externos em textura.

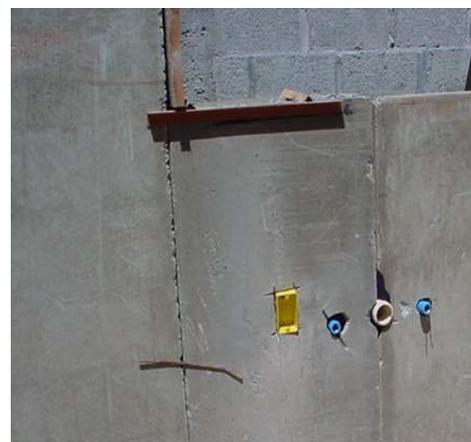
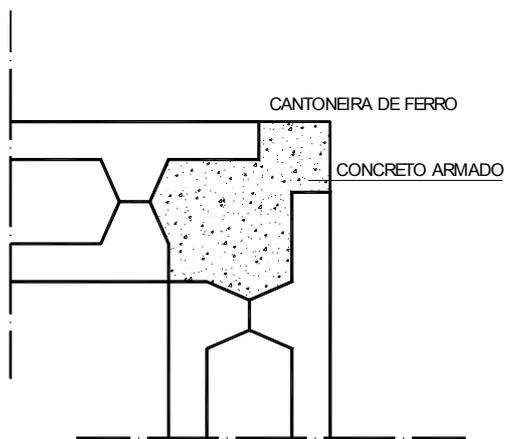


Figura 17 – Detalhes de montagem, instalações e revestimentos dos painéis do sistema Premium

A figura 18 ilustra o exemplo de um projeto padrão do sistema Premium.

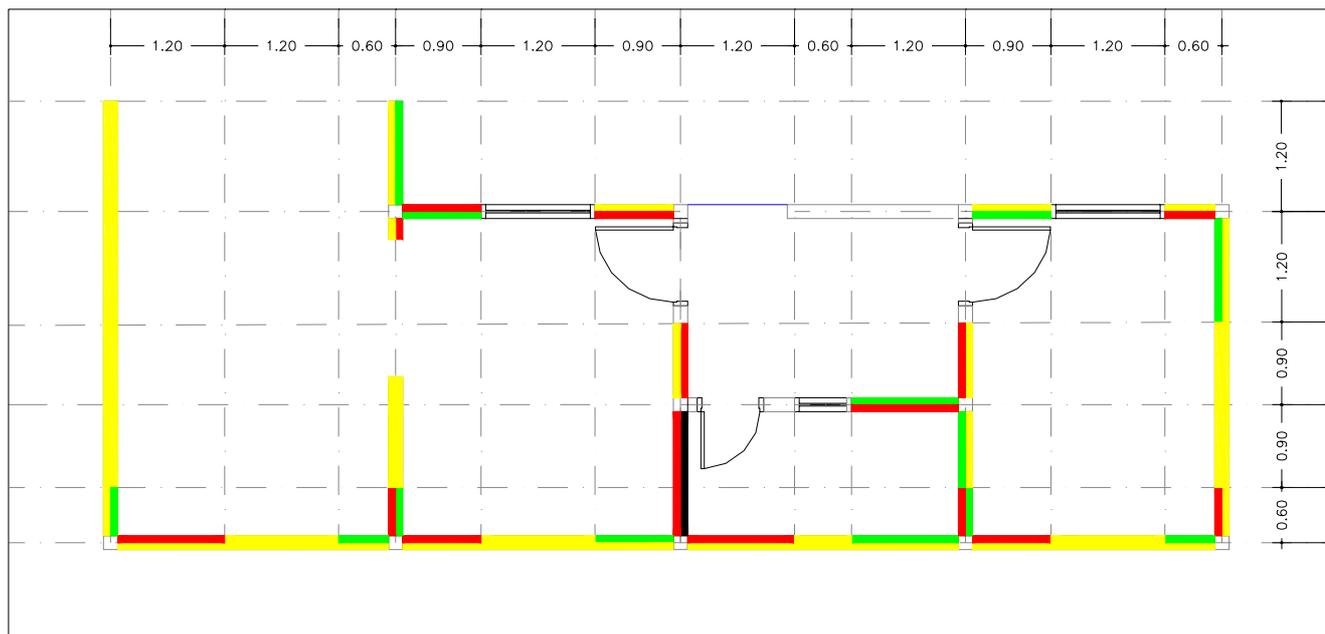


Figura 18 – Exemplo de projeto padrão do sistema Premium

Algumas características do sistema Premium são vantajosas em relação à maioria dos sistemas estudados, notadamente no que diz respeito à facilidade de treinamento da mão de obra utilizada na fabricação e pela qualidade dos painéis (observados por esta autora). Além disso, eles são duplos, possuindo um colchão de ar entre a face externa e a face interna, o que privilegia o isolamento térmico e acústico. E finalmente, eles são totalmente planos, permitindo que os revestimentos, tanto internos como externos, tenham espessura reduzida.

3.2.6 Sistema Construtivo Steel Frame

O sistema construtivo Steel Frame emprega perfis leves de aço galvanizado na composição da superestrutura (paredes e estrutura do telhado), além de elementos de fechamento (chapas de gesso acartonado ou cimentícias). Outros componentes são os elementos de fixação (parafusos e conectores), isolantes termo-acústicos e impermeáveis (mantas e filmes), sistemas hidráulicos e elétricos, e revestimentos. Os componentes são todos integrados, formando uma cadeia produtiva de produtos industrializados.

A estrutura é composta de perfis leves de aço galvanizado (montantes) e guias, que formam os painéis resistentes das paredes, e a estrutura de telhado, e constituindo um conjunto monolítico leve e resistente, conforme esquema apresentado na figura 19.

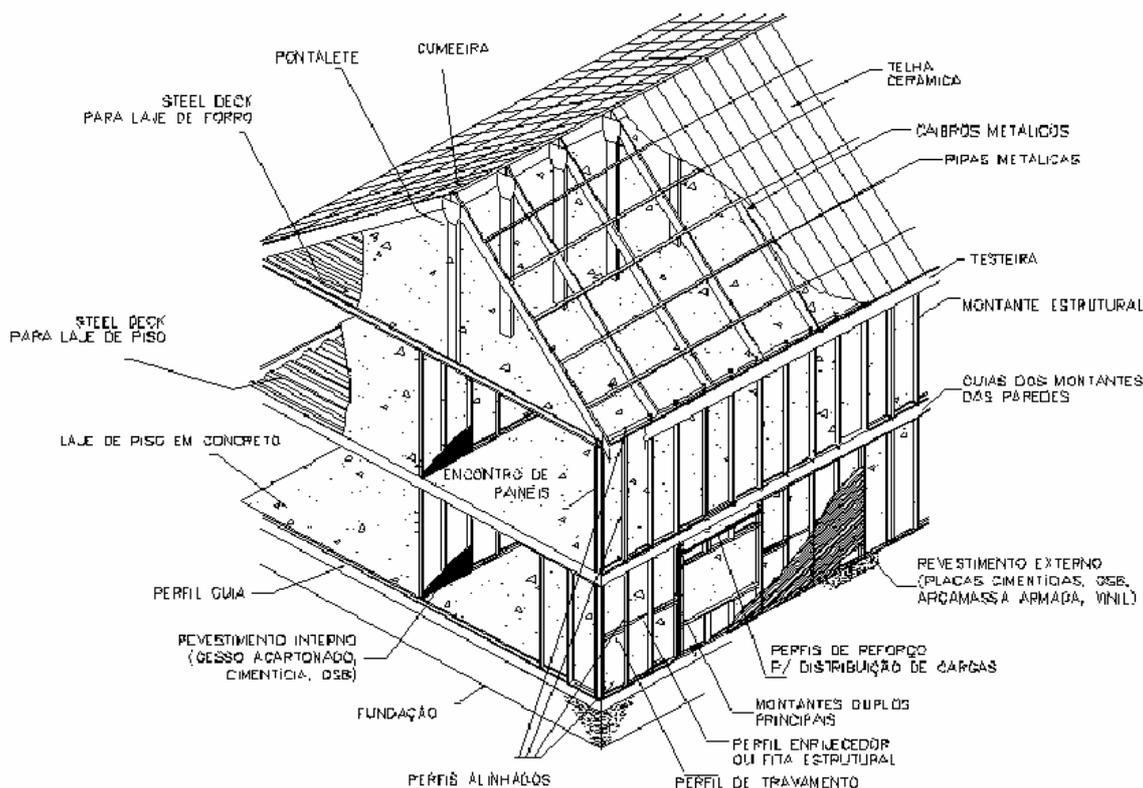


Figura 19 – Esquema típico de casa em Steel Frame

Os perfis de aço têm chapa com 0,95 mm de espessura, com revestimento anticorrosivo zincado por imersão a quente. Os perfis são fixados entre si através de parafusos autobrochantes, compondo painéis de paredes, de lajes de piso e forro, e estrutura de telhado, compondo um conjunto resistente. O dimensionamento e espaçamentos padronizados dos perfis estruturais seguem uma normatização internacional e são definidos conforme necessidade do projeto arquitetônico e estrutural. Os demais elementos estruturais, como cantoneiras e fitas de aço, utilizados para prover rigidez e contraventamento à estrutura são compostos do mesmo tipo de aço dos perfis. A estrutura de aço é ancorada junto à fundação com parafusos e pinos específicos.

A fundação da edificação normalmente é constituída de uma laje de concreto armado, tipo “radier”, apoiado sobre terreno nivelado e compactado. Outros tipos de fundação podem ser utilizados, dependendo do tipo de solo e necessidades do projeto estrutural.

As paredes de elevação, lajes e estrutura do telhado que compõem a estrutura da edificação são completadas com chapas de fechamento, que contribuem de forma importante no contraventamento da estrutura, cujo detalhe pode ser visto na figura 20. Na parte externa dos painéis das paredes externas são utilizadas as chapas cimentícias, compostas de cimento, fibras e agregados, de dimensões variadas e

espessura de 10 mm ou 12 mm. As chapas são fixadas diretamente nos perfis estruturais com parafusos, sobre manta impermeável justaposta ao perfil. Outra forma de se realizar o fechamento das paredes externas é por projeção manual ou mecânica de argamassa de cal, cimento e areia sobre telas aço expandida, ou chapas de OSB (chapas de fibra de madeira prensada).

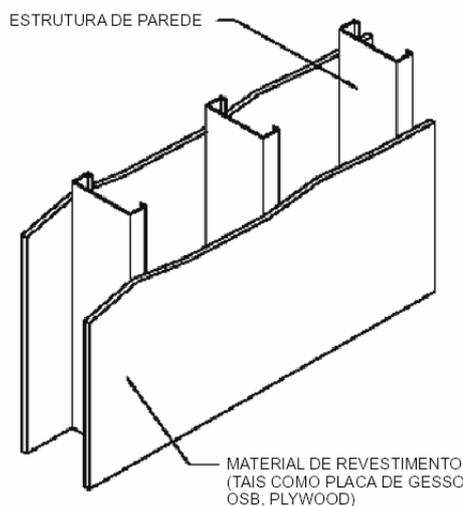


Figura 20 – Chapa de fechamento das paredes no sistema Steel Frame

Na parte interna dos painéis das paredes externas e nos painéis das paredes internas e forros, são utilizadas as chapas de gesso acartonado, constituídas de massa de gesso e agregados confinados superficialmente pelo cartão de papelão Kraft, de dimensões variadas e espessura de 12,5 mm, fixadas diretamente nos perfis com parafusos. As paredes externas têm normalmente espessura final de 165 mm. As paredes internas têm espessura final de 120 mm.

As bases inferiores que compõem os painéis de aço galvanizado são revestidas por mantas impermeabilizantes auto-adesivas de polietileno, como interface ao concreto da laje de fundação. As faces externas dos perfis que compõem a estrutura das paredes de elevação externas e a estrutura do telhado são revestidas com manta impermeável, para evitar a condensação interna e garantir estanqueidade à água ou umidade.

Os demais revestimentos e acabamentos são os habituais da construção, tais como pintura (texturizadas ou lisas), revestimentos cerâmicos (pisos, azulejos, tijolo à vista), telhado (telha cerâmica de barro, concreto, metálica, asfáltica), etc.

A Usiminas apresentou, em fevereiro de 2004, a casa Usiframe, que utiliza o sistema steel frame. A tecnologia foi adquirida da Siderar, empresa siderúrgica Argentina, e permite que as casas e edifícios sejam montados em módulos, com estruturas metálicas pré-fabricadas. Os painéis internos e externos são produzidos na

fábrica, chegando prontos ao destino, o que possibilita uma construção teoricamente sem desperdício e sem sujeira.

O Usiframe é feito em aço zincado reciclável, com processo contínuo de galvanização por imersão a quente. Segundo o fabricante, possui alta durabilidade e uma excelente resistência contra a ação do tempo. As peças são relativamente mais leves se comparadas com os outros materiais empregados nas edificações residenciais.

A CSN possui a Casa Modular, que também utiliza o sistema construtivo Steel Frame. A Kofar Produtos Metalúrgicos Ltda. Também tem participado de empreendimentos em steel frame no Brasil, tendo exportado algumas unidades habitacionais para outros países. A Kofar lançou durante a FEICON 2003 (Feira Internacional da Indústria da Construção, realizada anualmente em São Paulo – SP) a Casa Popular Kofar.

Por ser industrializado, o sistema Steel Frame contempla todas as vantagens da industrialização: redução de prazos de construção, canteiros de obras mais limpos, menos desperdício, flexibilidade nos projetos e construção seca. Além disso, o sistema possui certa flexibilidade para reformas e adaptações sem a demolição das paredes, e apresenta facilidade para manutenção de instalações.

A Caixa Econômica Federal aprovou o sistema da Usiminas e abriu linhas de empréstimo para financiá-lo, inclusive para casas populares. No entanto, ainda não existem dados de pós-ocupação para avaliação do sistema.

3.2.7 Sistema Construtivo em Argamassa Armada

A Escola de Engenharia de São Carlos – USP, no final de 1986, começou a desenvolver um sistema construtivo utilizando componentes pré-moldados de argamassa armada para edificação de moradias destinadas às faixas da população de baixa renda.

MACHADO (1991) desenvolveu e apresentou o sistema, descrevendo seus componentes construtivos. O sistema é baseado em painéis do tipo sanduíche, com placas de face pré-moldadas em argamassa armada e núcleo de espuma rígida de poliuretano, constituindo os componentes portantes de vedação. Estas placas possuem canaletas nas laterais e no topo superior, que têm a finalidade de unir e proporcionar o cintamento superior destas placas. A ligação entre os painéis se dá através de elementos pré-moldados tipo I, T e L, para as diversas situações das paredes, como pode ser visto na figura 21.

Os caixilhos de ferro foram projetados para integrar-se ao conjunto das paredes. As janelas, do tipo basculante, têm encaixes para a sua adaptação aos painéis e são colocadas no momento da montagem das paredes. As portas de ferro e os batentes para as portas de madeira são fixados posteriormente, com buchas plásticas e parafusos.

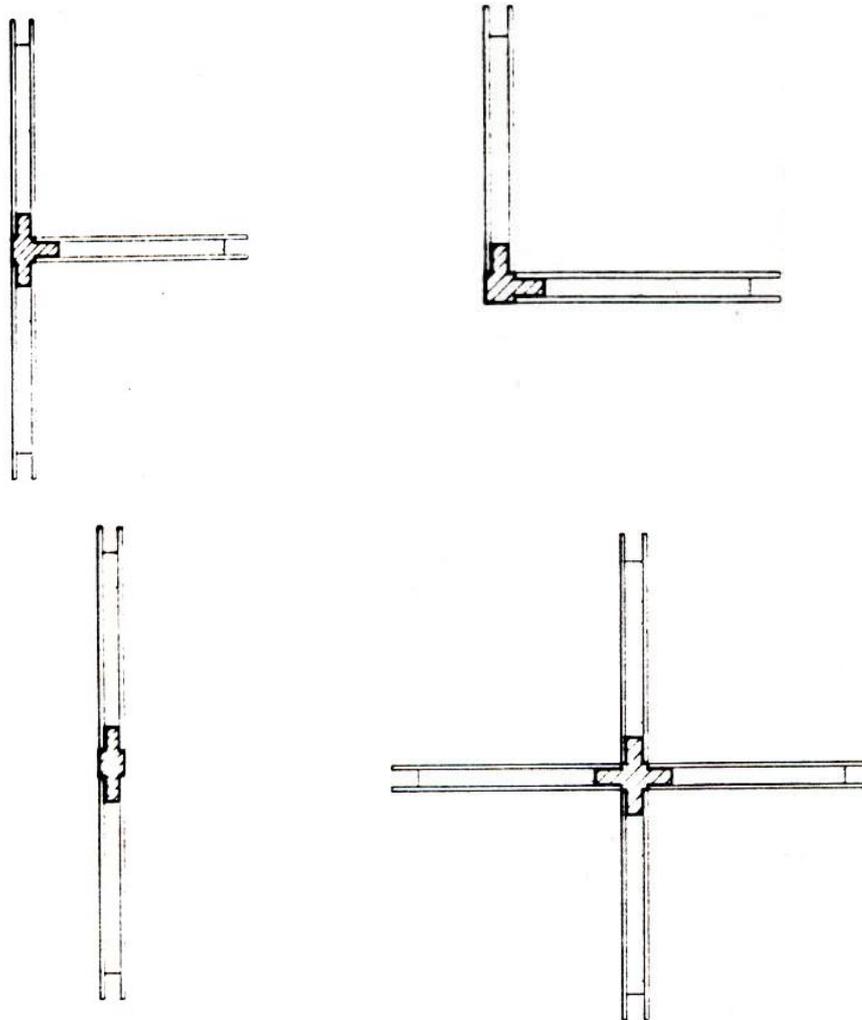


Figura 21 – Elementos pré-moldados de argamassa armada para a interligação dos painéis

Assim, o sistema construtivo se baseia na interligação dos painéis tipo sanduíche através de elementos pré-moldados, ambos de argamassa armada. Os nós de ligação formam encaixes ou juntas secas. A união do conjunto é obtida com o cintamento superior abrangendo todas as paredes. Como complemento das fundações e também para a fixação dos componentes, foram utilizadas barras de aço passadas através dos painéis e dos nós, na parte inferior dos mesmos, como mostrado na figura 22. O sistema desenvolvido contempla rapidez de execução e baixo custo, utilizando pouca mão de obra e equipamentos.

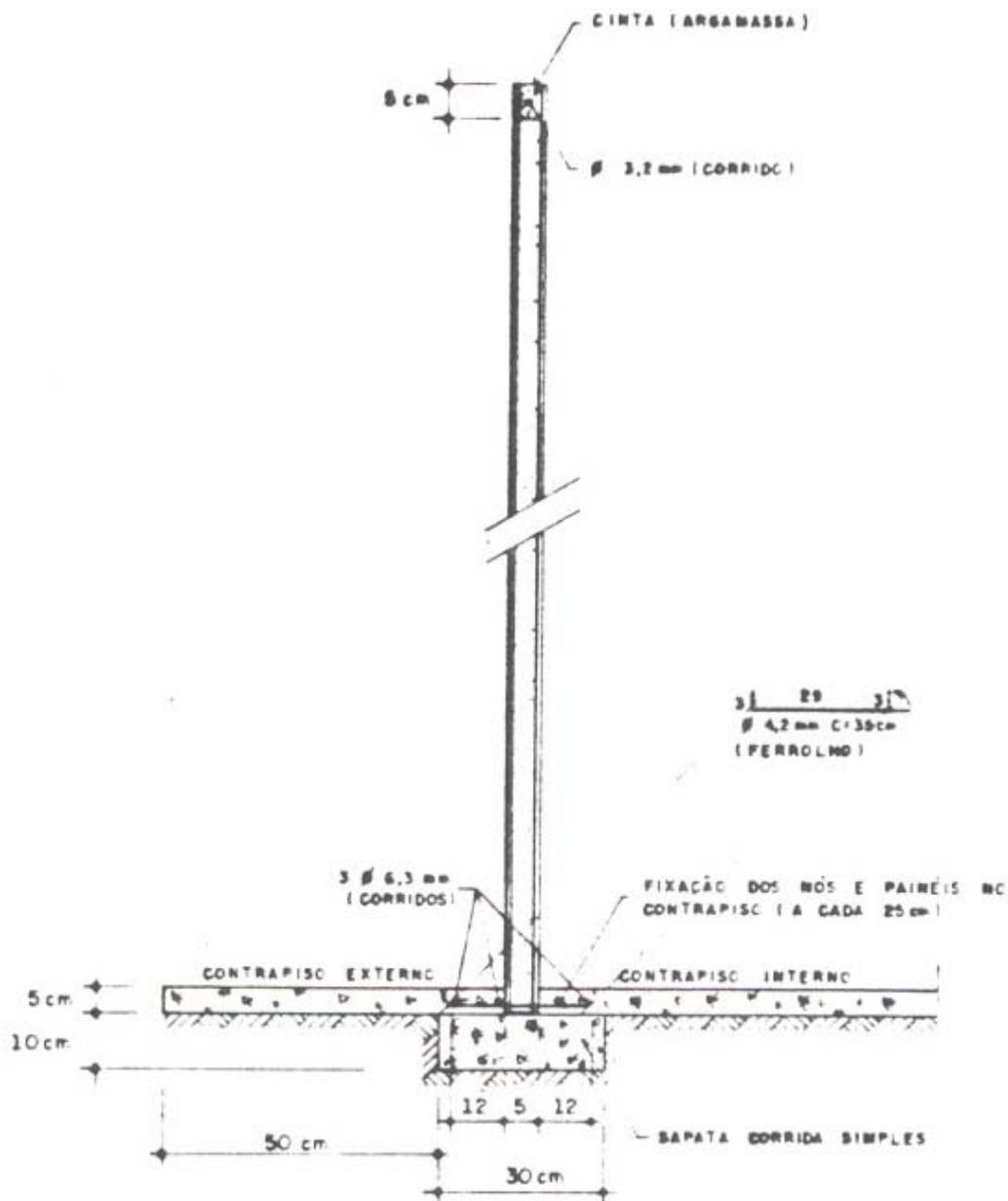


Figura 22 – Detalhe da fixação dos painéis, elementos de ligação no contrapiso e cinta de amarração superior

Após a limpeza e nivelamento do terreno, são as seguintes as etapas de construção: locação; abertura de valas para sapatas rasas e apiloamento; concretagem das sapatas; instalação da estrutura auxiliar para montagem das paredes; montagem das paredes e caixilhos das janelas; colocação da armadura de cintamento superior, chumbadores da estrutura de cobertura e concretagem da cinta; execução das instalações sanitárias; colocação de armadura inferior de fixação das paredes; concretagem do contrapiso interno, retirada da estrutura auxiliar e concretagem do piso externo; montagem da estrutura do telhado e cobertura;

fechamento dos oitões; e colocação dos caixilhos das portas e acabamentos. Descreve-se a seguir, sucintamente, esta seqüência de execução.

O peso das paredes e da cobertura idealizada não requer fundações especiais. A fixação das paredes nas fundações é feita por intermédio de ferrolhos, de diâmetro 4,2 mm, passados transversalmente através de furos existentes na parte inferior dos componentes. Posteriormente, a ponta reta do ferrolho é dobrada, formando a armadura transversal de fixação. Os elementos de ligação tipo T e L já têm esses ferros incorporados durante a moldagem. Em seguida são colocadas as barras da armadura longitudinal externa e internamente às paredes. Nos cantos e nos encontros das paredes, os painéis são dotados de mais de um furo para permitir a passagem do ferro corrido interno. A concretagem do contrapiso interno e externo completa a operação.

A união de todo o conjunto das paredes é conseguida pela colocação nas canaletas superiores dos painéis e através de furos existentes nos elementos de ligação, de um fio de aço de diâmetro 3,2 mm, com posterior enchimento de argamassa de cimento, areia e pedrisco. Para a montagem das paredes foi idealizada uma estrutura metálica de escoramento de fácil montagem e de baixo custo, que é fixada sobre a sapata corrida, no alinhamento externo das paredes. Após o nivelamento e estabelecimento do prumo é fixada no solo através de mãos francesas. Além disso, esta estrutura de escoramento serve para a proteção das paredes contra a ação do vento até a execução do contrapiso, que só ocorre após a execução das instalações sanitárias e da armadura de fixação.

As tubulações são embutidas nos painéis, bastando retirar o isopor e raspar o miolo de poliuretano. Após esta operação é feito o preenchimento do painel com argamassa. Para complementar o sistema construtivo, optou-se por uma cobertura leve, de fácil manuseio e que permitisse a ampliação da moradia. Ela é composta por terças apoiadas sobre pontaletes apoiados nas paredes portantes. Para a terças treliçadas foram utilizados perfis de chapa dobrados com 2 mm de espessura, que resultaram em uma estrutura de poucos elementos, todos leves. A fixação das terças é feita através de chumbadores, com 8 mm de diâmetro, providos de ganchos presos na armadura da cinta de amarração.

O fechamento dos oitões é executado utilizando-se os elementos metálicos de travamento empregados para a fixação das placas de vedação, empregando-se placas de argamassa armada pré-moldada, chapa lisa de fibrocimento ou tábuas de madeira do tipo lambril. As telhas utilizadas são as onduladas de fibrocimento. O sistema prevê aberturas verticais entre as placas adjacentes, para ventilação do ático.

MACHADO (1991) analisou o protótipo montado através de ensaios dos painéis, que demonstraram bom desempenho estrutural na função de parede da moradia. Assim, decorrente da simplicidade e rapidez de montagem, seria possível sua utilização na autoconstrução, a partir do fornecimento dos componentes. Ele também apresentou custos competitivos, desde que sua fabricação seja industrializada, com a prescrição adequada dos materiais. Com relação à habitabilidade, os ensaios e as inspeções no protótipo demonstraram que o nível de satisfação dos usuários, quanto ao conforto higrotérmico e à salubridade, podem ser melhorados com a adoção de forro na habitação.

4. JET CASA E ALVENARIA ESTRUTURAL (estudo de caso)

Neste capítulo são apresentados mais dois sistemas construtivos: o “Sistema Jet Casa” e o sistema em alvenaria estrutural, já amplamente conhecido e divulgado no meio técnico. Principalmente para o primeiro sistema, apresenta-se uma descrição mais detalhada de todas as suas características (concepção, fabricação e montagem), porque foram os dois sistemas escolhidos para o estudo de caso que se apresenta posteriormente, assim como as razões que embasaram esta escolha.

O Grupo Rodobens, fundado em 1949, em São José do Rio Preto / SP, anteriormente denominado Grupo Verdi, atua nos setores de transporte e imobiliário, através de diversas áreas de negócios: concessionárias de veículos, consórcio, seguro, instituições financeiras, entre outras, dentre as quais o setor de negócios imobiliários, através da Rodobens Engenharia, criada em 1983 para atender às necessidades de desenvolvimento das empresas do próprio Grupo. Em 1990, a Rodobens Engenharia passou a atuar no mercado da construção civil, inicialmente em São José do Rio Preto. Em 1991 criou o Sistema Fácil, um sistema de autofinanciamento imobiliário bancado com recursos dos próprios incorporadores, que visa financiar os empreendimentos em que participa juntamente com seus parceiros.

A parceria com importantes empresas do setor imobiliário e com o Unibanco em 1998 possibilitou ao Sistema Fácil abrangência Nacional. Através do Sistema Fácil, já foram comercializadas mais de 7.000 unidades residenciais.

Diante do número de unidades que a empresa passou a produzir e a comercializar, demonstrou-se imperiosa a necessidade de se pesquisar e buscar sempre novas tecnologias que permitam a entrega das unidades num menor prazo, com qualidade e a preços competitivos no mercado.

Tradicionalmente, em condomínios residenciais horizontais, a empresa sempre utilizou a alvenaria estrutural como sistema construtivo, pelas vantagens que o sistema oferece, principalmente diminuição de custo, velocidade de execução e racionalização da obra como um todo. No estudo de caso a ser apresentado neste trabalho, apresenta-se um estudo comparativo entre o sistema em alvenaria estrutural e o sistema “Jet Casa”, que utiliza painéis pré-moldados leves auto-portantes, constituídos de blocos cerâmicos, aço e concreto.

Inicialmente, escolheu-se o sistema “Jet Casa” para realização do estudo de caso e comparação com a alvenaria estrutural em virtude da empresa responsável pelo sistema ter sua sede também em São José do Rio Preto, decorrendo daí diversas facilidades. O sistema é bastante utilizado na região; além disso, havia interesse da

empresa que produz este sistema (“Kit Casa”) em atuar em parceria com a Rodobens Negócios Imobiliários.

Outros sistemas também foram estudados e comparados com a opção em alvenaria estrutural, principalmente em relação ao aspecto relativo ao custo. Estes sistemas foram citados no capítulo 3: o sistema Premium (constituído de painéis de concreto) e o sistema Tijolito, que é a alvenaria de solo-cimento. Ambos apresentaram, numa análise preliminar, boas características de produtividade e racionalização, mas o custo se mostrou superior àquele da alvenaria estrutural, tradicionalmente utilizada pela empresa, e por isso não foram objeto de uma análise mais detalhada.

É importante salientar que a aplicação de produtos e tecnologias com o intuito de aumentar a eficiência técnica só trará resultados se estiver articulada ao sistema construtivo como um todo, envolvendo todos os processos do empreendimento, desde a elaboração e compatibilização de todos os projetos, até os processos de execução da obra. Os resultados não aparecerão se forem utilizadas novas tecnologias e não houver um projeto compatível.

4.1 Sistema JET CASA

O sistema de painéis pré-fabricados da Kit Casa, denominados painéis “Jet Casa”, destina-se à construção de paredes de unidades habitacionais térreas e assobradadas. A empresa Jet Casa iniciou a construção unidades térreas há bastante tempo, tendo acumulado uma base de dados e experiência significativas. Já para as unidades assobradadas, a produção se iniciou apenas a partir de 2004, não havendo ainda dados de pós-ocupação para as residências já construídas.

Apresenta-se a seguir os principais aspectos relacionados à execução, fabricação e montagem dos painéis, focando-se o projeto padrão de residência estudado neste trabalho.

4.1.1 Descrição do Sistema

O Sistema é constituído de painéis pré-fabricados, executados em linha de produção horizontal fixa na indústria ou no próprio canteiro obras, de acordo com a quantidade de unidades residenciais a serem construídas e localização da obra. A quantidade de mão de obra é relativamente baixa se comparada com a execução de paredes estruturais com blocos cerâmicos dentro do próprio canteiro. Destina-se à construção de unidade habitacionais térreas e assobradadas, conforme projetos

específicos elaborados pela Kit Casa, sob condições normais de uso, excetuando-se regiões litorâneas.

Os painéis são constituídos de blocos cerâmicos comuns furados e de nervuras de concreto armado. As paredes são formadas pela união dos painéis, devidamente apoiados sobre fundação projetada de acordo com o tipo de terreno. A ligação mecânica entre painéis é realizada por meio de solda de barras e chapas de aço, especialmente posicionadas para esta finalidade, protegidas por argamassa e selante. A proteção final das juntas, externamente, é realizada por meio de selantes flexíveis, de forma a evitar a infiltração de água de chuva ou de uso de ambientes molháveis.

Sobre as paredes são apoiados os oitões, também pré-fabricados com blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado, e as lajes pré-fabricadas de concreto armado (opcionais). As tubulações elétricas e hidráulicas são embutidas no painel quando da sua fabricação, bem como as caixas elétricas, conexões, etc.

A espessura do painel acabado, incluindo o revestimento com chapisco e argamassa nas duas faces, é de aproximadamente 11 cm. Os painéis possuem 2,80 m a 3,10 m de altura e a largura pode variar de acordo com as necessidades do projeto. O peso médio é de 140 kgf por m², similar ao peso de uma parede de alvenaria tradicional executada com blocos cerâmicos de vedação de igual espessura. As condições térmicas e acústicas dos painéis são as mesmas das paredes tradicionais executadas em blocos cerâmicos.

4.1.2 Principais materiais e componentes

- Blocos cerâmicos vazados de 8 furos, com dimensões de 9 cm x 19 cm x 19 cm e resistência à compressão média de 1,5 MPa (bloco classe 15, conforme NBR 7171 – figura 23). Em todos os lotes de blocos cerâmicos recebidos são executados os ensaios para determinação da resistência à compressão (NBR 6461) e determinação da absorção de água (NBR 8947).
- Concreto de $f_{ck} = 25$ MPa, aos 28 dias, empregado no quadro que envolve todo o perímetro dos painéis, nas nervuras horizontais e verticais, nas vergas e contravergas, e na direção dos pontos de içamento. É empregado também nos painéis de lajes pré-moldados. Para o concreto devem ser executados os ensaios de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR-NM 67) e de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto (NBR 5739).

- Atualmente, a Kit Casa tem utilizado argamassa fabricada na própria empresa, para ter um controle mais efetivo dos materiais utilizados. A composição desta argamassa é 50 kg de cimento CP III 40, 40 kg de cal e 240 litros de areia média. Inicialmente empregava-se argamassa flexível industrializada Votomassa para preenchimento das juntas verticais entre blocos e entre painéis e juntas horizontais (painel / laje). Esta argamassa foi inicialmente escolhida porque nos ensaios realizados pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – SP, apresentou boa resistência (≥ 5 MPa, resistência mínima de acordo com a NBR 13279 (Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão) e deformabilidade adequada. Seja qual for a argamassa empregada, são realizados os ensaios de determinação da resistência à compressão (NBR 13279), determinação da aderência por arrancamento (tração) (NBR 13528) e determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica (NBR 9778).
- Chapisco para revestimento dos painéis. A argamassa para chapisco é aditivada com Chapix SBR da Fosroc, que é uma emulsão de polímero SBR (estireno-butadieno) que proporciona maior adesão ao chapisco, reduz a retração e permeabilidade, melhora a retração e permeabilidade e aumenta a coesão.
- Selante para as juntas verticais (painel / painel). Atualmente são utilizados os selantes Ultra Flex MS Construção ou Sintex MS 35, que são à base de poliuretano e não têm água na sua composição, apresentando maior durabilidade e uma taxa de compressibilidade de 400% em relação ao seu volume inicial. Inicialmente era utilizado mastique de base acrílica para o preenchimento das juntas, mas como este material possui de 40 a 50% de água na sua composição e possui uma taxa de compressibilidade de 100% do seu volume, com o tempo apresentou ressecamento das juntas, necessitando de manutenções periódicas.
- Trelça nervurada de aço (CA-60), com $h = 6$ cm e $L = 5$ cm, nos quadros de concreto que envolvem todo o perímetro dos painéis (figura 23).
- Barras de aço $\Phi 8$ mm (CA-50 ou CA-60) empregadas nas nervuras verticais dos painéis (barras para içamento).
- Barras de aço $\Phi 5$ mm (CA-60) nas nervuras horizontais dos painéis (vergas e contravergas).

- Barras de aço Φ 8 mm (CA-50 ou CA-60), com reforços tipo L com comprimento de 0,80 m, em cada canto superior e nos encontros das nervuras horizontais com as verticais.
- Barras de aço Φ 8 mm (CA-50 ou CA-60), com reforços tipo L com comprimento de 0,50 m, empregadas em cada um dos cantos inferiores dos painéis.
- Chapas metálicas de ligação, dispostas nas laterais dos painéis (figura 23).

Toda a armadura utilizada nos painéis (detalhada nas figuras 26 e 27) foi calculada para atender três tipos de solicitações: quando o painel é levantado (armaduras verticais), quando o painel está pendurado (no içamento) e quando o painel é solicitado em serviço, após a montagem (armaduras horizontais superiores com reforços em L que transmitem os esforços para as treliças inferiores, que por sua vez os transmitem para a fundação).

Como atividades de um pretenso programa de qualidade seguido pela empresa da Kit Casa, há procedimentos para identificação e rastreabilidade dos produtos em todas as fases de produção, desde os produtos adquiridos até os produtos acabados (painéis, sapatas, lajes, oitões). Para esta identificação, a Kit Casa separa os produtos em três tipos:

- produtos adquiridos: areia, brita, argamassa industrializada e blocos – identificados com placas ou etiquetas junto ao lote de armazenamento ou nas baias;
- produtos em processo, que compreendem os produtos já processados, que vêm prontos para serem aplicados (como contramarcos) – a identificação ocorre pela própria localização física;
- produtos processados na Kit Casa: preparados na indústria, como os kits de elétrica e hidráulica, a armação das ferragens e formas e o produto final (painéis, oitões, lajes e sapatas) – recebem uma etiqueta de identificação onde consta o número do lote, a identificação da peça e a data de fabricação.

Para o concreto (ensaios de longa duração) se aplica o conceito de rastreabilidade, preenchendo-se um relatório de concretagem com registro do número do lote a que corresponde a peça. Este procedimento permite à Kit Casa rastrear exatamente onde cada lote (identificado pelo número do lote na etiqueta fixada na peça) foi utilizado. Após a saída do laudo técnico, é certificado se o concreto utilizado está conforme com as especificações feitas pelo engenheiro estrutural. Em caso positivo, o engenheiro vista o laudo e libera as peças. Caso o resultado do laudo técnico não esteja conforme, o engenheiro de produção é informado, para tomar as devidas providências, entre as quais a inutilização das peças para o caso em questão.



Figura 23 – Alguns materiais e componentes dos painéis Jet Casa

4.1.3 Fabricação e montagem dos painéis de paredes

Os painéis são fabricados sobre uma bancada metálica ou de concreto, por meio da justaposição de blocos cerâmicos, como pode ser visto na figura 24. As juntas “verticais” entre os blocos são preenchidas com argamassa. As nervuras formadas no interior e nas bordas do painel (quadro) são constituídas de concreto armado, sendo que as nervuras verticais são dotadas de armadura e ganchos para içamento e transporte. As nervuras externas formam um quadro de concreto armado no entorno do painel e as nervuras horizontais, no caso das aberturas, servem de vergas e contravergas.



Figura 24 – Montagem dos painéis Jet Casa

A base dos blocos cerâmicos recebe uma camada de argamassa para evitar o desperdício de concreto através de sua infiltração nos furos do bloco cerâmico quando da sua concretagem (figura 25).



Figura 25 – Camada de argamassa dos blocos dos painéis Jet Casa

As figuras 26 e 27 mostram a armadura adotada nos painéis com seus detalhes de cobertura, que é de 2,50 cm. Os detalhes 01 e 02 mostram as treliças nervuradas com aço CA-60 com altura de 6 cm e largura de 5 cm, montadas em todo o perímetro dos painéis. Nas duas nervuras verticais internas dos painéis são utilizadas barras de aço corridas de 8 mm, conforme detalhe 03, cuja finalidade é atender às solicitações que ocorrem quando do içamento dos painéis.

O detalhe 04 mostra as duas barras de 5 mm utilizadas nas nervuras horizontais internas dos painéis, que funcionam como vergas e contra-vergas, contribuindo para a uniformização das cargas nos cantos e bordas da alvenaria com as nervuras de concreto. Os detalhes 05, 06 e 07 ilustram a armadura constituída de uma barra de 8 mm, dobrada em L para reforço dos cantos inferiores, superiores e no encontro das nervuras horizontais com as verticais.

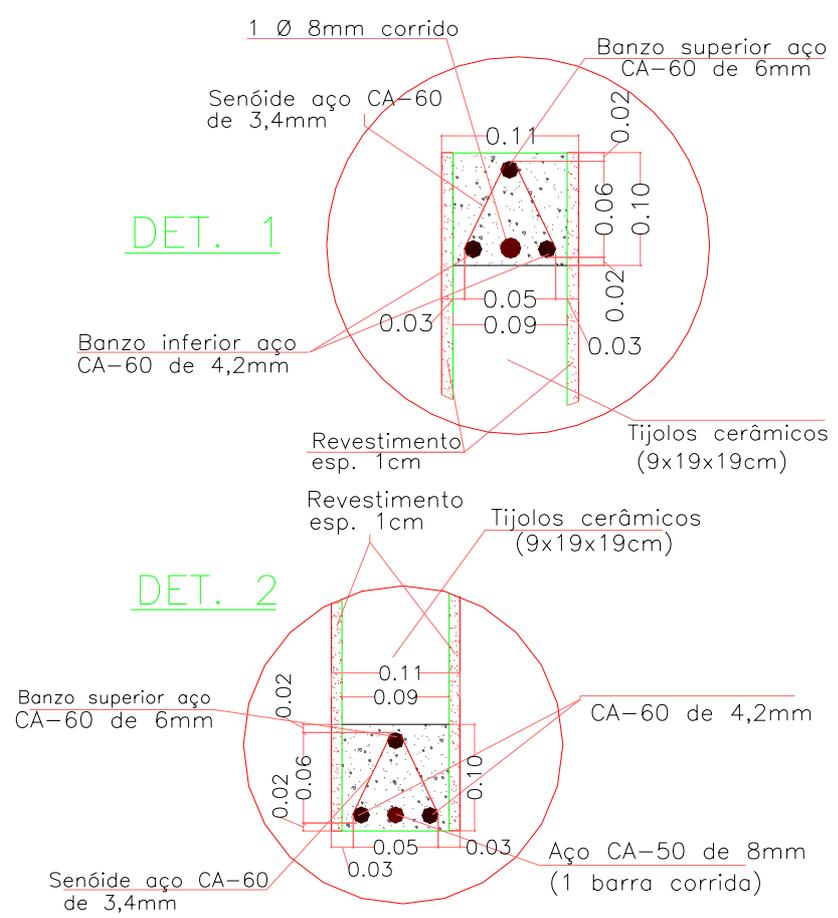
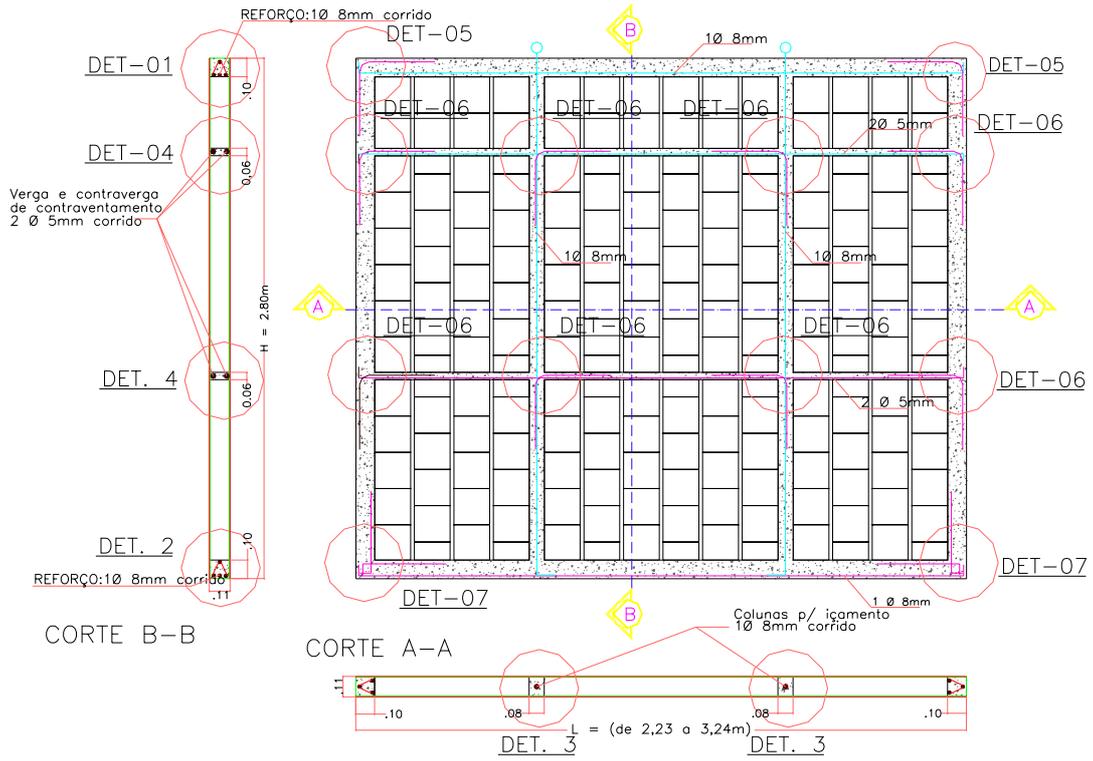
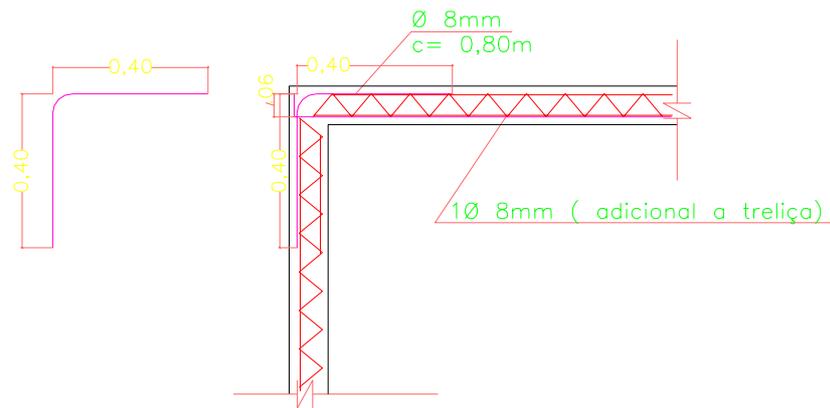
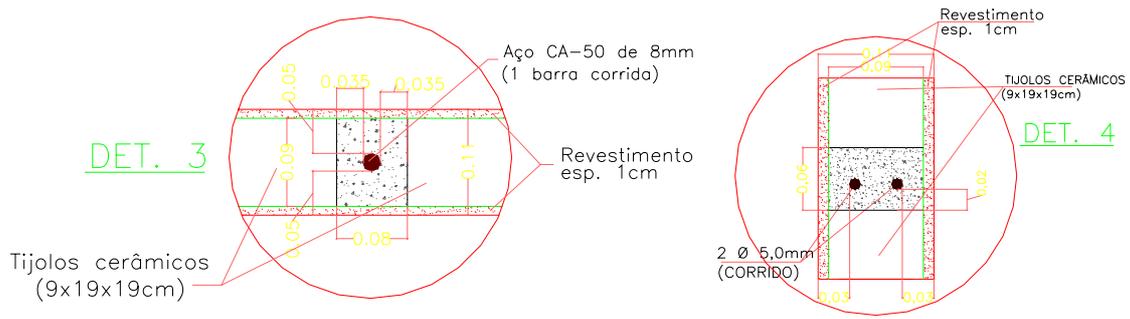
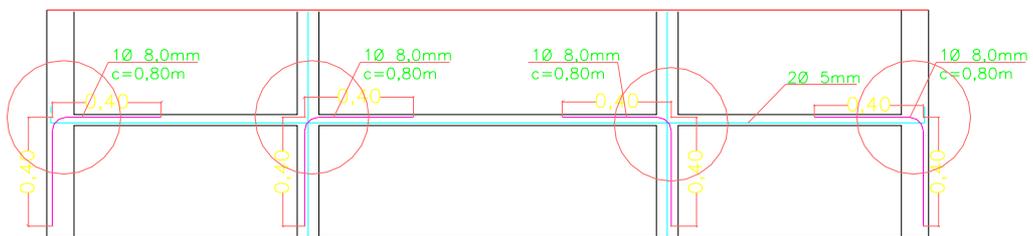


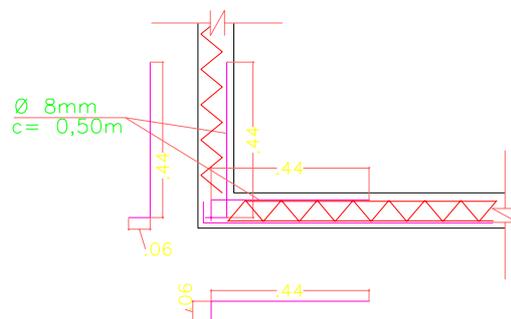
Figura 26 – Detalhamento da armadura dos painéis Jet Casa



DET-05 REFORÇO (CANTOS SUPERIORES)



DET-06 REFORÇO ENTRE NERVURAS E COLUNAS



DET-07 REFORÇO (CANTOS INFERIORES)

Figura 27 – Detalhamento da armadura dos painéis Jet Casa

A montagem da armadura é padronizada, baseada nos projetos estruturais para produção, liberados após revisão e aprovação do engenheiro de estrutura, num procedimento que faz parte do programa de qualidade da produção. Utiliza-se uma bancada de trabalho específica para dobra da armadura treliçada, conforme mostra a figura 28.

Os painéis são considerados monolíticos, ou seja, a resistência de cada painel é obtida pela integração da estrutura de concreto armado com a alvenaria, considerando o preenchimento das juntas e os revestimentos de argamassa internos e externos. O comportamento conjunto de todos estes materiais é que vai estabelecer a resistência dos painéis. De acordo com o fabricante, os revestimentos internos e externos têm pouca influência na resistência do conjunto, mas todos os ensaios de determinação da resistência à compressão excêntrica em paredes, realizados pelo IPT, foram executados com painéis revestidos de ambos os lados.

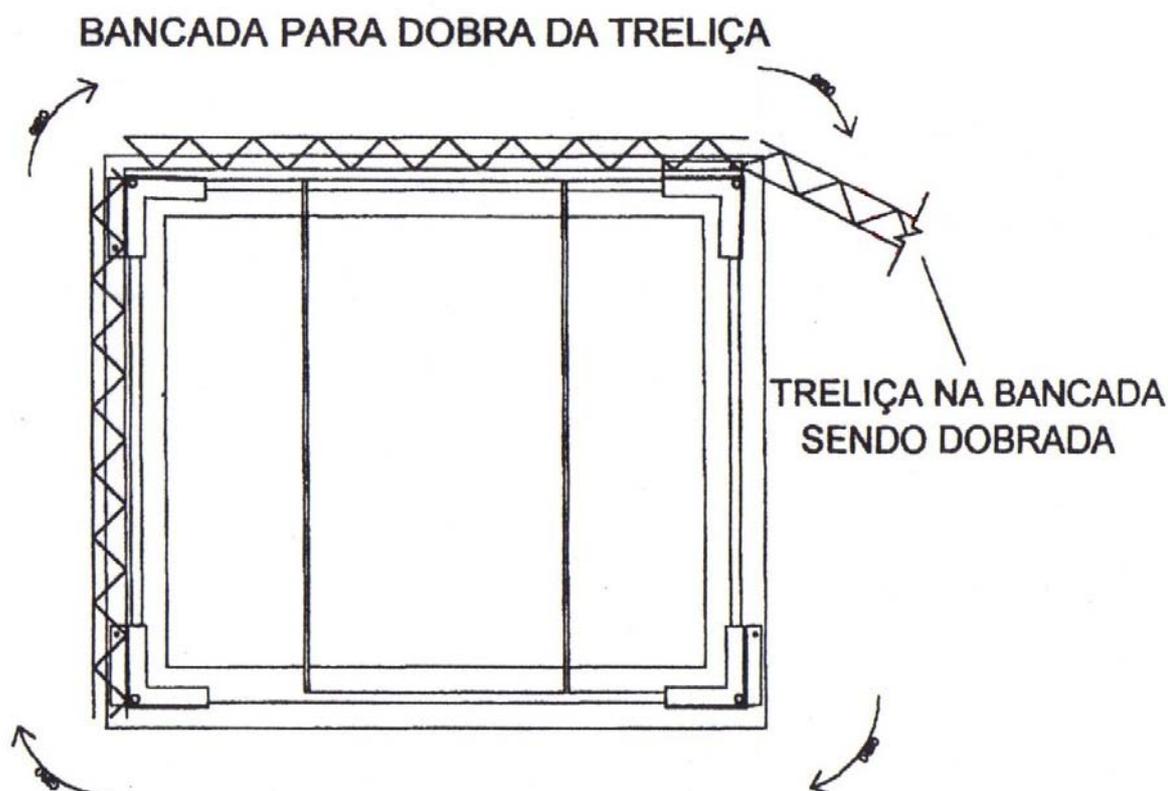


Figura 28 – Bancada para dobra da treliça

Após a dobra de toda a treliça, o operário responsável executa a ligação da treliça, soldando-a com os pedaços de ferro de 8 mm em forma de L nos cantos superiores e inferiores, entre nervuras e colunas, assim como a solda para ligação da treliça com os ferros transversais e longitudinais já citados anteriormente. Com a armadura pronta, executa-se a solda da ferragem de içamento à treliça. Ao final deste processo, identifica-se a armadura com uma etiqueta (onde se registram suas

características bem como a numeração do projeto de armação). A estocagem é feita por tipo e tamanho, anexando-se um saco plástico contendo o kit de ferragens, que compreende os espaçadores, arame e grapas que serão utilizados na montagem daquele painel.

A figura 29 mostra o detalhe do kit hidráulico de um painel Jet Casa. Para facilitar a execução, o projeto do kit hidráulico vem acompanhado da relação de conexões, onde o operário separa todas as peças que serão utilizadas, mede a tubulação, executa o corte dos tubos e faz a montagem conforme o projeto específico para cada painel. O mesmo acontece com os kits elétricos. As caixas de ferro esmaltadas já são chumbadas previamente nos blocos, que também previamente são cortados com serra (que possui corte definido para cada tipo de caixinha). Estes blocos então são armazenados em estoque com identificação para cada painel especificado.

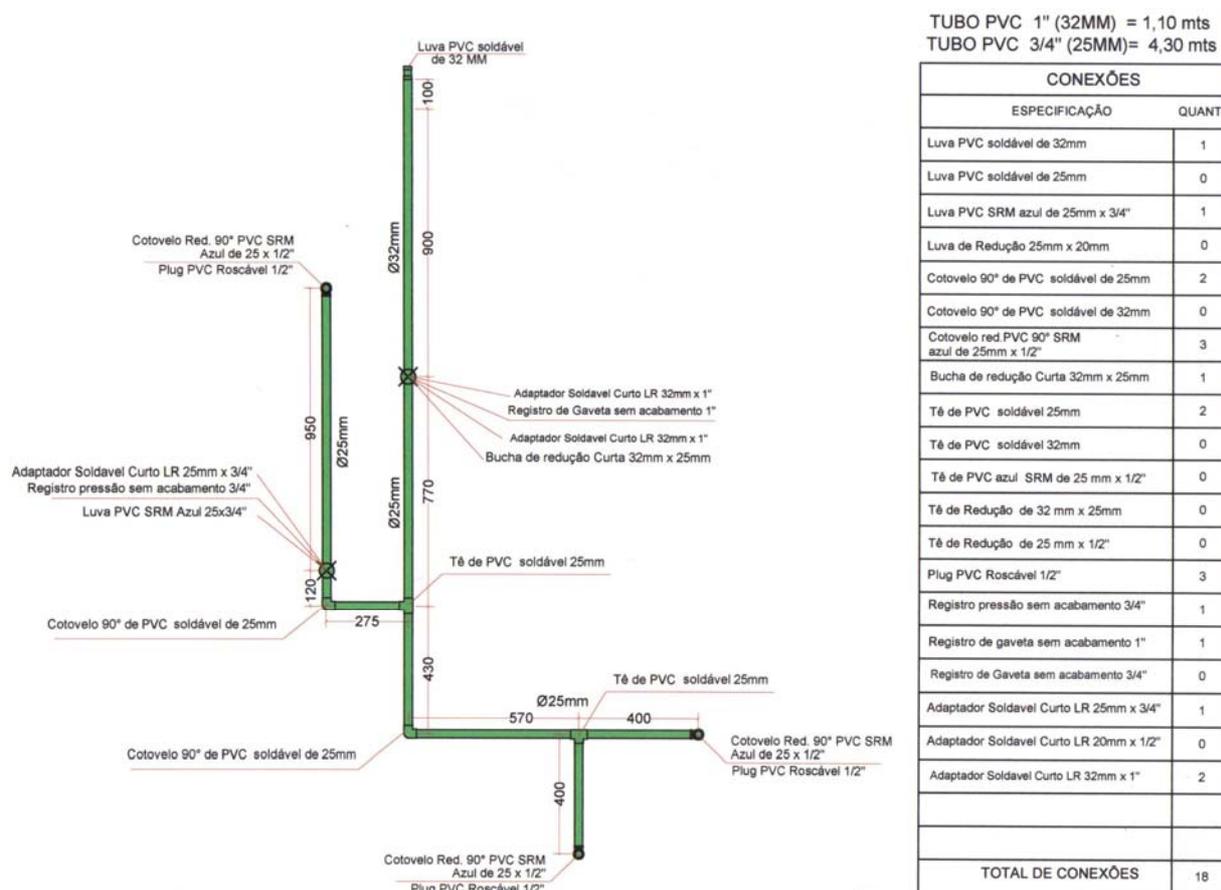


Figura 29 – Detalhamento de um “kit hidráulico” de um painel Jet Casa

Na montagem do painel, os kits de hidráulica e elétrica já estarão prontos e serão inseridos nas formas nas posições indicadas no projeto executivo, onde constam a modulação dos blocos, armaduras, kits hidráulicos e elétricos, posição de batentes e contramarcos, se for o caso.

A figura 30 mostra os projetos do painel onde o kit hidráulico apresentado na figura 29 será utilizado, com as modulações dos blocos, posição do batente para porta (com identificação da localização das dobradiças), pontos de ligação entre painéis que são posicionados na superfície da forma e, posteriormente, na montagem serão utilizados para soldagem e travamento de um painel a outro.

O projeto executivo apresenta também a quantidade de cada material a ser utilizado na montagem daquele painel, como tubo para ventilação de esgoto, caixinhas de ferro esmaltadas, quadros de distribuição, blocos, kits de grapas para fixação de pia e tanque, kits de travamento entre painéis, etc., conforme figura 31.

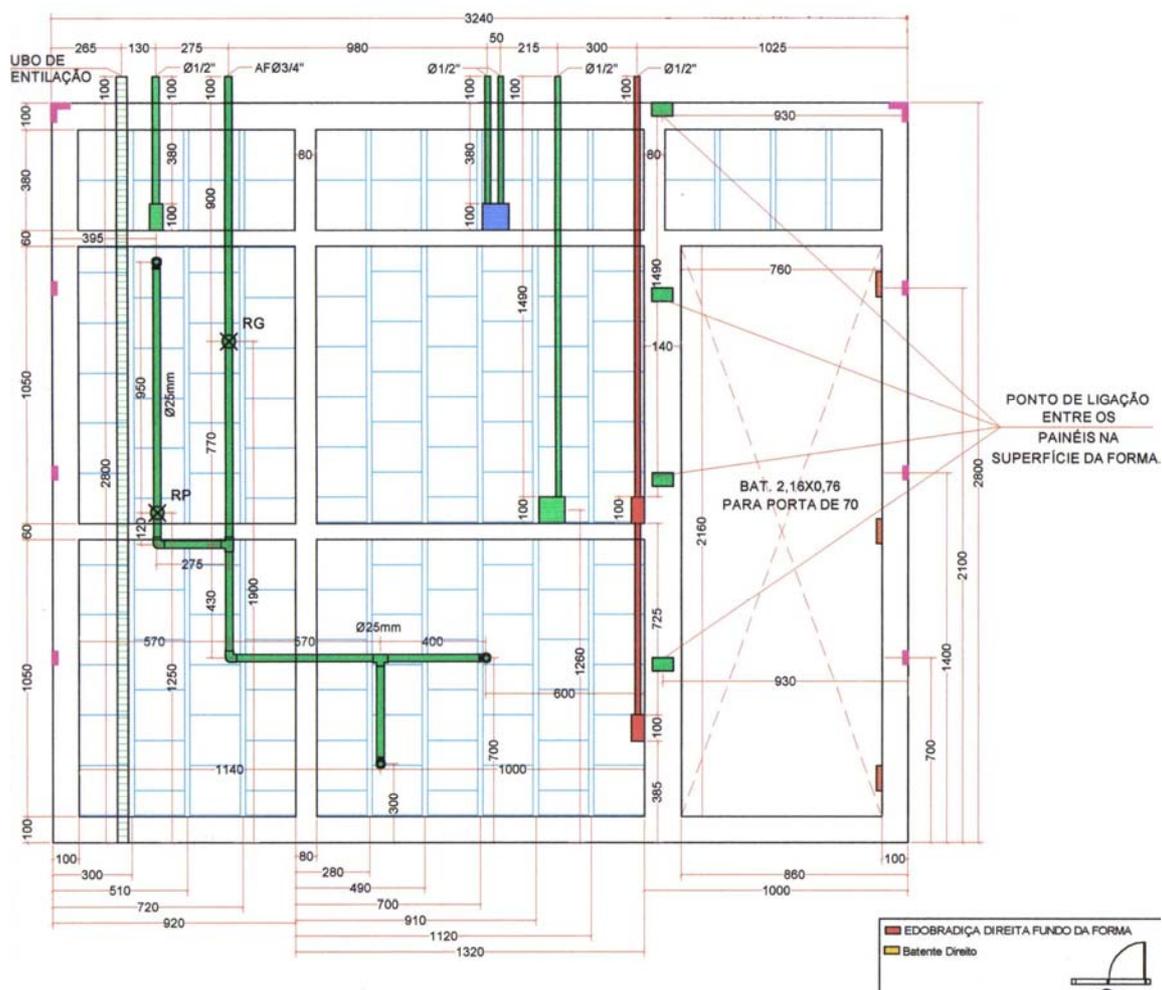


Figura 30 – Modulação de blocos, tubulação hidráulica e elétrica de um painel Jet Casa

DESCRIÇÃO		QUANT.	UNID.
BATENTE DE PORTA 2,160x0,760 quart.		01	PÇS
CONTRA MARCO JANELA		0	PÇS
HIDRAULICA	TUBO P.V.C MARROM		
	(Alimentação) 25mm	(ventilação de esgoto) 32mm	
	0		2,900
			01
ELÉTRICA	TUBO POLIETILENO (cm)		
	1/2x1,5mm		
	0,45	0,55	0,65
	0,90	1,40	1,70
	1,90	2,50	3,10
	02		01
	3/4x1,5mm		
	0,65	1,40	1,70
	2,50		
	1"		
1,80			
CX DE FERRO ESMALTADA			
4x4	4x2	QUADRO DE DIST. 25 x 30	
03	03		
DESCRIÇÃO		QUANT.	UNID.
CONCRETO		0,148	M3
JUNTA		0,038	M3
CHAPISCO		00	M2
REBOCO		00	M3
IMPERMEABILIZAÇÃO		1,093	KG
TIJOLO 8 furos - 19x19x09 cm		128	PÇS
TIJOLO 8 furos - 09x09x19 cm		20	PÇS
ESPAÇADOR 1.1/2" x 4 cm		04	PÇS
ESPAÇADOR 1" x 2 cm		12	PÇS
KIT GRAPA DE FIXAÇÃO PIA E TANQUE		00	PÇS
KIT TRAVAMENTO CANTONEIRA		02	PÇS
KIT TRAVAMENTO FERRO CHATO		10	PÇS
DESMOLDANTE		1,189	KG
<ul style="list-style-type: none"> Caixa gêmea Tubo do fundo da forma Tubo da superfície da forma 			

Figura 31 – Detalhe do projeto executivo com quantitativos dos materiais de um painel Jet Casa

Os batentes das portas e contramarcos das janelas possuem grapas para fixação ao concreto. As portas e janelas são parafusadas após a montagem dos painéis. A figura 32 mostra uma forma sendo montada com batentes e tubulação elétrica.



Figura 32 – Forma para montagem de painel Jet Casa com batente e tubulação elétrica

Após a montagem dos blocos nas fôrmas, de acordo com o projeto de cada painel, é feita a concretagem das nervuras em todo o perímetro dos painéis, das nervuras horizontais e verticais, das vergas e contravergas e na direção dos pontos de içamento (figura 33). As nervuras são espaçadas de acordo com o projeto estrutural. As formas já são fabricadas de modo que, na montagem, após a colocação dos blocos, o espaçamento das nervuras coincida com o espaçamento especificado no projeto.

Ambas as faces dos painéis recebem revestimento de argamassa sobre base de chapisco rolado, aplicado com rolo de espuma. Este revestimento possui espessura de 1 cm, com as características e traço descritos anteriormente. Além da resistência à compressão (mínima de 5 MPa), obteve-se o valor de 0,3 MPa no ensaio de determinação da aderência por arrancamento (tração), realizados pelo IPT, de acordo com a NBR 13279 e NBR 13528. Uma das faces dos painéis é revestida durante o processo de pré-fabricação, com o painel na posição horizontal (face superior – figura 33). Nesta face obtém-se com exatidão a espessura desejada de 1,0 cm no revestimento, uma vez que a altura da forma é de 10 cm e a espessura dos blocos é de 9 cm, restando 1,0 cm de revestimento para o preenchimento nivelado da forma.

O sarrafeamento do revestimento é realizado com régua de alumínio e desempeno com feltro, para obter uma textura uniforme e lisa. A desforma dos painéis ocorre após no mínimo 12 horas de revestimento horizontal. Após este período, o

painel é içado, colocado em cavaletes na posição vertical e a face do painel que estava voltada para a forma é revestida. Esta prática é adotada para evitar que a face onde o painel já foi revestido seja danificada. Na posição vertical aplica-se o chapisco rolado, como na outra face e, após no mínimo 4 horas, aplica-se o revestimento de argamassa (nivelado com taliscas previamente fixadas nos painéis), utilizando a régua de alumínio e feltro, sempre respeitando a espessura de 1,0 cm para que a parede fique com 11 cm quando acabada.



Figura 33 – Concretagem das nervuras e aplicação do chapisco rolado nos painéis Jet Casa

Ainda na fábrica, aplica-se com brocha uma camada impermeabilizante de aproximadamente 20 cm de altura, em ambas as faces na base dos painéis, empregando-se pasta de cimento polimérico (figura 34). Geralmente é utilizado o Vedax Plus da Fosroc, que é uma argamassa impermeabilizante semi-flexível à base de cimento e polímeros, especialmente formulada para a impermeabilização de elementos de concreto ou alvenaria.

Após a fabricação e cura, os painéis são transportados até o local de montagem, com auxílio de caminhão tipo “munck” ou guindaste, onde são dispostos em suportes metálicos na ordem em que serão utilizados na montagem, conforme projeto de montagem, como apresentado na figura 34.



Figura 34 – Impermeabilização da base dos painéis Jet Casa e disposição para montagem

As paredes externas podem ser pintadas com duas demãos de tinta acrílica ou textura acrílica. As paredes do banheiro podem ser revestidas com azulejo, assim como as paredes da cozinha. As demais paredes internas e o teto são pintados com tinta acrílica, em duas demãos, com ou sem emprego de massa corrida, dependendo do acabamento final desejado. Este acabamento é feito após a montagem da unidade residencial em seu local definitivo.

A fundação das unidades habitacionais pode ser composta por brocas (estacas escavadas) que recebem blocos de coroamento pré-moldados (figura 35), por sapatas isoladas, por estacas pré-moldadas de concreto ou por radier. A escolha do tipo de fundação, como em toda edificação, depende de um estudo geotécnico do subsolo e análise do projeto de terraplanagem para cada implantação específica.

Após o nivelamento da fundação, os painéis são montados seguindo-se o projeto de montagem na ordem crescente de numeração dos painéis, conforme exemplo da figura 36. No caso da utilização de estacas, na fase de montagem os painéis são apoiados sobre a viga ou sapata da fundação, quando a parte inferior dos painéis é encaixada em canaletas existentes nos blocos de fundação pré-moldados de concreto armado, empregando-se graute nesta ligação.



Figura 35 – Blocos de fundação pré-moldados do sistema Jet Casa

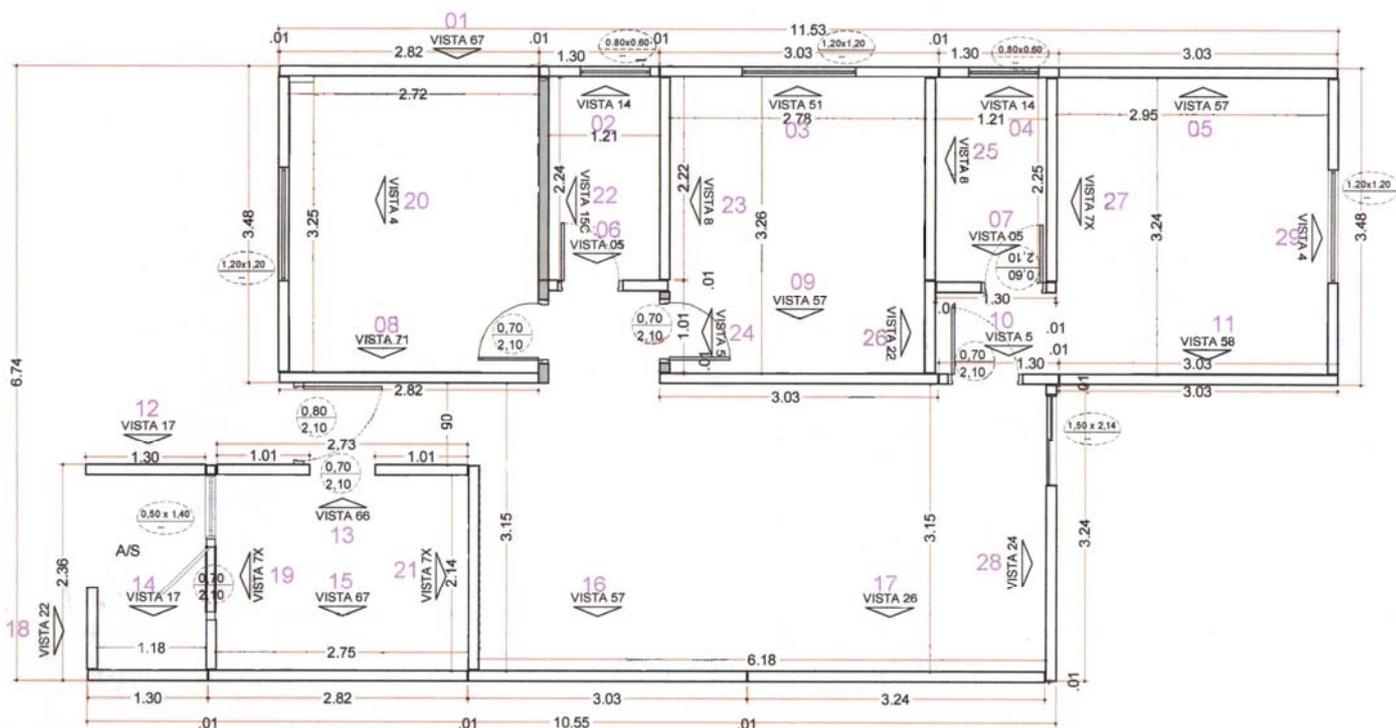


Figura 36 – Exemplo de seqüência de montagem dos painéis Jet Casa

A seqüência de montagem contempla as seguintes etapas. O caminhão muncck posiciona o primeiro painel sobre a fundação, com a ajuda de um operário que o prende com uma mão francesa, conforme mostra a figura 37. Através de parafusos existentes na mão francesa o operário acerta o nível e prumo do painel.

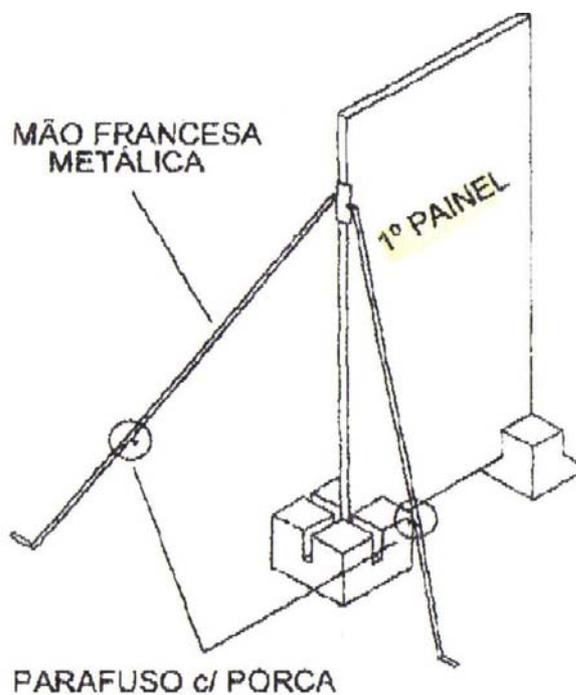


Figura 37 – Posicionamento do 1º. Painel Jet Casa

Em seguida, coloca-se o segundo painel na posição indicada no projeto. Com o painel ainda preso ao caminhão, verifica-se se o painel está apurado. Caso positivo,

verifica-se o nível e prumo dos dois painéis já montados, deixando-se uma folga de 1,0 centímetro entre uma parede e outra. Esta folga é obtida através do uso de um espaçador. Ainda com o auxílio do caminhão, um operário solda o encontro das paredes na parte superior do painel, onde se encontram as cantoneiras de ferro. Repete-se o processo com os demais painéis até terminar a montagem (figura 38 e 39). Este ponto de solda tem a capacidade de resistência de 500 kgf de tração. Outras mãos francesas são utilizadas para evitar a movimentação dos painéis até o final da montagem.

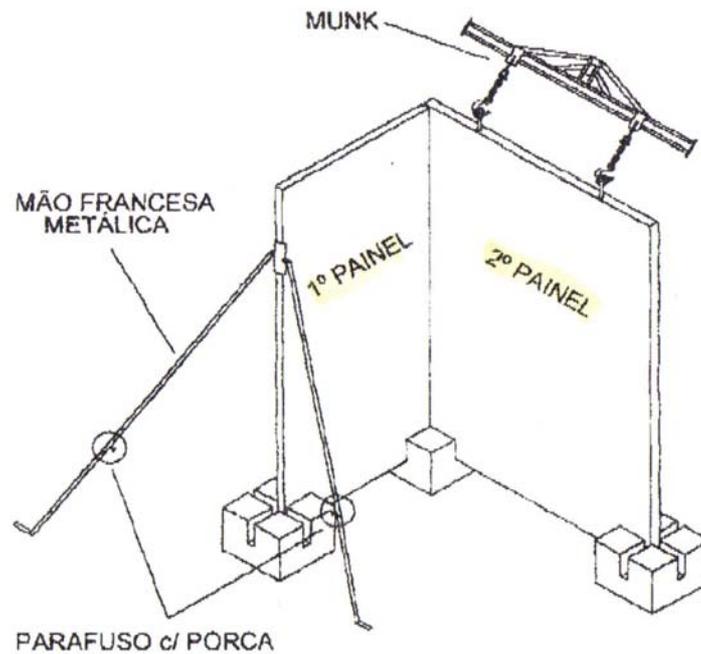


Figura 38 – Posicionamento do 2º. Painel Jet Casa



Figura 39 – Soldagem das cantoneiras de ferro localizadas na parte superior dos painéis

Após a montagem de todos os painéis e fixação dos mesmos através da solda na cantoneira superior, são soldadas as barras chatas de ferro existente nas laterais de cada painel (figura 40). Estes quatro componentes de ligação metálicos dispostos nas laterais dos painéis (cantoneira superior mais três barras chatas de ferro) têm uma distância entre si de 70 cm; que permite total imobilização dos painéis após as soldas. Estes componentes são soldados com o auxílio de uma barra de aço de 10 mm de diâmetro (CA-25) e recebem pintura prévia de primer anticorrosivo antes de serem introduzidos nos painéis. Após a execução da solda, aplica-se uma demão reforçada de fundo anticorrosivo à base de resina sintética.



Figura 40 – Detalhe dos pontos de solda nos encontros dos painéis

Após a solda das barras nas laterais dos painéis, eles ficam totalmente imobilizados, no esquadro, nivelados e apurados. Procede-se então ao preenchimento das juntas de 1,0 cm entre os painéis, previamente ajustadas na montagem através de espaçadores, com argamassa. Esta argamassa é aplicada nas juntas através de bisnagas. Finalmente, no friso que se forma nas juntas entre painéis, após a aplicação da argamassa é feito o tratamento com selante à base de poliuretano, para total vedação das juntas, evitando-se infiltração de água.

Nas unidades habitacionais produzidas através do sistema Jet Casa o uso da laje é opcional. Os painéis não necessitam de travamento através da laje, pois esta rigidez lateral é proporcionada pelos pontos de solda entre os painéis e pelo próprio contraventamento obtido com os painéis perpendiculares. Isso possibilita a utilização de forro de gesso acartonado ou qualquer outro tipo de material.

Caso a opção seja pela utilização de painéis de laje, os mesmos também são pré-fabricados, nervurados e maciços, com espessura de 4,0 cm, empregando-se concreto com $f_{ck} = 25$ MPa. Sua produção segue projeto apropriado, da mesma forma que os painéis de paredes, conforme detalhes apresentados na figura 41. São armados com tela soldada CA 60 – Q-92, com cobrimento de armadura de 2,0 cm.

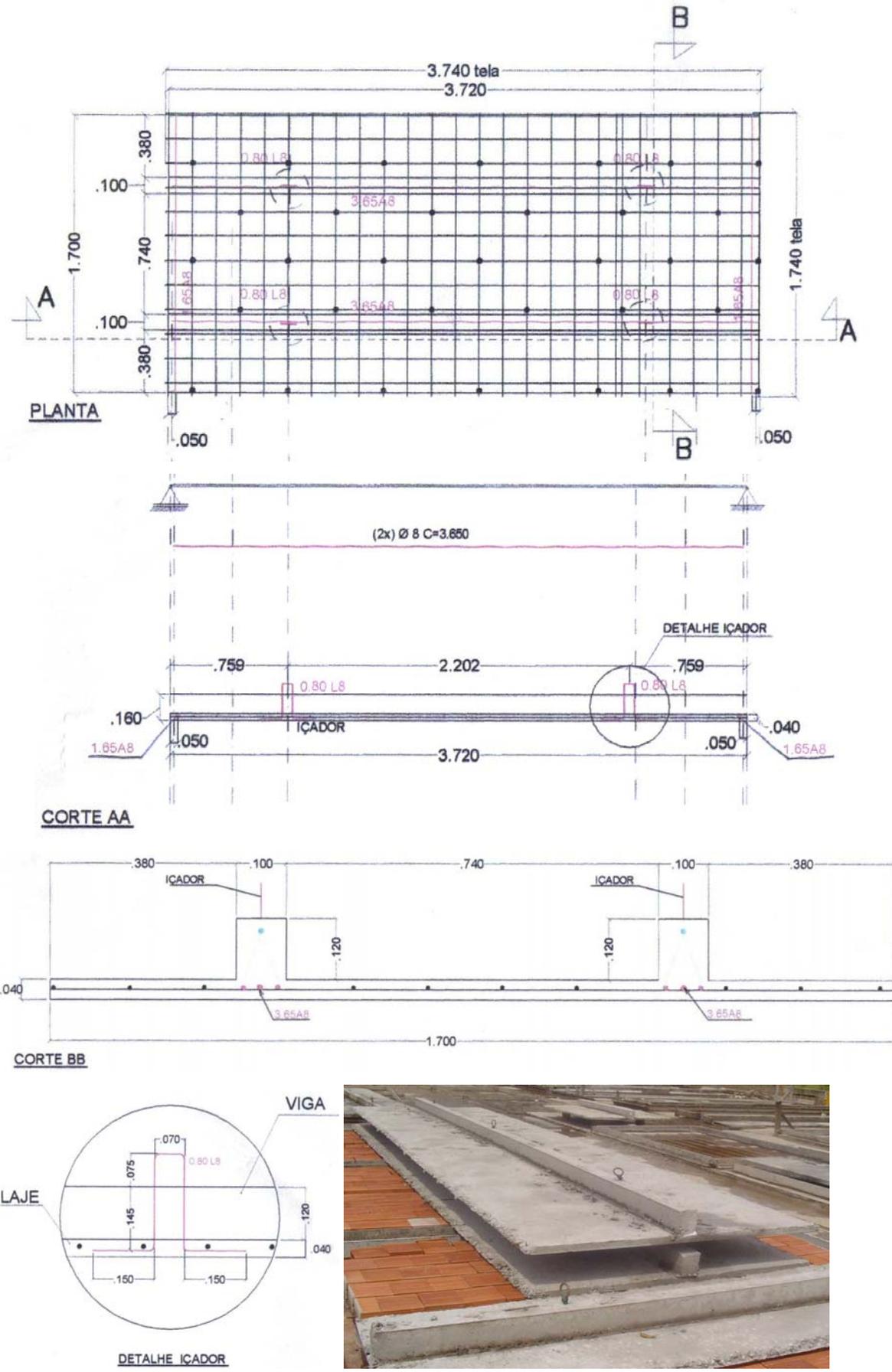


Figura 41 – Detalhe da laje pré-fabricada Jet Casa

As figuras 42 e 43 mostram as armaduras das lajes nervuradas dispostas nas formas e os painéis de laje já concretados.



Figura 42 – Armaduras das lajes nervuradas com ganchos de içamento

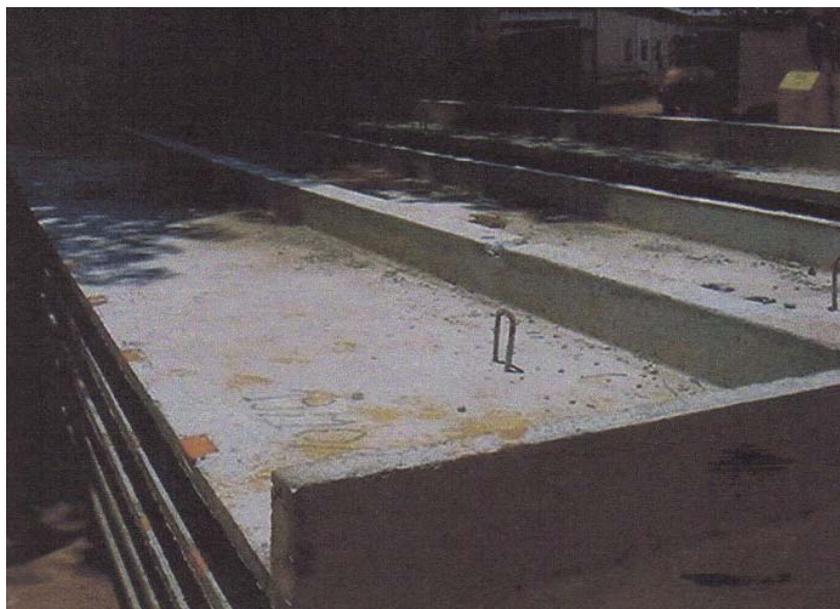


Figura 43 – Vista dos painéis de laje concretados

No sentido longitudinal de cada painel de laje existem cantoneiras metálicas embutidas a cada 70 cm, que possibilitam a soldagem entre painéis após o posicionamento dos painéis de laje sobre os painéis de parede. Executa-se grauteamento das duas extremidades dos painéis de laje com o topo dos painéis de parede. Todas as juntas horizontais entre painéis de parede e painéis de laje são

preenchidas com argamassa. A figura 44 mostra uma fase da montagem onde os painéis de laje já estão dispostos sobre os painéis de parede.



Figura 44 – Painéis de laje montados sobre os painéis de parede

Os oitões também são produzidos seguindo o mesmo procedimento de fabricação dos painéis. O travamento dos oitões é feito com o auxílio de três barras de aço 10 mm soldadas em componentes metálicos inseridos no topo dos oitões e nas bordas das lajes, conforme figura 45. Externamente, na fachada, é feita a soldagem da base dos oitões com a parte superior dos painéis de laje a cada 70 cm, por meio de componentes de fixação (cantoneiras metálicas chumbadas nos oitões e na laje) e segmentos de barras de aço Φ 10 mm com comprimento de 7 cm, empregados para unir as cantoneiras através de solda no sentido do comprimento das mesmas. Os oitões são assentados com argamassa sobre a laje. Externamente, as juntas entre os oitões e os painéis recebem o mesmo acabamento utilizado nos painéis, com selante.

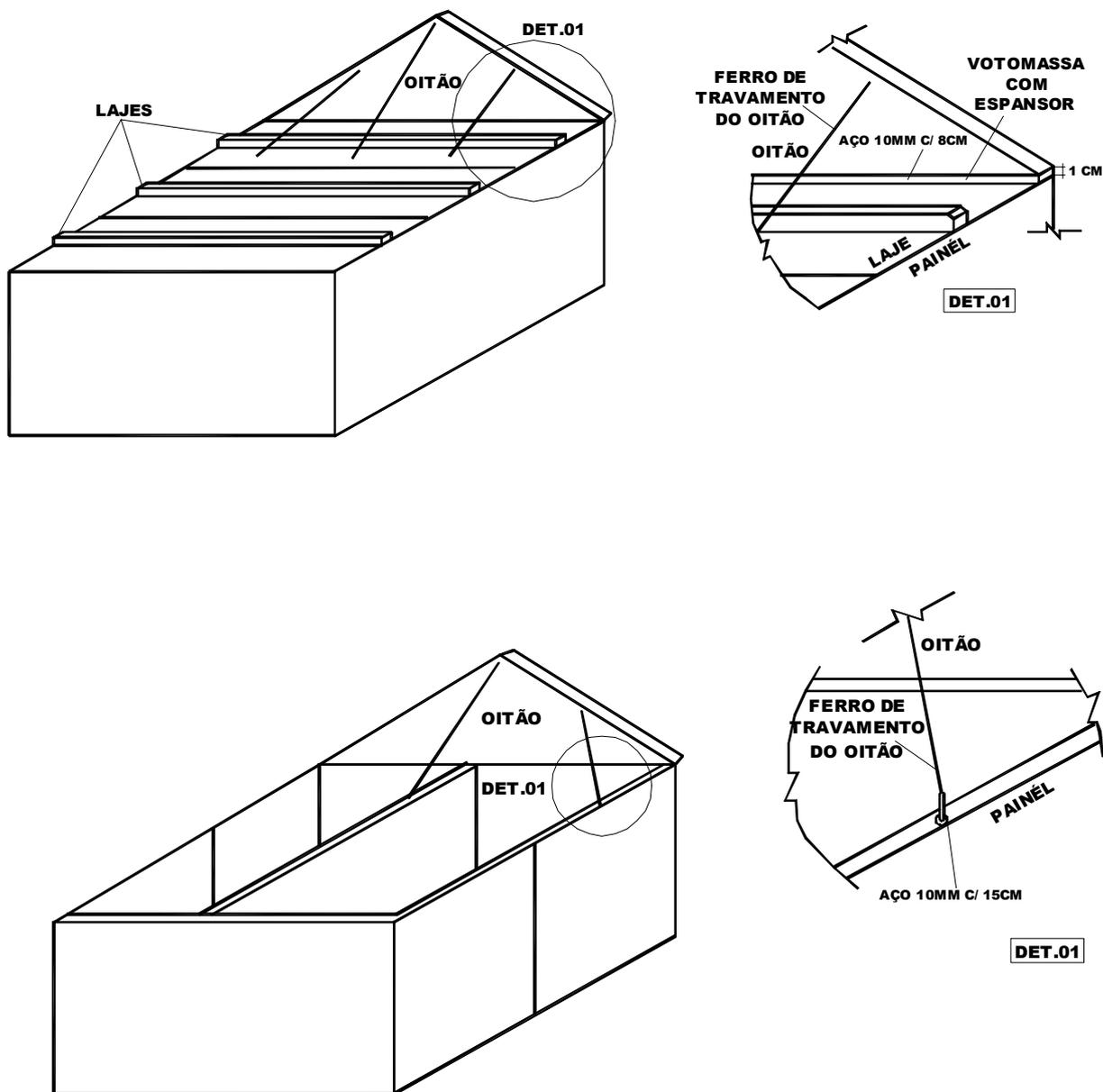


Figura 45 – Detalhe do travamento dos oitões no sistema Jet Casa com ou sem a utilização de laje

A estrutura da cobertura pode ser composta por perfis metálicos ou peças de madeira, de acordo com a melhor conveniência para a obra a ser executada. Hoje, para empreendimentos com grande número de unidades, as estruturas de cobertura metálica têm se mostrado mais vantajosas, tanto no aspecto de custo quanto na facilidade de montagem, manuseio e estocagem, além de não produzir entulho, uma vez que as peças chegam ao canteiro prontas para a montagem. Registra-se também

que os mesmos benefícios podem ser obtidos com sistemas pré-fabricados de madeira, que já existem no mercado.

A figura 46 mostra o panorama geral de um condomínio de casas térreas na fase de montagem dos painéis de parede.



Figura 46 – Panorama da montagem de um condomínio residencial com a utilização dos painéis Jet Casa

4.1.4 Condições e Limitações de Uso

Da mesma forma como acontece na alvenaria estrutural, observa-se que existem algumas limitações neste sistema relativamente às estruturas convencionais. Em virtude dos painéis constituírem a própria estrutura da edificação, é praticamente impossível efetuar alterações no projeto arquitetônico original, após a execução. Isso pode ser um fator inibidor de vendas. Além disso, como as instalações são todas previamente executadas na fabricação dos painéis, quaisquer furos em paredes devem seguir rigorosamente os projetos apresentados de cada painel, o que pode ser uma limitação do ponto de vista do usuário. No que se refere às edificações do tipo sobrado, registra-se que o Sistema “Jet Casa” já contempla esta alternativa.

4.1.5 Avaliação Técnica

A avaliação técnica do sistema de painéis cerâmicos pré-fabricados foi conduzida principalmente pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, a partir da análise de projetos e especificações técnicas, verificações analíticas, vistorias em obras em execução e obras concluídas, ensaios realizados em laboratório e em unidades habitacionais. Os ensaios foram realizados por laboratórios do IPT e, eventualmente, por laboratórios de terceiros, conforme se descreve a seguir.

Quando avalia um sistema construtivo e ele é aprovado, o IPT emite Referência Técnica. É um documento padronizado, que expressa a opinião do IPT sobre o desempenho, as instalações, uso e manutenção de um produto inovador ou que não disponha de normalização técnica, em condições pré-estabelecidas e voltado para a área da construção civil.

Até recentemente, a ausência de normas técnicas para sistemas construtivos inovadores criava barreiras para a introdução, disseminação e aplicação de novos sistemas, materiais e componentes na construção civil. Atualmente, muitos agentes financeiros de concessão de créditos imobiliários, como a Caixa Econômica Federal, por exemplo, utilizam as referências técnicas do IPT como parâmetro para comprovação da qualidade de produtos ou sistemas construtivos, que ainda não têm balizamento estabelecido nos Programas setoriais da Qualidade do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat, o PBQP-H.

Em outros países, documentos similares à Referência Técnica do IPT também são emitidos por entidades privadas ou governamentais. A World Federation of Technical Assessment Organizations (WFTAO) congrega internacionalmente essas entidades, num total de 25, representando 21 países, sendo o IPT uma delas. A Referência Técnica contém:

- Informações do produto e do escopo da avaliação.
- Regulamentos e normas técnicas consideradas.
- Requisitos e critérios de desempenho adotados na avaliação.
- Resumidamente, características técnicas do produto, forma de aplicação ou execução (com base na literatura técnica do fabricante).
- Avaliação técnica com resumo dos principais aspectos de caracterização e desempenho do produto.
- Avaliação do sistema da qualidade na produção.
- Assistência técnica oferecida, formas de treinamento e, eventualmente, outras fontes de informação sobre o produto.
- Condições de emissão do documento e seu prazo de validade.

A Referência Técnica é concedida para produtos com composição, estrutura e forma bem definidas, e cuja fabricação é realizada sob condições que garantam a permanência de suas características para os vários usos previstos. Para a empresa, este documento traz diversas vantagens:

- A empresa pode fazer amplo uso publicitário.
- O produto terá maior aceitação pelo mercado e órgãos regulamentadores.
- O consumidor terá a segurança que procura no seu produto.
- O produto tem a sua qualidade verificada e torna-se referência para o mercado.
- O produto contará com o reconhecimento internacional da Referência Técnica, o que facilita sua aceitação no mercado exterior.

Para obtenção de uma Referência Técnica, o produto deve ser devidamente avaliado e, uma vez obtidos resultados favoráveis, pode ser assinado um contrato de concessão da Referência Técnica e de licença para o uso da marca por um período de dois anos.

O sistema construtivo que obtém a Referência Técnica do IPT é avaliado segundo procedimentos e critérios específicos para cada produto, estabelecidos em proposta de trabalho. As amostras são selecionadas e coletadas pelo próprio IPT durante as auditorias e inspeções. São avaliados aspectos relevantes do produto, como resistência mecânica e estabilidade, resistência ao fogo, resistência à umidade, durabilidade e manutenção requeridas, desempenho e segurança na utilização, conforto térmico e absorção acústica, dentre outros; e de sua produção, a fim de verificar a capacidade de manutenção das características mencionadas.

Ao término da avaliação, o IPT apresenta um relatório técnico com os resultados do desempenho do produto e eventuais condições para a emissão da Referência Técnica. Com as condições atendidas e os resultados satisfatórios, a Referência Técnica poderá ser emitida.

A empresa e o IPT assinam um contrato para emissão do documento e para a concessão da licença de uso da marca Referência Técnica. Durante o período do contrato, o IPT realiza periodicamente avaliações de acompanhamento da qualidade do produto, bem como das condições da produção, com o intuito de monitorar a manutenção das características estabelecidas na Referência Técnica. Ao término da validade da Referência Técnica, ela pode ser revisada e reeditada, mediante a renovação do contrato.

Para o sistema construtivo em questão, inicialmente o IPT fez a caracterização dos blocos cerâmicos, concreto e argamassa utilizados na fabricação dos painéis. A caracterização dos blocos cerâmicos do tipo 8 furos quadrados (9 cm x 9 cm x 19 cm)

foi feita através dos ensaios de características geométricas, resistência à compressão, determinação da massa e absorção de água, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces.

Para a argamassa foram realizados os ensaios de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, massa específica, absorção de água e índices de vazios. Para o concreto foram realizados ensaios de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Nesta caracterização foram estabelecidos valores mínimos, médios e coeficientes de variação para cada tipo de ensaio realizado, cujos resultados serão mostrados adiante.

Desempenho Estrutural

Para verificação do desempenho estrutural de uma edificação construída através do sistema construtivo Jet Casa foi utilizada uma residência montada em um canteiro de obras em São José do Rio Preto – SP, composta por dois dormitórios, sala, cozinha e banheiro, conforme projeto mostrado na figura 47, e foram realizados dois tipos de ensaio: com carregamento horizontal e vertical, analisando-se a estrutura formada por um quadro externo de concreto armado e pilaretes, vergas e contra-vergas de concreto armado e os blocos cerâmicos.

O ensaio com carga horizontal teve como objetivo principal avaliar o comportamento das interfaces entre as paredes, uma vez que, sob carga horizontal decorrente da ação do vento, tais regiões apresentam elevado potencial para o aparecimento de fissuras. O ensaio com carga vertical, que corresponde ao peso próprio do telhado e sobrecarga de forro atuando sobre a laje, teve como objetivo verificar a eficiência do conjunto formado pela parede de blocos conjuntamente com os quadros estruturais (em concreto armado), assim como o comportamento de vergas, contra-vergas e pilaretes. Os ensaios foram realizados pela Capi Engenharia e Construção Ltda., de São José do Rio Preto – SP, em conjunto com a OSMB Projetos e Consultoria S/C Ltda., de São Carlos – SP e supervisionados pelo IPT.

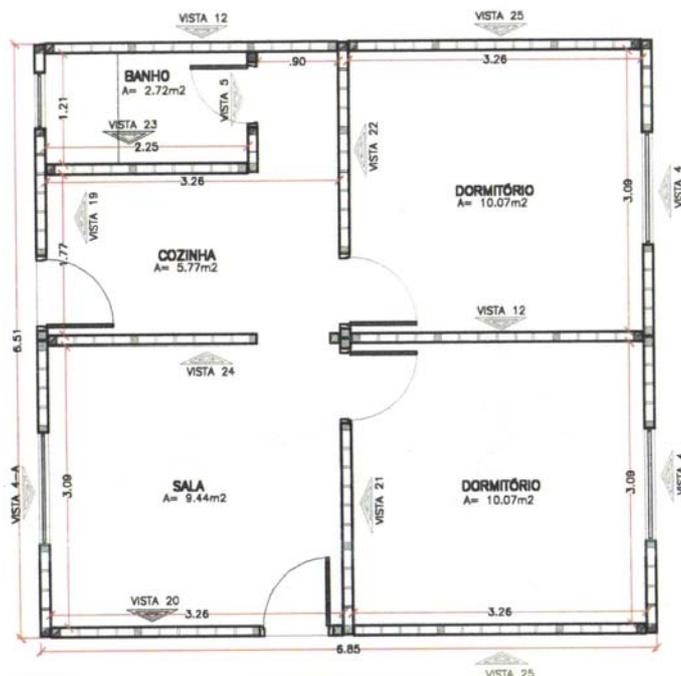


Figura 47 – Projeto da edificação utilizada nos ensaios de desempenho estrutural

Para obtenção do carregamento horizontal foram empregados os seguintes parâmetros, em conformidade com a NBR 6123 – Forças devidas aos ventos em edificações:

- velocidade básica de 40 m/s;
- fator topográfico $S_1 = 1,0$;
- rugosidade do terreno e dimensões da edificação $S_2 = 0,88$ (Cat. III e Classe A);
- fator estatístico $S_3 = 1,0$;
- pressão dinâmica $0,75 \text{ KN/m}^2$;
- coeficiente de arrasto $1,0$;
- carregamento frontal (perpendicular ao lado maior) $F_F = 1,0 * 0,75 * 6,65 * 2,7 = 14,0 \text{ KN}$;
- carregamento lateral (paralelo ao lado maior) $F_L = 1,0 * 0,75 * 6,30 * 2,7 = 13,0 \text{ KN}$.

O carregamento horizontal foi aplicado em 5 etapas iguais, empregando-se quatro cabos de aço. De um lado tais cabos foram fixados a um perfil metálico instalado no topo da edificação e de outro passaram por roldanas para sustentar uma plataforma de madeira sobre as quais se apoiaram cargas previamente conhecidas. A edificação foi instrumentada com defletômetros com sensibilidade de $0,01 \text{ mm}$, de maneira que se pudesse medir o deslocamento relativo entre as paredes, visando o registro do início do processo de aparecimento de fissuras e o deslocamento absoluto do topo da edificação na direção do carregamento aplicado.

Os instrumentos foram posicionados em pontos considerados críticos, nos quais havia maior potencial para o aparecimento de anomalias. Os procedimentos adotados para realização dos ensaios com carga horizontal foram:

- aplicação de massa acrílica branca em todas as arestas internas das paredes para evidenciar o aparecimento de fissuras ou outras anomalias;
- instalação dos equipamentos;
- leituras preliminares dos instrumentos instalados até que se constatasse a estabilidade das paredes;
- realização da leitura inicial de referência;
- aplicação das 5 etapas de carregamento (2,8 KN por etapa, totalizando 14,0 KN).

Em cada etapa todos os instrumentos foram lidos e em todas as leituras realizadas foi registrada a temperatura interna da residência. A carga permaneceu aplicada integralmente por um período de 2 horas, sendo realizadas leituras dos instrumentos a cada 30 minutos. Foi então feita a retirada da carga, igualmente em 5 etapas, nas quais todos os equipamentos foram lidos. Após a retirada da carga, foram realizadas leituras a cada hora, por 3 horas, para registro da influência da temperatura na instrumentação e na estrutura ensaiada.

Durante e após o ensaio foi realizada vistoria em todas as paredes e suas arestas e não se observou o aparecimento de fissuras ou outras anomalias decorrentes da aplicação do carregamento. Os deslocamentos medidos pelos instrumentos (de registro de deslocamentos absolutos e relativos) apresentaram evolução desprezível em função do carregamento aplicado. Os maiores deslocamentos registrados em cada ensaio foram decorrentes dos efeitos de temperatura na edificação ensaiada. Para os ensaios com carga horizontal concluiu-se que a estrutura estudada apresentou resistência e rigidez adequadas para suportar os esforços horizontais aplicados relacionados com a ação de vento, de acordo com a NBR 6123.

Concluiu-se também que a estrutura ensaiada apresentou sensibilidade às variações de temperatura, o que, dado o caráter cíclico desse tipo de ação, poderá induzir o aparecimento de fissuras com o passar do tempo. As cantoneiras metálicas existentes nas laterais dos painéis onde ocorre a união dos painéis por solda melhoram a monoliticidade da estrutura, diminuindo a possibilidade de ocorrência de anomalias com o passar do tempo.

Para o ensaio de carregamento vertical, a carga total foi composta pelos seguintes carregamentos:

- peso próprio do telhado 0,60 KN / m²;

- sobrecarga da laje de forro $0,50 \text{ KN} / \text{m}^2$, num total de $1,10 \text{ KN} / \text{m}^2$.

Considerando-se o coeficiente de ponderação das ações $\gamma_f = 1,4$, obtém-se uma carga total de $1,54 \text{ KN} / \text{m}^2$. O ensaio foi realizado com carga total de $1,60 \text{ KN} / \text{m}^2$, aplicada em quatro etapas iguais. O carregamento foi realizado com o uso de um reservatório de lona plástica montado sobre a laje, preenchido com água até que o nível correspondente a cada etapa fosse atingido. A edificação foi instrumentada com defletômetros com sensibilidade de $0,01 \text{ mm}$, de maneira que se pudessem registrar os deslocamentos dos pontos considerados mais importantes da estrutura, como os vãos de portas e janelas. A estrutura dos painéis apresentou comportamento adequado frente às cargas aplicadas. Todos estes dados estão documentados e registrados.

Também foram realizados, pelo CETEC – Centro Tecnológico da Fundação Paulista, de Lins – SP, ensaios de resistência ao fechamento brusco de portas, visando verificar o comportamento dos painéis quanto às solicitações transmitidas pelas portas nesta situação. Para a realização dos ensaios foram adotadas as diretrizes de metodologia desenvolvida pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social, e os procedimentos da NBR 8054 – Porta de madeira de edificação – Verificação do comportamento da folha submetida a manobras anormais.

Foram utilizados contra pesos de 15 kg e um sistema constituído por fio de aço, roldana e suporte. A folha de porta devidamente ligada ao marco foi aberta até uma posição que formou um ângulo de 60° com o plano do painel que contém o marco, e foi mantida nesta posição mediante a introdução de um obstáculo entre a folha e o marco. Com o auxílio do sistema de roldana e contra peso, aplicou-se à maçaneta da porta um impacto gerado pela queda de um peso de 15 kg de massa. O fio de aço foi ajustado de forma que nos últimos 3 cm do deslocamento da porta, o peso já esteja em contato com um anteparo, de modo que a porta se choque com o marco sem a atuação de força do peso. O anteparo é retirado e a folha da porta entra em movimento sob a ação da força, provocando o impacto contra o marco, sem repiques.

Após cada um dos fechamentos bruscos o corpo de prova foi inspecionado visualmente, verificando-se também se os seus movimentos normais de abertura e fechamento foram prejudicados. Desta forma, as portas são submetidas a dez operações de fechamento brusco e as paredes não devem apresentar quaisquer danos, tais como rupturas, fissurações, destacamentos em juntas entre painéis, ou outro dano qualquer. Nos ensaios realizados não houve nenhuma ocorrência de danos nos painéis ou na região de solidarização com os marcos.

Na primeira análise do projeto estrutural dos painéis Jet Casa, feita pelo IPT, constatou-se que os painéis com 1,30 m de comprimento atenderam à verificação ao estado limite último à compressão simples e ao estado limite de aparecimento de fissuras. Nos painéis de comprimento maior, de 2,23 e 3,24 m, o IPT identificou a necessidade de introdução de reforços de armaduras e aumento da dimensão das nervuras intermediárias horizontais, de 4,0 cm para 6,0 cm.

Foi realizada também uma verificação analítica das ligações entre oitões e lajes por meio de soldas, onde o IPT sugeriu manter os cordões de solda de 70 cm, pelo menos, a cada 70 cm, tanto interna como externamente aos painéis de oitões. O IPT também recomendou a adoção de cantoneiras de contraventamento. Todas estas sugestões foram incorporadas ao sistema, com realização de novos ensaios. A figura 48 mostra o detalhamento da ligação dos oitões.

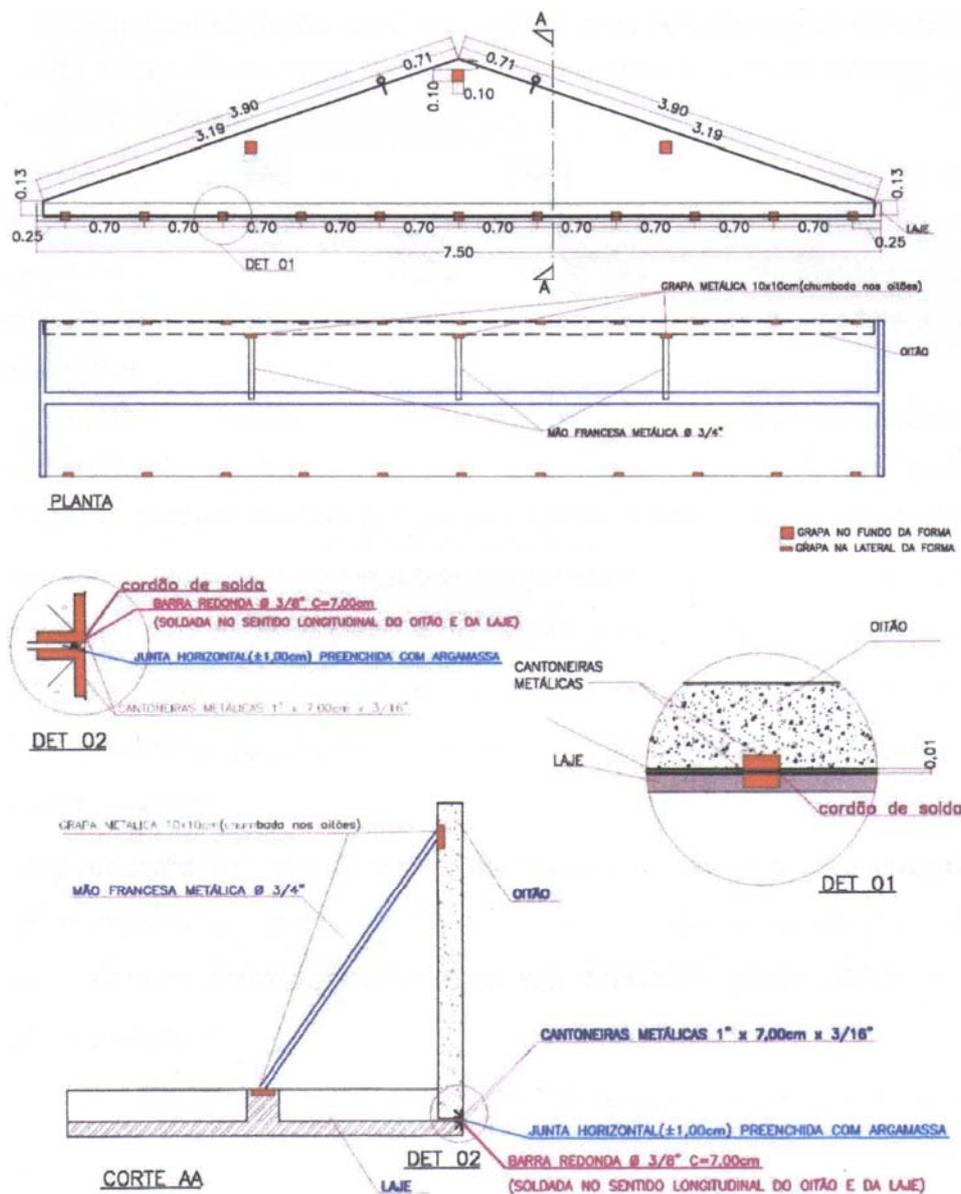


Figura 48 – Detalhamento da ligação dos oitões

Segurança ao fogo

O CETEC – Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Lins, na figura do engenheiro Dr. Wiltevar Verati, Professor da Escola de Engenharia de Lins, analisou os painéis quanto à resistência ao fogo de seus elementos construtivos. Quanto aos aspectos construtivos, o sistema não apresenta buracos, frestas ou fissuras nos painéis que permitam a passagem de fumaça entre os cômodos da habitação. Com isso, as condições não são propícias ao crescimento e propagação do fogo, facilitando a saída dos usuários pelos cômodos e o ingresso de agentes e ações para combate ao incêndio.

Os vãos das portas e aberturas das janelas e alturas dos peitoris apresentam-se em conformidade com as normas de segurança. Apesar da NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos, no item C de seu anexo A, estabelecer que as edificações cuja área total seja inferior a 750 m² estão isentas dos requisitos de resistência ao fogo estabelecida por aquela norma, os painéis do sistema construtivo Jet Casa atendem aos padrões exigíveis para a resistência ao fogo, tanto quanto as construções que possuem o padrão convencional de execução.

O IPT ainda avaliou, em seu relatório nº. 58.369, que as paredes compostas por painéis pré-moldados, apresentam superfícies compostas por 10 mm de argamassa incombustível, que não se caracteriza como propagador de incêndio, definindo condições adequadas para restringir o rápido crescimento do incêndio. A argamassa de acabamento das paredes e da laje tem características ideais em termos de desenvolvimento de fumaça, não agravando o risco de incêndio inerente a edificações habitacionais. Verificou-se através do ensaio de resistência ao fogo (Relatório de ensaio nº. 888 862) que as paredes atendem aos valores especificados de resistência, no grau "Corta-Fogo", pelo período pretendido de 30 minutos, conforme Norma NBR 5628/1980 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. A laje, composta por painéis nervurados pré-fabricados, apesar da espessura reduzida da capa, é potencialmente capaz de conferir à cobertura a resistência ao fogo exigida.

A existência de elementos de vedação vertical (paredes e portas entre os distintos compartimentos da unidade habitacional), associada à existência de laje, e considerando que todas as paredes chegam até ela sem deixar aberturas e frestas, estabelecem a possibilidade de limitação da propagação da fumaça no interior da habitação.

Quanto às instalações elétricas de casas térreas, sob o ponto de vista do risco do incêndio, o IPT não observou quaisquer condições especiais capazes de comprometer a segurança do sistema construtivo, desde que as instalações sejam adequadamente projetadas e executadas.

Estanqueidade à Água

O IPT verificou a estanqueidade à água para elementos internos em áreas molháveis e sujeitos à ação da água de uso e lavagem dos ambientes e para elementos externos, sujeitos à ação da água da chuva.

Quanto à estanqueidade à água de chuva das fachadas, foi realizado ensaio em dois corpos de prova (Relatório de Ensaio CETEC / Lins 5886/2001 e Relatório Técnico CETEC / Lins 4032/2001), constatando-se visualmente a não ocorrência de infiltração ou manchas de umidade. Também foram avaliadas as condições das unidades habitacionais localizadas em São José do Rio Preto e foi realizada análise de projeto pelo IPT.

Nas unidades habitacionais visitadas, verificou-se a ocorrência de algumas fissuras nas paredes externas, na região de encontro entre painéis, o que poderia comprometer a estanqueidade à água. A partir daí então, por recomendação do IPT, foi adotado pelo fabricante dos painéis o tratamento da juntas entre painéis com a utilização de selante à base de poliuretano, conforme detalhado anteriormente.

As paredes externas recebem duas demãos de tinta acrílica, o que também foi recomendado pelo IPT, pois além de contribuir para a durabilidade das mesmas, pode vedar micro poros existentes na superfície das fachadas, contribuindo na impermeabilização destas superfícies.

O beiral adotado é importante para a proteção da fachada e sua largura em projeção horizontal deve ser no mínimo 60,0 cm, sempre menor que a largura da calçada, a fim de manter a integridade do solo ao redor da edificação. Com relação aos pisos internos e externos, devem-se garantir caimentos satisfatórios, além da diferença de cotas entre o piso externo e interno, e entre o piso do banheiro e do corredor. O piso da calçada deve ter caimento no sentido do terreno. No projeto existe a diferença de cota entre o piso interno da unidade e a parte externa, além do caimento de 2% da calçada no sentido do terreno, contribuindo para evitar a penetração de água para o interior da edificação.

O projeto também especifica o assentamento de piso cerâmico nos ambientes internos com caimento mínimo de 1% em direção ao ralo e rodapé cerâmico com altura de 7,0 cm. As paredes do banheiro recebem azulejo até o teto e as paredes da

cozinha recebem azulejo até uma altura de 1,50 m. As demais paredes internas e o teto são pintados com tinta acrílica, sem massa corrida. Na execução dos painéis é feita a aplicação de uma camada impermeabilizante de aproximadamente 20,0 cm de altura na parte inferior dos painéis (em ambas as faces) com argamassa polimérica semi-flexível, já citada anteriormente.

Desempenho Térmico

O IPT avaliou o desempenho térmico de unidade habitacional construído com os painéis Jet Casa e seus resultados foram apresentados através do Relatório Técnico 59.033. Neste relatório, o IPT analisou dois dormitórios de uma unidade habitacional térrea isolada, com paredes externas e internas em painéis de blocos cerâmicos de 9 cm de espessura, revestidos com 1 cm de argamassa em ambos os lados, pé direito de 2,60 m, cobertura em laje maciça de concreto com 4,0 cm de espessura e telhado em telhas cerâmicas tipo “portuguesa” de espessura 2,0 cm. Considerou-se a orientação da janela variável (Norte, Sul, Leste e Oeste), mantendo-se fixa a sua posição relativa às paredes, pressupondo-se, portanto, rotações sucessivas da edificação como um todo.

As condições climáticas adotadas nas análises representam “dias típicos de projeto”, para o período de verão e para o período de inverno, na zona climática que inclui a cidade de São Paulo. Os resultados estão mostrados na tabela 1.

De modo geral, o desempenho térmico da edificação foi considerado satisfatório para a condição de inverno, com nível de desempenho classificado como “B” em todas as situações consideradas. Para a condição de verão, o desempenho térmico depende da cor das superfícies externas e das condições de sombreamento das janelas e de ventilação dos ambientes. O desempenho térmico é nível “B” em praticamente todas as condições analisadas quando a cor da superfície externa das paredes é clara, com exceção da situação em que a janela, sem sombreamento, está voltada para Oeste e o ambiente não está ventilado, apresentando neste caso desempenho térmico nível “C”. Quando a cor das superfícies externas das paredes é média ou escura o desempenho térmico é nível “C” em praticamente todas as condições analisadas, com exceção de situações em que a janela tenha sombreamento ou orientação leste ou sul e o ambiente esteja ventilado, quando apresenta desempenho térmico nível “B”.

Período	Nível de desempenho	Condição
VERÃO	A	Condições de conforto atendidas durante todo o dia.
	B	Situação intermediária de conforto: não ocorre o nível A, porém o valor máximo diário da temperatura do ar interior não ultrapassa o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.
	C	Situação não desejável de conforto: não ocorre o nível A e o valor máximo diário da temperatura do ar interior ultrapassa o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.
INVERNO	A	Condições de conforto atendidas durante todo o dia.
	B	Situação intermediária de conforto: não ocorre o nível A, porém a temperatura do ar interior é sempre maior que a temperatura mínima de referência igual a 12° C.
	C	Situação não desejável de conforto: a temperatura do ar interior apresenta algum valor menor que a temperatura mínima de referência igual a 12° C.

Tabela 1 – Níveis de desempenho térmico

A conclusão do IPT foi de que, para o sistema de parede e cobertura em avaliação, o desempenho térmico é satisfatório, classificado como nível “B”, desde que a superfície externa das paredes receba pintura em cores claras e seja garantido um sombreamento das janelas e a ventilação dos ambientes durante o período de verão.

Desempenho Acústico

O IPT analisou o desempenho acústico de uma unidade habitacional Jet Casa através dos Relatórios de ensaio 889 017 e Relatório Técnico 58 532. A tabela 2 apresenta uma síntese dos resultados de interesse da avaliação.

Elementos de vedação	Critério de Desempenho	Valor do Rw determinado em laboratório (dB)
	Valor Mínimo Aceitável (Rw em dB)	
Paredes entre unidades	45	37
Fachadas	30	

Tabela 2 – Síntese dos critérios de desempenho e dos resultados do ensaio de isolamento sonora

A conclusão da análise é de que a amostra atende ao critério de isolamento para fachadas, mas não atende o critério para paredes entre unidades habitacionais. Para sua utilização em casas isoladas, conforme o projeto apresentado, no emprego da laje deve-se evitar vazamentos acústicos na junção das paredes externas com a cobertura. Os painéis cerâmicos pré-moldados, nas condições ensaiadas, têm um desempenho acústico adequado para utilização no projeto apresentado, desde que os demais componentes utilizados (portas e caixilhos) tenham desempenho acústico adequado para que o conjunto atenda o critério estabelecido.

Para avaliar a adequação dos demais componentes de uma fachada, pode-se estimar a isolação sonora da fachada a partir do Índice de Redução de Isolação Sonora e da área de cada componente, utilizando a equação abaixo. De qualquer modo, recomenda-se que as portas e janelas tenham um valor de R_w de pelo menos 20 dB, que é um valor típico esperado de uma janela de qualidade razoável.

$$R = -10 \log \frac{(\sum S_i 10^{-R_i/10})}{S}$$

Onde:

R = Índice de Redução Sonora resultante;

R_i = Índice de Redução Sonora do i-ésimo componente;

S = área total;

S_i = área do i-ésimo componente.

Registra-se ainda que o desempenho acústico de um sistema construtivo depende não só das características dos materiais e componentes empregados e dos detalhes do projeto, mas também da qualidade de execução.

Durabilidade

O cobrimento de concreto é responsável pela proteção das armaduras. De acordo com o relatório técnico do IPT, número 59125, do ponto de vista da durabilidade da estrutura de concreto armado, considera-se que para os edifícios inseridos em meios urbanos distantes da região costeira, o aspecto fundamental a ser considerado é a carbonatação do concreto, a qual, após atingir a armadura, promove a despassivação, permitindo a instauração do processo de corrosão.

Após a despassivação da armadura, a velocidade da corrosão depende de fatores como penetração de agentes agressivos, penetração de umidade (eletrólito), dentre outros. Em regiões com atmosferas praticamente rurais, como aquelas onde se

pretende empregar o sistema em questão (interior de São Paulo), e considerando-se ainda que haja uma manutenção periódica da unidade habitacional pelo usuário, particularmente quanto à pintura das paredes e lajes, o fenômeno da corrosão estará sob controle, nas condições de cobrimento e resistência do concreto previstos.

A carbonatação do concreto depende de inúmeros fatores, podendo-se considerar dois fundamentais quando se trata do material em si: a relação água / cimento e o tipo de cimento. Em regiões litorâneas deve-se considerar também a presença de íons cloreto, deletérios às armaduras.

De acordo com o Relatório Técnico emitido pelo IPT, considera-se que os painéis do Sistema Construtivo Jet Casa têm uma vida útil de projeto de no mínimo 25 anos, ou seja, neste período de tempo a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada. Para isso, baseando-se nas observações dos painéis inspecionados em vistoria técnica e na análise do projeto (posicionamento de armaduras e cobrimentos), deve ser utilizado concreto com f_{ck} de 25 MPa e cobrimento de 2,0 cm em ambas as camadas, com previsão de pintura acrílica, considerando ainda ambiente de atmosfera isenta de cloreto.

Para ambientes com cloretos, como atmosferas marinhas, recomenda-se a execução de análises específicas para avaliação do comportamento do concreto.

A tabela 3 apresenta uma síntese da avaliação do IPT, extraída do Relatório Técnico nº. 59 125 – 25/472, considerando o sistema construtivo destinado ao uso para casas térreas isoladas.

ASPECTO	DESEMPENHO			OBSERVAÇÃO, ADEQUAÇÃO OU RECOMENDAÇÃO
	SATISFATÓRIO	PARCIALMENTE SATISFATÓRIO	NÃO SATISFATÓRIO	
DESEMPENHO ESTRUTURAL				
Impacto de corpo mole em parede externa	v			-
Impactos de corpo duro	v			-
Cargas transmitidas por peças suspensas	v			-
Solicitações transmitidas por portas	v			-
Cargas verticais	v			-
SEGURANÇA AO FOGO				
Reação ao fogo de parede	v			-
Resistência ao fogo de parede	v			-
Comportamento global da edificação	v			-
ESTANQUEIDADE À ÁGUA				
Paredes Internas	v			-
Paredes Externas	v			
Encontro paredes externas com o piso	v			-
DESEMPENHO TÉRMICO				
Desempenho térmico global da edificação	v			-
DESEMPENHO ACÚSTICO				
Isolamento sonoro proporcionado por paredes de fachadas	v			-
DURABILIDADE				
Vida útil de projeto considerada de 25 anos, para os componentes de concreto armado	v			-

Tabela 3 – Quadro resumo da avaliação de desempenho do sistema construtivo

Controle da Qualidade

A avaliação do controle da qualidade da Kit Casa também é efetuada pelo IPT, através de visitas bimestrais à unidade produtora do sistema de painéis cerâmicos pré-fabricados, na cidade de São José do Rio Preto – SP, em obras em execução e em edificações já entregues. Nestas visitas, o IPT verifica o controle da qualidade referente às matérias-primas e insumos adquiridos, processo de produção dos painéis

e do produto acabado. Na verdade, avaliou-se o Programa de Qualidade da Kit Casa, baseado Manual de Qualidade da própria empresa (embasado na NBR ISO 9001:2000), que estabelece procedimentos a serem seguidos pelos vários departamentos e prevê o controle de projetos, materiais, serviços, ferramentas, equipamentos, produto final, assistência pós entrega das unidades habitacionais e atendimento através do SAC – Serviço de Atendimento ao Cliente. O controle da qualidade implantado pela empresa foi considerado adequado pelo IPT, para garantir a manutenção das características do produto estabelecidas na Referência Técnica 21 do próprio IPT.

O controle da qualidade da montagem do sistema de painéis cerâmicos é de responsabilidade da “Kit Casa”, que deve garantir, mesmo quando realizado por meio da contratação de terceiros, o atendimento às recomendações constantes da Referência Técnica 21, citada anteriormente, e demais orientações contidas nos manuais do fabricante ou documentos complementares.

A Referência Técnica 21 do IPT para os Painéis Cerâmicos Pré-Fabricados “Jet Casa” foi emitida em julho de 2003 e sua validade expirou em junho de 2005. Nesta Referência, divulga-se a seguinte Análise Geral dos Ensaios Realizados:

“Foram adotadas as diretrizes da metodologia desenvolvida pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, critérios de desempenho mínimo para habitações térreas e procedidos os seguintes ensaios:

Ensaio de Impacto de Corpo Mole em Paredes Externas;

Ensaio de Impacto de Corpo Duro em Paredes;

Ensaio de Compressão Simples em Painéis;

Ensaio de Cargas Suspensas;

Ensaio de Estanqueidade a Água em Paredes Externas;

Ensaio de Estanqueidade a Água na Ligação Parede / Piso Interno;

Ensaio de Resistência ao Fechamento Brusco de Portas Internas e Externas.

Conclusão: O sistema construtivo atende a todos os critérios de desempenho mínimo especificados pelas Normas MB-3256, MB-3259 e NBR-8054 da ABNT.”

Responsáveis pelos Ensaios: CETEC - CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE LINS (Lins - SP) – engenheiro Dr. Wiltevar Verati e engenheiro Dr. Luís Antonio Vasques Hellmeister.

O IPT efetua a avaliação técnica levando em conta sua experiência acumulada e considerando os principais documentos normativos e os procedimentos seguintes:

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)

- Critérios Mínimos de desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social (IPT/FINEP 95);
- AKUTSU, M.; SATO, N.M.N.; PEDROSO, N.G. *Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e Escolares: manual de procedimentos para Avaliação*. São Paulo, IPT, 1987. (Publ.IPT 1732).

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

- Projeto de Norma 02:136.01 – julho de 2001 – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos;
- NBR 5628/1980 – Determinação da resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais;
- NBR 5739/1994 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos;
- NBR 6461/1983 – Blocos cerâmicos para alvenaria – Verificação da resistência à compressão;
- NBR 7171/1992 – Blocos cerâmicos para alvenaria;
- NBR 8947/1985 – Determinação da massa e absorção de água em blocos cerâmicos;
- NBR 9778/1987 – Massa específica, absorção e índice de vazios.

International Organization for Standardization (ISO)

- ISO 140-3: 1995, Acoustics – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 3: Laboratory Measurements of Air bone Sound Insulation of Building Elements;
- ISO 7730/1984: Moderate thermal environments determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.

Após a emissão da Referência Técnica o IPT efetua auditorias bimestrais para acompanhamento dos sistemas. Na auditoria realizada em abril/2005, o IPT emitiu o relatório técnico de número 77 365-205, no qual apresenta resultados da auditoria realizada na unidade de produção da empresa em São José do Rio Preto – SP, em algumas obras em execução e também em obras já entregues, com o objetivo de avaliar o sistema de gestão da qualidade, visando o atendimento da Referência Técnica IPT 21 – Painéis Cerâmicos Pré-fabricados “Jet Casa”.

Além da unidade de produção da empresa, o IPT visitou a obra de uma escola, em execução, localizada na cidade de Catanduva – SP; um Posto de Saúde já entregue, também na cidade de Catanduva, e uma unidade residencial já entregue, na cidade de Cedral – SP.

Na auditoria na unidade de produção, o IPT verificou se a resistência característica à compressão do concreto empregado na confecção dos painéis atingiu o valor especificado ($f_{ck} = 25$ MPa). No final do relatório foi apresentado um resumo do controle tecnológico do concreto para o período de julho/2004 a dezembro/2004, onde todos os ensaios realizados apresentaram $f_{ck} \geq 25$ MPa.

Quanto aos blocos cerâmicos utilizados na confecção dos painéis o IPT concluiu que eles atendem às especificações quanto à classe de resistência à compressão (Classe 15, conforme NBR 7171/1992 “Blocos cerâmicos para alvenaria”). No entanto fez uma observação em relação ao relatório de ensaio 80607/2004, realizado pela CAPI Engenharia e Construções Ltda., onde se pôde observar que, no lote amostrado, os blocos cerâmicos ensaiados possuem comprimento e largura acima das dimensões nominais (comprimento: 190 mm, largura: 90 mm e altura: 190 mm), apesar dos resultados atenderem a tolerância prescrita na NBR 7171/1992.

O emprego de blocos com dimensões sistematicamente superiores às dimensões nominais, sobretudo no comprimento, pode comprometer a largura mínima de 6 cm de concreto nas nervuras dos painéis, o que deve ser controlado na produção. O IPT sugeriu à Kit Casa que definisse limites de tolerâncias dimensionais a serem utilizados na aceitação / rejeição do produto, para evitar o comprometimento da espessura mínima de 6 cm estabelecida para as nervuras de concreto.

Quanto ao controle da resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento nos painéis, o IPT acompanhou ensaios em diferentes painéis, inclusive considerando-se a introdução de aditivos ao traço de referência (Relatório 79432/2004 da CAPI Engenharia e Construção Ltda.).

Durante a visita realizada à obra situada na Rua Francisco Agudo Romão Filho, 1770, em Catanduva – SP, observou-se a adição de areia fina peneirada no selante acrílico (Hey’dicryl Mastique) utilizado no tratamento de junta entre painéis, na proporção de aproximadamente 1:9 (areia : selante acrílico) em volume. Esta mistura foi empregada apenas nas juntas entre painéis internos à edificação, com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade do material. Segundo informações obtidas com o fabricante do selante acrílico, esta prática não é recomendada, tendo em vista que este procedimento altera as características do produto, tornando-o inadequado para os fins aos quais se destina. Após a auditoria, de acordo com a Jet Casa, foram implementadas ações corretivas com o objetivo de eliminar as não-conformidades

citadas. Nova auditoria do IPT foi realizada em julho/2005, para revalidação da Referência Técnica 21.

Pelo exposto, pode se concluir que o sistema construtivo apresentado não utiliza alta tecnologia na fabricação dos painéis (praticamente artesanal), mas o faz de forma seriada, o que proporciona produtividade, baixo índice de desperdício e bom controle de qualidade. Além disso, por possuir Referência Técnica do IPT e seguir um procedimento de controle de qualidade (necessário para garantir as características do produto), se diferencia de uma edificação executada através do sistema construtivo convencional de alvenaria.

Além disso, o sistema incorpora características importantes de racionalização (painéis prontos para montagem em seu local de aplicação, tempo de execução dos fechamentos reduzido, eliminação das etapas de instalações elétricas e hidráulicas na obra, diminuição de entulho, entre outros) que permitem um melhor gerenciamento do empreendimento.

O sistema Jet Casa, hoje, ainda não possui dados de pós-ocupação, mas de acordo com informações do fabricante, o IPT faz vistorias periódicas em algumas casas e os dados coletados servirão de subsídios para a renovação da Referência Técnica.

4.1.6 Projeto

A Kit Casa possui uma série de projetos arquitetônicos padrão que podem ser escolhidos pelo adquirente no ato da compra. São apenas projetos base que servem como referência aos interessados. Os projetos podem ser adaptados ou desenvolvidos de acordo com as necessidades do interessado. O sistema também possibilita adequação de outros projetos. Nestes casos, a própria Kit Casa efetua as alterações de acordo com a modulação dos painéis. Os painéis podem ter pé direito de 2,80 a 3,10 m e seu comprimento pode variar de 1,30 m a 3,20 m. Comprimentos maiores que 3,20 m não são aconselháveis pela dificuldade de transporte. Essa flexibilidade na modulação facilita a adequação dos painéis à maioria dos projetos apresentados.

A figura 49 mostra alguns exemplos de projetos padrão fornecidos pela Jet Casa e que se compatibilizam com vários tamanhos de terrenos.

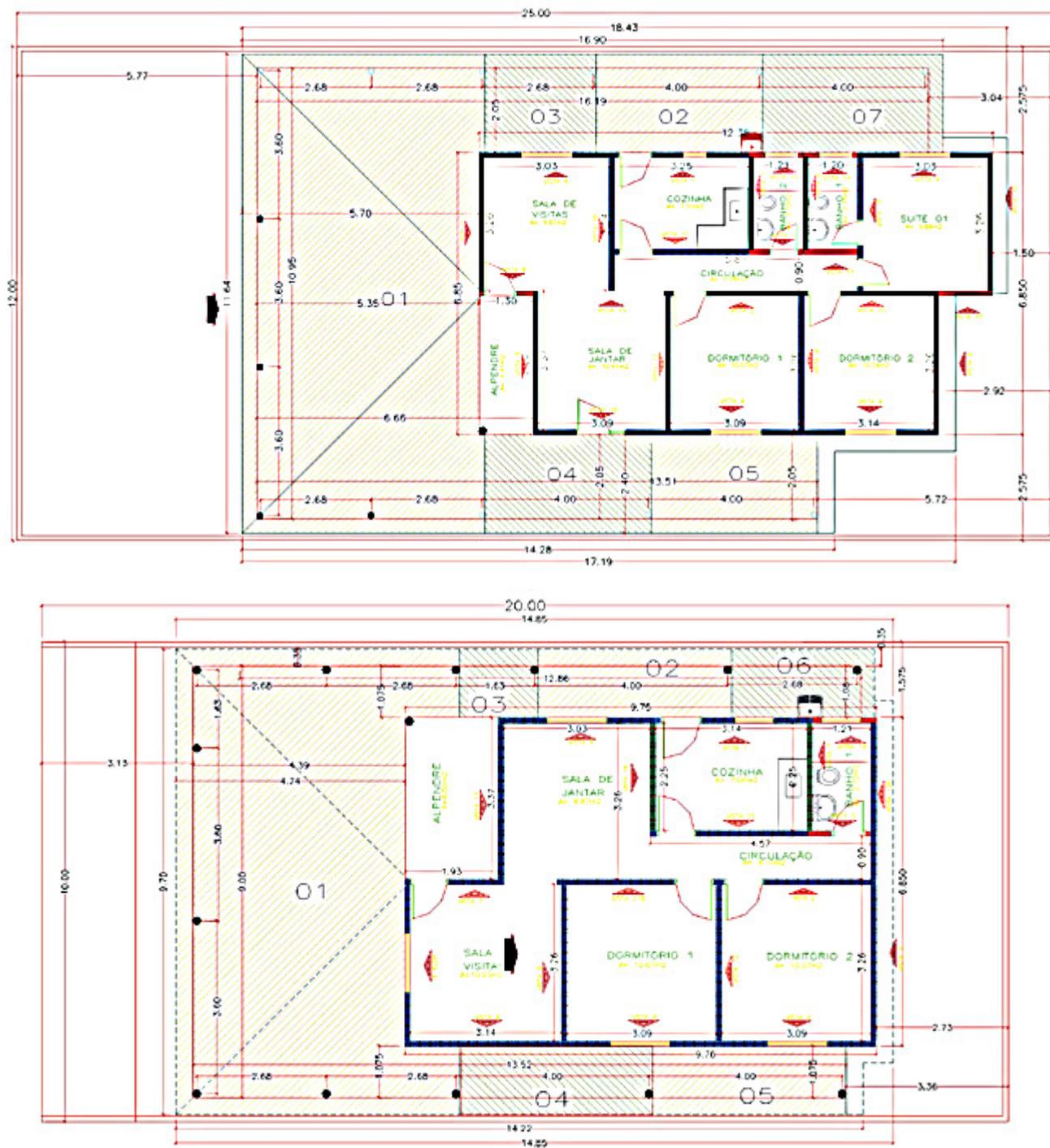


Figura 49 – Exemplos de projetos fornecidos pela Jet Casa

4.2 Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos

A Alvenaria Estrutural é um sistema construtivo racionalizado, no qual os elementos que desempenham a função estrutural são também os elementos de vedação, constituídos pela alvenaria. SABBATINI (2003) conceitua a alvenaria estrutural aquela utilizada como estrutura suporte de edifícios e dimensionada a partir de um cálculo racional. O uso da alvenaria estrutural, ou qualquer outro sistema construtivo, pressupõe:

- Segurança pré-definida (idêntica a de outras tipologias estruturais).
- Construção e projeto com responsabilidades precisamente definidas e conduzidas por profissionais habilitados.
- Construção fundamentada em projetos específicos (estrutural-construtivo), elaborado por engenheiros especializados.

Ele ainda complementa conceituando os processos construtivos de Alvenaria Estrutural como específicos modos de se construir edificações que se caracterizam por:

- Empregar como estrutura suporte paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras.
- Serem dimensionados segundo métodos de cálculo racionais e de confiabilidade determinável.
- Ter um alto nível de organização de produção de modo a possibilitar projetos e construção racionais.

Em função da presença ou não de armaduras calculadas para absorver as solicitações, a alvenaria pode ser classificada como armada, parcialmente armada ou não armada. Em função do tipo de material empregado, ela pode ser de concreto, cerâmica ou sílico-calcário. Conforme o tipo da unidade utilizada, poderá ser de blocos ou de tijolos.

De acordo com SANCHEZ (2002), até o final do século 19, a alvenaria era um dos principais materiais de construção empregados pelo homem. A alvenaria foi utilizada pelas civilizações assírias e persas desde 10.000 a.C., sendo empregados tijolos queimados ao sol. Por volta de 3.000 a.C. já estavam sendo utilizados tijolos de barro queimados em fornos.

Grandes obras foram construídas no decorrer dos séculos utilizando a alvenaria. Entretanto, as construções desta época eram erguidas segundo regras puramente empíricas e intuitivas, baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo do tempo.

Entre os séculos 19 e 20, obras de maior porte eram construídas em alvenaria com base em modelos mais racionais, mas ainda empíricos, como o edifício "Monadnock", construído em Chicago entre 1889 e 1891, com 16 pavimentos e 65 metros de altura, cujas paredes inferiores possuíam 1,80 m de espessura.

A partir do século 20, com o advento do concreto e do aço, que possibilitaram a construção de estruturas esbeltas e de grande altura, a alvenaria ficou relegada a construções de pequeno porte ou utilizada somente como elemento de fechamento. Neste período, a alvenaria estrutural não foi tratada na forma de um sistema construtivo técnico como as construções de aço e de concreto. Em consequência, as pesquisas e o desenvolvimento da alvenaria estagnaram.

Em 1951, construiu-se na Basileia um edifício de 13 pavimentos em alvenaria não armada. Este edifício é considerado como um marco da alvenaria estrutural não armada, dada a pequena espessura das paredes. A partir desse período, as pesquisas sobre o comportamento estrutural da alvenaria foram retomadas, sendo que em 1967 foi realizado o primeiro Congresso Internacional sobre o tema, em Austin, Texas.

No Brasil, os primeiros prédios em alvenaria armada foram construídos em São Paulo, no Conjunto Habitacional "Central Parque da Lapa", em 1966. Em 1972 foram construídos quatro edifícios de 12 pavimentos no mesmo conjunto.

A alvenaria estrutural não armada foi inaugurada no Brasil no ano de 1977, com a construção em São Paulo de um edifício de nove pavimentos em blocos sílico-calcário. O início da década de 80 marca a introdução dos blocos cerâmicos na alvenaria estrutural.

Em 1989 foi editada uma norma nacional, a NB-1228, atual NBR-10837 - *Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto*, que trata do cálculo da alvenaria estrutural, armada ou não armada, de blocos vazados de concreto.

Na Alvenaria Estrutural elimina-se a estrutura convencional, o que conduz a importante simplificação do processo construtivo, reduzindo etapas e mão-de-obra, com consequente redução do tempo de execução. Com a utilização de blocos especiais, é possível a aplicação da técnica de coordenação modular, que implica em estabelecer todas as dimensões da obra como múltiplos da unidade básica. Dessa forma, são evitados cortes, desperdícios e improvisações.

Os projetos complementares podem ser desenvolvidos na forma de 'Kits', montados e testados no canteiro de obras antes de sua instalação. Blocos e elementos especiais podem ser definidos e previamente preparados para posterior utilização. Enfim, é possível desenvolver um sistema racionalizado que resulta na melhoria da qualidade do produto final e em significativa economia.

Comparando-se a alvenaria estrutural com o sistema construtivo convencional, composto de pilares, vigas e alvenaria de vedação, pode-se afirmar que essas paredes substituem o papel estrutural das vigas e dos pilares, agregando ao processo produtivo significativas vantagens, como por exemplo:

- melhor distribuição das cargas nas fundações, tornando-as em geral mais econômicas;
- redução da quantidade de formas;
- diminuição do entulho, principalmente pelo fato de não se permitir rasgar as paredes resistentes para passagem de tubulações (os eletrodutos são introduzidos nos vazios dos blocos, simultaneamente com a elevação da estrutura);
- menor consumo de argamassa de revestimento das paredes, pelo controle geométrico dos blocos e da manutenção do prumo, nível e esquadro das paredes.

Uma grande vantagem do sistema construtivo em alvenaria estrutural em relação ao sistema construtivo convencional é o preço final do empreendimento. Por esse motivo a alvenaria estrutural tem sido adotada em inúmeros casos. Além disso, o sistema permite grande velocidade de execução e facilidade de racionalização, com emprego de mão de obra cujo grau de especialização, embora indispensável, é relativamente fácil. O treinamento dos operários é fundamental, principalmente do mestre de obras, que deve conhecer a importância da qualidade de execução dos serviços no desempenho estrutural.

SABBATINI (2003) salienta que a diferença fundamental entre o uso tradicional da alvenaria como estrutura e os processos construtivos de alvenaria estrutural é que estes últimos são de dimensionamento e construção racionais, enquanto que, na alvenaria convencional, as estruturas são dimensionadas e construídas empiricamente. O dimensionamento através de cálculo estrutural, com fundamentação técnico-científica, permite a obtenção de edifícios com segurança estrutural conhecida, semelhante à obtida com estruturas reticuladas de concreto armado.

Complementa ainda registrando que no dimensionamento racional da alvenaria estrutural, da mesma forma que no dimensionamento de estruturas reticuladas, empregam-se modelos matemáticos que simulam o comportamento físico do edifício e permitem, através de métodos determinísticos e semiprobabilísticos, inferir a segurança das estruturas e prever o grau de risco de falência estrutural. E como no caso das estruturas de concreto armado, para que o nível de segurança teórico seja obtido na etapa de construção, devem ser estabelecidos critérios rigorosos para as características dos materiais, dos processos e métodos construtivos e da metodologia de controle tecnológico a ser empregada.

Alvenaria armada e não armada são, na verdade, o mesmo sistema construtivo, utilizados em diferentes níveis de cargas e tensões. Após calculadas as tensões, as armaduras são dispostas onde aparecem os esforços de tração, aumentando a resistência.

A alvenaria estrutural não-armada de blocos vazados de concreto é a que apresenta maior potencial de utilização, devido à economia proporcionada e ao grande número de fornecedores de blocos de concreto. É usada especialmente em edifícios residenciais empregando-se paredes de 14 cm e resistência de 1 MPa para cada pavimento acima do nível considerado, em média.

A alvenaria de blocos cerâmicos também vem ganhando mercado, com o aparecimento de fornecedores confiáveis para blocos de resistências de até 10 MPa. Hoje ainda tem seu uso concentrado em prédios de poucos pavimentos, mas deve competir com os blocos de concreto para edifícios de média altura (até oito pavimentos) rapidamente.

4.2.1 Componentes da Alvenaria Estrutural

RAMALHO & CORRÊA (2003) apresentam dois conceitos básicos da alvenaria estrutural: componente e elemento. Entende-se por um componente de alvenaria uma entidade básica, ou seja, algo que compõe os elementos que, por sua vez, compõem a estrutura. Os componentes principais da alvenaria estrutural são: bloco (ou unidades); argamassa; graute e armadura. Os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, sendo formados por pelo menos dois dos componentes anteriormente citados, como por exemplo, paredes, pilares, cintas, vergas, etc.

A resistência à compressão é o parâmetro de resistência mais importante para a alvenaria estrutural. Cada componente tem uma influência nesta resistência e pode atuar no sentido de aumentar ou diminuir a referida resistência.

Unidade

Para SABBATINI (2003), o bloco é um componente (unidade de alvenaria) de fabricação industrial. Existem os blocos vazados, que são aqueles com células contínuas perpendiculares a sua seção transversal (assentados com os vazados na direção vertical), nos quais a área total dos vazados em qualquer seção transversal é de 25% a 60% da área bruta da seção. E os blocos maciços, cuja área de vazios em qualquer seção transversal é inferior a 25% da área bruta da seção.

Os blocos estruturais podem ser de concreto, cerâmicos, sílico-calcários ou de concreto celular autoclavado, sendo produzidos comercialmente blocos estruturais com resistência à compressão de 4,5 a 20 MPa. Serão enfocados neste trabalho somente os blocos cerâmicos estruturais, pelos mesmos serem os componentes utilizados no empreendimento em estudo.

De acordo com RAMALHO & CORRÊA (2003), as unidades, como componentes básicos da alvenaria estrutural, são responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura. A NBR 7171 – *Bloco Cerâmico para Alvenaria* menciona que para os blocos portantes cerâmicos a resistência mínima deve ser de 4,0 MPa.

A resistência dos blocos influi diretamente na resistência à compressão dos painéis de parede. Quanto mais resistente o bloco, mais resistente será a alvenaria. Daí vem o conceito de “eficiência”, que é a relação entre a resistência da parede e a resistência do bloco que a compõe.

Exprimindo este conceito matematicamente, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1980 e 1984):

$$\eta = \frac{f_{par}}{f_b}$$

onde:

f_{par} : resistência da parede

f_b : resistência do bloco.

A eficiência varia bastante em função do tipo de bloco, sua forma, material e resistência, além da argamassa. Geralmente os blocos cerâmicos apresentam uma eficiência menor que a dos blocos de concreto.

Os blocos representam 80 a 95% do volume da alvenaria, sendo determinantes de grande parte das características da parede: resistência à compressão, estabilidade e precisão dimensional, resistência ao fogo e penetração de chuvas, isolamento térmico / acústico e estética. Em conjunto com a argamassa os blocos também são determinantes para a resistência ao cisalhamento, tração e para a durabilidade da obra. São, portanto as unidades fundamentais da alvenaria.

Os requisitos funcionais dos blocos para se construir uma parede eficiente são: resistência a esforços mecânicos, durabilidade frente a agentes agressivos, estabilidade e precisão dimensional. Ainda são características importantes os parâmetros físicos como densidade aparente, condutibilidade térmica e absorção total, que determinam as características da parede (resistência ao fogo, à penetração de chuva, isolamento térmico e acústico), além dos requisitos de ordem estética.

A figura 50 mostra blocos cerâmicos para alvenaria, de acordo com a NBR 7171, com furos na horizontal e na vertical (vedação e estrutural, respectivamente).

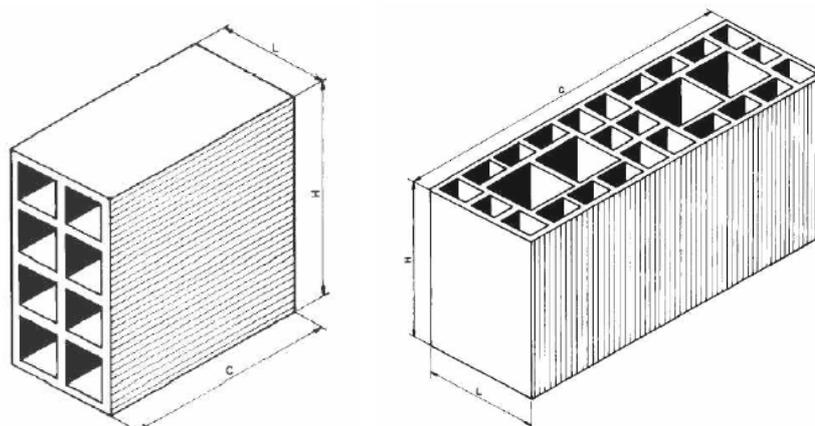


Figura 50 – Blocos cerâmicos para alvenaria com furos na horizontal e na vertical

Argamassa

A argamassa é um material composto, plástico, formado por agregado miúdo inerte e pasta aglomerante. Sua principal função é unir materiais porosos e endurecer após um certo tempo.

Segundo RAMALHO & CORRÊA (2003), a argamassa de assentamento possui as funções básicas de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações. Usualmente composta de areia, cimento, cal e água, a argamassa deve reunir boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade para o desempenho de suas funções.

A resistência à compressão da argamassa não é tão significativa para a resistência à compressão das paredes. Mais importante que essa característica de resistência é a plasticidade, que permite que as tensões sejam transferidas de modo uniforme de uma unidade à outra, além de facilitar a execução.

A argamassa de assentamento deve ser dosada em função da resistência dos blocos, devendo-se normalmente trabalhar com $f_a \approx 0,70 \times f_b$. Para evitar concentração de tensões indesejáveis nos blocos e fissurações localizadas, as juntas de assentamento (horizontais e verticais) devem ser regulares, com espessuras em torno de 1 cm. No caso da junta horizontal, essa medida é compatível com a correção das imperfeições, sem prejudicar a resistência da parede, que diminui para juntas mais espessas (Francis (1971) *apud* RAMALHO & CORRÊA,2003).

O aumento da espessura diminui o confinamento da argamassa exercido pelos blocos que a comprimem. Mas é o confinamento que torna a argamassa pouco suscetível à ruptura, mesmo que a sua resistência à compressão seja baixa. Assim,

segundo Sahlin (1971) *apud* RAMALHO & CORRÊA (2003), a cada aumento de 0,3 cm na espessura da argamassa há uma redução de 15% na resistência da parede. Numa concordância implícita com esses fatores apresentados, a NBR 10837 especifica que a espessura da junta horizontal entre blocos deve ser igual a 1 cm, a menos que se justifique tecnicamente a adoção de um outro valor.

De acordo com os resultados obtidos por GOMES (1983), para paredes construídas com blocos de 7,5 MPa, variando a resistência da argamassa em torno de 135%, verificou-se que o acréscimo de resistência para as paredes foi de apenas 11,5%. Ele conclui que a argamassa de assentamento deve ter resistência entre 70% e 100% da resistência do bloco.

Para USUDA (2004), a boa qualidade da argamassa em uma parede já executada pode ser medida pelo fato de não haver fissuração (que ocorre por deformação excessiva da argamassa ou por retração) e por sua resistência à compressão.

Muitas vezes a argamassa não tem sido considerada na razão de sua importância, sendo comum o desconhecimento de suas funções e características desejáveis, resultando no aparecimento de diversas patologias a ela associadas.

Enfim, a argamassa de assentamento deve promover a aderência adequada entre os blocos e contribuir na dissipação de tensões para que não haja fissuras entre bloco / argamassa, assim como garantir o desempenho estrutural e a durabilidade adequados para a parede de alvenaria. De acordo com a NBR 10837, não se pode utilizar nenhuma argamassa com resistência à compressão inferior a 5 MPa.

As principais características da argamassa no estado plástico são:

- **Trabalhabilidade:** propriedade essencial para se obter a característica desejável no estado endurecido. Depende da consistência, plasticidade e coesão, caracterizada pelo manuseio com a colher de pedreiro e penetração nas reentrâncias da base. Estas características devem se manter até o posicionamento definitivo do bloco, não se desejando uma argamassa muito rígida em contato com base absorvente.

- **Retenção de água:** a água, na argamassa tem duas funções: a hidratação do cimento para endurecimento da pasta e lubrificação dos grãos. Há uma forte relação entre a retenção de água e a trabalhabilidade. Se argamassas pouco retentivas forem colocadas em contato com materiais que tenham alto poder de sucção podem perder água em excesso, enrijecendo prematuramente e perdendo a trabalhabilidade.

- **Velocidade de endurecimento:** o enrijecimento precoce da argamassa normalmente ocorre por perda muita rápida da água de amassamento, mas também pode ocorrer por aceleração ou retardamento das reações químicas.

- Aderência: a argamassa tem influência direta na aderência. Apesar da resistência de aderência da argamassa ser diretamente proporcional à quantidade de cimento, a aderência argamassa / bloco depende da combinação da retenção de água (que melhora as condições de hidratação do cimento) e da trabalhabilidade (que melhora a penetração no bloco). A aderência nas argamassas ocorre principalmente pela penetração da argamassa no bloco, assim, a argamassa tem que ser ao mesmo tempo retentiva (para conservar água para a hidratação do cimento) e ser capaz de ceder a água em excesso (que não é usada na hidratação) de forma gradual e contínua para o bloco.

- Elasticidade: é a capacidade de absorção das deformações sem fissurar. É desejável uma argamassa mais fraca (de baixo módulo de elasticidade, que permita a movimentação dos blocos sem fissurar). Geralmente as fissuras decorrem de movimentos diferenciais entre partes da estrutura (recalques, retração, temperatura). Argamassas fortes tendem a concentrar efeitos de deformações diferenciais em pequeno número de fissuras com grande abertura, já as argamassas mais fracas acomodam-se a pequenos movimentos e as fissuras tendem a ser imperceptíveis nas juntas.

- Resistência à compressão: a resistência da argamassa tem função secundária na resistência à compressão da alvenaria. A resistência da argamassa deve ser sempre menor que a do bloco, para absorver as movimentações decorrentes de expansões térmicas ou outros movimentos das paredes.

Graute

Segundo RAMALHO & CORRÊA (2003), graute é um concreto com agregados de pequenas dimensões e relativamente fluido, eventualmente necessário para o preenchimento dos vazios dos blocos. Sua função é propiciar o aumento da área de seção transversal das unidades ou promover a solidarização dos blocos com eventuais armaduras posicionadas nos seus vazios. Dessa forma, pode-se aumentar a capacidade portante da alvenaria à compressão ou permitir que as armaduras colocadas combatam tensões de tração que a alvenaria por si só não teria condições de resistir.

Considera-se que o conjunto formado pelo bloco, graute e eventual armadura trabalhe monoliticamente, de maneira análoga ao que ocorre com o concreto armado. Para tanto, o graute deve envolver completamente as armaduras e aderir tanto a ela quanto ao bloco, de modo a formar um conjunto único.

Para blocos vazados cerâmicos, a influência do graute na resistência da parede tem mensuração e entendimento mais complexos, por serem materiais

diferentes. Entretanto, Garcia (2000) *apud* RAMALHO & CORRÊA (2003), que realizou ensaios em dez paredes grauteadas, concluiu que a situação não deve ser muito diferente daquela que se observa para os blocos de concreto. Foram utilizados blocos cerâmicos com resistência aproximada de 10 MPa e definidos dois esquemas de grauteamento, com cinco paredes rompidas para cada caso. Os resultados obtidos mostram que considerar o graute como uma redução da área de vazios dos blocos, conforme o que se sugeriu para os blocos de concreto, não parece muito distante da realidade. Mas, como os exemplares ensaiados são poucos, são necessários estudos complementares para corroborar essas conclusões, ou seja, é importante que essa consideração seja feita com cuidado, de modo a se evitar uma redução significativa do nível de segurança.

As propriedades desejáveis do graute são a trabalhabilidade, a retração e a resistência à compressão. Estas características são importantes para garantir a fluidez (fácil preenchimento dos blocos e canaletas), coesão (para evitar segregação dos constituintes), aderência (para descolar das paredes do bloco por evaporação e absorção de água pelos blocos) e resistência compatível com a resistência dos blocos.

Este estudo de caso se refere basicamente à alvenaria estrutural não armada, com presença de armadura com função construtiva. Nestes casos, SABBATINI (2003) cita como funções do graute de preenchimento dos vazados verticais: permitir que a armadura trabalhe conjuntamente com a alvenaria nas funções de travamento e enrijecimento do conjunto, nos pontos determinados (aberturas e encontros de paredes), e impedir a corrosão da armadura. A dosagem e especificação das características do graute são de responsabilidade do projeto estrutural.

Armadura

As armaduras na alvenaria estrutural podem ser verticais ou horizontais. As verticais são colocadas nos pontos estabelecidos em projeto (normalmente junto às aberturas e nos encontros de paredes); as horizontais são utilizadas nas vergas e contravergas e cintas de respaldo da alvenaria, para apoio das lajes. As barras de aço utilizadas são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado.

Para RAMALHO & CORRÊA (2003), o aço nas estruturas de alvenaria tem sua capacidade pouco aproveitada na resistência à compressão, pois a tensão usualmente fica limitada a valores bem abaixo da tensão de escoamento do material. A imposição de limites relativamente baixos para as tensões no aço é explicada pela necessidade de se evitar uma fissuração excessiva, bem como garantir a aderência entre as barras de aço e o graute que as envolve. Entretanto, essa limitação leva a uma contribuição menor do que aquela que se poderia esperar, especialmente porque

a resistência à compressão dos outros componentes da alvenaria é relativamente elevada.

Assim sendo, usualmente não é interessante do ponto de vista da relação custo-benefício se utilizar esse recurso para aumentar a resistência à compressão. A alvenaria armada parece mais adequada quando se necessita conferir ductibilidade à estrutura, aumentar o limite normalizado para a esbeltez de paredes ou quando se necessita de acréscimo muito localizado de resistência.

4.2.2 Considerações Gerais

No sistema construtivo em alvenaria estrutural todos os projetos devem ser desenvolvidos em conjunto, pois a integração entre os diferentes tipos de projetos é muito importante. Alguns pontos devem estar bem definidos como definição da modulação (dimensões dos blocos, componentes disponíveis, dimensões dos cômodos), posição e dimensão das aberturas e vãos, pois influenciam diretamente na distribuição de cargas entre as paredes, consideração das paredes hidráulicas (que não serão estruturais), definição de paredes que poderão ser removidas (não estruturais), além de premissas básicas para o projeto de instalações elétricas (tipo de laje, pé-direito, tipo de escada, etc.).

Para conseguir uma perfeita modulação é necessário trabalhar com as medidas dos blocos desde a concepção dos espaços. Neste ponto é interessante ressaltar como é importante o trabalho conjunto do arquiteto com o projetista estrutural.

Na alvenaria estrutural a modulação, em função das dimensões dos blocos é fundamental para reduzir ao máximo cortes ou ajustes para se executar a paredes, com adequação também ao pé-direito da edificação. É a modulação que fará com que a edificação seja econômica e racional. A amarração entre paredes também está ligada à modulação horizontal. A amarração influi diretamente no comportamento estrutural da alvenaria, uma vez que os encontros de paredes são pontos naturais de concentração de tensões verticais e de transferências de tensões entre as paredes.

Quando o bloco utilizado é modular, o arquiteto pode trabalhar com uma quadrícula com a dimensão modular, como por exemplo, 12,5 ou 15 ou 20 cm. Sempre haverá uma solução de amarração de paredes que atenda ao posicionamento pretendido. Mas, para o caso do bloco de 15 x 40, que é o mais utilizado em edifícios, o problema é um pouco maior. A dimensão final do ambiente depende da posição relativa dos blocos nos cantos da parede.

Os encontros de paredes são pontos muito importantes no sistema de alvenaria estrutural. São os pontos naturais de concentração das tensões verticais (os "pilares") e de transferência de tensões entre uma parede e outra. Devemos buscar a amarração entre paredes. Para amarração da junta a prumo, os detalhes mais utilizados são:

- grampo vertical unindo dois furos com ferro e graute.
- ferros de fiada. Ferros de 5 ou 6,3 mm.
- tela de amarração - é o detalhe mais recomendado nos dias de hoje.

As amarrações com blocos modulares são automaticamente resolvidas com a defasagem de meio bloco. Para blocos de 14 x 39 utilizam-se os blocos especiais de 14 x 34 e 14 x 54.

Na concepção da estrutura é feita a determinação, a partir da planta básica, das paredes portantes e não portantes, relativas às cargas verticais e horizontais, considerando os aspectos de utilização da estrutura, simetria, entre outros. Após a definição do sistema estrutural determinam-se as ações verticais (cargas) e horizontais para dimensionamento.

A função da estrutura é canalizar as ações externas para o terreno onde a edificação se apóia. Deve garantir que as tensões internas sejam adequadamente resistidas pelos materiais constituintes e garantir a estabilidade e rigidez de cada parte e do conjunto.

As fundações de uma edificação em alvenaria estrutural podem ser simplificadas, uma vez que os carregamentos se distribuem entre as paredes estruturais e são transmitidas tensões baixas ao solo.

4.2.3 Execução da obra de Alvenaria Estrutural

As principais ferramentas e equipamentos utilizados no sistema construtivo em alvenaria estrutural são: escantilhão (materialização do encontro de duas paredes), régua de bolhas (checagem de prumo e nível), bisnaga (colocação racional da argamassa), esticador de linha, cavaletes e plataformas, caixote para argamassa com carrinho regulável, carrinho para transporte dos blocos e nível alemão.

A seguir descreve-se, de forma sucinta, a seqüência de execução da alvenaria estrutural para edificações em estudo (casas térreas).

A locação da marcação baseia-se em gabaritos, assentando-se os blocos de canto externos (nivelados e aprumados). Deve-se conferir o esquadro dos cantos e as medidas da primeira fiada, assim como das aberturas de portas (com a folga compatível com o sistema de fixação dos batentes).

Os escantilhões são referenciais fixos colocados logo após a execução da fiada de marcação, e que servirão à execução da alvenaria já a partir deste momento.

Para a elevação da alvenaria até a quinta fiada, as juntas horizontais devem ser uniformemente preenchidas com argamassa, com espessura de 1,0 cm. As juntas verticais devem ser preenchidas posteriormente. O assentamento da alvenaria vai sendo executado com base nos referenciais já assentados anteriormente (escantilhões).

A partir da sexta fiada devem-se deixar os vãos onde serão inseridos os contramarcos das janelas.

Nesta fase assentam-se as contravergas que podem ser pré-fabricadas em concreto ou em canaletas grauteadas que servem para fazer frente às concentrações de tensões que ocorrem nos cantos inferiores das janelas.

Para elevação da alvenaria da oitava fiada ao respaldo, montam-se andaimes para permitir que os pedreiros alcancem as fiadas de alvenaria a assentar. Nesta fase assentam-se as vergas pré-fabricadas em argamassa armada, sobre os batentes e vãos de janelas.

A última fiada (a de respaldo) deve ser executada com blocos canaletas.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo se apresentam as principais características do empreendimento estudado, destacando as alternativas analisadas para sua execução (Sistema Jet Casa e alvenaria estrutural de blocos cerâmicos). Estas alternativas foram posteriormente comparadas para escolher a mais viável para emprego no empreendimento. O Condomínio Jardins de Barcelona é um condomínio residencial composto por 198 casas térreas, geminadas, de 2 ou 3 dormitórios. As casas de 2 dormitórios são complementadas por sala de estar e jantar, cozinha, banheiro social e lavanderia. A casa de 3 dormitórios difere pela presença da suíte (dormitório mais banheiro privativo). A quantidade de casas com 2 e 3 dormitórios são definidas conforme a escolha dos adquirentes.

Para efeito de comparação entre os dois sistemas estruturais, inicialmente utilizou-se o projeto básico para as casas de 03 dormitórios, cujo esquema está mostrado na figura 51. Adotou-se inicialmente como referência o projeto desenvolvido para emprego do sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, tradicionalmente empregado pela empresa. Posteriormente se apresenta a solução com o sistema Jet Casa.

A escolha do tipo de bloco, de modo geral, considera os fatores peculiares de cada obra, como por exemplo: custo do bloco na região (fator normalmente preponderante sobre os demais), características dos blocos (resistência, retração por secagem, absorção de água, isolamento acústico e térmico, etc.), velocidade de levantamento das paredes (facilidade de manuseio e assentamento dos blocos), etc. Usualmente têm-se utilizado blocos cerâmicos nestes empreendimentos.

Inicialmente, cumpre registrar que a denominação sistema construtivo em alvenaria estrutural para este caso em questão não é conceitualmente correta, pois não contempla um requisito fundamental: os blocos empregados não atendem a uma das exigências fundamentais da NBR 7171/92. Eles têm espessura de 11,5 cm, ou seja, menor que 14,0 cm (mínima espessura exigida para blocos estruturais para satisfazer o critério de limite máximo de esbeltez da parede de 2,80 metros de altura). Salienta-se que estes valores se referem ao cálculo de alvenaria estrutural com blocos de concreto, único material contemplado na normalização brasileira.

Assim, em função da menor espessura, não se atende ao critério de limite de esbeltez da parede, que deve ser menor que 20, segundo a NBR 14322/99. Para pé-direito de 2,70 cm (caso em questão), a esbeltez resulta num valor de 23,5 para o bloco analisado. A resistência à compressão cumpre o requisito mínimo exigido para os blocos estruturais, pois o bloco apresenta resistência à compressão de 4,5 MPa.

A despeito de todas as demais características atenderem ao preconizado pelos processos construtivos em alvenaria estrutural, não se poderia denominar este sistema construtivo como sendo em alvenaria estrutural, ao menos segundo a normalização brasileira. Um dos critérios de cálculo não é atendido. Portanto, seria mais conveniente entendê-lo como alvenaria resistente.

Registra-se também que os blocos utilizados no empreendimento estudado são comercializados como blocos estruturais, da marca Selecta, de muito boa qualidade, similar ao bloco estrutural de 14 cm em todas as suas características. Além disso, as solicitações nas paredes das edificações em estudo (casas térreas com vãos de lajes reduzidos) são pequenas, compatíveis com a menor espessura do bloco em termos de resistência mecânica (resistência à compressão), mesmo com a maior esbeltez da parede.

É muito comum o emprego de blocos de espessura menor que 14 cm em condomínio horizontais de casas térreas. A utilização deste tipo de bloco teria respaldo da normalização estrangeira, que permite o seu emprego (BS 5628I). Nestes casos, onde o índice de esbeltez é maior, aplica-se um coeficiente de redução da resistência do bloco também maior na composição dos valores de cálculo. A norma inglesa acima citada permite valores de índice de esbeltez até 27 para edificações de até dois andares, desde que a espessura da parede seja maior ou igual a 9,0 cm. O dimensionamento da parede se faz aplicando o método dos Estados Limites Últimos, de concepção mais moderna que o método das Tensões Admissíveis empregado na norma brasileira, em processo de revisão.

Apesar do projeto em questão não ter respaldo na normalização brasileira, obrigando o responsável a encontrar este subsídio em normas estrangeiras, a grande maioria das pequenas edificações térreas no país é feita desta forma. Isso suscitaria, minimamente, discussões sobre os limites das exigências das edificações em alvenaria estrutural para edificações térreas de vãos limitados.

A análise seguinte vai prosseguir adotando a nomenclatura alvenaria estrutural para o exemplo em questão, apesar do emprego do bloco de espessura menor, pois é uma terminologia largamente empregada no mercado (e com respaldo em normalização internacional), mas fica a ressalva conceitual da inadequação do termo ao projeto em questão, de acordo com a normalização brasileira.

5.1 Projetos e Execução em Alvenaria Estrutural

O projeto da residência de 03 dormitórios, que tem 72,84 m², prevê a utilização de blocos cerâmicos de 39 e 19 cm (bloco inteiro e meio bloco), com espessura de

11,5 cm. Além disso, empregam-se mais quatro outros tipos de blocos previamente cortados, visando uma maior racionalidade da modulação. Registra-se que a escolha de bloco de 39 cm ao invés do bloco de 29 cm (bloco modulado) piora as soluções de modulação e amarração entre as paredes, exigindo o uso de blocos especiais para resolver estas questões. No entanto, os blocos de 39 cm ainda são muito utilizados no mercado, sem que haja uma razão racional que justifique esta escolha, já que o custo dos blocos é similar. Os blocos utilizados são da marca Selecta (grupo Uralita), de resistência de 4,5 MPa. A figura 51 mostra o projeto arquitetônico da residência.

Na Alvenaria Estrutural é imprescindível que se defina previamente a modulação das paredes, baseada nas dimensões e definição do tipo de bloco a ser utilizado. O Projeto deve reunir o conjunto de informações necessárias à execução da edificação. Um bom projeto de produção deve proporcionar facilidade à equipe de produção da alvenaria na execução do serviço. Deve conter todas as informações que dizem respeito à etapa de um determinado serviço.

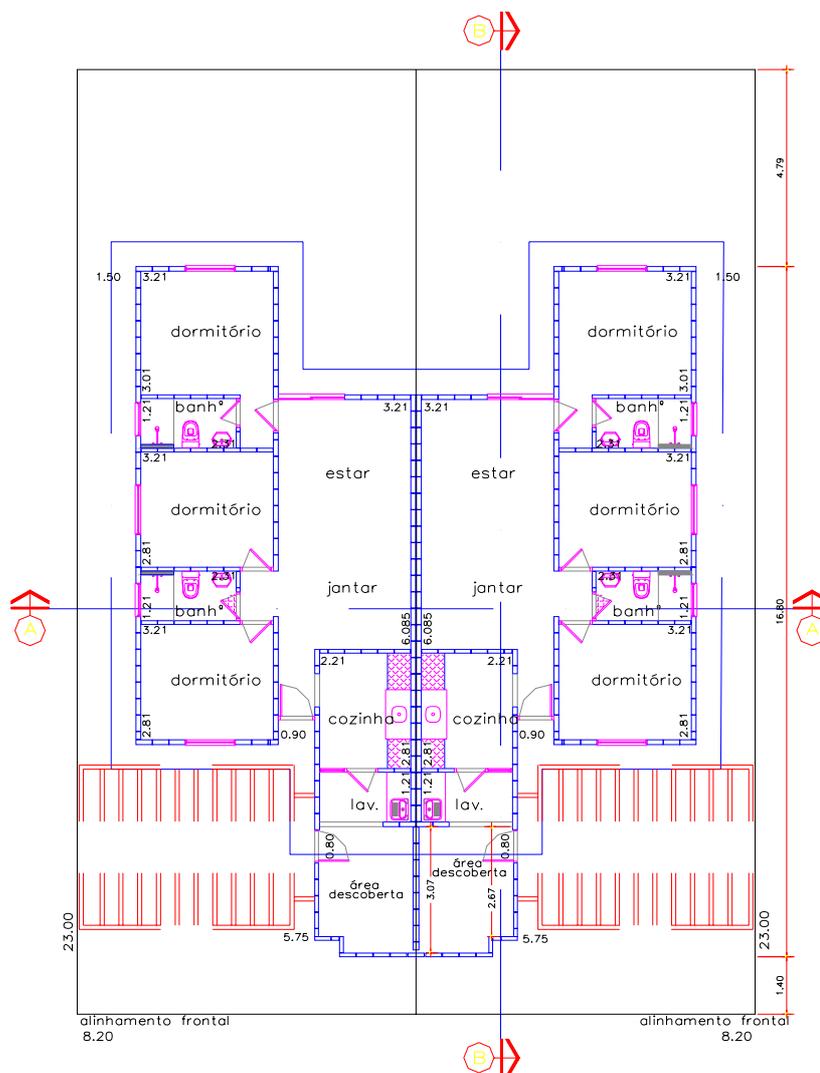


Figura 51 – Projeto em alvenaria estrutural para as unidades de 3 dormitórios

O tipo de fundação a ser utilizado neste condomínio é o radier, executado para cada conjunto de duas casas, conforme projeto de forma da fundação apresentado na figura 52. A figura 53 apresenta o detalhe A do projeto de forma que mostra as bordas do radier e o detalhe B que mostra o radier sob as paredes. O preparo e adensamento do solo deverão ser mecânicos. Sob as peças em contato com o solo deverão ser usados 5 cm de concreto magro. O transpasse das telas deve ser sempre ≥ 30 cm.

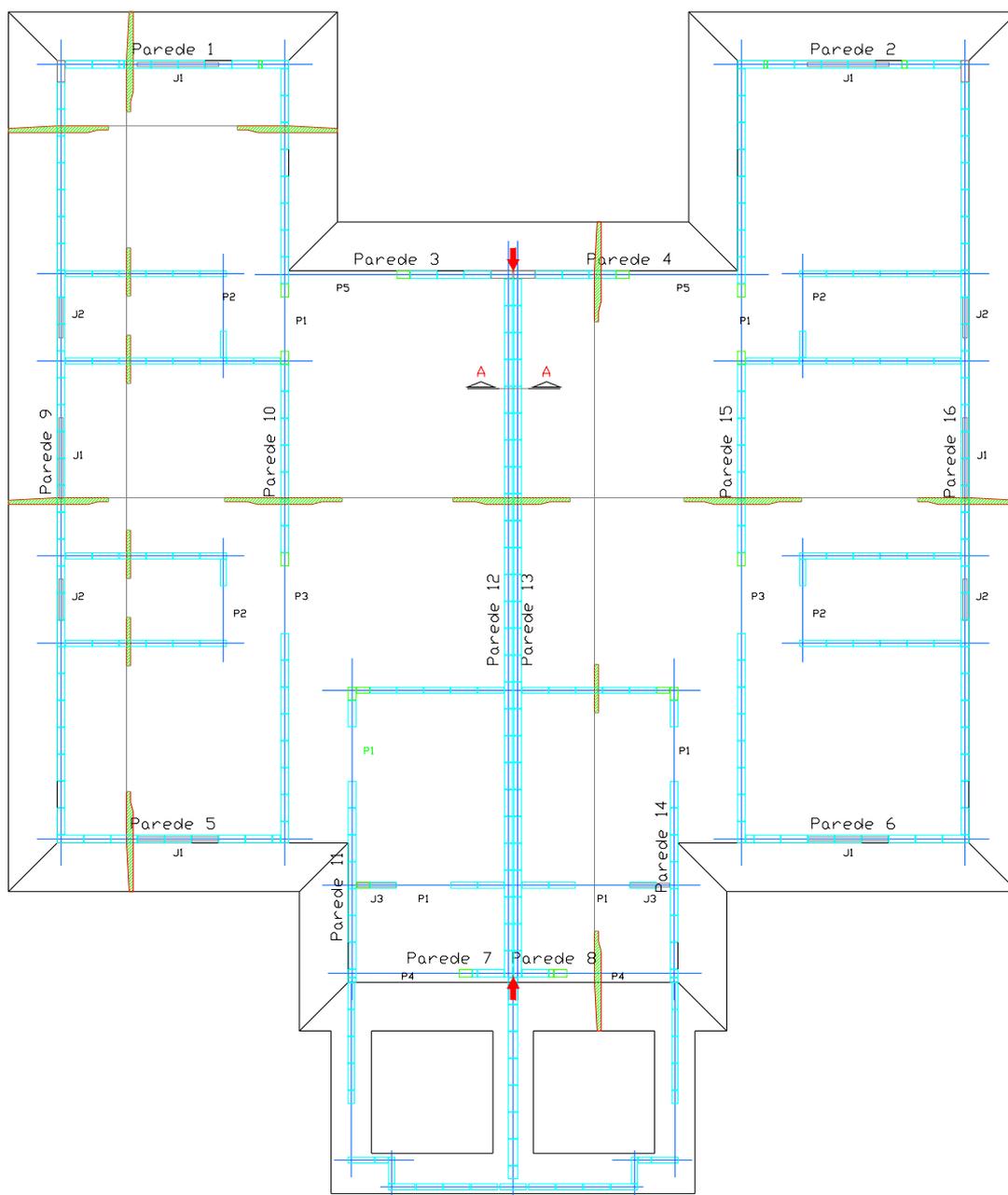


Figura 52 – Projeto de forma da fundação

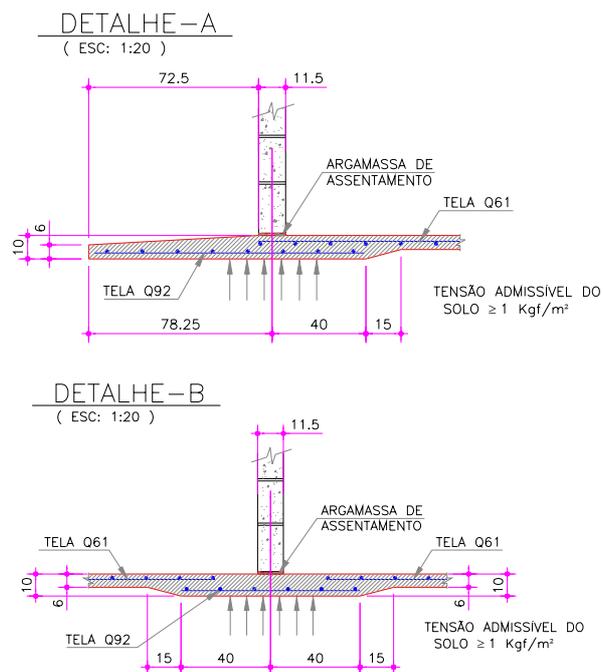


Figura 53 – Detalhes A e B do Projeto de forma da fundação

A figura 54 mostra fases da execução do radier no condomínio, desde a preparação do solo até a concretagem, realizada após a execução de toda a tubulação embutida no piso.



Figura 54 – Fases da execução do radier

A marcação da alvenaria é executada no radier através do projeto de forma da 1ª. fiada de blocos, conforme apresentado na figura 56. A primeira fiada é a referência para a elevação das fiadas superiores. O assentamento dos blocos estratégicos, que definem os encontros das paredes e aberturas, é uma tarefa que merece atenção especial. Cada bloco estratégico deve ser locado, alinhado, nivelado e aprumado. A conferência do nível (horizontalidade) e prumo (verticalidade) é feita a cada fiada.

A fase de execução da alvenaria pode ser observada na figura 55, que mostra também o detalhe das paredes duplas na divisa entre as casas, cujo vão de 2 cm é preenchido com EPS. Ou seja, as paredes devem ser executadas uma após a outra, para a colocação do EPS. A finalidade do EPS é o isolamento acústico entre uma casa e outra.

A figura 57 apresenta o detalhe do projeto que mostra a vista de uma parede. Neste esquema aparecem todos os blocos da parede, de todas as fiadas, onde se observa inclusive o uso de blocos especiais de 4,0 cm e 6,5 cm, para ajuste da modulação da parede às dimensões do cômodo. Apresentam-se também todo o detalhamento da armadura, da cinta de respaldo, das vergas e contra-vergas e do graute, ou seja, todas as informações necessárias para a execução da parede. No projeto, todas as paredes são registradas e detalhadas.

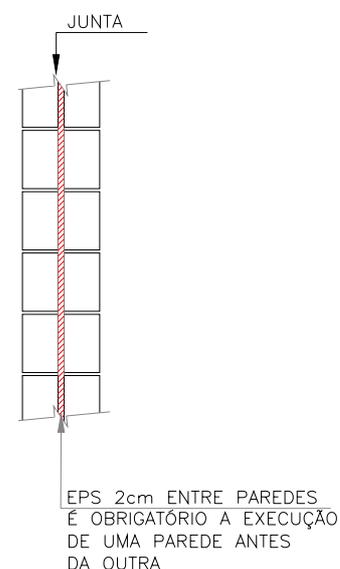


Figura 55 – Execução da alvenaria estrutural

FORMA 1ª FIADA

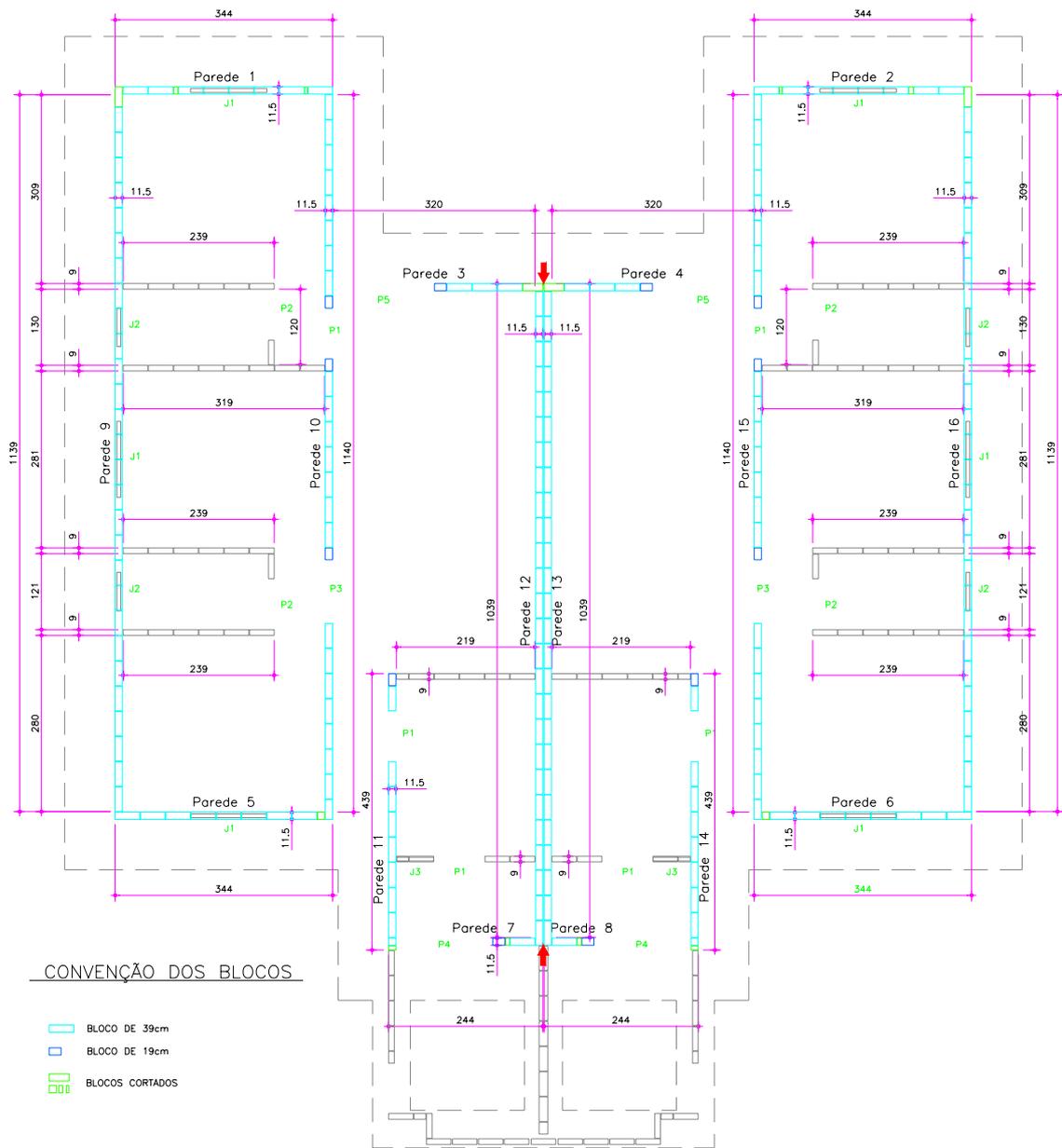


Figura 56 – Projeto de forma da 1ª. fiada

Parede 1 / Parede 2 (ESPELHADA)

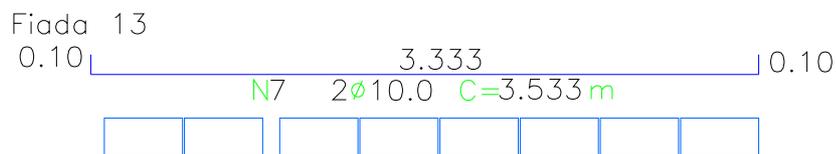
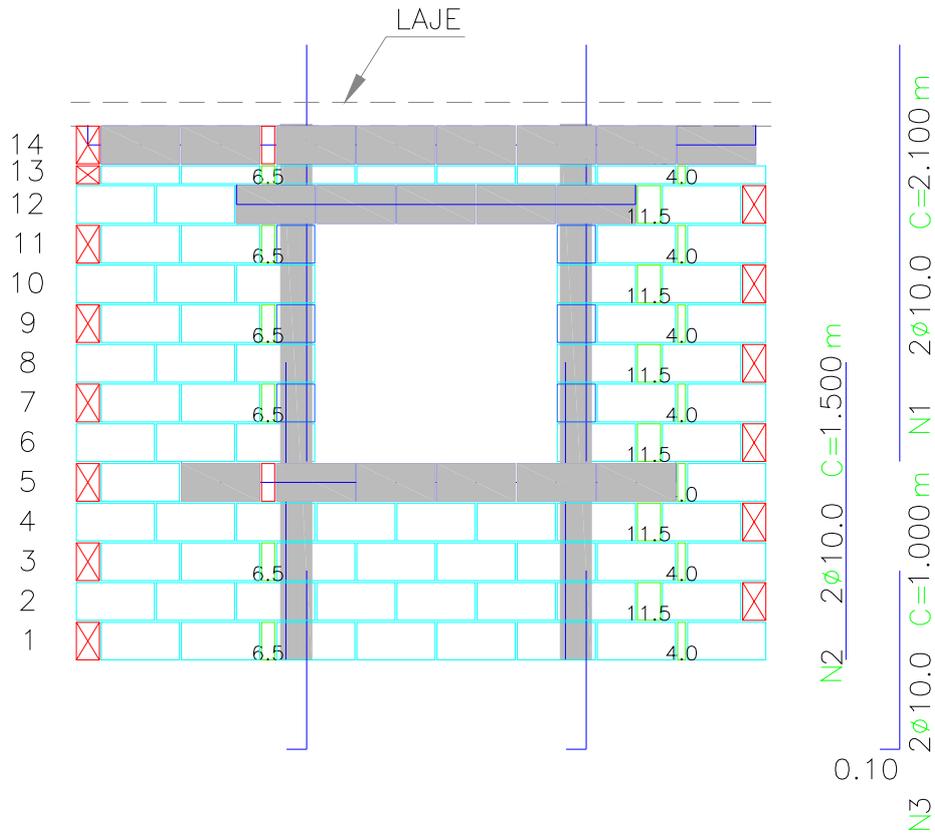


Figura 57 – Detalhe da vista de uma parede

Na figura 58 tem-se o projeto de forma de locação de grautes e nas figuras 59 e 60 o projeto de formas da cobertura, com os detalhes de junção da última fiada em bloco canaleta com a laje pré-moldada. Observa-se que não houve preocupação em evitar a solidarização da laje de cobertura com a alvenaria, que poderia ser obtida com uso de algum material para isolar estes dois elementos (PVC, neoprene, borracha,

etc). Com isso, o risco de aparecimento de fissura decorrente de movimentação da laje por efeito de temperatura é maior.

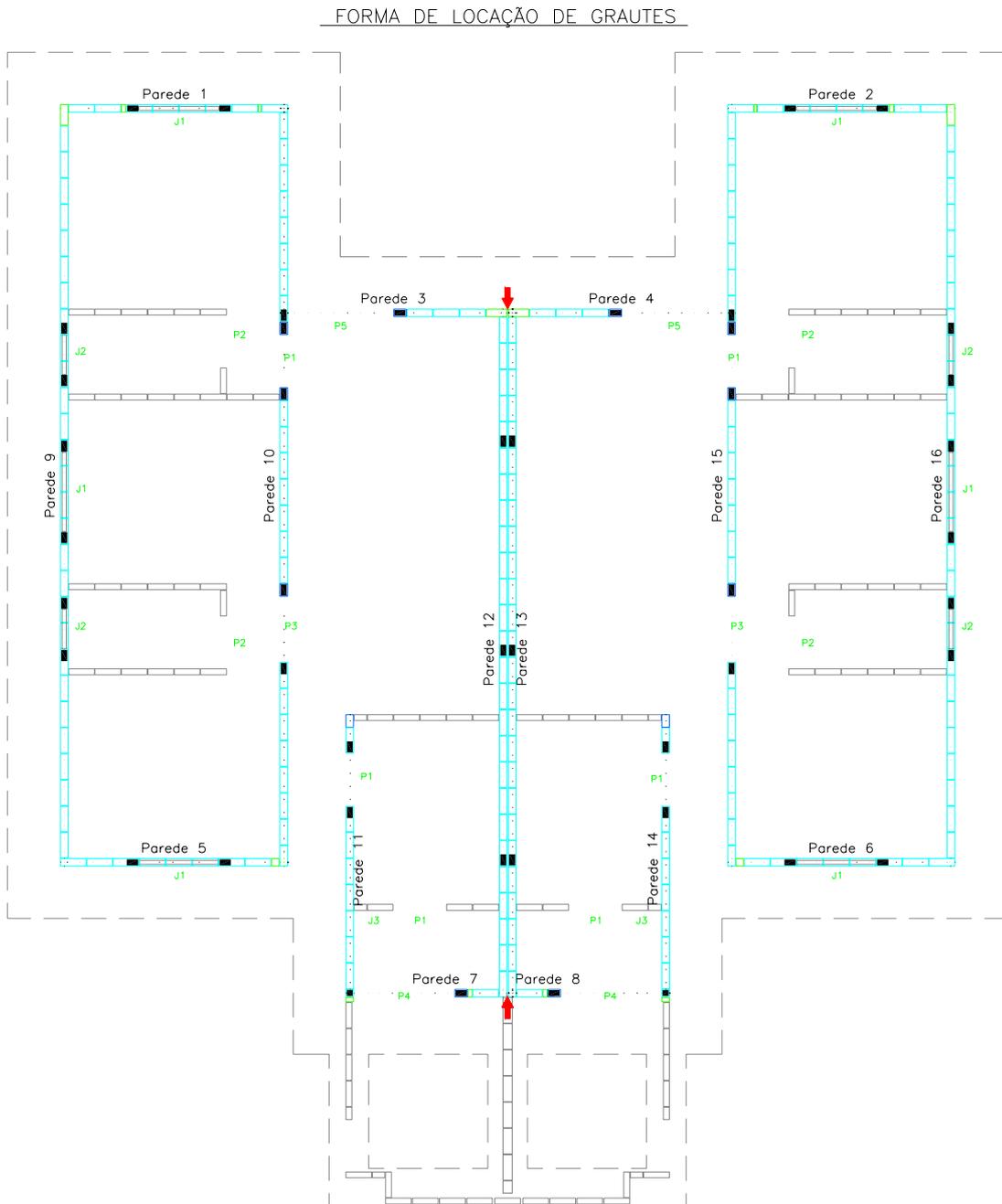


Figura 58 – Projeto de forma de locação de grautes



Figura 59 – Projeto de forma da cobertura

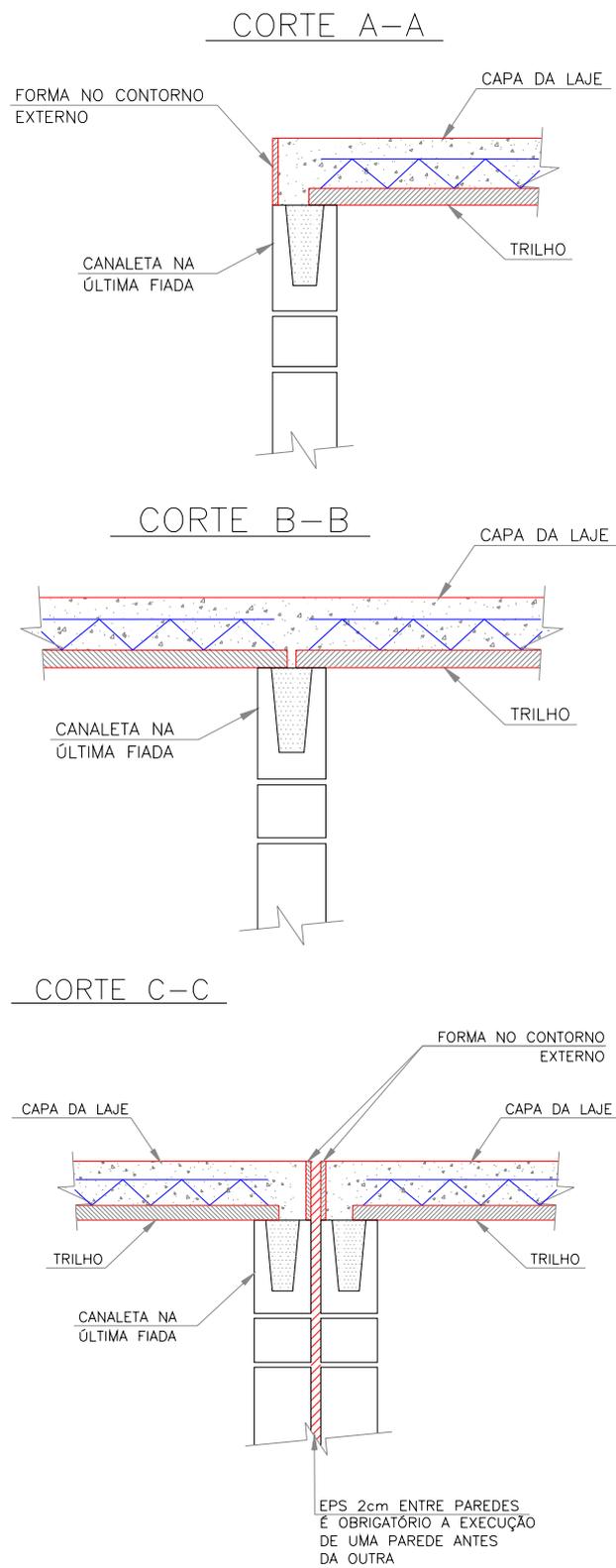


Figura 60 – Cortes da forma da cobertura

5.2 Sistema JET CASA

O projeto analisado para o empreendimento estudado possui 72,84 m² e foi modulado a partir do projeto original executado em alvenaria estrutural para o Condomínio Jardins de Barcelona. A área total da residência e também de cada cômodo não teve alteração significativa. Portanto, a adaptação do projeto em Alvenaria Estrutural para o projeto da “Jet Casa”, mostrado na figura 61, não exigiu nenhuma mudança significativa, de forma que a comparação de custo entre os dois casos é possível. Inclusive a altura do pé direito de 2,70 m foi mantida. Os detalhes de execução e montagem deste sistema já foram apresentados no item 4.1.

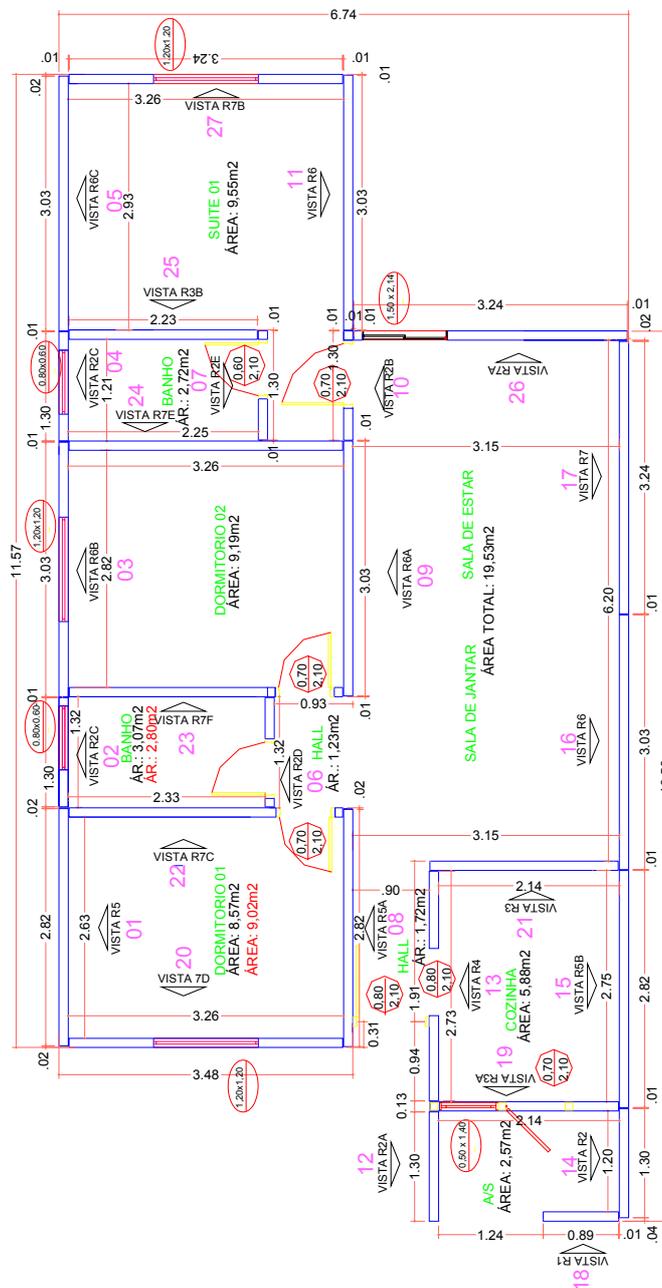


Figura 61 – Projeto adaptado ao sistema Jet Casa

5.3 Análise comparativa

Neste item serão feitas considerações sobre os dois sistemas apresentados, enfocando-se os parâmetros considerados importantes na construção de condomínios residenciais horizontais, tais como racionalização, qualidade, produtividade, mas principalmente sobre o custo, normalmente preponderante sobre os demais nas decisões. Atualmente, especialmente para empreendimentos de grande porte, tem havido uma crescente busca de racionalização dos processos produtivos, visando aumento de produtividade e redução dos custos de construção. A adoção de soluções que contemplem etapas de industrialização pode ser um caminho para melhorar a eficiência do processo construtivo, eliminando etapas construtivas, minimizando interferências entre os diversos subsistemas e elevando a qualidade do produto final, mas nem sempre com redução de custos.

Na análise que se apresenta a seguir pretende-se identificar nos dois sistemas as características e particularidades relativas a estes aspectos, discutindo-se vantagens e desvantagens de cada um, grau de racionalização e conseqüências para a organização da produção, que engloba a organização do canteiro, gerenciamento da produção e controle de qualidade.

Inicialmente, pode-se considerar que os dois sistemas construtivos comparados são racionalizados. Na alvenaria estrutural, diversos procedimentos largamente descritos na bibliografia atestam esta característica: modulação, projetos bem definidos e inter-relacionados, controle de execução, entre outros.

No sistema Jet Casa, normalmente se fazem as adaptações necessárias do projeto original, neste caso em questão concebido em alvenaria estrutural. Tal sistema também apresenta características de racionalização. Os painéis são pré-fabricados e modulados, proporcionando exatidão das dimensões, níveis e prumos, economizando-se materiais e horas trabalhadas da mesma forma que ocorre na alvenaria estrutural, porém com uma velocidade de produção maior. Eles são fabricados, numerados e estocados segundo uma determinada seqüência de montagem. Tal fato permite um maior controle e planejamento da obra, uma vez que o prazo de montagem de cada unidade é conhecido.

Em um empreendimento do tipo do condomínio estudado, talvez o custo seja, a princípio, a variável mais importante, pelo fato de que na maioria das vezes o empreendimento é lançado com um preço fechado para venda; a partir daí, pode-se alterar o sistema construtivo somente com uma diminuição no custo das etapas ou algum benefício no qual a racionalização e produtividade geradas proporcionem uma diminuição no custo final. Na comparação de custo entre os dois sistemas, limitou-se a

análise ao subsistema estrutura e vedação (paredes de alvenaria ou painéis), incluindo-se as instalações nelas embutidas.

A fundação em qualquer um dos sistemas seria o radier, já que as características do carregamento (linearmente distribuído) e o peso por metro quadrado de parede são similares nos dois sistemas construtivos. A estrutura para o telhado também seria igual, metálica no caso em estudo, que julgou-se de baixo custo e grande velocidade na execução, além de apresentar boas condições de durabilidade. Quanto ao acabamento, ambas as soluções contemplam diversas alternativas similares, sendo um item totalmente independente da escolha entre os sistemas construtivos.

Normalmente as construtoras escolhem a opção mais econômica para a obra, mas a visão precisa ser mais abrangente, pois outros aspectos técnicos estão envolvidos, tais como os efeitos que a escolha de um sistema construtivo tem no restante da obra, no canteiro, na qualidade de cada produto ou serviço orçado, entre outros. No empreendimento ora analisado optou-se pela execução das residências nos sistema construtivo em alvenaria estrutural conforme se discute a seguir.

Em fevereiro de 2004 foi feito o primeiro comparativo de custo, conforme tabelas 4 e 5, relativas à alvenaria estrutural e Jet Casa respectivamente, apresentadas a seguir. Inicialmente, a diferença de custo entre os painéis Jet Casa e a alvenaria estrutural foi de R\$ 2.180,16, por unidade residencial, a mais para os painéis Jet Casa. Na análise, além do comparativo de gastos com material e mão de obra, preocupou-se com algumas particularidades e implicações da cadeia produtiva de cada sistema no custo, analisando-se, portanto, também os custos indiretos, que muitas vezes não aparecem em uma análise simplista dos custos.

Considerou-se na elaboração destas tabelas de síntese dos custos o histórico de dados acumulados pela empresa (Rodobens Negócios Imobiliários) para empreendimentos deste tipo, relativos à produtividade, equipamentos, ferramentas, etc., mensurados através de dados coletados nos diversos empreendimentos já realizados, importantes na composição de custos. Assim, a estimativa de custos se torna mais confiável.

JARDINS DE BARCELONA - COMPARATIVO JET CASA / RODOBENS

Fevereiro/2004

Casa 03 dormitórios - Custos Alvenaria e Tubulação Seca

Orçamento Rodobens	Unidade	Quantidade	Material	Mão de Obra
Projeto estrutura	vb	1,00	R\$ 12,26	
Equipamentos e Ferramentas	vb	0,50	R\$ 18,54	
Equipamentos de Segurança	vb	0,50	R\$ 12,36	
Aluguel de Equipamentos	vb	0,50	R\$ 6,18	
Manutenção de Equipamentos	vb	0,50	R\$ 12,36	
Tranporte Interno de Materiais	vb	0,50		R\$ 49,05
Armação Cintas - aço CA25 8 mm	kg	48,86	R\$ 76,71	R\$ 33,71
Concreto Usinado 20 Mpa Cintas	m³	1,00	R\$ 185,82	
Alvenaria sem Muro e Parede de Entrada - Material	m²	171,90	R\$ 2.198,17	
Alvenaria sem Muro e Parede de Entrada - MO	m²	191,99		R\$ 1.340,63
Fiada em bloco 39x09x11,5	m²	7,38	R\$ 166,49	R\$ 55,35
Reboco para pintura	m²	53,93	R\$ 133,67	R\$ 276,95
Emboço para azulejos	m²	12,52	R\$ 19,76	R\$ 64,29
Revestimento interno em gesso liso	m²	182,82		R\$ 865,66
Instalações Secas	vb	1,00	R\$ 102,23	R\$ 149,16
Quadros de distribuição	un	2,00	R\$ 116,00	
Caixilhos	un	9,00	R\$ 15,48	R\$ 239,22
Batentes Metálicos - 04 unidades	un	4,00	R\$ 195,52	R\$ 68,48
Subtotal			R\$ 3.271,55	R\$ 3.142,50
Total			R\$ 6.414,05	

Tabela 4 – Custo Rodobens Alvenaria Estrutural e Tubulação Seca – base fev/2004

JARDINS DE BARCELONA - COMPARATIVO JET CASA / RODOBENS

Fevereiro/2004

Casa 03 dormitórios - Custos Painéis de Paredes e Tubulação Seca

Orçamento Jet Casa	Unidade	Quantidade	Material	Mão de Obra
Fabricação dos painéis	m²	191,99	R\$ 3.034,74	R\$ 1.238,28
Chapisco e reboco internos	m²	249,27	R\$ 608,22	R\$ 797,66
Chapisco e reboco externos	m²	102,29	R\$ 249,59	R\$ 327,33
Transporte e montagem (incluindo Munck)	vb	1,00	R\$ 91,48	R\$ 764,62
Argamassa para regularização do radier	vb	1,00	R\$ 25,92	
Aluguel de Formas, ponte rolante, controle tecnológico, fiscais de obra, projetos, BDI	vb	1,00		R\$ 1.456,37
Subtotal			R\$ 4.009,95	R\$ 4.584,26
Total			R\$ 8.594,21	

Tabela 5 – Custo Jet Casa Painéis de Parede e Tubulação Seca – base fev/2004

O último item da tabela 5, que engloba os custos com aluguel de formas, ponte rolante, controle tecnológico, fiscais de obra, projetos e BDI, na verdade representa o BDI total da Jet Casa, que engloba todos os custos indiretos envolvidos no fornecimento dos painéis para o empreendimento em estudo, considerando a entrega e montagem dos painéis no local da obra.

É importante salientar que o revestimento externo a ser utilizado no empreendimento é a textura, independente do sistema construtivo adotado. Na

alvenaria estrutural, a textura pode ser aplicada diretamente sobre os blocos cerâmicos, devido às boas características superficiais e geométricas dos blocos. O mesmo não ocorre com os painéis do sistema Jet Casa, que utilizam blocos cerâmicos comuns e necessitam da aplicação do revestimento básico (chapisco e reboco) sob a textura, para evitar que as imperfeições dos blocos fiquem visíveis. Assim, esse item representou um acréscimo de R\$ 576,92 no custo dos painéis Jet Casa em relação ao sistema em alvenaria estrutural.

Quanto ao revestimento interno, no caso da alvenaria estrutural, chapisco e reboco / emboço são utilizados somente nas áreas molhadas e onde haverá assentamento de azulejos. Nas demais paredes o revestimento é feito com gesso liso. Assim, o item revestimento interno apresentou o valor de R\$ 1.360,34 por unidade. No sistema Jet Casa, o revestimento interno é todo realizado com chapisco e reboco. Com isso, o custo deste item é maior, atingindo o valor de R\$ 1.405,88 por unidade. Ou seja, há um acréscimo de R\$ 45,55 em relação ao anterior.

Isto ocorre porque o gesso é mais barato (custo 32% menor que o do chapisco + reboco), além de ser de aplicação mais rápida, apresentar melhor produtividade e menor desperdício. Destaca-se que as paredes devem estar planas e ter boa capacidade de absorção do produto, o que é possível com o uso de blocos de boa qualidade, característicos da solução em alvenaria estrutural. No sistema Jet Casa, caso fossem utilizados blocos padronizados e de qualidade (similares ao bloco cerâmico da Selecta usado na alvenaria estrutural), o revestimento interno poderia ser feito com gesso liso. No entanto, ele teria que ser feito após a montagem, uma vez que o gesso, por ser mais frágil, poderia ser danificado no transporte e montagem dos painéis.

Na composição dos custos, considerou-se que haveria uma economia com equipamentos leves, locação de equipamentos e transporte interno de materiais da ordem de R\$ 98,49 por unidade residencial, caso se utilizasse o sistema de painéis Jet Casa. Estes dados foram obtidos através de levantamento do gasto por unidade residencial com equipamentos e transportes internos na utilização do sistema construtivo em alvenaria estrutural, largamente utilizado pela empresa. Basicamente, os equipamentos utilizados são escantilhão, régua com nível de bolha, colher de pedreiro, bisnaga, gabaritos, régua graduada, esticador de linha, cavaletes e plataformas para a montagem de andaimes e carrinhos para transportes dos pallets dos blocos cerâmicos e sacos de argamassa para assentamento e revestimento.

Na alvenaria estrutural estes custos estão computados na tabela 4 e a logística do canteiro já prevê uma infra-estrutura que demande exigências mínimas de acesso, transporte e distância de estoques, permitindo uma melhor organização das frentes de

trabalho visando melhor produtividade do canteiro. No sistema Jet Casa este custos já estão embutidos no custo de fabricação dos painéis.

A organização do canteiro de obras é de fundamental importância nestes empreendimentos no que diz respeito à qualidade, economia, segurança e produtividade. Um estudo prévio do layout do canteiro é fundamental, prevendo fluxo de materiais e pessoas, com locais determinados para o estoque de materiais, bancadas de preparação de kits, armazenamento de equipamentos, descarga de materiais e manobra de caminhões, etc. Quando se usa o sistema Jet Casa a estrutura do canteiro pode ser mais simples. Quantificar estas diferenças no custo de cada unidade para ambas as situações exigiria um estudo mais detalhado do canteiro e do empreendimento como um todo.

Não foi considerada a diferença de despesa com desentulho, por não ter sido possível mensurar a quantidade de entulho produzido no sistema construtivo em alvenaria estrutural, teoricamente pequena. No entanto, é preciso cuidado com diversos aspectos para que isso ocorra: qualidade da execução, desperdício de argamassa e concreto, locação errada de paredes, corte errado de tubos, engrossamento de revestimentos, compras equivocadas ou falta de materiais, equipamentos quebrados, processos inadequados de armazenagem, transporte e manuseio, entre outros. No sistema Jet Casa a produção de entulho pode ser considerada nula no canteiro, pois os painéis chegam prontos na obra; ou seja, estes aspectos devem ser controlados na fábrica.

No caso do empreendimento estudado, os custos do sistema Jet Casa foram dimensionados considerando a produção dos painéis na fábrica em São José do Rio Preto, com transporte até o local da obra. Nestes custos estão previstos o transporte e montagem por equipe da própria empresa, que é responsável por quaisquer danos que ocorram nos painéis, até a sua montagem completa no local. Destaca-se que a redução de desperdício é objetivo constante das construtoras. Além do custo de remoção e destinação desse entulho, importante principalmente nos grandes centros urbanos, onde falta espaço para depósito deste material (além dos aspectos relacionados à preservação da natureza).

Em agosto de 2005, foi feito novo comparativo de custos, contemplando alterações em alguns insumos e a melhoria da produtividade da mão de obra utilizada na fabricação dos painéis Jet Casa. Os novos resultados estão apresentados nas tabelas 6 e 7.

JARDINS DE BARCELONA - COMPARATIVO JET CASA / RODOBENS

Agosto/2005

Casa 03 dormitórios - Custos Alvenaria e Tubulação Seca

Orçamento Rodobens	Unidade	Quantidade	Material	Mão de Obra
Projeto estrutura	vb	1,00	R\$ 14,37	
Equipamentos e Ferramentas	vb	0,50	R\$ 21,73	
Equipamentos de Segurança	vb	0,50	R\$ 14,48	
Aluguel de Equipamentos	vb	0,50	R\$ 7,24	
Manutenção de Equipamentos	vb	0,50	R\$ 14,48	
Tranporte Interno de Materiais	vb	0,50		R\$ 57,48
Armação Cintas - aço CA25 8 mm	kg	48,86	R\$ 89,90	R\$ 39,51
Concreto Usinado 20 Mpa Cintas	m³	1,00	R\$ 217,77	
Alvenaria sem Muro e Parede de Entrada - Material	m²	171,90	R\$ 2.576,08	
Alvenaria sem Muro e Parede de Entrada - MO	m²	191,99		R\$ 1.571,11
Fiada em bloco 39x09x11,5	m²	7,38	R\$ 195,11	R\$ 64,87
Reboco para pintura	m²	53,93	R\$ 156,65	R\$ 324,56
Emboço para azulejos	m²	12,52	R\$ 23,16	R\$ 75,34
Revestimento interno em gesso liso	m²	182,82		R\$ 1.014,48
Instalações Secas	vb	1,00	R\$ 92,85	R\$ 174,80
Quadros de distribuição	un	2,00	R\$ 116,00	
Caixilhos	un	9,00	R\$ 18,14	R\$ 280,35
Batentes Metálicos - 04 unidades	un	4,00	R\$ 229,13	R\$ 80,25
Subtotal			R\$ 3.787,10	R\$ 3.682,75
Total			R\$ 7.469,85	

Tabela 6 – Custo Rodobens Alvenaria Estrutural e Tubulação Seca – base ago/2005

JARDINS DE BARCELONA - COMPARATIVO JET CASA / RODOBENS

Agosto/2005

Casa 03 dormitórios - Custos Painéis de Paredes e Tubulação Seca

Orçamento Jet Casa

	Custo de fabricação por m2 de painel	Custo de montagem por m2 de painel
CUSTO DIRETO POR M2	R\$ 30,96	R\$ 7,13
BDI sobre a fabricação do painel - 40%	R\$ 12,38	
BDI sobre a montagem do painel - 15%		R\$ 1,07
TOTAL	R\$ 43,34	R\$ 8,20
TOTAL GERAL	R\$ 51,55	
Custo por m2 de painel montado com reboco interno e externo		
Quantitativo de painéis	178,750 m2	
Total custo Jet Casa	R\$ 9.213,85	

Tabela 7 – Custo Jet Casa Painéis de Parede e Tubulação Seca – base ago/2005

Assim, atualmente o custo dos painéis de parede Jet Casa ainda é R\$ 1.744,00 maior que as mesmas paredes construídas em alvenaria estrutural. A capacidade de produção da indústria da Jet Casa em São José do Rio Preto aumentou, podendo

produzir diariamente quatro unidades do tipo de empreendimento estudado, considerando a relação da quantidade em m² de painéis com a quantidade de formas existente. A indústria conseguiria produzir as 198 unidades residenciais em dois meses e meio. No entanto, a diferença de custo ainda não permitiria a adoção do sistema no empreendimento estudado devido ao preço de venda já estar definido, conforme comentado anteriormente.

Com a montagem de duas casas ao dia, as 198 unidades seriam construídas em 5 meses. O menor prazo do sistema Jet Casa em relação à alvenaria estrutural poderia ser compensado com o aumento das equipes de trabalho para a produção das casas em alvenaria estrutural. O prazo de execução das 198 unidades em alvenaria estrutural foi de oito meses, com três equipes de trabalho, com capacidade de produção de duas casas em aproximadamente quatro a cinco dias, em média, por equipe. No entanto, este aumento do número de equipes (mais trabalhadores no canteiro) deve ser acompanhado de maior controle por parte do engenheiro residente. Além disso, aumenta a possibilidade de ocorrência de acidentes de trabalho.

Na análise de produtividade e velocidade de execução do empreendimento, observou-se que a produção das unidades habitacionais é mais rápida no sistema Jet Casa. Após o prazo necessário para a produção dos painéis na fábrica (duas casas por dia em fevereiro de 2004), a velocidade de montagem é muito superior à velocidade de execução da residência em alvenaria estrutural. É possível montar duas unidades residenciais por dia (ou seja, o tempo de fabricação é o mesmo que o tempo de montagem). Observa-se que na montagem já estão incluídos os serviços de alvenaria, tubulação de instalações hidráulicas e elétricas, colocação de caixilhos e batentes e revestimento dos painéis (chapisco e reboco). O tempo médio para execução dos mesmos serviços referentes às duas unidades residenciais em alvenaria estrutural é de quatro dias (ou mais, dependendo das condições de tempo).

Ou seja, a velocidade de execução do sistema Jet Casa é no mínimo o dobro da velocidade de execução das mesmas unidades em alvenaria estrutural (no entanto, os painéis devem estar prontos na fábrica, sendo sempre possível um planejamento eficiente desde o início do empreendimento). Esta agilidade seria um ponto positivo para o sistema Jet Casa, pois diminui consideravelmente o prazo de obra.

Entretanto, no caso estudado, o início da obra ocorreu em março de 2004 (com a execução da fundação em radier). Para fabricar todos os painéis de modo que a montagem começasse simultaneamente com o término das fundações, seriam necessárias mais formas do que a empresa dispunha a ocasião (com mais custo), o que inviabilizaria ainda mais a adoção do sistema. Isso ocorreu porque não se definiu

por este sistema construtivo a priori, impossibilitando a fabricação prévia dos painéis num prazo compatível com as formas inicialmente previstas.

Ou seja, para melhorar a viabilidade da adoção do sistema Jet Casa num empreendimento deste tipo seria necessário um planejamento com antecedência de 6 a 8 meses (dependendo do número de unidades a construir) antes do início das obras, para que haja tempo para a fabricação dos painéis a um custo compatível. No caso em estudo (198 unidades), com a produção de duas unidades ao dia e considerando-se vinte dias úteis no mês, seriam necessários cinco meses para a fabricação de todas as unidades. Vale salientar que esse prazo necessário para a fabricação dos painéis não incide nos custos indiretos da obra. No período da fabricação, todos os serviços citados anteriormente (alvenaria, tubulação de instalações hidráulicas e elétricas, colocação de caixilhos, batentes, chapisco e reboco) estarão em execução, sem a necessidade de mão de obra no canteiro.

A produtividade é maior no sistema Jet Casa, pois o sistema adota o conceito de linha de produção em série. Com a industrialização (aspecto da repetição), a empresa consegue treinar melhor seus funcionários, pois os procedimentos de execução são claramente definidos, assim como a função de cada operário. A linha de produção em formas também permite quantificar exatamente o custo do material utilizado, pois o risco de desperdício e retrabalho são mínimos, uma vez que cada painel tem seu projeto de produção específico: os kits de armação, hidráulicos e elétricos são montados previamente, a quantidade exata de blocos a ser utilizada está definida e as dimensões da forma definem o volume na concretagem. Assim, a industrialização reduz os desperdícios e reflete diretamente na produtividade da mão de obra.

Na Rodobens, a mão de obra é terceirizada. Os problemas decorrentes de produtividade inadequada são contornados através contratos prévios, por produção ou por serviços, garantindo que o orçamento seja seguido. Quanto aos recursos materiais, os mesmos são alocados tendo como base o orçamento e pactuados com o responsável pelo seu uso. Neste caso é importante o controle do engenheiro residente sobre os empreiteiros contratados. Consiste no controle antes de haver o gasto.

Os dois sistemas construtivos comparados apresentam vantagens em relação ao sistema construtivo convencional com pilares e vigas. No sistema tradicional os serviços são realizados por diferentes equipes e profissionais especializados: montagem de fôrmas, montagem e colocação das armaduras e concretagem. Depois, ainda devem ser executadas as alvenarias de vedação. Normalmente, esse processo é acompanhado de elevados desperdícios, observando-se inclusive eventuais soluções construtivas no próprio canteiro de obras (no momento da realização do

serviço), baixa padronização do processo de produção e ausência de planejamento antecipado.

No caso da alvenaria estrutural, onde a vedação é a própria estrutura, há praticamente uma só equipe de trabalho, com interferência apenas das instalações hidráulicas e elétricas embutidas na alvenaria. No caso dos painéis do sistema Jet Casa, pode-se considerá-los como paredes industrializadas, que condicionam todos os subsistemas nela inseridos e, principalmente, proporcionam uma organização da produção. Esta industrialização proporciona melhor qualidade e planejamento.

Outro detalhe comum aos dois sistemas é que ambos não permitem alterações nas paredes já executadas, como, por exemplo, aberturas para passagem de dutos. Então, o sistema construtivo praticamente obriga o construtor a integrar projetos desde o início. Este procedimento exige um planejamento maior, eliminando os imprevistos no canteiro de obras. No sistema convencional, se uma tomada é esquecida, por exemplo, um operário corta a parede e insere o duto, desperdiçando tempo e material, o que, na alvenaria estrutural e no sistema Jet Casa não é recomendável. Prever o embutimento de dutos, na verdade, deveria ser prática em qualquer sistema construtivo. A alvenaria estrutural e o sistema Jet Casa reforçam essa necessidade, pois cortar uma parede significa cortar a estrutura, interrompendo possíveis trajetórias de forças.

Quanto às modificações de projetos, existem limitações nos dois sistemas construtivos, mas na alvenaria estrutural há certa liberdade para definir as paredes estruturais e liberar as demais para modificações futuras. Este detalhe já deve estar estabelecido em projeto, quando se define a estrutura da edificação, liberando paredes que serviriam apenas como divisórias (ou hidráulicas), que podem ser executadas com alvenaria não-estrutural ou painéis de gesso acartonado. No sistema Jet Casa a alteração de parede é praticamente inviável, pois um painel é fixado ao outro através da soldagem das barras chatas de ferro e a retirada de um painel desestabilizaria todo o conjunto. O que é uma desvantagem.

Conforme comentado anteriormente, observou-se que os dois sistemas construtivos são racionalizados, pois possuem procedimentos executivos claros e projetos de produção com detalhamento da execução dos serviços, com diversas melhorias se comparados ao sistema tradicional. Em ambos, as soluções construtivas se antecipam à execução no canteiro de obras, possuem mão de obra treinada e buscam uma eficiência maior dos processos construtivos. No sistema Jet Casa a integração entre projeto, produção, transporte e montagem no canteiro é fundamental em todo o processo para garantir o máximo desempenho das paredes da edificação. A

fase de planejamento é utilizada para prever todas as etapas da construção, o que elimina decisões posteriores tomadas ao acaso.

Outra característica positiva do sistema Jet Casa é a racionalidade proporcionada pela solução das tubulações e componentes das instalações hidráulicas e elétricas, que já chegam prontos no local de montagem, evitando-se quebra de blocos e retrabalho com enchimentos posteriores, favorecendo melhor produtividade da mão de obra e diminuindo a quantidade de entulho produzida e perdas existentes no canteiro de obras.

Além disso, a certificação fornecida pelo IPT exige que o sistema passe por auditorias freqüentes, que asseguram um maior controle de todo processo de produção dos painéis (melhor controle tecnológico dos materiais como concreto, bloco, argamassa; e mapeamento dos painéis, desde a sua fabricação até a sua montagem na posição definitiva).

Na alvenaria estrutural a padronização e a boa qualidade dos blocos possibilitam a redução da camada de revestimento, desde que o assentamento seja realizado com qualidade. Além disso, o retrabalho é baixo porque várias etapas construtivas são realizadas simultaneamente. No sistema Jet Casa a utilização de blocos mais padronizados também possibilitaria esta redução na espessura dos revestimentos, principalmente no revestimento externo, uma vez que o revestimento interno é feito com o painel ainda na forma. Atualmente, ele sempre é de 1,0 cm, porque é a distância entre o bloco (9 cm) poderia ser menor se os blocos fossem de melhor qualidade.

Em relatórios técnicos de auditoria do IPT (Relatório nº. 63 738 – 5/10), registrou-se (a partir de ensaios com lotes distintos do mesmo fornecedor de blocos) que há uma grande variabilidade no seu processo produtivo. O IPT recomendou um maior controle no processo de qualidade durante o recebimento dos blocos e análise constante da variabilidade obtida em cada lote, no que diz respeito à resistência à compressão, determinação da massa, absorção de água, desvio de esquadro e planeza das faces e dimensionamento. No sistema Jet Casa, como a montagem dos painéis é padronizada através de espaços predeterminados para o seu encaixe nas formas não existe a possibilidade de descuido da mão de obra interferir na planicidade dos painéis.

Na concepção de ambos os sistemas observa-se uma preocupação constante com a qualidade, visando evitar especialmente problemas no pós-ocupação, para reduzir despesas com manutenção e para valorizar o produto imobiliário. Em empreendimentos deste tipo o desrespeito às normas técnicas pode levar a problemas de ordem judicial. Na empresa Rodobens, por exemplo, a meta é que despesas de

pós-ocupação nunca sejam superiores a 1,5% do custo total da obra. Assim, a utilização de sistemas e produtos de maior qualidade é muito importante, inclusive para a imagem da empresa.

A empresa responsável pelo sistema Jet Casa não tem um histórico de coleta de dados pós-ocupação além daqueles coletados nas auditorias do IPT, que não apresentaram grandes problemas com manutenção. O sistema em alvenaria estrutural, por sua vez, tem seu uso já consagrado: desde que obedecidos os bons procedimentos de execução, fundamentais para a boa qualidade, tem aceitação e desempenho conhecidos e satisfatórios.

No estudo comparativo entre os dois sistemas construtivos só se considerou a opção da compra dos painéis Jet Casa já montados no local. Uma outra opção seria a transferência da tecnologia, com produção e montagem a cargo da Rodobens, somente com supervisão da Jet Casa. Esta hipótese foi descartada, uma vez que seria necessária a disponibilidade por parte da Rodobens de mão de obra qualificada para produção e montagem dos painéis. O tempo e dinheiro direcionados ao treinamento de trabalhadores teriam que ser considerados, além do risco de trabalhadores não-especializados proporcionarem mais despesas pela queda na qualidade da execução, aumento de desperdício de material e pela menor produtividade.

A opção por um sistema construtivo industrializado como o sistema Jet Casa permitiria uma ênfase maior na aplicação de princípios de planejamento e gerenciamento dos empreendimentos, que atualmente é uma grande preocupação nas empresas. Isso incluiria um acompanhamento técnico mais eficiente. Ou seja, o uso de painéis industrializados poderia reduzir falhas de coordenação entre as etapas construtivas, o desperdício de materiais, a manutenção de equipamentos e descongestionar o canteiro de obras.

Apesar do sistema construtivo Jet Casa não ter sido aprovado para o empreendimento estudado, fundamentalmente pelo custo ainda maior, não se deve descartar a possibilidade de novos estudos em outras localidades onde a empresa atua. Um fator importante que resultou na escolha do sistema construtivo em alvenaria estrutural foi o baixo custo da mão de obra da região de São José do Rio Preto (bem abaixo dos custos da região de São Paulo e Campinas, por exemplo).

De acordo com dados coletados em diversas obras da Rodobens Negócios Imobiliários, esta diferença varia de 8% a 10%. Com a mão de obra mais barata, o sistema menos industrializado leva vantagens no aspecto do custo. Assim, a opção em alvenaria estrutural se beneficiou desta realidade. Na verdade, isto é um fato em todo o país. O baixo custo da mão de obra perpetua os processos de construção que

as empregam mais intensamente. Nos grandes centros, onde o custo da mão de obra é maior, esta situação pode se reverter e seria necessária uma nova análise.

A tabela 8 apresenta um resumo do comparativo entre os dois sistemas.

ALVENARIA ESTRUTURAL	SISTEMA JET CASA
Modulação das unidades (blocos)	Modulação dos painéis
Instalações já executadas juntamente com a alvenaria	Tubulações e componentes das instalações já estão prontos, uma vez que foram montados junto com os painéis
Menor velocidade de execução	Economia e racionalização na utilização de equipamentos leves e transporte interno de materiais
Custo em fevereiro / 2004 - R\$ 6.414,05	Custo em fevereiro / 2004 - R\$ 8.594,21
Revestimento externo (textura) aplicado diretamente sobre blocos, por utilizar blocos da marca Selecta	Aplicação de chapisco e reboco sob textura
Revestimento interno em gesso liso	Revestimento interno com chapisco e
Canteiro de obras	Montagem
Desperdício	Ausência de entulho
Custo em agosto / 2005 - R\$ 7.469,85	Custo em agosto / 2005 - R\$ 9.213,85
Maior número de equipes no canteiro	Maior velocidade de execução
Definição de paredes estruturais	Possibilidade de ampliação
Controle da produção	Ênfase no planejamento
Mão de obra barata no interior	Mão de obra mais cara nos grandes centros (8% a 10%)

Tabela 8 – Resumo comparativo entre o sistema construtivo em Alvenaria Estrutural e Jet Casa

Registra-se finalmente que a empresa responsável pelo sistema Jet Casa já está utilizando os painéis para construção de edificações assobradadas. Além disso, também está testando painéis feitos com cacos de blocos cerâmicos triturados. Os mesmos ainda estão sendo ensaiados, mas podem se despontar como uma nova alternativa para a fabricação dos painéis que poderão aproveitar materiais reciclados e contribuir para a preservação do meio ambiente. Estes assuntos são perspectivas para estudos futuros sobre sistemas construtivos racionalizados, que visem à otimização do uso de materiais e recursos, melhoria da qualidade, produtividade e redução de custos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de novos sistemas construtivos numa empresa de empreendimentos imobiliários para condomínios horizontais deve ser uma atitude permanente. No entanto, para a sua adoção é necessário que eles proporcionem vantagens em relação à alvenaria estrutural (ou alvenaria resistente) que, até hoje, tem se mostrado o sistema construtivo mais barato e compatível com uma edificação de boa qualidade. Registra-se que este processo construtivo já incorpora diversos conceitos de racionalização, a despeito de ser praticamente artesanal e totalmente desenvolvido no canteiro. Tecnologias devem ser mudadas em troca de maior qualidade ou de diminuição de custo com manutenção da qualidade. Toda análise deve levar em conta as peculiaridades do empreendimento.

Observou-se que são muitas as soluções atualmente disponíveis para transformar o canteiro de obras num local de montagem, ou ao menos para reduzir etapas da construção convencional, tornando o processo menos artesanal. Entre elas estão os painéis pré-moldados estruturais, paredes de vedação de gesso acartonado, steel framing, soluções industrializadas para revestimento de fachada, forros e outros.

Industrializar, entretanto, não implica necessariamente em realizar uma revolução tecnológica no canteiro de obras. Pode-se começar com um subsistema da edificação. É importante que se avalie qual o grau de industrialização mais adequado para cada situação, dependendo do tipo de empreendimento, localização geográfica do canteiro, facilidades logísticas e equipamentos necessários para a obra.

É importante também conhecer a influência do sistema industrializado sobre todos os aspectos do empreendimento: no planejamento (redução de prazo da obra, custos com equipamentos, mão-de-obra e materiais); no projeto (soluções e especificações técnicas, detalhes construtivos); na execução da obra (capacitação e treinamento da mão-de-obra, inspeções necessárias para acompanhamento) e no pós-obra (orientações para usuários da edificação sobre conservação, manutenção). Essa análise deve ser feita para cada empreendimento isoladamente.

Hoje, cada vez mais, o papel das construtoras é o de administrar a obra. A execução é feita por empreiteiras especializadas. Por isso, o papel mais importante das construtoras deve ser o de agregar e gerir essas diferentes tecnologias e prestadores de serviços.

Os sistemas construtivos industrializados exigem maior precisão que os convencionais. No caso de obras convencionais, um erro de projeto ou execução na estrutura da edificação pode até ser consertado. Se a falha ocorre com uma estrutura pré-fabricada, feita sob encomenda, isso pode inviabilizar o empreendimento.

No entanto, a questão da habitação popular brasileira exige tecnologias simples a custos adequados à conjuntura sócio-econômica. O sucesso da adoção de sistemas construtivos industrializados vai depender da potencialidade desse sistema de proporcionar aos construtores um produto final de boa qualidade (incluindo conforto e satisfação do usuário), durável e de fácil manutenção, mas a um custo compatível com o preço de venda que o mercado está disposto a pagar (comparando-o com alternativas similares normalmente já bem conhecidas do público consumidor). Registra-se ainda que o maior déficit habitacional está nas camadas da população de baixa renda.

Neste trabalho, conforme os objetivos iniciais, foram apresentados alguns sistemas construtivos utilizados para a produção de unidades residenciais produzidas em série. Dentre eles, descreveu-se detalhadamente o sistema construtivo Jet Casa, escolhido pela empresa empreendedora para realizar estudo comparativo com o sistema construtivo em alvenaria estrutural. Este estudo apresentado se desenvolveu a partir de um caso real, contemplando a análise de aspectos relacionados com a racionalização do processo construtivo, otimização dos recursos disponíveis, melhoria da qualidade, produtividade e, principalmente, custos. A escolha do sistema para o empreendimento em questão, em favor da alvenaria estrutural, se baseou especialmente no menor custo.

Evidenciou-se a importância dos projetos detalhados em ambos os sistemas construtivos comparados, como forma de compatibilização dos subsistemas de acordo com as modulações (tanto dos blocos quanto dos painéis), evitando-se corte dos componentes e ajustes no canteiro de obras.

O sistema Jet Casa se baseia no uso da pré-fabricação na maior parte possível da edificação, o que vai de encontro à crescente tendência de conversão do canteiro de obras em local de montagem de partes pré-fabricadas, buscando-se a máxima racionalização dessa montagem. A transformação da obra num local de montagem de partes pré-fabricadas é uma alternativa que pode contribuir decisivamente para melhorar o controle dos cronogramas e da produtividade no canteiro, uma vez que a produção dos componentes ocorre fora do local da obra, segundo contratos específicos, submetidos aos seus próprios cronogramas.

Com a utilização da pré-fabricação, alguns ganhos diretos podem ser mais evidenciados: redução do custo fixo pela redução do prazo de obra; maior organização e limpeza no canteiro de obras; eliminação de etapas (carpintaria, formas, cimbramento, lançamento de concreto, adensamento, cura e desforma da estrutura ou parte dela); corte e dobra de aço; redução de acidentes de trabalho e possibilidade de execução simultânea de várias frentes de trabalho.

Finalmente, este tipo de estudo permite difundir conhecimentos sobre sistemas construtivos inovadores, servindo de instrumento para implementar e aprofundar discussões sobre os níveis de racionalização da construção civil brasileira deste setor enfocado, buscando caminhos para melhorar a produtividade e reduzir desperdícios e custos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIKO, A.K.; SOUZA, R.; SILVA, M.A.C. (1991). *Elaboração de diretrizes básicas de política tecnológica para a construção habitacional*. São Paulo. Relatório CPqDCC n.50001 – EP / Ministério de Ação Social, Secretaria Nacional de Habitação. EPUSP – PCC.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1980). NBR 5628 – *Determinação da resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 8681 – *Ações e segurança nas estruturas*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). NBR 9062 – *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). NBR 7171 – *Bloco cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982). *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural*. NBR 7173/82. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1990). *Divisórias leves internas moduladas: terminologia*. Rio de Janeiro. ABNT. TB-384.
- BARROS, M. M. S. B. (1996). *Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios*. São Paulo. 422 p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BARROS, M. M. S. B. (1998). *O Processo de produção das alvenarias racionalizadas*. In: Seminário Vedações Verticais, 1. p.21 – 48: Anais. São Paulo. GEPE TGP.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION; (1992). *Code of practice for structural use of masonry. Part 1 – Structural use of unreinforced masonry*. BS5628.

BRITISH STANDARD INSTITUTION; (1985). *Code of practice for structural use of masonry. Part 3 - Materials and component, design and workmanship*. BS5628.

CARDOSO, Francisco F. (1996). *Importância dos estudos de preparação e da logística na organização dos sistemas de produção de edifícios. Alguns aprendizados a partir da experiência francesa*. In: I Seminário Internacional Lean Construction – A Construção sem Perdas. IDORT, São Paulo. 24 p.

CARRARO, F. (1998). *Produtividade da mão-de-obra no serviço de alvenaria*. São Paulo. 226 p. Dissertação (Mestrado) – EPUSP.

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço (2000). *Detalhes Construtivos para Construções em Steel Framing*. Tradução do Original “Low-Rise Residential Construction – Details” – North American Steel Framing Alliance.

CONCÍLIO, V.P.; ABIKO, A.K. (1998). *Mutirão Habitacional: adequação de processos e sistemas construtivos*. São Paulo. 20 p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

EL DEBS, M.K. (2000). *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo – projeto REENGE.

FARAH, Marta Ferreira Santos. (1992). *Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional*. São Paulo. 297 p. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo.

FAJERSZTAJN, H. (1987). *Formas para concreto armado: aplicação para o caso do edifício*. São Paulo. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, A.B.H. (1986). *Novo dicionário da língua portuguesa*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira.

FOSTER, J.S. (1973). *Structure and fabric – part 1*. London, B.T. Batsford.

FRANCO, L.S. et al. (1992). *Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada*. São Paulo. 319p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade da São Paulo.

FRANCO, L.S. (1994). *Desenvolvimento de um método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavados: proposição do método construtivo*. São Paulo. Documento 20.081, Projeto EP / SC-1. EPUSP-PCC.

FRANCO, L.S.; BARROS, M.M.S.B.; SABBATINI, F.H. (1994). *Proposição do Método Poli-Sical* (Relatório Final do Convênio EPUSP/SICAL-1 0 Desenvolvimento de um método construtivo de alvenaria de vedação de Blocos de Concreto Celular Autoclavados). EPUSP, São Paulo.

GARRIDO, J. (1996). *A verdade sobre o desperdício*. In: Qualidade na Construção. São Paulo. Sinduscon.

GOMES, N.S. (1983). *A resistência das paredes de alvenaria*. São Paulo. 190p. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

HIRSCHFELD, Henrique (1996). *A Construção Civil e a Qualidade: informações e recomendações para engenheiros, arquitetos, gerenciadores, empresários e colaboradores que atuam na construção civil*. – São Paulo, Editora Atlas.

KANUF DO BRASIL. *Sistemas de construção a seco Knauf*. Rio de Janeiro, s.d.

LAFARGE GYPSUM. (1996). *Manual Técnico dos sistemas Lafarge Gypsum de paredes e forros*. São Paulo.

LANNA, C.A.F. *Cerâmica Estrutural*. Revista Técnica. Ficha técnica n.27. São Paulo.

MACHADO, E.F. Jr. (1991). *Casas populares pré-moldadas em Argamassa Armada. Procura de uma solução econômica e confortável*. 192p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo.

- MAMEDE, F.C. (2001). *Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural*. 188p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo.
- MARTUCCI, R. (1990). *Projeto Tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?* Tese de Doutorado. 438 p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MARTUCCI, R.; BASSO, A. *Uma visão integrada da análise e avaliação de conjuntos habitacionais: aspectos metodológicos da pós-ocupação e do desempenho tecnológico*. Coletânea Habitare. Volume 1. 26 p.
- MELHADO, S. B. (1994). *Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MELHADO, S. B. Entrevista concedida à Revista Construção Mercado, número 49. Editora Pini. Agosto de 2005.
- MESEGUER, A. G. (1991). *Controle e Garantia da Qualidade na Construção*. São Paulo. PW Gráficos e Editores Associados.
- MITIDIERI FILHO, C.V. (1997). *Como construir: Paredes em chapas de gesso acartonado*. Técnica. São Paulo, n.30.
- ORDÓÑEZ, J.A.F., et alii. (1974). *Pré-fabricación: teoria y práctica*. Barcelona, Editores Técnicos Associados. 2v.
- PLACO DO BRASIL. *Manual sistemas Placostil*. São Paulo, s.d.
- PICCHI, F.A. (1993). *Sistemas de Qualidade: uso em empresas de construção de edifícios*. Tese de Doutorado. 426 p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- PICORIELLO, L.A. (2003). *Recomendações práticas para uso do tijolo furado de solo-cimento na produção de alvenaria*. Dissertação (mestrado). 86 p. IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

- REIS FILHO, N.G. (1978). *Quadro da arquitetura no Brasil*. São Paulo. Perspectiva.
- REVISTA CONSTRUÇÃO. (1998). São Paulo. N.2621.
- ROSSO, T. (1980). *Racionalização da Construção*. São Paulo. 300 p. FAUUSP.
- SALAS SERRANO, J. (1988). *Construção Industrializada: pré-fabricação*. São Paulo, IPT.
- SANCHES FILHO, E.S. (2002). *Alvenaria Estrutural: novas tendências técnicas e de mercado*. Rio de Janeiro. Editora Interciência Ltda. – SENAI.
- SABBATINI, F. H. (1989). *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia*. Tese de Doutorado. 321 p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- SABBATINI, F.H.; BARROS, M.M.S.B.; SILVA, M.M.A. (1988). *Recomendações para construção de paredes de alvenaria*. São Paulo. Documento 1D, Projeto EP / EM – 1. EPUSP-PCC.
- SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS. (1998). *Anais*. Ed. por F.H. Sabbatini, M.M.S.B. de Barros, J.S. Medeiros. 308p. São Paulo, EPUSP / PCC.
- SILVA, A. M. (2001). *Estudo de Material Alternativo para ligações de estruturas pré-moldadas*. São Paulo. Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo – USP.
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1997). *Sumário Econômico*. São Paulo.
- SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. (2002). *Projeto e execução de lajes racionalizadas de concreto armado*. Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras. O Nome da Rosa. São Paulo.

- SOUZA, Roberto. (1990). *Qualidade, modernização e desenvolvimento: diretrizes para atualização tecnológica da Indústria da Construção Civil*. Simpósio Nacional sobre Garantia da Qualidade da Estruturas de Concreto. São Paulo, EPUSP. P.3-17.
- SOUZA, Roberto. (1996). *Qualidade na aquisição de materiais e execução de obra*. São Paulo. Editora Pini.
- SOUZA, U. E. L. (1993). *Canteiro de Obras*. São Paulo. EPUSP / ITQC. 30p.
- SOUZA, U. E. L. (1996). *Metodologia para o estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de formas para estruturas de concreto armado*. São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 350 p.
- TELLES, Pedro C. da Silva. (1984). *História da Engenharia no Brasil*. Rio de Janeiro. V.1. Livros Técnicos e Científicos.
- TESTA, C. (1972). *The industrialization of building*. New York, Van Nostrand Reinhold.
- THOMAZ, E. (2000). *Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenaria de vedação em edifícios*. São Paulo. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil.
- THOMAZ, E. (2001). *Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção*. São Paulo. Editora PINI.
- USUDA, Fábio (2004). *Técnicas Construtivas Especiais – Alvenaria Estrutural*. Sorocaba – SP. Artigo Técnico. Faculdade de Engenharia de Sorocaba.
- VARGAS, Milton. (1994). *Para uma filosofia da tecnologia*. São Paulo. Alfa-Ômega.
- VASCONCELOS, A.C. (1988). *O Desenvolvimento da Pré-fabricação no Brasil*. São Paulo. Revista Politécnica, n.200, p.44-60.
- ZENHA, Ros Mari, MITTIDIERI, C.V.F., AMATO, F.B., VITTORINO, F. (1998). *Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Publicação IPT n.2515.