

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

MARIA EMILIA PENAZZI

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CONSTRUTIVO E ESTRUTURAL
MODULAR EM AÇO PARA EDIFICAÇÕES PARA FINS DIDÁTICOS**

São Carlos - SP
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

Maria Emilia Penazzi

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CONSTRUTIVO E ESTRUTURAL
MODULAR EM AÇO PARA EDIFICAÇÕES PARA FINS DIDÁTICOS**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração:

Sistemas construtivos.

Orientador:

Prof. Dr. Alex Sander Clemente de Souza

São Carlos - SP
2015

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

P397ds Penazzi, Maria Emilia.
Desenvolvimento de sistema construtivo e estrutural modular em aço para edificações para fins didáticos / Maria Emilia Penazzi. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
128 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Construção civil. 2. Sistema modular em aço. 3. Industrialização da construção. 4. Racionalização. I. Título.

CDD: 690 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Maria Emilia Penazzi, realizada em 10/04/2015:

Prof. Dr. Alex Sander Clemente de Souza
UFSCar

Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra
UFSCar

Profa. Dra. Fabiana Lopes de Oliveira
USP

Dedicatória

*Aos meus pais Thereza e Dorival, sincera e afetuosamente
obrigada pelo incentivo aos estudos desde o início.
Ao meu marido Marcelo, por estar sempre presente.*

Agradecimentos

À Universidade Federal de São Carlos, pela oportunidade do aprendizado.

Ao Professor Dr. Alex Sander Clemente de Souza, meu orientador que tem todo o meu respeito, por compartilhar comigo seu grande conhecimento e experiência.

Aos Professores que ministraram as disciplinas de mestrado: dispostos pacientemente sanar nossas dúvidas.

À Professora Dr^a. Sheyla Mara Baptista Serra, pelo pronto atendimento.

A todos os colegas, do Departamento de Estruturas e Construção Civil da UFSCar pela colaboração.

À querida Raquel Ragonesi Permonian, que se tornou uma grande amiga sempre presente e participativa.

Ao meu marido Marcelo Pinarelli Cover, pelas dicas e incentivos constantes. Grande exemplo.

À minha família, pelo apoio incondicional em todos os aspectos da minha vida. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui. Muito obrigada!

Ao CNPq e FINEP pelo apoio à pesquisa.

“Técnica é a aplicação inteligente de um conjunto de processos científicos, usados para obter resultados de ponta no domínio da produção. É a maneira mais eficiente para executar-se algo, o melhor experimento conhecido e já testado, o meio mais direto para se chegar à solução prática do problema”

(Waldo Vieira)

PENAZZI, M. E. **Desenvolvimento de sistema construtivo e estrutural modular em aço para edificações para fins didáticos**. 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de São Carlos – SP, 2015.

RESUMO

No contexto da Construção Civil, o sistema construtivo e estrutural responde por considerável parcela do desempenho da edificação após sua ocupação. Valendo-se inicialmente de uma abordagem teórica, o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos de construção industrializada, abordando o atual cenário técnico no Brasil, e confrontando algumas das principais tecnologias industrializadas presentes hoje no segmento da construção civil. Na sequência, procurou-se demonstrar a viabilidade técnica de utilização do sistema construtivo e estrutural em aço, através do desenvolvimento de um módulo adequável a variadas tipologias de edificações. Para tanto, optou-se pela escolha de um edifício existente na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), denominado Edifício de Salas de Aulas Teóricas 7 (AT7), adaptando o sistema modular à demanda do espaço didático. Para tal abordagem, foi necessária a elaboração de soluções técnicas, de modo flexível e adaptável à concepção projetual inicial, contemplando não somente a geometria espacial em relação à sua estrutura, mas também considerando os sistemas de fechamentos laterais e verticais, instalações e logística, dentro da temática da industrialização da construção. Como resultado, foi elaborada uma modulação tecnicamente viável de ser executada, tanto do ponto de vista dimensional, quanto estrutural e de logística, e que pode ser aplicada ou adequada a várias situações de projeto, que optem por este partido construtivo e estrutural. Desse modo, a pesquisa apresenta caráter aplicativo, pois é motivada pela necessidade de se resolver problemas reais relativos à concepção projetual, fornecendo subsídios para fomentar escolhas técnicas relativas a sistemas industrializados, colaborando na divulgação do conceito de Industrialização no meio técnico.

Palavras chave: Sistema modular em aço. Industrialização da construção. Racionalização.

PENAZZI , M. E. *Guidance Development for Housing Design for Educational Purposes using the Steel Modular Building System*. San Carlos, 2015. Research (Master Dissertation), presented to the Post-Graduate Program in Civil Construction - Federal University of São Carlos - SP.

ABSTRACT

In the context of Construction, the constructive structural system is responsible for considerable parcel of the construction performance after its occupation. First, this research uses a theoretical boarding within a bibliographical revision about concepts of industrialized construction, approaching the current technician scene in Brazil, and confronting some of the main industrialized technologies available today in the segment of construction. Then, it is tried to demonstrated the technique viability of constructive and structural steel system through the development of a module that could be adjust to diferent archetypes of constructions. Such a way, it was opted to the choice of an existing building in the Federal University of São Carlos (UFSCar), called building of theoretical class rooms 7 (AT7), adapting its educational demand into a system modular in steel. For such boarding, the elaboration of solutions techniques, in a flexible and adaptable way to the initial projetual conception was necessary, contemplating not only space geometry in respect to its structure, but also considering closings systems, installations and logistic, inside industrialized construction thematic. As result, a viable technically modulation was elaborated, considering dimensional, structural and logistic points, so it could be applied or adjusted according to some situations of project, inside constructive and structural types boarded in this study. In this manner, the research presents practical character, therefore it is motivated by the necessity of approaching relative real problems to the projetual conception, supplying and fomenting techniques choices about industrialized systems, cooperating in the spreading of the concept of Industrialization in the technician scene.

Keywords: *Steel Modular System, Industrialization of construction, Rationalization.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do delineamento das fases do método de pesquisa	13
Figura 2 – Croqui percepção espacial.....	16
Figura 3 – Croqui insolação em edifício escolar modelo	17
Figura 4 – Croqui elementos de proteção à insolação	17
Figura 5 – Croqui ventilação cruzada em edifício escolar modelo	18
Figura 6 – Lei da evolução de custos	22
Figura 7 – Participação da mão de obra e materiais de construção no custo unitário de construções no Brasil.....	28
Figura 8 – Centro <i>Georges Pompidou</i> e Museu <i>Guggenheim</i> Bilbao	36
Figura 9 – Sistema de referência e reticulado modular	37
Figura 10 – Sistema desenvolvido por módulos.....	38
Figura 11 – Fachada e projeto do <i>Nagakin Capsule</i> : Edifício em módulos de concreto localizado em Tóquio	39
Figura 12 – Habitação com Sistema <i>Wood Frame</i> no município de Maringá - Paraná	41
Figura 13 – Esquema da estrutura e construção em andamento do sistema <i>Light Steel Frame</i>	41
Figura 14 – Loja grupo <i>Container</i> e fachada de casa feita em <i>containers</i> na cidade Curitiba, Brasil.....	43
Figura 15 – <i>Containers</i> utilizados na UFSCar Campus São Carlos	43
Figura 16 – Elementos pré-fabricados de concreto	44
Figura 17 – <i>Royal Northern College of Music</i> , em Manchester, composto por 900 módulos e núcleos de aço apoiados, e instalação de unidades modulares em <i>Murray Grove</i> , Hackney, Londres	45
Figura 18 – Construção mista (comercial e residencial) em Wilmslow Road, Manchester, com 1.400 módulos em estrutura de aço pódio composto, e projeto modular em <i>Lillie Road</i> , Fulham, em Londres	45
Figura 19 – Montagem dos módulos e edifício pronto.....	46
Figura 20 – Gruas empilhando os módulos na base do terreno.....	46
Figura 21 – Centro Integrados de Ensino - CIAC, São Carlos, SP. Sala de aulas e Ginásio poliesportivo	49
Figura 22 – Hospital Escola em São Carlos, SP: Corte e Implantação	49
Figura 23 – Planta baixa do edifício modelo	50
Figura 24 – Painel arquitetônico de fachada tipo de sanduíche	57
Figura 25 – Sistema de vedação vertical <i>Dry Wall</i> e alguns tipos de montantes	59
Figura 26 – Sistema de vedação vertical divisória tipo articulada	60
Figura 27 – Sistema tubos flexíveis de Polietileno Reticulado - PEX	64
Figura 28 – Perfis metálicos montados no local, utilizando conexões rápidas de conexão e fixação	65
Figura 29 – Guindastes móveis, sobre pneu e esteira.....	69
Figura 30 – Guindaste de torre (Grua).....	70
Figura 31 – Exemplo instalação de módulo pronto com os fechamentos	70
Figura 32 – Montagem da estrutura inclinada e montagem com cabos de comprimentos diferentes	72
Figura 33 – Carreta convencional, caminhão toco e tipo truck.....	72
Figura 34 – Perspectiva módulo: indicação dos componentes	76
Figura 35 – Planta estrutural do módulo	78

Figura 36 – Corte AA do módulo.....	79
Figura 37 – Corte BB do módulo	80
Figura 38 – Planta de piso com caixilhos	81
Figura 39 – Fachada 2: vedação com painéis	82
Figura 40 – Fachada 1: vedação caixilhos e painéis.....	83
Figura 41 – Planta estrutura do piso e painéis de vedação	84
Figura 42 – Planta de forro	85
Figura 43 – Corte AA: Forro	86
Figura 44 – Planta módulo com contraventamento: longitudinal.....	87
Figura 45 – Fachada contraventamento: longitudinal em “V”	88
Figura 46 – Planta módulo com contraventamento: lateral.....	89
Figura 47 – Fachada contraventamento: lateral em “X”	90
Figura 48 – Detalhes de fixação entre pilar metálico e piso.....	91
Figura 49 – Detalhes de fixação entre pilares metálicos utilizando abraçadeiras em ferro.....	92
Figura 50 – Detalhes de fixação entre pilar metálico e piso.....	92
Figura 51 – Localização do Edifício AT7 no mapa geral da área urbanizada, UFSCar Campus São Carlos.....	94
Figura 52 – Edifício AT7: Fachada Sul.....	95
Figura 53 – Edifício AT7: Fachada Norte	96
Figura 54 – Edifício de salas teóricas: Edifício AT7, Pav. Térreo.....	97
Figura 55 – Edifício de salas teóricas: Edifício AT7, Pav. Tipo	98
Figura 56 – Edifício AT7: infiltrações e fissuras	100
Figura 57 – Edifício AT7: Forro metálico tipo colmeia.....	100
Figura 58 - Planta com disposição dos módulos estruturais da edificação adaptada ao AT7	102
Figura 59 – Planta adaptada ao AT7 disposição espacial: Pav. Térreo, 1º Pav. e 2º Pav.	103
Figura 60 – Fachadas e vista área atendendo demanda e geometria do Edifício AT7	103
Figura 61 – Corte do edifício e alguns detalhes do sistema construtivo modular em aço.....	106
Figura 62 – Beiral da cobertura	107
Figura 63 – Detalhes das conexões do sistema construtivo modular em aço e alvenaria de embasamento	108
Figura 64 - Planta com a disposição dos módulos estruturais atendendo demanda maior que o AT7.....	109
Figura 65 - Planta demanda maior ao Edifício AT7 disposição espacial: Pav. Térreo, 1º Pav. e 2º Pav.....	110
Figura 66 – Vista fachada frontal dos módulos sobrepostos	111
Figura 67 – Vista fachada lateral dos módulos sobrepostos.....	111
Figura 68 - Planta com disposição dos módulos com geometria distinta ao Edifício AT7....	112
Figura 69 - Planta geometria distinta ao Edifício AT7 disposição espacial: Pav. Térreo, 1º Pav. e 2º Pav.	112
Figura 70 – Vista fachada frontal dos módulos sobrepostos	113
Figura 71 – Vista fachada lateral dos módulos sobrepostos.....	114
Figura 72 – Tipologia 01: Planta dos módulos sobrepostos	114
Figura 73 – Tipologia 01: Vista dos módulos sobrepostos	115
Figura 74 – Tipologia 01: Lateral dos módulos sobrepostos.....	115
Figura 75 – Tipologia 02: Planta dos módulos sobrepostos	116
Figura 76 – Tipologia 02: Vista dos módulos sobrepostos	116
Figura 77 – Tipologia 02: Lateral dos módulos sobrepostos.....	117
Figura 78 – Tipologia 02: Lateral dos módulos sobrepostos.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas brasileiras em vigor referentes ao sistema construtivo	19
Quadro 2 – Alguns métodos construtivos industrializados	47
Quadro 3 – Classificação e descrição das vedações verticais pré-fabricadas.....	54
Quadro 4 – Alguns tipos de vedações verticais externas existentes no mercado nacional	56
Quadro 5 – Alguns tipos de vedações verticais internas existentes no mercado nacional	58
Quadro 6 – Alguns tipos de vedações horizontais internas existentes no mercado nacional ...	61
Quadro 7 – Resumo da escolha dos sistemas construtivos.....	67
Quadro 8 – Aspectos para concepção de projeto modular em aço	74
Quadro 9 – Seções transversais adotadas	75
Quadro 10 – Seções utilizadas no módulo e respectivos pesos	76
Quadro 11 – Peso dos sistemas de fechamento	77
Quadro 12 – Disposição das salas de aula do Edifício AT7.....	95
Quadro 13 – Projeto modular para o Edifício AT7	101
Quadro 14 – Demanda maior que ao AT7.....	108
Quadro 15 – Geometria distinta do Edifício AT7	111

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	8
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	10
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	11
1.4 MÉTODO DE PESQUISA	11
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 ESPAÇO DIDÁTICO: DEMANDA E NECESSIDADES	15
2.1 A DIMENSÃO EDUCATIVA DO ESPAÇO	15
2.2 CONDIÇÕES DOS AMBIENTES: ELEMENTOS EXTERNOS E INTERNOS	16
2.3 DESEMPENHO E QUALIDADE: INSTRUMENTOS PARA PROJETO	18
2.4 PROCESSO DE PROJETO	20
3 CONSTRUÇÕES MODULARES	24
3.1 CONCEITO DE INDUSTRIALIZAÇÃO	24
3.1.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS	24
3.1.2 BREVE HISTÓRICO DA INDUSTRIALIZAÇÃO	25
3.1.3 INDUSTRIALIZAÇÃO DE CICLO FECHADO	26
3.1.4 INDUSTRIALIZAÇÃO DE CICLO ABERTO	26
3.1.5 APLICABILIDADE DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	27
3.1.6 INDUSTRIALIZAÇÃO E SUSTENTABILIDADE	30
3.2 PROCESSO CONSTRUTIVO	31
3.3 PADRONIZAÇÃO	32
3.4 COORDENAÇÃO MODULAR	32
3.4.2 SISTEMA DE REFERÊNCIA	34
3.4.3 O MÓDULO	35
3.4.4 EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO	35
3.5 SISTEMA MODULAR	36
3.6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS	40
3.6.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS	40
3.6.2 SITUAÇÃO DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA NO BRASIL	48

4 PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA CONSTRUÇÕES MODULARES	52
4.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS	52
4.2 FUNDAÇÃO	53
4.3 PAINÉIS DE VEDAÇÃO	54
4.3.1 VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA	55
4.3.2 VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA	57
4.3.3 VEDAÇÃO HORIZONTAL INTERNA	60
4.3.4 VEDAÇÃO HORIZONTAL EXTERNA	61
4.3.5 INSTALAÇÕES PREDIAIS	62
4.3.5.1 O ENFOQUE SISTÊMICO	62
4.3.5.2 A MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS INSTALAÇÕES	64
5 ESTUDO E CONCEPÇÃO DO SISTEMA MODULAR EM AÇO	67
5.2 LOGÍSTICA	68
5.2.1 TRANSPORTE VERTICAL	69
5.2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O IÇAMENTO DAS PEÇAS	71
5.2.3 TRANSPORTE HORIZONTAL (TERRESTRE)	72
5.3 DEFINIÇÃO MODULAR	73
5.4 ESTRUTURA	73
6 APLICAÇÕES DO SISTEMA MODULAR	93
6.1 PROJETO MODULAR PARA O EDIFÍCIO AT7	93
6.2 CASO HIPOTÉTICO 1: EDIFÍCIO AT7 E VARIAÇÕES	101
6.2.1 ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO DE AULAS TEÓRICAS 7 (AT7)	101
6.2.2 ADAPTABILIDADE CONSTRUTIVA	108
6.3 CASO HIPOTÉTICO 2: OUTRAS TIPOLOGIAS	114
7 CONCLUSÕES	119
REFERÊNCIAS	122

APÊNDICE

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e justificativa

Os sistemas construtivos e estruturais se apresentam sob diferentes configurações, dependendo das variáveis envolvidas no desenvolvimento do projeto, de modo que uma determinada solução, ou um conjunto delas, estabelece a adoção de uma composição específica de elementos que formarão um sistema.

Falhas na escolha do sistema construtivo e estrutural, de acordo com ABNT NBR 15575-1:2013, podem surgir pela ausência ou deficiência de critérios e diretrizes na etapa de elaboração de projeto, levando a especificações inadequadas e detalhamentos escassos, expondo o empreendimento a improvisações durante a execução, comprometendo sua eficiência, e conseqüentemente, impactando na qualidade final para o usuário, podendo ainda levar à redução da vida útil da edificação como um todo.

A atividade da construção de edifícios é fator de peso dentro da economia do País. De acordo com Medeiros e Melhado (2013), este ramo da Engenharia vivenciou grande evolução, observando questões além do planejamento e da eficiência de controle, como a análise de impactos sobre a vida útil da edificação, sua construtibilidade, sustentabilidade e usuário final, entre outros.

Neste aspecto, a integração entre projeto e as futuras etapas, no caso a construção e a operação, são de vital importância dentro da fase de elaboração projetual. Neste cenário, a retroalimentação surge como mecanismo de aprendizagem organizacional, figurando como peça fundamental para melhoria contínua dos projetos, agregando desse modo maior valor a toda a cadeia de setor.

Entende-se que a forma de pensar e elaborar o projeto também apresenta grande influência na obtenção da qualidade do edifício. Medeiros (2012) apresenta em sua pesquisa que as decisões na fase de projeto influenciam no ciclo de vida do empreendimento, auxiliando na geração de conhecimento entre todas as equipes, atendendo às expectativas do usuário final, o que representa o foco para a melhoria do desempenho dos projetos, diminuindo os processos ineficientes no setor da construção, aumentando por fim o valor agregado ao projeto, obra e operação.

Portanto, visando maior qualificação no uso e operação do edifício, deve ser prevista a incorporação de informações sobre durabilidade e manutenibilidade no processo de projeto,

facilitando desse modo a futura tratativa de problemas decorrentes do uso e desgaste naturais, que viriam influenciar negativamente o desempenho do empreendimento. Para isso, existem atualmente ferramentas que auxiliam desde a fase de concepção arquitetônica, passando pelos detalhes construtivos e até a quantificação rigorosa dos materiais e acabamentos, como a tecnologia BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem de Informação da Construção).

Tal como vem acontecendo em outros setores da construção civil, o processo de industrialização está alterando substancialmente a forma de se projetar e construir edifícios no Brasil. A arquitetura migra do processo artesanal para um processo industrializado, cujos elementos pré-fabricados são componentes de uma montagem sequencial. Como resultado, almeja-se melhor qualidade dimensional e menor desperdício de material e de tempo (ARQUITETURA & AÇO, 2003).

Diante desses preceitos, Greven e Baldauf (2007) destacam que para se levar à indústria da construção civil as mesmas vantagens presentes nos processos de outras indústrias, existe a necessidade da adoção de um sistema de medidas que ordene a construção desde a fabricação dos componentes, passando pelo projeto, chegando à execução da obra e, ainda, mais tarde, à manutenção. O sistema capaz de atingir esse objetivo é a Coordenação Modular.

Neste cenário, o aço é um material que apresenta grande versatilidade, em grande parte devido à sua alta maleabilidade, que permite a elaboração métrica de peças das mais variadas tipologias e dimensões, sendo considerado um material que se enquadra de forma engenhosa nos mais diversos cenários construtivos, como solução altamente tecnológica e precisa.

Exemplos de estudos abordando o tema proposto nesta pesquisa, como Caiado (2005), Rezende e Gouveia (2006), Lawson e Ogden (2008) e Van Der Laan et al. (2010), constataam a importância atual de trabalhos correlacionados a construções modulares, industrialização e racionalização no processo construtivo, com a utilização de estruturas metálicas, complementando e dando sequência aos estudos e materiais já existentes, dentro do fluxo de continuísmo inerente ao processo científico.

Com base no exposto, o presente trabalho optou pela abordagem dos sistemas construtivos e estruturais em aço, desenvolvendo uma modulação que possa ser usado de base para construção de edificações, que possam ser utilizadas ou aprofundadas, fornecendo resultados práticos e dados para futuras pesquisas dentro do mesmo cenário.

Analisando as vantagens da utilização dos perfis formados a frio, em relação às estruturas metálicas compostas de perfis soldados ou laminados, e às estruturas compostas por outros materiais, Freitas e Crasto (2006) apontam as principais vantagens: variação de seções

transversais, facilidade de obtenção, facilidade de produção em série e baixo custo de estoque, e facilidade de montagem.

No entanto, por se tratar de um sistema industrializado, a estrutura metálica demanda um maior planejamento e tempo de projeto, no qual os cuidados com a sua confecção, tolerâncias dimensionais e estudo de compatibilidade com os demais subsistemas, tornam-se importantes para a viabilidade tecnológica do sistema (CAIADO, 2005).

Dentro do contexto econômico existente hoje no Brasil, e diante dos notáveis avanços tecnológicos em todas as áreas do conhecimento, observa-se, que são muitas as iniciativas no sentido do desenvolvimento e implementação de novas tecnologias de processos construtivos dentro da construção civil.

Entende-se que o acréscimo e disponibilização de informações de caráter prático, dentro desta abordagem, venha a impactar positivamente no cenário da construção civil brasileira, produzindo subsídios para a promoção da melhoria e eficácia do processo de projeto. Ressalta-se assim a importância do desenvolvimento de pesquisas focadas no aprofundamento projetual teórico e prático de estruturas metálicas, considerados os enormes potenciais desta tipologia de sistema construtivo estrutural, diante do dinâmico cenário atual da construção civil no País.

Para a abordagem do estudo de caso, optou-se por uma edificação para fins didáticos, visto que se trata de uma área que em geral apresenta tendências à modulação, devido à repetibilidade de edifícios destinados ao mesmo tipo de uso, usuários e demandas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal desta pesquisa é contribuir na produção de conhecimento relativo a sistemas de construção industrializados, que fomenta discussões e aprofundamentos técnicos dentro da temática proposta, além fornecer subsídios projetuais para a estruturação licitatória de edificações escolares, através da proposta e desenvolvimento de um sistema construtivo e estrutural modular em aço, que possa ser adotado como parâmetro para concepção de edificações para fins didáticos. O trabalho também apresenta, como estudo de caso, o desenvolvimento de um sistema modular industrializado, atendendo à demanda prevista para o projeto de uma edificação existente, executada em sistemas tradicionais, como concreto pré-moldado e alvenaria.

1.2.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos da presente pesquisa:

- propor parâmetros para a adoção de sistema construtivo e estrutural modular em aço;
- executar relação métrica do sistema estrutural em aço com utilização da coordenação modular;
- elaborar soluções técnicas de modo flexível e adaptável à demanda arquitetônica e concepção do edifício;
- apresentar a viabilidade de adoção de um sistema construtivo e estrutural modular em aço em edifícios públicos como alternativa aos sistemas tradicionais;
- realizar o pré-dimensionamento estrutural dos módulos que compõem a estrutura modelo do Edifício AT7;
- demonstrar a adaptabilidade da modulação desenvolvida na pesquisa a outras configurações e modelos de edificações.

1.3 Limitações da pesquisa

Este trabalho apresenta as seguintes delimitações:

- o dimensionamento dos perfis dos módulos não contemplou a etapa de detalhamento, já que em um mesmo edifício, ainda que mantidas as modulações projetuais, os módulos apresentam diferentes configurações de acabamento, de acordo com seu posicionamento. No caso, o pré-dimensionamento considerou a combinação mais crítica de ações;
- não foram executados os cálculos estruturais relativos aos elementos de fundação, do mesmo modo que as questões orçamentárias também não foram levantadas, ficando tais premissas como possíveis vertentes para pesquisas dentro do tema aqui exposto.

1.4 Método de Pesquisa

O presente estudo baseou-se inicialmente na escolha do tema, no caso, construções modulares em aço. Embasou-se tal escolha na oportunidade de aprofundar e disseminar conhecimentos relativos a uma vertente atual, de alta tecnologia e grande potencial dentro do cenário de construção de edifícios. Dado o início, estabeleceu-se o problema básico de pesquisa: *estruturas metálicas modulares em aço são viáveis?*

Determinadas tais premissas pesquisísticas, foi realizado levantamento bibliográfico relativo ao tema, e definida a estrutura inicial de pesquisa, assim como o estudo de caso a ser desenvolvido.

Para a fundamentação teórico-metodológica do trabalho, foram utilizados meios bibliográficos, através de pesquisas relativas ao tema em material científico publicado em livros, teses, dissertações, artigos científicos, revistas, *sites da internet*.

Dentro deste levantamento bibliográfico, foi estudado a demanda do Edifício AT7, localizado na UFSCar Campus São Carlos. Paralelamente, com base no material levantado relativo aos sistemas construtivos industrializados disponíveis, e de comparações de suas características, foi escolhido o sistema estrutural construtivo modular em aço. Para o desenvolvimento da tipologia modelo, manteve-se as características dimensionais do edifício estudado, visto que o Edifício AT7 apresenta um projeto que foi replicado dentro da Universidade para uso de salas de aula, devido às suas características de disposição espacial atenderem às demandas a que se destinam edificações com fins didáticos. Nesta etapa, são apresentados parâmetros técnicos que embasaram as escolhas relativas à concepção e detalhamento do sistema estrutural adotado.

A opção foi por um edifício de salas de aula executado em concreto pré-fabricado protendido existente na UFSCar, de modo que nesta etapa foi feito seu projeto básico e respectiva pré-análise da concepção estrutural, considerando os principais subsistemas, e também disponibilizando informações relativas à logística de entrega das peças e montagem.

Com base neste material desenvolvido, definiu-se o módulo base da pesquisa, permitindo que pudesse ser projetado o sistema modular estrutural e respectiva pré-análise estrutural. Esta etapa incorporou conceitos da industrialização e racionalização construtiva, por meio de adoção de elementos estruturais e demais subsistemas enquadrados dentro desta temática, concebendo um projeto com desempenho mais eficiente, um melhor controle de qualidade e redução de desperdícios.

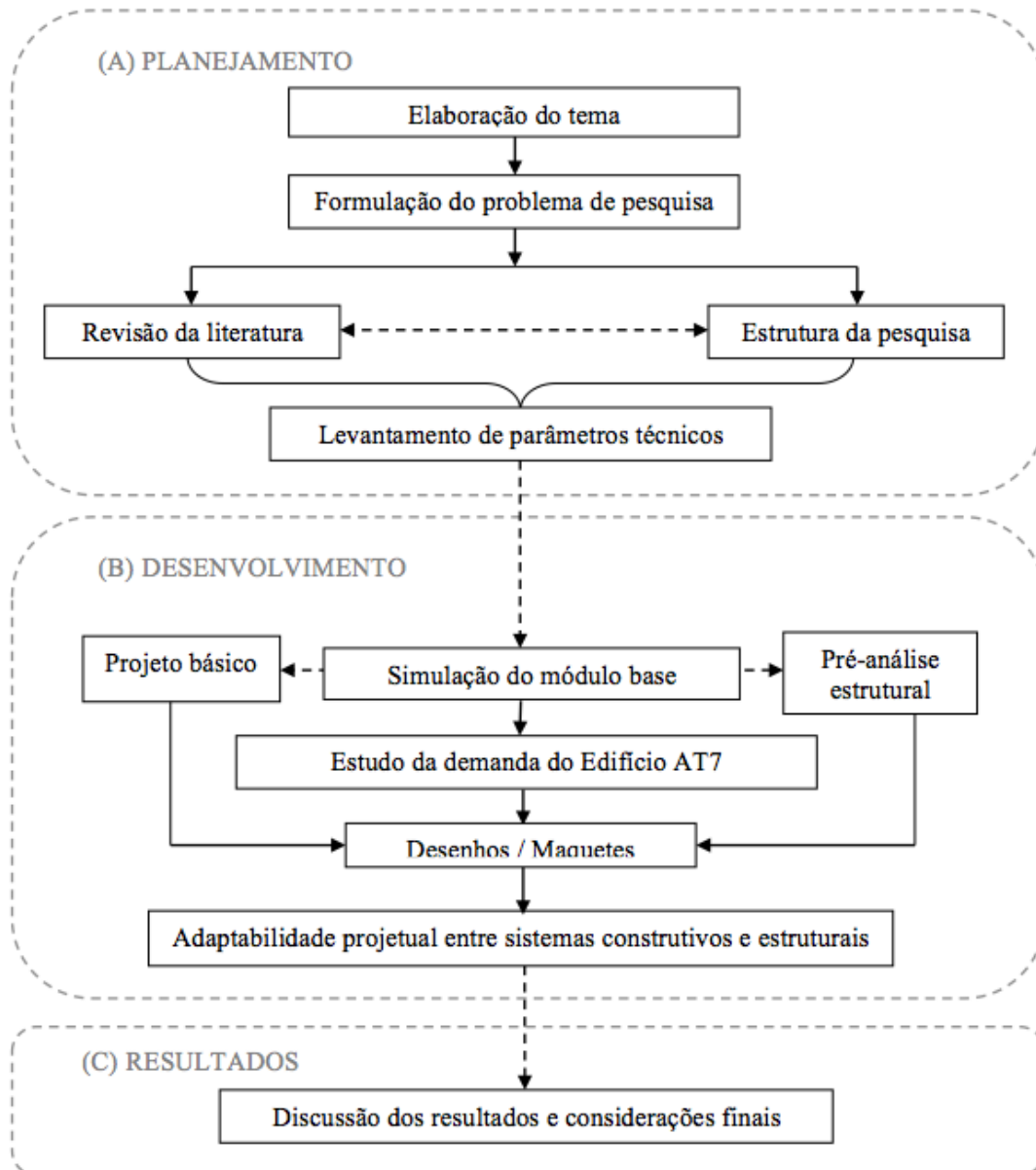
Dessa forma, a sistemática do projeto apresentado pode vir a subsidiar decisões técnicas em diversos tipos de empreendimentos, que optem pela adoção de conceitos construtivos industriais, independente da utilização que o edifício venha a apresentar, agregando novos conhecimentos e embasamento prático através da análise da utilização da edificação, buscando o atendimento das reais necessidades para atividades e adequando a realidade dos usos, frente às demandas e exigências dos usuários.

No desenvolvimento da pesquisa, foram utilizadas algumas ferramentas de trabalho. Para realizar a execução dos projetos e detalhes construtivos utilizou-se programa *AutoCAD*[®],

na elaboração das maquetes e finalização das imagens optou-se pelo *software SketchUp*[®], e para tabular as informações necessárias foi aplicado o *software Excel*[®].

A síntese da estrutura de pesquisa desenvolvida é apresentada no fluxograma do delineamento das fases do método de pesquisa na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do delineamento das fases do método de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Conforme o exposto, a pesquisa está compreendida em três fases distintas: (A) planejamento da pesquisa, (B) desenvolvimento e (C) resultados. Na terceira etapa, com a obtenção dos dados, foram realizadas as discussões e as considerações finais desta pesquisa, bem como as sugestões para estudos futuros.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em sete capítulos principais. A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte forma:

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO: apresenta de maneira geral o tema dissertado com base na revisão bibliográfica, procurando expor sua relevância. Segue com a justificativa do tema e a formulação da questão principal para o problema de pesquisa, e descreve os produtos secundários (objetivos específicos) a serem obtidos no desenvolvimento total do trabalho. Por fim, classifica e descreve o método de pesquisa, representando-o num fluxograma de atividades.

Capítulo 2 - ESPAÇO DIDÁTICO - DEMANDA E NECESSIDADES: descreve os conceitos gerais correlacionados ao projeto para edificações didáticas e feita uma revisão dos principais aspectos relacionados ao tema da pesquisa, encontrados nas Normas Técnicas Brasileiras referentes a requisitos e critérios de desempenho, entre outros aspectos.

Capítulo 3 - CONSTRUÇÕES MODULARES: abrange conceitos de industrialização e discute a importância do processo construtivo, compondo uma revisão da padronização, racionalização e coordenação modular.

Capítulo 4 - PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA CONSTRUÇÕES MODULARES: aborda a escolha da estrutura, e identifica como esta influi nas soluções adotadas para projetos modulares em aço. Apresenta a escolha dos sistemas construtivos, e aborda a questão das instalações para construções industrializadas.

Capítulo 5 – ESTUDO E CONCEPÇÃO DO SISTEMA MODULAR EM AÇO: apresenta as considerações sobre o estudo do edifício, abordando a escolha do sistema modular, aspectos da estrutura, e logística sobre transporte horizontal e vertical. É feita então a pré-análise estrutural, as considerações técnicas, e o desenvolvimento de projeto proposto (módulo).

Capítulo 6 – APLICAÇÕES DO SISTEMA MODULAR EM AÇO: visando aplicação da modulação proposta, é apresentando como estudo de caso a avaliação e adequação da demanda de edificações de salas de aula, com base no Edifício AT7. Complementarmente, são propostas outras tipologias arquitetônicas, demonstrando sua adaptabilidade construtiva.

Capítulo 7 - CONCLUSÕES: expõe os resultados sobre o estudo realizado, e respectivas considerações.

2 ESPAÇO DIDÁTICO: DEMANDA E NECESSIDADES

No contexto didático, a pesquisa apresenta levantamento bibliográfico relativo ao desenvolvido da dimensão do espaço educativo, com respectivos elementos externos e internos que interferem na edificação. Aborda também aspectos dos instrumentos utilizados como recursos de projeto, como as Normas Técnicas Brasileiras e a avaliação de desempenho com foco no espaço de ensino.

2.1 A dimensão educativa do espaço

As condições físicas do espaço didático, para Ribeiro (2004), devem compor um todo de forma coerente, pois é nele, e a partir dele, que se desenvolve a prática pedagógica de ensinar e aprender, de modo que ele pode constituir um espaço de possibilidades, pois tanto o ato de ensinar como o de aprender exigem condições propícias ao bem-estar docente e discente.

Desse modo, considerando-se a grande relevância do espaço didático para a vida do homem e a sua dimensão educativa, é possível afirmar que o desenvolvimento de parâmetros que subsidiem a escolha do sistema estrutural construtivo mais adequado ao escopo da edificação, recorte temático dessa pesquisa, adquire considerável importância. Pois, como afirma Wolff (1996), a arquitetura, mais do que abrigar variadas funções da atividade humana, é suporte de conteúdos simbólicos. Através de suas formas os edifícios caracterizam-se como símbolos destas mesmas funções. É por isso que ao longo da história aprendeu-se a decodificar a imagem da igreja, da mesquita, do prédio de correios, da agência bancária, do mercado e da escola, entre tantas outras tipologias arquitetônicas que se consolidaram paulatinamente.

De acordo com Ribeiro (2004), é conveniente ressaltar que não se trata de projetos audaciosos, mas simplesmente, de observar os princípios que abrangem múltiplos aspectos e conteúdos voltados para efetividade e a eficácia do processo docente-educativo, e dos fatores biológicos, físicos, psíquicos e sociais que incidem no crescimento, desenvolvimento e capacidade de trabalho de alunos e professores.

O mundo da educação está em constante mudança, como retrata a pesquisa de Deliberador (2010), ao afirmar que os espaços escolares apresentam dificuldades em acompanhar

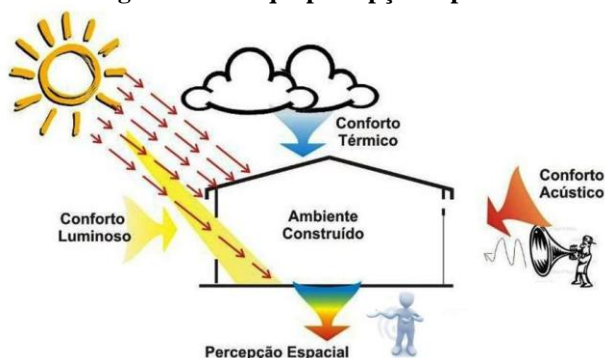
tal processo, sendo que no Brasil, poucos são os ambientes que tiveram sua natureza física influenciada por novos métodos de ensino. O mesmo autor afirma que muitas avaliações pós-ocupação em prédios escolares, divulgadas na literatura, apontam problemas, principalmente os relativos ao conforto ambiental e à funcionalidade que, em muitos casos, remetem a falhas de implantação e projeto.

2.2 Condições dos ambientes: elementos externos e internos

Importante aspecto a ser incorporado a qualquer pesquisa relativa ao estudo de ambientes, sejam internos ou externos, refere-se ao direito que o cidadão tem de ter acesso aos lugares, pessoas e às atividades humanas. Trata-se da possibilidade de interagir com o ambiente construído, portanto tem um sentido mais amplo, e não se limita às barreiras arquitetônicas. O acesso fácil ao edifício didático é condição básica e primordial para a inclusão, sobretudo para os alunos com necessidades especiais, assim como apresenta a Norma ABNT NBR 9050:2004.

Dentre os aspectos construtivos do espaço físico educativo, merecem destaque o conforto ambiental, conjunto de situações térmica, acústica, visual, segurança, entre outras, que propiciam sensação de bem-estar aos usuários do ambiente, no caso, alunos e professores em geral. A inobservância dessas condições, para Santos (1998), constitui a principal causa de sintomas diversos e desagradáveis, como a fadiga, desconcentração, desânimo, entre outros. Sob tal perspectiva, nota-se que para a análise da percepção espacial em relação ao ambiente construído, é primordial a observação destes parâmetros (Figura 2).

Figura 2 – Croqui percepção espacial



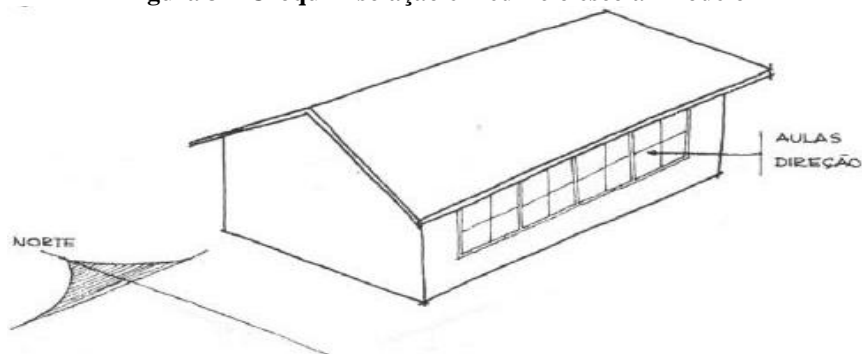
Fonte: Adaptado de Nascimento, 2009

Neste contexto, Rossiti (2010), comenta que nos últimos anos, com a crescente premissa para que ocorra a incorporação de características mais sustentáveis aos edifícios, é crescente o interesse quanto à tratativa adequada em relação ao condicionamento térmico, não apenas considerando a questão do conforto, mas também com vistas à eficiência energética.

Isso se deve em grande parte aos impactos decorrentes dos gastos de energias de um edifício que tenha em seu sistema equipamentos de climatização, sendo assim, o uso da ventilação cruzada, bem como o emprego de materiais de forma correta, produzem uma contribuição significativa para a redução deste consumo de energia.

Com a consideração destes aspectos, deve-se evitar, dentro do escopo arquitetônico e *layouts* disponíveis, que o sol incida diretamente nas salas de atividades que requerem permanência prolongada (Figura 3).

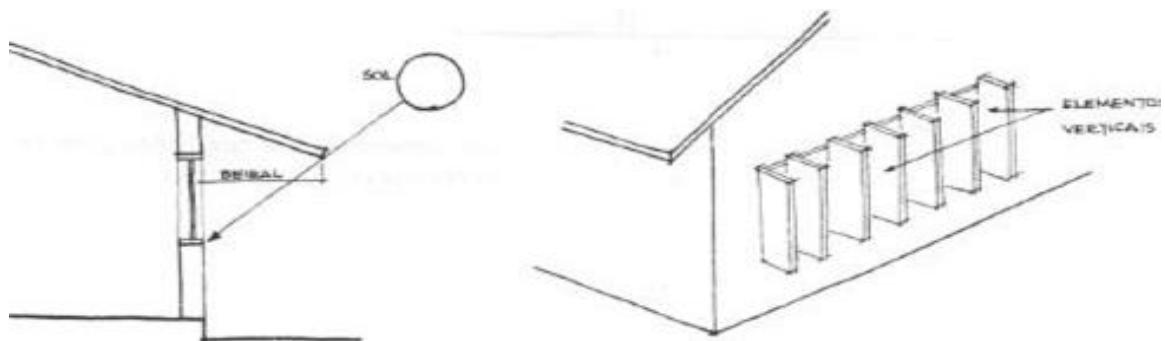
Figura 3 – Croqui insolação em edifício escolar modelo



Fonte: CARPE¹, 1983 citado por HENRIQUES, 2005

Sob mesma análise, quando o beiral não é suficiente, ou existe ausência do mesmo, se faz necessário, utilizar de proteções verticais ou horizontais (Figura 4).

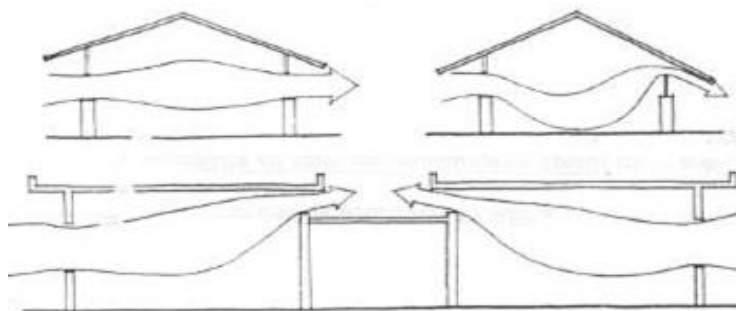
Figura 4 – Croqui elementos de proteção à insolação



Fonte: CARPE, 1983 citado por HENRIQUES, 2005

Já o dimensionamento das áreas de ventilação depende das condições climáticas locais, devendo ser, no mínimo, 60% das áreas de aberturas para iluminação (Figura 5).

¹ CARPE é a Comissão de Construção, Ampliação e Reconstrução dos Prédios Escolares, foi o órgão que coordenou a concepção e construção de escolas no estado de Minas Gerais por muito tempo e paralelamente, desenvolveu um completo material referente às diretrizes para projetos das mesmas (HENRIQUES, 2005).

Figura 5 – Croqui ventilação cruzada em edifício escolar modelo

Fonte: CARPE, 1983 citado por HENRIQUES, 2005

Ainda dentro do contexto do conforto ambiental, os projetos de construção dos edifícios didáticos devem contemplar estudos de possíveis ruídos que possam afetar a boa acústica do ambiente, para que ocorra a tratativa adequada, em geral com a previsão de barreiras que impeçam a passagem de tais ruídos, que poderiam vir a impactar negativamente nos desempenhos das funções previstas no espaço ocupado. Nesta questão, devem ser observadas características internas do ambiente, como forma, dimensões e absorção do som, e as características dos ruídos, quanto à sua intensidade, ao tipo, à duração e à qualidade.

2.3 Desempenho e qualidade: instrumentos para projeto

Conforme abordado no item anterior, entre as variáveis relativas à implantação de salas de aula, devem ser consideradas as questões ligadas ao conforto ambiental, que interferem diretamente no desempenho e qualidade da edificação. Sendo assim, por exemplo, a baixa qualidade do ar é um potencial fator desencadeador de doenças, que podem ausentar os alunos do local de ensino, prejudicando o desempenho de aprendizagem. Entre alguns efeitos da má qualidade do ar, podem ser citadas irritação nos olhos, infecções nas vias aéreas superiores, náusea, fadiga ou sonolência, dor de cabeça e vertigem. São sintomas definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), como Síndrome do Edifício Doente (SED), na língua inglesa classificado “*sick building syndrome*” pela Environmental Protection Agency².

Portanto, a etapa de projeto, considerando-se edifícios para fins didáticos, é componente importante no aumento da qualidade da edificação, pois está diretamente relacionado às características de sua utilização, que por sua vez determinarão o grau de satisfação dos usuários final, docentes e discentes.

² A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA ou às vezes, USEPA em inglês) é uma agência federal do governo dos Estados Unidos da América, encarregada de proteger a saúde humana e o meio ambiente: ar, água e terra. Fonte: <http://www.epa.gov/>. Acesso em outubro de 2013.

De forma análoga, para os autores Medeiros e Melhado (2013):

Grande parte das decisões tomadas na fase de concepção do projeto pode afetar o ciclo de vida do empreendimento até a fase de operação e manutenção. O projeto tem um papel importante como síntese do conhecimento gerado pela equipe, e a forma de transmissão desse conhecimento entre as etapas seguintes.

Neste contexto, devido à importância da etapa projeto, são consideradas no Quadro 1 as Normas Técnicas Brasileiras em vigor, na condição de instrumentos balizadores no desenvolvimento de projetos.

Quadro 1 – Normas brasileiras em vigor referentes ao sistema construtivo

IDENTIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
NBR 15873:2010	Coordenação modular da construção
NBR 15873:2010	Vãos modulares e seus fechamentos
NBR 15873:2010	Multimódulos
NBR 6492:1994	Representação de projetos de arquitetura
NBR 13531:1995	Elaboração de projetos de edifícios – atividades técnicas
NBR 13532:1995	Elaboração de projetos de arquitetura
NBR 9050:2005	Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos
NBR 8800:2008	Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
NBR 14762:2010	Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio
NBR 15575-1:2013	Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais
NBR 15575-2:2013	Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais

Fonte: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/lista-de-publicacoes/abnt>. Acesso em agosto de 2014.

Com relação às Normas Técnicas Brasileiras, estas servem de referência para os procedimentos a serem adotados para organização, dimensionamento e verificação dos espaços e sistemas projetados, apresentando critérios para as avaliações a serem realizadas na execução de projetos.

Resumidamente, como instrumentos para projeto, os requisitos e critérios de desempenho permitem avaliar se a edificação atende às necessidades fundamentais para qual foi projetada, sobretudo nos aspectos funcionais do edifício. E como objetivo secundário, mas

não menos importante, é possível avaliar a qualidade do edifício quanto à funcionalidade da circulação, acesso, iluminação, ventilação, dentre outros aspectos qualitativos. No quesito durabilidade, pode-se trabalhar a questão da manutenibilidade do edifício e qualidade dos materiais empregados, de modo a atenderem à vida útil prevista.

2.4 Processo de projeto

O processo de projeto é fator determinante na melhoria dos processos e produtos da construção civil. Silva (2012), aponta que, por se tratar de um processo envolvido ainda na concepção do produto, é através dele que muitas decisões podem ser tomadas e falhas podem ser evitadas com uma menor demanda de custos.

Portanto, o projeto tem o potencial de influenciar e definir as características físicas do produto edificação, desempenhando dessa forma, um papel de grande responsabilidade como otimizador dos processos de construção e como instrumento de aumento da satisfação dos usuários finais. No entanto, as deficiências no processo de projeto podem trazer sérias consequências para construção, chegando até mesmo a causar a inviabilidade do empreendimento, em casos mais críticos.

Silva (2012) explica que no contexto da busca da qualidade, o processo de projeto adquire importância fundamental, já que é nesta etapa do empreendimento que as decisões são tomadas e as restrições tecnológicas e de custos podem ser previstas.

As decisões e a disponibilidade de informação no momento certo e na quantidade suficiente, com qualidade em relação às necessidades do cliente, associada à gama de possibilidades de soluções e tecnologias disponíveis, levam à viabilidade da solução em relação a outras disciplinas de projeto, e são fatores decisivos para a produção de projetos de qualidade.

Desta forma, a adoção de um roteiro para desenvolvimento do projeto facilita as interfaces em todas as etapas de execução. Assim, as exigências de cliente e usuários se exprimem através do programa de necessidades (PN), permite definir metodicamente o objetivo do projeto³.

Corrêa (2006) aponta que é primordial superar as limitações naturais da formulação de um programa de necessidades meramente quantitativo, que forneça apenas uma relação aproximada entre a nomenclatura de um determinado ambiente e sua correspondente metragem quadrada, neste caso, com baixa carga descritiva e informacional. Para reduzir o nível de

³ Conteúdo extraído da fonte: <http://www.iab.org.br/sites/default/files/documentos/roteiro-arquitetonico.pdf>. Acesso em agosto de 2014. Roteiro para desenvolvimento do projeto de arquitetura da edificação. Instituto de Arquitetos do Brasil – IAB.

possíveis interpretações equivocadas do projeto em relação PN, é necessário um aprofundamento técnico na composição das informações a serem solicitadas ao usuário, e posteriormente, disponibilizadas ao projetista.

Atualmente, como ferramenta no âmbito da concepção de projetos escolares, encontra-se o portal FNDE⁴, que dispõe de metodologias de trabalho para a construção de escolas, oferecendo suporte técnico e operacional ao planejamento da rede física e da unidade escolar, até mesmo com projetos executivos, detalhamentos construtivos, memoriais e planos de trabalho. Desta maneira, fomenta tecnicamente a forma de se projetar e construir no país.

Neste âmbito, a presente dissertação propõe-se a disponibilizar subsídios técnicos através de discussões de projeto, abordando aspectos industrializados de sistemas construtivos relativos a uma edificação existente. Portanto, este trabalho define com a experimentação e simulação da tipologia modelo, uma ferramenta técnica para levantamento de variáveis relativas ao desenvolvimento de projeto.

Outro aspecto relevante, é a elaboração dos projetos, de modo que uma edificação de qualidade inicia-se pela execução do projeto com qualidade. Para Teixeira (2007), a etapa de projetos deve ser explorada como ponto estratégico para otimizar a construção.

O mesmo autor define que para atingir os altos níveis de exigência do mercado, pensando na qualidade e produtividade, a adoção de construção metálica apresenta uma solução interessante devido à industrialização da estrutura. Portanto, esta tipologia possui capacidades inerentes como rapidez construtiva, leveza, maior espaço útil e menor desperdício, a despeito do aparente custo mais elevado da estrutura.

Face ao exposto, para Melhado (1994), tanto a indústria seriada como a indústria da Construção Civil Brasileira estão em busca da eficiência produtiva, visando à qualidade de seus produtos, além de uma melhor adaptação às alterações que ocorrem em seus mercados. Dentro deste contexto, também ocorre a busca por processos construtivos inovadores.

Inserido na melhoria da qualidade de edificações, o processo de projeto deve ter sua importância reconhecida. Para que isso aconteça, todo conjunto de projetos elaborados deve propiciar a satisfação de necessidades do empreendimento e da edificação, subsidiando as demais etapas do processo de produção, com soluções e especificações técnicas que permitam a obtenção de melhores níveis de produtividade nos processos, e de qualidade nos produtos.

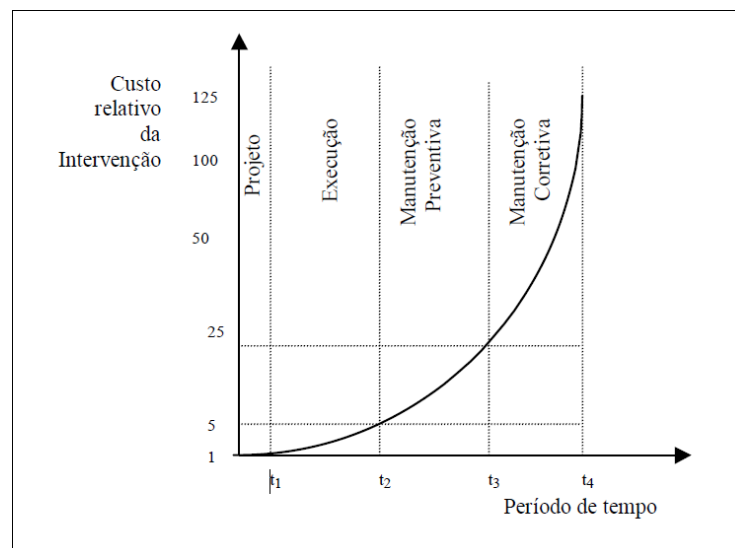
Picchi (1993) considera que a qualidade do projeto é o componente mais importante

⁴ O portal disponibiliza projetos arquitetônicos para construção, assim como cartilha técnica e outros relatórios. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/programas/par/par-projetos-arquitetonicos-para-construcao?highlight=YToxOntpOjA7czo3OiJwcm9qZXRvIjt9>. Acesso em julho de 2014.

do empreendimento, pois está diretamente relacionado às características do produto, que por sua vez determinarão o grau de satisfação dos usuários final. Com isso, percebe-se que o projeto tem participação fundamental no sucesso do empreendimento realizado pela empresa que se caracteriza pela satisfação dos clientes e usuários.

Oliveira (2007) comenta que existe uma grande parcela de perda causada por aspectos relacionados ao projeto. Como exemplo temos as modificações no transcorrer do processo construtivo, falta de consulta e cumprimento às especificações e detalhamento do projeto, assim como a falta de comunicação entre os diferentes projetos. Uma quantificação simbólica foi desenvolvida por Marca e McGowan (1988), citado por Oliveira (2007), na qual é apontada que uma alta percentagem de erros ocorre durante uma análise ou projeto, cujo custo em tempo e dinheiro para identificar e corrigir aumenta à medida do seu desenvolvimento, portanto, na fase de concepção se gasta duas vezes menos que na do projeto, dez vezes mais para se corrigir na fase de testes, e cem vezes mais durante a operação e manutenção. Sitter (1984) citado por SALES (2012) apresenta graficamente (Figura 6) o impacto financeiro de intervenções em momentos posteriores ao projeto.

Figura 6 – Lei da evolução de custos



Fonte: SITTER (1984) citado por SALES (2012)

Assim, o projeto deve ser entregue de forma clara para execução da construção, não apenas para garantir sua perfeita executabilidade, mas também para que forneça subsídios para eventuais alterações que venham a ser solicitadas ou necessárias, contemplando sua adequada compatibilização frente a todos os projetos que compõem seu escopo.

O sucesso de um projeto pode ser determinado pela habilidade da equipe das diversas áreas envolvidas em gerenciar as inevitáveis mudanças que ocorrem ao longo do projeto.

Por tanto, para uma gestão com mudanças eficaz, é essencial compreender todo o processo de projeto (SUN e MENG, 2009).

Desse modo, destaca-se a responsabilidade dos profissionais de engenharia e arquitetura e sua contribuição no processo de projeto, trabalhando na proposição de soluções que se relacionem aos grandes avanços tecnológicos e às constantes mudanças globais, sociais e econômicas, que vêm influenciando diretamente a construção civil, aumentando a complexidade e a exigência quanto à qualidade final dos edifícios em geral, não sendo diferente quando tratamos de edifícios escolares.

3 CONSTRUÇÕES MODULARES

O tema da pesquisa está inserido dentro da indústria da construção civil, e seu processo está conectado à indústria seriada. Desse modo, para melhor entendimento, faz-se necessário um estudo direcionado aos principais elementos que compõem o sistema industrial. Caracterizando tais premissas, este capítulo enfoca inicialmente aspectos gerais da industrialização e os respectivos processos construtivos. Na sequência, são descritos os principais recursos ou ações a serem aplicados visando à racionalização do processo de projeto, e a construtibilidade. Pensar no planejamento de todas as etapas do processo, e no uso da coordenação modular, considerando também a associação de estruturas industrializadas dentro de sistemas complementares compatíveis. Desse modo, a utilização de um sistema de coordenação modular é uma das bases para a normalização de componentes construtivos, industrialização de sua produção e execução de edifícios de forma racionalizada.

3.1 Conceito de industrialização

3.1.1 Sistemas construtivos industrializados

A industrialização está relacionada com a história da mecanização. Analisando várias pesquisas, verifica-se a evolução de ferramentas e máquinas para obtenção de produtos, de modo que as atividades exercidas pelo homem foram gradualmente sendo substituídas por máquinas, e os processos produtivos começaram a ser automatizados.

Neste sentido, segundo o Instituto da Construção Eduardo Torroja Ciência (IETCC)⁵, o conceito de industrialização pode ser entendido como um processo que emprega de forma racional e mecanizada, materiais, meios de transporte, métodos e técnicas construtivas, para se conseguir uma maior produtividade com menor índice de perdas na obtenção de determinado produto.

Neste contexto, pode-se afirmar que um sistema construtivo é denominado industrializado quando há automação dos sistemas construtivos pré-fabricados, estando os mesmos intimamente ligados ao planejamento e controle de planos e processos: de produção,

⁵ Conceito extraído da fonte: <http://www.ietcc.csic.es/index.php/en/>. Acesso em setembro de 2013.

transporte e montagem; aos métodos de inspeção e controle de todos os processos envolvidos (desde as fases de planejamento, projeto do produto e da produção, fabricação, transporte e montagem); e também, ao desenvolvimento e avaliações técnicas de produtos inovadores⁶ para a composição dos sistemas construtivos industrializados.

3.1.2 Breve histórico da industrialização

O surgimento da construção industrializada ocorreu com a necessidade de alguns países reconstruírem rapidamente suas edificações que foram aniquiladas pelas guerras. Foram criados sistemas e equipamentos que permitissem a reconstrução no menor espaço de tempo (MAMEDE, 2001).

É neste cenário do pós-guerra, que se destaca o desenvolvimento mais intensivo da pré-fabricação fomentada pela demanda de processos de racionalização construtiva.

A história da industrialização na construção identifica-se, num primeiro tempo, com a história da mecanização, isto é, com a evolução das ferramentas e máquinas para a produção na construção civil.

A industrialização da construção civil, através da utilização de elementos pré-fabricados, promoveu um salto de qualidade nos canteiros de obras, pois com o uso de componentes industrializados com alto controle ao longo de sua produção, materiais de boa qualidade, fornecedores selecionados e mão de obra treinada e qualificada, as obras tornaram-se mais organizadas e seguras.

Greven e Baldauf (2007), afirmam que os sistemas construtivos industrializados vêm assumindo crescente parcela no âmbito da Construção Civil moderna, devido à necessidade de menor tempo de construção, menores despesas e elevada produtividade. Desse modo, os canteiros de obra vêm se transformando, na verdade, em locais de montagem dos sistemas, e isso apresenta a vantagem de diminuir ou eliminar os improvisos, com respectiva queda no desperdício.

Além disso, a Construção Industrializada reduz o impacto ambiental durante a execução das edificações, e com a utilização de estruturas pré-fabricadas, racionaliza todo o processo construtivo, uma vez que os componentes não ficam no canteiro, chegando apenas no momento da montagem, o que evita o estoque de peças e a ociosidade. Isso surge como alter-

⁶ O conceito de produtos inovadores adotado neste trabalho consiste em modificações nos atributos do produto, com mudança na forma como ele é percebido pelos consumidores. Inovação no processo, trata de mudanças no processo de produção do produto ou serviço.

nativa para contornar a falta de mão de obra no setor da Construção Civil, que tem ocorrido desde o recente crescimento do mercado imobiliário. Outro aspecto importante, que vale ressaltar, diz respeito à alta qualificação necessária da mão de obra a ser utilizada (BRUMATTI, 2008).

A pesquisa de Franco e Agopyan (1993), aborda a industrialização da construção como um processo evolutivo que, através de ações organizacionais, e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho, técnicos de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção, além de aprimorar o desempenho da atividade construtiva.

Inserido neste conceito, hoje o Brasil vem apresentando no setor da Construção Civil Industrializada relativo avançado, de modo que seu mercado possui um número crescente de empresas que já utilizam em suas linhas de produção processos construtivos industrializados.

3.1.3 Industrialização de ciclo fechado

Deste modo, conforme Serra et al. (2005), no período pós-guerra, os edifícios, principalmente os residenciais, passaram a ser subdivididos em grandes elementos, em geral, painéis-parede, que eram fabricados em usinas fixas ou móveis ao pé do canteiro e montados por guias, com equipes reduzidas de operários. Assim sendo, este método de construção passou a ser chamado de Industrialização de Ciclo Fechado.

Segundo Ferreira (2003), os sistemas pré-fabricados de ciclo fechado representaram a tecnologia dominante na ocasião, onde se procurou aplicar na construção civil os mesmos conceitos adotados em outros setores da indústria, buscando-se a produção em série com alto índice de repetição dos elementos, como os pré-moldados.

O grande problema da Industrialização Fechada de grande série, é que os sistemas mais difundidos são extremamente limitados do ponto de vista inventivo, e mal orientados do ponto de vista cultural, porque procuram a solução do problema exclusivamente no âmbito tecnológico de suas próprias experiências e não de um ponto de vista global (PIGOZZO et al., 2005).

3.1.4 Industrialização de ciclo aberto

Segundo Rodrigues (2009), o princípio de industrialização de ciclo aberto é produzir elementos construtivos polivalentes, isto é, com possibilidade de serem utilizados na construção de organismos arquitetônicos de tipos, categorias e portes diversos.

Pigozzo et al. (2005), comentam que os elementos assim produzidos poderão ser combinados entre si numa grande variedade de modos, gerando os mais diversos edifícios, e satisfazendo uma larga escala de exigências funcionais e estéticas. É preciso, porém, que os componentes feitos de diversos materiais possuam as características básicas de um sistema aberto, ou seja, devem ser:

- substituíveis por outros de diferentes origens;
- intercambiáveis para que possam assumir diferentes posições dentro de uma mesma obra;
- combináveis para formarem conjuntos maiores (aditividade de termos);
- permutáveis por uma peça maior ou por um número de peças menores.

Para Pereira (2012), a tendência de industrialização de ciclo aberto, e a política de produção de componentes, deram margem ao aparecimento, no final da década de 1980 e início dos anos 1990, daquilo que se convencionou chamar na Europa de a "segunda geração tecnológica" no campo da industrialização da construção. Os sistemas construtivos de ciclo aberto, ou seja, aqueles constituídos em suas partes fundamentais pelo emprego de elementos pré-fabricados de várias procedências, passaram a ser a marca desta segunda geração.

Pigozzo et al. (2005), comentam que costumam ser características definidoras dos sistemas abertos de pré-fabricação:

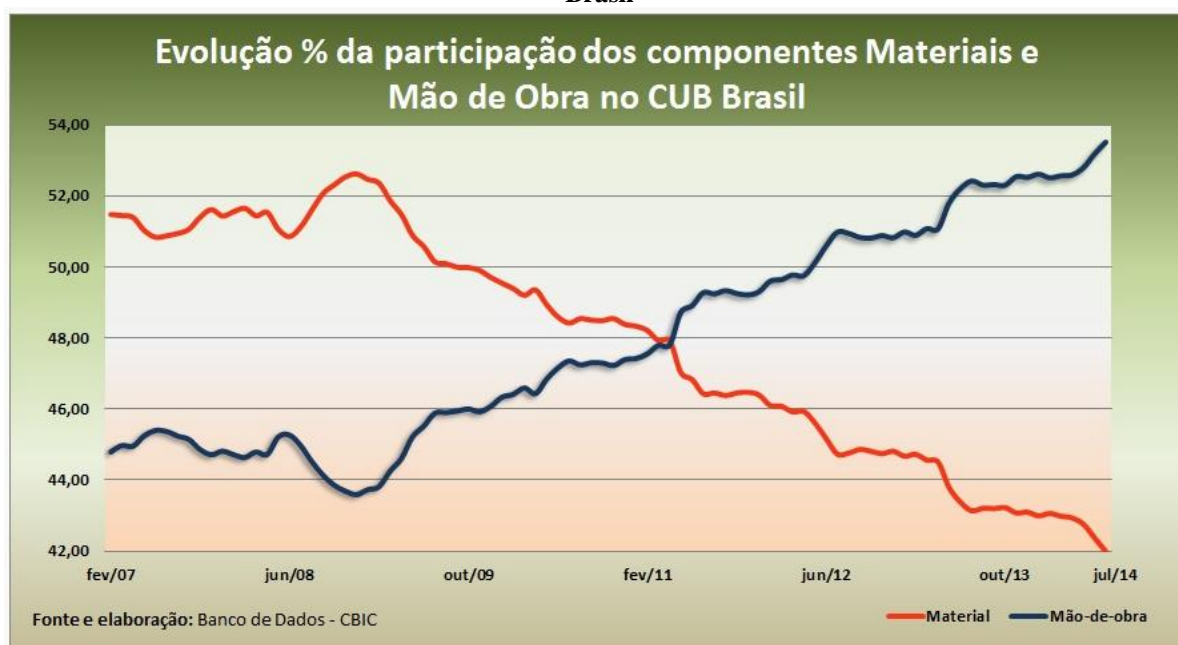
- a coordenação dimensional que possibilite unir o maior número de elementos e produtos de distintas procedências;
- o catálogo de elementos padronizados, que permita ao usuário uma informação exaustiva sobre o produto, de modo a facilitar o seu emprego;
- o raio de ação tanto maior quanto mais específicos sejam os elementos pré-fabricados;
- a montagem dos componentes pré-fabricados por terceiros, já que os fabricantes preferem se responsabilizar, sobretudo, pelo bom comportamento de seus produtos;
- a possibilidade de manter elementos de catálogo em estoque, especialmente se ocupam pouco volume.

3.1.5 Aplicabilidade da construção industrializada

Com a crescente necessidade de suprir o déficit habitacional brasileiro, novos sistemas construtivos surgiram no cenário nacional, como alternativas aos produtos e processos tradicionais até então utilizados, visando principalmente à racionalização e à industrialização da construção.

Somado ao aquecimento do mercado de construção civil nos últimos anos, o custo da mão de obra tem se tornado mais representativo dentro das composições globais de custos da construção civil. Dados apresentados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2014)⁷ mostram a evolução do custo unitário básico da mão de obra em relação ao material de construção, ocorrendo praticamente a inversão de valores no intervalo apontado (Figura 7). Esse fator, unido à alta demanda de soluções inovadoras e grande cobrança por qualidade e desempenho nas edificações, faz com que a industrialização da construção ganhe força e se torne uma alternativa viável para construtoras e incorporadoras.

Figura 7 – Participação da mão de obra e materiais de construção no custo unitário de construções no Brasil



Fonte: Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2014)

De acordo com Hui e Or (2005), a pré-fabricação bem planejada pode ajudar a reduzir o tempo de construção e os custos. Ao adotar a fabricação fora do local da obra e a pré-montagem, é possível melhorar a eficiência e o desempenho ambiental, garantindo a qualidade dos componentes e a segurança construtiva.

Segundo Glass (2000), a ideia de se conceber módulos de espaços completos unidos na fábrica que configurem cômodos é denominada construção volumétrica. Algumas tipologias têm adotado de forma crescente este tipo de sistema, como edifícios, hotéis, escolas, motéis, alojamentos estudantis e prisões.

No Brasil, as mudanças sócio-econômicas foram mais significativas a partir do final

⁷ Conceito extraído da fonte: <http://www.cbicdados.com.br/menu/custo-da-construcao/cub-medio-brasil-custo-unitario-basico-de-construcao-por-m2> - Acesso em setembro de 2014.

da década de 80, e segundo Aro e Amorim (2004), tais mudanças fizeram a indústria da construção civil questionar seu atraso tecnológico e seu modo de agir e pensar no processo de produção.

O país vivenciou a abertura do mercado da construção civil com a importação de novos produtos e tecnologias pelas empresas construtoras, fato que, para Francklin e Amaral (2008), contribuiu para a evolução do setor. Considerando-se ainda, a estabilidade econômica do primeiro período do plano real, e a elevação do custo da mão de obra, este conjunto de fatores incentivou as construtoras a considerar a tecnologia como ferramenta de competitividade. Nesse período, diversas empresas construtoras investiram na modernização dos meios de produção, observando-se assim, a crescente industrialização nos canteiros.

No âmbito da sustentabilidade, observa-se atualmente o processo industrializado na Construção Civil denominado *construção seca*, no qual a execução no canteiro de obra pouco ou quase nada utiliza de água, desta condição originando-se sua designação. Associa-se a este processo também o fato do canteiro ser mais limpo, com ausência da sujeira característica dos processos tradicionais, com muito barro, argamassa e entulho.

O princípio da construção seca é utilizado como referência ao PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do HABITAT)⁸, devido à introdução da nova filosofia de produção na construção, o que possibilita a geração de melhorias da produção das obras.

Para Din (2012) a construção a seco, sendo um sistema construtivo altamente industrializado e racional, vem conquistando espaço no mercado da Construção Civil Brasileira. O autor indica que tal sistema é amplamente utilizado em países como EUA, Japão, Canadá, Argentina, Chile e continente Europeu, devido às diversas vantagens inerentes ao seu processo.

Neste contexto, Din (2012) argumenta para que o mercado da Construção Civil continue crescendo acima do PIB (Produto Interno Bruto), que segundo estimativa do governo será de cerca de 4% este ano (base: 2014), é preciso promover a industrialização da construção, sua padronização e a coordenação modular de materiais para que as obras sejam mais rápidas e eficientes. Por esta razão, o sistema de construção a seco proporciona mais leveza para as edificações, menos desperdício, reduzindo sensivelmente o tempo de execução da obra.

⁸ A sua meta é organizar o setor da Construção Civil em torno de duas questões principais: a melhoria da qualidade do habitate a modernização produtiva. Fonte: http://www4.cidades.gov.br/pbqp-h/pbqp_apresentacao.php. Acesso em janeiro de 2014.

Sendo assim, construções industrializadas podem garantir o melhor funcionamento e operação de edificações, uma vez que estes sistemas são considerados quando da concepção dos projetos de fabricação, e elaborados em série, seguindo detalhadamente uma concepção focada na qualidade de uso e operação do edifício.

3.1.6 Industrialização e Sustentabilidade

Para Moraes e Lima (2009), a industrialização de um produto é a aplicação de um conjunto de práticas durante a produção que visam obter a maximização da produtividade com menor custo e em menor tempo. Essas práticas incluem a produção em escala do produto, juntamente com a inclusão de máquinas para a execução de várias etapas. Portanto, para Cardoso (2007), citado por Moraes e Lima (2009), essa maior eficácia da produção é necessária em uma sociedade com desenvolvimento acelerado.

Para obter uma prática sustentável, é necessária a implantação de uma gestão baseada em princípios que respeitem posturas sociais, políticas, éticas e ambientais, além, obviamente, das questões técnicas inerentes.

Dentro do conceito das boas práticas, Moraes e Lima (2009), descrevem que o surgimento da industrialização levantou diversas questões a respeito da sustentabilidade dos processos industrializados, já que o forte crescimento das indústrias impactou severamente no meio ambiente em geral.

Dessa forma, na Construção Civil, uma das grandes críticas referentes à sustentabilidade está relacionada à crescente produção de lixo sólido que é gerado, e a sua disposição inadequada, somado ao forte consumo de energia elétrica e as emissões gasosas lançadas na atmosfera.

No mesmo âmbito da discussão, a industrialização dos processos construtivos trabalha a fundo a questão da sustentabilidade, já que, devido às peças modulares utilizadas em inúmeros Sistemas Construtivos Industrializados serem fabricadas fora do canteiro de obras, centralizando os processos, que por isso se tornam mais racionalizados, acabam por gerar um menor volume de resíduos e consomem, conseqüentemente, menor quantidade de energia (MORAES e LIMA, 2009).

Face ao exposto, nota-se que a industrialização e a sustentabilidade possuem forte interface, desde que as práticas desenvolvidas visem sempre minimizar os impactos ao meio ambiente, sem impactar negativamente em sua produtividade.

3.2 Processo construtivo

Para Mamede (2001), o processo do sistema construtivo na industrialização apresenta caráter repetitivo, bem representado pelos pré-fabricados, que reduzem os desperdícios e refletem diretamente na produtividade da mão de obra. No entanto, antes de se tornarem muito repetitivas, os procedimentos e os processos devem ser altamente coerentes, para eliminar o risco de se reproduzirem em larga escala também os eventuais desvios.

O grande diferencial dos sistemas construtivos industrializados está na padronização, racionalização dos materiais e otimização da mão de obra, pois o sistema utiliza equipamentos e dispositivos para pré-fabricação precedidos da montagem dos elementos estruturais básicos da construção, como paredes, coberturas e lajes (MAMEDE, 2001).

O autor complementa afirmando que a partir daí, foram criados processos de pré-fabricação dos elementos das obras, e desenvolvidos equipamentos para executar a montagem desses elementos para formarem as edificações. Objetivando, desse modo, um sistema que possa construir edifícios no menor espaço de tempo, com custos reduzidos, e oferecendo os benefícios da padronização, qualidades e racionalização.

Para Brito (2006), as melhorias nos processos de racionalização da construção vêm sendo impulsionadas pela constante competitividade entre as empresas e a necessidade de redução de custos e aumento da rapidez de execução de suas etapas.

O conceito tecnológico, neste caso, está relacionado ao grau de racionalização e industrialização de produtos ou etapas de trabalho do processo construtivo nos canteiros das obras. Os produtos pré-fabricados, embora possuidores de um custo de aquisição maior que outros componentes artesanais, passam a destacar-se diante destes, sendo cada vez mais empregados pelas construtoras devido às vantagens executivas. Isso porque a mecanização necessária para a implementação de elementos produzidos em fábrica, previamente gera redução da mão de obra e maior rapidez na construção, assim como, uma maior limpeza dos canteiros, diminuindo retrabalhos e custos finais. A tendência passa a ser a transformação do canteiro de obras em “canteiro de montagem” (BRITO, 2006).

A cada dia surgem novos produtos pré-fabricados ditos inovadores, sendo aqueles que apresentam uma grande variedade de soluções criadas para otimizar processos, reduzir custos ou melhorar a qualidade dos projetos de edificações e de infraestrutura, para atender à crescente demanda de industrialização no canteiro de obra, o que pode ser positivo sob os aspectos de racionalização de edificações, desde que os mesmos se enquadrem qualitativamente aos parâmetros esperados de desempenho do sistema ao qual será incorporado.

3.3 Padronização

A padronização está inserida no processo da industrialização, devido à alta produtividade, e à execução em larga escala, pertinentes aos processos industriais. A padronização possui também, um impacto benéfico em uma série de componentes idênticos, resultando em uma grande redução de trabalho por unidade produzida, e, conseqüentemente, em seu custo unitário produtivo.

Destarte, os produtores dos sistemas construtivos industrializados têm desenvolvido manuais com rotinas de projeto, que auxiliam os projetistas a elaborarem e organizarem seus produtos, de forma que a padronização de sistemas construtivos, componentes, ligações e outros elementos, não significa apenas a industrialização da produção, mas a repetição de tarefas que implique em evitar erros e experiências negativas (SERRA et al., 2005).

Para Caiado (2005), a padronização deve ser vista dentro das organizações de uma única forma, ou seja, como algo que trará benefícios a todos agentes envolvidos, desde diretoria, gerentes, executantes, fornecedores e, em especial, aos clientes ou usuários.

Desta forma, uma empresa é um sistema composto de partes, que são os seus subsistemas, tais como logística, produção, vendas, *marketing* e finanças. Nestas circunstâncias, o processo de padronização se integra aos demais subsistemas da empresa, subsidiando-os e coordenando-se com os mesmos, com base no enfoque sistêmico⁹ (CAIADO, 2005).

Portanto, a padronização pode ser entendida como um importante requisito para obtenção de programas de qualidade, de modo que sua contribuição reduza a variabilidade do processo de produção, refletindo em produtos uniformes, atendendo aos requisitos dos clientes e usuários.

3.4 Coordenação modular

Coordenação modular é o sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base no módulo pré-determinado, compatibiliza e organiza a aplicação racional de técnicas construtivas, e o uso de componentes padronizados em projeto e obras. Neste contexto, os autores Greven e Baldauf (2007) concluem que a coordenação modular tem como objetivo racionalizar a construção, do projeto à execução.

Assim, é necessário haver um sistema capaz de ordenar a construção desde o projeto

⁹ Enfoque sistemática é a capacidade de identificar as ligações de fatos particulares do sistema como um todo. Segundo Martinelli (2006, p. 3) a abordagem sistêmica foi desenvolvida a partir da necessidade de explicações complexas exigidas pela ciência. (Martinelli, Dant P. et al. Visão Sistêmica e Administração. São Paulo: Saraiva, 2006).

e fabricação dos componentes até a execução da obra, visando a intercambialidade entre os componentes.

Neste trabalho, é proposto um sistema construtivo modular em aço para ser utilizado em edifícios didáticos, que por sua vez, seguem uma modulação de montagem. Assim as dimensões dos elementos devem estar coordenadas modularmente com a forma e função da edificação.

Desse modo, as vantagens obtidas através da coordenação modular são várias, dentre as quais citadas pela ABDI (2010)¹⁰:

- simplificação da elaboração de projeto;
- otimização das dimensões com redução do número de formatos dos componentes da construção;
- diminuição de problemas de interface entre componentes e subsistemas;
- padronização de detalhes e precisão dimensional;
- racionalização e simplificação na execução da obra com a facilidade da montagem;
- redução de quebra dos materiais e, conseqüentemente, das perdas.

3.4.1 Levantamento histórico

De acordo com Greven e Baldauf (2007), em seu levantamento histórico, aponta-se que todos os trabalhos levantados possuíam suas especificações conforme seu país, apresentando caráter nacionalista. Sentiu-se então a necessidade de uma padronização internacional e, em 1953, a *International Standard Organization (ISO)*¹¹ forma uma comissão com objetivo de alcançar esta padronização. Também nesta época, a Agência Européia de Produtividade (AEP)¹² organizou um plano especial para o estudo da coordenação modular de caráter internacional.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, elaborou, por volta de 1950, a Norma Brasileira da Coordenação Modular da Construção (NBR 5706), conhecida como NB-25.

¹⁰ Agência de Desenvolvimento Industrial (ABDI), apresenta o relatório de avaliação dos esforços para implementação da **Coordenação Modular no Brasil**. Realizada pela Fundação Euclides da Cunha (FEC), 2010.

¹¹ ISO (International Organization for Standardization) é uma organização de membros não governamental independente e maior desenvolvedora mundial de normas internacionais voluntárias. Extraído da fonte: <http://www.iso.org/iso/home/about.htm>. Acesso em abril de 2014.

¹² Conceito extraído do livro: *Introdução a Coordenação Modular da construção no Brasil*, 2007.

Para Santiago (2008), para que ocorra aplicação apropriada da coordenação modular, é importante que a indústria disponibilize seus produtos dimensionados como múltiplos de um único módulo, considerado como base dos elementos constituintes da edificação.

O mesmo autor define que o módulo tem sido utilizado desde a antiguidade, mas foi a partir da revolução industrial que a modulação se tornou uma ferramenta primordial para a evolução da construção civil. Após o fim da Segunda Guerra Mundial, a necessidade de sistematização dos princípios de coordenação modular tomou grande dimensão, tendo em vista o rápido desenvolvimento da tecnologia da indústria frente à demanda cada vez maior por habitações.

3.4.2 Sistema de referência

Para atingir os objetivos propostos pela coordenação modular e aplicar eficientemente esta técnica, foi necessária a implantação da Norma Técnica de Coordenação Modular, ABNT NBR 15873:2010, que permitiu:

- reduzir e dar coerência à variedade de medidas utilizadas na fabricação de componentes;
- simplificar a coordenação dimensional nos projetos das edificações, que hoje é elaborada caso a caso;
- simplificar o processo de marcação no canteiro de obras para posicionamento e montagem de componentes construtivos;
- reduzir cortes e ajustes de componentes e elementos construtivos e a geração de resíduos no canteiro de obras;
- aumentar a intercambiabilidade de componentes tanto na construção inicial quanto em reformas e melhorias ao longo da vida útil da edificação; evitar cortes e ajustes desnecessários;
- induzir maior cuidado na resolução de projetos e maior acuidade técnica na sua execução;
- ampliar a cooperação entre os diversos agentes da cadeia produtiva da construção;
- minimizar desperdícios, com redução de custos e diminuição nos prazos de execução das obras, devido à maior facilidade de ajustes e montagens.

Com a Norma Técnica, os componentes passam por uma padronização dimensional, a partir da qual tem as mesmas características dimensionais. A produção dos componentes é seriada, e não mais sob medida. Mesmo sendo produzidos por indústrias diferentes, essas ca-

racterísticas asseguram a intercambialidade entre eles, pois passam ser compatíveis entre si, em função de suas dimensões serem múltiplas do módulo. Trata-se de uma característica apresenta pela industrialização aberta.

Sendo assim, seu objetivo é promover compatibilidade dimensional entre elementos construtivos, o que possibilita reduzir a variabilidade de medidas utilizadas na fabricação de componentes, simplificando a coordenação dimensional nos projetos das edificações e o processo de marcação no canteiro de obras para o posicionamento e montagem de componentes construtivos, reduzir cortes e ajustes de componentes e elementos construtivos, aumentar a intercambialidade de componentes tanto na construção inicial quanto em reformas e melhorias na vida útil da edificação (ABDI, 2010).

3.4.3 O módulo

Em vigor, a Norma de Coordenação Modular para edificações, ABNT NBR 15873:2010, especifica como padrão a medida de 100 mm para módulos básicos, além de definir os termos e os princípios da coordenação modular para edificações. O conceito de coordenação se aplica ao projeto e construção de edificações de todos os tipos e também à produção de componentes construtivos.

A característica de um componente ou conjunto modular possui como princípio fundamental o elemento construtivo com medidas múltiplas de 100 mm nas três dimensões. Assim, com o ajuste modular ocorrerá a compatibilização da relação entre os componentes com o sistema de referência, sendo possível relacionar a medida de projeto à medida modular.

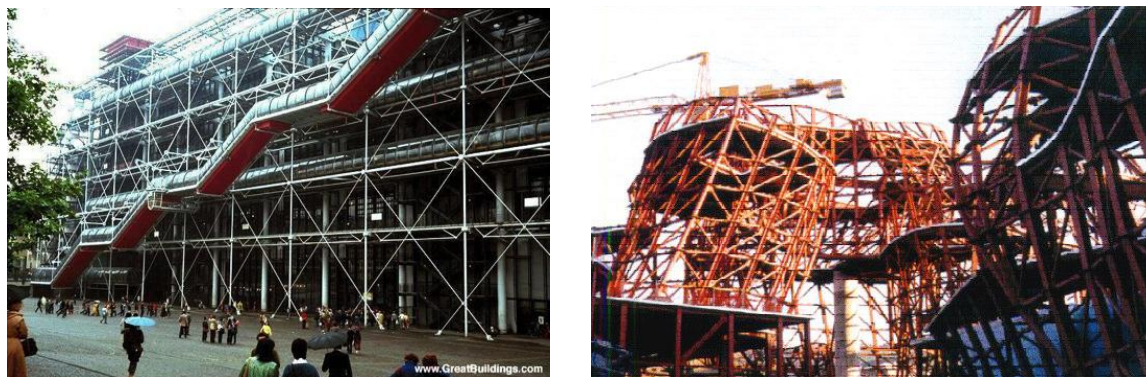
Em uma operação de colocação, a montagem de um componente em posição estabelecida no projeto arquitetônico, relacionada previamente com o sistema de referência, pode ser realizada sem a necessidade de adaptações e cortes do material. Para que isso aconteça, é necessário que os componentes, provenientes de fábricas diferentes, possuam medidas idênticas às do projeto do componente, salvo as exigências de união com os outros componentes com os quais serão associados (GREVEN e BALDAUF, 2007).

3.4.4 Exemplo de construção

O Centro *Georges Pompidou*, em Paris, França, projeto dos arquitetos Richard Rogers e Renzo Piano, 1976, e o Museu *Guggenheim*, em Bilbao, Espanha, projeto do arquiteto

Frank Gehry, 1997, são exemplos de obras que foram executadas a partir de malhas modulares (Figura 8).

Figura 8 – Centro Georges Pompidou e Museu Guggenheim Bilbao



Fonte: SANTIAGO, 2008

Analisando a primeira obra, o destaque na malha modular e a repetição de elementos, neste caso, fizeram parte da concepção do projeto e respectivos partidos arquitetônicos, o que deixa evidente seus aspectos construtivos. O método usado na segunda obra é a forma orgânica desenvolvida pelo arquiteto, executada com o trabalho de implementação de uma malha reticulada, que guiou o desenvolvimento da estrutura.

Portanto, a Coordenação Modular possibilita a compatibilidade dimensional entre elementos construtivos, definidos nos projetos das edificações, e componentes construtivos, definidos nos projetos de produtos dos respectivos fabricantes, para além de arranjos produtivos particulares ou de alcance restrito¹³.

3.5 Sistema modular

O sistema modular contribui para a racionalização do processo construtivo, pois, garante flexibilidade de combinação de elementos, além de contribuir para uma precisão maior na definição e alcance de medidas. Também contribui para o aumento da repetição de componentes e para a produção em série, já que, ao fixar uma medida básica da qual as demais devem ser múltiplos ou mesmo submúltiplos, limita as variações dimensionais para um mesmo elemento construtivo.

Assim, a modulação oferece grande agilidade e rapidez na concepção de edificações. Caiado (2005) argumenta que o sistema modular oferece vantagens persuasivas, ainda que relacionadas com os demais sistemas industrializados, onde a produção do módulo dentro das

¹³ Conceito extraído do Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil, ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2009.

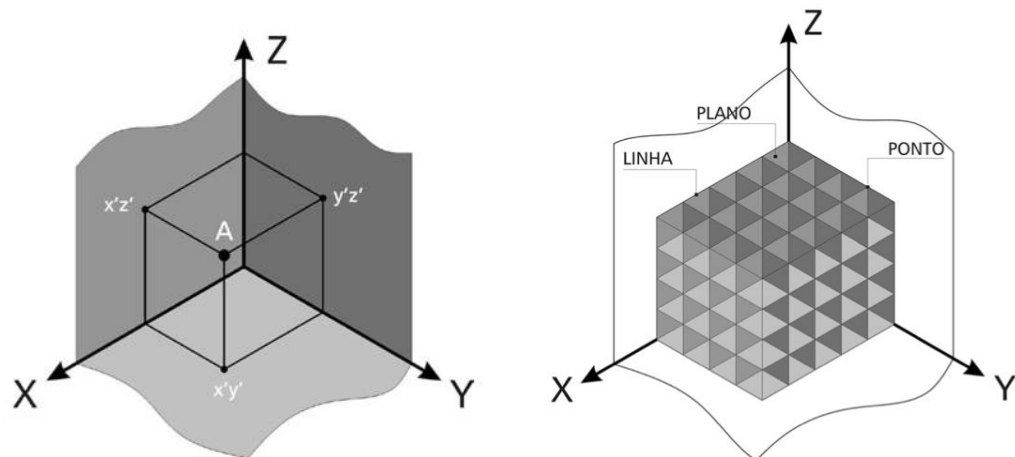
indústrias, livres de intempéries, favorece o maior controle de qualidade dos elementos construtivos e consequentemente da produção do sistema, acarretando maior produtividade e velocidade da obra. A execução de componentes dentro de ambiente controlado praticamente elimina as interrupções e contratemplos na produção decorrentes de variações climáticas, especialmente na época de chuvas.

Considerando tais características, o sistema modular possui argumentos consideravelmente atrativos dentro do cenário da construção, tais como velocidade, controle de logística, qualidade, prazo e maior controle custos, pois sua confecção é realizada no interior de uma indústria.

A definição por uma concepção com base modular, no âmbito da arquitetura, frequentemente ocorre através da adoção de um sistema estrutural composto por colunas e vigas. Dentro do campo desta modulação, os espaços podem ocorrer como eventos isolados ou como repetições do módulo. Independentemente de sua disposição dentro do campo, esses espaços, podem se interagir em função das necessidades de uso dentro da concepção proposta.

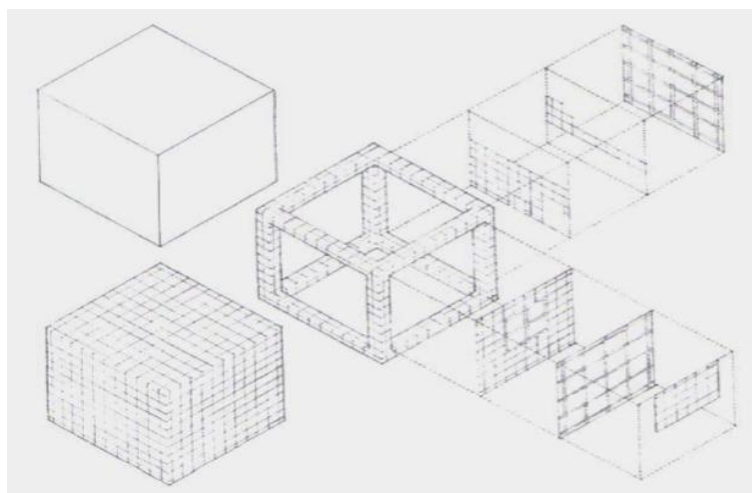
Um sistema de referência é formado por pontos, linhas e planos (Figura 9), em relação ao qual ficam determinadas a posição e a medida de cada componente da construção, permitindo, assim, sua conjugação racional no todo ou em parte.

Figura 9 – Sistema de referência e reticulado modular



Fonte: GREVEN e BALDAUF, 2007

No caso desta pesquisa, para acomodar as exigências dimensionais específicas dos espaços, é possível tornar a modulação (Figura 10) irregular em uma ou mais direções, e com essa transformação dimensional criar um conjunto de módulos hierárquicos diferenciados pelo tamanho, proporção e localização.

Figura 10 – Sistema desenvolvido por módulos

Fonte: CHING, 2002

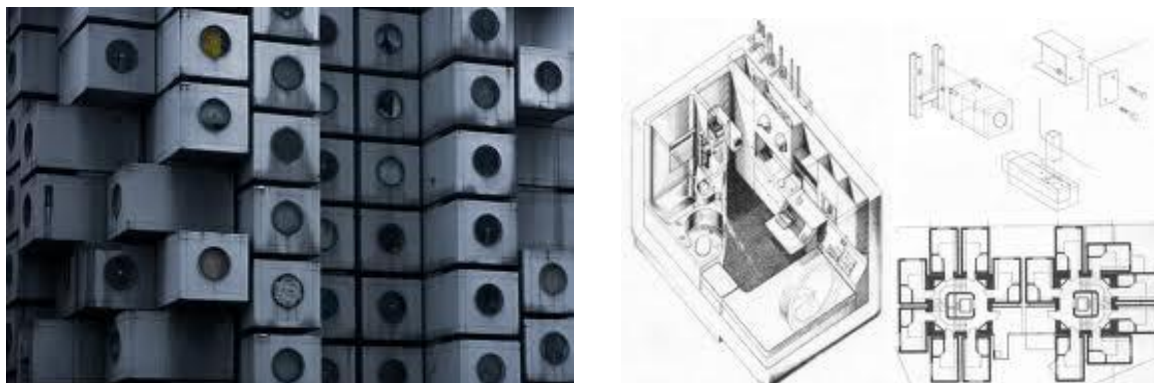
No contexto do funcionamento das malhas modulares (modulações), a conexão é o facilitador entre a coordenação funcional, volumétrica e estrutural da edificação. Freitas e Crasto (2006), colocam que a base dessas malhas é um reticulado modular de referência que pode ser plano ou espacial, onde são posicionados a estrutura, as vedações, as esquadrias, e outros equipamentos, isolados ou em conjunto.

Desta maneira, pode-se dizer que a utilização da malha de coordenação modular não pode ser compreendida como fator restritivo, que vai compilar em uma arquitetura pobre e comum. Existem diversas combinações que permitem uma total flexibilidade, nos mais variados partidos ou linguagens arquitetônicas (SANTIAGO, 2008).

Para esclarecer, o sistema modular de edificações encontra-se amplamente utilizado na Europa e no Japão, onde a qualidade do planejamento, do projeto, e principalmente do produto, em conjunto com as inovações dos sistemas construtivos, constituem componentes de competitividade na construção de edifícios, a ser melhor entendido e explorado ao se considerar o atual contexto de evolução da construção de edifícios (CAIADO, 2005).

Como exemplo, pode-se citar o edifício residencial *Nagakin Capsule*, concluído em 1972, situado em Tóquio. Projeto do arquiteto Kisho Kurokawa, onde se dispôs da coordenação modular, utilizando um único módulo em concreto. A tipologia da edificação ficou a cargo da variação do sentido dos módulos, respeitando a circulação vertical e horizontal e o sistema de ancoragem dos módulos. Tal situação ofereceu alternativas nas plantas baixas da edificação, demonstrando que o correto uso do módulo, e da coordenação modular, oferecem variabilidade visual e estética (Figura 11).

Figura 11 – Fachada e projeto do *Nagakin Capsule*: Edifício em módulos de concreto localizado em Tóquio



Fonte: <http://www.archdaily.com.br/01-36195/classicos-da-arquitetura-nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/isometrica/>- acesso em 05/08/2013

Face ao exposto, para Lucini (2001), a coordenação modular mantém sua linguagem gráfica, com especificações que são comuns a todos fabricantes, inclusive seus projetistas e construtores, e pode ser aplicada em todas as etapas do processo de produção, desde o início do projeto até a sua execução em canteiro de obra.

Desse modo, o sistema construtivo modular organiza o espaço a partir de medidas baseadas em um módulo predeterminado. Consiste num sistema capaz de ordenar e racionalizar a confecção de qualquer artefato, desde o projeto, até o produto final, conforme apresentada por Van Der Laan et al. (2010).

Esta ordenação e racionalização se efetiva, principalmente, pela adoção de uma medida de referência, chamada módulo, considerada como base de todos os elementos constituintes do objeto a ser confeccionado (VAN DER LANN et al., 2010).

O sistema modular auxilia o trabalho de projetistas, que contam com elementos compatíveis entre si, simplificando a coordenação de projetos, graças à diminuição de variedades de medidas. Orienta e otimiza o processo de montagem na obra, permitindo o uso de equipamentos modulares em vários projetos, o que facilita o desenvolvimento de novos produtos.

Sob tal ótica, pode-se dizer que o sistema modular é mais utilizado em obras de grande porte, que demandam método construtivo rápido e racionalizado. É o caso, por exemplo, de obras institucionais (escolas e prédios públicos), hospitais, conjuntos habitacionais e edifícios industriais.

3.6 Sistemas construtivos industrializados

3.6.1 Sistemas construtivos

Em tempos de economia aquecida, construtoras concorrem por obras públicas de infraestrutura, e o aumento na demanda por mão de obra especializada pressiona os custos de contratação. Como resultado do aumento do custo da mão de obra, o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC)¹⁴ sobe, impactando no custo dos imóveis para o consumidor final (PENAZZI et al., 2014).

Desta forma, diferente da construção convencional onde todas as tarefas das obras são executadas através do elemento humano, a construção industrializada utiliza equipamentos automatizados para fabricação e montagem dos seus componentes ou elementos construtivos. Oferecem vantagens como organização de processos executivos, qualidade, controle tecnológico, segurança e agilidade muito superior (MODENA, 2009).

O entendimento dessas vantagens auxilia na compreensão de obras que adotam sistemas industrializados, diferentemente da construção artesanal, permitindo implantação do critério de customização, que engloba vantagens como a previsão de entradas e saídas para instalações hidráulicas, elétricas e de ventilação, e a redução quantitativa na contratação de pessoal, no caso dos pré-fabricados, no qual material é carregado e entregue no canteiro para montagem.

Face ao exposto, são exemplificados alguns sistemas industrializados, começando com o *Wood Frame*, disponível no Brasil há 14 anos, e que só agora começa a se disseminar, sobretudo em regiões com boa oferta de madeira reflorestada, como o Paraná e o Espírito Santo. O tempo de obra é ao menos 25% menor que na alvenaria comum. A oferta de mão de obra, ponto crítico nos vários sistemas do gênero, é melhor neste caso, em que as paredes são montadas na fábrica e levadas prontas para a obra. Tal aspecto é comentado também por LP Brasil *Building Products*¹⁵, em entrevista à revista *Téchne*¹⁶. Apesar de o *Wood Frame* ser utilizado em outros países, a atual Norma Brasileira ABNT NBR 7190:1997, denominada Projeto de Estruturas de Madeira, não apresenta critérios muito apropriados para o

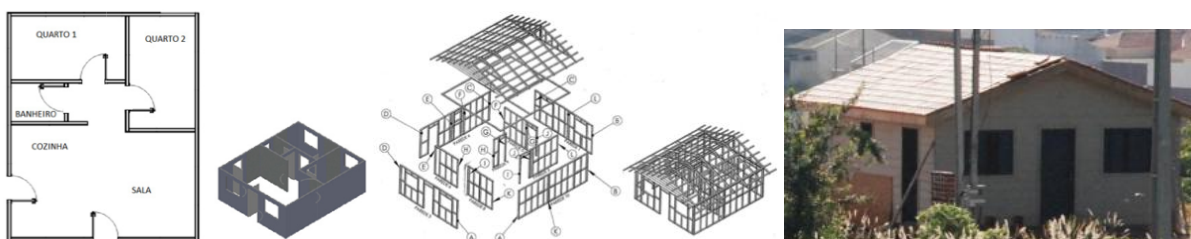
¹⁴ Concebido com a finalidade de aferir a evolução dos custos de construções habitacionais, configurou-se como o primeiro índice oficial de custo da Construção Civil no País. Conceito extraído da fonte: <http://portalibre.fgv.br/main>. Acesso em outubro de 2013.

¹⁵ A LP Building Products é um dos principais fornecedores de materiais para Construção Civil, entregando inovação, alta qualidade em produtos especiais para o varejo, atacado, construtoras e clientes industriais. Conceito extraído da fonte: <http://www.lpbrasil.com.br/institucional/Index.asp>. Acesso em março de 2014.

¹⁶ Conceito extraído da fonte: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/161/imprime182186.asp>. Acesso em janeiro de 2013.

dimensionamento dessas estruturas leves, pois considera em suas especificações dimensões mínimas para elementos estruturais, considerando-se a segurança de estruturas isostáticas e de treliças (Figura 12). Assim, é necessário observar normas de outros países nesse dimensionamento.

Figura 12 – Habitação com Sistema *Wood Frame* no município de Maringá - Paraná

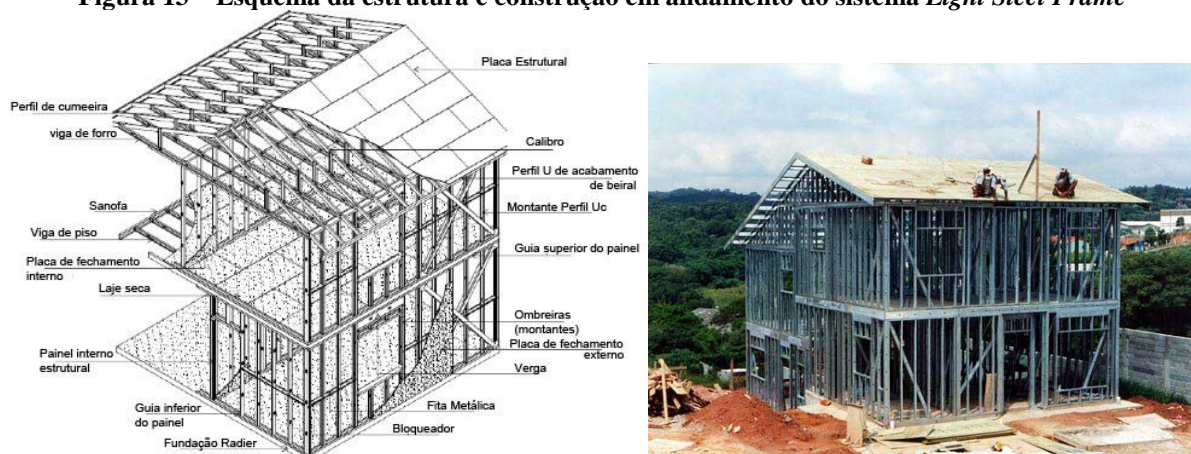


Fonte: Monich, 2012

No Brasil, o que prejudica o crescimento das técnicas alternativas em madeira, é a pouca divulgação e grande insegurança quanto às inovações tecnológicas, justamente por falta de conhecimento da técnica, assim como, por falta da normatização, somado a mentalidade de que o uso da madeira gera o desmatamento, e conseqüente impacto ecológico.

O sistema denominado *Light Steel Framing*, ou *LSF*, emprega perfis galvanizados de aço leve, de pequena espessura (Figura 13). Por se tratar de um sistema que emprega componentes de montagem, cada etapa depende do término da anterior, implicando no fechamento total do sistema. Esse sistema é usual em outros países, sendo empregado em vários tipos de edificações.

Figura 13 – Esquema da estrutura e construção em andamento do sistema *Light Steel Framing*



Fonte: <http://www.metalica.com.br/habitacao-de-interesse-social-em-light-steel-framing> - acesso em 24/04/2014

Ainda que sua base estrutural seja industrializada, para Crasto (2005), este sistema possui flexibilidade em relação ao acabamento, ao poder empregar materiais locais, tais como telhas cerâmicas, de concreto, entre outros acabamentos, como esquadrias, respeitando as

tradições da região de implantação do projeto. Seu conceito construtivo está intimamente ligado às questões de sustentabilidade, enquadrando-se no processo de construção seca. Este método de construção procura minimizar o uso da água, sendo empregada apenas quando da execução do radier.

Vivan et al. (2010), constatam em seu estudo que existem grandes vantagens no sistema *LSF*, principalmente sobre o sistema construtivo tradicional, porém, observam que conceitualmente, somente o uso de produtos industrializados não torna a construção industrializada, ou seja, precisa existir racionalização construtiva.

Com o entendimento de tais definições, é importante analisar um caso de destaque dentro do cenário Nacional da construção de edifícios. Crasto (2005) indica que o sistema apresenta um caso de edificações de múltiplos andares em até 4 pavimentos para moradia de baixa renda. Empreendimento da *Kofar* distribuidora de aço em parceria com as construtoras *Haltec* (Bragança Paulista) e a *US Home* (Curitiba), o condomínio Colina das Pedras, em Bragança Paulista (SP) é uma realidade de 8.900 m². São ao todo 13 edificações, com 16 apartamentos de 42 m² cada, todos executados em *LSF*, consumindo apenas 8 meses de trabalho. É sem dúvida, a maior obra feita nesse sistema no Brasil, o que permite enfatizar seu emprego em larga escala em programas habitacionais de interesse social.

Face ao exposto, observa-se que nos Estados Unidos e Europa há bastante experiência na produção de construções modulares, ocorrendo a execução do módulo em ambiente fabril, e posterior transporte e montagem no local, como o exemplo anterior. No Brasil, alguns exemplos dentro desta linha podem ser observados. É o caso dos *containers*, que começaram a ganhar espaço, sendo utilizados por empresas, lojas, escritórios, base de *show room* de empreendimentos. O grupo *Container* é um exemplo de empresa que possui uma rede de lojas de roupas com cem franquias espalhadas pelo Brasil. Todos os espaços de venda são construídos com containers. Existe também investindo em hotéis sustentáveis e até mesmo em residências (Figura 14).

Figura 14 – Loja grupo *Container* e fachada de casa feita em *containers* na cidade Curitiba, Brasil



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=construções+com+containers&ie> - acesso em 23/03/2014

Na Universidade Federal de São Carlos, alguns *containers* vêm sendo utilizados para diversos fins, como em Centros Acadêmicos e Oficinas, conforme Figura 15. Possuem as vantagens da rapidez de instalação e ocupação, além de mobilidade e alteração no uso, caso necessário¹⁷.

Figura 15 – *Containers* utilizados na UFSCar Campus São Carlos



Fonte: Autor, 2015

A arquitetura em *containers* é uma solução que permite flexibilidade à construção devido à sua estrutura natural. Tal estrutura permite uma segurança superior devido a sua natureza construtiva, além disso, permite uma logística de mobilização excelente, já que um *container* pode ser transportado em uma única vez. Seu principal apelo sustentável se dá em função do reaproveitamento de materiais descartados ou em desuso.

Ainda analisando construções industrializadas, os elementos pré-fabricados de concreto possuem um processo de produção (Figura 16), que segundo Kim (2002), envolve atividades preliminares, como preparação e transporte de materiais, de execução, como

¹⁷ Informações fornecidas pelo Escritório de Desenvolvimento Físico (EDF), setor da UFSCar responsável pelo crescimento físico e produção de projetos no Campus São Carlos.

aplicação do concreto, cura e desmoldagem, e posterior, tais como, transporte interno, acabamentos e armazenamento.

Figura 16 – Elementos pré-fabricados de concreto



Fonte: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/140/alto-e-pronto-287601-1.aspx> - acesso em 23/03/2014

Apesar dos avanços no cenário mundial, o mesmo autor define que os pré-fabricados de concreto no Brasil têm sido pouco explorados. As principais razões de sua subutilização são: o sistema tributário que penaliza o emprego de elementos pré-fabricados de fábricas, a instabilidade econômica que dificulta o planejamento e os investimentos a longo prazo, o conservadorismo dos agentes envolvidos com a Construção Civil, a falta de conhecimento de alternativas em concreto pré-fabricado, a escassez de oferta de equipamentos, a indisponibilidade comercial de dispositivos auxiliares para realizar as ligações e o manuseio de elementos.

Com base nas colocações anteriores, é fundamental que a ideia de modulação e racionalização esteja presente desde a concepção dos projetos de pré-fabricados de concreto, para que se evite perdas de tempo e dinheiro. Os profissionais da área, como os arquitetos, engenheiros e projetistas, tem o importante papel de coordenar as soluções de pré-fabricação envolvendo conforto, instalações, entre outras, trabalhando em equipe multidisciplinar. A forma sistêmica de projetar é necessária, pois consiste em organizar as possibilidades, e fazer as interrelações dos sistemas e subsistemas envolvidos no processo.

Ainda neste contexto, são analisados alguns sistemas semelhantes ao adotado por esta pesquisa, no caso, o sistema construtivo modular em aço. Como os casos apresentados por Lawson e Ogden (2008), projetos recentes no Reino Unido têm demonstrado os benefícios das tecnologias de construção de pré-fabricados, como o premiado projeto *Murray Grove* em Hackney, Londres, concluída em 1999, que utilizou módulos prontos nas dimensões 8,00 m de comprimento, por 3,00 m de largura, com 3,20 m de pé direito. Mais recentemente, o pro-

jeto *Lillie Road*, em Fulham, oeste de Londres, concluída em 2003, usou estruturas de aço leve e banheiros modulares para este edifício de uso misto. Em ambos os projetos, o cliente foi *The Peabody Trust*, que teve um forte interesse em realizar o valor benéficos destas tecnologias relativamente novas. Esses projetos são ilustrados na Figura 17.

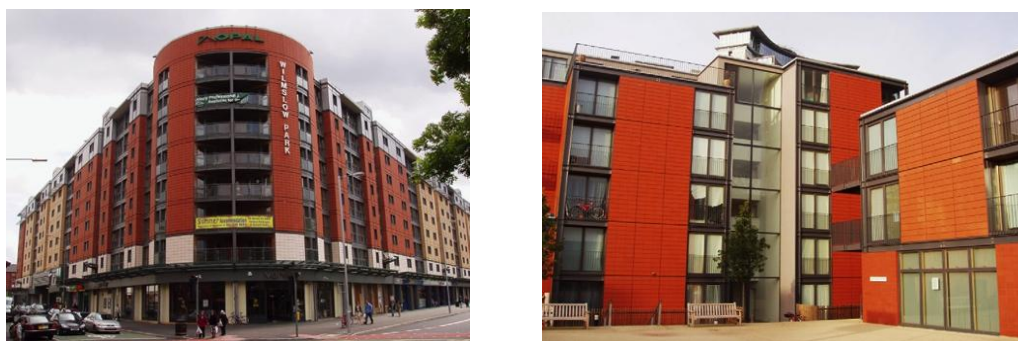
Figura 17 – *Royal Northern College of Music*, em Manchester, composto por 900 módulos e núcleos de aço apoiados, e instalação de unidades modulares em *Murray Grove*, Hackney, Londres



Fonte: LAWSON e OGDEN, 2008

Nas duas situações, conforme Figura 18, Lawson e Ogden (2008) destacam os sistemas construtivos volumétricos fabricados a partir de painéis em estrutura de aço leve, cujos módulos são executados fora do empreendimento, e transportados prontos para o canteiro de obras, ocorrendo então sua montagem.

Figura 18 – Construção mista (comercial e residencial) em Wilmslow Road, Manchester, com 1.400 módulos em estrutura de aço pódio composto, e projeto modular em *Lillie Road*, Fulham, em Londres



Fonte: LAWSON e OGDEN, 2008

Outro exemplo recente, localizado em Nova Iorque, o edifício é chamado de “A Pilha”, na língua inglesa conhecido por “*The Stack*”, localizado na parte superior de Manhattan. O projeto foi realizado por Jeffrey M. Brown. É um edifício residencial (Figura 19), cujo projeto possui vinte e oito unidades de ocupação, em sete pisos, sendo composto de cinquenta e seis módulos pré-fabricados, sobrepostos em dezenove dias, com um grupo de oito trabalhadores experientes em construção com aço, operador de guindaste, e seis assistentes. Demorou alguns meses para preparar o local e construir a fundação, base do edifício, enquanto uma equipe acompanhava a construção dos módulos em uma fábrica localizada na Pensilvânia.

Figura 19 – Montagem dos módulos e edifício pronto

Fonte: <http://gluckplus.com/project/the-stack> - acesso em 05/02/2014

O projeto deste edifício residencial apresenta o quanto é prático e viável uma construção pré-fabricada modular. No interior, existem diferentes combinações de unidades, que fornecem integridade estrutural, bem como uma variedade nos tipos de *layouts* para os moradores.

As peças pré-fabricadas foram construídas fora do terreno, na Pensilvânia por sistemas de construção de última geração, e montadas no lugar a partir de 56 módulos, gerando um mínimo impacto na comunidade local. Os métodos tradicionais foram utilizados somente para construir as fundações tipo radier, em uma área plana de 7500 m², sem estacas profundas, e para o primeiro pavimento de concreto. Todo o restante do edifício foi levantado em apenas quatro semanas através da montagem de suas partes pré-fabricadas. Esses módulos foram protegidos com plásticos resistentes (Figura 20), para que assim, os trabalhadores conseguissem controlar o processo, garantindo a qualidade do produto. Além disso, a vantagem decorrente da concepção e construção desses módulos é o preço, que foi reduzido em 15% em comparação com uma construção convencional.

Figura 20 – Gruas empilhando os módulos na base do terreno

Fonte: <http://gluckplus.com/project/the-stack> - acesso em 05/02/2014

Destarte, Guarnier (2009), descreve que os arquitetos, engenheiros e todos os profissionais ligados à construção necessitam estar bem informados e familiarizados com esses

conceitos para assegurar a inserção de construções com bom desempenho ao mercado nacional, elevando o nível da qualidade de nossas edificações, com opções racionalizadas e inovações tecnológicas.

No Quadro 2, é exposto um resumo de alguns métodos construtivos industrializados, abordando suas vantagens e desvantagens.

Quadro 2 – Alguns métodos construtivos industrializados

SISTEMA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<i>Wood frame</i>	Possui comportamento estrutural superior ao da alvenaria estrutural em resistência	No Brasil, este sistema ainda é pouco utilizado, por falta de conhecimento técnico
	Conforto térmico	Preconceito associado à má utilização da madeira como material de construção
	Conforto acústico	Falta de normalização
<i>Steel frame</i>	Baixos preços	Produto tecnológico relativamente novo no país
	Qualidade homogênea	Foge ao tradicional ou convencional e desperta sentimentos de suspeita e insegurança
	Alto desempenho estrutural	Mão de obra especializada
	Baixo peso	-----
	Produção em massa	-----
	Facilidade de pré-fabricação	-----
<i>Containers</i>	São econômicos e flexíveis	Exige acabamentos e revestimentos para garantir o conforto do usuário
	Possuem baixo custo de construção	Necessitam de equipamento especializado, como empilhadeiras e guindastes, para transportar, movimentar e auxiliar na montagem
	Estruturalmente sólidas	Mais exposto às variações de temperatura
	Fácil transporte	-----
	Flexibilidade construtiva	-----
	Reutilização de containers em desuso	-----
Pré-fabricados em concreto	É a rapidez	Preço relativamente alto
	Limpeza da obra	Necessidade de o projeto ser modular
	Garantia da construção	Possibilidade de apresentar fissuras na junção entre placas e a dificuldade de reformar a edificação
	Indicação da mão de obra	Limitações no caso de reformas
	Possibilidade de combinação de materiais diferentes	-----
Modular em aço	São módulos flexíveis a vários espaços	Necessita de equipamento especializado, como empilhadeiras e guindastes, para transportar, movimentar e auxiliar na montagem
	Adequado e adaptável a uma variedade de necessidades e propósitos	Projeto mais detalhado
	Baixo custo de construção	Precisão métrica
	Estruturalmente sólidas	Mão de obra especializada
	Fácil transporte	Mais exposto às variações de temperatura
	Flexibilidade construtiva	Grandes vãos podem levar a perfis robustos, impactando no custo final
	Menos desperdícios com erros de execução	-----
	Rapidez na montagem	-----
Maior nível de industrialização	-----	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

3.6.2 Situação da construção industrializada no Brasil

De acordo com Braga et al. (2008) o segmento de construção de edifícios no Brasil vem passando por um processo de mudanças, no qual a competitividade está cada vez mais acentuada. Neste contexto, a racionalização, a qualidade e a produtividade, bem como redução de perdas e custos tornam-se medidas de grande importância. A Construção Civil nacional tem buscado tais soluções pela racionalização de seus processos construtivos com a introdução de inovações tecnológicas.

Frente a isto, a utilização de sistemas industrializados vem ganhando mercado no Brasil nos últimos anos, e tende a se desenvolver ainda mais, conforme a aceitação de novas tecnologias continue crescendo. Apesar da predominância de sistemas artesanais, há setores da construção nacional que empregam cada vez mais soluções construtivas industrializadas em empreendimentos significativos (MAMEDE, 2001).

Analisando a visão de mercado, segundo o engenheiro Schettert (2010)¹⁸, o futuro da construção no Brasil será a almejada montagem no canteiro. Por enquanto, o engenheiro analisa que o país vive a fase do desenvolvimento industrial, ainda tornando os custos desses sistemas industrializados compatíveis com o mercado, entendendo que, futuramente, o país alcançará o conceito hoje existente em países da Europa e Estados Unidos, nos quais o tempo é majoritariamente investido na fase de projeto e planejamento, contrariamente ao atual cenário nacional, no qual a etapa executiva de prolonga em detrimento à fase inicial, de planejamento.

Fato que, para o engenheiro Schettert (2010), indica a necessidade das empresas brasileiras de investir em equipamento, repensando a obra como uma indústria, concebendo o planejamento do canteiro, do transporte interno e dos processos produtivos e aproximando a cadeia produtiva.

A construção industrializada, com o tempo, tende a buscar a formação de um processo produtivo bem desenhado. De forma análoga, a industrialização sempre vai agregar valor para as empresas, tanto diretamente, pelos resultados práticos, como indiretamente, desenvolvendo um conceito que futuramente virá a dar resultados.

Portanto, o desempenho deve ser pré-requisito para a busca por custos competitivos, e, conseqüentemente, por processos que melhor se ajustem ao novo paradigma. Para o engenheiro Schettert (2010), não se admite mais o custo pós-obra. Então, são necessários produtos e processos com desempenho adequado, com vistas à satisfação do usuário.

¹⁸ Em entrevista concedida à Techné o Engenheiro Carlos Schettert, relata a situação atual da Construção Civil, e a escassez de mão de obra. Fonte: <http://ecohabitararquitectura.com.br/blog/a-obra-como-uma-industria/>. Acesso em fevereiro de 2014.

Dentro deste panorama, existem no Brasil várias tentativas de obras industrializadas, como a proposta do arquiteto brasileiro João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé, o arquiteto responsável por uma maior projeção para essa tecnologia no Brasil. Como exemplo de grande repercussão, no âmbito Federal, o projeto complexo de Lelé denominado Centro Integrados de Ensino (CIAC), de 1990, projetado para ser construído em todo território nacional, totalizando 5.000 unidades, numa solução de rápida construção e grande eficácia (Figura 21), foi totalmente desenvolvido dentro das técnicas da pré-fabricação em argamassa armada.

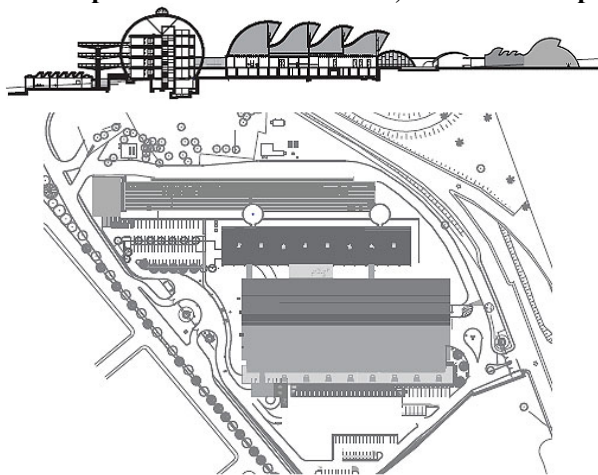
Figura 21 – Centro Integrados de Ensino - CIAC, São Carlos, SP. Sala de aulas e Ginásio poliesportivo



Fonte: <http://www.espacocidadao.org.br> - acesso em 24/04/2014

Outra obra de repercussão do arquiteto, na cidade de São Carlos, é o Hospital Escola, constituído por quatro prédios interligados por passarelas cobertas, um deles de cinco pavimentos e outros três, térreos (Figura 22). Nestes últimos, a estrutura dos pisos (ou subsolos) técnicos está sendo construída com sistemas em concreto armado, pré-fabricados na obra, com o uso de fôrmas metálicas, numa pista de concretagem construída no próprio canteiro. As fundações foram executadas com estacas raiz e pré-moldadas de concreto; os pilares (pré-moldados) foram grauteados nos blocos de fundações, e as lajes de concreto armado, soldadas por meio de *inserts* metálicos, nesses pilares.

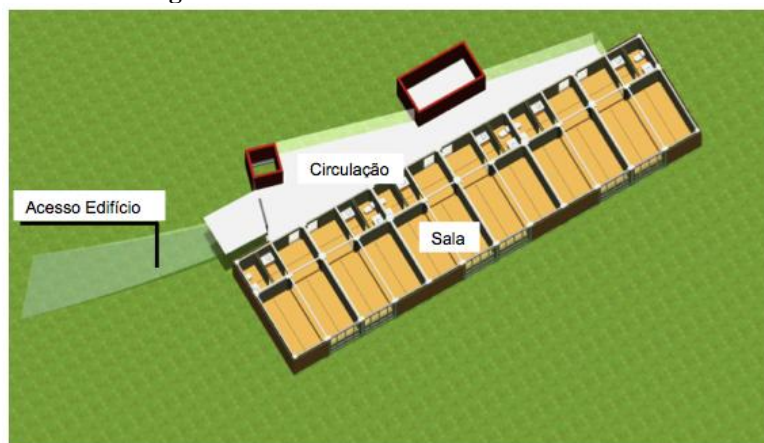
Figura 22 – Hospital Escola em São Carlos, SP: Corte e Implantação



Fonte: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-guia-detalha-custos-de-hospital-projeto-por-lele> - acesso em 24/04/2014

Seguindo a linha de pesquisa deste trabalho, tem-se como referência o estudo de Caiado (2005), que apresenta solução modular em aço para edifícios de escritórios (Figura 23). O autor definiu três modelos para serem estudados, diferenciados no que se refere aos materiais e componentes dos subsistemas de fechamento externo e laje. Este trabalho segue as premissas da industrialização onde deverá ser confeccionado dentro da planta física fabril, para maior controle de qualidade com relação às dimensões e materiais do módulo modelo.

Figura 23 – Planta baixa do edifício modelo



Fonte: Caiado, 2005

Com relação ao projeto arquitetônico, analisando o edifício modelo de Caiado (2005), é possível observar que o mesmo foi desenvolvido dentro dos preceitos explanados neste trabalho, adotando-se o projeto de produto, a coordenação modular, a construtibilidade e a racionalização dos elementos construtivos. Constatou-se que na confecção desse edifício modelo, foram apresentadas inúmeras vantagens produtivas em comparação ao sistema tradicional de construção, tais como:

- utilização de um número mínimo de componentes;
- utilização de materiais disponíveis no mercado, com tamanhos e configurações padronizadas;
- utilização de materiais e componentes fáceis de serem conectados;
- padronização dos meios de ação;
- utilização de uma sequência rítmica executiva;
- segmentação dos projetos em pacotes construtivos;
- uniformidade modular;
- redução de precedências.

Entretanto, em seu trabalho Caiado (2005) não esgota todos os aspectos relevantes sobre a tecnologia de sistema modular para a construção de civil, dada a complexidade do as-

sunto. Por isso, foram sugeridos por aquele autor alguns temas para a continuidade da pesquisa, como análise do sistema quanto ao desempenho e conforto, desenvolvimento do mesmo conceito para edificações de residências, escolas, e avaliação de um modelo real quanto a sua utilização, desenvolvimento e avaliação da questão de ampliações e versatilidade no processo de montagem e desmontagem do sistema, logística no processo de construção de edifícios em módulo pré-fabricados estruturados em aço e análise de custos econômicos da construção de edifícios em módulo pré-fabricados estruturados em aço.

Portanto, são várias as tipologias de projetos industrializados disponíveis para estudo, e que poderiam ser aqui citadas. Todavia, cabe salientar as mais relacionadas com o tema central do presente trabalho, conforme abordado no próximo Capítulo.

4 PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA CONSTRUÇÕES MODULARES

O presente Capítulo aborda a questão relativa aos subsistemas prediais de fundações, vedações e instalações. Tais subsistemas compõem o protótipo modular proposto na presente pesquisa. O aprofundamento nestes tópicos visa um levantamento de características, vantagens e desvantagens inerentes a cada subsistema, fornecendo subsídios para que a definição das melhores opções quanto à montagem, dentro de critério inerentes à industrialização da construção. Pela análise e opção pelos sistemas mais adequados, dentro de um cenário projetual, procura-se antecipar aos problemas que poderiam vir a surgir durante a etapa executiva.

4.1 Sistemas construtivos

No sistema construtivo e estrutural, o projeto arquitetônico é o elo de todas as interfaces do processo construtivo. Fazendo uma conexão com o Capítulo 2, destaca-se a grande importância da fase de concepção do edifício, devendo esta, portanto, conter todos os parâmetros sobre o produto final. De forma análoga, Guarnier (2009) exemplifica que podem ser definidos mecanismos eficientes para que a produção ocorra de maneira planejada, e suas atividades sejam devidamente acompanhadas, permitindo a verificação da adequação ao projeto dos procedimentos de execução, e a obtenção de um produto cuja qualidade esteja conforme especificada inicialmente.

Portanto, os critérios de escolha do sistema construtivo estrutural devem incorporar as necessidades funcionais e econômicas de um projeto integrado, fornecendo orientações gerais e básicas ao sistema estrutural, como resistências mecânicas e tipos de materiais que serão empregados, permitindo a configuração da estrutura às cargas a serem adotadas, dentro de especificações projetuais que atendam ao uso. Guarnier (2009) comenta que tais critérios devem descrever, de forma detalhada, os parâmetros restritivos do projeto, como flechas máximas de peças, limitando-se principalmente às características de serviço ou desempenho da estrutura.

Assim, a busca por um processo integrado, com alto grau de industrialização, definido como sistema construtivo e estrutural, no qual todas as partes apresentam um elevado grau de industrialização, é a diretriz desta pesquisa.

O desenvolvimento do edifício proposto é produto ou objeto constituído por um aglomerado de subsistemas construtivos intercambiáveis. Caiado (2005) ressalta que na sua proposta de módulo, os sistemas subdividem-se basicamente em fundações, estrutura, vedação horizontal e vertical, e instalações prediais. Com isso, foi realizado o estudo das características destes sistemas, com o intuito de utilizar tais informações na aplicabilidade dos mesmos, no sistema modular, tema do presente trabalho.

4.2 Fundação

As fundações são o conjunto estruturado de elementos, combinados mecanicamente de forma a transmitir ao solo os esforços provenientes das cargas atuantes e próprias da superestrutura, compondo-se de elementos como blocos, lajes, sapatas, vigas, estacas, entre outros.

Quanto ao tipo de fundação, estas são definidas em função do tipo de solo existente, e das cargas de projeto. No caso desta pesquisa, optou-se por fundação tipo radier, sendo uma edificação estruturada em aço, com estrutura considerada leve, quando comparada aos sistemas tradicionais.

O radier é um tipo de fundação rasa que funciona como uma laje contínua de concreto armado em toda a área da construção, e transmite as cargas da estrutura da edificação (pilares ou paredes) de forma distribuída para o terreno. A laje deve ser feita usando um concreto armado com armadura de aço nas duas direções tanto na parte superior como na inferior, conhecida como armadura dupla¹⁹.

Segundo o Portal Metálica (2014), este sistema possui algumas vantagens sobre os outros, tais como:

- economia, com redução de custos que chegam a 30%, em comparação aos outros sistemas de fundação;
- agilidade com maior velocidade na execução;
- praticidade com redução na mão de obra;
- elimina escavação;
- elimina baldrame;
- elimina contrapiso.

¹⁹ Definição extraída da revista eletrônica Portal Metálica: <http://www.metlica.com.br/fundacao-radier>. Acesso em abril de 2014.

4.3 Painéis de Vedação

As vedações industrializadas são definidas como painéis, em geral posicionadas na estrutura da edificação. Coelho (2003) define que sua função é como uma pele, não necessitando de uma estrutura de apoio auxiliar, o que é provido apenas pela sua própria geometria e resistência.

Desta forma, Caiado (2005) reforça a importância do dimensionamento adequado de painéis de vedação, visto que estão expostos diretamente a diversas solicitações. Porém estes componentes possuem uma qualidade dimensional confiável, por serem confeccionados dentro do parque tecnológico industrial, estando subordinados às ferramentas de controle de qualidade de produção.

Neste contexto, como exemplo de vedação, temos os painéis pré-fabricados, que podem ser definidos segundo a posição no edifício, como externa, conhecidos como painéis de fachada, sendo uma vedação envoltória do edifício, pois uma das faces sempre está em contato com o meio ambiente externo. Da mesma forma, existem as vedações internas ao edifício. A classificação e descrição das vedações verticais pré-fabricadas é informada no Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação e descrição das vedações verticais pré-fabricadas

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	
Função	Envoltórias externas	Serve de proteção lateral contra ação de agentes externos
	Divisória interna	-----
Técnica de execução	Acoplamento a seco	Vedações montadas a seco (aparafusadas), sem uso de solidarização “molhada” (argamassa ou grout)
	Acoplamento úmido	Vedações verticais montadas por solidarização com argamassa ou grout
Mobilidade	Fixas	-----
	Removíveis	Montadas e desmontadas com facilidade sem a sua degradação
Densidade superficial	Leves	Caracterizadas por elementos sem função estrutural e com massa específica de até 100Kg/m ³
	Pesadas	Caracterizadas por elementos com ou sem função estrutural, e com massa específica acima de 100Kg/m
Estruturação	Estruturadas	Vedações que possuem uma estrutura de suporte dos componentes de vedação (estrutura secundária)
	Auto-suporte	As que não necessitam de uma estrutura secundária

Continuação: Quadro 3 – Classificação e descrição das vedações verticais pré-fabricadas

Continuidade do plano relação entre continuidade (face da parede) e a distribuição dos esforços	Modulares	A absorção dos esforços transmitidos à vedação é feita pelos elementos, isoladamente, devido à existência de juntas
Continuidade superficial relacionada à continuidade visual da vedação vertical	Contínuas	-----
	Descontínuas	As juntas entre os componentes são aparentes
Acabamento	Revestimento incorporado	As vedações já acabadas são posicionadas em seus lugares definitivos
	Revestimento a posterior	Vedações executadas em seus lugares definitivos e sem aplicação prévia de revestimentos
	Sem revestimento	Vedações não necessitam da aplicação de revestimentos, pois o acabamento é parte da linha de produção

Fonte: SILVA e SILVA (2003)

As vedações verticais fazem parte do sistema responsável pela forma do edifício. Nelas estão inseridas janelas, portas, instalações, e também fixados os revestimentos. As dimensões e formas definirão as opções de escolha do sistema a ser adotado, seja painel, placa, pele de vidro ou alvenaria convencional. Como representam quase a totalidade da superfície vertical do edifício, devem ser tratadas com a devida atenção e responsabilidade.

Nos próximos itens, são apresentadas algumas vedações industrializadas, e as escolhas adotadas nesta pesquisa.

4.3.1 Vedação vertical externa

A escolha do tipo de vedação externa a ser projetada necessita ser cuidadosamente avaliada e definida com base em estudo das características de cada sistema ou processo, e da verificação da disponibilidade, no mercado nacional preferencialmente.

Em uma definição ampla, Caiado (2005) afirma que o subsistema de vedação externa das construções racionalizadas e industrializadas é ponto determinante para o bom desempenho da edificação, quanto ao isolamento térmico e acústico e às resistências de esforços horizontais, além de ser responsável pela quase totalidade das superfícies de fachada de uma edificação.

Neste contexto, a utilização de estruturas metálicas contribui para o desenvolvimento da tecnologia e uso de vedações verticais pré-fabricadas, em que o elevado grau de industrialização permite a obtenção de benefícios referentes à montagem desvinculada do canteiro de obras (CAIADO, 2005).

Ressalta-se, no entanto, a valorização do subsistema de vedação vertical, pois é composto de elementos que, por sua vez, são formados por componentes. Portanto, para definir o elemento construtivo, objeto da presente pesquisa, propõe-se uma segunda classificação que se refere à tecnologia não como um componente individual, mas como um elemento formado pelos componentes painel, fixação e juntas.

Deste modo, visando embasar a escolha da tipologia mais adequada ao projeto da presente pesquisa, dentro das premissas de industrialização, o Quadro 4 apresenta alguns tipos de vedações verticais, suas principais vantagens e desvantagens.

Quadro 4 – Alguns tipos de vedações verticais externas existentes no mercado nacional

VEDAÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Pele de vidro	Facilidade na manutenção e limpeza da fachada	Aquecimento do ambiente devido a incidência de luz, é necessário utilizar películas de proteção solar
	Iluminação e ventilação natural	Sensível ao efeito dinâmico do vento, necessidade de amortecimento
	Usuário associa com sofisticação do ambiente	-----
Alvenaria convencional	Boa a excelente durabilidade	Imagem de ser antimoderna e perdulária
	Baixos custos iniciais e de manutenção	Necessidade de revestimentos adicionais para ter textura lisa
	Excelente comportamento frente à ação do fogo	Deficiente na limpeza e higienização
	Regular a bom desempenho térmico	Domínio técnico centrado na mão de obra executora, com elevado consumo da mão de obra
	Estabilidade, indeformabilidade	Brasil, a maioria dos problemas patológicos pós-ocupação ocorre nas vedações
	Boa estanqueidade à água, quando revestida	Necessidade de reparos na rede hidrosanitária, não tem como evitar as quebras e entulhos
	Sem limitações de uso em relação às condições ambientais	-----
	Maior aceitação pelo usuário e pela sociedade	-----
Painéis de concreto	Vantagens econômicas devidas à possibilidade de padronização dos painéis	Alto custo, quando utilizados vários tipos de painéis, pelo custo de formas extras e o não reaproveitamento dos moldes especiais
	Resistência ao fogo, inércia térmica e acústica, boa relação resistência/peso próprio;	Grande peso, dificultando o manuseio no transporte e na execução
	Variedade de dimensões e de acabamentos	Dificuldades de manuseio/substituição devido ao peso dos componentes
	Durabilidade compatível com vida útil de projeto, necessitando de poucas intervenções de manutenção	Ação dos agentes agressivos provoca manchas nos painéis
	Revestimentos podem ser incorporados na própria fábrica	Falta de normalização
	Possibilidade de emprego de painéis com função estrutural	Problemas de corrosão se não forem adotadas as devidas recomendações de projeto e produção
	Instalação de caixilhos e/ou material de isolamento na fábrica	-----

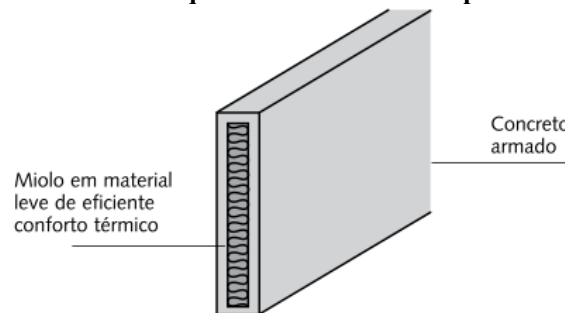
Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

Dentro das possibilidades levantadas, a opção pelo painel de concreto para vedação vertical externa para o projeto ocorreu devido ao elevado grau de industrialização, adaptando-se a qualquer situação, com grande variedade de dimensões, além de estar sujeito a um controle de qualidade maior, seguindo o sistema da indústria, com seus padrões e normas de qualidade.

Assim, o sistema composto por painéis de concreto, conhecidos também como painéis arquitetônicos de fachada, é um sistema de fechamento onde a sua instalação assemelha-se com o *Dry-wall*, porém é utilizado predominantemente no fechamento de ambientes externos ou expostos à ação da água, ou ambientes internos de área molhável. As placas são compostas basicamente de cimento reforçado com fibras de celulose ou telas de fibra de vidro.

Existem diversos painéis de fachada, que são desenvolvidos em função das especificidades arquitetônicas e físicas. Para a pesquisa, são adotados painéis tipo sanduíche, pois são executados com interposição de isolamento térmico no interior da peça, para alívio de peso e melhor desempenho termoacústico, possibilitando a face externa acabada e a interna lisa (Figura 24).

Figura 24 – Painel arquitetônico de fachada tipo de sanduíche



Fonte: <http://www.premo.com.br/utilitarios/premoPaineis.pdf> - acesso em 17/02/2014

Tal solução caracteriza-se por ser um sistema industrializado, composto por elementos pré-fabricados de concreto, executados com resistência entre 21 a 45 MPa, com espessura mínima de 12,5 cm, altura e comprimentos variados, definidos em função da paginação do projeto, da estrutura de fixação, da capacidade de carga do equipamento de montagem a ser utilizado e do dimensionamento estrutural. São utilizados como vedação em estruturas metálicas, entre outras, substituindo as alvenarias, e outros fechamentos. Sua característica agiliza o processo construtivo, consequentemente propiciando retorno antecipado do investimento.

4.3.2 Vedação vertical interna

Para a especificação da vedação interna no presente trabalho, optou-se pela adoção

de sistemas usualmente implantados em edificações industrializadas, limitando-se aos sistemas de vedações industrializadas, dentro da disponibilidade no mercado nacional, preferencialmente.

Dessa forma, o Quadro 5 apresenta alguns tipos de vedações verticais internas, com vantagens e desvantagens, fomentando a escolha pelo sistema mais adequado tecnicamente, dentro da problemática em desenvolvimento desta pesquisa.

Quadro 5 – Alguns tipos de vedações verticais internas existentes no mercado nacional

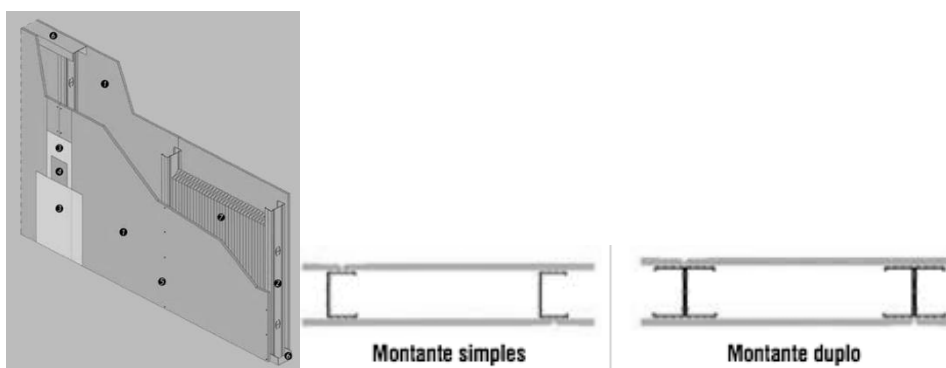
VEDAÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Alvenaria convencional	Boa a excelente durabilidade	Imagem de ser antimoderna e perdulária
	Baixos custos iniciais e de manutenção	Necessidade de revestimentos adicionais para ter textura lisa
	Excelente comportamento frente à ação do fogo	Deficiente na limpeza e higienização
	Regular a bom desempenho térmico	Domínio técnico centrado na mão de obra executora
	Estabilidade, indeformabilidade	A maioria dos problemas patológicos pós ocupação ocorre nas vedações
	Maior aceitação pelo usuário e pela sociedade	Se houver necessidade de reparos na rede hidrosanitária, não tem como evitar as quebras e entulhos
	Boa estanqueidade à água (quando revestida)	-----
Painéis de Dry Wall	Grande agilidade para montagem e execução	Limitação de uso em relação às condições ambientais
	Facilidade de composição de elementos específicos de projeto, como os <i>shafts</i> verticais e horizontais	O custo para pequenas obras é maior, se comparado ao da alvenaria convencional
	Acessos facilitados para eventuais reparos nas redes elétricas e hidrosanitárias	Requer uma mão de obra mais qualificada
	Bom desempenho térmico	Cuidados especiais no transporte das placas
	Bom desempenho acústico	Medidas específicas para se dependurar objetos
Painéis removíveis	Produto de elevada performance acústica e mecânica, para locais com necessidades de isolamento acústico	Instalação no local
	Variedade de opções de acabamentos	Mão de obra especializada
	Proporciona maior flexibilidade ao projeto	-----

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

As vedações utilizadas de projetos nesta pesquisa têm como principal objetivo os princípios da racionalização construtiva, através de um estudo de adequação tecnológica e de mudança organizacional dos processos tradicionais de construção. Neste aspecto, o gesso acartonado ganha projeção na construção civil nacional, como um sistema construtivo de vedações internas, também chamadas de sistema construtivo a seco.

As placas de gesso acartonado substituem alvenarias e argamassas de revestimento em uma única operação, permitindo a fácil instalação e manutenção dos dutos de água, energia e dados. A estrutura metálica das paredes internas é formada por guias, peças horizontais fixadas no chão e teto, e montantes, peças verticais com espaçamento apropriado, que são colocados no interior das guias, formando-se assim, um quadro estável e seguro. Finalizada a estrutura metálica, procede-se à instalação de componentes elétricos, hidráulicos, e outros que venham a ser previstos, conforme requerido em projeto de instalações (Figura 25).

Figura 25 – Sistema de vedação vertical *Dry Wall* e alguns tipos de montantes



Fonte: <http://www.placo.com.br/produtos-drywall/tudo-sobre-drywall/paredes-drywall/paredes-drywall.asp> - acesso em 17/02/2014

No Brasil são comercializados três tipos de placas: placas de gesso padrão, placas de gesso resistente à umidade e placas de gesso resistente ao fogo, conforme especificações a seguir:

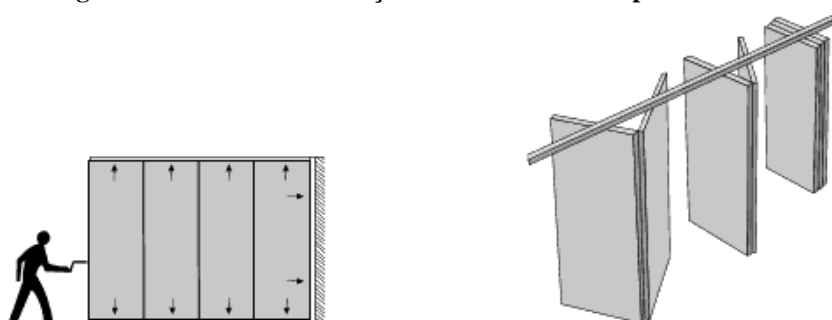
- placa de gesso padrão: as placas para uso padrão (Standard) são compostas por um miolo de gesso e aditivos, sendo revestida em ambas as faces com papel *kraft*;
- placas de gesso resistentes à umidade: as placas resistentes à umidade são constituídas por gesso e aditivos, como silicone ou fibras de celulose, e têm as duas superfícies cobertas por um cartão com hidrofugante. Embora essas placas sejam recomendadas para áreas molháveis, não devem ser empregadas em áreas sujeitas a uma alta taxa de umidade. Além disso, as placas devem ser montadas de tal modo a se evitar a entrada de vapor de água, que pode deteriorar o material;
- placas de gesso resistentes ao fogo: as placas resistentes ao fogo possuem aditivos para retardar a liberação de água da chapa, evitando o colapso da peça.

O emprego de chapas de gesso acartonado como vedação vertical no Brasil teve início em meados da década de 70, mas apenas recentemente seu uso foi mais difundido entre as empresas construtoras, influenciado por diferentes fatores, dentre os quais se destaca princi-

palmente a oferta de componentes no mercado nacional. Atualmente, existem diversos fabricantes de placas de gesso acartonado na indústria nacional.

Outra opção para sistema de vedação interno utilizado na construção civil industrializada são os painéis removíveis, proporcionando flexibilidade à construção, de modo que ambientes possam ser compartimentados de acordo com usos distintos. Modificações de *layout* com esse sistema são mais simples, basta movê-lo, já que este sistema proporciona fácil instalação e manutenção, com total acesso ao entorno, livre de interferências (Figura 26).

Figura 26 – Sistema de vedação vertical divisória tipo articulada



Fonte: <http://www.wallsystem.com.br/2009/unidirecional.htm> - acesso em 17/02/2014

Desta forma, os painéis podem ser movidos de forma simples e rápida, sendo armazenados em qualquer ponto ao longo do vão. Compreende-se que esse sistema permita a elaboração de soluções técnicas de modo flexível, adaptando-se à concepção de diversos *layouts* do espaço didático. Um obstáculo à sua adoção refere-se ao alto custo desta tecnologia.

4.3.3 Vedação horizontal interna

Visando atender às premissas técnicas propostas no presente trabalho, as vedações horizontais internas necessitam ter como requisito a composição de elementos pré-fabricados, preferencialmente utilizando os sistemas mais empregados nas construções racionalizadas e industrializadas no Brasil.

Para melhor entendimento, existem modelos de lajes pré-fabricadas que se caracterizam pelo baixo peso, facilidade executiva e rapidez de montagem, sendo portanto, tecnicamente indicadas para edifícios em estruturas metálicas.

Deste modo, o Quadro 6 relaciona alguns tipos de vedações horizontais, suas características, vantagens e desvantagens, auxiliando no desenvolvimento desta pesquisa.

Quadro 6 – Alguns tipos de vedações horizontais internas existentes no mercado nacional

VEDAÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Pré laje	Pré armada industrialmente	Espaço livre no canteiro de obras
	Redução do consumo de fôrmas	Necessidade da utilização de grua para o transporte das peças pré-moldadas quando em edifícios
	Descarta necessidade de tablados de madeiras	-----
	Diminuição de tempo de execução	-----
	Redução de custos por executar em prazos mais curtos	-----
Painel de concreto celular autoclavado	Diferentes alternativas de sobrecargas	Não é recomendável utilizar os painéis em balanço e nas lajes-piso prever capeamento mínimo: h=2,5 cm
	Sua armação consiste na malha de aço soldado, a qual é protegida contra corrosão	-----
Placa cimentícia	Ideal para construções definitivas, mezaninos e lajes secas, substituindo lajes pré-moldadas, oferece rapidez de execução e agiliza entrega final da obra	Necessita de materiais e elementos que façam parte da composição do seu subsistema, demandando tempo de confecção
	Podem ser usadas tanto externas como internamente	-----
Painel Wall	Possuem elevado desempenho técnico e resistência contra impactos, contusões e fluxos elevados de pessoas	Desconforto devido a vibração do piso
	Bom comportamento quando exposto ao fogo, o revestimento veda a penetração de água, evitando o desgaste pela umidade	-----
Painel OSB	Aplicação direta sobre o viga metálico ou LP Viga I, garantindo a resistência e permitindo a aplicação de diversos revestimentos como carpete, pisos vinílicos, laminados de madeira, entre outros	Possibilidade de patologias por tratar-se de um material que não suporta umidade

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

Dentro do que foi exposto anteriormente, entende-se a opção pelo painel OSB para vedação, devido à sua versatilidade e adaptação ao sistema, facilitaria a execução do processo construtivo do módulo pronto confeccionado em indústria, e possui características singulares de acordo com o projeto, garantindo que o processo construtivo em série ocorra de forma mais prática, objetivo deste trabalho.

O OSB, do inglês *Oriented Strand Board*, que significa Painel de Tiras de Madeira Orientadas, apresenta alta resistência mecânica e rigidez, possuindo diferentes espessuras, de modo a oferecer opções específicas para cada situação de uso.

4.3.4 Vedação horizontal externa

Nas edificações industrializadas, o emprego de telhas metálicas é largamente adotado, com grande variabilidade de produtos no mercado nacional. Do ponto de vista técnico,

destaca-se a telha metálica denominada *sanduíche*, por oferecer um bom desempenho térmico e acústico, leveza na estrutura e flexibilidade nas formas. Tais parâmetros apresentam forte interatividade com a configuração projetual da presente pesquisa, embasando a escolha deste modelo para ser utilizado no sistema modular em aço.

4.3.5 Instalações prediais

No âmbito das instalações prediais nas construções industrializadas, existe forte interface entre instalações prediais e sistemas que compõem a edificação, demandando maior complexidade no desenvolvimento de projetos, de modo que os projetistas destes sistemas necessitam de conhecimento sistêmico sobre o desempenho dos outros subsistemas do edifício, para que a compatibilização possa ocorrer adequadamente. Ou seja, a interdisciplinaridade faz-se fortemente presente nesta etapa projetual.

Deste modo, construções industrializadas podem garantir o adequado funcionamento e operação de todas as instalações, uma vez que estes sistemas são considerados quando da concepção dos projetos de fabricação, e elaborados em série, seguindo detalhadamente o projeto desenvolvido com vistas à qualidade de uso e operação do edifício. Dentro desta sistemática de processo, as eventuais manutenções que se façam necessárias poderão ser executadas mais facilmente dentro de premissas pré-estabelecidas de acesso aos componentes, previstas e, sendo o caso, informadas no manual do usuário.

Neste contexto, para Paula (2009):

O projeto como serviço, é compreendido como sendo o conjunto de todas as atividades que tornam possível a geração do projeto-produto, com vistas a conferir confiabilidade e eficiência aos processos de execução, manutenção, uso e operação dos sistemas projetados, pois estão em permanente contato com o usuário final durante toda a sua vida útil.

4.3.5.1 O enfoque sistêmico

Dentro do enfoque da presente pesquisa, torna-se importante abordar a questão do aprimoramento de soluções para as interfaces físicas que envolvem os projetos de instalações hidráulicas e sanitárias, elétrica, telefonia, segurança, entre outras, como parte do processo de integração dos subsistemas do edifício, através de um melhor detalhamento, implicando em

maior compatibilidade que, por sua vez, também implica em melhor desempenho de todos os sistemas envolvidos.

Trabalhando-se dentro destas condições, para Boni (2010), propicia-se maior simplicidade executiva, como também uma melhor manutenibilidade, acessibilidade, prolongamento da vida útil e benefícios econômicos na implantação desses sistemas.

Cover (2012) corrobora tal afirmação em sua pesquisa:

Um projeto deve ir além da aplicação das normas prescritivas respectivas a cada sistema, mas também englobar conceitos como durabilidade, detalhamento executivo, manutenibilidade e atendimento às necessidades do usuário a longa da vida útil do sistema, sempre englobando uma visão holística da edificação, de modo a considerar as interfaces com os outros subsistemas constituintes.

Para Gonçalves (2013), do mesmo modo que nenhuma parte do corpo humano pode trabalhar isoladamente, nenhum subsistema do edifício pode funcionar sozinho. Em ambos os casos uma perfeita integração, de forma sistêmica, é necessária para o bom funcionamento dos mesmos. Tal colocação adequa-se mais fortemente quando se consideram as instalações prediais, que possuem uma relevante interface com praticamente todos os subsistemas que compõem uma edificação.

Dessa forma, entende-se que o enfoque sistêmico é sem dúvida fator condicionante para a obtenção de melhor qualidade nos projetos de instalações, e no desempenho para o qual foram projetados, dentro de uma visão sistêmica. Isto porque estes subsistemas devem ser abordados sem ser conceitualmente desvinculados do macro sistema ao qual pertencem, no caso, o edifício. A Teoria de Sistemas²⁰, explica que o enfoque sistêmico apresenta-se através de um modelo sintético na abordagem dos problemas, sem desmembrá-los funcionalmente do sistema ao qual pertencem. Desse modo, Boni (2010), indica que os problemas devem ser previstos e solucionados de forma integrada nos projetos, não como sistemas isolados, devendo ser abordados com vistas ao edifício do qual fazem parte, e também englobando conceitos de desempenho, atendendo às premissas que atendam às solicitações do usuário.

²⁰ A Teoria geral de sistemas tem como objetivo analisar a natureza dos sistemas e a interrelação entre suas partes, assim como a interrelação entre eles em diferentes espaços, e ainda, as suas leis fundamentais. Fonte: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/temas530/melissa.htm>. Acesso em outubro de 2013.

4.3.5.2 A modernização tecnológica no processo de produção das instalações

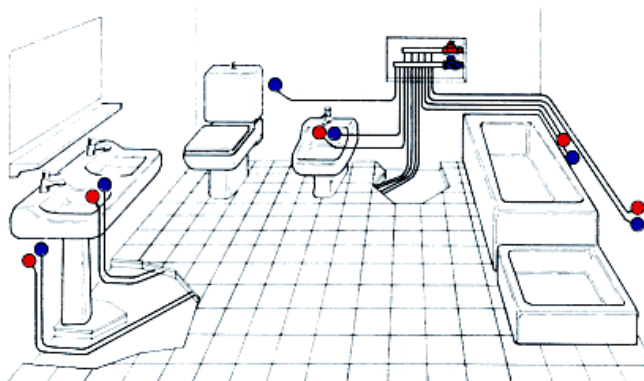
A introdução e difusão de inovações tecnológicas na indústria da construção civil é semelhante a qualquer outro setor industrial. No entanto, o setor da construção tem como peculiaridade a resistência, por parte dos envolvidos, em assumir os riscos da incerteza de mudar (ANDRADE, 2004). Desse modo, sistemas tradicionais têm maior dificuldade de serem abandonados e substituídos, ainda que vantagens sejam possíveis.

Porém, frente a um mercado caracterizado por rápidas mudanças no quadro mundial, Aro (2004) afirma que a introdução de inovações tecnológicas é estratégia necessária para tornar a empresa competitiva frente a seus concorrentes, alcançando maior eficiência nas suas atividades de produção. Desse modo, proporcionando maior lucratividade, significativa melhoria da qualidade final do produto e, conseqüentemente, de vida de seus usuários, além da oferta de produtos com qualidade superior a um custo inferior.

Entretanto, no momento de concepção dos projetos destes sistemas, existe uma tendência dos autores em utilizar recursos tradicionais, como as instalações de tubulações com características rígidas. Assim, opções como utilização de tubos flexíveis de Polietileno Reticulado (PEX)²¹ e a retirada das instalações de dentro da alvenaria através dos *shafts* (dutos), ainda são exceção.

Com a necessidade de sistemas com tubulações mais flexíveis, Aro (2004) apresenta o PEX, com conexões rápidas e econômicas, semelhante ao um sistema de irrigação arterial. A necessidade de altos investimentos em equipamentos para sua produção envolve domínio tecnológico, o que implica em alta qualidade nos produtos ofertados. A Figura 27 apresenta o sistema com tubos PEX instalado.

Figura 27 – Sistema tubos flexíveis de Polietileno Reticulado - PEX



Fonte: <http://www.metalica.com.br/sistema-pex-polietileno-reticulado>. Acesso: novembro de 2013

²¹ Fonte: <http://www.pexdobrasil.com.br/> - acesso outubro, 2013.

Para Aro (2004):

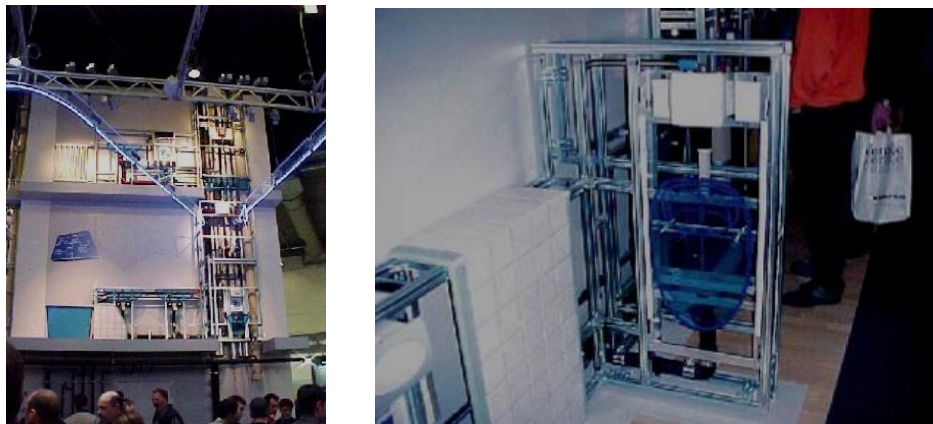
O conceito primordial é a flexibilidade e acessibilidade total às instalações em caso de eventual manutenção, evitando as quebras e seus consequentes prejuízos, em um processo semelhante ao das instalações elétricas convencionais. A instalação de tubos que correm por um tubo guia, ou camisa, possui a função de protegê-los, criando uma camada de ar que complementa o isolamento térmico e permite sua substituição sem quebras na alvenaria, azulejo, etc.

Esta flexibilidade que o sistema PEX fornece para as instalações pode ser potencializada pelo uso dos *shafts*, caracterizados como dutos de passagem as instalações. Sua utilização minimiza questões como necessidade de quebras na alvenaria, e por consequência, reduz a geração de entulho.

Os “*Shafts Verticais*” já estão de certa forma consolidados na produção das instalações, porém, os ramais para abastecimento dos pontos de consumo continuam sendo executados através do embutimento na alvenaria, e o esgoto corre por tubulações alocadas em forros, do pavimento imediatamente inferior.

Existem movimentos, principalmente na Europa, segundo Aro e Amorim (2004), para emprego dos *shafts* também na horizontal através de um sistema denominado “*pré wall*” ou bancada técnica (Figura 28). Neste sistema, ao invés dos elementos estarem internos ao fechamento, encontram-se fixados na sua frente, interferindo minimamente, tornando esta concepção mais simples, flexível, barata, de rápida execução e manutenção.

Figura 28 – Perfis metálicos montados no local, utilizando conexões rápidas de conexão e fixação



Fonte: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2007>. Acesso: novembro de 2013

Dentro desta tratativa, a indústria disponibiliza uma série de elementos capazes de

atender necessidades construtivas com qualidade, racionalidade e tecnologia. Com o surgimento do plástico leve, de alta resistência mecânica e grande maleabilidade, tornou-se possível a construção de blocos únicos, constituídos basicamente por um único compartimento, como exemplo, para banheiro, área de serviço, cozinha, entre outros, produzido totalmente na indústria, dotado de todos os equipamentos, sendo necessária apenas sua conexão aos sistemas de água, esgoto, energia e exaustão.

5 ESTUDO E CONCEPÇÃO DO SISTEMA MODULAR EM AÇO

Este Capítulo apresenta o desenvolvimento projetual, com base em parâmetros técnicos abordados anteriormente, de uma modulação padrão, incluindo aspectos projetuais, dimensionais e de logística. O produto final é a apresentação de um módulo base, incluindo seus principais subsistemas.

5.1 Definição dos sistemas construtivos

A modulação projetual permite, por exemplo, a padronização de cômodos de maneira a ocorrer uma repetição dos vãos livres entre pilares, o que proporciona ganho de produtividade. No entanto, para Pinho (2005), é lógico que tal padronização só tem sentido se atende ao projeto arquitetônico, sem podar a criatividade ou prejudicar a funcionalidade da edificação quando concluída.

Os conceitos de modulação e industrialização, quando definidos como base de um projeto, devem direcionar o projeto no sentido de adotar a maior quantidade possível de sistemas construtivos constituintes da edificação, dentro da disponibilidade tecnológica existente. Deste modo, foi proposta a premissa principal deste trabalho, composta pelos subsistemas adotados, conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Resumo da escolha dos sistemas construtivos

SISTEMA	DESCRIÇÃO
Fundações	Radier
Estrutura	Perfis comerciais de chapa de aço formados a frio
Vedação horizontal laje / piso	Painel laminados em madeira
Vedação vertical externa	Painel pré-fabricado de concreto
Vedação vertical interna	Sistema <i>Dry wall</i> e painel removível
Cobertura	Telhas metálicas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

A proposta de fundações com *radier* considerou a facilidade executiva associada carga relativamente baixa, sendo sua adoção difundida neste tipo de estrutura. Dentro da opção por um sistema estrutural modular em aço desenvolvido, propõe-se a utilização de perfis

comerciais de chapa de aço formados a frio, sendo suas ligações preferencialmente parafusadas, tanto para facilitar a montagem, como para o caso de uma eventual desconstrução, permitindo o reuso das peças posteriormente em outras estruturas. Desse modo, são propostos no projeto produtos disponíveis na indústria nacional, que atendam às Normas Técnicas em vigência.

As vedações internas, externas e de piso foram propostas com base em componentes industrializados, dentro da temática proposta na pesquisa, objetivando aspectos como rapidez executiva, facilidade de montagem e manutenção, e atendimento aos parâmetros esperados de uso. A cobertura utiliza telhas metálicas por se tratar de padrão largamente utilizado em edificações para fins didáticos, pelo baixo peso, capacidade de isolamento térmico e acústico e alta durabilidade.

5.2 Logística

Dentro do processo executivo industrial, o módulo é levado da fábrica para instalação na obra em partes ou montado, acarretando, neste caso, transporte especial na zona urbana, o que pode ser um problema dentro da logística do processo. Como solução, poder-se-ia adaptar o tamanho do módulo em função das dimensões dos caminhões sem restrição de tráfego. De outro modo, o mesmo poderia ser transportado parcialmente montado, o que implicaria sua montagem com mão de obra treinada.

A concepção de projeto de um edifício modular deve inevitavelmente considerar a questão logística anteriormente à definição da modulação empregada. O planejamento do transporte horizontal e vertical torna-se importante na análise de viabilidade do empreendimento, por ser o fator preponderante da produtividade e velocidade da obra.

Transporte pode ser definido como o traslado dos módulos pré-fabricados das fábricas até o local de montagem. Pode ser ferroviário, marítimo ou rodoviário, sendo este último o mais adotado no País, executado através de caminhões, carretas e carretas especiais (EL DEBS, 2000).

Conforme Pinho (2005), a escolha do meio de transporte implicará determinadas limitações das peças da estrutura, tanto a respeito de seus pesos individuais e peso total, quanto pelas dimensões máximas e do volume disponível. Por exemplo, problemas relativos ao trajeto de transporte, como limitações quanto à largura, altura e pesos máximos permitidos sobre uma ponte rodoviária podem inviabilizar determinadas soluções de projeto.

5.2.1 Transporte vertical

A análise do planejamento da montagem dos módulos é essencial ao levantamento de informações sobre as características dos equipamentos de transporte vertical mais viáveis para cada obra, evitando percalços na etapa de montagem, como problemas que inviabilizem o transporte para seu local definitivo, devido à incompatibilidade com as características do equipamento.

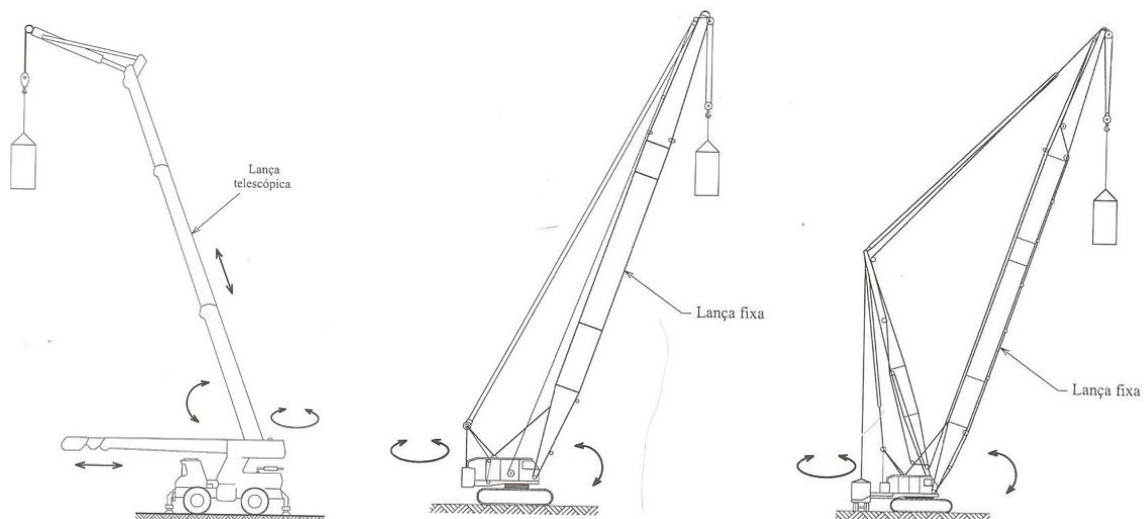
A escolha do tipo de guindaste mais adequado à obra deve ser feita o mais cedo possível, de preferência na etapa de elaboração dos projetos, pois, além de influir na produtividade da montagem dos módulos, irá interferir no custo do processo de produção como um todo.

A montagem dos módulos prontos se constitui em uma série de operações realizadas basicamente, pelo equipamento de montagem. Segundo El Debs (2000), esses equipamentos empregados na montagem podem ser divididos nos seguintes tipos: guindaste móvel e guindaste de torre (grua).

Para Pinho (2005), as gruas se caracterizam por uma torre vertical na qual se apoia uma lança horizontal. Os guindastes mais comuns são formados por um veículo de deslocamento sobre o solo, do qual parte uma lança que se projeta para cima formando variados ângulos com a horizontal.

Os guindastes móveis utilizam pneus ou esteiras (Figura 29). Podem ser divididos ainda em guindastes com lança fixa ou telescópica. Apresentam como característica principal grande mobilidade, sendo largamente utilizado na construção civil, principalmente os guindastes com capacidades de 20 a 50 toneladas. A restrição a seu uso se limita a casos de edifícios altos (EL DEBS, 2000).

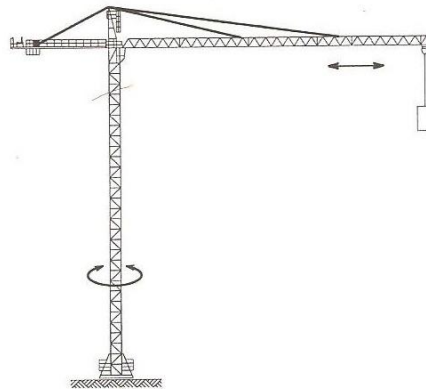
Figura 29 – Guindastes móveis, sobre pneu e esteira



Fonte: El Debs, 2000

Os tipos de guindaste de torre, normalmente utilizadas em edifícios de maior altura, podem ser fixas ou móveis (Figura 30). Trata-se de equipamento utilizado para a elevação e a movimentação de cargas e materiais pesados. Desse modo, o peso das peças é dado fundamental para a definição da tipologia de equipamento mais adequada.

Figura 30 – Guindaste de torre (Grua)



Fonte: El Debs, 2000

Outro aspecto analisado por Caiado (2005) é relativo às condições de apoio, ou seja, sobre qual tipo de terreno o equipamento estará apoiado, pois o guindaste deve estar sempre em nível e apoiado sobre terreno firme.

Portanto, se o canteiro de obras apresentar espaço suficiente para circulação e movimentação, tanto do guindaste como de sua lança, além de acesso para entrada dos mesmos em terreno firme e compactado, o guindaste móvel pode ser uma alternativa tecnicamente interessante.

Desse modo, pode-se concluir que há possibilidade de utilização tanto dos guindastes móveis quanto os fixos (gruas) para a montagem dos módulos nos edifícios (Figura 31), mas essa escolha depende de análises das condições do canteiro de obras, das características de cada equipamento e dos recursos financeiros direcionados para alocar tais equipamentos.

Figura 31 – Exemplo instalação de módulo pronto com os fechamentos



Fonte: <http://www.verdesolar.com/Pages/Angola.aspx> - acesso em 19/03/2014

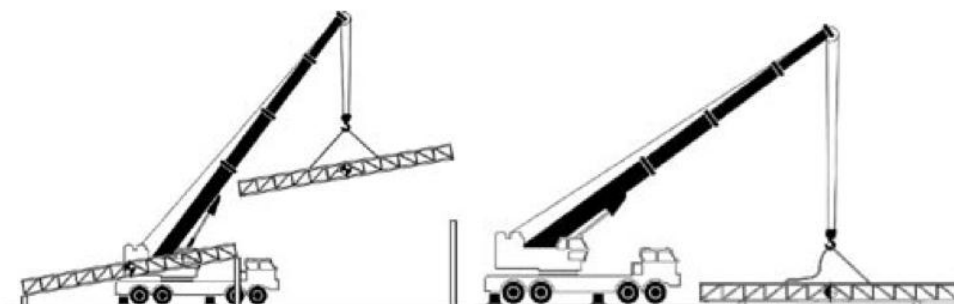
No caso específico do presente estudo, as cargas relativamente baixas dos módulos, como demonstrado nos Itens posteriores, e a altura final do edifício abaixo de 12,00 m, permitem maior liberdade de escolha dos equipamentos de transporte vertical, limitando-se hipoteticamente às disponibilidades executivas e características do terreno a receber a implantação.

5.2.2 Considerações sobre o içamento das peças

O detalhamento das condições de montagem, englobando o aspecto de içamento, deve ser considerado previamente, ainda na etapa de projeto, quando opta-se pela execução de um sistema modular, antecipando-se a contratempos que poderiam impactar negativamente na exequibilidade, comprometendo prazos e custos, ao demandar soluções emergenciais ou retrabalhos.

Sobre este aspecto, Pinho (2005) menciona que as peças devem estar estabilizadas, ao serem suspensas na posição que ocuparão. Por isso, o içamento e o deslocamento das peças suspensas sempre deverão ser executados de forma a garantir a estabilidade do conjunto. A partir do momento que uma peça está suspensa por um guindaste, ambos formam um sistema estrutural submetido a cargas estáticas e dinâmicas. No entanto, não se deve abandonar a condição ideal de operação, na qual se evita de todas as formas a ocorrência de impactos e forças laterais.

Pinho (2005) complementa ao analisar os ganchos de içamento, definindo que tais peças permitem giros de 360° em torno de um eixo vertical central. Peças içadas na vertical não apresentam problema de rotação vertical. No caso de peças horizontais, este grau de liberdade possui uma limitação: a peça ao girar poderá se chocar com algum obstáculo, como por exemplo, outras peças já montadas, com o próprio equipamento, ou mesmo com edificações vizinhas. O ideal é a execução de içamento de peças horizontais com a mesma face voltada para o equipamento, desde a posição de repouso sobre o solo até a posição final na estrutura (Figura 32). Isto poderá exigir um estudo prévio sobre a posição em que a peça deva ser descarregada sobre o solo, ou mesmo a posição relativa do equipamento e da estrutura.

Figura 32 – Montagem da estrutura inclinada e montagem com cabos de comprimentos diferentes

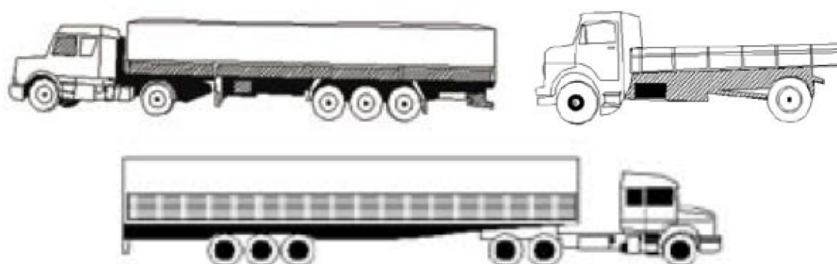
Fonte: Pinho, 2005

Em suma, o pré-dimensionamento da estrutura, a compatibilização das interfaces dos subsistemas, e a definição dos equipamentos de transporte horizontal e vertical, são componentes que devem ser criteriosamente estudados e definidos na etapa de elaboração dos projetos e da concepção do empreendimento, para que seja alcançado todo o potencial de aumentar a velocidade de execução do edifício, e incrementar os níveis de industrialização do processo. No caso de montagem em módulos, como o proposto nesta pesquisa, ocorreria o içamento de peças na horizontal.

5.2.3 Transporte horizontal (terrestre)

Em uma definição mais restrita, o tema do presente trabalho é direcionado para edifícios didáticos. Desse modo, para efeito de análise, foi delimitado o transporte de carga horizontal para área urbana e estradas nacionais, sendo estas as tipologias mais comuns.

Os tipos de veículos de transporte de carga que possuem facilidade de tráfego e manobra nas áreas urbanas brasileiras (Figura 33), segundo a Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT) são: caminhão com eixo duplo na carroceria, conhecido como *truck*, com capacidade ± 15 t e caminhão com eixo simples na carroceria, conhecido como *toco*, com capacidade ± 8 t.

Figura 33 – Carreta convencional, caminhão toco e tipo truck

Fonte: Pinho, 2005

De acordo com as dimensões permitidas no tráfego urbano, na Resolução N.º 12/98 do CONTRAN, as dimensões autorizadas para veículos, considerados normais, são as seguintes:

- largura máxima: 2,60 m;
- altura máxima com relação ao solo: 4,40 m;
- comprimento total de veículos simples: 14,00 m (exemplo: caminhão trucado);
- veículos articulados: 18,15 m (exemplo carreta).

5.3 Definição modular

Para a definição métrica dos módulos, foram consideradas as dimensões máximas elencadas anteriormente, e adotado o pressuposto de que os módulos poderiam ser executados parcial ou totalmente em obra, ou chegarem já montados, incluindo seus subsistemas. Independente da opção, o requisito em relação a este item é que o transporte possa ser feito em vias normais.

Estudou-se uma relação métrica na qual fosse possível tirar o máximo do aproveitamento em relação à flexibilidade construtiva, voltada para o espaço didático, dentro da modulação existente no Edifício AT7, definindo-se o módulo pronto (tipologia) com as seguintes dimensões:

- 10,00 m (comprimento);
- 2,50 m (largura);
- 3,50 m (altura).

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

Portanto, analisando os sistemas de transporte, conclui-se que os caminhões tipo *truck* e *toco* são aptos a transportar o módulo dentro da malha urbana de uma cidade, sendo estas as opções adotadas dentro da abordagem proposta neste estudo.

As relações métricas da solução adotada atendem à modulação necessária à disposição horizontal dos módulos, permitindo não apenas a adaptação da edificação em estudo, o Edifício AT7, mas também permitindo combinações modulares que resultem em edificações destinadas a outras finalidades.

5.4 Estrutura

Em relação ao sistema estrutural adotado, foram propostos aspectos a serem atendi-

dos, apresentadas no Quadro 8, para a função de elementos balizadores do desenvolvimento processual.

Quadro 8 – Aspectos para concepção de projeto modular em aço

ASPECTO	REQUISITOS
Confecção	Produtividade Simplificação da produção
Montagem	Simplificação da montagem
Soldagem	Projeto de produção
Ligações parafusadas	Alta produtividade
Perfis	Disponibilidade no mercado
Transporte	Antecipação de possíveis contratempos Definição do maquinário adequado
Compatibilização	Adequação aos demais subsistemas Intercambialidade de peças

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Para o desenvolvimento do projeto, foi pré-calculada e proposta uma estrutura metálica modular constituída por perfis de chapa fina de aço formados a frio. Tais perfis são obtidos por dobramentos, em prensa dobradeira, de lâminas recortadas de chapas de tiras, ou por perfilagem, em mesa de roletes ou matrizes rotativas, a partir de bobinas laminadas a frio ou quente, sendo ambas as operações realizadas com o aço a temperatura ambiente.

Rezende (2005) explica que a simplicidade do processo de fabricação dos perfis de aço formados a frio, permite a obtenção de uma grande variedade, os quais podem ter dimensões pré-estabelecidas, no caso de perfis padronizados, ou projetados com dimensões que atendam situações particulares previstas em projeto, sem acarretar grandes elevações no custo final da obra.

Fato que, para Freitas e Crastro (2006), evidenciam vantagens fundamentais destes perfis, como grande versatilidade, tanto na fabricação de seções de formas variadas, e que podem ser adaptadas a um grande número de aplicações, quanto na montagem de estruturas, pois se tratam de elementos extremamente leves se comparados aos tradicionais perfis laminados e soldados.

Desse modo, no Quadro 9 foram definidas as seções transversais para a concepção estrutural dos módulos.

Quadro 9 – Seções transversais adotadas

ELEMENTO	SEÇÕES	CARACTERÍSTICAS
Pilares	Perfil “U” duplo (caixa) 2Ue300x70x24x4,75mm	Estruturação vertical
Vigas inferiores (10,0m)	Perfil “U” duplo (caixa) 2Ue300x70x25x4,75mm	Estruturação horizontal, alta rigidez na flambagem lateral por torção, base de vigamento de piso/forro
Vigas inferiores (2,50m)	Perfil “U” simples Ue150x120x20x2mm	Acréscimo de rigidez ao módulo, base para piso e forro
Vigas superiores (10,0m)	Perfil “U” simples Ue150x120x20x2mm	Estruturação vertical superior, estruturação de módulos sobrepostos
Vigas superiores (2,50m)	Perfil “U” simples Ue150x120x20x2mm	Travamento, base de fechamentos laterais, estruturação de módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

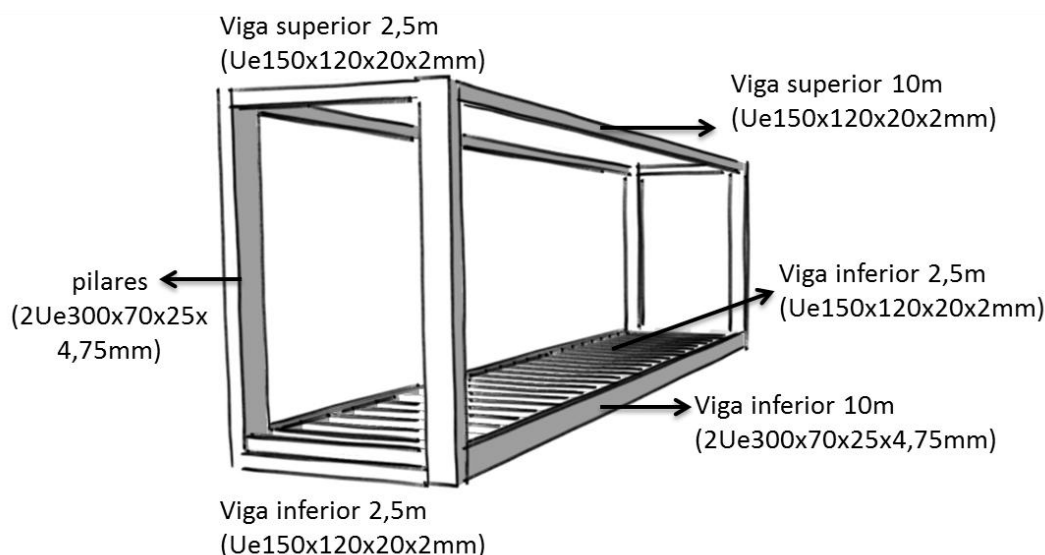
Neste caso, foi adotado o aço-carbono ASTM A36, pelo fato do mesmo apresentar alta disponibilidade no comércio nacional, não impossibilitando outras opções.

Para o desenvolvimento e proposta do módulo, foram considerados os seguintes fatores técnicos:

- Vão livre: a opção por uma dimensão principal de 10,0 metros, permite a utilização do sistema em ambientes que demandem áreas livres do porte de salas de aulas, laboratórios didáticos e pequenos auditórios, e outras tipologias, comerciais e mesmo habitacionais;
- Largura: a largura de 2,5 metros permite que sejam projetadas circulações sem a necessidade de sistemas de fechamento, além de ser subdivisão da medida principal;
- Logística de transporte: permite o uso de meios de transporte usuais (caminhões *truck*), tanto para o a peça montada, parcialmente montada ou desmontada, para execução em obra;
- Montagem: permite maior flexibilidade e rapidez na etapa executiva, através da montagem mecanizada;
- Padronização: permite alta produtividade, alta adaptabilidade a projetos diversos, queda na necessidade de detalhamento projetual devido à alta repetibilidade de soluções;
- Fechamentos: adoção de sistemas industrializados de fechamento vertical e horizontal, de alta produtividade, manutenibilidade e maleabilidade projetual;
- Instalações: soluções tecnológicas e inovadoras, adaptadas aos sistemas construtivos industrializados;
- Normatização: baseando-se em ABNT NBR 15253:2014, ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 8800:2008.

Expostas as principais premissas técnicas, e definidos os tipos de perfis e as características do tipo de aço adotado (ASTM A36), é apresentada na Figura 34 a modulação padrão desenvolvida²².

Figura 34 – Perspectiva módulo: indicação dos componentes



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Nesta etapa já é possível proceder ao pré-dimensionamento estrutural dos módulos, considerando as ações decorrentes de piso, fechamentos e cargas de serviço. Em relação à sobreposição, foi considerado como de carga o empilhamento de três módulos. A ação do vento será resistida por contraventamentos previstos verticais convenientemente posicionados no edifício.

As ações relativas ao peso próprio da estrutura do módulo são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 – Seções utilizadas no módulo e respectivos pesos

Cálculo peso próprio Módulo Metálico						
Nº	Elemento	Dimensão	Qtidade	Perfil/Descrição	Peso próprio	Subtotal (kg)
1.	Pilares	3,30	4,00	2 Ue 300x70x25x4,75mm	36,25	478,50
2.	Vigas inferiores 2,5m	2,50	26,00	Ue 150x120x20x2mm	9,30	604,50
3.	Vigas inferiores 10,0m	10,00	2,00	2 Ue 300x70x25x4,75mm	36,25	725,00
4.	Vigas superiores 2,50m	2,50	4,00	Ue 150x120x20x2mm	9,30	93,00
5.	Vigas superiores 10,0m	10,00	2,00	Ue 150x120x20x2mm	9,30	186,00
Peso estrutura metálica (kg) (A)						2.087,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

²² Tipos de perfis definidos, fonte: Catálogo de Produtos, TECNOFER S.A. Indústria e Comércio.

O quadro 11 apresenta o peso dos componetes complementares, laje, forro e fechamento relativo a um módulo. Neste caso considerando que o módulo tem fechamento na 4 faces.

Quadro 11 – Peso dos sistemas de fechamento

Pesos fechamento, piso e forro						
6.	Base para piso + piso vinílico	25,00	1,00	Piso laminado em madeira	22,00	550,00
7.	Forro	25,00	1,00	Forro acústico removível	13,00	325,00
8.	Revestimento paredes	90,86	1,00	Placa cimentícia	40,80	3.707,25
Peso acabamentos (kg) (B)						4.582,25

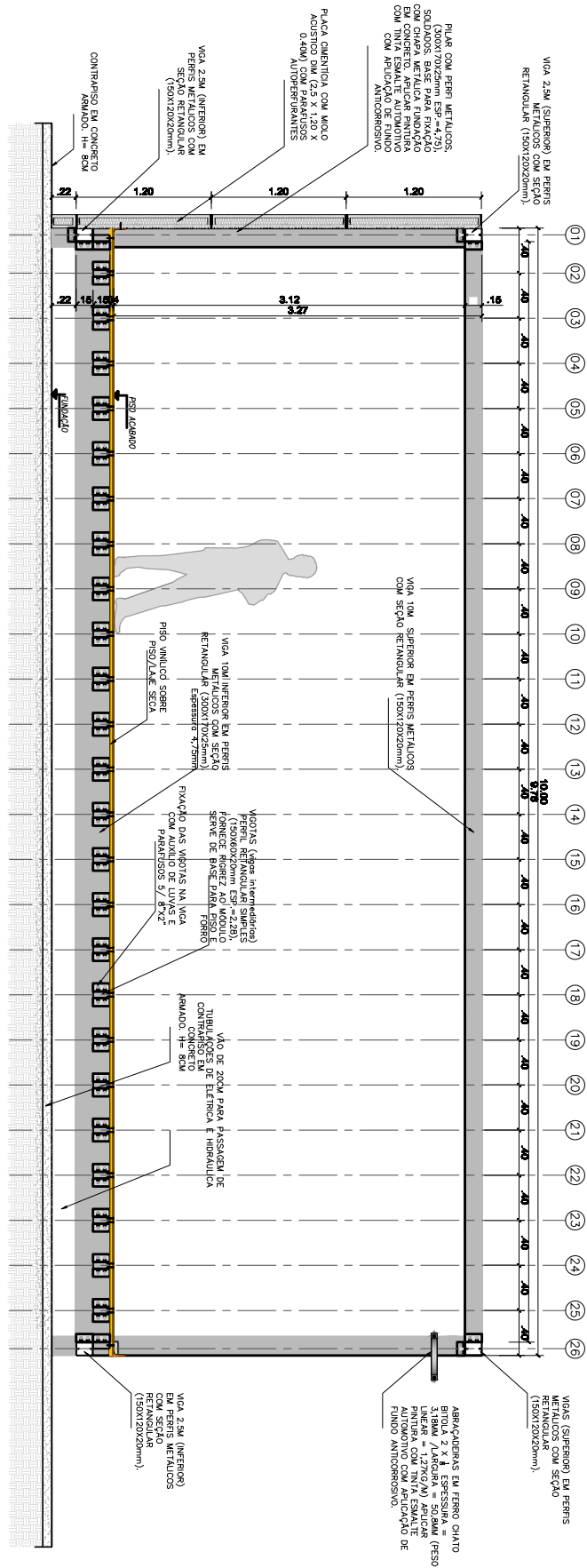
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Portanto, de acordo com os quadros 11 e 12 o módulo somente com a estrutura tem um peso de 2,09 toneladas. Caso se queira montar o módulo já com lajes, forro e fechamento o peso final seria de 6,67 toneladas.

Importante salientar que este peso final corresponde ao caso mais crítico do ponto de vista de carregamentos, já que nela adotou-se o fechamento lateral completo (quatro faces), de modo que qualquer outro módulo teria peso similar ou abaixo deste, devido às aberturas necessárias para as adequações arquitetônicas.

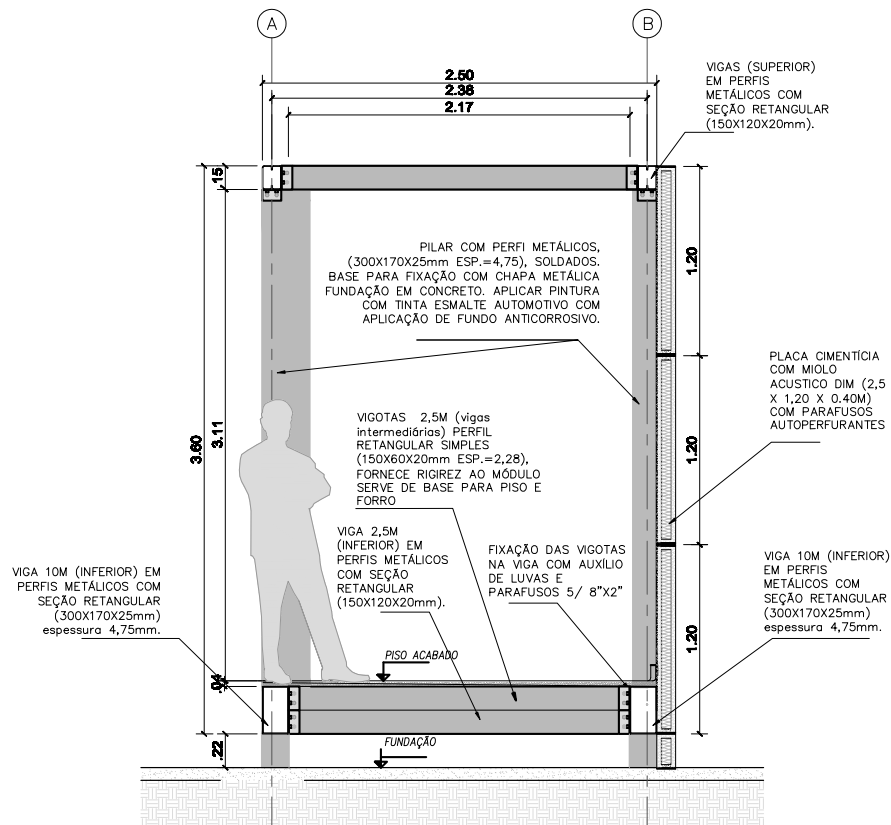
As figuras 35, 36 e 37 que apresentam, respectivamente, a planta baixa da estrutura modular e cortes longitudinal (AA) e transversal (BB). As especificações técnicas do sistema de piso foram consideradas no espaçamento dos componentes, resultando em perfis distanciados entre eixos com 40 cm. No caso de sobreposição de módulos, a mesma estrutura suporte do piso passa a estruturar o forro abaixo. As peças estruturais principais, incluindo pilares, são formadas por dois perfis "U" de altura 300 mm, em “caixa”, enquanto os perfis de estruturação das placas externas de fechamento são de 150 mm de altura.

Figura 36 – Corte AA do módulo



Fonte: Elaborado pelo autor, 201

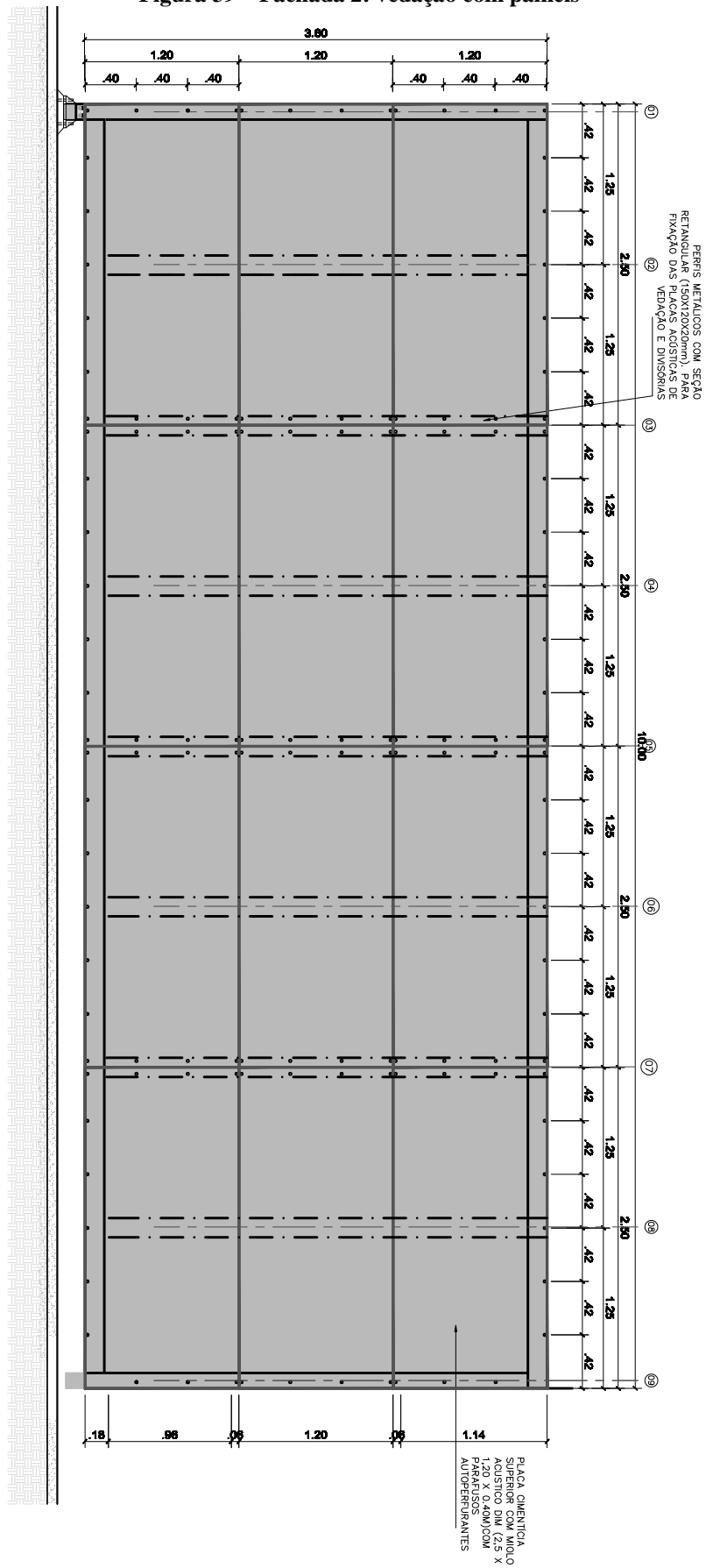
Figura 37 – Corte BB do módulo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

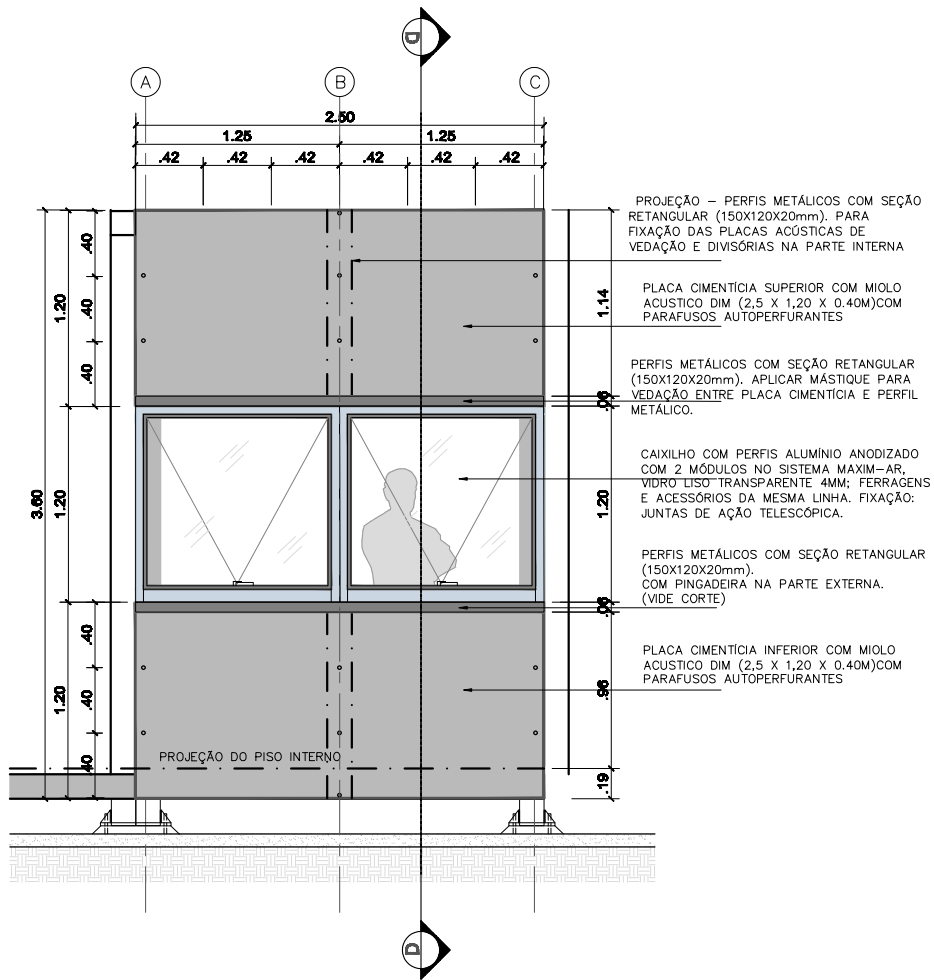
As figuras 38, 39 e 40 apresentam a planta baixa de piso com caixilhos do módulo, e respectivas fachadas, nas quais é possível observar a caixilharia e os painéis laterais de vedação externa. Os perfis de suporte da vedação externas possuem espaçamento de 1,25 m, suficientes para estruturar as placas cimentícias e os caixilhos, de modo que a modulação garanta liberdade para o projeto de acordo com a combinação dos módulos.

Figura 39 – Fachada 2: vedação com painéis



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

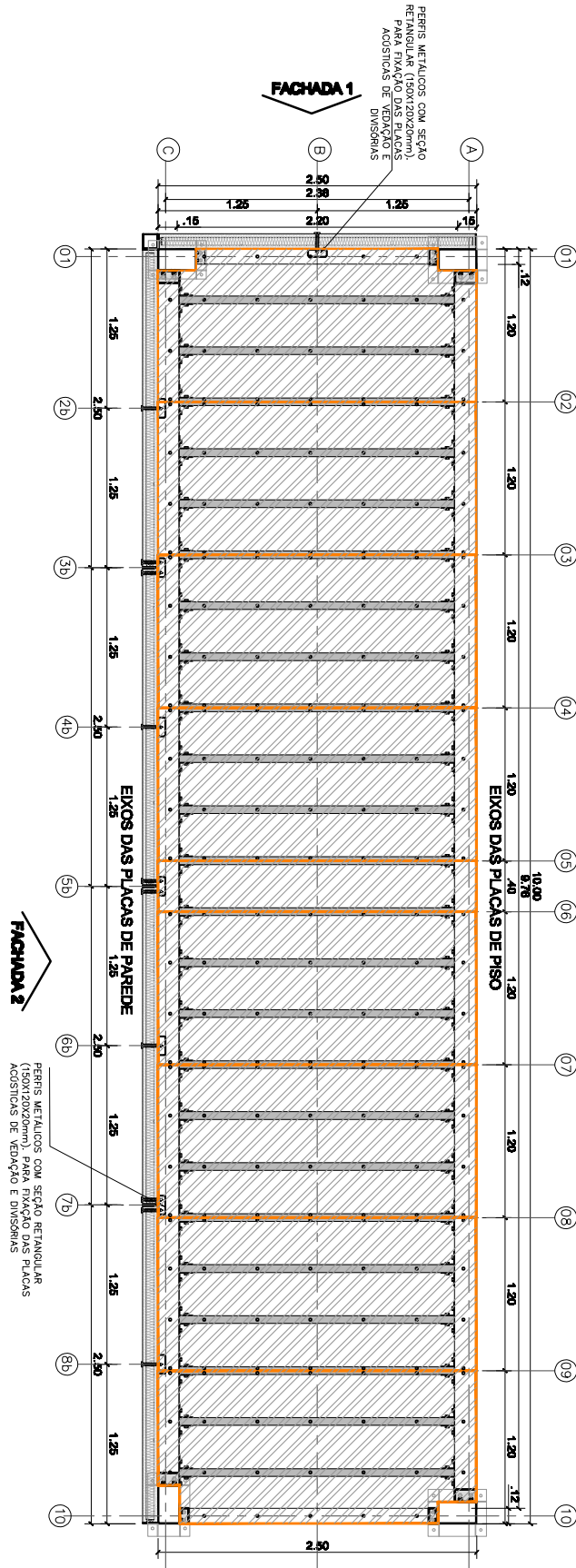
Figura 40 – Fachada 1: vedação caixilhos e painéis



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

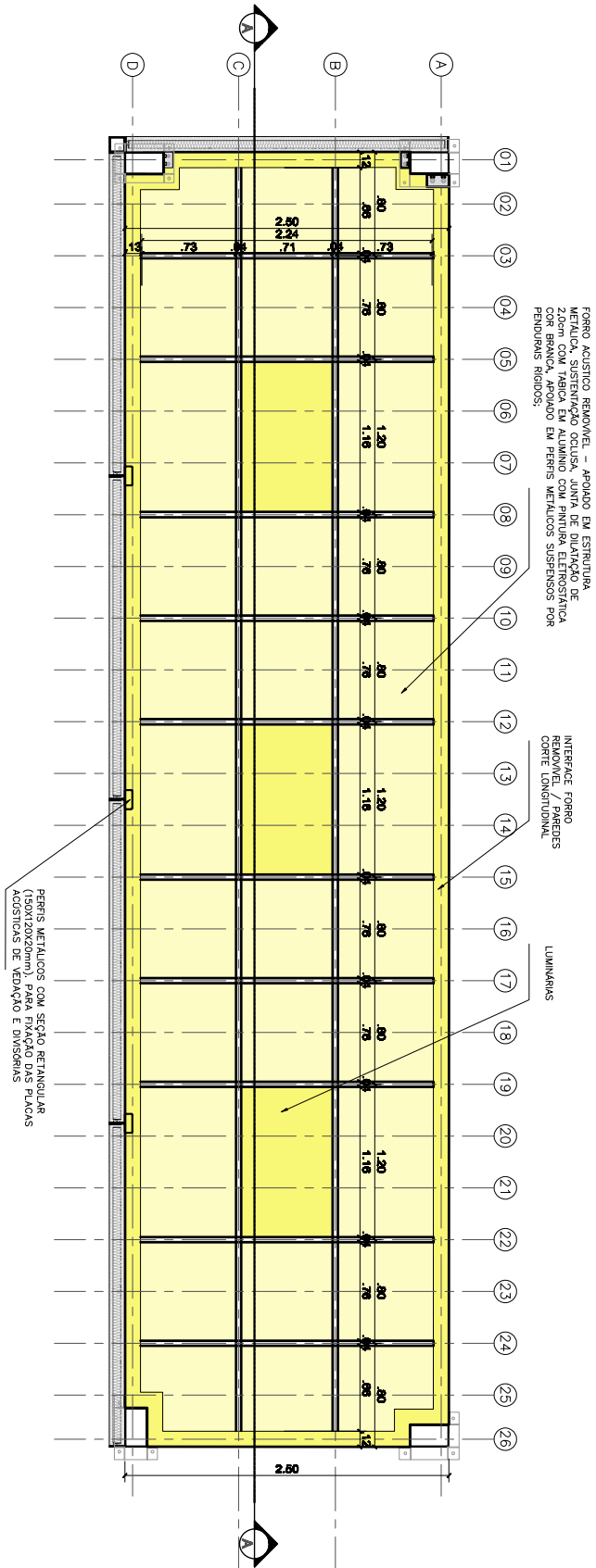
As figuras 41 a 43, apresentam a estruturação do piso, a planta e corte do forro, e por fim, as Figuras 44 a 47 definem as plantas e fachadas do contraventamento. Neste caso, foi adotado contraventamento em “V” no sentido longitudinal, em “W” e tipologia “X” nas laterais.

Figura 41 – Planta estrutura do piso e painéis de vedação



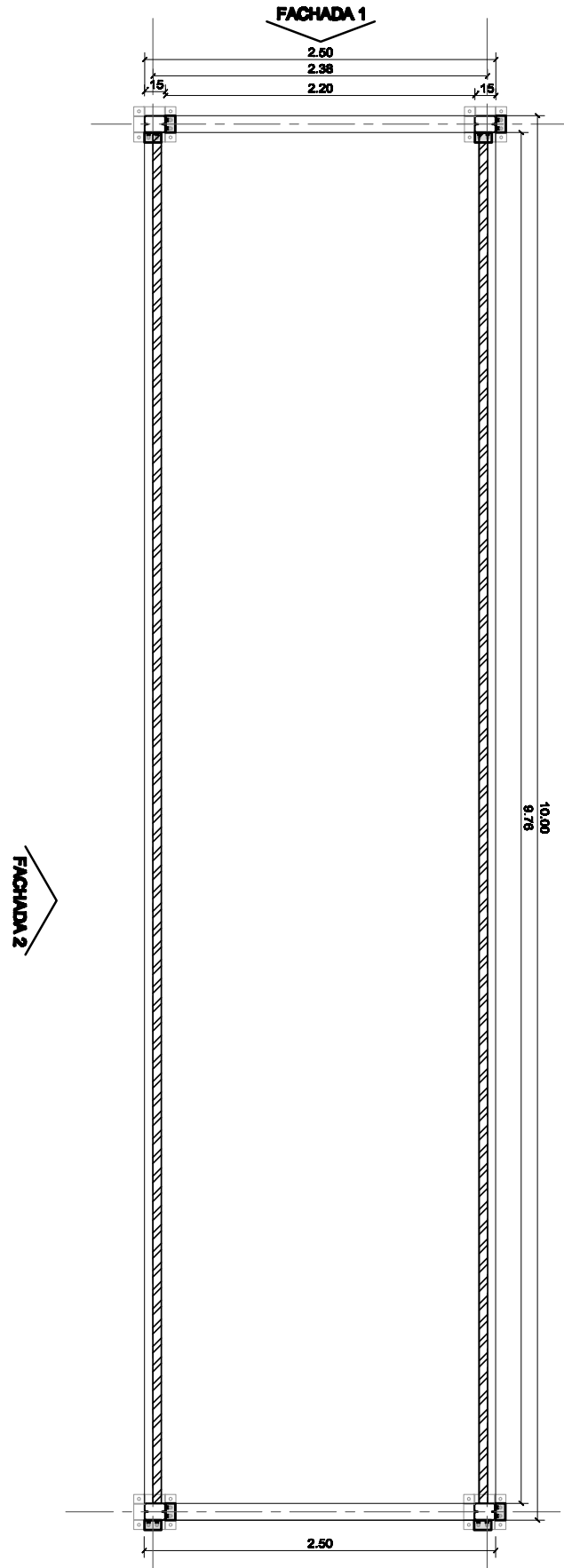
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 42 – Planta de forro



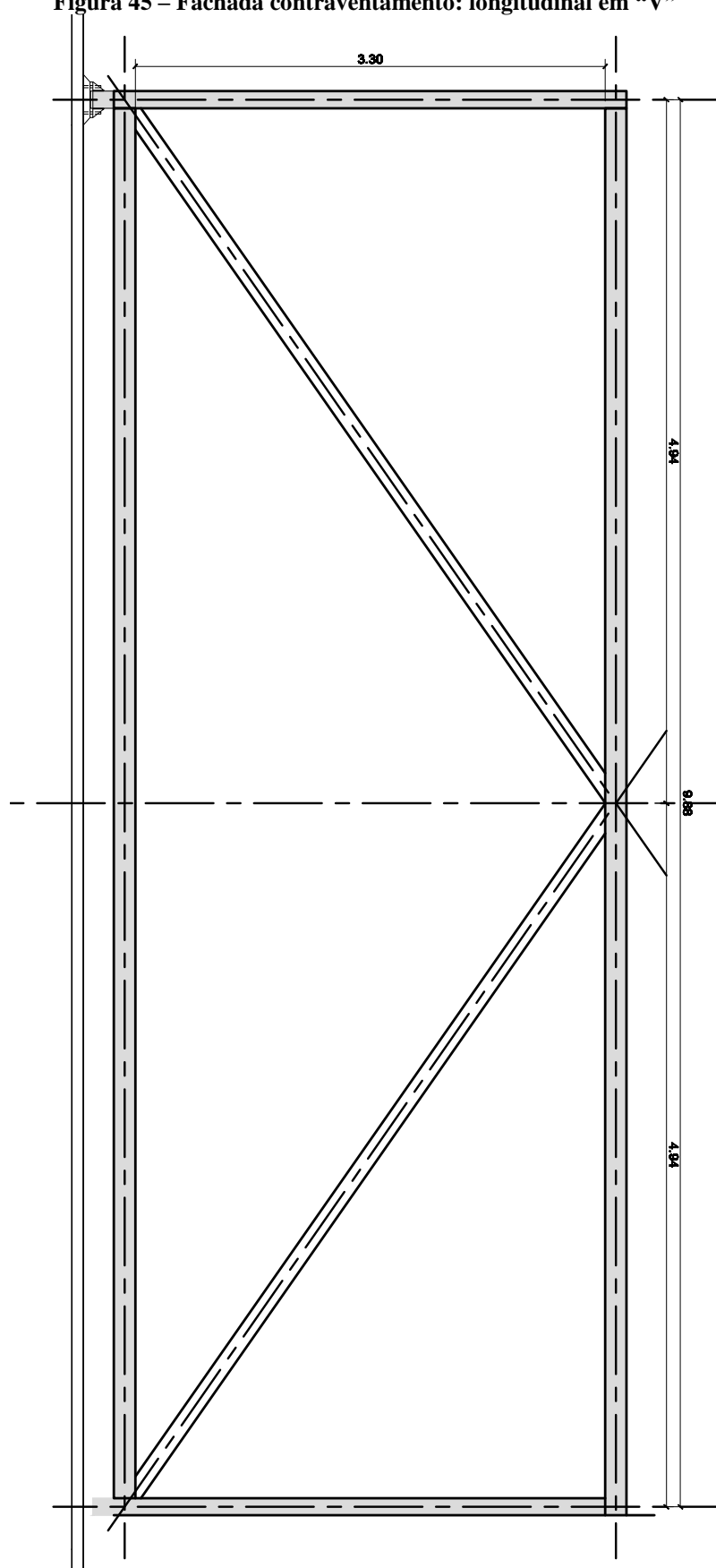
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 44 – Planta módulo com contraventamento: longitudinal



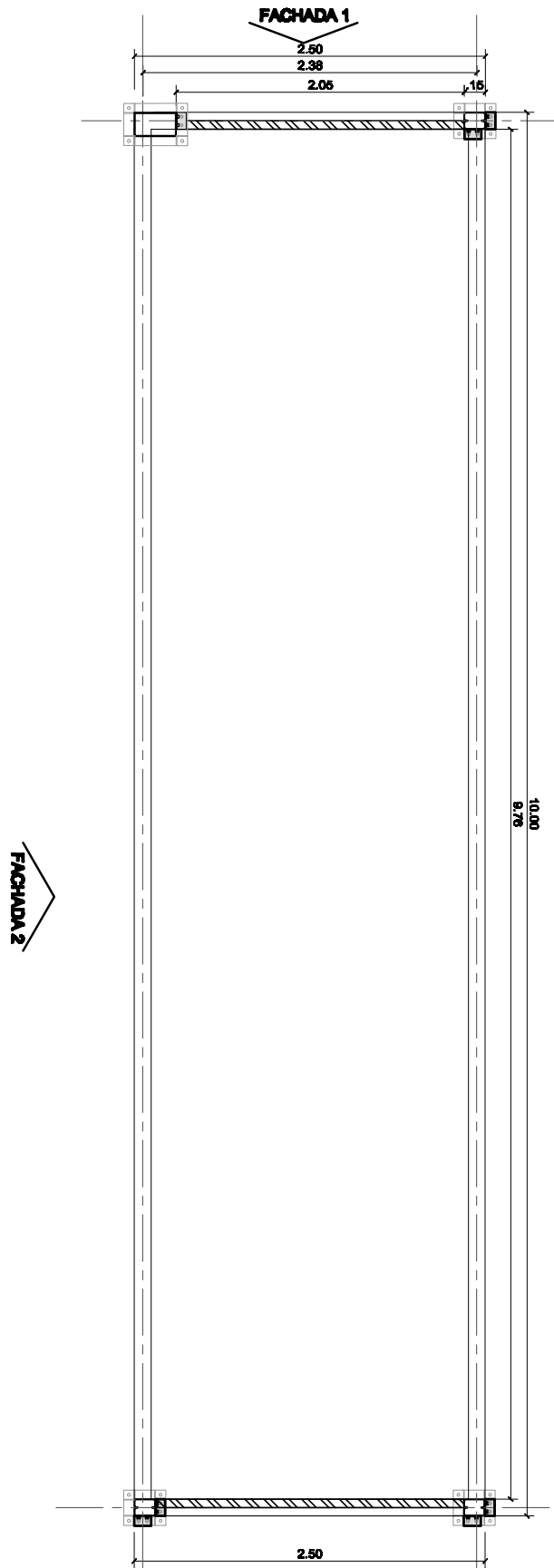
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 45 – Fachada contraventamento: longitudinal em “V”

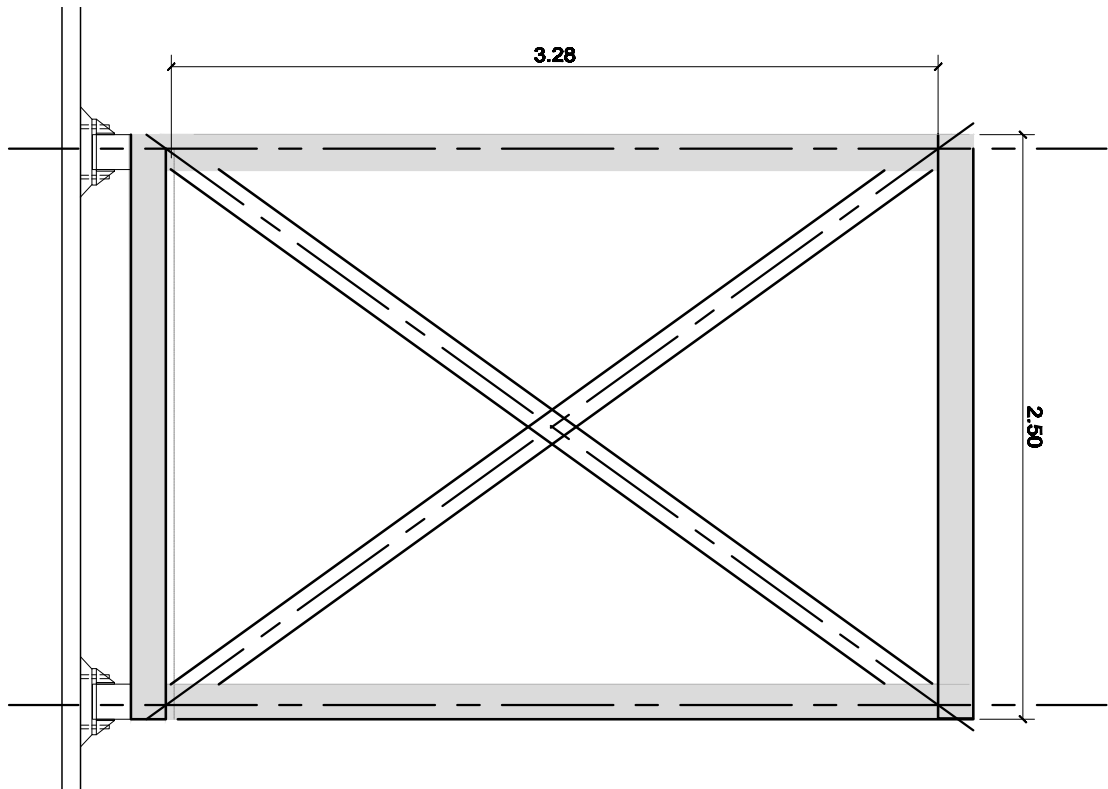


Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 46 – Planta módulo com contraventamento: lateral



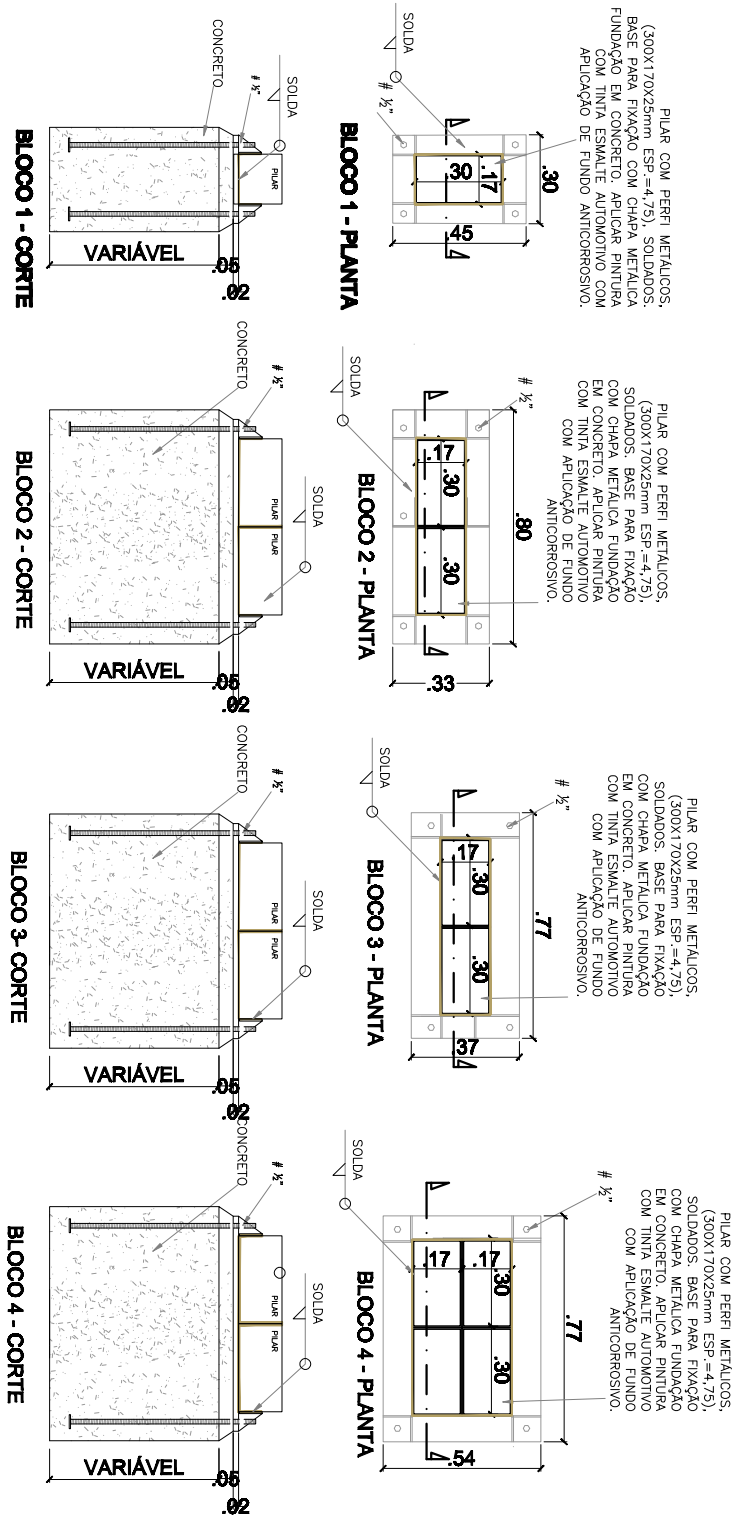
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 47 – Fachada contraventamento: lateral em “X”

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

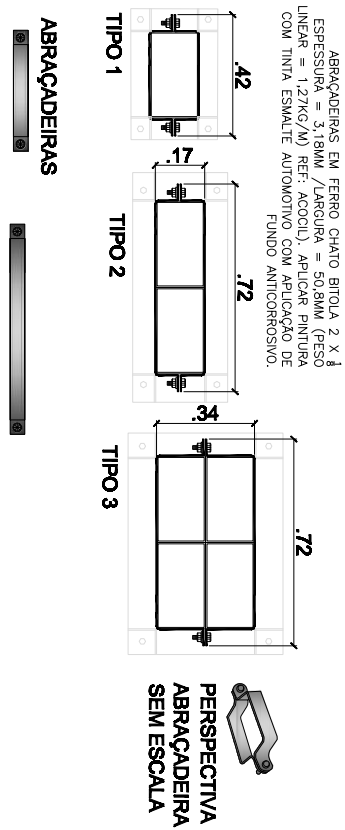
O desenvolvimento do módulo, com base no pré-dimensionamento, possibilitou esboçar a concepção geral, permitindo seu uso na adaptação do projeto de uma edificação existente, no caso, o Edifício AT7. Complementarmente, são apresentadas outras tipologias arquitetônicas, configuradas dentro dos parâmetros modulares propostos neste capítulo. Salienta-se que tais concepções, passíveis de aprofundamentos e detalhamentos em projetos futuros, encontram-se disponíveis nas próximas Figuras 48, 49 e 50.

Figura 48 – Detalhes de fixação entre pilar metálico e piso



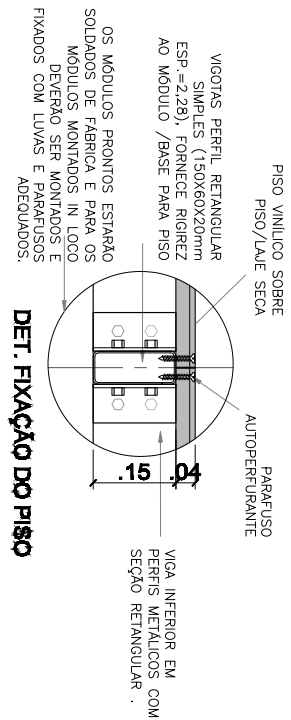
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 49 – Detalhes de fixação entre pilares metálicos utilizando abraçadeiras em ferro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 50 – Detalhes de fixação entre pilar metálico e piso



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

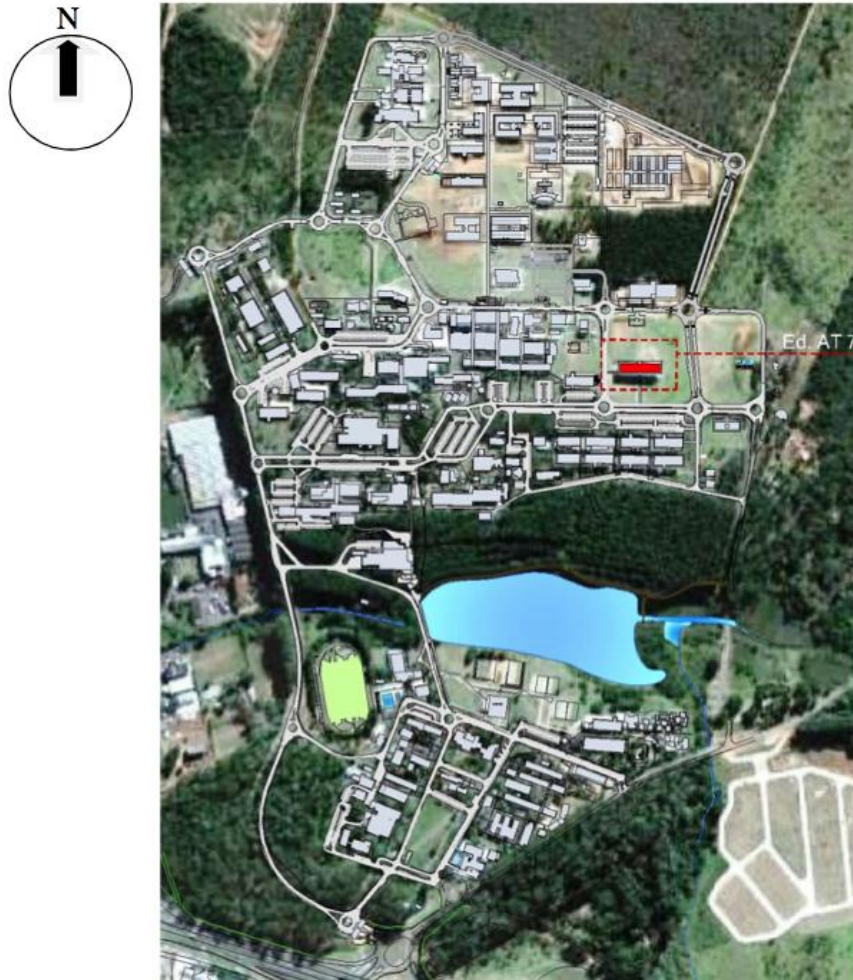
6 APLICAÇÕES DO SISTEMA MODULAR

Partindo da modulação padrão definida anteriormente, este Capítulo apresenta, como estudo de caso, o desenvolvimento projetual de uma edificação para fins didáticos adotando-se sistema estrutural modular em aço e subsistemas industrializados, tomando-se como base a demanda do Edifício AT7, existente na UFSCar Campus São Carlos. Deste modo, é possível observar características inerentes ao processo construtivo (executabilidade), além de diferenças e soluções técnicas necessárias ao simular a implantação de técnicas industrializadas e modulares em um projeto convencional já existente.

Complementarmente, são propostas outras geometrias dentro do mesmo tipo de demanda estudado, no caso, edifícios de salas de aula, visando demonstrar a adaptabilidade e a maleabilidade arquitetônica inerente à modulação estudada.

6.1 Projeto modular para o Edifício AT7

Este item tem como foco aplicar a demanda do Edifício AT7 para a composição de uma estrutura modular em aço, que teoricamente atenda aos objetivos de uso previstos para a edificação, mantendo-se a geometria em nível geral. Foi construído no ano de 2009, e localiza-se na área norte da UFSCar Campus São Carlos (Figura 51).

Figura 51 – Localização do Edifício AT7 no mapa geral da área urbanizada, UFSCar Campus São Carlos

Fonte: CUNHA, 2011

De acordo com Cunha (2011), a UFSCar vem passando por intenso processo de crescimento tanto físico (expansão do campus e construção de novas edificações) quanto no número de servidores, docentes e discentes, sobretudo a partir do ano de 2007, pela adesão ao programa REUNI (Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais). Dentro deste cenário, o número de alunos na Universidade tende a aumentar nos próximos anos, implicando em investimentos em novas edificações voltadas ao ensino.

A opção pelo Edifício AT7 como estudo de caso, considerou principalmente o fato do mesmo ser atualmente o maior edifício de salas de aulas teóricas dentro da UFSCar Campus São Carlos, com área total de 3.053,60 m², divididos em três pavimentos, composto por 17 salas de aula com capacidade total para atender 1022 alunos simultaneamente. Houve replicação do projeto deste prédio na Universidade, com a possibilidade de ser reproduzido em outros *campi* (CUNHA, 2011). As salas de aula do Edifício AT7 se encontram da seguinte disposição, conforme o Quadro 12.

Quadro 12 – Disposição das salas de aula do Edifício AT7

PAVIMENTO	QUANTIDADE DE SALAS DE AULA	CAPACIDADE DE ALUNOS
Térreo	02	52
	02	97
1º pavimento	05	63
	01	40
2º pavimento	05	45
	01	63
	01	81
TOTAL	17	1022

Fonte: Adaptado de CUNHA, 2011

O edifício em questão foi executado em concreto pré-fabricado. Sua entrada principal (Figura 52) está localizada na fachada sul pela parte central do edifício. Logo após a entrada localiza-se o *hall*, onde está situada a escada de acesso aos demais pavimentos. Anexo ao *hall* existe um volume com parede curva, configurando a fachada norte da edificação (Figura 53), onde então localizadas as demais áreas comuns: os sanitários, a sala de apoio didático, sala técnica, elevador e área de serviço. A partir do *hall* e da área comum tem-se o corredor principal que oferece acesso a todas as salas de aula.

Figura 52 – Edifício AT7: Fachada Sul

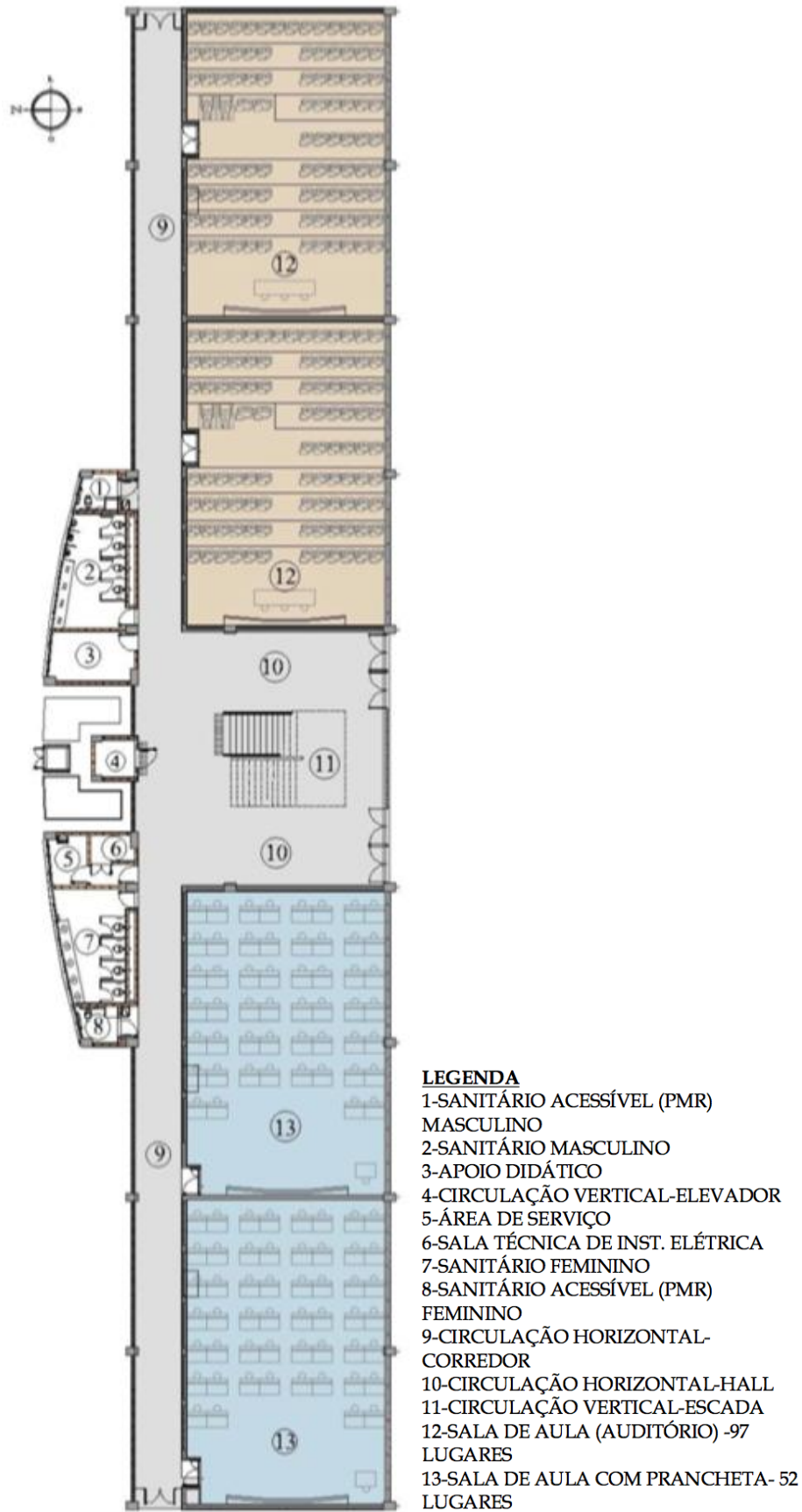
Fonte: Autor, 2015

Figura 53 – Edifício AT7: Fachada Norte

Fonte: Autor, 2015

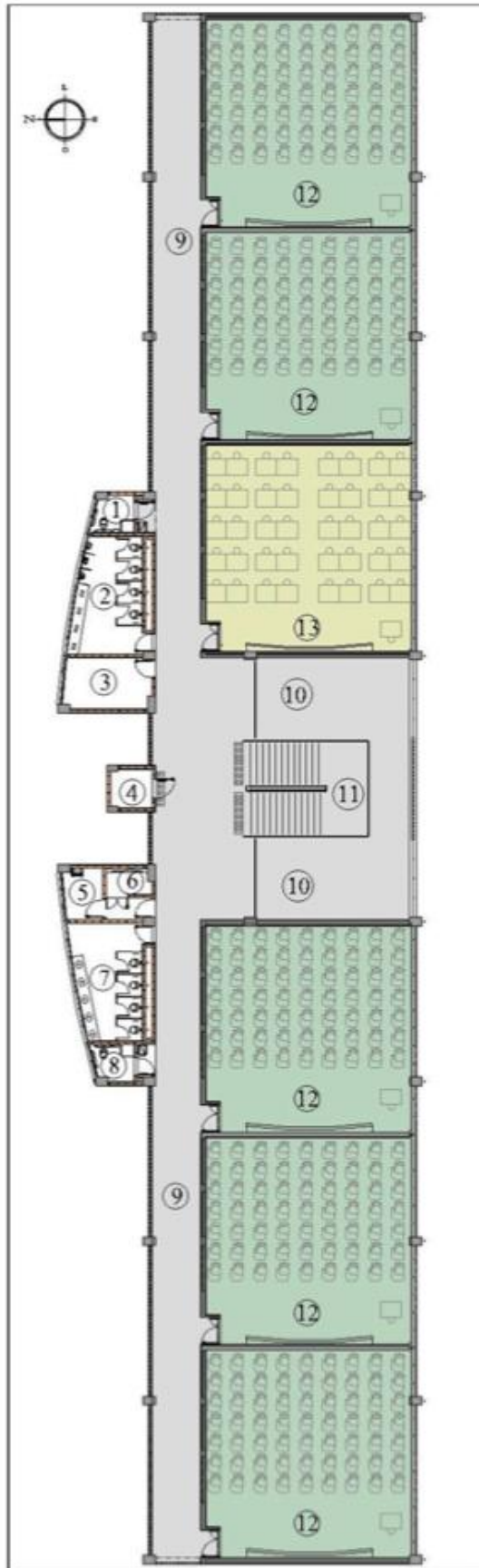
A área comum é composta por sanitários comuns e acessíveis (PNE - Portadores de Necessidades Especiais) masculinos e femininos, área de serviço, sala técnica de instalação elétrica, sala de apoio didático, circulação horizontal (corredor e *hall*) e circulação vertical (elevador e escada). Esta configuração se repete em todos os pavimentos. As Figuras 54 e 55 apresentam os *layouts* do Edifício.

Figura 54 – Edifício de salas teóricas: Edifício AT7, Pav. Térreo



Fonte: CUNHA, 2011

Figura 55 – Edifício de salas teóricas: Edifício AT7, Pav. Tipo



LEGENDA

- 1-SANITÁRIO ACESSÍVEL (PMR) MASCULINO
- 2-SANITÁRIO MASCULINO
- 3-APOIO DIDÁTICO
- 4-CIRCULAÇÃO VERTICAL-ELEVADOR
- 5-ÁREA DE SERVIÇO
- 6-SALA TÉCNICA DE INST. ELÉTRICA
- 7-SANITÁRIO FEMININO
- 8-SANITÁRIO ACESSÍVEL (PMR) FEMININO
- 9-CIRCULAÇÃO HORIZONTAL-CORREDOR
- 10-CIRCULAÇÃO HORIZONTAL-HALL
- 11-CIRCULAÇÃO VERTICAL-ESCADA
- 12-SALA DE AULA -63 LUGARES
- 13-SALA DE AULA COM PRANCHETA- 40 LUGARES

Fonte: CUNHA, 2011

O sistema modular desenvolvido considerou primeiramente o edifício como um todo, ou seja, sua distribuição espacial: sistemas de circulação horizontal e vertical do edifício, composto por corredores, escada e elevador, áreas comuns compostas por sanitários, áreas de convívio/descanso e aparência da edificação, e por fim, questões sobre a acessibilidade e segurança do Edifício AT7.

Cunha (2011), em sua pesquisa, considerou os aspectos relativos ao isolamento de ruídos (conforto acústico) internos e externos do Edifício AT7. Há a possibilidade dos ruídos tanto internos quanto externos serem piores durante o dia, possivelmente devido ao maior movimento de veículos e pessoas no campus. Tais colocações foram consideradas no sistema modular proposto, ao optar-se por sistemas de vedações externas e internas com componentes termoacústicos, como telha *sanduíche*, *dry wall* e painéis de concreto duplos, com preenchimento técnico específico.

No quesito conforto térmico, a pesquisa de Rossiti (2010), apresenta que o desempenho térmico apresentou limitações, tanto das variáveis subjetivas como das variáveis físicas. Como sugestão o autor coloca como medida possível e sustentável, a colocação de brises, que são estruturas feitas de materiais menos condutores de calor que reduzem a radiação que incide sobre o ambiente, e ainda possibilita o maior controle da ventilação e da luz que incide na sala. O sistema aqui desenvolvido, apesar de não considerar tais colocações, atendo-se à estrutura geral do projeto original, permitiria a instalação de brises nos módulos externos, no caso, fixados nas vigas laterais inferiores e superiores de cada módulo.

Um dos grandes problemas de manutenção do edifício são as infiltrações (Figura 56) de água de chuva que ocorrem na interface entre a alvenaria e a estrutura pré-moldada. Segundo o diretor da Divisão de Manutenção da Universidade Federal de São Carlos (DiMan)²³ este problema começou a aparecer após um ano de construção, e é de difícil solução pois exige manutenção constante com a aplicação de resina acrílica para vedação entre esses dois sistemas, alvenaria e estrutura. Esse problema poderia ser solucionado na etapa de projeto executivo de arquitetura e estrutura, através da adequação da cobertura, englobando beirais.

²³ Divisão de Manutenção (DiMan) da Prefeitura Universitária da UFSCar – São Carlos, tem por responsabilidade administrar e manter o espaço físico e sistemas de infra-estrutura do campus, proporcionando as melhores condições possíveis para o desenvolvimento das atividades da instituição (SPDI-UFSCar, 2009).

Figura 56 – Edifício AT7: infiltrações e fissuras

Fonte: Autor, 2015

Observou-se grande dificuldade na manutenção do forro metálico tipo colmeia (Figura 57). Este tipo de forro dificulta o acesso às instalações elétricas, telefonia e lógica localizadas entre a laje e o forro. Para a manutenção dessas instalações há necessidade de remover parte do forro e posteriormente reinstalá-lo.

Figura 57 – Edifício AT7: Forro metálico tipo colmeia

Fonte: CUNHA, 2011

Dentro do projeto desenvolvido, a resolução de tais problemas foi considerada através da proposta de sistema de forros removíveis e piso em placas de madeira facilmente retiráveis. Através de tais componentes, o acesso às redes de instalações seria garantido, sem maiores entraves.

6.2 Caso hipotético 1: Edifício AT7 e variações

O presente trabalho busca caracterizar e simular o desenvolvimento da concepção projetual de uma edificação para fins didáticos partindo de critérios relativos à industrialização e modulação, aplicados aos sistemas construtivos. O estudo das características inerentes aos sistemas adotados visa à produção de subsídios técnicos que aproximem a teoria executiva da prática construtiva, buscando paralelamente incrementar a eficiência produtiva.

6.2.1 Estudo de caso: Edifício de Aulas Teóricas 7 (AT7)

Deste modo, o sistema modular desenvolvido foi aplicado ao estudo de caso do Edifício AT7, substituindo seus sistemas construtivos tradicionais por sistemas industrializados modulares.

O projeto do Edifício AT7 segue um programa simples: 03 pavimentos tipos com 06 salas de aproximadamente 95,76 m², circulações verticais (elevadores e escadas) e horizontais, área de serviços (sanitários e apoio), cobertura. O Quadro 13 sintetiza as informações relativas à quantidade de módulos e salas de aula.

Quadro 13 – Projeto modular para o Edifício AT7

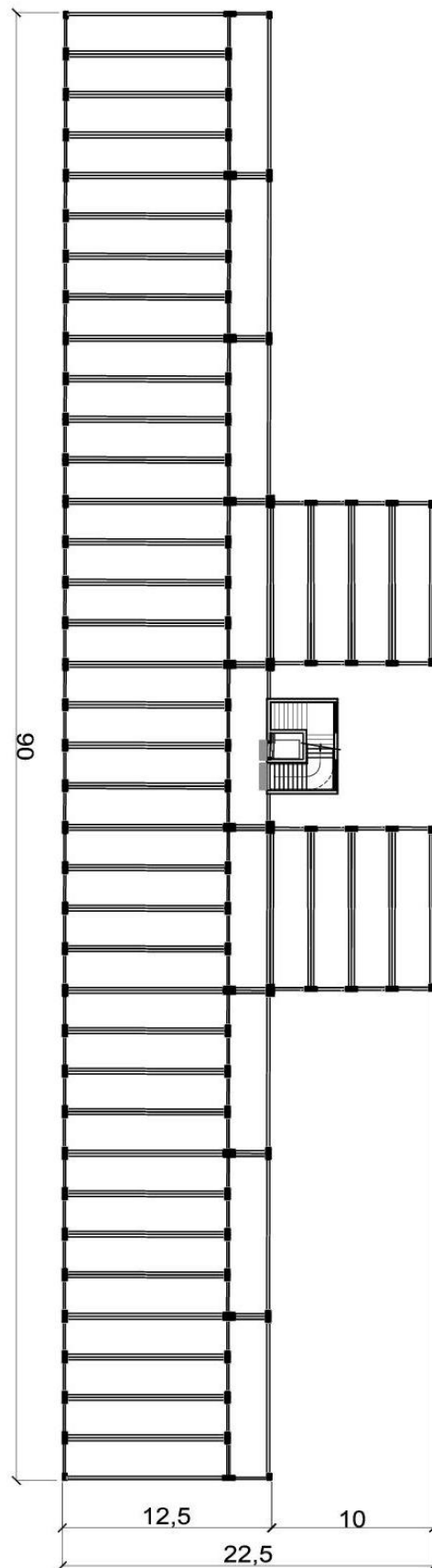
PAVIMENTO	QUANTIDADE DE MÓDULOS	QUANTIDADE DE SALAS DE AULA	CAPACIDADE DE ALUNOS
Térreo	53	04	149
1º pavimento	53	06	103
2º pavimento	53	08	189
TOTAL	159	18	1022

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Contando com 159 módulos, este Edifício contaria com área de 3.975 m². Com estrutura de cada módulo pesando 2,0 toneladas, o consumo de aço da estrutura total deste Edifício seria de 318 toneladas, equivalendo a uma taxa de aço de 80 kg/m².

A sequência de Figuras 58 a 61 apresentam o desenvolvimento do projeto adaptado para execução em sistema construtivo modular em aço, utilizando o recurso de maquetes eletrônicas.

Figura 58 - Planta com disposição dos módulos estruturais da edificação adaptada ao AT7



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

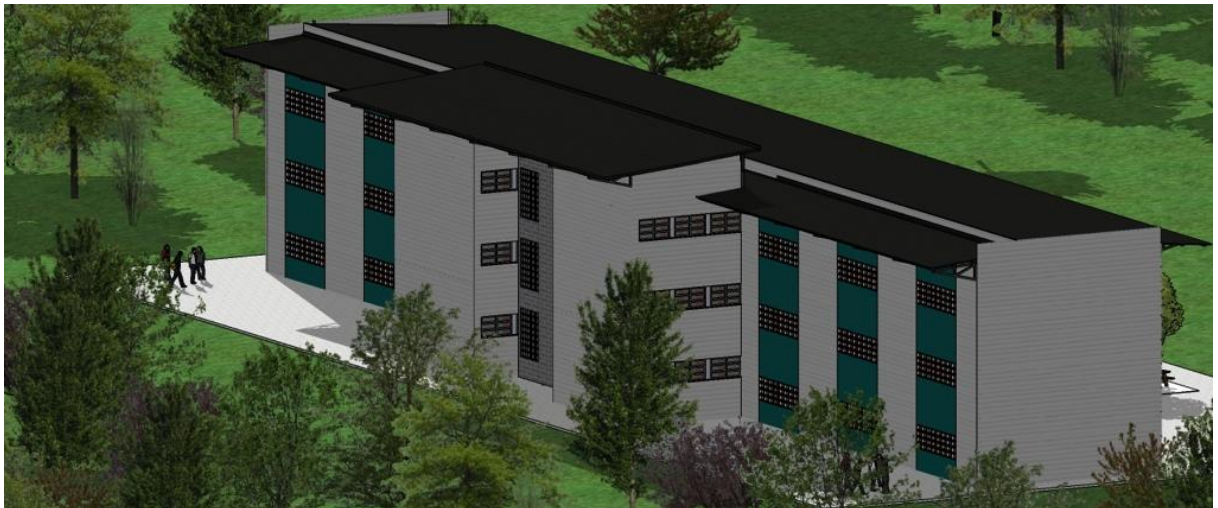
Figura 59 – Planta adaptada ao AT7 disposição espacial: Pav. Térreo, 1º Pav. e 2º Pav.

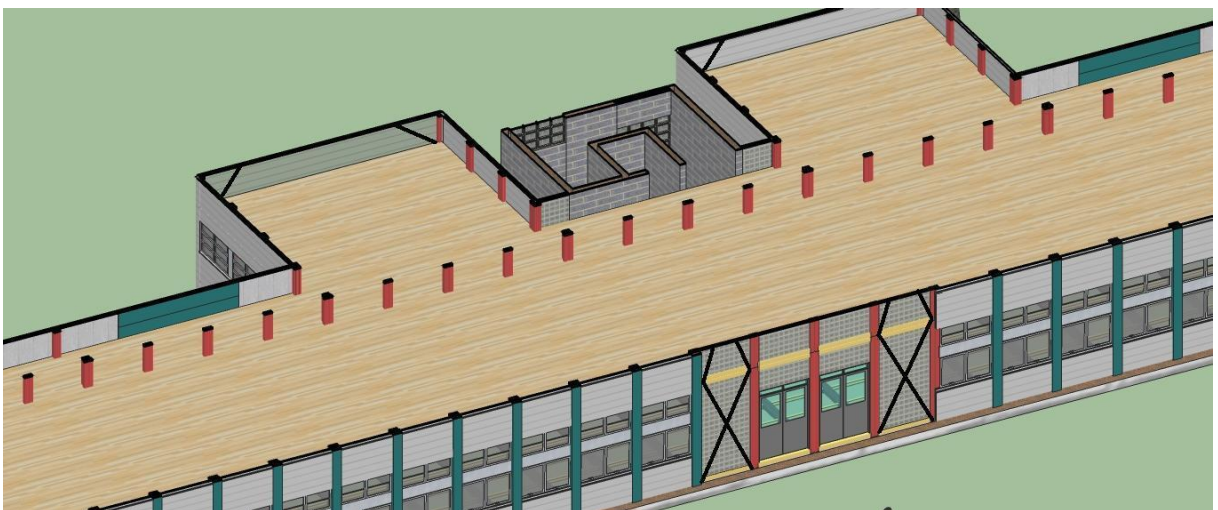
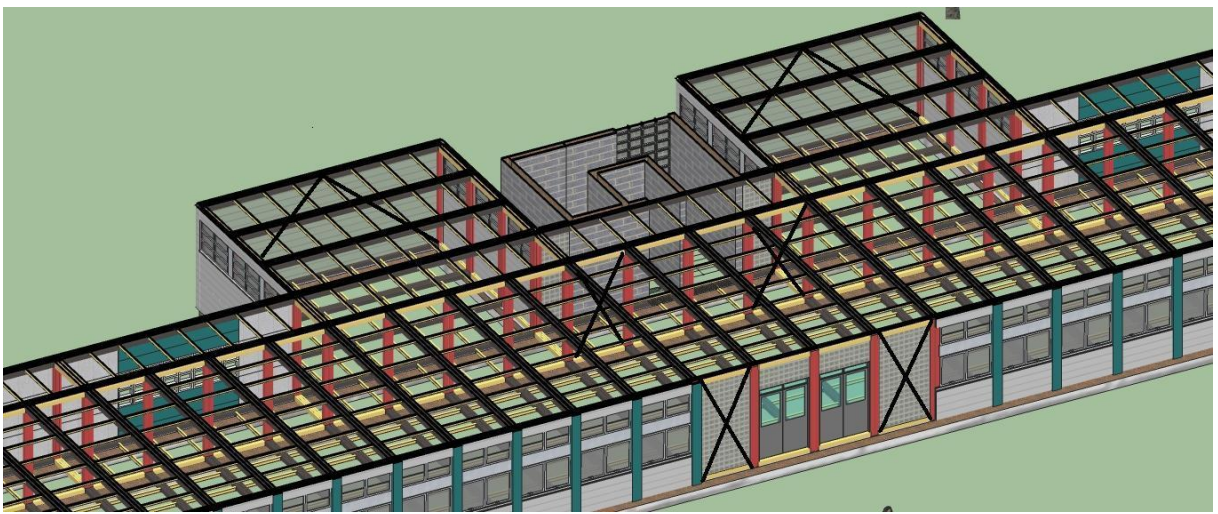
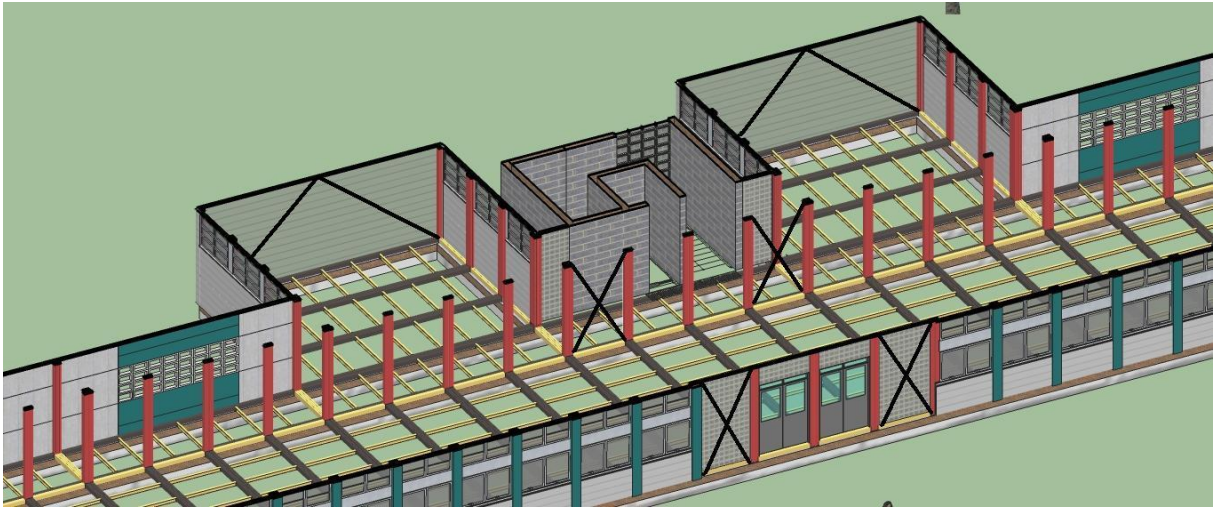


Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 60 – Fachadas e vista área atendendo demanda e geometria do Edifício AT7



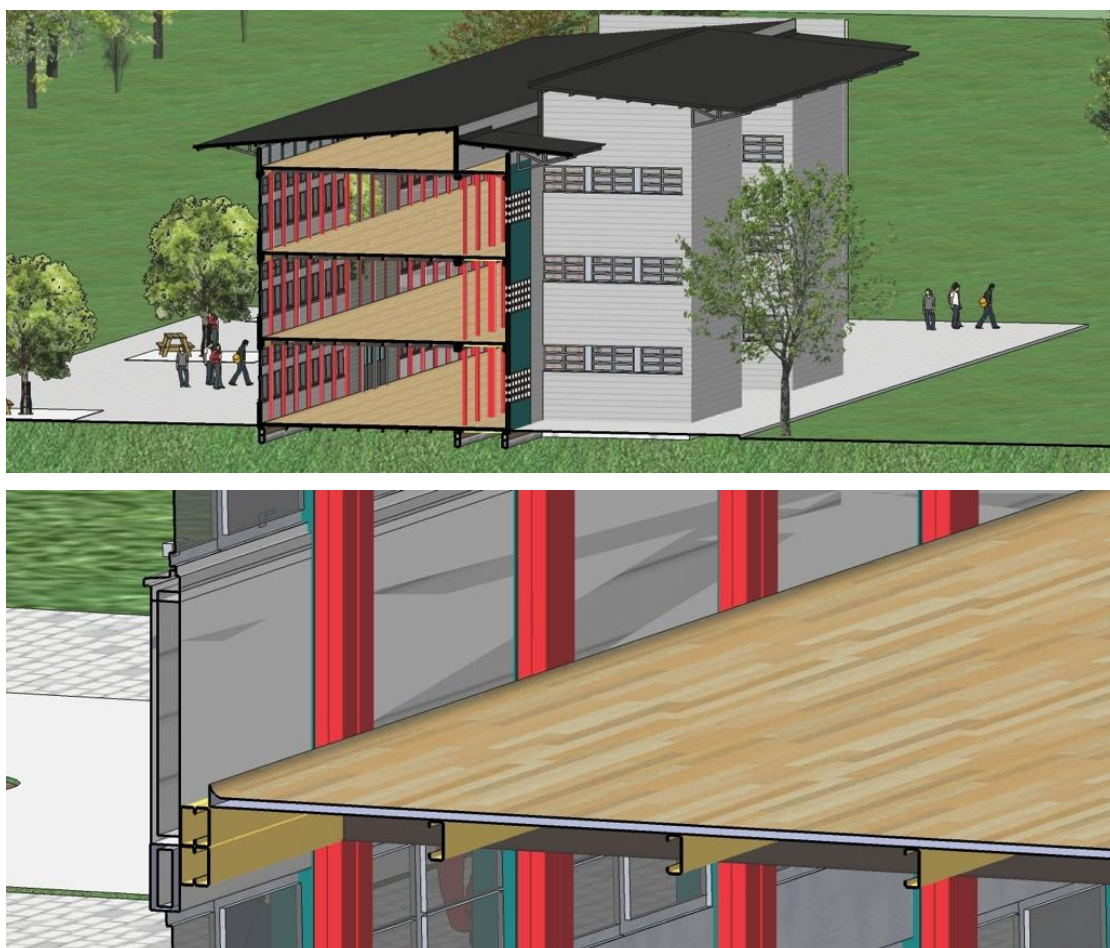


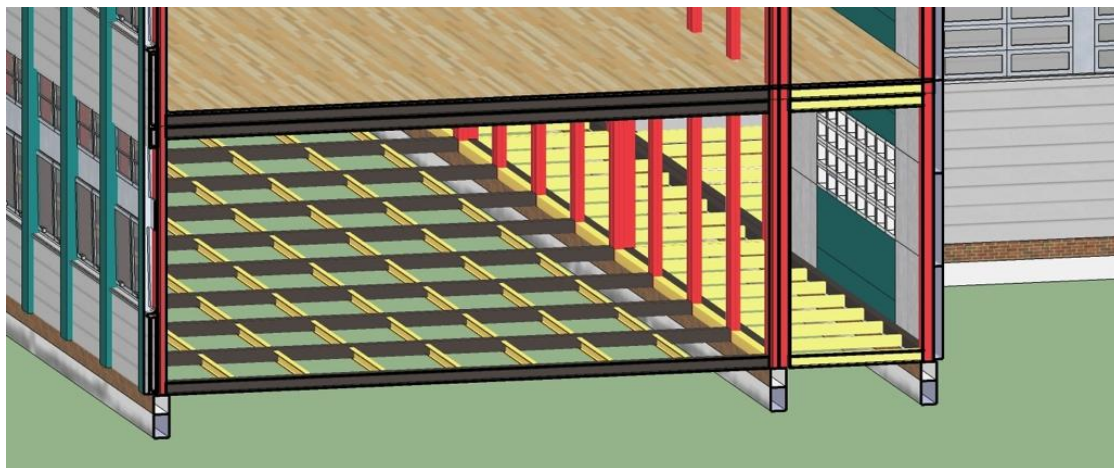




Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 61 – Corte do edifício e alguns detalhes do sistema construtivo modular em aço





Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Pelas figuras anteriores procurou-se simular possível adaptação estrutural de sistema convencional (concreto pré-fabricado) para um padrão industrializado (estrutura metálica), que no caso do Edifício analisado, ocorreria de forma a preservar relativamente a configuração arquitetônica e métrica.

Da mesma forma, do ponto de vista de fechamento, com a substituição de alvenarias convencionais (tijolos de concreto e cerâmicos) pelo sistema industrializado proposto (placas cimentícias), seria possível manter as fachadas originais, com suas passagens, portas e esquadrias. No quesito isolamento térmico e acústico, ao utilizarem forro apropriado, as placas atenderiam as solicitações de uso.

Ainda em relação às fachadas, como pode ser observado nas Figura 62, é proposta uma alteração em relação à cobertura, com a inserção de beirais, visando maior proteção contra intempéries, agregando conseqüentemente maior durabilidade aos elementos expostos de fachada, como esquadrias e pinturas, prevenindo ou reduzindo a possibilidade de infiltrações.

Figura 62 – Beiral da cobertura



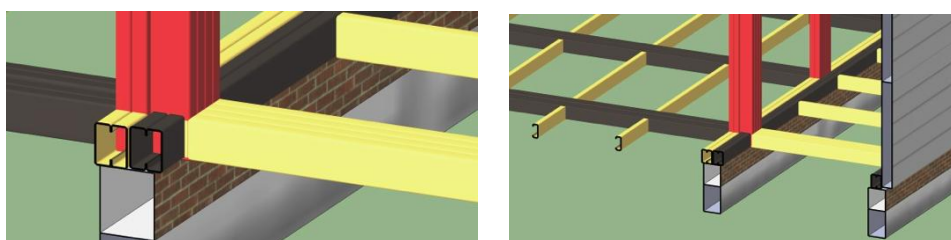
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

O recurso de uso de alvenaria de embasamento sobre a fundação, com altura de 40 cm, é procedimento adotado em edifícios na UFSCar²⁴, que sendo associado ao piso de ma-

²⁴ Informações fornecidas pelo Escritório de Desenvolvimento Físico (EDF), setor da UFSCar responsável pelo crescimento físico e produção de projetos no Campus São Carlos.

deira, que pode ser retirado e reinstalado, e às placas removíveis de forro, permitiriam alta acessibilidade às instalações, conforme Figura 63. Outro procedimento adotado na Universidade é a adoção de instalações elétricas aparentes dentro das salas de aula ou laboratórios, facilitando manutenções. Para a chegada de energia ao quadro principal e instalações de hidráulicos e sanitárias de água fria e esgoto, nas passagens verticais, prevê-se o uso de *shafts*, em geral, específicos para áreas molhadas. Desse modo, o quesito manutenibilidade seria incorporado em larga escala.

Figura 63 – Detalhes das conexões do sistema construtivo modular em aço e alvenaria de embasamento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

6.2.2 Adaptabilidade construtiva

Dentro do quesito adaptabilidade, são apresentadas na sequência dois projetos variantes em relação ao AT7, espelhando sua geometria de forma a se adequar demandas superiores e inferiores, em relação às salas de aula.

Reforçando a proposta de que a modulação é um sistema que pode servir como referência para a compatibilização espacial e dimensional dos elementos presentes em uma edificação, tais propostas apresentam configurações metricamente derivadas no AT7, para demandas maiores ou menores. Nas duas representações mantêm-se o mesmo princípio de partido e plástica arquitetônica utilizadas na edificação em estudo.

No exemplo 1, aborda-se um Edifício com três pavimentos tipos com dezesseis salas de aula de aproximadamente 100,0 m², circulações e área de serviços. O Quadro 14 sintetiza as informações relativas à quantidade de módulos e salas de aula desta proposta.

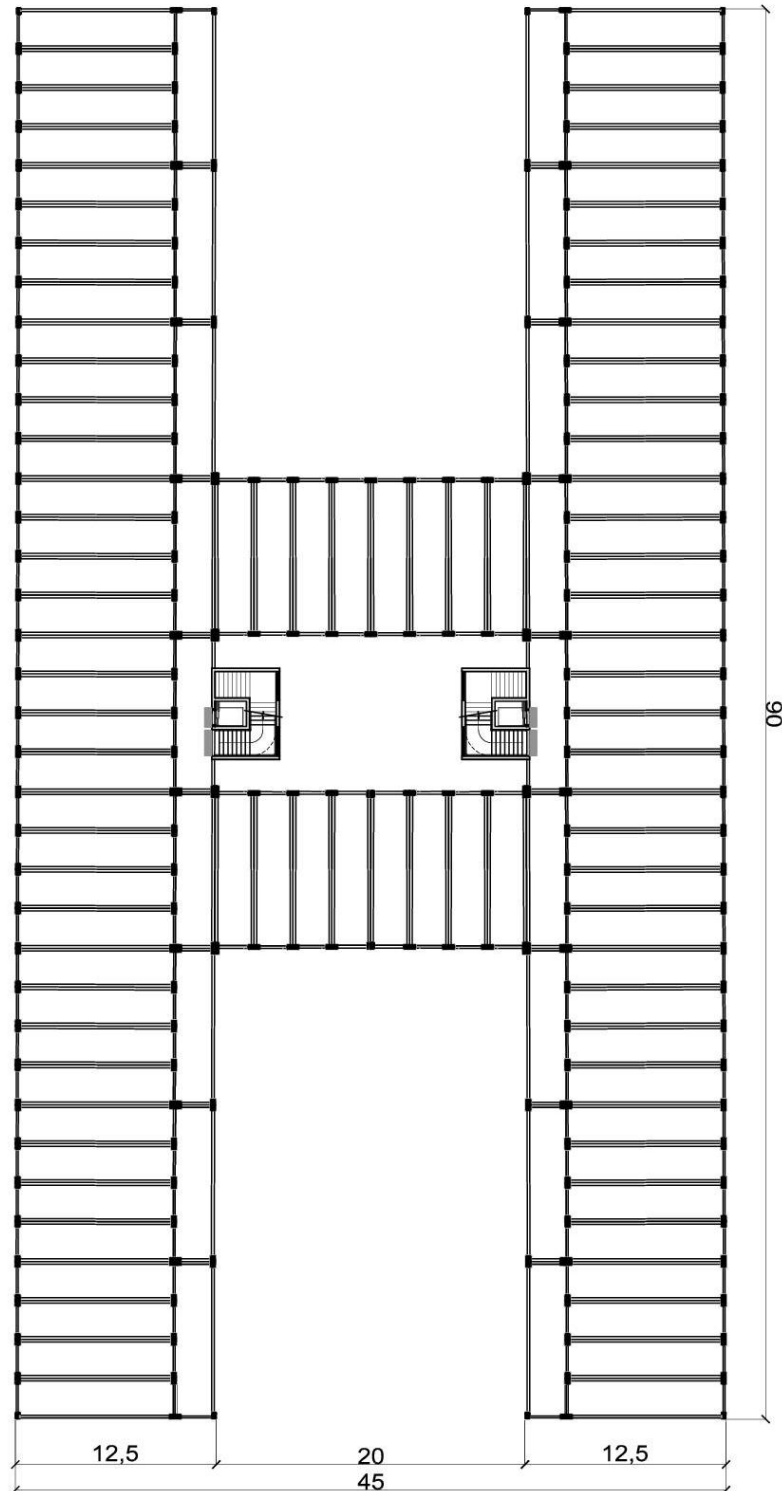
Quadro 14 – Demanda maior que ao AT7

PAVIMENTO	QUANTIDADE DE MÓDULOS	QUANTIDADE DE SALAS DE AULA	CAPACIDADE DE ALUNOS
Térreo	160	04	149
1º pavimento	160	12	103
2º pavimento	160	16	189
TOTAL	480	32	1022

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Contando com 480 módulos, este Edifício resultaria em uma área de 12.000 m². O consumo de aço total da estrutura neste caso seria de 960 toneladas, equivalendo a uma taxa de aço de 80 kg/m². O exemplo 1 é apresentado nas figuras 64, 65, 66 e 67.

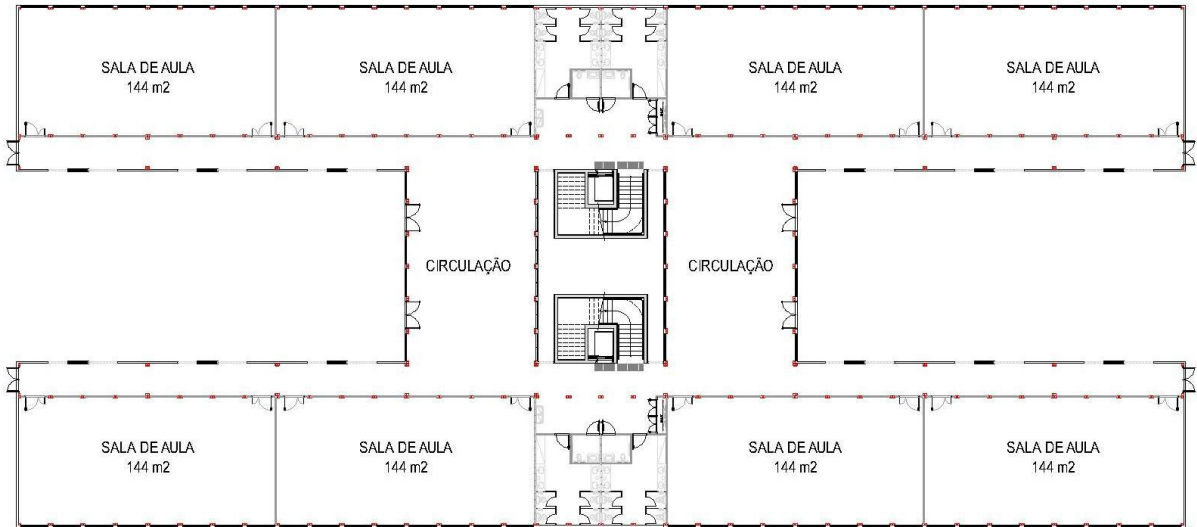
Figura 64 - Planta com a disposição dos módulos estruturais atendendo demanda maior que o AT7



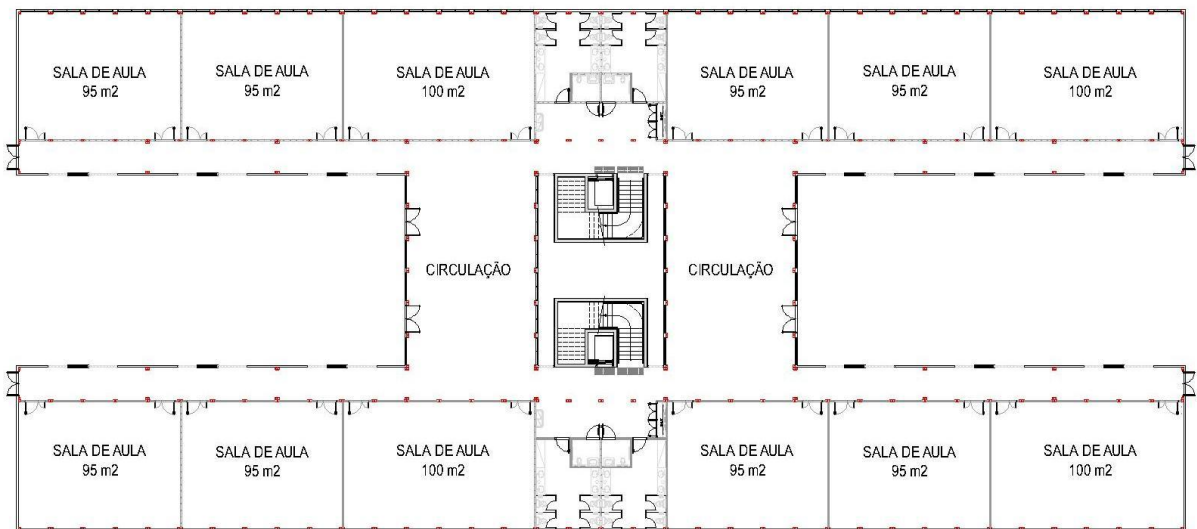
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 65 - Planta demanda maior ao Edifício AT7 disposição espacial: Pav. Térreo, 1º Pav. e 2º Pav.

PLANTA PAV. TÉRREO



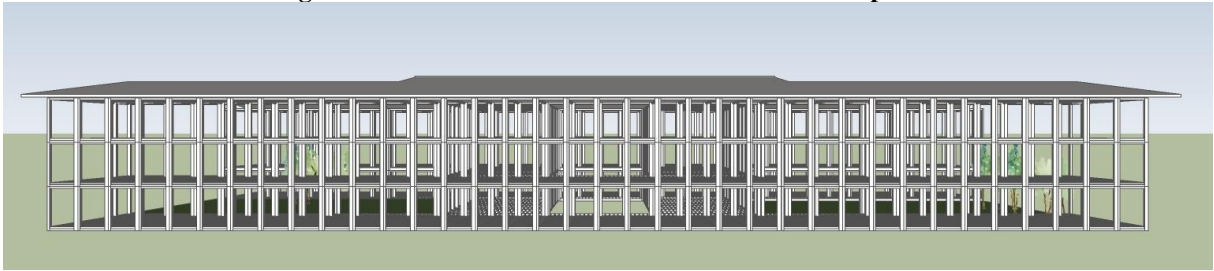
PLANTA 1a PAV.



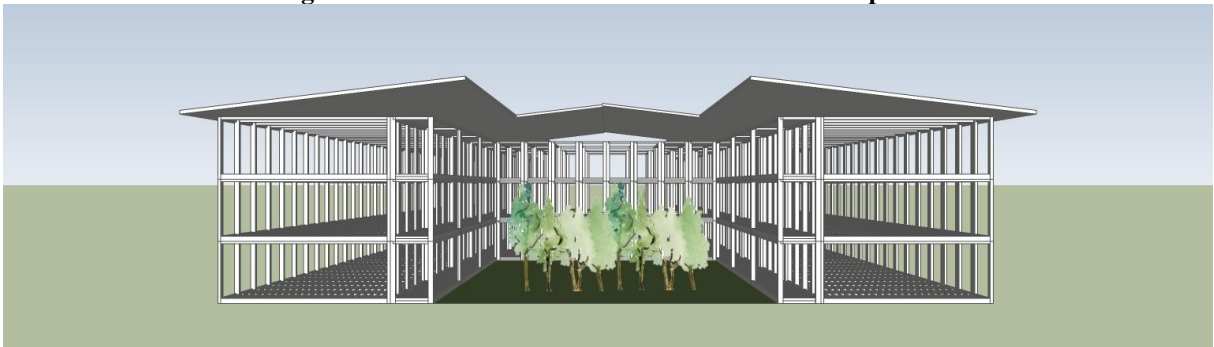
PLANTA 2a PAV.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 66 – Vista fachada frontal dos módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 67 – Vista fachada lateral dos módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

No exemplo 2, aborda-se um Edifício de mesmo porte do AT7, porém com geometria distinta, contando com três pavimentos tipos com oito salas de aula de aproximadamente 100,0 m², circulações e área de serviços. O Quadro 15 sintetiza as informações relativas à quantidade de módulos e salas de aula desta proposta.

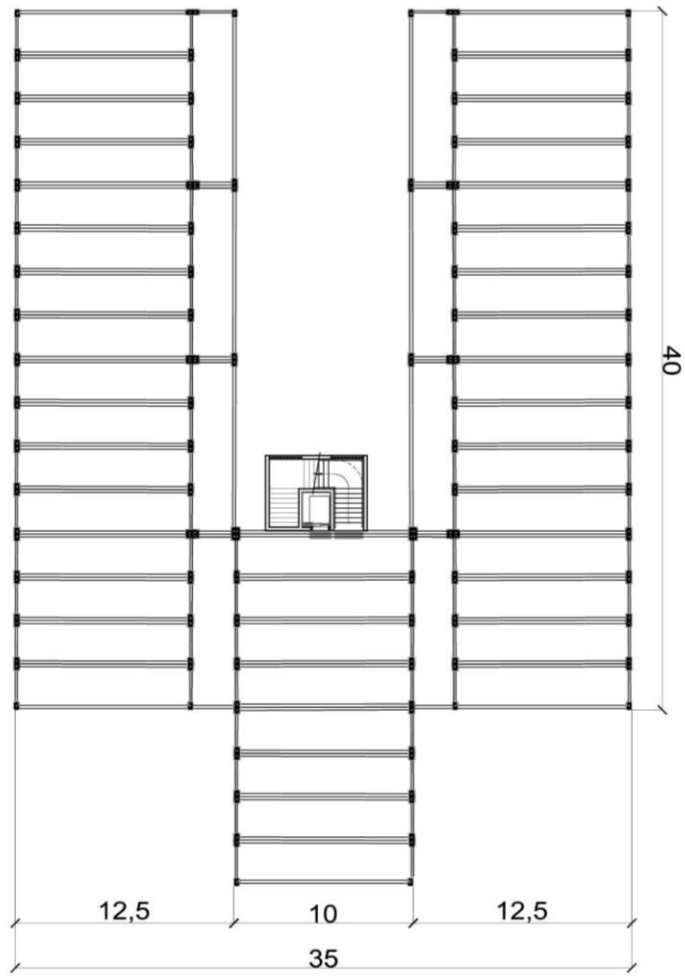
Quadro 15 – Geometria distinta do Edifício AT7

PAVIMENTO	QUANTIDADE DE MÓDULOS	QUANTIDADE DE SALAS DE AULA	CAPACIDADE DE ALUNOS
Térreo	48	04	149
1º pavimento	48	06	103
2º pavimento	48	08	189
TOTAL	144	18	1022

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

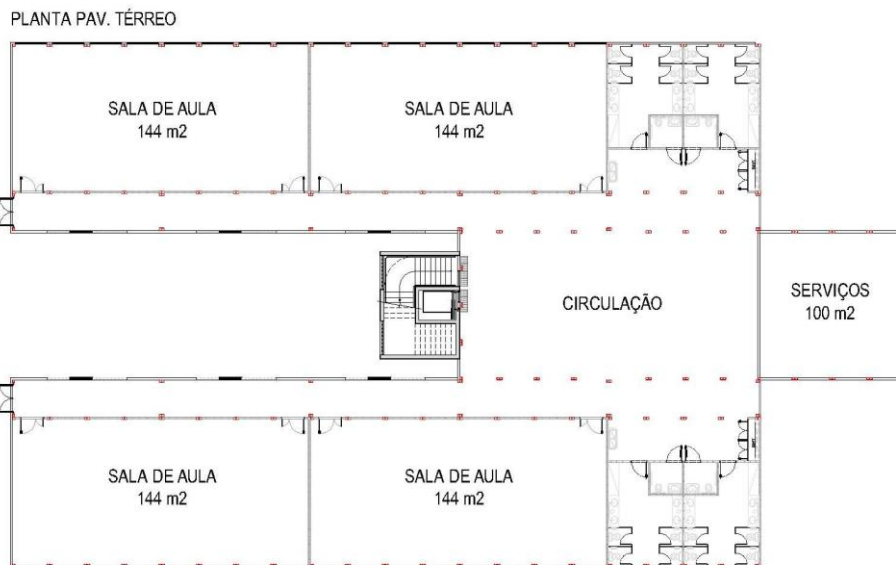
Composto por 144 módulos, esta versão resultaria em uma área de 3.600 m², com consumo de aço total da estrutura de 288 toneladas, equivalendo novamente a uma taxa de aço de 80 kg/m². Em todos os exemplos abordados, não ocorre variação na taxa de aço/ m² devido ao peso definido por módulo. Tal abordagem, somada a um custo por kg de insumo, a princípio permitiria orçamentações mais precisas de estruturas semelhantes, consoante aos princípios de controle de custos inerente aos processos industrializados. As vistas e fachadas deste exemplo são apresentadas nas Figuras 68, 69, 70 e 71.

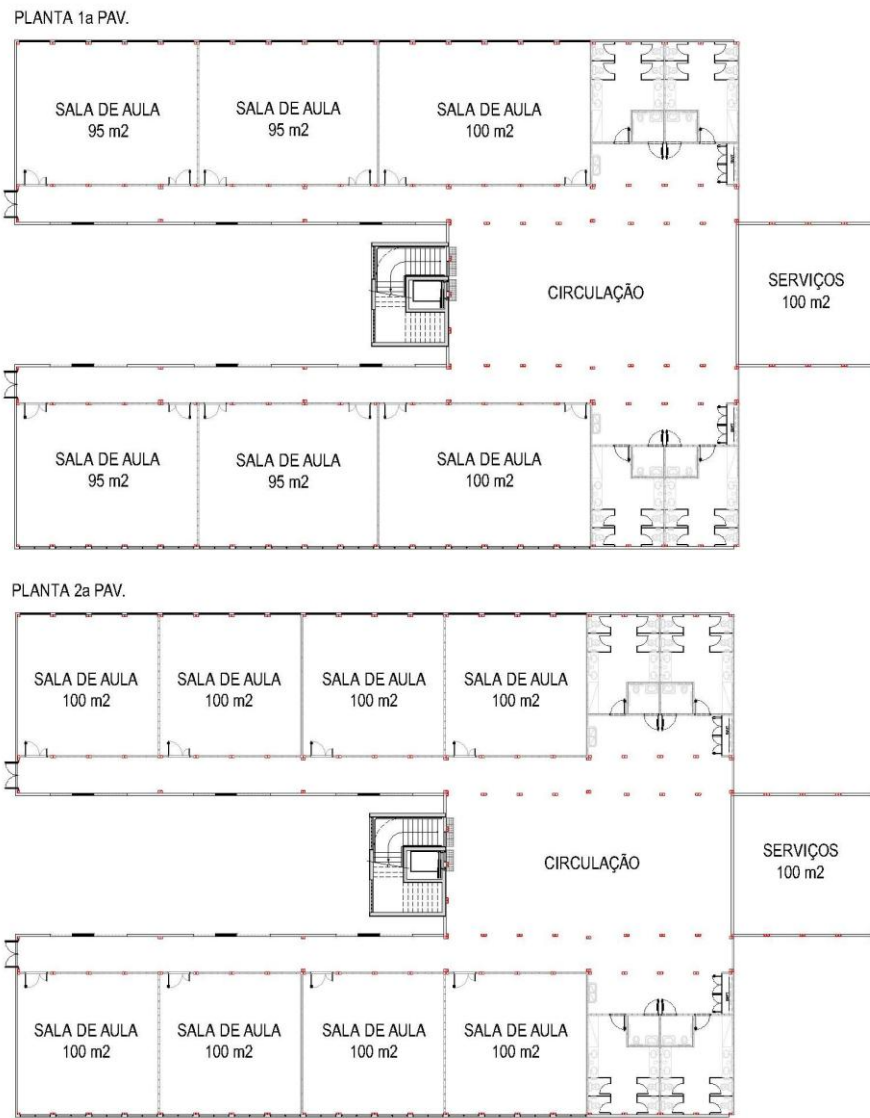
Figura 68 - Planta com disposição dos módulos com geometria distinta ao Edifício AT7



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 69 - Planta geometria distinta ao Edifício AT7 disposição espacial: Pav. Térreo, 1º Pav. e 2º Pav.





Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 70 – Vista fachada frontal dos módulos sobrepostos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

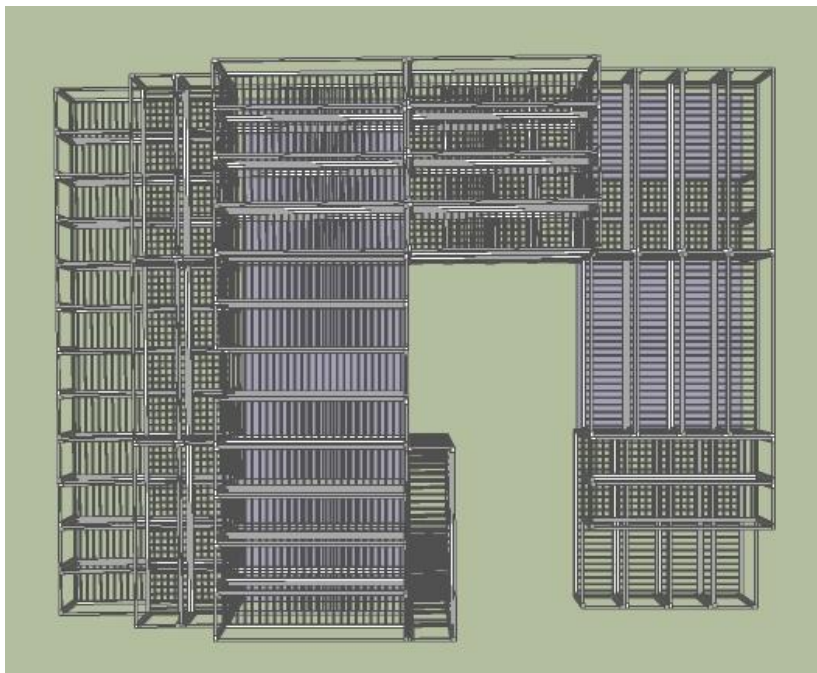
Figura 71 – Vista fachada lateral dos módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

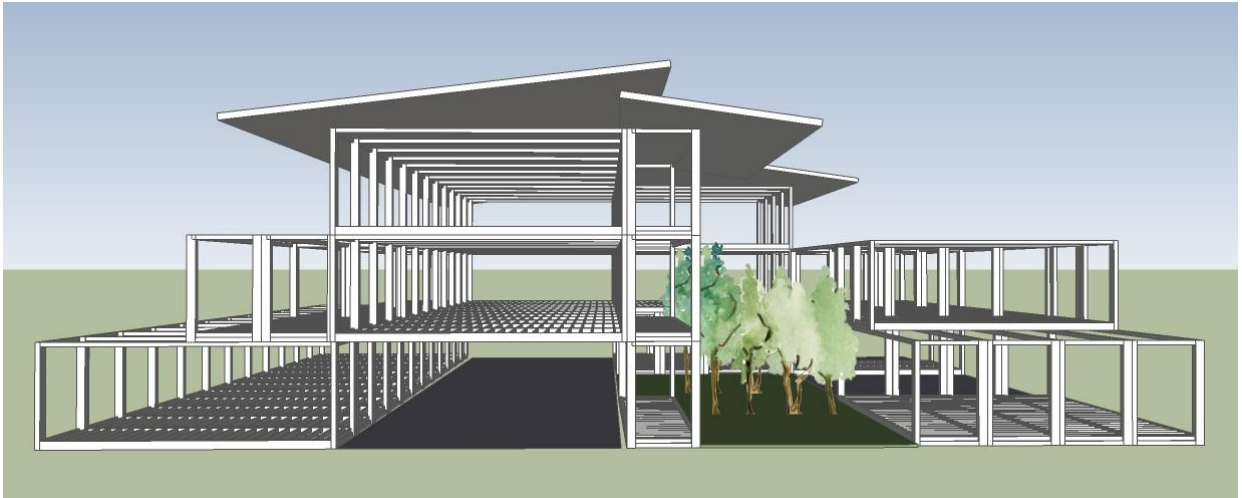
6.3 Caso hipotético 2: outras tipologias

Complementarmente, são propostas duas tipologias de projeto, partindo-se da modulação desenvolvida, porém com plásticas arquitetônicas variadas em relação à disposição dos módulos. As propostas se limitam à combinação espacial e geométrica, não abrangendo detalhamento executivo em relação à eventuais estruturas de reforço para sustentação e travamento.

Na Tipologia 1, conforme as Figuras 72 a 74, a proposta arquitetônica contempla três pavimentos, com sete salas de aulas no térreo, nove salas no 1º pavimento, cinco salas no 2º pavimento, totalizando vinte e uma salas de aula, distribuídas em setenta e três módulos. O peso da estrutura deste Edifício é de 146,0 toneladas.

Figura 72 – Tipologia 01: Planta dos módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 73 – Tipologia 01: Vista dos módulos sobrepostos

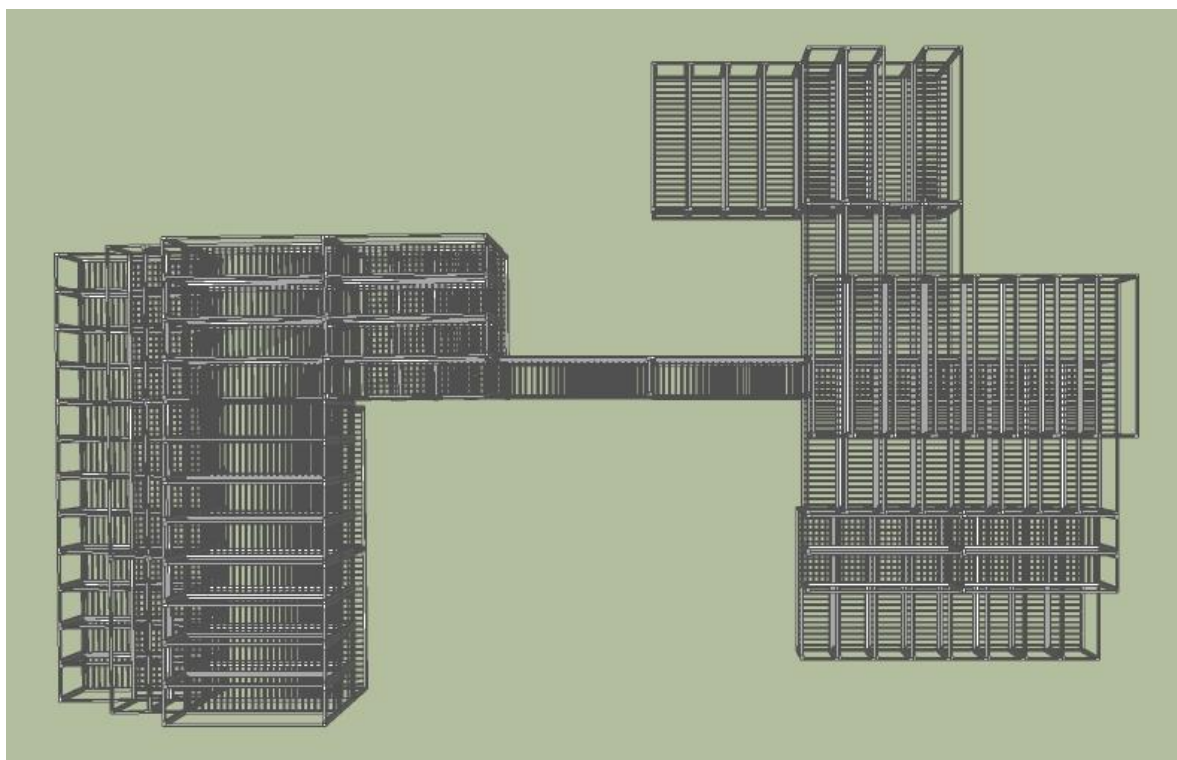
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 74 – Tipologia 01: Lateral dos módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

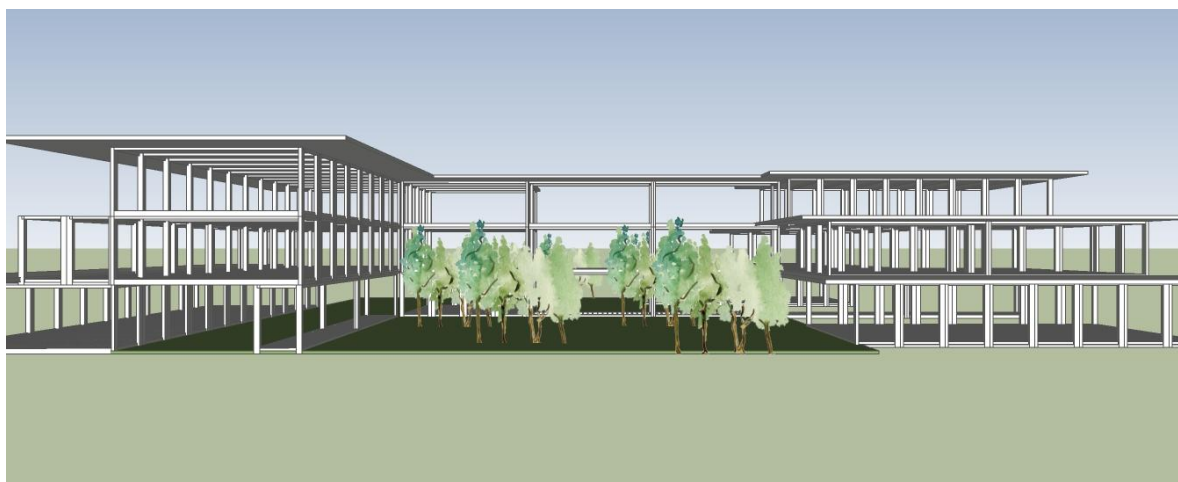
Na Tipologia 2, a configuração arquitetônica se divide em três pavimentos, totalizando vinte e quatro salas de aula, divididas em dez salas de aulas no térreo, oito salas no 1º pavimento e seis salas no 2º pavimento, computando cento e vinte módulos. O peso da estrutura deste Edifício é de 240 toneladas. A estrutura é apresentada nas Figuras 75 a 78.

Figura 75 – Tipologia 02: Planta dos módulos sobrepostos

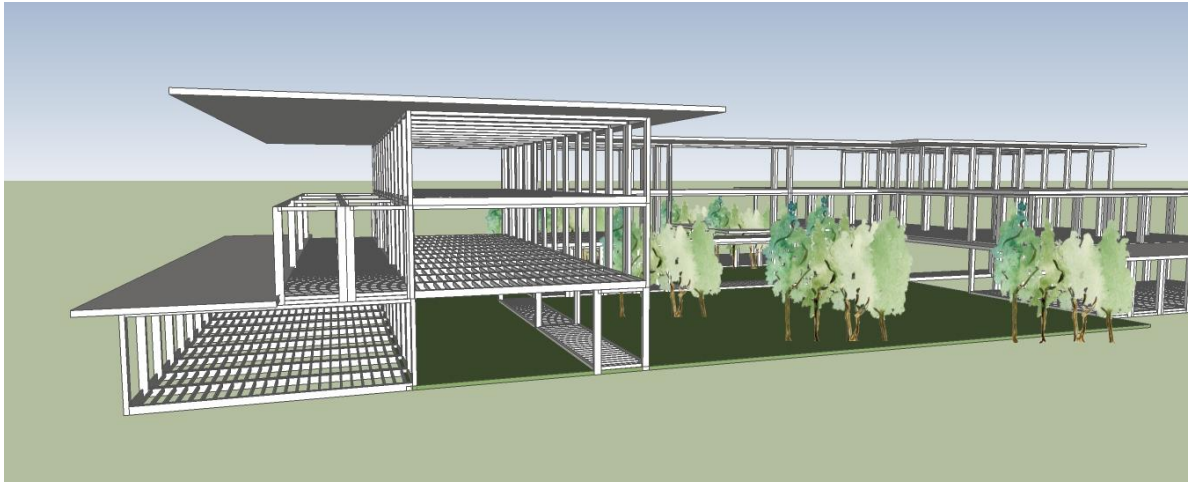


Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

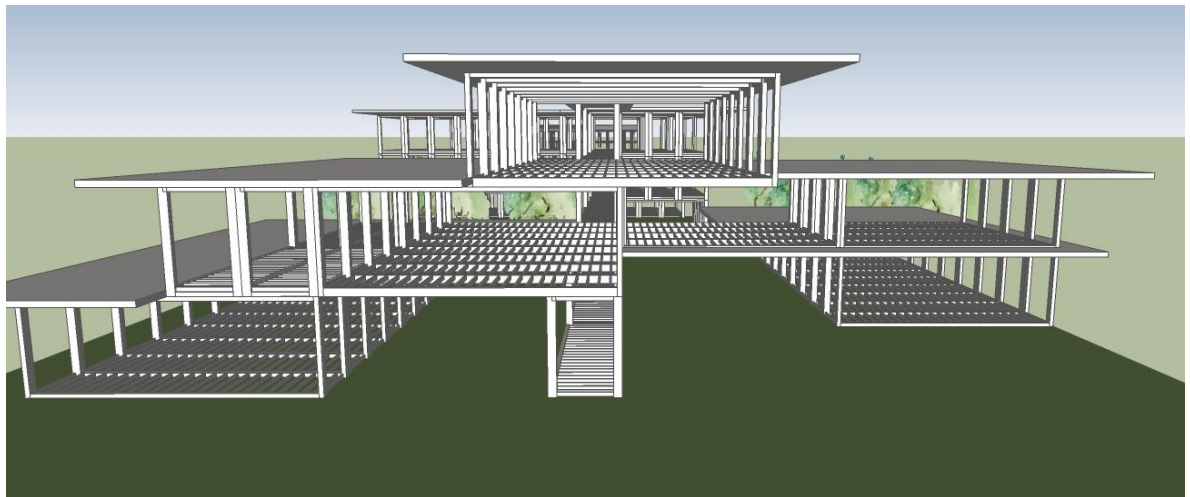
Figura 76 – Tipologia 02: Vista dos módulos sobrepostos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 77 – Tipologia 02: Lateral dos módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Figura 78 – Tipologia 02: Lateral dos módulos sobrepostos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Desse modo, do ponto de vista arquitetônico e dos principais sistemas complementares (fechamentos e instalações) entende-se que a adoção de sistemas industrializados e modulares em aço pode ser uma opção viável no momento da concepção projetual de edificações para fins didáticos ou similares.

Obviamente, a adoção de sistemas não tradicionais, devido às especificidades inerentes a processos tecnologicamente inovadores, em geral desconhecidos tecnicamente por grande parte dos técnicos, deve considerar listagem de fatores de fundamental importância, além dos critérios arquitetônicos, algumas delas já abordadas durante o estudo:

1. **Exequibilidade:** a altura da edificação, o solo (suporte) e área disponível para a

instalação e trânsito de maquinário pesado.

2. **Investimento:** o custo/benefício global a curto, médio e longo prazo, as otimizações decorrentes de soluções de projeto, a disponibilidade de componentes próximos ao empreendimento.
3. **Durabilidade:** a comparação da depreciação entre sistemas, a vida útil dos componentes e da edificação.
4. **Manutenibilidade:** a disponibilidade de peças para reposição, a mão de obra especializada disponível emergencialmente.
5. **Logística:** a viabilidade do acesso de maquinário e equipamentos, o transporte de componentes de grande porte pelas vias de acesso.
6. **Uso:** as premissas do usuário, o atendimento ao plano de necessidades (PN).
7. **Reuso:** a facilidade de desmontagem/montagem, quando for o caso de edificações temporárias.
8. **Interdisciplinaridade:** o projeto fortemente compatibilizado, integrando soluções inovadoras de diversas áreas, minimizando lacunas executivas.
9. **Ampliabilidade:** a incorporação projetual de possibilidades de ampliação com baixo impacto executivo, se possível, não interferindo na ocupação quando for o caso.
10. **Reformas:** a viabilidade executiva de eventuais reformas para alteração e adaptação de uso, fatos usuais em ambientes educacionais.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho visou colaborar com a sistematização do conhecimento sobre a tecnologia dos sistemas modulares industrializados, fomentando o aprofundamento técnico para futuras discussões dentro da temática abordada, e fornecendo subsídios quantitativos e qualitativos que possam ser utilizados em processos licitatórios relativos à execução de edificações com mesmo panorama tecnológico. Para tanto, apresentou o projeto de um módulo formado por perfis de aço, e respectivos subsistemas de fechamento, capaz de atender à demanda inicialmente proposta dentro do universo de pesquisa, no caso, edificações para fins didáticos.

Além da questão métrica, que norteou o desenvolvimento da modulação, o dimensionamento considerou aspectos comerciais e de logística, almejando simular ao máximo possíveis situações executivas reais, dentro do cenário técnico encontrado hoje na Construção Civil. Em relação à logística, vale a consideração de que o módulo projetado poderia ser transportado montado ou desmontado, com ou sem fechamentos, sendo teoricamente viável dentro de um processo mais elaborado de industrialização.

Através do estudo de caso, entende-se que a proposta modular corrobora a premissa inicial, ao adaptar projetualmente a demanda de um edifício existente na UFSCar, com base na modulação apresentada. Complementarmente, foram propostas outras configurações e *layouts* dentro da sistemática modular proposta, visando demonstrar sua maleabilidade e plasticidade arquitetônica. Desse modo, entende-se que é possível que soluções de projeto, tanto estruturais como de fechamentos, sejam repetidas e padronizadas, porém mantendo-se partidos arquitetônicos distintos.

Assim, a pesquisa permitiu aferir a viabilidade técnica relativa ao projeto desta adaptação demonstrada no estudo de caso, na qual a adoção do conceito de construção industrializada, temática central deste estudo, mostrou-se teoricamente exequível, valendo-se de tecnologias hoje disponíveis no mercado nacional, incorporando, desse modo, preceitos industriais no processo de projeto.

Os levantamentos, e consequente desenvolvimento projetual, permitiram confirmar a hipótese de que o processo de projeto de edifícios, em linhas gerais, pode ser otimizado e qualificado, através da introdução das premissas da industrialização da construção, sem perder de foco as demandas do usuário. Entretanto, é fundamental que tais premissas sejam adaptadas

ao ambiente do setor, e às necessidades e possibilidades particulares de cada empreendimento. Ou seja, fundamentar a teoria para que sua implantação seja viável dentro de parâmetros reais.

A visão sistêmica e holística, inerente à elaboração de projetos, deve ocorrer concomitantemente à concepção do empreendimento, de modo que as decisões sejam analisadas em conjunto, visando solucionar, o quanto antes, todas as interfaces com as demais disciplinas de projeto, com a fábrica e com as tarefas de logística e montagem, que serão realizadas no canteiro de obra, antecipando e solucionando possíveis entraves técnicos, ou mesmo demonstrando a viabilidade ou não de sua execução.

Dentro de um projeto modular, a métrica do módulo base é o cerne projetual, de onde derivam todos os sistemas, tanto estrutural como complementares, unificando e uniformizando os diferentes elementos construtivos das tipologias projetuais propostas. Além disso, o detalhamento deve atender às características funcionais dos materiais, contendo as indicações relativas às juntas necessárias, sua conexão com outros componentes, e interfaces com instalações.

O presente trabalho aborda o edifício como um produto, e na busca por qualidade, como em qualquer outra área, almeja-se a antecipação e resolução de eventuais problemas na etapa executiva através de intervenções na etapa de concepção e desenvolvimento projetual, caracterizando-se assim o conceito de processo de projeto.

Considerando-se que em um projeto no qual são englobados os conceitos de modulação e industrialização, propõe-se a seguir requisitos e planos globais de construtibilidade, complementares porém essenciais dentro de uma concepção executiva:

- análise dos resultados de desempenho em empreendimentos similares já executados, retroalimentando o processo projetual;
- análise das soluções alternativas de projeto junto ao usuário, buscando características que direcionem à solução mais eficaz;
- identificação de limitações de projeto: custo, prazo, materiais, componentes, mão de obra, entre outros;
- identificação dos níveis de complexidade dos diferentes sistemas prediais;
- identificação das interfaces entre materiais e elementos construtivos;
- identificação da complexidade da sequência de operações no canteiro e as tolerâncias consideradas.

Neste aspecto, baseando-se na indústria da Construção Civil, a pré-fabricação somente é uma ferramenta adequada para melhorar os níveis de industrialização dos processos de produção se adotada dentro de uma visão sistêmica da construção de um edifício, em que a raci-

onalização seja parte fundamental do processo.

A proposta de pesquisa na área de sistemas construtivos estruturais modulares em aço e sistemas industrializados, além de focar o desenvolvimento de parâmetros técnicos que possam ser utilizados em pesquisas futuras ou mesmo embasar práticas executivas, também tem o intuito de colaborar com a divulgação de tais sistemas no meio técnico, demonstrando sua viabilidade executiva, quando adequada ao cenário executivo.

Apesar de apresentar aspectos gerais, implantáveis em várias tipologias arquitetônicas, a pesquisa enfatiza inicialmente edificações para fins didáticos, no caso, em Universidades, por entender que tal recorte seja terreno profícuo para o pioneirismo tecnológico, em decorrência da existência de corpo técnico qualificado e do abertismo inovador em geral presentes em Instituições de Ensino Superior.

Entende-se como algumas das possíveis dificuldades relativas à implantação de um edifício dentro de parâmetros de industrialização:

1. Os altos níveis de planejamento, organização e gestão necessários, que devem não apenas serem considerados na etapa projetual, mas mantidos fielmente durante a execução;
2. A disponibilidade de materiais inovadores dentro de um raio viável para que sejam adquiridos e entregues no local sem maiores entraves;
3. A necessidade de mão de obra qualificada para a montagem;
4. A alta precisão métrica necessária no projeto e solicitada na execução;
5. O elevado nível de detalhamento demandado na etapa de projeto;
6. A adequação logística para que a locação de grandes equipamentos de montagem siga criteriosamente ao cronograma previsto, com baixa margem para imprevistos projetuais ou executivos.

Como sugestão, poderiam ser desenvolvidos estudos dentro da temática abordada na presente dissertação, dando continuidade pesquisística e aprofundamento, tais como:

1. Desenvolvimento e análise de viabilidade de projetos em estruturas metálicas para fins de habitação de interesse social;
2. Levantamento comparativo de custos entre estruturas convencionais e estruturas de aço;
3. Detalhamento estrutural de ligações entre módulos, aprofundando comparativos entre soldagem e parafusagem;
4. Interfaces entre fechamentos e sistemas construtivos estruturais em aço;
5. Interfaces entre instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias e sistemas construtivos estruturais em aço;
6. Estudo comparativo entre estratégias de montagem de estruturas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253**: Perfis de aço formado a frio, com revestimento metálico para painéis estruturais reticulados em edificações. Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15575-1**: Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, 2010.

_____. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista e de aço e concreto de edifícios, 2008.

_____. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 5706**: Coordenação Modular da Construção, 1977.

_____. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira, 1997.

ABCIC, Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/artigos_tecnicos.asp>. Acesso em julho de 2013.

ABDI, Agência de Desenvolvimento Industrial. Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da **Coordenação Modular no Brasil**. Realizada pela Fundação Euclides da Cunha (FEC), em 2010. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasi_2l.pdf>. Acesso em agosto de 2013.

ANDRADE, T. **Inovação tecnológica e meio ambiente**: a construção de novos enfoques. Revista Ambiente & Sociedade, vol. VII, n. 1, p. 89-105, jan./jun. 2004.

ARO, C.R.; AMORIM, S.V. **As inovações tecnológicas no processo de produção dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários**. In: X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2004) e I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável (CLACS 04), de 18 a 21 de julho, em São Paulo/SP.

ARO, C.R. **A modernização tecnológica: seu patamar nos sistemas prediais hidráulicos e sanitários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Setor de Construção Civil) Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos - SP, 2004.

ARQUITETURA & AÇO: **Edifícios Educacionais**. Publicação do Centro Brasileiro de Construção em Aço. Edição número 01. Rio de Janeiro, 2003.

BRAGA, A.G., et. al. **Sistemas construtivos aplicação de gesso acartonado na construção.** Artigo apresentado a Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2008.

BRITO, A. C. **Recomendações para projetos habitacionais com pré-fabricados leves de concreto visando otimização do desempenho térmico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2006.

BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados: estudo e viabilidade.** Monografia (Conclusão do Curso de Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória - MG, 2008.

BONI, A. C. **Interfaces físicas entre os sistemas prediais hidráulicos e sanitários (SPHS), estruturais e vedações.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP, 2010.

CAIADO, K. F. **Estudo e Concepção de Edifícios em Módulos Pré-Fabricados Estruturados em Aço.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Ouro Preto - MG, 2005.

CHING, Francis D.K. **Arquitetura-Forma, Espaço e Ordem.** São Paulo: Martins Fontes, 2002.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Ouro Preto - MG, 2005.

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

COVER, M. P. **Diretrizes para projetos de sistemas prediais de água fria e esgoto sanitário.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2011.

CORRÊA, P. **O programa de necessidades.** Grupo de Pesquisa Arquitetura e Construção, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Mackenzie. Quadrimestral. **Ci. Inf.**, São Paulo, vol.I, n.1, junho de 2006. Disponível em: http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/aedificandi_abertura.htm. Acesso em: 20 de agosto de 2014.

CUNHA, R.J. **Avaliação Pós-Ocupação do AT7: Satisfação dos Usuários e Diretrizes para Melhoria da Qualidade dos Futuros Projetos.** Monografia (Conclusão do Curso de Especialização em Gestão Pública) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2011.

DELIBERADOR, M S. **O processo de projeto da arquitetura escolar no Estado de São Paulo: caracterização e oportunidades.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2010.

DIN, F. **Construção a seco**: um futuro sem ruídos. In: Revista eletrônica E|A Engenharia e Arquitetura, abril de 2012. Disponível em: <http://www.engenhariaearquitectura.com.br/noticias/511/Construcao-a-seco-um-futuro-sem-ruídos.aspx>. Acesso em 29/01/14.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 1ª edição, São Carlos, SP, EESC-USP, 2000.

FDE, Fundação para o Desenvolvimento Escolar. **Normas de Apresentação de Projetos de Edificações**. Disponível em <http://consfde.edunet.sp.gov.br/catalogo/setembro/HTML/atualizacao/subpages/arquitetura.pdf> . Acesso em 18 de agosto de 2014.

FDE, Fundação para o Desenvolvimento Escolar. **Catálogo de Ambientes**. Disponível em: http://catalogotecnico.fde.sp.gov.br/Setembro_08/ambientes.html . Acesso em 18 de agosto de 2014.

FERREIRA, O. P. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. IPT: SVMA: SindusCon-SP, 2003.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Sistema Light Steel Framing**: arquitetura. Série manual da construção em aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA Centro Brasileiro de Construção em Aço, 2006. Disponível em: http://www.skylightestruturas.com.br/downloads/CBCA_manuais_arquitetura.pdf. Acesso em 17/08/2013.

FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. **Implantação da racionalização construtiva na fase de projeto**. (Boletim Técnico BT/PCC/94). São Paulo: Escola Politécnica USP, 1993.

FRANCKLIN I.; AMARAL, T.G. **Inovação tecnológica e modernização na indústria da construção civil**. Revista Ciência e Praxis, v.1, n.2, p. 5-10, 2008.

GLASS, J. **The future for precast concrete in low-rise housing**. Leicester, UK: British Precast Concrete Federation, 2000. Disponível em: <https://web41.securesecure.co.uk/britishprecast.org/publications/bpcfbrochure.pdf>. Acesso em 22/09/2013.

GUARNIER, C. R. F. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Ouro Preto – MG, 2009.

GONÇALVES, O. M. **A alma dos edifícios**. Acesso no TESIS - Engenharia de Sistemas Prediais: <http://www.thesisprojetos.com.br/politicaemp/1189458465/>. Acesso em 17/09/2013.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil**: uma abordagem atualizada. Coleção Habitare, 9. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

HENRIQUES, C. L. **Condicionantes de projeto para unidades escolares de pequeno e médio porte utilizando sistema construtivo em perfis formados a frio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Ouro Preto - MG, 2005.

HUI, S. C. M.; OR, G. K. C. **Study of prefabricated building services components for residential buildings in Hong Kong**. In Proc. of the Hubei-Hong Kong Joint Symposium 2005, 1-2 July 2005, Wuhan, China. (in English with a Chinese abstract)

KIM, S. E. **Precast Concrete Structures**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2002.

LAWSON, R. M.; OGDEN, R. G. **'Hybrid' light steel panel and modular systems**. Article info: Light steel modular demonstration building testing, 18 April 2008.

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

MAMEDE, F. C. **Utilização de pré-moldados em Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, EESC. São Carlos - SP, 2001.

MELHADO, S. B. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios**: Aplicação ao Caso das Empresas de Incorporação e Construção. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MEDEIROS, M. C. I. **Gestão do conhecimento aplicado ao processo de projeto na construção civil**: estudos de caso em construtoras. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Setor de Construção Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

MEDEIROS, M. C. I.; MELHADO, S. B. **Gestão do conhecimentos aplicado ao processo de projeto na construção civil**: estudos de caso em construtoras. Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pós-graduados desta Universidade – BT/PCC/581. São Paulo, 2013.

MODENA, L. **Construção industrializada**: uma contribuição para habitações de interesse social. Monografia (Conclusão do Curso de Especialização em Engenharia Civil) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.

MONICH, C. R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema Wood Frame no estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, 2012.

MORAES, P. T. A.; LIMA, M. G. **Levantamento e análise de processos construtivos industrializados sob a ótica da sustentabilidade e desempenho**. In: Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XV ENCITA, São José dos Campos – SP, 2009.

NASCIMENTO, D. de S. C. **Avaliação pós-ocupação e pós-uso de edificações estruturadas em aço**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto Programa de Pós-Graduação. Ouro Preto - MG, 2009.

OLIVEIRA, R. **Qualidade do projeto**. In: VII – Workshop brasileiro de gestão do processo de projeto na construção de edifícios. Curitiba, data 6 e 7 de dezembro de 2007.

PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Pau-

lo, 1993.

PINHO, M. O. **Transporte e Montagem**. Série Manual de Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS / CBCA, 2005.

PIGOZZO, B. N.; SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A. **A industrialização na construção e o estudo de uma rede de empresas em obra de pré-fabricados em concreto armado**. In: XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 07 a 09 de novembro de 2005. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.simpep.feb.unesp.br>. Acesso em outubro de 2014.

PAULA, N. **Diretrizes para seleção de projetistas e avaliação da prestação do serviço de projeto de edificações na visão do contratante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2009.

PEREIRA, D. A. M. et al. **Conforto lumínico e estress visual de usuários de um bloco educacional público**. In: VII SEPRONE. Mossoró – RN, 2012. Disponível em: <http://www.seprone2012.com.br/sites/default/files/ep3.pdf>. Acesso em janeiro de 2014.

PENAZZI, M. E.; SOUZA, A. S. C.; SERRA, S. M. B. **Construções industrializadas para habitações de interesse social: aspectos gerais**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). Maceió – AL, 2014.

RIBEIRO, S.L. **Espaço escolar: um elemento (in)visível no currículo**. Artigo: Sitientibus, Feira de Santana, n.31, p.103-118, 2004.

REZENDE, P. G. **Análise da reposta numérica de ligações parafusadas em chapas finas e perfis formados a frio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Estruturas) – Universidade de São Paulo, EESC. São Carlos, 2005.

REZENDE, E. M.; GOUVEIA, A. M. C. **Sistemas de estacionamento vertical modulado em estrutura metálica**. REM – Revista Escola de Minas. Ouro Preto, 59 (3): 279-284, 2006.

ROSSITI, I. S. M. **Avaliação do conforto térmico das salas de aula da Universidade Federal de São Carlos**. Monografia (Conclusão do Curso de Engenharia Civil) da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2010.

RODRIGUES, M. **Orçamento participativo**. Revista Construção Mercado. Pini Web. Edição no. 1. Jan. 2009. Disponível em: <http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/orcamento-participativo-82618-1.asp>. Acesso em março 2014.

SANTOS, J. P. et al. **Conforto Ambiental no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria**. Artigo: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Florianópolis, 1998.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G. **Painéis de vedação**. Série Manual de Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS / CBCA, 2003.

SILVA, F. B. **Planejamento de processos de construção para a produção industrializada de edifícios habitacionais: proposta de um modelo**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SALES, A. **Tecnologia e durabilidade de sistemas estruturais**. Apostila (Disciplina do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) – PPGECiv. Universidade Federal de São Carlos - SP, 2012.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação. Ouro Preto - MG, 2008.

SUN, M.; MENG, X. **Taxonomy for change causes and effects in construction projects**. International Journal of Project Management, Volume 27, Issue 6, Pages 560-572, August 2009.

SPDI – UFSCar. Portal da Universidade Federal de São Carlos. Secretaria Geral de Planejamento e Desenvolvimento Institucionais. Disponível em:
http://www2.ufscar.br/interface_frames/index.php?link=http://www.ufscar.br/~spdi/. Acesso em agosto de 2013.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos Pré-fabricados de concreto**. In: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado, de 03 a 04 de novembro de 2005, São Carlos/SP. Disponível em:
http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpcm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf. Acesso em junho de 2013.

SILVA, A. C. S. B.; CUNHA, E. G.; OLIVEIRA, L. **Simulação de Eficiência Energética**. Laboratório de Conforto e Eficiência Energética. Pelotas - RS, 2012. Disponível em:
http://www2.ufpel.edu.br/faurb/labcee/site/adm_/content/home/arquivos/Simulacao_EEnergetica_aulas_02_03.pdf. Acesso em janeiro de 2014.

SCHMID, A.L. **A idéia de conforto**: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

TUNOUTI, F.; NOVAES, C. C., **Aplicabilidade dos instrumentos de garantia da qualidade do projeto nas edificações com sistema estrutural em aço**. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 4. Anais... Belo Horizonte. 2004.

TEIXEIRA, R. B. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação. Ouro Preto - MG, 2007.

TABELAS para dimensionamento de estruturas de aço construídas por perfis formados a frio. Catálogo de produtos. Belo Horizonte, MG.

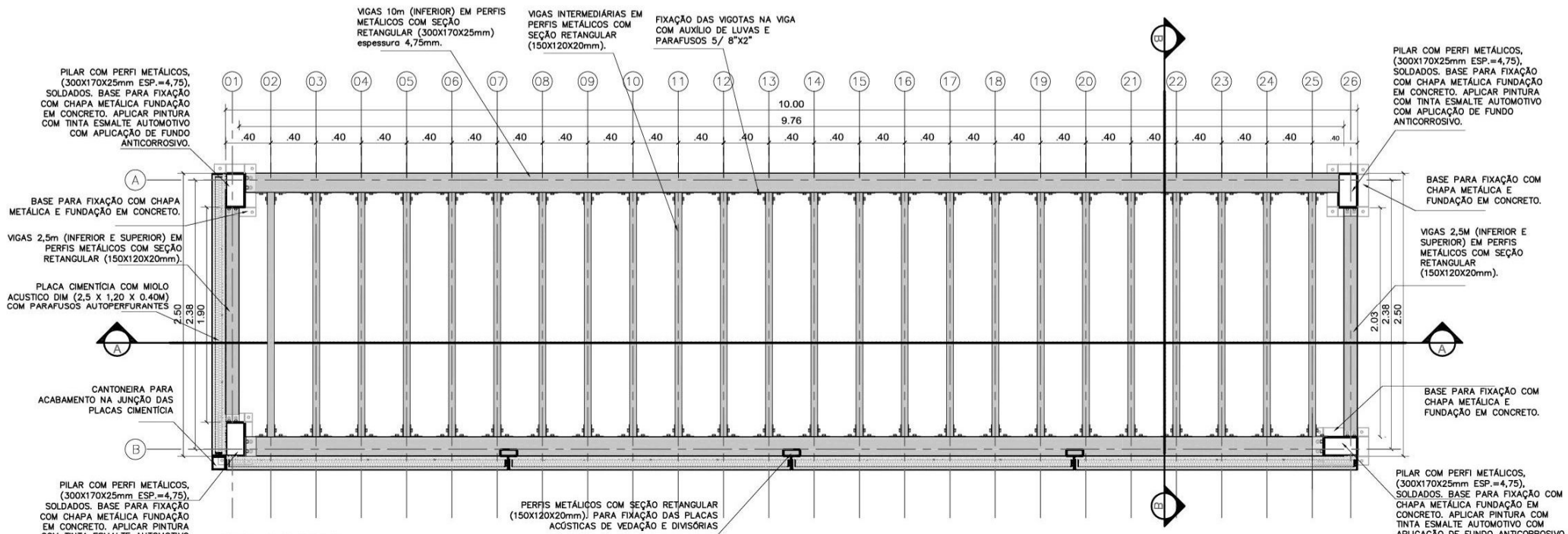
VAN DER LAAN, B.; GONÇALVES, M.; POLIDORI, M. C. **Obtenção e aplicação de uma célula arquitetônica modular a partir de sistemas construtivos modulares**. Artigo: XIX - ENPOS Congresso de Iniciação Científica, Pelotas - RS, 2010.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C. C. Vantagem produtiva do sistema light steel framing: da construção enxuta à racionalização construtiva. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), de 06 a 08 de outubro, em Canela – RS,

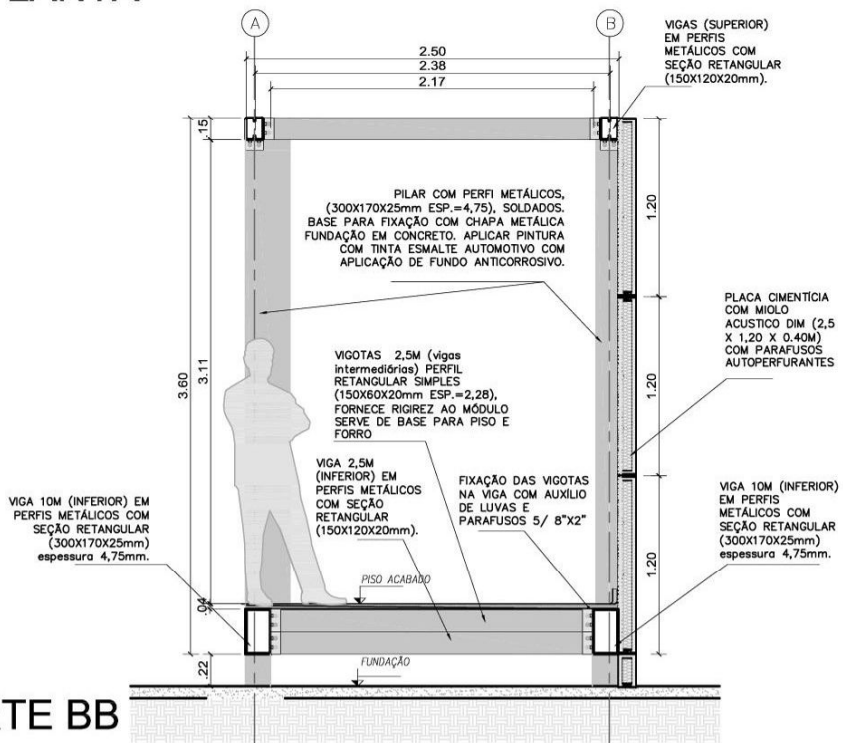
2010.

WOLFF, S. F. S. A arquitetura escolar documentada e interpretada através de imagem.
In: SEMINÁRIO PEDAGOGIA DA IMAGEM, IMAGEM DA PEDAGOGIA. Niterói: Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Educação, 1996.

APÊNDICES



PLANTA



CORTE BB

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

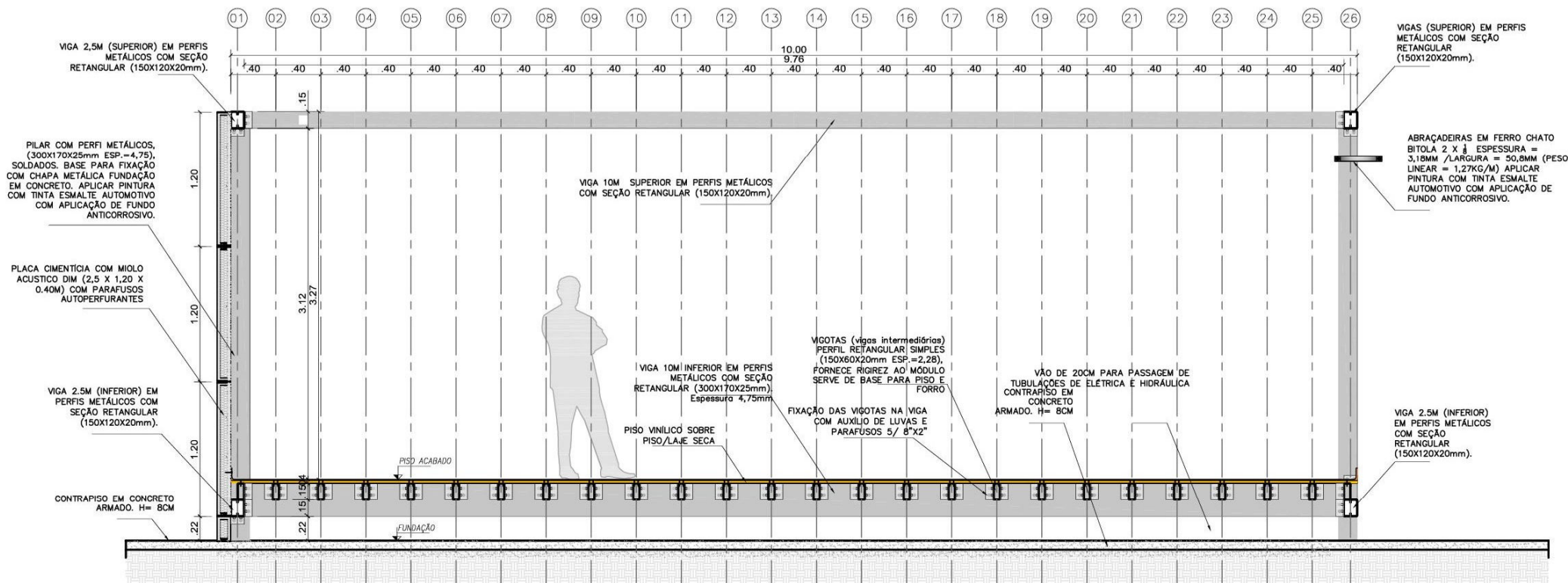


PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA

01
12



CORTE AA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
 PPGEciv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
 ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3

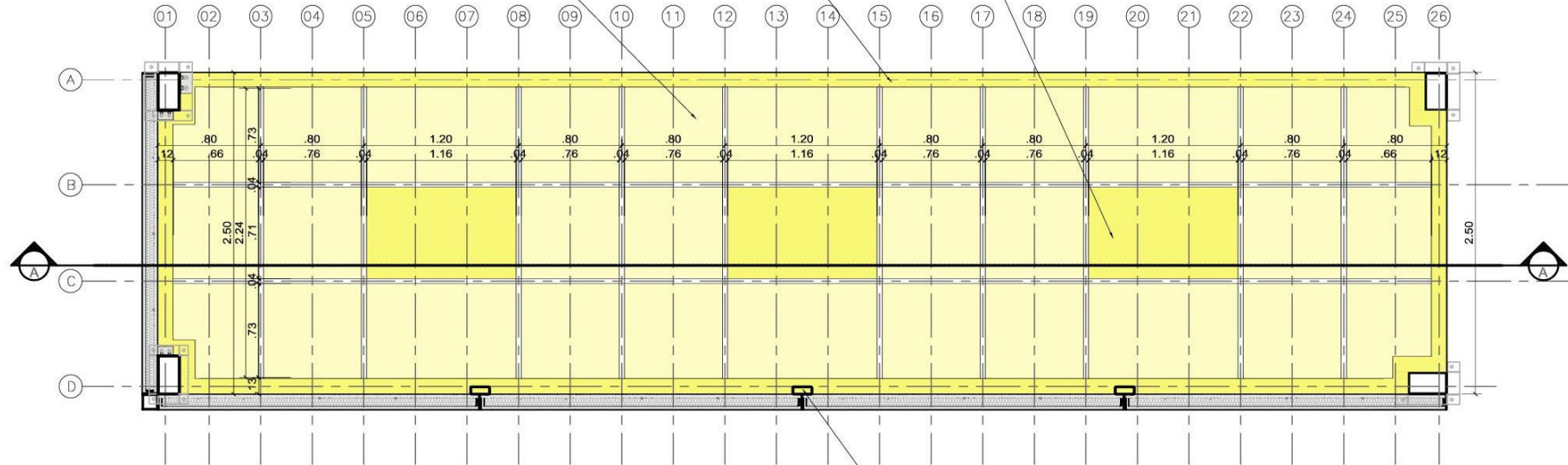
FOLHA

02 / 12

FORRO ACUSTICO REMOVIVEL - APOIADO EM ESTRUTURA METALICA, SUSTENTACAO OCLUSA, JUNTA DE DILATAÇÃO DE 2,0cm COM TABICA EM ALUMINIO COM PINTURA ELETROSTÁTICA COR BRANCA, APOIADO EM PERFIS METÁLICOS SUSPENSOS POR PENDURAS RIGIDAS;

INTERFACE FORRO REMOVIVEL / PAREDES CORTE LONGITUDINAL

LUMINÁRIAS



PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). PARA FIXAÇÃO DAS PLACAS ACÚSTICAS DE VEDAÇÃO E DIVISÓRIAS

PLANTA DE FORRO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPG Civ - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



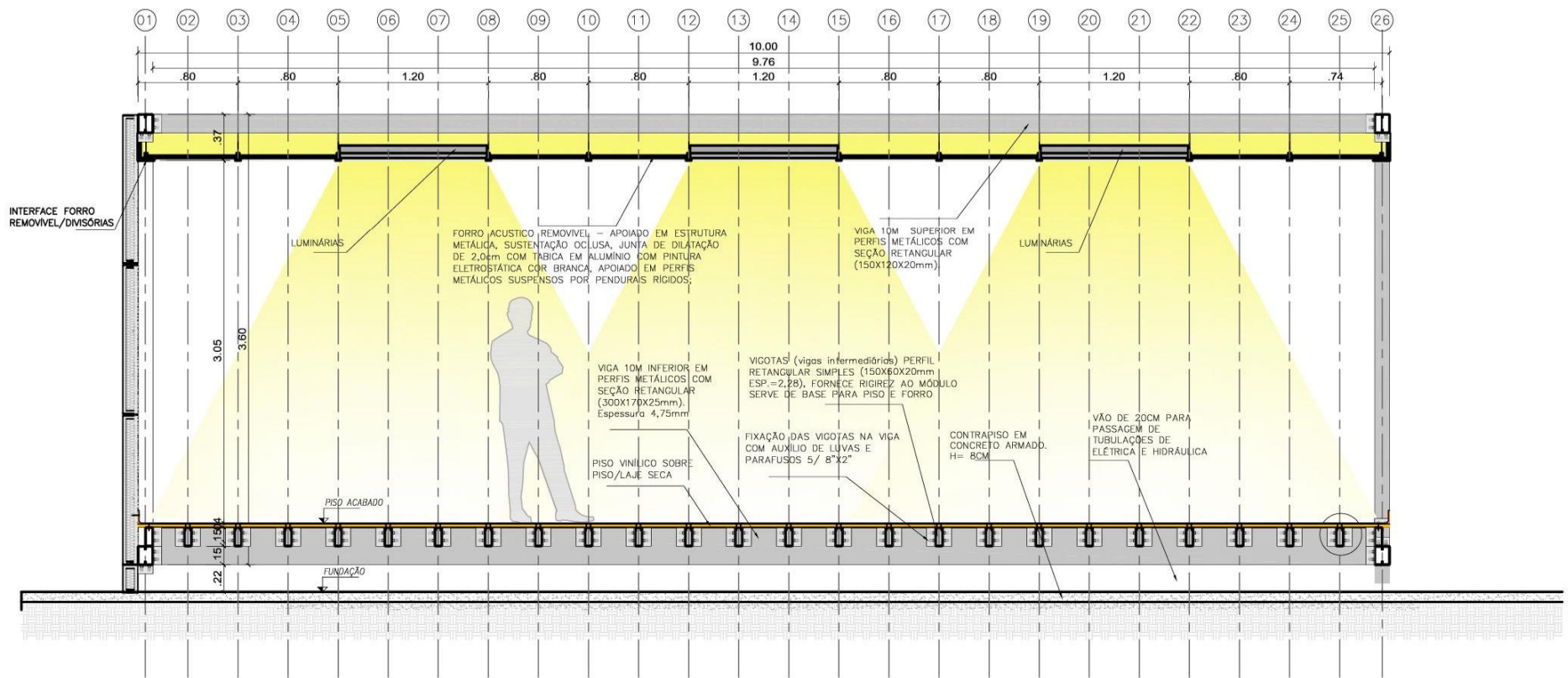
PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3

FOLHA

03 / 12



CORTE AA - FORRO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
 PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
 ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



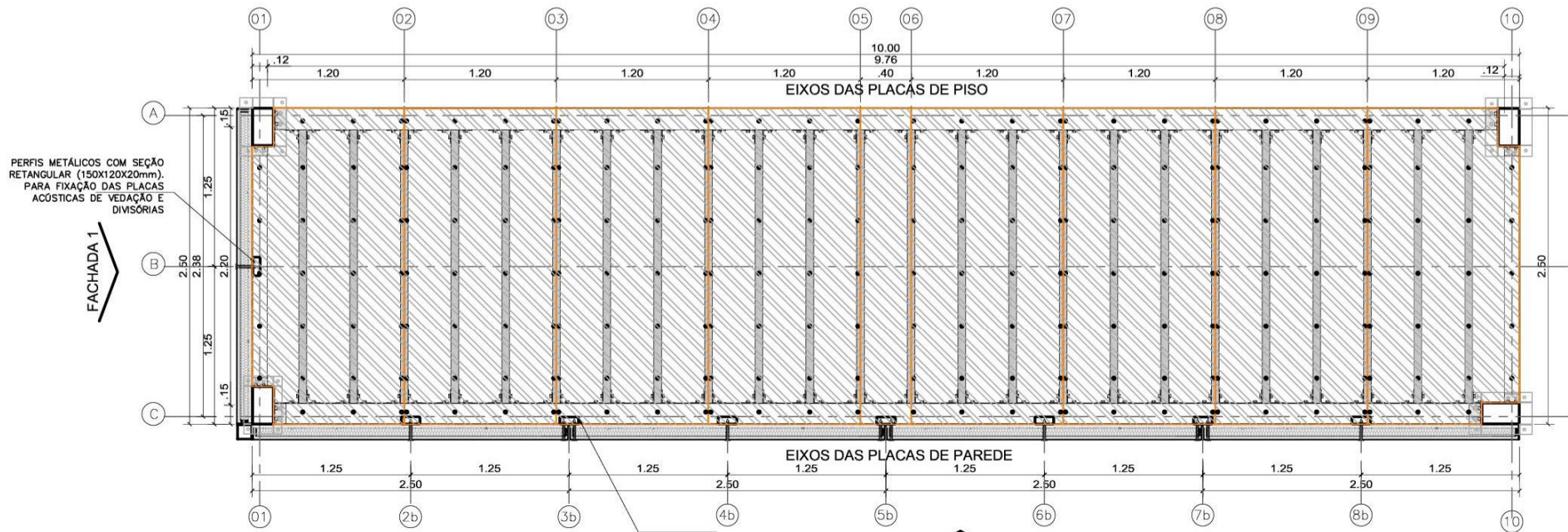
PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3

FOLHA

04 / 12

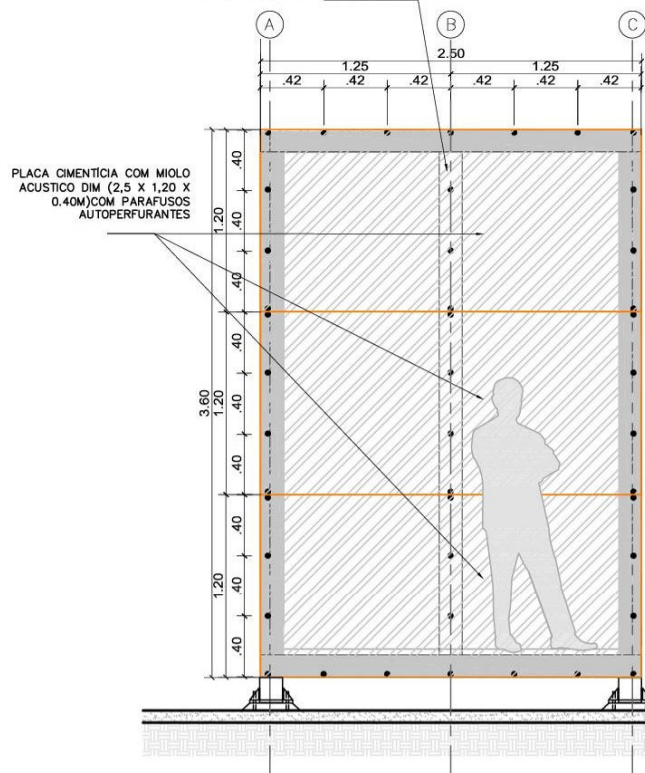


PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). PARA FIXAÇÃO DAS PLACAS ACÚSTICAS DE VEDAÇÃO E DIVISÓRIAS

PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). PARA FIXAÇÃO DAS PLACAS ACÚSTICAS DE VEDAÇÃO E DIVISÓRIAS



PLANTA DE PISO E PAINÉIS DE VEDAÇÃO NAS LATER



FACHADA 1 COM PAINÉIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



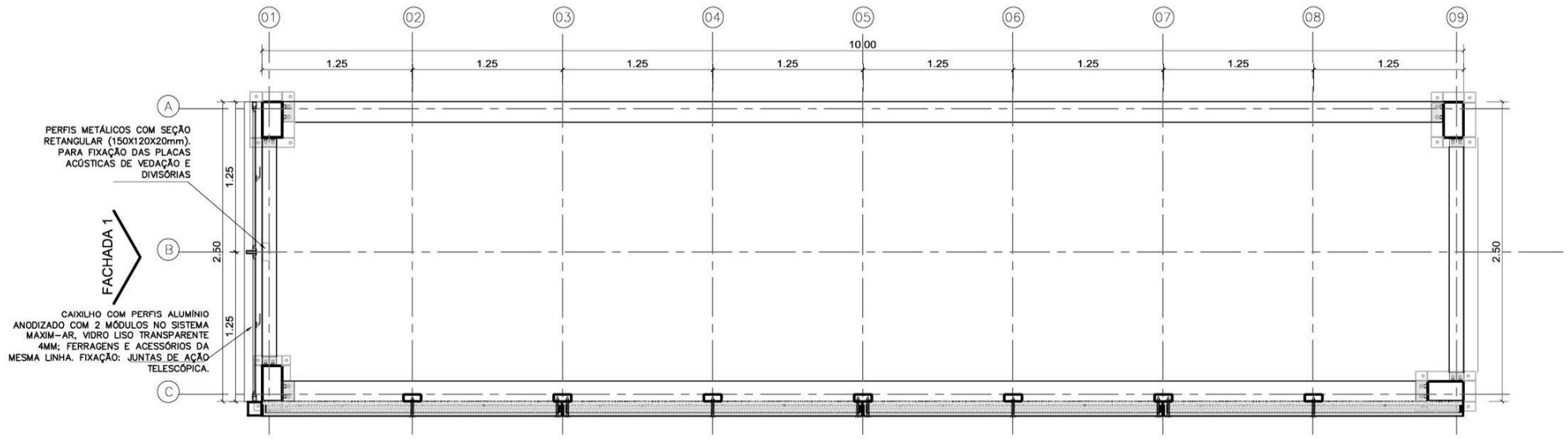
PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3

FOLHA

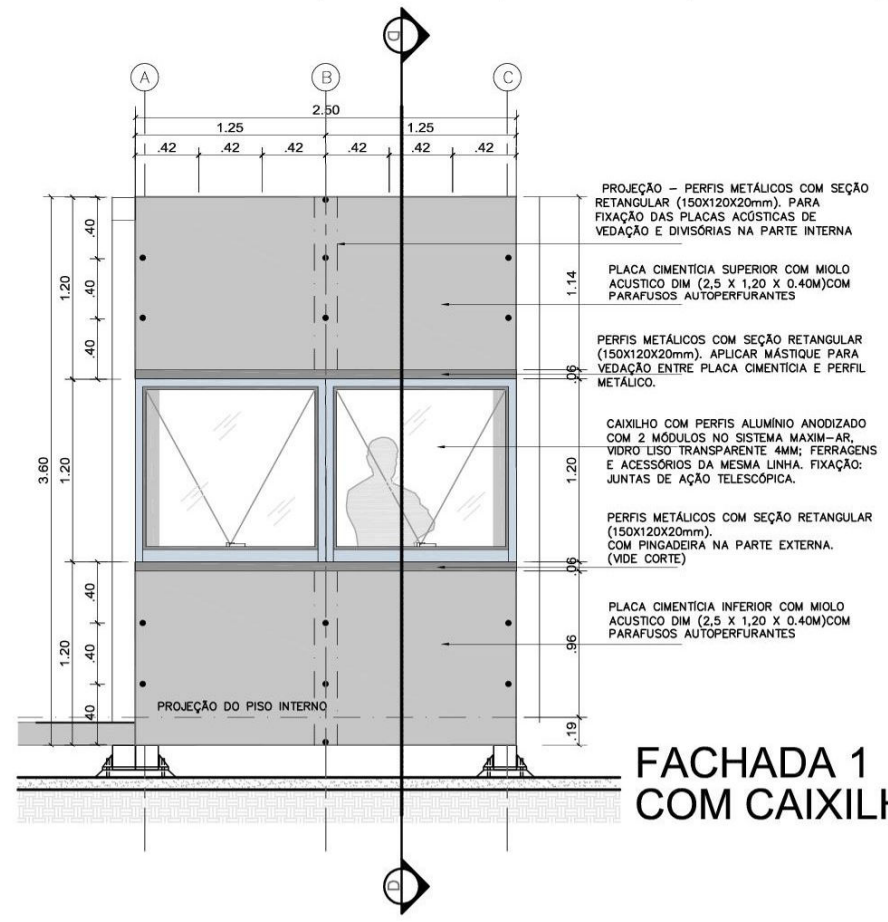
05 / 12



PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). PARA FIXAÇÃO DAS PLACAS ACÚSTICAS DE VEDAÇÃO E DIVISÓRIAS

CAIXILHO COM PERFIS ALUMÍNIO ANODIZADO COM 2 MÓDULOS NO SISTEMA MAXIM-AR, VIDRO LISO TRANSPARENTE 4MM; FERRAGENS E ACESSÓRIOS DA MESMA LINHA. FIXAÇÃO: JUNTAS DE AÇO TELESCÓPICA.

PLANTA DE PISO COM CAIXILHO



PROJEÇÃO - PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). PARA FIXAÇÃO DAS PLACAS ACÚSTICAS DE VEDAÇÃO E DIVISÓRIAS NA PARTE INTERNA

PLACA CIMENTÍCIA SUPERIOR COM MIOLO ACÚSTICO DIM (2,5 X 1,20 X 0,40M) COM PARAFUSOS AUTOPERFORANTES

PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). APLICAR MÁSTIQUE PARA VEDAÇÃO ENTRE PLACA CIMENTÍCIA E PERFIL METÁLICO.

CAIXILHO COM PERFIS ALUMÍNIO ANODIZADO COM 2 MÓDULOS NO SISTEMA MAXIM-AR, VIDRO LISO TRANSPARENTE 4MM; FERRAGENS E ACESSÓRIOS DA MESMA LINHA. FIXAÇÃO: JUNTAS DE AÇO TELESCÓPICA.

PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). COM PINGADEIRA NA PARTE EXTERNA. (VIDE CORTE)

PLACA CIMENTÍCIA INFERIOR COM MIOLO ACÚSTICO DIM (2,5 X 1,20 X 0,40M) COM PARAFUSOS AUTOPERFORANTES

FACHADA 1 COM CAIXILHO E PAINÉIS

FACHADA 2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



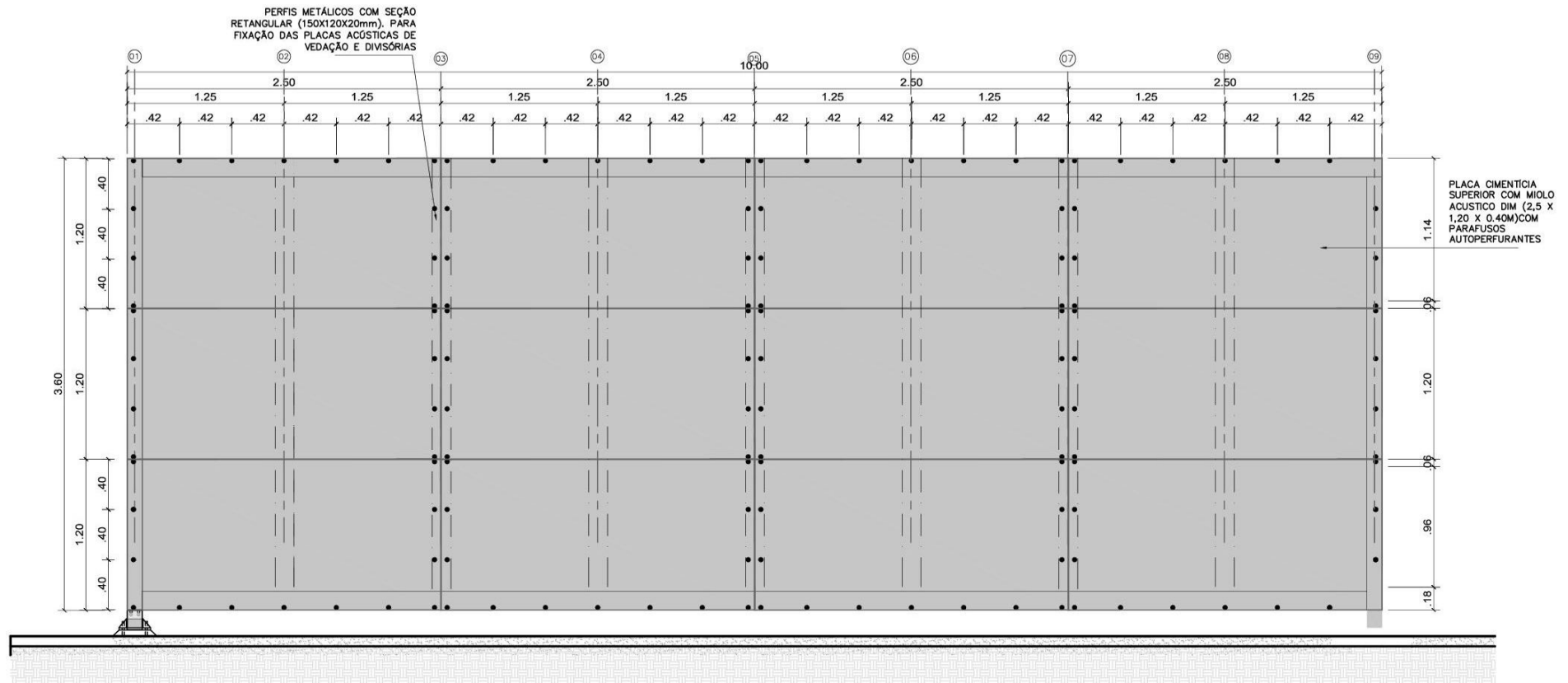
PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3

FOLHA

07 / 12



FACHADA 2 COM CAIXILHO E PAINÉIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



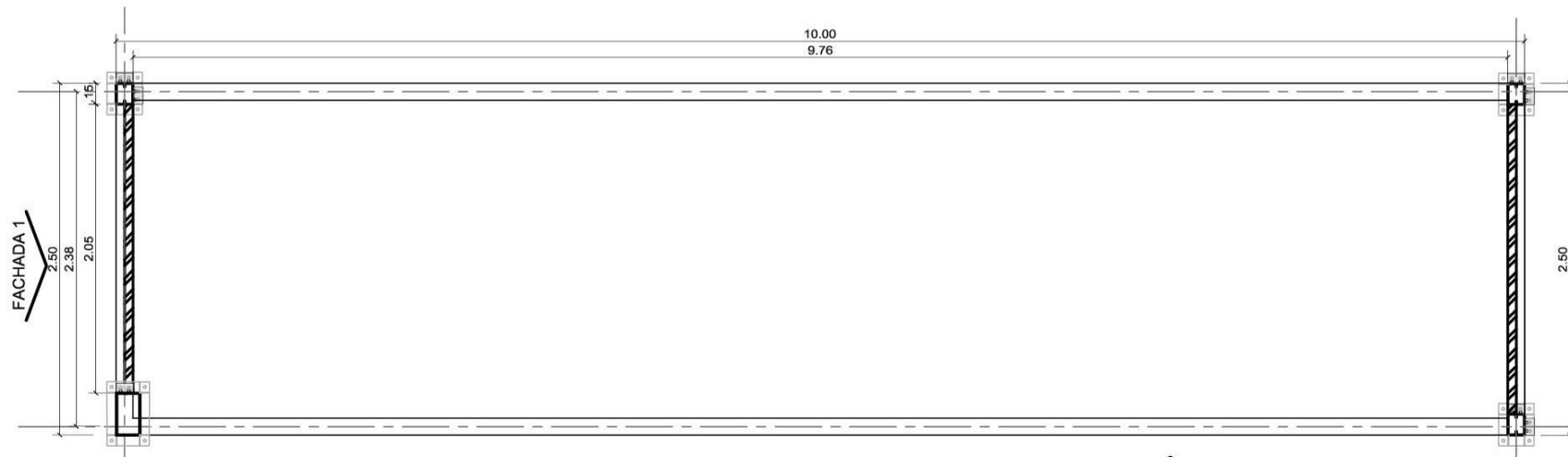
PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3

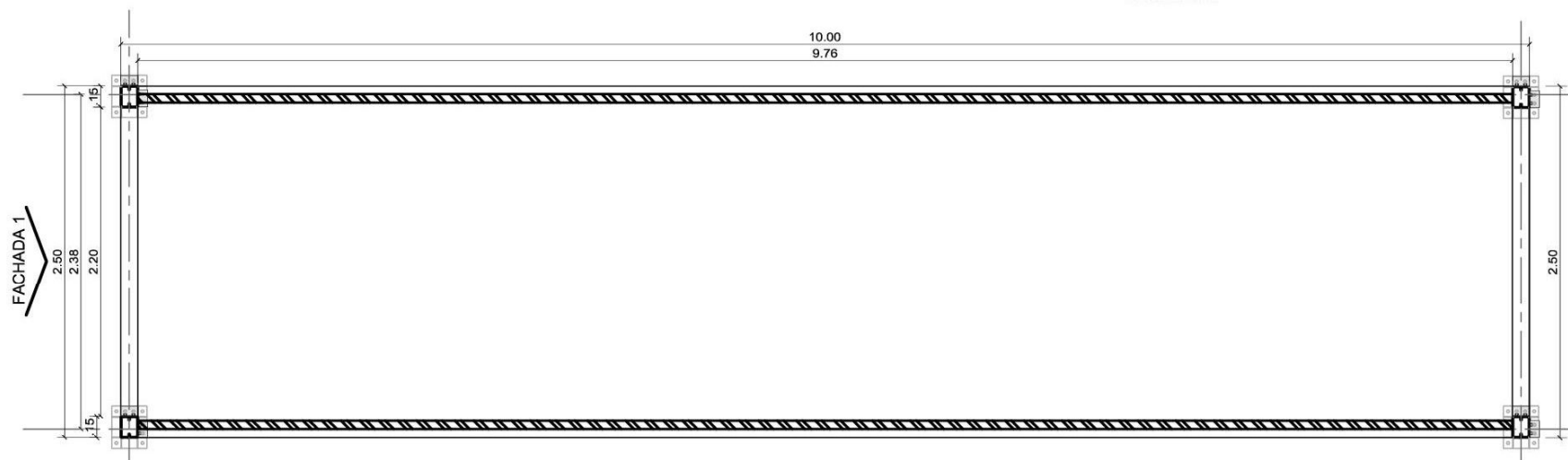
FOLHA

08
12



PLANTA DE CONTRAVENTAMENTO LATERAL

FACHADA 2



PLANTA DE CONTRAVENTAMENTO LONGITUDINAL

FACHADA 2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
 PPGE Civ - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
 ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



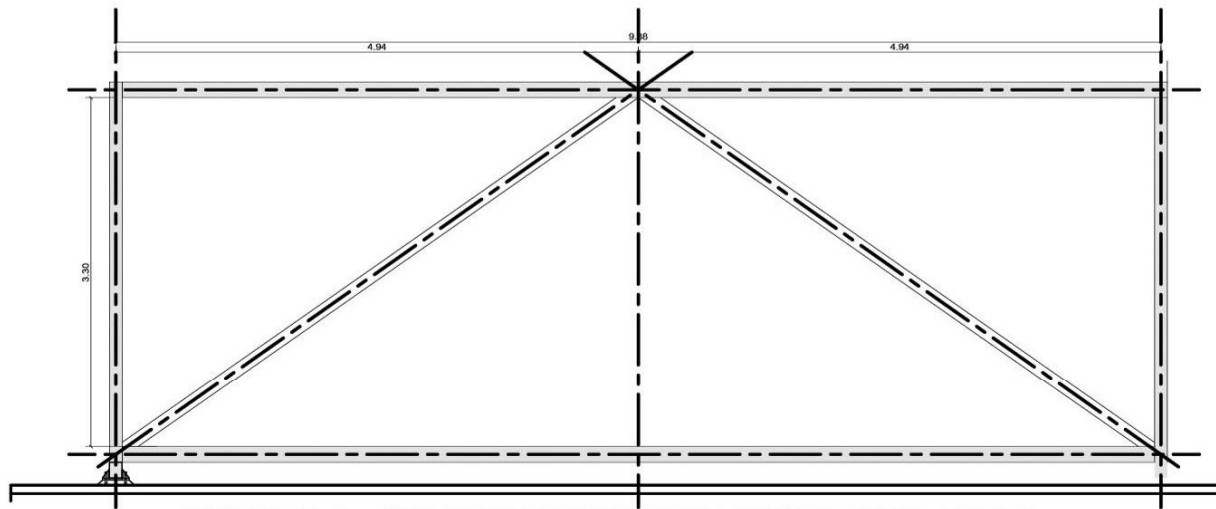
PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

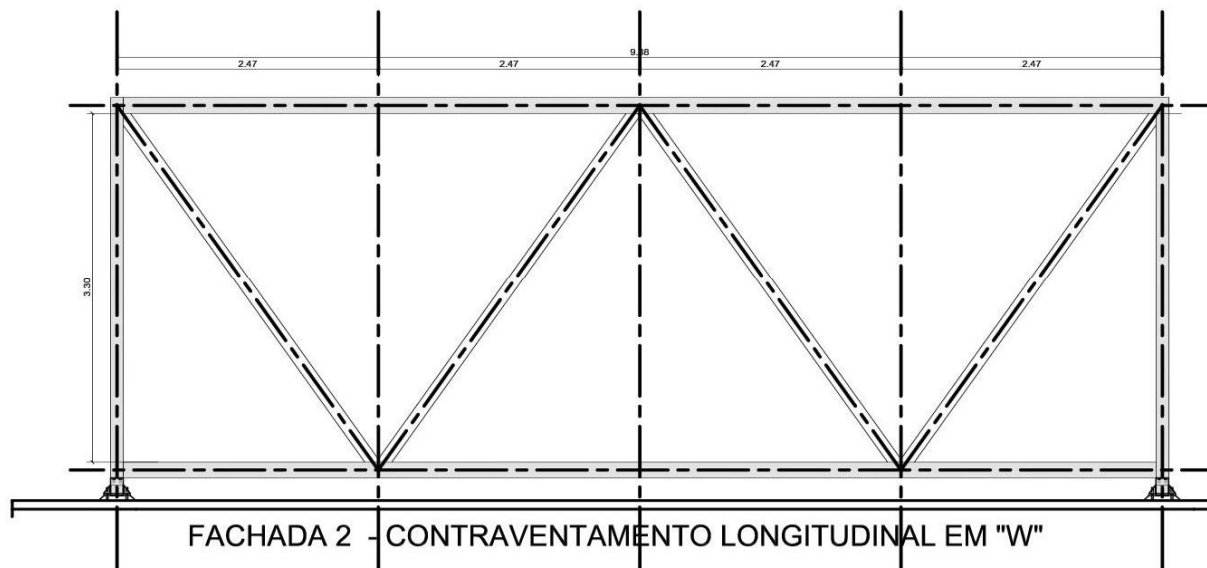
FOLHA A3

FOLHA

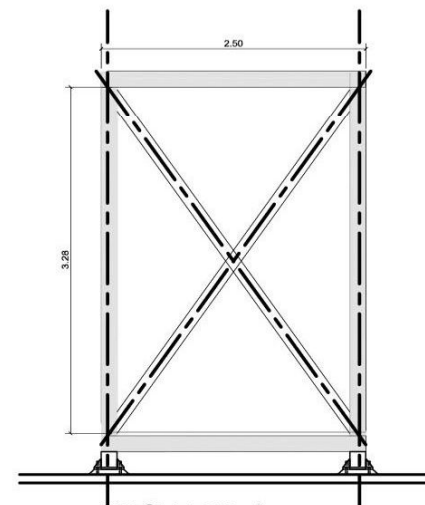
09 / 12



FACHADA 2 - CONTRAVENTAMENTO LONGITUDINAL EM "V"



FACHADA 2 - CONTRAVENTAMENTO LONGITUDINAL EM "W"



FACHADA 1
CONTRAVENTAMENTO LATERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



PROJETO MODULAR EM AÇO

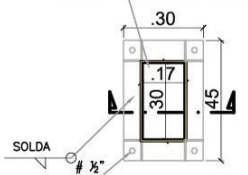
ANOTAÇÕES

FOLHA A3

FOLHA

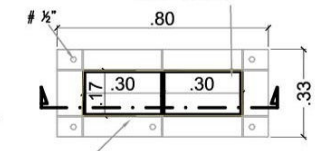
10 / 12

PILAR COM PERFI METÁLICOS, (300X170X25mm ESP.=4,75), SOLDADOS. BASE PARA FIXAÇÃO COM CHAPA METÁLICA FUNDAÇÃO EM CONCRETO. APLICAR PINTURA COM TINTA ESMALTE AUTOMOTIVO COM APLICAÇÃO DE FUNDO ANTICORROSIVO.



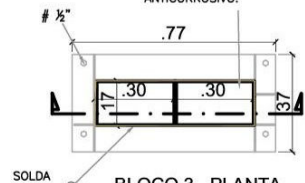
BLOCO 1 - PLANTA

PILAR COM PERFI METÁLICOS, (300X170X25mm ESP.=4,75), SOLDADOS. BASE PARA FIXAÇÃO COM CHAPA METÁLICA FUNDAÇÃO EM CONCRETO. APLICAR PINTURA COM TINTA ESMALTE AUTOMOTIVO COM APLICAÇÃO DE FUNDO ANTICORROSIVO.



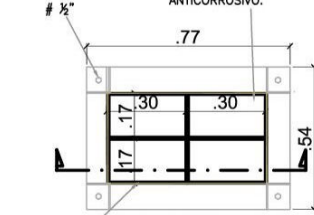
BLOCO 2 - PLANTA

PILAR COM PERFI METÁLICOS, (300X170X25mm ESP.=4,75), SOLDADOS. BASE PARA FIXAÇÃO COM CHAPA METÁLICA FUNDAÇÃO EM CONCRETO. APLICAR PINTURA COM TINTA ESMALTE AUTOMOTIVO COM APLICAÇÃO DE FUNDO ANTICORROSIVO.

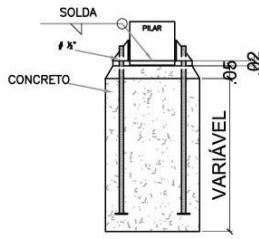


BLOCO 3 - PLANTA

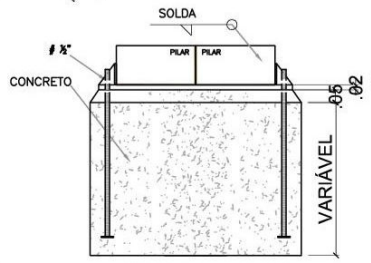
PILAR COM PERFI METÁLICOS, (300X170X25mm ESP.=4,75), SOLDADOS. BASE PARA FIXAÇÃO COM CHAPA METÁLICA FUNDAÇÃO EM CONCRETO. APLICAR PINTURA COM TINTA ESMALTE AUTOMOTIVO COM APLICAÇÃO DE FUNDO ANTICORROSIVO.



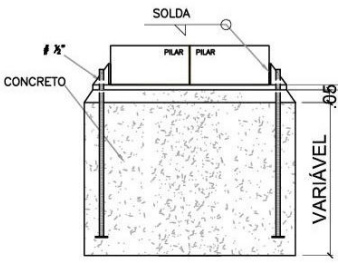
BLOCO 4 - PLANTA



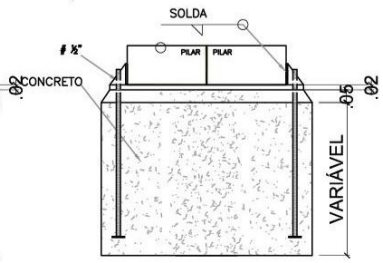
BLOCO 1 - CORTE



BLOCO 2 - CORTE



BLOCO 3 - CORTE



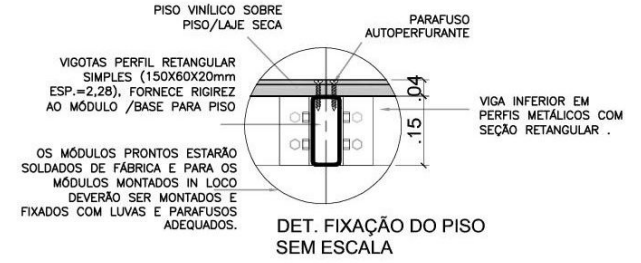
BLOCO 4 - CORTE

ABRAÇADEIRAS EM FERRO CHATO BITOLA 2 X 1/2 ESPESSURA = 3,18MM /LARGURA = 50,8MM (PESO LINEAR = 1,27KG/M) REF: ACOCIL). APLICAR PINTURA COM TINTA ESMALTE AUTOMOTIVO COM APLICAÇÃO DE FUNDO ANTICORROSIVO.



PERSPECTIVA ABRAÇADEIRA SEM ESCALA

ABRAÇADEIRAS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

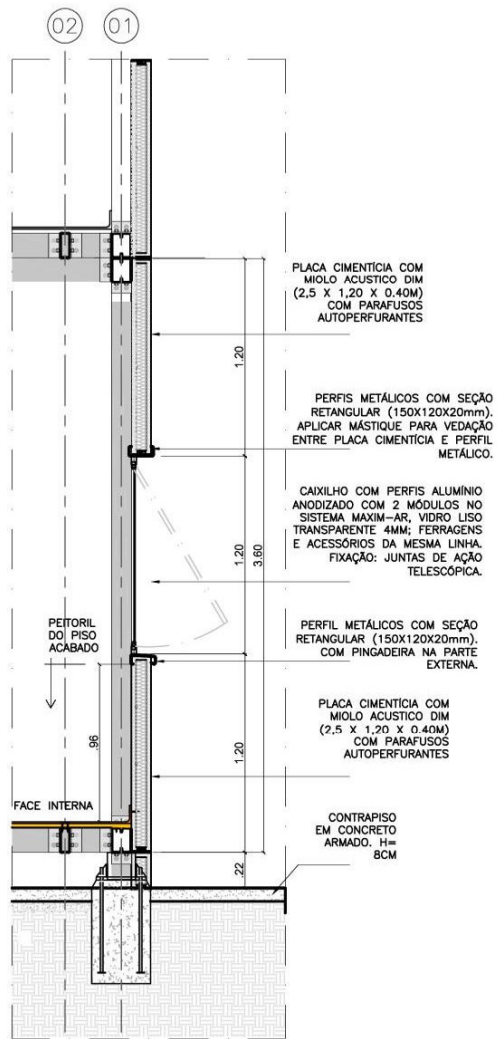


PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3 FOLHA

11 / 12



CORTE DD

PLACA CIMENTÍCIA COM MIOLO ACÚSTICO DIM (2,5 X 1,20 X 0,40M) COM PARAFUSOS AUTOPERFORANTES

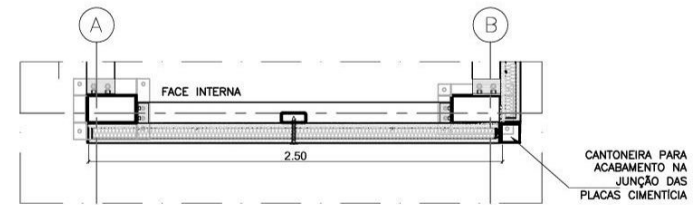
PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). APLICAR MÁSTIQUE PARA VEDAÇÃO ENTRE PLACA CIMENTÍCIA E PERFIL METÁLICO.

CAIXILHO COM PERFIS ALUMÍNIO ANODIZADO COM 2 MÓDULOS NO SISTEMA MAXIM-AR, VIDRO LISO TRANSPARENTE 4MM; FERRAGENS E ACESSÓRIOS DA MESMA LINHA. FIXAÇÃO: JUNTAS DE AÇÃO TELESCÓPICA.

PERFIL METÁLICO COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm) COM PINGADEIRA NA PARTE EXTERNA.

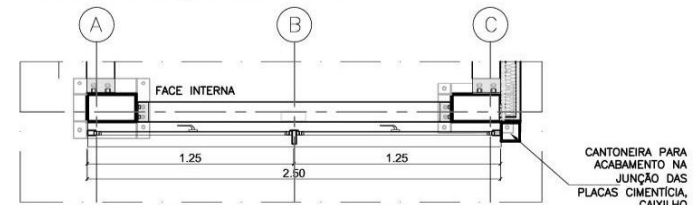
PLACA CIMENTÍCIA COM MIOLO ACÚSTICO DIM (2,5 X 1,20 X 0,40M) COM PARAFUSOS AUTOPERFORANTES

CONTRAPISO EM CONCRETO ARMADO, H=8CM



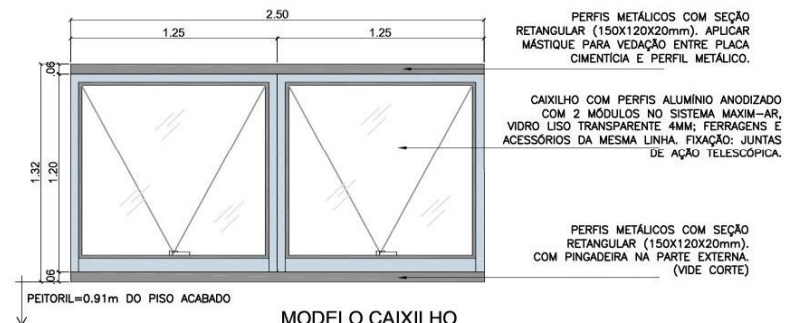
PLACA CIMENTÍCIA SUPERIOR COM MIOLO ACÚSTICO DIM (2,5X1,20X0,40M) COM PARAFUSOS AUTOPERFORANTES

PLANTA - VEDAÇÃO COM PAINÉIS



CAIXILHO COM PERFIS ALUMÍNIO ANODIZADO COM 2 MÓDULOS NO SISTEMA MAXIM-AR, VIDRO LISO TRANSPARENTE 4MM; FERRAGENS E ACESSÓRIOS DA MESMA LINHA. FIXAÇÃO: JUNTAS DE AÇÃO TELESCÓPICA.

PLANTA - VEDAÇÃO COM PAINÉIS



PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm). APLICAR MÁSTIQUE PARA VEDAÇÃO ENTRE PLACA CIMENTÍCIA E PERFIL METÁLICO.

CAIXILHO COM PERFIS ALUMÍNIO ANODIZADO COM 2 MÓDULOS NO SISTEMA MAXIM-AR, VIDRO LISO TRANSPARENTE 4MM; FERRAGENS E ACESSÓRIOS DA MESMA LINHA. FIXAÇÃO: JUNTAS DE AÇÃO TELESCÓPICA.

PERFIS METÁLICOS COM SEÇÃO RETANGULAR (150X120X20mm) COM PINGADEIRA NA PARTE EXTERNA. (VIDE CORTE)

PEITORIL=0,91m DO PISO ACABADO

MODELO CAIXILHO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PPGECiv - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL



PROJETO MODULAR EM AÇO

ANOTAÇÕES

FOLHA A3

FOLHA

12 / 12