



MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

Conceitos e Etapas
Volume 1: Estrutura e Vedação



Agência Brasileira de
Desenvolvimento Industrial

MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

Conceitos e Etapas

Volume 1: Estrutura e Vedação

© 2015 – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI
Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, desde que seja citada a fonte.

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Supervisão

Maria Luisa Campos Machado Leal
Diretora de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação

Equipe Técnica

Carla Maria Naves Ferreira
Gerente de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação

Cynthia Araújo Nascimento Mattos
Coordenadora de Promoção da Inovação

Claudionel de Campos Leite
Especialista em Projetos

Willian Cecilio de Souza
Assistente de Projetos

Coordenação de Comunicação

Bruna de Castro
Coordenadora de Comunicação

Projeto Gráfico e Assistência Editorial

Tikinet Comunicação

Equipe de Pesquisadores

Raquel Naves Blumenschein
Coordenadora

Rosa Maria Sposto
Pesquisadora

Paulo Peixoto
Pesquisador

Felipe Nascimento
Pesquisador

Vamberto Machado
Pesquisador

ABDI

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Setor Comercial Norte, Quadra 01, Bloco D, 2º andar

- Edifício Vega Luxury Design Offices – Asa Norte

Tel.: (61)3962-8700

www.abdi.com.br

República Federativa do Brasil

Dilma Rousseff

Presidenta

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Armando Monteiro

Ministro

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Alessandro Golombiewski Teixeira

Presidente

Maria Luisa Campos Machado Leal

Diretora de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação

Miguel Antônio Cedraz Nery

Diretor de Desenvolvimento Produtivo

Charles Capella de Abreu

Chefe de Gabinete

Carla Maria Naves Ferreira

Gerente de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação

Cynthia Araújo Nascimento Mattos

Coordenadora de Promoção da Inovação

AGRADECIMENTOS

Temos a satisfação de disponibilizar para a sociedade brasileira o “Manual da Construção Industrializada – Conceitos e Etapas – Volume 1: estrutura e vedação”. Este trabalho não teria obtido êxito se não fosse o empenho e a dedicação do Grupo de Trabalho da Construção Industrializada, instituído no final de 2013. Há que se destacar que, desde o início dos trabalhos do Grupo, todas as tarefas e as responsabilidades foram divididas, num compromisso conjunto pela realização deste Manual. O grupo estabeleceu um debate permanente sobre a industrialização da Construção no Brasil, por meio da identificação de ações conjuntas entre Governo e setor privado visando elevar a produtividade do setor.

O Manual da Construção Industrializada é uma importante fonte de consulta de informações sobre as práticas de planejar, projetar, contratar, fiscalizar e aceitar obras públicas ou privadas, com aplicação de componentes, elementos e sistemas construtivos industrializados.

GT – Construção Industrializada

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Claudionel Campos Leite (Coordenador do GT) e Willian Cecílio de Souza

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Marcos Otávio Bezerra Prates e Talita Tormin Saito

ABRAMAT – Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção

Laura Marcellini, Paulo Rico Perez e Francieli Lucchette

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

Raquel Sad Seiberlich Ribeiro e Luis Fernando Melo Mendes

DECONCIC/Fiesp – Departamento da Indústria da Construção – FIESP

Mário William Esper

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

Íria Lícia Oliva Doniak e Guilherme Correia Lima

ABCEN – Associação Brasileira da Construção Metálica

Ronaldo do Carmo Soares

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica

Luís Lima e Bruno Frasson

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

Instituto Aço Brasil

Carolina Fonseca e Débora Oliveira

DRYWALL – Associação Brasileira do DRYWALL

Carlos Roberto de Luca e Luiz Antônio Martins Filho

CAIXA – Caixa Econômica Federal

Ronaldo Rodrigues Carvalho

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

Cassiano Quevedo Rosas de Ávila

APRESENTAÇÃO

A construção civil tem relevante papel no processo de crescimento do país. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e o de Investimento em Logística (PIL), assim como obras do Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), têm estimulado a cadeia produtiva da indústria da construção civil, pela geração de empregos e renda para milhares de trabalhadores, além de ganhos significativos em escala para o comércio e a indústria nacional.

Neste cenário, o aumento da produtividade da construção civil tem sido a tônica das discussões nos fóruns público-privados. Nos últimos anos, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) têm trabalhado como parceiros estratégicos da indústria da construção para identificar ações que possam contribuir com a inovação, a modernização e o aumento da competitividade desta indústria.

Sabemos que o Brasil já avançou bastante na área, mas ainda há um caminho a percorrer, especialmente no que se refere às falhas verificadas em obras, que decorrem do uso de métodos e processos convencionais, por vezes inadequados, de projetos, construção, fiscalização e aceitação.

Hoje, o grande desafio para os agentes públicos e privados da construção civil é a mudança de cenário na construção industrializada. É fundamental que o setor inove para deter o domínio de produção, empregando os princípios do processo de industrialização de forma estruturada, com gestão planejada de produção e com planejamento do fluxo de produção. Sabemos também que a industrialização na construção é um processo evolutivo, com incorporação de inovação tecnológica e de gestão, com as ações organizacionais que buscam o aumento de produção e o aprimoramento do desempenho da atividade construtiva.

O *Manual da Construção Industrializada – Conceitos e Etapas – vol. 1: Estrutura e Vedação* tem como objetivo disseminar o uso de sistemas industrializados na construção civil brasileira. O material é fruto de um esforço coletivo desenvolvido por um grupo de trabalho formado por entidades do setor público e privado e coordenado pela ABDI.

O *Manual* traz um conjunto de informações para orientar as práticas de planejamento, projetos, contratação, fiscalização e aceitação em obras públicas ou privadas, com aplicação de componentes, elementos e sistemas construtivos industrializados.

As informações contidas no *Manual* foram levantadas por meio de pesquisa bibliográfica e coleta de dados junto a representantes dos

setores de diversas tecnologias associadas a sistemas construtivos industrializados no Brasil, participantes do Grupo de Trabalho da Construção Industrializada.

O *Manual* pode ser aplicado a qualquer processo de contratação de sistemas industrializados. É uma publicação técnica, prática e de fácil leitura, consistindo em um conjunto de informações norteadoras que auxiliam na contratação de sistemas industrializados, por meio de diretrizes, algumas delas apresentadas em forma de quadros e *checklists*, que podem ser preenchidos pelos responsáveis pela contratação, gerando subsídios para a seleção dos melhores sistemas.

O material foi desenvolvido para técnicos, arquitetos e engenheiros e para as instituições públicas e privadas que especificam e contratam componentes, elementos e sistemas construtivos industrializados para edificações e obras de infraestrutura. Esta primeira edição aborda os conceitos e as etapas envolvidas na construção industrializada, com atenção especial para planejamento e contratação. Cobre ainda a caracterização e a descrição dos sistemas construtivos industrializados, com foco nos elementos e sistemas de estrutura e vedação.

No segundo semestre do ano que vem, lançaremos os volumes 2 e 3 do *Manual*, que vão trazer outros segmentos, elementos e sistemas aplicados na construção industrializada. As próximas edições abordarão as etapas de montagem e aceitação, sistemas racionalizados, elementos de instalação e revestimento, componentes volumétricos (quartos e banheiros prontos etc.) e desempenho ambiental dos sistemas construtivos industrializados.

Acreditamos que este trabalho é uma importante contribuição da ABDI para o setor alcançar melhores resultados. Certamente, o aumento no uso dos sistemas construtivos industrializados contribuirá para a melhoria da produtividade do uso dos recursos do trabalho e do capital.

Boa leitura e boa prática!

Alessandro Golombiewski Teixeira
**Presidente da Agência Brasileira de Desenvolvimento
Industrial – ABDI**

SUMÁRIO

Siglas	17
Lista de Quadros	19
Lista de Figuras	21

PARTE 1

1. Conceitos	31
1.1 Industrialização e pré-fabricação:	35
1.2 Industrialização da construção: ciclo fechado e ciclo aberto	36
1.3 Racionalização e coordenação modular (CM)	37

PARTE 2

1. Processo construtivo industrializado	41
1.1 Etapas e arranjos produtivos do processo construtivo industrializado	41
1.2 Tipos de sistemas construtivos	43
2. Planejamento preliminar	45
2.1 Documentação necessária	46
2.1.1 Informações do componente, elemento ou sistema construtivo	47
2.1.1.1 <i>Informações Gerais</i>	47
2.1.1.2 <i>Análise preliminar dos aspectos técnico-econômicos dos componentes, elementos ou sistema construtivo</i>	49
2.1.1.3 <i>Análise preliminar dos aspectos de desempenho ambiental dos componentes, elementos ou sistema</i>	49
2.1.2 Comprovação de desempenho dos componentes, elementos e sistemas	50
2.1.2.1 <i>Análise do desempenho técnico dos componentes e elementos</i>	50
2.1.2.2 <i>Desempenho em uso de sistemas construtivos para edificações habitacionais</i>	52
2.1.3 Garantia e prazo de garantia	54
2.1.3.1 <i>Garantias</i>	54
2.1.3.2 <i>Prazo de garantia</i>	54
2.1.4 Responsabilidade técnica	55
2.1.5 Manutenção preventiva	55
2.1.6 Monitoramento	57
2.1.7 Avaliação técnica em uso	57
2.2 Fluxo de caixa para a produção de edificações	58
2.3 Agregação de valor	61

2.3.1	Âmbito técnico	61
2.3.2	Âmbito econômico	62
2.3.3	Âmbito de produtividade e de sustentabilidade	63
3.	Contratação	63
3.1	Processo de contratação	65
3.1.1	Concepção e viabilidade	65
3.1.2	Seleção do projetista, fornecedor e montador	66
3.1.3	O contrato	66
3.1.3.1	<i>Escopo</i>	67
3.1.3.2	<i>Cronograma de fabricação e execução</i>	67
3.1.3.3	<i>Preço e formas de pagamento</i>	67
3.1.3.4	<i>Requisitos de qualidade</i>	68
3.1.3.5	<i>Referência à forma de fiscalização e recebimento</i>	68
3.1.4	Definição das responsabilidades na contratação de sistemas industrializados	68
3.1.4.1	<i>Do contratante</i>	68
3.1.4.2	<i>Da contratada</i>	69
3.2	Legislação e regulamentação de licitações e práticas de mercado para sistemas industrializados	69
3.2.1	Modalidade de licitação x Natureza do objeto	70
3.2.2	Contratação direta (dispensa e inexigibilidade de licitação)	71
3.3	Modelos de contratação para sistemas construtivos de edificações	72
3.3.1	Preço global	72
3.3.2	Preço unitário	72
3.4	Termos de referência (para obras públicas)	72
3.5	Das medições e pagamentos	73
3.6	Fase interna da licitação	74
3.7	Ajustes nos processos (legislação/regulamentação)	76
3.7.1	Cronograma	77
3.7.2	Formas de Pagamento	77
3.7.3	Detalhes projetuais	77
3.7.4	Adequação de mão de obra	77
4.	Planejamento executivo do processo de produção de obras com um sistema industrializado	80
4.1	Projeto	80
4.2	Viabilidade	83
4.2.1	Planejamento físico	84
4.2.2	Planejamento financeiro – orçamento analítico	84
4.2.3	Planejamento logístico	84
4.3	Execução	85
4.3.1	Mecanização do canteiro	85
4.4	Uso e manutenção	86

5. Fabricação	86
5.1 Introdução ao controle de qualidade	86
5.2 Controle de qualidade na produção e na recepção	87
5.3 Sistema de gestão da qualidade na contratada	88
5.4 Controle de qualidade na produção dos componentes e elementos na fábrica	88
5.4.1 Nos materiais	89
5.4.2 Na fabricação do componente ou elemento	91
5.5 Obrigatoriedade de cumprimento de prazos e medição na fábrica	93
6. Montagem	95
6.1 Método de montagem	98
6.2 Condições do canteiro	99
6.3 Proteção contra acidentes	99
6.4 Interfaces e alterações nos sistemas	100
6.5 Manuseio e armazenagem	101
7. Monitoramento da obra para sistemas construtivos	101
7.1 Durante a fabricação/execução	102
7.2 Após a montagem e conclusão da obra	102
7.3 Plano de monitoramento	103
7.4 Aceite da obra	103
8. Sistemas construtivos industrializados	104
8.1 Sistemas construtivos industrializados em aço	104
8.1.1 Características da construção em aço	107
8.1.1.1 Ligações	109
8.1.1.2 Vedações	111
8.1.2 Construção em aço e seus produtos – tipologias	113
8.1.2.1 Aços estruturais	113
8.1.2.2 Chapas – grossas e finas: a quente e revestidas	114
8.1.2.3 Perfis – soldados, laminados, formados a frio e tubos sem costura e com costura	115
8.1.2.4 Tubos	117
8.1.2.5 Parafusos	117
8.1.2.6 Telhas de aço para coberturas e fechamentos	118
8.1.2.7 Steel-deck	120
8.1.2.8 Estacas metálicas	120
8.1.3 Estruturas mistas	121
8.1.4 Tratamento contra a corrosão	123
8.1.4.1 Galvanização × pintura	124
8.1.5 Resistência ao fogo	125

8.1.6	Execução e montagem das estruturas de aço	127
8.1.6.1	<i>Transporte eficiente</i>	128
8.1.6.2	<i>Operação segura</i>	129
8.1.7	Normas Técnicas do aço	129
8.2	Sistema construtivo em <i>light steel framing</i>	130
8.2.1	Principais componentes do sistema <i>light steel framing</i>	132
8.2.1.1	<i>Perfis de aço</i>	132
8.2.1.2	<i>Vedações externas e internas</i>	132
8.2.1.3	<i>Isolantes termo acústicos</i>	135
8.2.1.4	<i>Barreira impermeável</i>	135
8.2.1.5	<i>Impermeabilizantes</i>	136
8.2.1.6	<i>Subcoberturas</i>	136
8.2.1.7	<i>Telhas</i>	136
8.2.2	Vantagens e benefícios do sistema <i>light steel framing</i>	136
8.2.3	Métodos de construção e montagem do sistema <i>light steel framing</i>	137
8.2.4	Etapas da construção LSF no processo mais utilizado (método de painéis)	139
8.2.4.1	<i>Fundação</i>	139
8.2.4.2	<i>Fixação dos painéis à fundação</i>	140
8.2.4.3	<i>Painéis</i>	140
8.2.4.4	<i>Isolamento térmico e acústico</i>	141
8.2.4.5	<i>Lajes</i>	141
8.2.4.5	<i>Cobertura</i>	142
8.2.5	Principais documentos a serem referenciados no steel framing	143
8.3	Sistemas construtivos industrializados em drywall	144
8.3.1	Utilização do sistema drywall	145
8.3.2	Materiais componentes do sistema drywall	145
8.3.2.1	Perfis de aço	145
8.3.2.2	<i>Chapas de gesso</i>	146
8.3.2.3	<i>Parafusos</i>	147
8.3.2.4	<i>Tratamento de juntas</i>	147
8.3.2.5	<i>Lã de vidro</i>	147
8.3.3	PSQ do drywall	148
8.3.4	Sistema de paredes	148
8.3.5	Sistema de forros	151
8.3.5.1	<i>Forro estruturado</i>	151
8.3.5.2	<i>Forro aramado ou forro de H</i>	152
8.3.6	Sistema de revestimentos	152
8.3.6.1	<i>Revestimento estruturado</i>	152
8.3.6.2	<i>Revestimento colado</i>	153
8.3.7	Itens para contratação	153
8.3.8	Normas ABNT NBR do drywall	154

8.4	Sistemas construtivos industrializados em concreto	154
8.4.1	Sistemas estruturais e tipologias	156
8.4.1.1	<i>Sistemas aporricados</i>	157
8.4.1.2	<i>Sistema esqueleto</i>	157
8.4.1.3	<i>Painéis portantes</i>	162
8.4.1.4	<i>Sistemas estruturais para pisos</i>	164
8.4.2	Tipologias das faces inferiores dos elementos de laje	165
8.4.3	Fachadas de concreto pré-fabricado	165
8.4.4	Fundações com elementos pré-fabricados	167
8.4.5	Sistemas celulares	168
8.4.6	Sistemas de cobertura	168
8.4.7	Projeto	169
8.4.8	Montagem	172
8.4.9	Normalização e processos de certificação	173
8.4.10	Outros exemplos de estruturas pré-fabricadas	174
8.5	Sistema construtivo industrializado em wood frame	176
8.5.1	Descrição do sistema	179
8.5.2	Tipologias construtivas	184
8.5.3	Normalização	187
9.	Exemplo de sistema racionalizado	187
9.1	Histórico	189
9.2	Tipologias	190
9.3	Resumo do sistema construtivo de painéis pré-moldados compostos por blocos cerâmicos e concreto armado	193
10.	Bibliografia	195
10.1	Normas Técnicas	201
10.2	Leis	205
10.3	Sites	206

SIGLAS

A	Aprovado
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABECE	Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ABCEM	Associação Brasileira da Construção Metálica
ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAT	Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
ASBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
BIM	Building Information Modeling
BNH	Banco Nacional de Habitação
CAIXA	Caixa Econômica Federal
CAU	Conselho de Arquitetura e Urbanismo
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo
CFA	Conselho Federal de Administração
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DAP	Declaração Ambiental do Produto
DATEC	Documento de Avaliação Técnica (SiNAT)
DECONCIC	Departamento da Indústria da Construção Fiesp
DOU	Diário Oficial da União
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
FIB	Fédération Internationale du Béton (International Federation of Concrete Structures)
GT	Grupo de Trabalho
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IFBQ	Instituto Falcão Bauer da Qualidade
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISS	Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza
ITA	Instituição Técnica Avaliadora (SiNAT)
LSF	Light Steel Framing
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MMC	Métodos Modernos de Construção

MPa	Mega Pascal
NA	Não se aplica
OSB	Oriented Strand Board
PBAC	Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade (Inmetro)
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (MCidades)
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PROARQ	Programa de Pós-Graduação em Arquitetura - UFRJ
PROCON	Proteção ao Consumidor
PSQ	Programa Setorial de Qualidade (MCidades)
PT	Plano de Trabalho
R	Reprovado
RG	Registro Geral
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
SBAC	Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (Inmetro)
SIMAC	Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos (PBQP-H)
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica (PBQP-H)
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro)
SRP	Sistema de Registro de Preços
TR	Termo de Referência
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UK	United Kingdom
VUP	Vida Útil de Projeto

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 (<i>checklist</i>): Informações gerais dos componentes, elementos e sistema	48
Quadro 2 (<i>checklist</i>): Informações para a análise preliminar dos aspectos técnico-econômicos dos componentes, elementos ou sistema	49
Quadro 3 (<i>checklist</i>): Informações para a análise preliminar dos aspectos de desempenho ambiental dos componentes, elementos ou sistemas	50
Quadro 4 (<i>checklist</i>): Aspectos de desempenho técnico de componentes e elementos	52
Quadro 5: Exemplo de prazos de garantia para componentes, elementos ou sistemas construtivos de edificações habitacionais segundo prazos sugeridos na ABNT NBR 15575 (2013)	53
Quadro 6: Informações sobre os responsáveis técnicos no projeto e execução de edificações	55
Quadro 7: Exemplo de roteiro de manutenção preventiva de sistemas, elementos, componentes e instalações	56
Quadro 8: Declaração de compromisso de contratação de entidade habilitada para efetuar o monitoramento da obra	57
Quadro 9: Declaração de compromisso de contratação de entidade habilitada para realização da avaliação técnica em uso do sistema construtivo	58
Quadro 10 (<i>checklist</i>): Informações referentes ao controle do fluxo de caixa	61
Quadro 11: (<i>checklist</i>): Informações para a contratação de sistemas construtivos industrializados	78
Quadro 12 (<i>checklist</i>): Informações para a contratação de sistemas construtivos industrializados para obras públicas	79
Quadro 13 (<i>checklist</i>): Informações de projeto para nortear a contratação de sistemas construtivos industrializados	83
Quadro 14 (<i>checklist</i>): Requisitos do projeto do produto industrializado	89
Quadro 15: Ficha de coleta de informações para inspeção de materiais	90
Quadro 16 (<i>checklist</i>): Informações sobre o controle da qualidade na fábrica	92
Quadro 17 (<i>checklist</i>): Informações sobre o sistema de gestão da qualidade da contratada referente à conformidade do processo na fábrica	93
Quadro 18: Termos de responsabilidade do cumprimento de prazo conforme estipulado em contrato para produção dos componentes e elementos industrializados	95
Quadro 19: Características dos elementos de laje segundo a fib	166
Quadro 20: Condições e limitações de uso. Fonte: Adaptado de PBQP-H, 2014.	192
Quadro 21: Resumo – estruturas para construção civil (painéis estruturais autoportantes)	193
Quadro 22: Resumo – estruturas para construção civil (painéis estruturais autoportantes)	194

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Painéis de vedação pré-fabricados de concreto	31
Figura 2: Escada pré-fabricada de concreto	31
Figura 3: Habitação Unifamiliar – Sistema construtivo em <i>light steel framing</i>	32
Figura 4: Sistema construtivo em pré-fabricados em concreto aplicados no segmento habitacional	32
Figuras 5: Arena de Handebol estruturada em aço (Parque Olímpico – Rio de Janeiro, Olimpíadas 2016)	34
Figura 6: Velódromo (Parque Olímpico – Rio de Janeiro, Olimpíada 2016)	34
Figura 7: Etapas do processo construtivo industrializado	41
Figura 8: Etapas do processo de contratação no setor privado	64
Figura 9: Etapas do processo de contratação para obras públicas	64
Figura 10: Ironbridge	104
Figura 11: Ponte Paraíba do Sul	105
Figura 12: Home Insurance Building	105
Figura 13: Anexo do Congresso Nacional	106
Figura 14: Centro Empresarial Senado	106
Figura 15: WTorre Morumbi	107
Figura 16: Grandes vãos – Arena Castelão	107
Figura 17: Fluxo de produção de estruturas de aço	109
Figura 18: Exemplos de ligação	110
Figura 19: Ligações aparafusadas	111
Figura 20: Aços especificados por Normas Brasileiras para uso estrutural - ABNT NBR 8800 2008, p.108	114
Figura 21: Exemplos de perfis soldados	115
Figura 22: Processo de laminação; pode-se observar o esboço do perfil	116
Figura 23: Dobradeira de perfis a frio	116
Figura 24: Perfis tubulares sem costura	117
Figura 25: Exemplo de tubo com costura	117
Figura 26: Exemplo de telha ondulada	119
Figura 27: Exemplo de telha trapezoidal	119
Figura 28: Exemplo de telha trapezoidal termoacústica	119
Figura 29: Telha zipada	119
Figura 30: Steel deck aplicado na obra	120
Figura 31: Exemplos de pilares mistos	122
Figura 32: Exemplo de laje mista sobre viga metálica – “Steel deck”	122
Figura 33: Vista de fachada com os pilares mistos em processo de concretagem	122
Figura 34: Exemplos de medidas de controle da corrosão através do detalhamento do projeto	123
Figura 35: Aplicação de tinta com pistola sobre a estrutura	124
Figura 36: Tanque de imersão da peça de aço para zincagem	125
Figura 37: Montagem da estrutura de aço	127
Figura 38: Embarque de estruturas de aço em caminhão	128
Figura 39: Habitação Unifamiliar Minha Casa Minha Vida – Paraná	131
Figura 40: Habitação Unifamiliar	131
Figura 41: Edifício Educacional multi-pavimentos. Fachada em <i>light steel framing</i>	131

Figura 42: Vedação com Placas Cimentícias – MCMV – Paraná	133
Figura 43: Vedação com Placas Cimentícias – MCMV – Paraná	133
Figura 44: Vedação com Placas OSB e Siding	133
Figura 45: Fachada em <i>light steel framing</i> com vedação em Placas Cimentícias	133
Figura 46: Fachada em <i>light steel framing</i> com vedação em Placas Cimentícias	133
Figura 47: Fachada em <i>light steel framing</i> com vedação em Placas Cimentícias	133
Figura 48: Detalhe de isolamento de vedações em <i>light steel framing</i>	135
Figura 49: Sistema stick	138
Figura 50: Sistema de painéis	139
Figura 51: Laje seca	141
Figura 52: Laje úmida	141
Figura 53: Perfis de aço	146
Figura 54: Chapas de gesso	147
Figura 55: Lã de vidro	148
Figura 56: Sistemas de vedação vertical	149
Figura 57: Paredes <i>drywall</i> mais comuns e seus desempenhos: estrutural, acústico e resistência ao fogo	150
Figura 58: Forro estruturado	151
Figura 59: Forro aramado	152
Figura 60: Junção H	152
Figura 61: Revestimento estruturado	152
Figura 62: Revestimento colado	153
Figura 63: Estádio Arena Fonte Nova durante a montagem da estrutura pré-moldada	155
Figura 64: Exemplo de estrutura pré-moldada apertada	157
Figura 65: Shopping em Jaraguá do Sul (SC) em ampliação com torre que abrigará um hotel (exemplo de estrutura em esqueleto)	157
Figura 66: Sistema estrutural em esqueleto com núcleo rígido (central)	158
Figura 67: Seções transversais utilizadas em pilares pré-moldados	159
Figura 68: Características e elementos acessórios dos pilares de seção quadrada e retangular empregados no Brasil	159
Figura 69: Seções típicas de vigas pré-moldadas de concreto	160
Figura 70: Sobrecarga \times vão livre para vigas de seção tipo I com as relações $b \times h$ mais comuns empregadas no Brasil	161
Figura 71: Obra do Edifício Comercial Terra Firme em São José (SC), com 14 pavimentos em sistema híbrido	162
Figura 72: Empreendimento Pátio Dom Luís em Fortaleza (CE), composta de vigas e lajes pré-fabricadas protendidas e pilares moldados no local e torres de 20 e 24 pavimentos	162
Figura 73: Obra da Universidade Universo em Recife (PE) – 12 pavimentos em estrutura pré-fabricada	162
Figura 74: Sistema estrutural composto por painéis portantes	163
Figura 75: Sistema estrutural com painéis portantes e lajes alveolares protendidas	163
Figura 76: Montagem de painéis em edifício residencial – Condomínio Piemonte, em 2008 – Belo Horizonte (MG)	164
Figura 77: Edifício San Paolo – São Paulo (SP): (a) Fachada com elementos e painéis pré-fabricados arquitetônicos; (b) Elemento arquitetônico pré-fabricado que compõe o arco na entrada.	167
Figura 78: Esquema de construção com sistema celular	168
Figura 79: Fábrica de estruturas pré-fabricadas de concreto, com cobertura em telhas W com domos, em produção das telhas W (pistas)	169
Figura 80: Cobertura com telhas metálicas para vãos menores.	169

Figura 81: Situações transitórias de projeto e fabricação – manuseio e içamento de viga pré-fabricada	170
Figura 82: Situações transitórias: armazenamento de lajes alveolares pré-fabricadas.	170
Figura 83: Situações transitórias – içamento de pilares pré-fabricados durante a montagem.	171
Figura 84: Esquema de ligações típicas de estruturas pré-fabricadas	172
Figura 85: Shopping Rio Mar Recife	175
Figura 86: Complexo do Itaguaí no estado do Rio de Janeiro, composto por uma ponte ferroviária, uma ponte e dois viadutos rodoviários, todos em estrutura pré-fabricada de concreto	175
Figura 87: Terminal rodoviário urbano de integração do BRT de Belo Horizonte, em estrutura híbrida, pilares pré-fabricados de concreto e cobertura metálica	176
Figura 88: Perspectiva dos subsistemas que compõem a edificação construída no Sistema Plataforma	177
Figura 89: Diretriz SiNAT 005 e DATEc 020	178
Figura 90: Painel multicamadas no sistema wood frame	181
Figura 91: Vista de uma habitação de alto padrão executada em wood frame no Brasil	182
Figura 92: Linha automatizada de produção de painéis wood frame em Araucária (PR)	183
Figura 93: Residencial Haragano, Pelotas (RS)	184
Figura 94: Escola entregue para a prefeitura de Pelotas (RS)	185
Figura 95: Uso de MLC aparente no Núcleo Senai de Sustentabilidade, Curitiba/Paraná	185
Figura 96: Nucleo Senai de Sustentabilidade – construído em wood frame e ganhador do prêmio RCE Awards/Unesco na categoria Community Mobilising Local Innovations for Sustainable Development	185
Figura 97: Habitação de alto padrão em Curitiba (PR) com geração própria de energia	186
Figura 98: Edificações multifamiliares em wood frame na América do Norte	187
Figura 99: Processo de fabricação no canteiro de obras	188
Figura 100: Modulação dos blocos cerâmicos com esquadria para concretagem	188
Figura 101: Primeira habitação experimental utilizando o painel cerâmico, na Unicamp, em 1986	190

INTRODUÇÃO

A construção brasileira, quando comparada aos EUA e à Europa, apresenta um cenário que se caracteriza pela necessidade de um aumento de produtividade, desenvolvimento de inovações, busca de racionalização, padronização e aumento de escala, com sustentabilidade (FILHA et al./BNDES, 2009).

A construção executada com processo convencional, ainda largamente utilizada no Brasil¹, frequentemente é marcada por processos com altos custos, baixo nível de planejamento, baixa qualificação do trabalhador, altos índices de desperdícios, baixa qualidade e incidências de manifestações patológicas e baixo desempenho ambiental.

Como apontado em estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV) (2012), o setor precisa elevar a sua produtividade, face à escassez de mão de obra e demanda crescente para construções habitacionais e de infraestrutura. Conseqüentemente, a indústria da construção no Brasil tem grande potencial para a industrialização, que permite melhores soluções de custos versus benefícios, reduzindo o ciclo da construção e seus custos, melhorando a qualidade e potencializando o controle de desempenho ambiental.

Dessa forma, faz-se necessário fortalecer o uso de sistemas construtivos industrializados, que têm como características inerentes maior planejamento e estudos de viabilidade técnico-econômica e de logística mais precisos, além de melhores condições de trabalho e melhor desempenho ambiental.

Segundo o Grupo de Trabalho de Construção Industrializada, do Departamento da Indústria da Construção da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (GT Construção Industrializada do DECONCIC/FIESP), a adoção de soluções industrializadas possibilita a obtenção de economias de escala na produção, contribuindo para a redução de custos produtivos e o aumento da produtividade. Há evidências indicando uma relação consistente entre industrialização, aumento da produtividade e crescimento econômico.

Com o estímulo à racionalização e à industrialização, pesquisas relacionadas à criação de novos sistemas construtivos surgiram no Brasil a partir de 1980. Rosso (1980) publicou um dos primeiros trabalhos que tinham como tema a racionalização da construção com base no desempenho das edificações.

Em 1980, o tema se consolidou no país, principalmente devido ao trabalho desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia do Estado

¹ Os sistemas construtivos no Brasil são, na sua maior parte, caracterizados pelo uso de métodos ou processos convencionais, derivados de culturas como a do Brasil colônia, como a taipa, e modificados com o advento do concreto armado no Brasil, onde passou a ser utilizado o sistema independente de estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação de tijolos e blocos cerâmicos ou de concreto com o uso abundante de mão de obra.

de São Paulo (IPT), que realizou pesquisas para a elaboração de critérios voltados à avaliação dessas soluções inovadoras para o Banco Nacional da Habitação (BNH). Diversos elementos e sistemas construtivos surgiram nessa época, como alvenaria estrutural de bloco de concreto, painéis de argamassa armada e painéis cerâmicos, sendo que alguns deles podem ter a função tanto de vedação vertical como horizontal.

A maior parte desses elementos e sistemas construtivos têm em comum algumas características que permitem classificá-los como racionalizados, ou seja, não são fabricados por uma indústria e montados no canteiro²; mas, sim, executados em canteiros, de forma racionalizada, ou seja, por meio da moldagem de painéis ou mesmo da elevação de alvenarias moduladas, como é o caso da alvenaria estrutural.

Com foco na racionalização e na inovação, atualmente há sistemas que possuem Documentos de Avaliação Técnica (DATecs) elaborados de acordo com as diretrizes do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (SiNAT/PBQP-h). Entre esses sistemas, podem ser citados: sistema leve de madeira, sistema de painéis de PVC preenchidos com concreto, painel pré-moldado maciço de concreto armado e painéis mistos de blocos cerâmicos e de concreto, entre outros. Como mera exemplificação, no item 11 são apresentadas imagens que caracterizam o sistema construtivo racionalizado de painéis cerâmicos.

Em relação aos sistemas industrializados, podem ser considerados dois tipos: o primeiro, constituído por sistemas leves para vedações (com pesos não superiores a 60 kgf/m²), destinados à compartimentação interna, e o segundo, os sistemas destinados às estruturas e aos fechamentos com função estrutural ou de vedação.

O primeiro tipo, referente aos sistemas leves, surgiram a partir de 1970, no Brasil, principalmente a partir da tecnologia denominada por *drywall*, que teve maior impulso a partir de 1990 para uso em vedações verticais, que consiste em perfis e guias de aço galvanizado com fechamento de chapas de gesso acartonado. Hoje o *drywall* já tem normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), possuindo larga aplicação em edificações de escritório e de infraestrutura (fechamento de espaços internos), além do uso em divisórias internas de edificações habitacionais.

O segundo tipo de sistemas construtivos industrializados ou pré-fabricados, são, em sua maioria, de concreto armado e de concreto

² No item 2 é apresentado o conceito de pré-moldado.

protendido, com função estrutural e/ou vedação, e surgiram após a instalação da indústria de cimento no Brasil, bem como a criação de normas de concreto, e a sua aplicação predominante foi em estruturas; entre esses elementos também se destaca o aço. Esses elementos estruturais podem ser hoje considerados os que mais se desenvolveram em relação ao grau de industrialização.

Essas estruturas foram utilizadas, no início, para edificações industriais, mas atualmente já possuem larga utilização em infraestrutura de aeroportos e edifícios de múltiplos pavimentos. Como exemplos desses sistemas tem-se os pilares com console, vigas, lajes e painéis projetados para trabalhar em conjunto, além de possibilitar o uso com outros sistemas construtivos, incluindo os convencionais. Especialmente o uso de concreto protendido, intensificado no final da década de 1950, foi responsável pelo desenvolvimento da indústria de estruturas pré-fabricadas no país.

O aço também teve um desenvolvimento expressivo no Brasil, inicialmente em estruturas de edifícios de múltiplos pavimentos e, mais recentemente, seu uso é cada vez maior em estruturas de postos de combustíveis, agências bancárias, agências de automóveis, entre outros. Elementos como coberturas termo acústicas, que são compostas por aço e isolantes térmicos, são cada vez mais utilizados em indústrias e em menor grau, em habitações.

É importante observar que também os sistemas híbridos, compostos de concreto armado ou protendido e aço, têm sido cada vez mais utilizados em obras de grande porte, como edificações de múltiplos pavimentos, aeroportos, estádios e outros.

Neste Manual são apresentados exemplos de sistemas construtivos industrializados de concreto armado e de concreto protendido, de aço, de *light steel framing*, de *light wood frame* e de *drywall*. Além desses sistemas industrializados, também é apresentado um exemplo de um sistema racionalizado, ilustrado por painéis cerâmicos. Esses sistemas são apenas exemplos, os sistemas aprovados no SiNAT que possuem Documento de Avaliação Técnica (DATec) também podem ser considerados, como o sistema leve de madeira, o sistema de painéis de PVC preenchidos com concreto, o painel pré-moldado maciço de concreto armado, entre outros.

Importa destacar que, face à complexidade e abrangência do tema, foi definido pelo GT o desenvolvimento do Manual em etapas progressivas, sendo que esta primeira edição aborda conceitos, fases (com foco

no planejamento e contratação) e sistemas construtivos industrializados para estrutura e vedação.

Não se pretende esgotar o tema da construção industrializada com este Manual, mas oferecer orientações para o processo de contratação de sistemas construtivos industrializados pelo setor privado e público. O que se espera com esta publicação é consolidar e sistematizar informações essenciais para a disseminação do tema, de modo que a industrialização seja vista como um vetor de alinhamento da cadeia produtiva da indústria da construção”.

Este Manual está estruturado em duas partes:

- Parte 1 – Conceitos: apresenta conceitos básicos para melhor uso do Manual, incluindo: industrialização da construção – ciclo aberto e fechados; racionalização e coordenação modular em sistemas construtivos industrializados; industrialização, pré-fabricação e pré-moldagem; industrialização e pré-fabricação: benefícios e dificuldades para o seu desenvolvimento; métodos modernos de construção (MMC).
- Parte 2 – Contratando sistemas construtivos industrializados: tendo como base o conceito de construção industrializada, define-se o fio condutor da estrutura dessa parte do Manual que de maneira prática visa nortear o processo decisório na contratação de sistemas construtivos. Inclui ainda descrições e exemplos de sistemas construtivos industrializados, com breves históricos, e informações específicas de alguns exemplos de sistemas construtivos.

Também é apresentado um exemplo de construção racionalizada com o uso de painéis cerâmicos. Outros exemplos serão futuramente tratados em publicações posteriores.

PARTE 1

CONCEITOS

1. Conceitos

Para o melhor entendimento deste Manual da Construção Industrializada, é necessária a apresentação de alguns conceitos que são utilizados ao longo do texto, referentes aos sistemas construtivos, por exemplo: componente, elemento, sistema construtivo, projeto e processo construtivo. Além disso, são também conceituados industrialização, racionalização, modulação e outros termos referentes ao contexto do manual.

A ABNT NBR 15575 (2013) define, para o componente, o elemento e o sistema, os seguintes conceitos:

- Componente – unidade integrante de determinado sistema da edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas (exemplo: bloco cerâmico ou de concreto, telha, folha de porta etc.);
- Elemento – parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes. Exemplos: vedação de blocos, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura. Figuras 1 e 2:



Figura 1: Painéis de vedação pré-fabricados de concreto (Fonte: ABCIC)



Figura 2: Escada pré-fabricada de concreto (Fonte: ABCIC)

- Sistema construtivo – a maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macrofunção que a define. Exemplos: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura. Figuras 3 e 4.

Projeto, segundo a ABNT NBR 13531 (2000) é o conjunto de instruções construtivas definidas e articuladas em conformidade com os princípios e técnicas específicas da arquitetura e da engenharia para,

ao integrar a edificação, desempenhar determinadas funções em níveis adequados.



Figura 3: Habitação Unifamiliar – Sistema construtivo em light steel framing (Font: Saint-Goban)



Figura 4: Sistema construtivo em pré-fabricados em concreto aplicados no segmento habitacional (Font: ABCIC)

De maneira geral, o processo pode ser considerado como o resultado obtido por meio de um potencial ou de uma ação transformadora (Maranhão; Macieira, 2008). Aplicado à edificação, pode-se afirmar que o Processo Construtivo é formado por entradas ou insumos (materiais, componentes, energia, água, mão de obra e equipamentos), processos de transformação (mais ou menos elaborados – equipamentos manuais ou mecânicos, ou tecnologias mais ou menos avançadas ou industrializadas) de acordo com um projeto e planejamento. Esse processo (insumos e atividades de transformação), atendendo a um projeto específico, é inerente a cada tipo de edificação. Como saídas ou resultados, tem-se o produto/edificação. Meseguer (1990) afirma que o processo construtivo é constituído por planejamento, projeto, materiais, construção (execução) e manutenção; o início do processo se dá devido ao atendimento da necessidade do usuário em relação à edificação.

Os processos construtivos podem ser classificados como: tradicional (uso de técnicas artesanais), convencional (caracterizado por tecnologias normalmente utilizadas no mercado, com maior tempo de execução), racionalizado (caracterizado pela melhoria gradativa dos processos convencionais) e industrializado ou pré-fabricado.

Na ABNT NBR 9062 são apresentados os conceitos de pré-fabricado e de pré-moldado:

- Elemento pré-fabricado – é em geral executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, ou em instalações permanentes de empresa destinada para esse fim que atende aos requisitos mínimos de mão de obra qualificada (a matéria-prima deve ser

ensaiada e testada quando no recebimento pela empresa e previamente à sua utilização).

- Elemento pré-moldado – é executado fora do local de uso definitivo, com menor rigor nos padrões de controle de qualidade (os componentes podem ser inspecionados individualmente ou em lotes, por inspetores ou empresas especializadas, dispensando-se a existência de laboratório e demais instalações próprias necessárias ao controle de qualidade).

Ribeiro (2002) afirma que quando o produto é único e realizado em um processo específico, não repetitivo, não se tem condições de aplicar séries de produção, mas a mecanização e outros instrumentos de industrialização são válidos (pré-fabricação).

Linner e Bock (2012) afirmam que a industrialização, no setor da construção civil se deu a partir do deslocamento dos processos convencionais para a fábrica, combinado com elementos da produção seriada por meio da pré-fabricação de componentes.

A industrialização representa o mais elevado estágio de racionalização dos processos construtivos e, independente da origem de seu material, está associada à produção dos componentes em ambiente industrial e, posteriormente, montados nos canteiros de obras, assemelhando-se às montadoras de veículos, possibilitando melhores condições de controle e a adoção de novas tecnologias.

No Brasil, as primeiras aplicações de pré-fabricação ou industrialização na construção civil se deram com o uso do concreto armado e da estrutura metálica (aço) seguidas de chapas de gesso acartonado com montante metálico para vedações do tipo *drywall*, entre outras. Também pode ser citado o banheiro pronto, que consiste em uma célula acabada cuja operação no canteiro é apenas a sua colocação na laje preparada para recebê-lo. Mais recentemente, observou-se no Brasil a intensificação do uso de estruturas industrializadas para os complexos esportivos (Copa 2014 e Olimpíadas 2016) bem como em obras de infraestrutura e, em especial, nos aeroportos (Figura 5 e 6).

Ainda no âmbito da compreensão dos conceitos deste Manual, entende-se por processo industrializado um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva (Sabatini, 1989).



Figura 5: Arena de Handebol estruturada em aço (Parque Olímpico – Rio de Janeiro, Olimpíadas 2016). Foto: Silvia Scalzo.



Figura 6: Velódromo (Parque Olímpico – Rio de Janeiro, Olimpíada 2016). Foto: ABCIC.

O processo industrializado requer que decisões sobre a tecnologia a ser adotada antecedam o desenvolvimento de projetos (ROSSO, 1990), com planejamento mais efetivo e detalhado, potencializando os benefícios da construção industrializada.

Ao se analisar os aspectos apresentados por Sabatini (1989) citados anteriormente, observa-se que o planejamento e o controle, associados às técnicas mais desenvolvidas, principalmente com o uso da mecanização, usuais nos sistemas construtivos industrializados, fazem com que os mesmos potencializem a eficácia e a eficiência do processo como um todo, que é uma das metas desejadas para o desenvolvimento tecnológico do Brasil.

Os processos construtivos industrializados podem oferecer melhores condições de maior controle do desempenho ambiental, com a redução da geração de resíduos, emissão de CO₂, uso de energia e água no processo de fabricação e no canteiro. Considerando que o processo de fabricação tem maior controle, há maior facilidade no levantamento de dados, por exemplo, para a avaliação do ciclo de vida (ACV), que permite demonstrar com mais transparência o desempenho ambiental de produtos e processos.

Dessa forma, pode-se considerar que o uso de sistemas construtivos industrializados permite produzir em maior quantidade, com melhor qualidade, melhor controle e demonstração do desempenho ambiental e em um tempo menor comparativamente a outros tipos de sistemas construtivos.

1.1 Industrialização e pré-fabricação

Segundo Blachere (1977), a industrialização da construção é um processo de natureza repetitiva, em que a variabilidade casual de cada fase que caracteriza as ações artesanais é substituída por graus pré-determinados de uniformidade e continuidade de execução, típica de operações parcial ou totalmente mecanizadas.

Na industrialização, observam-se níveis elevados de controle de caráter interno, com predominância de ação gerencial sobre a normativa. Blachere (1977) e Bruna (1976) afirmam que, nesse caso, há produção de séries e formação de estoques, sendo o processo final resultado de operações de montagem, ajuste e acabamento, que exigem um grau elevado de normalização e padronização.

A industrialização e a pré-fabricação possuem diversos benefícios, que abrangem desde a racionalização dos recursos, até a melhoria da qualidade do produto, já que quando este é fabricado na indústria, em geral o seu controle de qualidade é maior.

Alguns desses benefícios são apontados por Spadeto (2001):

- Menor prazo de execução;
- Produção independente de condições climáticas;
- Uso de mão de obra especializada;
- Matéria-prima selecionada;
- Maior controle de qualidade na execução;
- Maior qualidade e precisão geométrica;
- Menor consumo de materiais e percentual de perdas;
- Maior potencial de desconstrução;
- Maior controle do custo.

O conceito de industrialização e pré-fabricação vem sofrendo alguns ajustes, visto que se faz necessário considerar a dimensão ambiental. Um exemplo a ser citado é o termo *métodos modernos de construção (MMC)*, que tem sido usado para descrever os métodos de construção que vêm sendo introduzidos no Reino Unido.

Em 2003, o Housing Corporation (UK) publicou um sistema de classificação de construção com foco em habitação, que mais tarde integrou-se também a outras edificações:

1. Fabricado fora do canteiro – Volumétrico;
2. Fabricado fora do canteiro – Panelizado;
3. Fabricado fora do canteiro – Híbrido;
4. Fabricado fora do canteiro – Sub-montagens e componentes;
5. MMC fabricados no canteiro.

Segundo o Parlamento Inglês, os MMC envolvem a fabricação de edificações inteiras em fábricas, com benefícios potenciais, como construção mais rápida, com menos defeitos, bem como reduções nos usos de energia, água e geração de resíduos (Parliamentary Office Science and Technology, Postnote 209, dezembro de 2003). Entre os principais produtos do MMC citam-se:

- Painéis – incluindo paredes, pisos e telhados prontos. Estes são transportados para o local e montados rapidamente, muitas vezes dentro de um dia. Alguns painéis têm as instalações já dentro deles, tornando a construção ainda mais rápida.
- Módulos – cômodos prontos, que podem ser montados formando um conjunto (uma habitação inteira ou um apartamento). São usados com maior frequência para áreas molhadas, como banheiros e cozinhas.

1.2 Industrialização da construção: ciclo fechado e ciclo aberto

A industrialização pode ser classificada como de ciclo fechado e de ciclo aberto.

Na industrialização de ciclo fechado, há a transferência da maior parte das operações do canteiro para a usina, maior aplicação de princípios de organização e controle da produção, além de processos que utilizam estruturas celulares de grandes painéis (em geral) ou de elementos que não podem ser intercambiáveis com outros.

Segundo Bruna (1976), a industrialização de componentes destinados ao mercado e não somente às necessidades de uma empresa é denominada por ciclo aberto. A produção de elementos e componentes é caracterizada por sua maior flexibilidade, do ponto de vista de sua combinação, e esses elementos são padronizados e apresentam compatibilidade com elementos de diversos fabricantes, podendo ser utilizados em vários projetos e tipologias de edifícios; a modulação e a padronização

forneem a base para a compatibilidade e a interoperabilidade entre os elementos e componentes.

Para Ferreira (2003) apud. Serra et al. (2005), os sistemas industrializados de ciclos abertos surgiram na Europa com a proposta de uma pré-fabricação de componentes padronizados, os quais poderiam ser associados com produtos de outros fabricantes, com modulação e padronização de componentes fornecendo uma base para a compatibilidade entre os elementos e subsistemas.

Elliot (2002) inclui também uma terceira geração de sistemas industrializados para edificações, denominados por “sistema de ciclo flexibilizado”, com alto grau de especificação, que vêm sendo utilizados nos últimos vinte anos na Europa, devido, entre outros fatores, às possibilidades dos acabamentos de alta qualidade nos elementos pré-moldados. Nesse caso, além dos componentes, o sistema e o projeto são flexibilizados para se adequar a qualquer tipologia arquitetônica. Essa terceira geração de pré-fabricação está sendo denominada por “sistema de ciclos flexibilizados”, devido a sua capacidade de possuir elementos, componentes, sistemas e projetos abertos.

Como exemplo, tem-se elementos e componentes estruturais de concreto armado ou protendido que vêm sendo cada vez mais empregados em edificações industriais, comerciais e de infraestrutura, sendo, por vezes, combinados com outros sistemas construtivos, convencionais ou não, como o aço e a alvenaria de blocos. A composição desses elementos e componentes gera estruturas híbridas ou mistas. No Brasil, cada vez mais observa-se a integração de sistemas construtivos que permitem flexibilização tanto de formas como de soluções de logística.

O processo de produção de uma edificação não está baseado somente na montagem dos elementos e na concepção da arquitetura diversificada, mas em uma série de fatores econômicos, logísticos, organizacionais e culturais; considerando-se esses aspectos, observa-se que a industrialização gradativamente vem sendo introduzida no Brasil. Observa-se, contudo, que ainda se tem um caminho a percorrer, no que se refere às questões de modulação, ou seja, somente após a sua efetiva introdução, a industrialização da construção poderá exercer melhor o seu papel.

1.3 Racionalização e coordenação modular (CM)

O produto da edificação e o processo de execução tem dependência recíproca, e só podem ser realizados de forma efetiva com o uso da

normalização e da organização, segundo Rosso (1990). Observa-se que a normalização é um instrumento essencial para o processo da industrialização, principalmente a do tipo aberta. Os fornecedores de componentes e elementos de qualquer indústria necessitam seguir determinados padrões (de medidas) com base em coordenação modular para serem capazes de atender os seus clientes.

Barbosa e Qualharini (2005) apontam que sem a utilização dos conceitos provenientes da coordenação modular, a introdução simples de componentes pré-fabricados pode resultar em um caos, devido à falta de medidas padronizadas, de um módulo de referência e de detalhes de conexão previamente estudados.

É necessário aplicar os princípios de racionalização construtiva, considerando a coordenação modular do projeto e a padronização de componentes e elementos ou sistemas construtivos.

Além disso, o uso de ferramentas como a Modelagem da Informação da Construção ou BIM (*Building Information Modeling*) em conjunto com a coordenação modular, facilita o desenvolvimento da industrialização, sobretudo na fase de projeto e de especificação. O BIM pode ser entendido como um novo processo que já não parte mais de desenhos bidimensionais, mas de modelos tridimensionais, pressupondo informações relativas à construção, nas diversas fases do seu ciclo de vida; essas informações são alocadas em um só modelo integrado, paramétrico, intercambiável e passível de simulação, que pode ser utilizado desde a concepção dos projetos, durante as obras, até toda a vida útil do espaço construído (ASBEA, 2013).

Outra ferramenta importante para a industrialização, e que pode ser utilizada em conjunto com o BIM, é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), em que, a partir de um inventário de entradas e saídas de insumos e recursos e de avaliação de impactos ambientais aplicados a produtos e processos, tem-se um perfil ambiental que auxilia na tomada de decisões econômico-ambientais.

A ABNT NBR 15873 (2010) define a coordenação modular como sendo a coordenação dimensional mediante o emprego de um módulo básico ou de um multimódulo.

Para Ribeiro (2002), Coordenação Modular consiste em uma base matemática que relaciona medidas de projeto às medidas modulares, sendo uma ferramenta fundamental à sistematização do processo de industrialização da construção.

Ainda segundo a ABNT NBR 15873 (2010), praticar a coordenação modular é construir em uma atividade de montagem.

A coordenação modular traz benefícios ao processo construtivo como um todo, desde o projeto de arquitetura, ampliando as alternativas de soluções construtivas, à construção, potencializando a produtividade e as soluções de logística.

Alguns elementos são necessários para a coordenação modular: a) reticulado modular de referência; b) módulo (10 cm) e c) ajuste modular (relaciona a medida de projeto do componente com a medida modular; é a folga, junta ou tolerância).

Lucini (2001) define a modulação como um sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base em um módulo predefinido (10 cm), compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas como o uso de componentes em projeto e obra. Para Greven (2000), é a ordenação dos espaços na construção civil.

A coordenação modular qualificou a indústria da construção em vários países. No Brasil, é imprescindível que ela seja considerada, agora, aliada à questão econômica e de sustentabilidade. Algumas alternativas para ampliar o seu uso têm sido sugeridas frequentemente, por exemplo, disseminação e propostas de certificação.

Estudo da ABDI publicado em 2010³ já apontava os benefícios da CM e a necessidade da indústria nacional avançar nessa direção. Na ocasião, a pesquisa revelou que poucos segmentos efetivamente faziam uso corrente da coordenação modular no Brasil, sendo mais específico, os segmentos de blocos de concreto e painéis de gesso. Nos demais segmentos a aderência ainda era parcial, havendo espaços para adequações. Com efeito, desde então melhorias foram introduzidas nos diversos segmentos e produtos, o que torna oportuna a realização de uma nova avaliação da situação.

Conclui-se que a racionalização, analogamente à industrialização, passa pela mudança de todo o setor da construção e depende de ações institucionais como a adoção de normalização e padronização.

3

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil*, 2010. Disponível em: www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasil_21.pdf. Acesso em 13 nov. 2015.

PARTE 2

CONTRATANDO SISTEMAS
CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS

1. Processo construtivo industrializado

Considerando os principais conceitos de construção industrializada, tem-se que o seu processo construtivo requer a integração das decisões anteriores ao projeto em todo o desenvolvimento do produto.

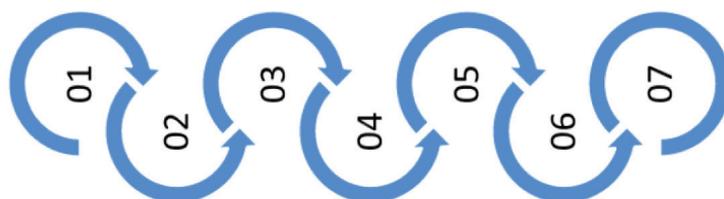
A definição da tecnologia de construção antecede os projetos técnicos e determina as diretrizes norteadoras para o seu andamento, contribuindo com o fortalecimento da qualidade e do desempenho, além da redução de custos e maior sustentabilidade dos processos construtivos das edificações.

A ênfase recai em questões como planejamento detalhado, modulação, projeto do produto, fabricação, monitoramento e logística, entre outros.

O processo construtivo industrializado tem, portanto, arranjos produtivos e processos de contratações diferenciados do processo construtivo convencional.

1.1 Etapas e arranjos produtivos do processo construtivo industrializado

O processo construtivo que utiliza sistemas industrializados pode ser estruturado de maneira a permitir que as vantagens da tecnologia industrializada sejam alcançadas, implicando um método composto de 7 (sete) etapas principais: planejamento preliminar (análise de viabilidade), contratação e planejamento executivo, que engloba projeto, fabricação, montagem, monitoramento e recebimento (Figura 7).



- 01 – Planejamento Preliminar – análise de viabilidade
- 02 – Contratação
- 03 – Planejamento Executivo – que engloba projeto
- 04 – Fabricação
- 05 – Montagem
- 06 – Monitoramento
- 07 – Recebimento

Figura 7: Etapas do processo construtivo industrializado

As etapas não são estanques e nem tão pouco estruturadas de maneira linear. São como espirais que se integram de maneira dinâmica e coordenada, em um processo que se alimenta dos benefícios de anteceder a definição da tecnologia construtiva, acelerando e assegurando resultados que podem ser previstos e monitorados.

É com base nesse conceito de construção industrializada que se define o fio condutor da estrutura deste Manual, que de maneira prática visa nortear o processo decisório na contratação de elementos e sistemas construtivos industrializados para obras públicas e privadas, recomendando requisitos que podem assegurar alguns benefícios.

O processo construtivo que utiliza sistemas construtivos industrializados pode ser caracterizado considerando os seguintes aspectos:

- **Produção dos elementos em fábrica:** os sistemas construtivos industrializados são concebidos e produzidos em um sistema fabril. Os elementos dos sistemas construtivos são produzidos em fábrica e transportados à obra. Nesse processo, projetistas e organizações participam diretamente da concepção do produto de forma a diminuir problemas de produção dos elementos e de incompatibilidade na montagem em obra. É importante ressaltar que, no caso das estruturas de aço e concreto, a solução da estrutura é que define os componentes em cada caso, e que a produção dos elementos segue de acordo com a solução já dada em projeto.
- **Contratação:** o projeto de um sistema industrializado ganha grande importância, pois define todo o processo de produção e construção dos elementos. Por causa dessa importância, o processo de contratação se diferencia de um sistema convencional. Enquanto em um sistema convencional existem dois tipos de contrato, um para o projeto e outro para a execução, na construção industrializada o contrato é realizado englobando essas duas etapas; além disso, também é necessário realizar um contrato para a montagem dos elementos. Essa contratação deve ser compatibilizada de forma que não afete o processo de produção da edificação. A contratação pode ter como objeto elementos e componentes que serão integrados a soluções híbridas, ou sistemas construtivos como um todo.
- **Tributação:** devido a sua natureza fabril, os elementos produzidos em fábricas são comercializados como produtos e não serviços. Nesse caso, tributações são aplicadas a esses elementos, por exemplo, o imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias – ICMS e o

imposto sobre produtos industrializados – IPI. Essas tributações devem ser consideradas nas etapas de viabilidade prévia e orçamentação.

- **Arranjos de processos produtivos diferenciados:** a construção industrializada se configura por aproveitar e tirar partido das diversas relações existentes entre os elementos da construção e as características específicas de cada empreendimento. Para isso, é necessário verificar algumas formas e disposições construtivas seguindo os princípios básicos da industrialização. Podem ser citados como princípios, a redução da variabilidade dimensional dos componentes, a fácil combinação entre eles e a montagem realizada mecanicamente, ou pelo menos, com um alto grau de mecanização. Assim, é de extrema importância a coordenação modular de todo o sistema.

1.2 Tipos de sistemas construtivos

O processo construtivo industrializado pode envolver componentes, elementos ou sistemas construtivos como um todo, o que significa que, quando se trata de sistemas construtivos híbridos, componentes e elementos podem ser contratados separadamente para compor uma solução construtiva.

Em se tratando de contratação de sistemas construtivos como um todo, na produção da edificação e infraestrutura, é possível contratar três tipos de sistemas construtivos:

- Sistema que utiliza técnicas ou métodos convencionais na produção dos elementos e componentes: é caracterizado pelo uso de métodos convencionais, nos quais há necessidade de mão de obra de forma intensiva, como na execução de formas e escoramentos de madeira e aço para pilares, vigas e lajes, na elevação de alvenarias e na execução de revestimentos de argamassa e outros serviços comuns a esse processo. Esses serviços são realizados no canteiro, e o prazo de execução, nesse caso, deve levar em conta os tempos de espera de recebimento e armazenamento de materiais e o seu transporte interno, além, é claro, da cura dos diversos serviços, como os componentes de concreto ou os revestimentos de argamassa. Em geral, devido às características intrínsecas a esse processo, há um percentual maior de perdas e um menor controle na fase de execução. Em processos de construção convencionais, há, ainda, frequentemente, o problema da construção ter o seu início sem ter findado o projeto, por exemplo, o de instalações, já que o mesmo é feito de forma

convencional com o corte das alvenarias para o seu embutimento. Os projetos de arquitetura, tanto em fase inicial, de anteprojeto, quanto o projeto executivo e os complementares, são desenvolvidos, muitas vezes, de maneira quase independente. Essa alternativa de construção já tem, há alguns anos, sofrido críticas, e vem se modificando com o uso de sistemas racionalizados e de sistemas pré-fabricados ou industrializados que, em geral, acarretam melhorias no processo, tanto na fase de execução como nas outras fases, que incluem planejamento e projeto.

- Sistema que utiliza técnicas e métodos racionalizados e pré-fabricados e industrializados a partir de elementos e componentes: é caracterizado por métodos e processos industrializados e abrange tanto os componentes quanto os elementos ou células com funções específicas a desempenhar; são constituídos por sistemas reticulados de pilares, vigas e lajes, ou no caso de elementos ou células, fachadas, banheiros prontos e outros. Nesse caso, a fase de execução difere do método convencional, pois os componentes ou elementos já são projetados com dimensões moduladas no projeto e chegam prontos ao canteiro, onde há operações quase que somente de montagem. Há, dessa forma, um percentual menor de perdas no canteiro, já que as peças chegam prontas, de acordo com o projeto, precisando ser apenas montadas. Além disso, há também menor percentual de mão de obra *in loco* e menor prazo de execução, comparativamente ao sistema convencional, pois as etapas acabam se sobrepondo entre fábrica e obra. Como exemplos desses elementos e sistemas, podem ser apontados: os de concreto armado ou protendido, como pilares e vigas com consoles, lajes para piso e cobertura, fechamentos com chapas cimentícias, banheiros prontos; os de aço, como pilares, vigas e lajes de piso e de cobertura, coberturas termoacústicas (com isolantes térmicos) e elementos de fachada (fachada cortina ou fachada ventilada), podendo, esses últimos, serem constituídos de alumínio.

- Sistema que utiliza parte do sistema convencional e parte de sistemas industrializados: integra soluções industrializadas e convencionais, como elementos industrializados de concreto armado (pilares) e vedações de blocos cerâmicos, lajes pré-fabricadas mistas, por exemplo a tipo voltterrana, treliçada e pré-laje, executadas em conjunto com operações de concreto armado moldado *in loco* para o preenchimento da capa e nervuras; também podem ser citadas, no caso do aço, lajes do tipo *steel deck*, que combina elementos prontos de aço com concreto armado moldado *in loco* para a sua finalização.

2. Planejamento preliminar

O primeiro passo na tomada de decisão para uso de componentes, elementos e sistemas construtivos industrializados é a análise de sua viabilidade prévia, considerando aspectos técnicos (aplicabilidade do sistema a ser especificado e integração de componentes e elementos a outros sistemas) e econômicos (vantagens competitivas de custos e prazos), visando definir a demanda e o objeto a ser contratado.

Para que a análise de viabilidade prévia possa ser efetiva, faz-se necessário a existência de um pré-projeto do elemento ou sistema construtivo da edificação/obra a ser contratado, a fim de se verificar a compatibilidade com a demanda existente.

As principais ações/atividades a serem realizadas nessa fase são:

- definição e caracterização do objeto, incluindo a demonstração da capacidade da empresa em atender a demanda;
- análise do pré-projeto do componente, elemento ou sistema construtivo a ser contratado;
- análise da localidade, considerando aspectos como terreno, topografia, logística, materiais, componentes, elementos e sistemas construtivos e mão de obra disponíveis (capacidade da indústria local para a produção dos elementos ou sistema construtivo);
- análise dos critérios mínimos de desempenho técnico dos componentes, elementos ou sistema construtivo industrializado de acordo com as normas pertinentes a cada tecnologia (do concreto armado e protendido, do *drywall*, do aço etc);
- para as inovações tecnológicas de habitações cujas tecnologias ainda não possuem normas técnicas, mas estão sendo avaliadas pelo SiNAT/PBQP-H, devem ser consideradas as diretrizes deste programa, bem como se elas possuem DATecs válidos;

Para sistemas construtivos para habitação, deve-se exigir cumprimento dos critérios mínimos de seu desempenho conforme a ABNT NBR 15575 (2013), considerando aspectos de segurança estrutural; segurança ao fogo; estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; durabilidade (vida útil). Além disso, deve ser realizada análise preliminar dos custos, prazos e vantagens e desvantagens das alternativas disponíveis:

- definição de tecnologia a ser utilizada;

- fluxo de caixa esperado (fonte de recursos e estratégia de medição).

2.1 Documentação necessária

A documentação necessária para a análise da viabilidade prévia inclui informações sobre desempenho técnico, econômico e ambiental, considerando também os critérios e diretrizes mencionados anteriormente, bem como existência de pré-projeto, especificações, orçamento e cronograma, entre outros documentos, conforme listados a seguir:

- informações do componente, elemento ou sistema construtivo industrializado, incluindo aspectos técnicos e econômicos e de desempenho ambiental, além de informações sobre os pré-projetos, as especificações, o orçamento e o cronograma (Quadros 1, 2 e 3);
 - documentos e relatórios de ensaios dos requisitos de normas para o componente, elemento ou do sistema industrializado para edificações industriais, comerciais ou de infraestrutura, considerando-se requisitos de segurança estrutural, de fogo e durabilidade, de acordo com normas técnicas de cada tecnologia, por exemplo, do concreto armado, do concreto protendido, do aço e do *drywall*;
 - no caso de sistemas construtivos racionalizados e inovadores para edificações habitacionais, documentos comprobatórios do atendimento aos requisitos da ABNT NBR 15575 ou DATec emitido por uma Instituição Técnica Avaliadora – ITA (Quadro 04);
 - garantia e prazos de garantia do fabricante e/ou construtor do componente, elemento ou sistema construtivo contra defeitos sistêmicos (Modelo 1);
 - no caso da contratação dos sistemas construtivos como um todo, deve-se ter: responsáveis técnicos pelos projetos, produção e execução (Modelo 2); roteiro de manutenção preventiva considerando as características do sistema construtivo contratado que influem nas condições de uso e manutenção do imóvel (Modelo 3); compromisso de contratação de entidade habilitada para efetuar o monitoramento da obra, incluindo o Plano de Monitoramento da Fase de Produção e Plano de Controle Tecnológico elaborado por esta entidade, até o primeiro desembolso do empreendimento contratado (Modelo 4); compromisso de realização da Avaliação Técnica em Uso, ou Avaliação

Pós-Ocupação, após 24 (vinte e quatro) meses da expedição do “habite-se” (Modelo 5).

2.1.1 Informações do componente, elemento ou sistema construtivo

O Manual apresenta diretrizes para a coleta de informações gerais, incluindo aspectos das etapas referentes ao atendimento da demanda no planejamento e no pré-projeto, aspectos técnico-econômicos dos componentes, elementos e sistemas, incluindo potencial atendimento à demanda e mão de obra utilizada e aspectos ambientais, como selo ou rótulo ambiental e classificação do CONAMA, entre outros.

Para a coleta de informações, são sugeridos modelos ou fichas em forma de quadros apresentados a seguir (Quadros 01 a 04).

As informações a serem compiladas no cabeçalho dos quadros referem-se ao tipo de sistema construtivo, ao item considerado (ex. Viabilidade prévia) e ao responsável pelas informações, com os endereços de contato (e-mail e telefone), Quadro 1.

2.1.1.1 Informações gerais

No Quadro 1 são coletadas informações sobre o objeto demandado e o pré-projeto, incluindo:

- caracterização;
- funções,
- apresentação de pré-projeto;
- orçamento e cronograma;
- disponibilidade de fabricantes e mão de obra local;
- memorial;
- certificação;
- outros.

Quadro 1 (checklist): Informações gerais dos componentes, elementos e sistema

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo:	Edificações habitacionais	Outras Edificações	Infraestrutura
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Aspectos gerais informativos dos componentes, elementos ou sistema construtivo			Item: viabilidade prévia
Responsável pelas informações:	E-mail:		Telefone:
OBJETO DEMANDADO			
Caracterização do objeto a ser contratado (<i>briefing</i>)			
Apresentação de viabilidade e esquema de integração de componentes e elementos em sistemas construtivos	SIM	NÃO	
Programa de Necessidades (espaços, funções, áreas, necessidades de instalações, entre outros)	SIM	NÃO	
ITENS A SEREM OBSERVADOS NOS COMPONENTES, ELEMENTOS E SISTEMAS			
Apresentação de pré-projeto de componentes, elementos ou sistemas	SIM	NÃO	
Apresentação de orçamento de componentes e elementos	SIM	NÃO	
Apresentação de cronograma de entrega de componentes e elementos	SIM	NÃO	
Apresentação de pré-projeto da edificação/infraestrutura	SIM	NÃO	
Apresentação de orçamento da edificação/infraestrutura	SIM	NÃO	
Apresentação de cronograma da edificação/infraestrutura	SIM	NÃO	
Análise do terreno	SIM	NÃO	NA
Existem fabricantes/fornecedores de materiais e componentes na região	SIM	NÃO	
Há disponibilidade de mão de obra na região	SIM	NÃO	
Memorial de definição da tecnologia	SIM	NÃO	
Comprovação do atendimento da demanda com elementos, componentes ou sistema construtivo que possui características, quantidade e prazo adequados	SIM	NÃO	
Montagem manual	SIM	NÃO	
Montagem mecânica	SIM	NÃO	
Os componentes, elementos ou o sistema possuem certificado de qualidade?	SIM	NÃO	
Se o sistema possui certificado de qualidade, qual o tipo:	1ª parte	3ª parte	
Se o sistema é inovador, ele é avaliado com DATEc?	SIM:	NÃO	NA
A empresa fabricante do componente, elemento ou do sistema tem sistema de gestão da qualidade?	SIM	NÃO	

NA – Não se aplica. É importante observar que há diferentes arranjos produtivos que podem ser contratados, tais como componentes, elementos ou sistemas, e, portanto, algumas informações contidas no quadro podem não ser aplicadas a todos.

2.1.1.2 Análise preliminar dos aspectos técnico-econômicos dos componentes, elementos ou sistema construtivo

Após a coleta das informações gerais dos componentes, elementos ou sistema, conforme apresentados no item 4.1.1.1, são levantadas informações que servirão de base para a análise preliminar dos aspectos técnico-econômicos. Os principais aspectos são: disponibilidade local de fabricantes e fornecedores, prazo, potencial de atendimento à demanda, logística, mão de obra e outros (Quadro 2).

Quadro 2 (checklist): Informações para a análise preliminar dos aspectos técnico-econômicos dos componentes, elementos ou sistema

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo:	Outras Edificações	Infraestrutura	
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: aspectos técnicos-econômicos dos elementos e sistemas	Item: viabilidade prévia		
Responsável pelas informações:	E-mail:	Telefone:	
INFORMAÇÕES A SEREM LEVANTADAS			
Fabricantes/Fornecedores de elementos e sistemas na região	SIM		NÃO
Potencial atendimento da demanda	BOM	MÉDIO	RUIM
Logística facilitada	SIM		NÃO
Mão de obra própria (fabricante) para montagem	SIM		NÃO
Caso não possua mão de obra, indica montadores na região	SIM		NÃO
Especificar mão de obra (tipo profissional) necessária para a montagem			

2.1.1.3 Análise preliminar dos aspectos de desempenho ambiental dos componentes, elementos ou sistema

Após o levantamento dos aspectos técnico-econômicos (Quadro 2), são levantadas informações sobre o desempenho ambiental dos componentes, elementos ou sistemas, como percentual de perdas em determinados serviços, selo ou rótulo ambiental, classificação do CONAMA e reciclagem de resíduos no Brasil (Quadro 3).

Quadro 3 (checklist): Informações para a análise preliminar dos aspectos de desempenho ambiental dos componentes, elementos ou sistemas

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA				
Tipo de sistema construtivo:	Edificações habitacionais	Outras Edificações	Infraestrutura	
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: aspectos de desempenho ambiental dos componentes, elementos ou sistema	Item: viabilidade prévia			
Responsável pelas informações:	E-mail:		Telefone:	
INFORMAÇÕES				
Possui percentual de perdas levantado (%) na fabricação	SIM		NÃO	NA
Possui percentual de perdas levantado na instalação/montagem	SIM		NÃO	NA
Possui selo ou rótulo ambiental	SIM		NÃO	
INFORMAÇÕES				
Classificação dos resíduos segundo a Resol. 448/12. CONAMA	A	B	C	D
Existe reciclagem dos resíduos gerados no Brasil	SIM		NÃO	
Faz Logística Reversa	SIM		NÃO	
Possui ISO 14000	SIM		NÃO	
Possui Política de Responsabilidade Ambiental e Social publicada	SIM		NÃO	
Possui Avaliação de Ciclo de Vida	SIM		NÃO	
Possui Declaração Ambiental do Produto (DAP)	SIM		NÃO	
Possui Declaração de Emissão de Gases de Efeito Estufa	SIM		NÃO	
Especificar qual declaração:				

NA – Não se aplica

2.1.2 Comprovação de desempenho dos componentes, elementos e sistemas

Após o preenchimento das informações iniciais, contidas nos Quadros 1, 2 e 3, recomenda-se a comprovação do desempenho em uso dos componentes, elementos e sistemas construtivos.

2.1.2.1 Análise do desempenho técnico dos componentes e elementos

A análise do desempenho técnico dos componentes e elementos deve ser feita na sua produção, ou seja, na fábrica, considerando-se os parâmetros exigidos pelas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas

Técnicas (ABNT). O controle de qualidade na produção dos componentes e elementos também deve ser observado, incluindo o recebimento de matéria-prima, materiais ou componentes, controle do armazenamento e controle da produção. Laudos de ensaios comprobatórios das matérias-primas e materiais utilizados nos componentes devem ser apresentados pela contratada e os resultados devem cumprir os requisitos estabelecidos em normas técnicas da ABNT. No item 7 deste Manual, referente a fabricação, são apresentados diversos aspectos que devem ser considerados na análise.

Como exemplo, tem-se, para o caso de componentes e elementos de concreto armado, que podem ser empregados em elementos estruturais como pilares e/ou lajes de cobertura, propriedades de resistência mínima do concreto, tipo de concreto utilizado (industrializado ou não), barras de aço e outros. Algumas normas técnicas podem ser consideradas nesse exemplo, como: ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6215, ABNT NBR 7480, NBR 12655, NBR 12654 e NBR 14862, ABNT NBR 14860-1(2002), NBR 7480: 1996, NBR 9062:1985, NBR 12655:1996, entre outras.

Da mesma forma que para os componentes e elementos de concreto armado, têm-se os casos do concreto protendido, do aço, do *drywall* e outros, que devem seguir as normas técnicas correspondentes, para o cumprimento dos requisitos estabelecidos em cada uma delas.

No Quadro 4 são apresentados alguns aspectos que podem ser observados, além daqueles já mencionados no item de fabricação.

Quadro 4 (checklist): Aspectos de desempenho técnico de componentes e elementos

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo:	Edificações habitacionais	Outras edificações	Infraestrutura
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Aspectos de desempenho técnico dos componentes, elementos ou sistema	Item: viabilidade prévia		
Responsável pelas informações:	E-mail:		
INFORMAÇÕES			
Possui procedimento formal de controle da qualidade para o recebimento e armazenamento de matéria-prima e materiais	SIM	NÃO	
Emprega matéria-prima e materiais credenciados no SIMAC/PSQ/PBQP-h	SIM	NÃO	
Possui laudo de ensaios válido (data) com comprovação das propriedades especificadas em normas técnicas da ABNT para as matérias-primas e materiais utilizados	SIM	NÃO	
Possui laudo de ensaios válido (data) com comprovação das propriedades especificadas em normas técnicas da ABNT para os componentes e elementos	SIM	NÃO	
Possui controle de qualidade no processo, por meio de sistema de gestão da qualidade tipo ISO 9000 implantado	SIM	NÃO	
Possui certificação do produto	SIM	NÃO	

OBS: Outras informações contidas no item 7 deste Manual, referente à fabricação do produto, podem ser acrescentadas a estas do Quadro 4.

2.1.2.2 Desempenho em uso de sistemas construtivos para edificações habitacionais

Para sistemas construtivos para habitação, deve-se exigir cumprimento dos critérios mínimos de seu desempenho conforme a ABNT NBR 15575 (2013), conforme já apresentado no item de viabilidade prévia. Além disso, também deve ser feita a análise no caso dos sistemas construtivos inovadores para habitação, nesse caso, conforme apresentado anteriormente, a contratada deverá comprovar o seu desempenho por meio da apresentação do Documento de Avaliação Técnica (DATec/SiNAT/PBQP-h) válido, conforme Quadro 1 apresentado anteriormente.

No caso dos sistemas de infraestrutura (outras edificações), o desempenho deve ser comprovado por meio do cumprimento das normas respectivas a cada um dos sistemas.

A seguir, é necessário o levantamento de informações sobre as características dos componentes, elementos e sistemas industrializados que influem nas condições de uso e manutenção, bem como o termo de garantia fornecido pela empresa fabricante ou contratada.

Quadro 5: Exemplo de prazos de garantia para componentes, elementos ou sistemas construtivos de edificações habitacionais segundo prazos sugeridos na ABNT NBR 15575 (2013)

MANUAL DE INDUSTRIALIZAÇÃO						
Tipo de sistema construtivo		Edificações Habitacionais		Infraestrutura		
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Prazos de garantia de sistema construtivo						
Responsável pelas informações:		E-mail:		Telefone:		
INFORMAÇÕES						
Sistemas, elementos, componentes e instalações	Prazos de Garantia Contratual recomendados pela norma ABNT NBR 15575					
	Ato da entrega	1 ano	2 anos	3 anos	5 anos	Fabricante (*)
Fundações, estruturas periféricas, contenções e arrimos					Segurança e estabilidade global, estanqueidade de fundações e contenções	
Painéis de vedação vertical com função estrutural e estruturas auxiliares	Danificadas ou mal colocadas	Fissuras perceptíveis a um metro de distância			Segurança	
Selantes, componentes de juntas e rejuntamento e acabamento de juntas de painéis de vedação vertical com função estrutural		Aderência			Estanqueidade	
Selantes para fechamento das juntas e rejuntamentos dos painéis verticais com poliuretano expandido (PU)		Aderência				
Tratamento de juntas dos painéis verticais		Aderência		Estanqueidade		
Etc						

2.1.3 Garantia e prazo de garantia

2.1.3.1 Garantias

A garantia legal é o período de tempo previsto em lei que o comprador dispõe para reclamar do vício ou defeito verificado na compra do seu produto durável.

E a garantia contratual é aquela referente ao período de tempo igual ou superior ao prazo de garantia legal e condições complementares oferecidas voluntariamente pelo fornecedor na forma de certificados ou termo de garantia ou contrato no qual constam prazos e condições complementares à garantia legal.

2.1.3.2 Prazo de garantia

O termo de garantia, no qual são considerados os componentes, elementos ou sistemas construtivos efetivamente empregados apresenta os prazos de garantia a partir da entrega dos componentes ou elementos, e da conclusão do imóvel, da carta de habite-se e da entrega das chaves aos compradores no ato do recebimento de sua unidade, no caso da edificação.

No caso dos componentes e elementos, pode ser estipulada, além da garantia legal, a garantia contratual, facultativa, concedida deliberadamente pelos fornecedores aos consumidores, como instrumento de afirmação da qualidade dos bens colocados no mercado de consumo. A garantia legal é obrigatória e inderrogável, sendo imposta aos fornecedores por força do Código de Proteção e Defesa do Consumidor (Lei nº 8.078/90).

No caso de sistemas para edificações habitacionais, incluindo os componentes e seus elementos, a título de exemplo, sugere-se a utilização de um modelo da ABNT NBR 15575 (2013), conforme apresentado no Quadro 5 para a garantia contratual.

Em relação à garantia legal das edificações e/ou infraestrutura, o prazo de garantia é estabelecido pela lei 10.406 de 10 de janeiro de 2002 no artigo 618:

Art. 618.

Nos contratos de empreitada de edifícios ou outras construções consideráveis, o empreiteiro de materiais e execução responderá, durante o prazo irredutível de cinco anos, pela solidez e segurança do trabalho, assim em razão dos materiais, como do solo.

Parágrafo único. Decairá do direito assegurado neste artigo o dono da obra que não propuser a ação contra o empreiteiro, nos cento e oitenta dias seguintes ao aparecimento do vício ou defeito.

2.1.4 Responsabilidade técnica

No caso da contratação de sistemas construtivos, recomenda-se que o contratante deve solicitar à empresa fornecedora do sistema construtivo a apresentação de informações sobre os principais responsáveis técnicos envolvidos no projeto e execução da edificação, bem como as principais empresas fornecedoras de serviços e materiais, componentes e elementos (Quadro 6).

Quadro 6: Informações sobre os responsáveis técnicos no projeto e execução de edificações

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo	Edificações Habitacionais	Outras Edificações	Infraestrutura
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Prazos de garantia de sistema construtivo			Item: viabilidade prévia
Responsável pelas informações:	E-mail:	Telefone:	
INFORMAÇÕES			
Empresas responsáveis pela execução da obra Engenheiro: CREA: Telefone: Arquiteto: CAU: Telefone:			
Responsável pelo projeto estrutural Engenheiro: CREA: Telefone: Arquiteto: CAU: Telefone:			
Responsável pelo projeto arquitetônico Engenheiro: CREA: Telefone: Arquiteto: CAU: Telefone:			
INFORMAÇÕES			
Responsável pelo projeto hidrossanitário Engenheiro: CREA: Telefone: Arquiteto: CAU: Telefone:			
Responsável pelo projeto preventivo de incêndio Engenheiro: CREA: Telefone: Arquiteto: CAU: Telefone:			

2.1.5 Manutenção preventiva

Recomenda-se ainda que o contratante deve solicitar à empresa que apresente um roteiro prévio de manutenção preventiva (Quadro 7) dos componentes, elementos ou sistema construtivo objeto da contratação.

Nesse roteiro, são apresentadas as atividades e os responsáveis para a sua realização, que podem ser o próprio usuário, a equipe de manutenção

local, uma empresa capacitada e empresas especializadas. Para esse roteiro, devem ser consideradas as normas ABNT NBR 5674, a ABNT 14037 e CBIC (2014), no caso de edificações.

Após a contratação de sistemas construtivos, na fase de planejamento e projeto executivo, esse roteiro deve ser adequado conforme as especificações detalhadas do sistema construtivo.

Quadro 7: Exemplo de roteiro de manutenção preventiva de sistemas, elementos, componentes e instalações

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo	Edificações Habitacionais	Outras Edificações	Infraestrutura
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Roteiro de manutenção preventiva	Item: viabilidade prévia		
Sistemas, elementos, componentes e instalações	Atividade	Periodicidade	Responsável
Painéis de vedação, estruturas auxiliares, estruturas de cobertura, estrutura de escadaria interna ou externa, guarda-corpos, muros de divisa e telhados	Verificar a integridade das calhas, telhas e, se necessário, efetuar limpeza e reparos para garantir a sua funcionalidade. Em épocas de chuvas fortes, é recomendada a inspeção das calhas semanalmente	A cada 6 meses	Empresa capacitada/empresa especializada
	Verificar a integridade estrutural dos componentes, vedações e fixações e reconstituir e tratar se necessário	A cada 1 ano	Empresa capacitada/empresa especializada
Equipamentos industrializados (moto-bombas, filtros, interfones, automação de portões, elevadores e outros), sistema de dados e voz, telefonia, vídeo e televisão	Manutenção de acordo com as especificações do fabricante/fornecedor	Conforme fabricante/fornecedor	
Sistema de proteção contra descargas atmosféricas, sistema de combate a incêndios, pressurização das escadas de emergência e sistema de segurança patrimonial	Inspeccionar sua integridade e reconstituir o sistema de medição de resistência conforme legislação vigente	A cada 1 ano	Empresa especializada
	Inspeções completas conforme ABNT NBR 5419	A cada 5 anos	Empresa especializada

2.1.6 Monitoramento

No caso da contratação de sistema construtivo, ainda na viabilidade prévia, recomenda-se que seja estabelecido o compromisso de contratação de entidade habilitada para efetuar o monitoramento da obra, incluindo o plano de monitoramento da Fase de Produção e Plano de controle tecnológico até o primeiro desembolso do empreendimento contratado (Quadro 8).

Quadro 8: Declaração de compromisso de contratação de entidade habilitada para efetuar o monitoramento da obra

<p>CARIMBO com CNPJ da Empresa</p> <p>NOME DA EMPRESA</p> <p>Endereço: _____ ; telefone: _____ ; e-mail.</p> <p>DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DE CONTRATAÇÃO DE ENTIDADE HABILITADA PARA EFETUAR O MONITORAMENTO DA OBRA</p> <p>A empresa X, situada ..., cadastrada no Cadastro Nacional Pessoas Jurídicas nº..., Inscrição Estadual nº..., representada neste ato por seu ..., portador RG Nº. e CPF nº..., vem por meio desta declarar, sob sua responsabilidade exclusiva, o compromisso de contratação de entidade habilitada para efetuar o monitoramento da obra, incluindo o plano de monitoramento da fase de produção e o plano de controle tecnológico até o primeiro desembolso do empreendimento contratado</p> <p>Sem mais e por ser expressão da verdade subscrevo. Local, Nome e Função (assinatura com firma reconhecida em cartório)</p>
--

2.1.7 Avaliação técnica em uso

Na contratação de sistemas construtivos inovadores, na viabilidade prévia, a empresa deve, além de apresentar DATec válido, assumir o compromisso de realização da Avaliação Técnica em Uso, ou Avaliação pós-ocupação, após 24 (vinte e quatro) meses da expedição do habite-se (Quadro 9). Apesar de essa ser uma medida importante para a retroalimentação de qualquer processo empregado em sistemas construtivos, observa-se que ela não é feita para o caso do sistema convencional.

Quadro 9: Declaração de compromisso de contratação de entidade habilitada para realização da avaliação técnica em uso do sistema construtivo

<p>CARIMBO com CNPJ da Empresa</p> <p>NOME DA EMPRESA</p> <p>Endereço: _____ ; telefone: _____ ; e-mail.</p> <p>DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DE CONTRATAÇÃO DE ENTIDADE HABILITADA PARA EFETUAR A AVALIAÇÃO TÉCNICA EM USO DO SISTEMA CONSTRUTIVO</p> <p>A empresa X, situada ..., cadastrada no Cadastro Nacional Pessoas Jurídicas nº..., Inscrição Estadual nº..., representada neste ato por seu ..., portador RG Nº. e CPF nº... vem por meio desta declarar, sob sua responsabilidade exclusiva, o compromisso de contratação de entidade habilitada para efetuar a avaliação técnica do sistema construtivo em uso, após 24 (vinte e quatro) meses da expedição do habit-se.</p> <p>Sem mais e por ser expressão da verdade subscrevo. Local, Nome e Função (assinatura com firma reconhecida em cartório)</p>
--

2.2 Fluxo de caixa para a produção de edificações

O setor da construção civil se diferencia dos outros setores devido à diferença de contabilização dos custos e das receitas incorridos durante o período de construção, que mesmo considerando componentes, elementos e sistemas industrializados, pode durar mais de um ano. Por esse motivo, o controle do fluxo de caixa se torna de extrema importância, para que a obra necessária ao preparo do produto edificação consiga balancear seus gastos, e o caixa da empresa fique o menor tempo possível no negativo.

É necessário salientar também que a contratação dos serviços de engenharia no âmbito privado e público são diferentes. A medição pode ser feita tendo em vista os serviços cumpridos considerando-se o progresso físico da obra ou pela medição do avanço físico da obra, cuja porcentagem deve ser aplicada ao valor contratado.

Em obras de curta duração, o pagamento do serviço pode acontecer levando em consideração unidades de medidas finalizadas.

Para Nascimento (2007), em caso de empreitada para pessoas jurídicas de direito público, ou empresas sob seu controle, empresas públicas, sociedades de economia mista ou suas subsidiárias, as empresas de engenharia e construção poderão diferir a tributação do lucro apurado, relativamente à parcela da receita ainda não realizada financeiramente,

no livro de apuração do lucro real. Os procedimentos básicos de contabilidade a serem utilizados são:

- empreitada com faturamento por medição do progresso físico;
- empreitada com cobrança por cronograma financeiro;
- empreitadas de obras com duração menor que um ano;
- obras em consórcio de empresas.

O fluxo de caixa pode proporcionar ao empreendedor um melhor planejamento financeiro, sabendo, assim, quais são os momentos ideais para a aplicação de recursos. Na indústria da construção, geralmente, existe um grande investimento financeiro no início da obra, devido à compra de terrenos, gastos de incorporação e escavação, entre outros serviços iniciais que podem desequilibrar o fluxo de caixa da empresa. As receitas acontecem na venda parcial ou total de unidades ou na medição do primeiro mês, no caso de obras públicas.

A forma de contratação influencia diretamente no fluxo de caixa da empresa. O contratante deve ficar atento às formas de pagamentos dos serviços contratados. No caso de obras industrializadas, a forma de pagamento pode acontecer levando em consideração a porcentagem de serviço executado, quantidade de elementos executados e a quantidade de componentes e elementos entregues, entre outros.

A fim de atenuar os gastos iniciais da empresa, pode-se recorrer a técnicas de balanceamento de fluxo de caixa. As técnicas mostradas a seguir baseiam-se na tentativa de diminuição dos egressos e aumento dos ingressos na fase inicial do empreendimento (PINI, 2014):

- **Obter um adiantamento.** Essa é a maneira mais simples de resolver a situação de caixa negativo. Mediante o recebimento de um sinal ou adiantamento, o construtor já começa a obra com dinheiro suficiente para lhe dar capital de giro. Essa opção tem a vantagem óbvia do conforto que dá ao construtor. Por outro lado, o adiantamento que o contratante se dispõe a fornecer ao construtor não é capaz de eliminar totalmente os momentos de caixa negativo. É importante lembrar que esse tipo de técnica não é permitido em obras públicas.

- **Parcelamento das compras.** Essa técnica é bastante utilizada com o intuito de amortizar e postergar o pagamento dos insumos em períodos nos quais não há ingressos. A compra à vista de materiais no período inicial da obra pode levar a grande montante investido, devido à falta de ingressos, seja por forma de medição ou por compra de unidades.
- **Mudança do cronograma financeiro.** Essa solução consiste em dispor os serviços de forma diferente no tempo. Ao fazer isso, o orçamentista obviamente altera o fluxo de caixa. O perigo dessa solução é que não se pode mudar o planejamento aleatoriamente. É preciso levar em conta que a posição das barras reflete o planejamento da obra, a sequência das etapas e o plano de ataque das diversas frentes de serviço.

A forma mais conveniente de prever os gastos e receitas de um serviço é planejando e controlando o fluxo de caixa, quando são previstas as necessidades de numerários para o atendimento dos compromissos que a empresa costuma assumir, considerando os prazos para serem saldados. Particularmente no que se refere a obras que utilizam sistemas industrializados, o investimento inicial requer um maior planejamento e aporte. Para melhor controle do fluxo de caixa, é possível aplicar as informações apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 (checklist): Informações referentes ao controle do fluxo de caixa

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo:	Edificações habitacionais	Outras Edificações	Infraestrutura
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Aspectos de desempenho ambiental	Item: fluxo de caixa		
Responsável pelas informações:	E-mail:	Telefone:	
INFORMAÇÕES			
No contrato está especificada a forma de pagamento do serviço	SIM	NÃO	
O valor a receber está detalhado, levando em consideração as entradas e os parcelamentos	SIM	NÃO	
O valor a receber é controlado	SIM	NÃO	
É possível aplicar a técnica de adiantamento	SIM	NÃO	
A movimentação bancária é controlada	SIM	NÃO	
Existe a integração do sistema de qualidade com o controle do fluxo de caixa	SIM	NÃO	
Existe o planejamento das despesas	SIM	NÃO	
As despesas são controladas (pagamento de funcionário, compra de materiais e equipamentos, aluguéis de equipamentos...)	SIM	NÃO	
Há controle de montante vencido ou a ser pago	SIM	NÃO	
Há vantagem em parcelar as compras	SIM	NÃO	
O estoque é controlado	SIM	NÃO	NA
Existe planejamento de entrada e saída do estoque	SIM	NÃO	NA

2.3 Agregação de valor

A construção industrializada se caracteriza, essencialmente, por procedimentos baseados em componentes de fábrica, ou componentes construtivos funcionais, produzidos em série, com o fim de tornar mais rápido o processo construtivo e reduzindo ao máximo as operações no canteiro de obra (RIBEIRO, 2002). Essas características agregam valor ao produto final, sejam elas no âmbito técnico-econômico, de produtividade e sustentabilidade.

2.3.1 Âmbito técnico

Com a produção de componentes e elementos em fábricas, o sistema de construção industrializado adquire características relacionadas à produção fabril, por exemplo, o maior controle de qualidade dos produtos e a diminuição da interferência humana nos processos.

No ambiente fabril, o controle da qualidade dos materiais utilizados na fabricação é maior quando comparado ao canteiro de obra. Esses materiais são ensaiados periodicamente e verificados quanto ao seu atendimento aos requisitos mínimos a fim de garantir o desempenho desejado. O armazenamento também oferece vantagens quando comparados ao canteiro de obras, já que em um canteiro de obra, o armazenamento de materiais pode ser prejudicado devido a sua natureza intrínseca aos processos convencionais. Ensaios de conformidade também são realizados nos componentes e elementos produzidos na fábrica, conforme já comentado anteriormente no item referente à comprovação do desempenho técnico de componentes e elementos, bem como apresentado posteriormente no item de fabricação. No Brasil, existem normas técnicas específicas para a construção industrializada, estabelecendo critérios para a verificação de conformidade dos materiais utilizados na fabricação e para os componentes e elementos produzidos.

Devido a sua natureza, o projeto de um sistema industrializado necessita de um alto grau de detalhamento e compatibilização, acarretando um grande benefício no que diz respeito às interferências e compatibilização entre projetos.

2.3.2 Âmbito econômico

A redução do tempo de obra é uma das principais vantagens de um sistema industrializado. A produção dos componentes e elementos fora do canteiro de obra, de forma industrial, acelera o processo de produção ou a fase de execução dos serviços em geral, eliminando, assim, o tempo de espera entre a abertura de frentes de trabalho, diferentemente da fase de execução de forma convencional. As peças geralmente são moduladas aumentando a velocidade de produção na obra devido à repetição dos serviços.

As entregas dos componentes e elementos na obra são programadas de acordo com o planejamento e, com maior controle do tempo na execução, evita-se o acúmulo de insumos, tanto no canteiro de obras, quanto nas fábricas. O transporte e a entrega desses insumos são acompanhados pela equipe de montagem dos componentes, elementos ou sistema, podendo ser eliminado o tempo de descarregamento e transporte para o local de aplicação.

O adiamento do cronograma interfere diretamente no fluxo de caixa da obra. A diminuição do tempo de obra reduz os custos fixos, por exemplo, os gastos com salários e aluguéis.

2.3.3 Âmbito de produtividade e de sustentabilidade

O aumento da produtividade no uso de componentes ou elementos industrializados ou de um sistema construtivo industrializado em comparação ao sistema convencional é a eliminação de certas etapas de obras. O processo de produção em série nas fábricas dos elementos e componentes acarreta maior produtividade, pois existe a repetição dos processos e a especialização da mão de obra.

A concepção do sistema industrializado deve ser realizada de forma a reduzir ao máximo os serviços no canteiro de obra, ou seja, basicamente no canteiro de obra industrializado, o serviço preponderante é o de montagem. A automação também garante grande velocidade na produção. Os içamentos e transportes dos componentes e elementos são geralmente realizados por máquinas, reduzindo a quantidade de mão de obra necessária para essa etapa.

No canteiro de obras também é necessária a especialização de mão de obra. Em um canteiro com sistemas industrializados, surge à figura do montador, um especialista em montagens desse sistema.

Em relação à sustentabilidade, de acordo com Spadeto (2011), na construção industrializada há menor consumo e perdas de materiais, otimização da mão de obra e minimização de retrabalhos, redução da quantidade de resíduos gerados e de consumo de energia.

3. Contratação

Após a conclusão da etapa de viabilidade prévia, é iniciado o processo de contratação das empresas que serão envolvidas no processo de produção de componentes, elementos e sistemas industrializados, sendo que algumas peculiaridades devem ser verificadas antes do início desse processo. Nesse caso, o cliente pode não ser necessariamente o usuário final, mas, por vezes, uma construtora, uma vez que diz respeito ao fornecimento de um componente ou elemento ou sistema e não a totalidade do empreendimento.

O processo de contratação diferencia-se nos setores privados e públicos com etapas específicas para cada setor (Figuras 8 e 9).

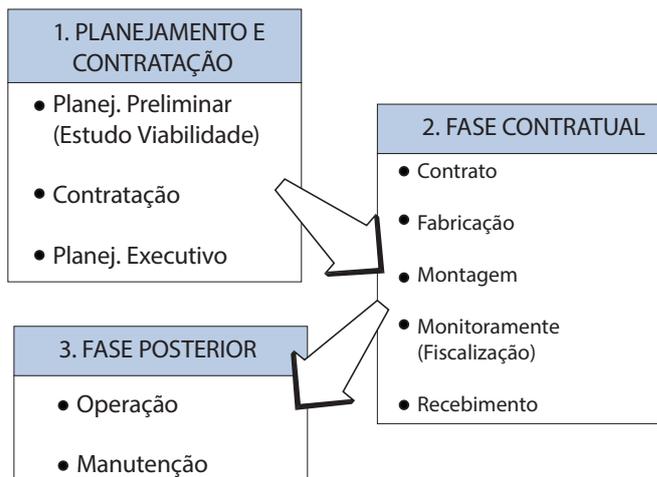


Figura 8: Etapas do processo de contratação no setor privado. Fonte: adaptado do Manual do TCU

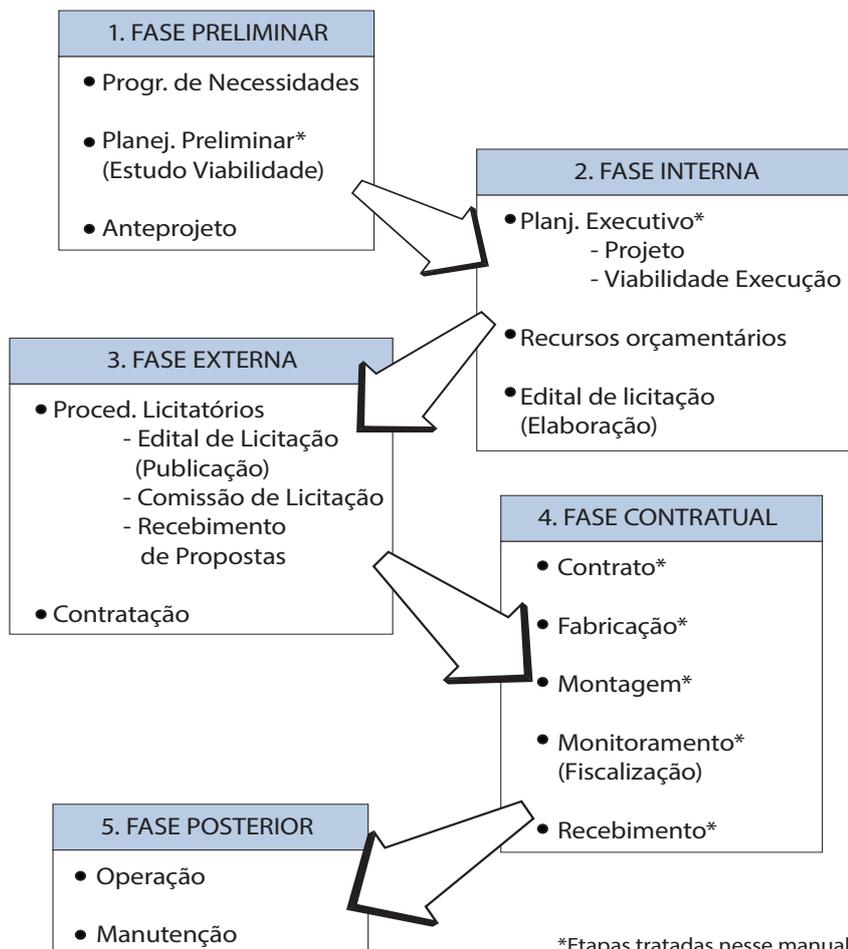


Figura 9: Etapas do processo de contratação para obras públicas. Fonte: adaptado do Manual do TCU

3.1 Processo de contratação

O primeiro passo da contratação de sistemas industrializados é a seleção das empresas fabricantes/fornecedoras e montadoras. A contratação dessas duas etapas pode ocorrer separadamente, ou seja, a empresa fabricante é diferente da empresa montadora, ou conjuntamente, em que a empresa que fabrica os elementos é a mesma que realiza a montagem.

A seleção é auxiliada pelo planejamento prévio, no qual são analisados aspectos importantes, por exemplo, a adequação das empresas às normas técnicas vigentes, avaliação ambiental, análise socioeconômica das empresas e outros.

Para obras de grande porte, pode-se fazer necessária a elaboração de um anteprojeto, como etapa anterior à contratação, devendo ser apresentados os principais elementos (no caso de estruturas, os principais elementos estruturais, no caso de fachadas, um esboço de paginação, e assim por diante). Esse anteprojeto possibilita melhor definição e conhecimento sobre o empreendimento, bem como as diretrizes a serem seguidas quando da contratação do projeto básico.

3.1.1 Concepção e viabilidade

Ao analisar as possibilidades de uso de um sistema construtivo industrializado, recomenda-se:

- considerar diferentes soluções que integrem componentes ou elementos, ou sistemas construtivos como um todo, levando em consideração as necessidades específicas do produto e processo construtivo; a proximidade dos centros produtores e a capacidade de instalação de fábricas móveis em canteiro.
- Consultar fornecedores de cada componente, elemento ou sistema e conhecer suas particularidades, definindo a melhor alternativa.
- Selecionar fornecedores, em função dos prazos necessários para elaboração do projeto e sua respectiva fabricação e que atendam às normas técnicas aplicáveis a cada sistema, assegurando conformidade e desempenho.
- Focar na racionalização construtiva, respeitando-se conceitos como modulação, logística e planejamento.
- Compatibilizar projetos e analisar interfaces dos elementos industrializados com demais sistemas, reduzindo riscos de conflitos e erros.

- Levantar os riscos da obra, identificando a melhor tática para a prevenção ou adoção de plano(s) de contingência.
- Assegurar que a diferença entre os custos tangíveis (valor monetário) deve ser menor ou igual aos custos intangíveis (valor subjetivo).

3.1.2 Seleção do projetista, fornecedor e montador

A seleção dos principais envolvidos no processo de produção de sistemas industrializados é uma etapa essencial para o seu bom andamento, sendo necessário:

- escolher a empresa do segmento mais adequada para executar o projeto em questão, independente do seu tamanho.
- Coletar referências junto a clientes das empresas: atendimento, cumprimento de prazos e escopo dos serviços, controle de qualidade etc.
- Verificar a integridade da (s) empresa (s) (CREA, Procon, Serasa, Licença Ambiental etc.), formalidade e emissão de notas fiscais.
- Verificar o acervo técnico do projetista em questão.
- Visitar obra(s) que esteja(m) em execução e/ou concluída(s) e observar detalhes como organização do canteiro, disponibilidade de equipamentos adequados, segurança do trabalho etc.
- Visitar a fábrica e observar a presença de responsável técnico supervisionando a produção, local adequado para armazenamento de matéria-prima, estado de funcionamento de equipamentos como guindastes, gruas, talhas, máquinas de corte e dobra etc.
- Verificar se a empresa integra programas de avaliação de conformidade em relação a requisitos de segurança, qualidade e meio ambiente e se possui atestado ou certificado válido.
- Avaliar o fornecedor/montador com vistas a assegurar o atendimento às normas técnicas vigentes.
- Verificar quais são os serviços oferecidos pelas empresas.

3.1.3 O contrato

No instrumento contratual, minimamente devem se observar os seguintes requisitos:

3.1.3.1 Escopo

Nesse aspecto, deve-se atentar para definir claramente quais são os objetos do contrato, definindo as responsabilidades de cada agente. Esse item é importante, pois é o momento de balizar as expectativas tanto do contratante, quanto da contratada.

Esse processo se faz necessário para explicitar a percepção do que o contratante espera do produto e o que o contratado precisa projetar, produzir e entregar. Nesse momento, todos os fatores, especialmente prazos e custos, ficam expostos, para não deixar margem a interpretações ambíguas, embora normalmente seja necessário mais adiante revê-los para ajustes das expectativas sobre o produto.

3.1.3.2 Cronograma de fabricação e execução

No contrato deve constar as informações de cronograma de fabricação e execução dos componentes e elementos dos sistemas industrializados. Esse cronograma auxiliará na estimativa dos recursos de tempo necessários ao longo de cada etapa.

Recomenda-se também a utilização do cronograma físico-financeiro no qual constam as despesas mensais previstas para serem incorridas ao longo da execução da obra. Esse cronograma deve ser elaborado de forma que sirva de balizador, em fase posterior, para a análise das propostas apresentadas pelas empresas participantes. É importante destacar que, após o início das obras, sempre que o prazo e as respectivas etapas de execução forem alterados, há a necessidade de se adequar o cronograma físico-financeiro, de modo que esse sempre reflita as condições reais do empreendimento.

3.1.3.3 Preço e formas de pagamento

É recomendado apresentar o orçamento baseado no projeto executivo. Devido à necessidade de demandar maiores esforços na compatibilização de projetos, não é recomendado realizar o orçamento com o projeto básico como base.

Devem-se prever também as formas do pagamento que será realizado. Esse pagamento está atrelado à forma de contratação escolhida, que será abordado no item 5.3.

3.1.3.4 Requisitos de qualidade

O contrato deverá ter cláusulas referentes aos requisitos de qualidade explicitando de forma clara o atendimento pelo fornecedor das normas técnicas da ABNT aplicáveis. No caso da contratação de sistemas ou da edificação, a qualidade deverá ser garantida durante todo o processo construtivo, desde o projeto, fabricação dos componentes e elementos até a execução e montagem no canteiro.

3.1.3.5 Referência à forma de fiscalização e recebimento

No contrato deve estar explicitado o tipo e a periodicidade das inspeções e fiscalizações dos processos, além dos recebimentos dos serviços executados.

O Fabricante deverá fazer uma inspeção visual do material, mas não necessitará executar nenhum ensaio a não ser que a Contratada especifique nos Documentos Contratuais que ensaios adicionais devam ser feitos por conta do Contratante. Quando forem exigidos ensaios, o processo, a extensão, as normas e os critérios de aceitação deverão estar claramente especificados nos Projetos e nos Documentos Contratuais.

3.1.4 Definição das responsabilidades na contratação de sistemas industrializados

No processo de contratação há responsabilidades do agente contratante e dos agentes contratados.

3.1.4.1 Do contratante

- Liberação e manutenção dos acessos.
- Aprovação do projeto junto aos órgãos responsáveis.
- Obtenção do alvará de execução.
- Implantação do canteiro de obras.
- Prover pontos de abastecimento de água e energia elétrica.
- Gerenciar ou designar pessoa apta a gerenciar as interfaces da obra, no intuito de verificar a implementação dos diversos projetos do empreendimento.

3.1.4.2 Da contratada

- Providenciar junto aos Conselhos de classe as responsabilidades técnicas referentes ao objeto do contrato e especialidades pertinentes.
- Obter junto à Prefeitura Municipal ou administração local o alvará de construção e, se necessário, o alvará de demolição, na forma das disposições em vigor.
- Efetuar o pagamento de todos os tributos e obrigações fiscais incidentes ou que vierem a incidir sobre o objeto do contrato, até o recebimento definitivo pelo contratante dos serviços e obras.
- Manter no local dos serviços e obras instalações, funcionários e equipamentos em número, qualificação e especificação adequados ao cumprimento do contrato.
- Submeter à aprovação da fiscalização o plano de execução e o cronograma detalhado dos serviços e obras, elaborados em conformidade com o cronograma do contrato e técnicas adequadas de planejamento, bem como eventuais ajustes.
- Submeter à aprovação da fiscalização os protótipos ou amostras dos componentes e elementos, além dos equipamentos a serem aplicados nos serviços e obras-objeto do contrato.
- Realizar, por meio de laboratórios previamente aprovados pela fiscalização e sob suas custas, os testes, ensaios, exames e as provas necessárias ao controle de qualidade dos materiais, serviços e equipamentos a serem aplicados nos trabalhos.

3.2 Legislação e regulamentação de licitações e práticas de mercado para sistemas industrializados

A contratação de sistemas industrializados deve abranger minimamente os requisitos das respectivas normas técnicas e as legislações aplicáveis a esse tipo de sistema.

A ABNT possui normas específicas para construções industrializadas, além de outras normas prescritivas referentes aos materiais e componentes utilizados nessa prática. A adequação a essas normas é de extrema importância, já que garantem uma maior uniformidade dos produtos comercializados e o desempenho mínimo desejado. Parte dessas normas pode ser encontrada nas referências bibliográficas desse Manual, se

fazendo necessário a pesquisa de outras normas aplicáveis para cada sistema contratado.

Outro aspecto normativo que deve ser verificado no processo de contratação de sistemas industrializados para habitações é a adequação dos produtos a norma de desempenho, já mencionada anteriormente.

A contratação do sistema industrializado também deve estar em concordância com as Leis nacionais e as aplicadas para cada município.

3.2.1 Modalidade de licitação x Natureza do objeto

A Administração Pública, sempre que tiver interesse em contratar a execução de uma obra, a prestação de um determinado serviço ou o fornecimento de um bem, por força do disposto no artigo 37, inciso XXI, da Constituição Federal de 1988, deverá obrigatoriamente realizar licitação pública. A licitação, então, constitui regra geral, onde é exceção a contratação direta (seja por dispensa, seja por inexigibilidade de licitação).

Essa licitação, atualmente, pode ser realizada de duas maneiras: a) sob a égide da Lei nº 8.666/93 ; ou b) sob a égide da Lei nº 10.520/02.

Dentro da lógica da Lei nº 8.666/93, a modalidade de licitação (art. 22) será definida de acordo com o valor estimado do objeto a ser contratado.

No Art. 23.

As modalidades de licitação a que se referem os incisos I a III do artigo anterior serão determinadas em função dos seguintes limites, tendo em vista o valor estimado da contratação:

I - para obras e serviços de engenharia:

a) convite - até R\$ 150.000,00 (cento e cinquenta mil reais);

b) tomada de preços - até R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil reais);

c) concorrência: acima de R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil reais); quanto maior o valor, maior o conjunto de formalidades e, por consequência, de prazo.

Por outro lado, por meio da Lei nº 10.520/02, ou seja, do pregão (presencial ou eletrônico), a Administração somente poderá contratar a aquisição de bens e serviços comuns, assim considerados “aqueles cujos

padrões de desempenho e qualidade possam ser objetivamente definidos pelo edital, por meio de especificações usuais no mercado” (art. 1º, parágrafo único), independentemente do valor do objeto.

Dito isso, a primeira observação vai justamente nesse sentido: definir em qual categoria a construção industrializada se enquadra (obra, serviço de engenharia, fornecimento de material com instalação ou, para fins de pregão, fornecimento de bem comum acrescido de serviço comum). Caso se enquadre como sendo obra ou serviço de engenharia, obrigatoriamente, deverá ser descartada a possibilidade de contratação por meio da modalidade pregão. Por sua vez, se tecnicamente puder se enquadrar como bem/serviço comum, deverá haver uma plena adequação do objeto, particularmente no que diz respeito aos padrões de desempenho e qualidade, como visto anteriormente, a partir de “especificações usuais no mercado”.

3.2.2 Contratação direta (dispensa e inexigibilidade de licitação)

A licitação, como visto no item anterior, é a regra geral. Porém, conforme extrai-se da própria Constituição Federal (art. 37, inc. XXI, “ressalvados os casos especificados na legislação...”), a contratação direta é admitida tanto por dispensa de licitação, quanto por inexigibilidade de licitação.

As hipóteses de dispensa de licitação encontram-se descritas ao longo do art. 24 da Lei Federal nº 8.666/93. Trata-se de rol taxativo, o que significa dizer: para ser juridicamente viável a contratação, torna-se necessário que haja algum inciso dando respaldo de forma expressa. Ou seja, se não houver previsão legal específica, não será caso de dispensa de licitação.

Os casos de inexigibilidade de licitação são aqueles descritos no art. 25 da Lei nº 8.666/93 (rol exemplificativo). Porém, deve restar caracterizada a inviabilidade de competição. Segundo o entendimento de Carlos Ari Sundfeld (1994), em termos lógicos, a inviabilidade de licitação decorre: a) ou da singularidade do objeto pretendido; b) ou da unicidade de fornecedor; c) ou da especificidade da operação.

Apesar de a Lei prever a possibilidade de a Administração contratar de forma direta, isto é, sem a instauração de um procedimento licitatório regular, como regra geral, por cautela, a dispensa e inexigibilidade devem ser evitadas. Isso porque, de acordo com a própria Lei Federal nº 8.666/93, constitui crime, punível com detenção e multa, “dispensar ou

inexigir licitação fora das hipóteses previstas em lei, ou deixar de observar as formalidades pertinentes à dispensa ou à inexigibilidade” (art. 89).

3.3 Modelos de contratação para sistemas construtivos de edificações

São dois os tipos de contratos mais frequentes: o contrato por preço global e o contrato por preço unitário.

3.3.1 Preço global

Para contratos que estipulem preço global, todo o escopo de trabalho a ser executado pela Construtora/Montadora deverá estar detalhadamente definido nos Documentos Contratuais. Nesse tipo de contratação, o construtor/montador se responsabiliza por realizar e atender ao escopo e disposições contratuais, por um preço definido. Nesse caso, a principal condição de contratação é a disponibilidade de diretrizes fundamentadas no projeto executivo. O preço global traz garantias para o construtor/montador e o contratante.

3.3.2 Preço unitário

Para os contratos por preço unitário, todo o escopo do trabalho a ser executado pela Montadora, as especificações técnicas, as quantidades, os tipos dos materiais, as características de Fabricação e as condições de Montagem deverão constar dos Documentos Contratuais, que descreverão detalhadamente o trabalho a ser executado. Revisões nos Documentos Contratuais deverão ser confirmadas por pedidos de alteração ou de serviços extras. A emissão de uma revisão nos Documentos Contratuais será considerada como liberação para construção quando autorizada pelo Contratante. O valor do contrato e o cronograma deverão ser ajustados quando o escopo de trabalho e as responsabilidades da Montadora mudarem em relação ao previamente estabelecido nos Documentos Contratuais.

3.4 Termos de referência (para obras públicas)⁴

Quando se trata de obras públicas, recomenda-se, primeiramente, verificar se será um Projeto Básico ou um Termo de Referência (TR),

⁴ Com base em Conselho Federal de Administração, *Roteiro para elaboração de termo de referência* (CFA, 2011).

sempre analisando a modalidade de licitação, ou seja, Pregão ou outra modalidade de Licitação (dispensa ou inexigibilidade). Em caso de dúvida sobre o enquadramento da modalidade, recomenda-se verificar onde o objeto se enquadra em uma das situações apontadas nos Artigos 23 a 25 da Lei nº 8.666/93.

Deve estar clara a justificativa da necessidade da contratação, dentre outros: os benefícios diretos e indiretos, como ambientais, se houver, natureza do serviço, se continuado ou não, inexigibilidade ou dispensa de licitação, se for o caso e referência a estudos preliminares, se houver.

Quanto às especificações do objeto, deverá ocorrer o detalhamento das principais informações sobre a aquisição ou serviço. Sobre a quantidade, considera-se a relação entre a demanda e a quantidade de componentes, elementos ou serviço referente ao sistema a ser contratado, acompanhado, no que couber, dos critérios de medição utilizados.

De forma clara e objetiva, deverá ser apontado o local, ou os locais de entrega dos componentes ou elementos ou execução/montagem do sistema, bem como os horários disponíveis para recebimento ou execução dos mesmos.

O prazo para entrega dos componentes ou elementos ou início da prestação do serviço referente à execução/montagem do sistema deve estar claro, vinculado a uma data ou evento, normalmente essas datas estão atreladas à emissão da NE ou assinatura do Contrato.

O recebimento dos componentes, elementos ou serviços referentes ao sistema deverá ocorrer de forma provisória, para posterior verificação de conformidade do objeto, e definitivamente, após a verificação das especificações, da qualidade e quantidade dos mesmos.

Deverá ser informado como serão feitos o acompanhamento e a fiscalização dos serviços ou recebimento dos componentes e elementos, bem como o responsável ou área responsável.

3.5 Das medições e pagamentos

A Lei nº 8.666/93, ao tratar do procedimento e julgamento da licitação, traz uma série de elementos que devem constar tanto no edital de licitação, quanto na minuta do contrato que será futuramente firmado com a Administração. Dentre eles, vale destacar aquele que trata especificamente das condições de pagamento. Segundo a referida Lei, de forma geral, o edital deve contemplar condições de pagamento prevendo: a)

prazo de pagamento não superior a trinta dias, contado a partir da data final do período de adimplemento de cada parcela; b) cronograma de desembolso máximo por período, em conformidade com a disponibilidade de recursos financeiros; c) critério de atualização financeira dos valores a serem pagos, desde a data final do período de adimplemento de cada parcela até a data do efetivo pagamento; d) compensações financeiras e penalizações, por eventuais atrasos, e descontos, por eventuais antecipações de pagamentos; e) exigência de seguros, quando for o caso (art. 40, inc. XIV).

É de se notar, todavia, que a Lei nº 8.666/93 veda à Administração a possibilidade de realizar a antecipação de pagamento ao contratado, ao considerar como sendo adimplemento da obrigação contratual “a prestação do serviço, a realização da obra, a entrega do bem ou de parcela destes, bem como qualquer outro evento contratual a cuja ocorrência esteja vinculada a emissão de documento de cobrança” (art. 40, § 3º). Dessa forma, diferentemente do que pode ocorrer no mercado privado, perante o Poder Público, somente poderá haver o pagamento da parcela relativa ao objeto do contrato que tenha sido efetivamente adimplida.

No mesmo sentido é a orientação implícita contida no art. 55, inc. III, da Lei, ao dispor que são cláusulas necessárias em todo contrato as que estabeleçam o preço e as condições de pagamento, os critérios, data-base e periodicidade do reajustamento de preços, os critérios de atualização monetária entre a data do adimplemento das obrigações e a do efetivo pagamento. E isso, vale destacar, não poderá ser alterado em hipótese alguma durante a execução do contrato, conforme dispõe o art. 65, inc. II, alínea “c”, da mesma Lei (“vedada a antecipação do pagamento, com relação ao cronograma financeiro fixado, sem a correspondente contra-prestação de fornecimento de bens ou execução de obra ou serviço”).

Por essa razão é de suma importância que o projeto e o cronograma físico-financeiro contemplem, desde a origem do processo licitatório, a possibilidade de pagamento após a conclusão de cada etapa do processo produtivo, desde a confecção dos componentes e elementos em fábricas e usinas que são acoplados no canteiro.

3.6 Fase interna da licitação

A Lei nº 8.666/93 dispõe que as licitações para a execução de obras e para a prestação de serviços devem sempre obedecer à seguinte

seqüência: I – projeto básico; II – projeto executivo; III – execução das obras e serviços (art. 7º). Assevera também que as obras e os serviços somente poderão ser licitados quando: I – houver projeto básico aprovado pela autoridade competente e disponível para exame dos interessados em participar do processo licitatório; II – existir orçamento detalhado em planilhas que expressem a composição de todos os seus custos unitários; III – houver previsão de recursos orçamentários que assegurem o pagamento das obrigações decorrentes de obras ou serviços a serem executados no exercício financeiro em curso, de acordo com o respectivo cronograma; IV – o produto dela esperado estiver contemplado nas metas estabelecidas no Plano Plurianual de que trata o art. 165 da Constituição Federal, quando for o caso (art. 7º, § 2º).

Além disso, a Lei nº 8.666/93 ainda apresenta os diversos conceitos que são utilizados ao longo de seu texto, dentre eles, o de projeto básico. Observe-se:

Art. 6º [...]

IX – Projeto Básico – conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução, devendo conter os seguintes elementos:

a) Desenvolvimento da solução escolhida de forma a fornecer visão global da obra e identificar todos os seus elementos constitutivos com clareza;

b) Soluções técnicas globais e localizadas, suficientemente detalhadas, de forma a minimizar a necessidade de reformulação ou de variantes durante as fases de elaboração do projeto executivo e de realização das obras e montagem;

c) Identificação dos tipos de serviços a executar e de materiais e equipamentos a incorporar à obra, bem como suas especificações que assegurem os melhores resultados para o empreendimento, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;

d) Informações que possibilitem o estudo e a dedução de métodos construtivos, instalações provisórias e condições organizacionais para a obra, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;

e) Subsídios para montagem do plano de licitação e gestão da obra, compreendendo a sua programação, a estratégia de suprimentos, as normas de fiscalização e outros dados necessários em cada caso;

f) Orçamento detalhado do custo global da obra, fundamentado em quantitativos de serviços e fornecimentos propriamente avaliados.

Partindo desse conceito legal, para viabilização de um projeto pautado em construção industrializada, é importante que a Administração Pública tenha todas essas informações técnicas em mãos, para que não haja qualquer questionamento por parte dos órgãos de controle externo (Ministério Público e Tribunal de Contas) ou até mesmo de eventuais interessados em fornecer o método de construção convencional.

3.7 Ajustes nos processos (legislação/regulamentação)

Na contratação de sistemas industrializados deve se levar em consideração algumas peculiaridades em relação aos sistemas convencionais. Os sistemas industrializados devem ser contratados levando em consideração a sua adequação à arquitetura do projeto e seus respectivos custos totais, não somente o menor preço.

Questões de qualidade como a existência de PSQ's, DATecs, ISO 9001 e outras avaliações de conformidade do produto (componentes, elementos ou sistemas) são itens relevantes na elaboração do contrato, já que asseguram que a empresa contratada possui avaliações externas de seus processos.

Assim como em sistemas convencionais, a contratação de sistemas industrializados deve ser realizada com empresas que atendam requisitos mínimos de sustentabilidade, seja no âmbito social, ambiental ou econômico. A verificação das condições de trabalho (Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho) da empresa contratada é de grande importância para evitar futuros processos jurídicos.

3.7.1 Cronograma

O cronograma contratual deverá indicar:

- Quando os projetos estarão liberados para Detalhamento.
- Quando o canteiro, elementos e interfaces destes estarão liberados e livres para a Montadora, de forma que a Montagem possa ser iniciada e prosseguir sem interferências ou atrasos causados pela Construtora ou por terceiros.
 - O Fabricante e a Montadora deverão alertar a Fiscalização, em tempo oportuno, os efeitos de qualquer revisão no cronograma contratual.
 - Se a Fabricação e a Montagem atrasarem significativamente devido a revisões nos requisitos do contrato ou devido a outras razões de responsabilidade de terceiros, o Fabricante e a Montadora deverão negociar com a Contratante a compensação pelos custos adicionais incorridos.

3.7.2 Formas de pagamento

O Fabricante poderá ser pago pela matéria-prima e pelos componentes e elementos pré-fabricados e transportados. A Montadora poderá ser paga pela medição de elementos e sistemas executados ou instalados, e, em alguns casos, peso calculado das peças efetivamente montadas. Outras formas de pagamento de Fabricação e Montagem poderão ser estipuladas nos Documentos Contratuais.

3.7.3 Detalhes projetuais

O contrato deverá dispor de cláusulas referentes ao nível de detalhamento dos projetos, por exemplo, paginação do sistema, etapas e detalhes de montagem, ligações e conexões, juntas, entre outros.

3.7.4 Adequação de mão de obra

As exigências de capacitação para o exercício das Ocupações do setor de industrialização são definidas pelas empresas Fabricantes e Montadoras, e cujos parâmetros podem ser definidos pelas recomendações de qualificação, escolaridade e experiência. Baseiam-se também na complexidade, abrangência e dimensão das atividades de cada empresa. Cabe também aos Fabricantes e Montadoras proporcionar os programas de treinamento e capacitação aos seus respectivos profissionais.

Nos Quadros 11 e 12 são reunidas algumas informações principais que podem ser observadas na contratação de sistemas construtivos industrializados.

Quadro 11: (checklist): Informações para a contratação de sistemas construtivos industrializados

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo:	Edificações habitacionais	Outras Edificações	Infraestrutura
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Contratação	Item: Contratação		
Responsável pelas informações:	E-mail:		Telefone:
INFORMAÇÕES			
No contrato está especificado o modelo de contratação	SIM	NÃO	
O modelo de contratação é coerente com o tipo de serviço	SIM	NÃO	
As empresas selecionadas possuem os requisitos mínimos para a contratação (conhecimento técnico, responsáveis técnicos, mão de obra)	SIM	NÃO	
Foi efetuado o estudo de viabilidade técnica para o uso de sistemas industrializados	SIM	NÃO	
Estão atribuídas as responsabilidades para cada fase do processo de construção (projeto, fabricação e montagem)	SIM	NÃO	
No contrato está definido o escopo, o cronograma, as formas de pagamento, o controle de qualidade e as formas de fiscalização	SIM	NÃO	
INFORMAÇÕES			
No contrato estão definidas as datas de início e término da entrega dos componentes e elementos e dos serviços/ montagem sistema	SIM	NÃO	
As empresas seguem as recomendações das normas da ABNT	SIM	NÃO	
As empresas selecionadas possuem mão de obra coerente com o tipo de serviço	SIM	NÃO	

Quadro 12 (checklist): Informações para a contratação de sistemas construtivos industrializados para obras públicas

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo:	Edificações habitacionais	Outras Edificações	Infraestrutura
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: Contratação para Obras Públicas	Item: Contratação		
Responsável pelas informações:	E-mail:	Telefone:	
INFORMAÇÕES			
No contrato está especificado o Regime de Licitação (Empreitada por preço global, empreitada por preço unitário, tarefa e empreitada integral)	SIM	NÃO	
No contrato está especificado o Tipo de Licitação (Menor preço, melhor técnica, técnica e preço).	SIM	NÃO	
As empresas selecionadas possuem os requisitos mínimos para a contratação (Habilitação jurídica, qualificação técnica, qualificação econômico-financeira, regularidade fiscal, entre outras determinadas pela Lei 8.666/1993)	SIM	NÃO	
INFORMAÇÕES			
Foi efetuado o estudo de viabilidade técnica para o uso de sistemas industrializados	SIM	NÃO	
Elaboração de todas as etapas de projeto suficientes para o processo licitatório (Estudo preliminar, Anteprojeto, Projeto básico e Projeto executivo), com suas respectivas licenças e aprovações emitidas por órgãos competentes	SIM	NÃO	
Elaboração de Orçamento Detalhado	SIM	NÃO	
Estão atribuídas as responsabilidades para cada fase do processo de construção (projeto, fabricação e montagem)	SIM	NÃO	
No contrato está definido o escopo, o cronograma, as formas de pagamento, o controle de qualidade, as formas de fiscalização, casos de rescisão, condições de garantia e manutenção por parte da contratada e demais itens previsto no Art. 55 da lei 8.666/1993	SIM	NÃO	
No contrato estão definidas as datas de início e término da entrega dos componentes e elementos e dos serviços/montagem sistema	SIM	NÃO	
As empresas seguem as recomendações das normas da ABNT	SIM	NÃO	
As empresas selecionadas possuem mão de obra coerente com o tipo de serviço	SIM	NÃO	

Obs.: Desenvolvido a partir do *Manual de Contratação do TCU: Obras Públicas – recomendações básicas para contratação e fiscalização de obras de edificações públicas*, 3ª edição.

4. Planejamento executivo do processo de produção de obras com um sistema industrializado

O sucesso do processo de produção de edificações com componentes, elementos ou sistema industrializado está diretamente relacionado à qualidade e ao seu planejamento executivo. O maior grau de precisão dos processos envolvidos exige maior integração dos agentes envolvidos (fornecedores de materiais, projetistas e executores) e das informações geradas e difundidas por estes, desde o projeto, passando pela execução, até a fase de manutenção dos produtos com a finalidade de aumentar o detalhamento do planejamento, bem como eliminar falhas e imprevistos devido a maior intolerância dos sistemas construtivos industrializados a esses tipos de problemas.

4.1 Projeto

O termo “projeto”, embora tenha outras definições (ver no item referente a conceitos), é tratado por este Manual como a etapa de compilação e representação de informações técnicas necessárias à execução do produto ao qual se refere.

Em se tratando de construção industrializada, as informações apresentadas pelos projetos devem ser dotadas de especificações mais detalhadas do produto, como interfaces entre sistemas construtivos e demais componentes, determinação da forma de produção e interação entre as diversas instalações e a arquitetura – em se tratando de edificações.

O sucesso da etapa de projeto em construções industrializadas está diretamente relacionado ao sucesso da interação entre as informações geradas, assim como a determinação de alguns fatores intrínsecos ao processo de industrialização, entre eles, a coordenação modular.

A coordenação modular tem como principais benefícios os seguintes atributos:

- Melhorar a integração de informações entre os agentes.
- Reduzir variações dos componentes e ajustá-los a um padrão dimensional.
- Eliminar serviços de recortes e acertos no canteiro de obra, reduzindo perdas de materiais, tempo de execução e mão de obra.
- Simplificar a execução de obra.

- Facilitar a intercambialidade dos componentes, elementos e sistemas construtivos.

Conforme citado anteriormente, para que haja sucesso na fase de elaboração de projetos em construções industrializadas, é estritamente necessário um fluxo de informações coordenado entre projetistas, fornecedores de materiais e componentes e os responsáveis pela execução da obra, desde a etapa de concepção até o projeto para a produção.

Dessa forma, os fabricantes ou fornecedores de sistemas construtivos industrializados devem proceder a apresentação ilustrativa (com detalhamento gráfico) da concepção e da intercambialidade dos elementos e/ou sistemas construtivos com outros elementos e/ou sistemas, a exemplo de instalações, fundações etc. De posse dessas informações, projetistas devem elaborar projetos com alta precisão em termos de compatibilização, além de atender à construtibilidade do produto, o que se chama de projeto simultâneo. Posteriormente, deve ser desenvolvido o projeto para a produção, levando em consideração todos os aspectos citados anteriormente.

Após o desenvolvimento do projeto executivo, é importante a elaboração de um projeto para a produção, com informações para a montagem, tal como um manual de execução de tarefas, incluindo a ordem das atividades.

Além das informações gráficas, por meio de plantas de detalhes, o projeto para a produção deve conter memorial descritivo do sistema construtivo, incluindo sua descrição, bem como dos materiais constituintes, indicando as respectivas normas técnicas ou aprovação junto a instituições idôneas (exemplo: SIMAC ou SiNAT/PBQP-h; SBAC/ Inmetro).

Ainda relacionado ao processo de projeto, na última década se vivenciou o desenvolvimento de ferramentas computacionais com o intuito de facilitar a comunicação entre projetistas, bem como a execução dos itens anteriores, destacando-se a utilização da plataforma Building Information Modeling (BIM).

De acordo com Durante (2013), a plataforma BIM consiste na modelagem do produto em ambiente virtual com todas as características reais do mesmo, por meio da parametrização dos elementos, na qual o programador pode incluir características reais do componente ao modelo. Dessa forma, diferentes especialidades de projeto podem trabalhar

simultaneamente com diferentes focos a partir de um mesmo modelo, garantindo, assim, maior eficiência na compatibilização de diferentes projetos, maior capacidade de simulação e análise prévia do produto, maior planejamento de custos e execução da obra, entre outros benefícios.

Para que haja maior sucesso na utilização da plataforma BIM, são recomendadas algumas práticas, tais como:

- Presença de um Gerente BIM: é o agente que vai concentrar a organização dos trabalhos e os resultados através de atribuições exclusivas, como determinar o grau de envolvimento dos agentes e coordenação de suas atividades, identificar e determinar o nível de detalhamento, intermediar a resolução de conflitos técnicos e direcionar as análises do produto através dos modelos desenvolvidos.
 - Normatização de arquivos base (Templates).
 - Parametrização de Componentes a partir de informações divulgadas pelos fornecedores.
 - Integração entre os diversos agentes.

Diante do exposto, embora não seja obrigatório, é recomendável a utilização da plataforma BIM no processo de projeto e planejamento de obras que utilizem sistemas construtivos industrializados, desde que sejam observadas as práticas citadas anteriormente.

No Quadro 13, é apresentado um *checklist* com algumas informações que podem auxiliar na tomada de decisões para a contratação de sistemas industrializados.

Quadro 13 (checklist): Informações de projeto para nortear a contratação de sistemas construtivos industrializados

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
CONTRATAÇÃO PROJETOS			
NOME DA CONTRATADA:			
ENDEREÇO CONTRATADA:			Edificações:
RESPONSÁVEL TÉCNICO:	E-mail:	Telefone:	Infraestrutura:
REQUISITOS			
O projeto apresenta coordenação modular de acordo com a norma de modulação NBR 15873	SIM	NÃO	
O projeto apresenta detalhamento e tratamento satisfatório das interfaces entre diferentes sistemas construtivos	SIM	NÃO	
O projeto atende às especificações e restrições técnicas fornecidas pelo fabricante	SIM	NÃO	
A empresa contratada é responsável por todas as especialidades cabíveis ao projeto	SIM	NÃO	
Há compatibilização satisfatória entre os projetos de diferentes especialidades	SIM	NÃO	
Há a contratação do projeto de produção da obra	SIM	NÃO	
A empresa contratada para o projeto de produto é responsável pela elaboração do projeto de produção	SIM	NÃO	
UTILIZAÇÃO PLATAFORMA BIM (REQUISITOS FACULTATIVOS)			
Contratação do Gerente BIM	SIM	NÃO	
Elaboração de plano de utilização da plataforma BIM no projeto	SIM	NÃO	
Todas as empresas envolvidas na elaboração do projeto de produto utilizam a plataforma BIM	SIM	NÃO	
Há a compatibilidade de templates entre as especialidades de projeto	SIM	NÃO	
Há a normatização do(s) template(s) utilizado(s)	SIM	NÃO	
Houve o fornecimento das informações dos fabricantes para parametrização de componentes	SIM	NÃO	
Houve a parametrização dos componentes utilizados no modelo BIM a partir da informação dos fabricantes	SIM	NÃO	
A conversão da plataforma BIM para a Plataforma CAD é feita de forma normatizada	SIM	NÃO	
Há Entrega do modelo BIM	SIM	NÃO	

4.2 Viabilidade

Após a elaboração do Planejamento Preliminar, que contempla, entre outras atividades, a escolha do sistema produtivo e o fluxo de caixa do

empreendimento, e em paralelo a elaboração dos projetos do produto e a produção da obra, deve ser feito um estudo minucioso sobre todas as variáveis determinantes para a execução da obra a fim de viabilizá-la com o mínimo de recursos e o máximo de produtividade através dos seguintes tipos de planejamento: planejamento físico, planejamento financeiro e planejamento logístico.

4.2.1 Planejamento físico

Corresponde ao estabelecimento da sequência física das atividades de execução da obra. Esse planejamento decorre das informações traçadas pelo fluxo de caixa, no planejamento preliminar, bem como das informações dos projetos executivo e, principalmente, de produção.

4.2.2 Planejamento financeiro – orçamento analítico

O planejamento financeiro corresponde à elaboração do orçamento analítico. Matos (2010) define orçamento analítico como a “composição de custos dos serviços, com relação de insumos e margem de erro menor que a do orçamento preliminar”.

Nessa fase, faz-se necessário o detalhamento do orçamento preliminar da obra a partir das informações geradas pela escolha do sistema construtivo e os detalhamentos provenientes da elaboração dos projetos de produto e produção, já que estes permitem a visualização mais clara dos insumos, quanto a especificação e quantidade, e atividades que irão compor a execução da obra.

4.2.3 Planejamento logístico

Segundo Carvalho (2005), “o planejamento logístico consiste, basicamente, na gestão da aquisição de materiais e serviços, de movimentação e armazenamento de equipamentos e materiais e de mão de obra”. Nessa etapa, é de suma importância a participação da cadeia de fornecedores de materiais e serviços, pois são elaborados os marcos contratuais que determinarão os detalhes das operações entre fornecedores e contratantes.

O armazenamento, conforme as instruções do fabricante, também deve ser atentamente observado a fim de evitar avarias dos componentes, problemas contratuais e de execução e irregularidades no produto final.

4.3 Execução

Essa etapa corresponde ao plano de ação propriamente dito, em que são cumpridos os prazos e as estratégias de execução das atividades determinadas pelas etapas anteriores de planejamento. É quando ocorre também a transferência de conhecimento por parte dos fornecedores e o treinamento da mão de obra responsável por cada tarefa.

Sistemas construtivos industrializados necessitam de uma gestão dotada de maior rigor e controle das atividades, a fim de reduzir ações que não agregam valor, tais como o transporte e a espera de insumos dentro do canteiro, bem como a variabilidade de processos, aumentando a produtividade da execução e justificando a adoção desses sistemas.

É recomendável a utilização de técnicas de controle de obras para a gestão do empreendimento, como: Controle físico-financeiro, PERT – CPM, Curva S, Linha de Balanço e outras.

4.3.1 Mecanização do canteiro

A execução de obras em sistemas construtivos industrializados requer maior intensidade de mecanização das atividades. Questões relacionadas à especificação de equipamentos estão ligadas a fatores de viabilidade, como logística dos equipamentos, em que são analisados o transporte, acessos e espaço do canteiro; cronograma e orçamento, nos quais a análise de aquisição do equipamento é atrelada à ganhos de produtividade e ao aporte de investimento que o planejamento financeiro da obra permite.

Outro ponto a ser considerado na mecanização do canteiro é a forma de aquisição dos equipamentos, que pode ser feita por meio de aluguel ou compra. A forma de aquisição deve ser analisada por meio do volume de utilização ou quantidade de serviços e obras, pois quanto maior a quantidade de obras e serviços do equipamento maior será a diluição do investimento, tempo de utilização, espaço e logística do canteiro, custos de manutenção, vida útil e custo de depreciação.

Aspectos legais, como responsabilidade técnica por atividades de montagem de equipamentos e exigências de dispositivos obrigatórios de segurança, bem como a capacitação da mão de obra que irá operar os equipamentos também deverão ser atentamente analisados a fim de que se obtenha sucesso na implantação da mecanização da execução das obras em sistemas construtivos industrializados.

No item 6, referente a Fabricação, serão apresentados conceitos e *checklist* norteadores para avaliação da contratada, tendo como base o controle da qualidade, a garantia da qualidade e o sistema de gestão da qualidade.

4.4 Uso e manutenção

Após a definição e o detalhamento técnico dos elementos e dos sistemas a serem utilizados na obra, se faz necessária a elaboração de um manual do usuário que defina as práticas de utilização adequada dos mesmos, bem como o planejamento das manutenções preventivas e procedimentos a serem observados em caso de manutenções corretivas, seguindo o raciocínio disposto no item 2.1.5 (Manutenção preventiva, p. 55), a fim de garantir sua durabilidade e resistência.

É importante destacar que os sistemas devem ter sua utilização restrita aos fins para os quais foram projetados, de forma que qualquer sobrecarga ou mudança de uso deve ser feita sob consulta do projetista responsável. Este também deve ser consultado em caso de procedimento para proteção de elementos, como a estrutura quanto ao uso de produtos agressivos, como gases e ácidos. Vale frisar que a empresa fornecedora do sistema também deve ser consultada nos casos citados anteriormente, assim como em caso de dúvidas sobre o sistema.

5. Fabricação

Em se tratando de sistemas industrializados, o cliente pode não ser necessariamente o usuário final, mas por vezes uma construtora, uma vez que a contratação possui diversos arranjos produtivos, que permitem a contratação apenas de componentes ou elementos e não a totalidade do empreendimento. Como exceção tem-se os casos em que a indústria ou empresa também é a incorporadora de um determinado empreendimento.

A qualidade deve ser considerada de acordo com cada arranjo produtivo, conforme definido na conceituação de processo construtivo industrializado.

5.1 Introdução ao controle de qualidade

Pode-se dizer que um componente, elemento ou sistema industrializado tem qualidade quando atende aos requisitos de desempenho, à vida

útil esperada e quando o seu custo total (de execução e manutenção) não ultrapassa os valores esperados.

Sendo assim, pode-se afirmar que o controle de qualidade vai além da verificação de projeto e de um controle tecnológico e dimensional efetivo, estende-se à qualificação e ao comprometimento dos envolvidos no processo e especialmente à gestão das interfaces de projeto, produção e montagem. Isso porque toda a logística poderá não somente comprometer o processo, se tratada de forma inadequada, como interferir desfavoravelmente, não assegurando a integridade dos elementos que farão parte do sistema. As atividades de controle de qualidade devem assegurar que, após o sistema montado e durante a sua vida útil, os requisitos de projeto e das normas técnicas aplicáveis tenham sido atendidos.

A garantia da qualidade deve incidir não somente na fabricação, mas também na montagem, e em todas as etapas que as constituem (planejamento, projeto, montagem etc.). O Fabricante deverá manter um programa de garantia da qualidade para assegurar que seu trabalho esteja de acordo com as especificações das normas aplicáveis e com os Documentos Contratuais. A Montadora deverá manter um programa de garantia da qualidade para assegurar que seu trabalho esteja de acordo com as especificações das normas pertinentes. A Montadora deverá possuir qualificação e capacidade de executar a Montagem do sistema construtivo, devendo, para isso, fornecer equipamento, pessoal e supervisão proporcionais ao escopo, magnitude e qualidade exigíveis para cada obra.

Os itens a serem considerados, de forma geral, levando-se em conta àqueles que se diferenciam em relação a uma estrutura convencional são: controle do material recebido, controle dos materiais e componentes utilizados na fabricação dos elementos industrializados, identificação e rastreabilidade do produto e inspeção do processo nas etapas de projeto, produção e montagem.

5.2 Controle de qualidade na produção e na recepção

No processo de produção dos componentes, elementos ou sistemas industrializados na fábrica deve ser exercido o controle da qualidade nas diversas fases, envolvendo planejamento do produto, projeto, materiais, fabricação, garantia na instalação e assistência técnica após a instalação. Também são especificados os prazos recomendados para a manutenção do componente ou elemento após sua montagem na obra, considerando-se a vida útil.

Em termos de ferramentas, podem ser utilizadas, para o controle da qualidade da produção, gráficos e registros contínuos, enquanto na recepção são utilizados planos de amostragem e critérios de aceitação/rejeição. Desta forma, na contratação de um componente, elemento ou sistema industrializado, a contratada deverá assegurar que tem as variáveis que influem nos atributos sob controle na produção do produto, e ainda, que o produto resultante tem qualidade comprovada segundo critérios de aceitação/rejeição, e que há conformidade com o produto especificado no edital ou no contrato.

A garantia da qualidade envolve as especificações, os procedimentos, o controle da produção, da recepção e a documentação e arquivo.

5.3 Sistema de gestão da qualidade na contratada

É desejável, mas não obrigatório, que a contratada/fabricante do componente ou elemento possua um sistema de gestão da qualidade aplicado ao seu processo de produção, facilitando, dessa forma, a realização da garantia da qualidade, já que o processo, nesse caso, estará sob controle. Além dos aspectos técnicos do controle, são contemplados os aspectos organizacionais e de gestão.

Os principais procedimentos referentes ao sistema de gestão, segundo a NBR ISO 9001, são: manual da Qualidade (política da qualidade e objetivos da qualidade); controle de documentos; controle de registros; auditoria interna; controle de produto não conforme; ação corretiva e ação preventiva. É recomendável ainda que a contratada fabricante dos elementos industrializados mantenha: a) procedimentos operacionais para o controle do processo referentes ao planejamento da qualidade da fabricação do produto e ao controle dos equipamentos de produção e b) registros estabelecidos e mantidos para prover evidências da conformidade com os requisitos e da operação eficaz do sistema de gestão da qualidade.

5.4 Controle de qualidade na produção dos componentes e elementos na fábrica

Na fabricação, o projeto é tratado como o projeto do produto, já que a sua montagem e instalação somente serão feitas *a posteriori*. De acordo com a demanda da contratante, a contratada apresentará, segundo especificações claras do produto a ser produzido, e de acordo com normas técnicas e

documentos de referência pertinentes ao produto, documentos referentes ao estudo preliminar, anteprojeto e projeto detalhado do produto, incluindo o dimensionamento final com todos os detalhes dos materiais constituintes.

A contratada deve ter um procedimento formalizado para a especificação dos materiais utilizados para o projeto dos elementos contratados, e esse procedimento deve ser aplicado à prática corrente da fábrica. Essa especificação deve ser feita com base em requisitos da ABNT ou outra norma correspondente, quando não houver norma da ABNT. Os principais aspectos a serem considerados pela contratante são resumidos no Quadro 14.

Quadro 14 (checklist): Requisitos do projeto do produto industrializado

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Tipo de sistema construtivo	Edificações habitacionais:	Outras edificações:	Infraestrutura:
MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: controle de qualidade na produção:		Item: fabricação	
Responsável pelas informações:		E-mail:	Telefone:
INFORMAÇÕES			
Qualidade do projeto do produto			
A contratada possui procedimento formalizado para a especificação de materiais que serão utilizados no projeto do produto, conforme normas técnicas da ABNT		SIM	NÃO
Qualidade da solução proposta em relação a aspectos técnicos		SIM	NÃO
Qualidade da solução proposta em relação a custo		SIM	NÃO
Qualidade da solução proposta em relação a prazo		SIM	NÃO
Qualidade da descrição da solução		SIM	NÃO
Qualidade da justificativa da solução para o projeto		SIM	NÃO
Qualidade da concepção do projeto do produto para as interfaces do projeto arquitetônico final da edificação. (Ex: apresenta detalhamento de interfaces de vedação com estrutura ou com instalações)		SIM	NÃO
Qualidade da concepção do projeto do produto considerando-se coordenação modular e o projeto arquitetônico final da edificação. (Ex: apresenta estudo modular para a sua aplicação no projeto arquitetônico final da edificação ou infraestrutura a ser construída)		SIM	NÃO

5.4.1 Nos materiais

A contratada deve ter um procedimento formalizado para a aquisição dos materiais que serão utilizados no produto, no qual é considerada a qualidade atestada pelas suas normas técnicas correspondentes e pela qualificação no SIMAC do PBQP-h. No caso de materiais ou componentes

importados que se enquadram na certificação compulsória do Inmetro, é obrigatória a apresentação do certificado. Todos os materiais e componentes utilizados na fabricação do produto devem ser provenientes de fornecedores legais, isto é, que possuam CNPJ e Licença ambiental.

Assim como na aquisição, a contratada deve ter um documento formalizado para o armazenamento de materiais e componentes, que, por sua vez, devem estar de acordo com normas ou recomendações utilizadas nas melhores práticas de canteiro ou fábricas: altura de pilhas, armazenamento horizontal ou vertical, por bitola (separação por bitolas) e outros. No Quadro 15 é apresentado um exemplo de procedimento de inspeção de materiais, sugerido por Souza, 1995.

Como exemplo de controle do recebimento de aço para estruturas de concreto, observa-se a atenção na manutenção dos certificados recebidos das siderúrgicas, checando os lotes indicados no momento do recebimento e estabelecendo correlação com a produção a fim de que haja a efetiva rastreabilidade na utilização. Cuidados devem ser tomados no armazenamento, que deve ser feito preferencialmente em local coberto, sem estocar diretamente no chão e não armazenar próximo a áreas de soldagem, especialmente para o aço de concreto protendido.

Quadro 15: Ficha de coleta de informações para inspeção de materiais (adaptado de Souza, 1995)

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA		
FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: requisitos do controle da qualidade na fabrica		Item: fabricação
Responsável pelas informações:	E-mail:	Telefone:
PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO DE MATERIAIS (EXEMPLO: SOUZA ET AL, 1996)		
Logotipo da empresa:	Sistema da qualidade Especificação de inspeção de materiais (EIM):	Departamento:
Material:		
Especificação para compra:		
Formação em lotes no recebimento na fábrica:		
Verificações e ensaios de recebimento:		
Critério de aceitação:		
Orientações para armazenamento:		
Obs:		
Elaborado/Revisado por:		Data:

5.4.2 Na fabricação do componente ou elemento

A contratada deve entregar laudos periódicos à contratante, que comprovem a qualidade do produto da contratada.

De uma forma geral, a contratada deve ter, na fabricação do componente ou elemento, um procedimento formalizado de execução do serviço, que deve ser seguido na prática corrente da fábrica. Além disso, deve ter também um procedimento formalizado para inspeção do serviço.

A qualidade dos componentes e elementos fabricados industrialmente deve ser observada na fabricação. Essa qualidade é definida por uma série de propriedades ou atributos (provenientes da especificação) que são objeto de controle na fabricação

A partir das propriedades estabelecidas nas especificações para os componentes e elementos a serem fabricados, é possível estabelecer o controle da qualidade por meio, por exemplo, de gráficos de controle. Dessa forma, são retiradas amostras aleatórias diariamente ou em período estabelecido segundo as metas da produção, e são construídos gráficos de controle nos quais é possível visualizar por meio de médias as tolerâncias, a partir do que pode ser analisado se a produção está atendendo às especificações. A partir das especificações, também pode ser realizado controle de produção por atributos, incluindo listas de defeitos críticos, principais ou secundários, bem como critérios de aceitação/rejeição em função dos defeitos.

As especificações em geral incluem também a forma de efetuar o controle de recepção, deixando claro o tamanho dos lotes e os critérios de aceitação/rejeição. Em geral é feita inspeção por amostragem. No caso, porém, de elementos volumétricos ou unitizados (fachadas prontas unitizadas) de alto custo, como é o caso de uma fachada inteira ou mesmo um banheiro pronto, a inspeção pode ser a 100%.

No Quadro 16 são apresentadas algumas informações para a análise do controle de qualidade do produto na fábrica.

E no Quadro 17 são apresentadas informações sobre o sistema de gestão da qualidade da contratada, incluindo questões referentes à gestão, como objetivos e política da qualidade, existência e coleta de indicadores de desempenho, uso de ferramentas da qualidade, satisfação do cliente, assistência técnica, avaliação de fornecedores e outros.

Quadro 16 (checklist): Informações sobre o controle da qualidade na fábrica

MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Aplicação em sistema construtivo	Edificações habitacionais	Outras edificações	Infraestrutura
	FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: requisitos do controle da qualidade na fábrica		Item: fabricação
MANUAL DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA			
Responsável pelas informações:		E-mail:	Telefone:
CONTROLE DA QUALIDADE NA FÁBRICA			
PRODUTO FABRICADO			
Realiza controle da qualidade na produção dos componentes e elementos ou sistemas por variáveis		SIM	NÃO
Realiza controle de qualidade na produção de componentes, elementos e sistemas por atributos		SIM	NÃO
Executa controle da qualidade por meio de gráfico de controle		SIM	NÃO
CONTROLE DA QUALIDADE NA FÁBRICA			
Realiza controle de qualidade dos insumos na recepção por meio de amostragem estabelecida em normas técnicas		SIM	NÃO
Adquire materiais/insumos de empresas que possuem avaliação da conformidade no SIMAC/PBQP-h		SIM	NÃO
Adquire materiais/insumos que possuem avaliação da conformidade no SBAC/Inmetro		SIM	NÃO
Seu produto possui outro selo de qualidade		SIM: QUAL?	NÃO

Quadro 17 (checklist): Informações sobre o sistema de gestão da qualidade da contratada referente à conformidade do processo na fábrica

MANUAL DE INDUSTRIALIZADA		
Tipo de sistema construtivo	Edificações habitacionais	Infraestrutura
	FICHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES: requisitos do sistema de gestão da qualidade da contratada (processo)	
Responsável pelas informações:	E-mail:	Telefone:
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE		
PRODUTO FABRICADO		
A contratada possui certificado de sistema de gestão da qualidade de tipo ISO 9001	SIM	NÃO
Prática coleta de dados referentes a indicadores de desempenho no processo	SIM	NÃO
Coleta e registra dados de redução dos acidentes	SIM	NÃO
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE		
Coleta e registra dados de melhoria da qualidade de fornecedores de materiais	SIM	NÃO
Coleta e registra dados da satisfação dos clientes	SIM	NÃO
Coleta e registra dados de atraso em cronograma físico	SIM	NÃO
Coleta e registra dados da produção de entulho na fábrica	SIM	NÃO
Coleta e registra dados para redução de retrabalho na execução dos componentes ou elementos na fábrica	SIM	NÃO

5.5 Obrigatoriedade de cumprimento de prazos e medição na fábrica

Uma obra sem planejamento “termina quando acaba”, ou seja, não existe controle sobre as atividades durante a execução e como consequência teremos uma total falta de previsibilidade e muito provavelmente, desperdícios e retrabalhos que significam tempo e custos adicionais que irão impactar negativamente no resultado da obra. Ter um planejamento físico-financeiro significa pensar antecipadamente nas atividades da obra, buscando o melhor resultado, e quando o planejamento é visitado e atualizado com frequência, torna-se uma importante ferramenta de gestão dos trabalhos de execução, com grandes benefícios.

Uma empresa se tornará mais competitiva com a implantação de novos equipamentos junto a uma organização gerencial moderna que representa o seu modelo de controle de recursos sem comprometer a qualidade dos seus produtos, ou seja, o planejamento. Dessa forma, devem

ser planejadas as diversas etapas ou atividades no processo de produção para que não haja imprevistos.

Como exemplo, tomando-se como base as construções em aço, tem-se, na sua ordem natural de precedência, o projeto (configuração estrutural, dimensionamento dos elementos) e o detalhamento (desenho de fabricação, listas de material, diagrama de montagem), a fabricação, envolvendo: a) Suprimento (perfis, chapas, parafusos, eletrodos, conectores, tintas); b) Preparação (procedimentos, gabaritos); c) Fabricação (cortes, furações, dobras, soldas); d) Jateamento (Limpeza mecânica ou jateamento); e) Pintura (aplicação de demãos de tinta dentro das especificações) e f) Montagem, envolvendo o transporte (tipo de transporte, gabaritos, arrumação da carga, licenças, seguros) e a montagem (canteiro, equipamentos, içamento, segurança). Cada uma das atividades quase sempre ainda pode ser desdobrada em muitas outras etapas, mas devemos tomar o cuidado com o nível de detalhamento escolhido para não ser detalhista demais perdendo o foco do objetivo do planejamento que é uma ferramenta de controle para atingir os resultados esperados para a obra.

A contratada deve cumprir os prazos estipulados e o tipo de medição estipulado em contrato para o produto, sendo que já no planejamento prévio assinará um termo de obrigatoriedade de cumprimento de prazo, com estipulação de multas no caso do descumprimento. A contratante, por sua vez, deverá cumprir com todas as suas responsabilidades, conforme estipulado em contrato com a contratada. No Quadro 18, é apresentado um modelo que pode ser utilizado para o termo de responsabilidade do cumprimento de prazo.

Quadro 18: Termos de responsabilidade do cumprimento de prazo conforme estipulado em contrato para produção dos componentes e elementos industrializados

<p>CARIMBO com CNPJ da Empresa</p> <p>NOME DA EMPRESA:</p> <p>Endereço: _____; telefone: _____; e-mail:</p> <p>DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DE CUMPRIMENTO DE PRAZO CONFORME ESTIPULADO EM CONTRATO PARA A PRODUÇÃO DOS COMPONENTES OU ELEMENTOS CONSTRUTIVOS</p> <p>A empresa X, situada, cadastrada no Cadastro Nacional Pessoas Jurídicas nº..., Inscrição Estadual nº..., representada neste ato por seu .., portador RG nº. ..e CPF nº..., vem por meio desta declarar, sob sua responsabilidade exclusiva, o compromisso de cumprimento de prazo conforme estipulado em contrato para a produção dos componentes ou elementos construtivos.</p> <p>Sem mais e por ser expressão da verdade subscrevo. Local, Nome e Função (assinatura com firma reconhecida em cartório)</p>
--

6. Montagem

Planejar a montagem de uma obra com componentes ou elementos pré-fabricados ou industrializados é uma atividade essencial e sempre que possível deve anteceder a própria elaboração do projeto visando a sua otimização.

Tomando-se como exemplo a montagem de uma laje com elementos de aço, esta deve ser planejada previamente com o estudo de paginação, que pode ser feito pelo fornecedor do elemento ou pelo montador e deve incluir:

- Comprimento de cada elemento/painel em cada tramo.
- Direção das ondas ou nervuras em relação às vigas.
- Posição de início e fim das folhas do elemento com os arremates e vedações necessárias.
- Posição e dimensões dos recortes nos pilares e interferências.
- Posição de aberturas e armaduras de reforço.

Em relação às condições do terreno em que um determinado elemento industrializado será montado, é necessária sua análise, parte determinante para a sua viabilidade; dessa forma, as condições em que a mesma ocorrerá devem ser também consideradas como dados de entrada de projeto.

O planejamento da montagem é, antes de tudo, uma ação que visa prevenir situações que possam afetar a segurança dos envolvidos, a integridade do elemento ou estrutura industrializada e o cronograma proposto. A qualificação dos profissionais envolvidos na montagem, considerando principalmente a experiência, é pré-requisito para o seu planejamento.

No processo de planejamento da montagem é importante reconhecer a necessidade de se ter um plano de içamento, ou plano de *rigging*, que define tecnicamente as operações realizadas com equipamentos de transporte verticais móveis, como guias e guindastes. Esse planejamento aumenta a segurança, reduz riscos humanos e aos equipamentos e otimiza o uso de acessórios.

Esse planejamento envolve:

- As condições de acesso tanto dos veículos que transportam os componentes e elementos quanto dos equipamentos que serão utilizados durante a montagem. A sequência de montagem dependerá dos portões de entrada e do layout a ser estabelecido no canteiro. Usualmente, as condições de acesso e obrigações são de responsabilidade do contratante e são previstas em contrato. Acessos adequados (firmes, nivelados e adequadamente compactados) são fundamentais, pois podem interferir na integridade dos elementos pré-fabricados, podendo aparecer fissuras decorrentes de torção e deslocamentos devido a carregamentos não previstos em projeto; além disso, podem danificar veículos de transporte e eficiência na movimentação de guindastes e a segurança.
- A identificação de obstáculos e riscos potenciais. Para isso, o local da obra deve ser inspecionado visando identificar obstáculos que possam interferir na mobilidade dos equipamentos de montagem. Esses obstáculos podem ser a rede de energia elétrica, galhos de árvores, construções na divisa que requerem cuidados especiais e edificações muito antigas vizinhas ao local da obra. Há também a possibilidade de cuidados especiais serem requeridos se o canteiro estiver próximo a aeroportos, hospitais etc. Além disso, os princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores, e os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho na utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, na etapa de montagem devem ser observados de acordo com a NR 12 (MTE, 2013).

- A avaliação de limitações pelo tamanho e peso dos elementos. A segurança e a eficiência de montagem são os principais aspectos a serem levados em consideração. A adequabilidade dos equipamentos em relação a esses parâmetros é determinante, sendo uma das principais razões pelas quais as condições de logística devem estar presentes desde a fase de projeto. É de extrema importância que as informações a respeito dos elementos estruturais estejam disponíveis no canteiro de obra.

- A definição dos equipamentos, na qual a partir das etapas anteriores, devem ser definidos os prováveis locais onde os equipamentos serão mobilizados. Com base nessa locação, peso e tamanho dos elementos serão definidos os equipamentos. Considerações específicas sobre o equipamento proposto definirão o raio de trabalho, o centro de gravidade e os ângulos a serem adotados. Além dos equipamentos propriamente ditos como guias, guindastes e outros, os equipamentos auxiliares como balancins, cabos de aço e demais devem ser previstos.

- Elaboração do Plano de Montagem, na qual devem ser considerados os aspectos contratuais, incluindo requisitos específicos do cliente quando aplicáveis. Devem ser definidas as responsabilidades, inclusive na interface entre o contratante e os demais envolvidos, bem como a(s) equipe(s) de montagem qualificada.

- O número de equipes de montagem. Esse número pode variar de acordo com o cronograma estabelecido em contrato.

- O cronograma, analisado criticamente, incluindo suas interfaces com produção e demais atividades que possam estar ocorrendo simultaneamente. O cronograma deve ser considerado para a definição da sequência de montagem, na qual são previstos procedimentos a fim de manter o elemento ou a estrutura estável e limitar a inserção de cargas excêntricas. O responsável pela elaboração do plano deverá também avaliar como e quando as ligações serão completadas, condições climáticas e acessos à execução das mesmas. A relação de peças estabelecidas conforme essa sequência deverá estar disponível junto à produção e expedição do fornecedor dos elementos pré-fabricados. A quantidade de cargas diárias deve estar compatível com o cronograma e com as frentes de trabalho e/ou áreas de estocagem a fim de evitar atrasos de cronograma e congestionamento no canteiro.

- A verificação do projeto, seu detalhamento completo e compreensão, para dirimir possíveis dúvidas junto ao projetista. Devem ser verificadas as ligações previstas provisórias e definitivas. Também deve ser

avaliado o grau de complexidade das mesmas e a disponibilidade e o prazo em que devem estar disponíveis os materiais e equipamentos para sua execução. Deve ser previsto o planejamento do “grouteamento” e concretagens no local quando aplicáveis, como de concreto de solidarização de ligações e/ou de capa estrutural.

- Considerações a respeito de Segurança. Para isso devem ser verificados no projeto de montagem os aspectos relevantes com relação à estabilidade do elemento ou da estrutura, ligações provisórias e outras orientações ou procedimentos indicados pelo projetista da estrutura. Devem-se levar em consideração as normas regulamentares aplicáveis como a NR-18 e NR-7.

- Interfaces com a locação e/ou condições de elementos moldados *in loco* com a montagem subsequente dos elementos industrializados. Deve-se verificar a locação das fundações independente de terem sido executadas pela própria empresa que está fornecendo os elementos ou a estrutura.

- Interfaces com obras híbridas ou mistas. Dependendo do projeto da obra em questão elementos pré-fabricados ou industrializados de concreto poderão estar sendo montados sobre elementos estruturais já moldados no local ou estruturas metálicas. É recomendável a verificação da estrutura existente anterior à montagem, a fim de evitar que possíveis desnivelamentos, desaprumos e alinhamentos possam afetar a montagem subsequente.

A análise de desempenho da etapa de montagem deve levar em consideração as verificações da integridade dos elementos recebidos no canteiro de obras, que podem, desde a inspeção final das fábricas, terem sofrido eventuais danos durante o transporte a fim de que se possa decidir pela montagem ou identificar possíveis correções posteriores. Estando íntegros os elementos, deve ser verificado também o atendimento das tolerâncias de montagem e de fabricação especificado em Projeto. Atenção especial deve ser dada para o caso dos pilares, pois uma vez atendidas as tolerâncias para esses elementos, reduzem-se as possibilidades de problemas de montagens para os elementos posteriores (vigas e lajes).

6.1 Método de montagem

É prerrogativa da Montadora a escolha do processo e da sequência de montagem. Os preços apresentados para a execução da Montagem sempre serão resultantes das premissas adotadas pela Montadora. Se o

Contratante desejar determinar o método de Montagem de uma ou mais peças específicas do componente ou elemento, ele deverá especificar esse método antes da apresentação das propostas de Montagem.

6.2 Condições do canteiro

A Construtora responsável pela obra ou empreendimento será responsável por proporcionar à Montadora um canteiro de obras de acordo com as seguintes condições:

- Vias adequadas de acesso ao canteiro e dentro dele, para que a descarga e a movimentação dos componentes e elementos possam ser feitas com segurança, como também o livre trânsito de guindastes, caminhões e outros equipamentos.
- Terreno firme, adequadamente nivelado, drenado e suficientemente amplo de forma a atender a operação dos equipamentos de montagem.
- Terreno livre de interferências aéreas ou na superfície, como: cabos de energia elétrica, linhas telefônicas ou outras condições.
- Espaço adequado para armazenagem, de modo que os componentes e elementos descarregados não ocupem todo o espaço disponível no canteiro, permitindo que a montadora opere com a maior agilidade possível.

A Construtora será responsável pela locação exata de alinhamentos e precisão topográfica das bases no canteiro, devendo fornecer à montadora uma planta completa com todas as informações necessárias à montagem. A Construtora deverá ainda estabelecer para uso do montador as linhas de referência dos eixos e as referências de nível para a elevação no posicionamento dos itens ajustáveis, se existirem.

A adequação desses itens deverá ser verificada pela montadora em visita prévia ao local da obra. Caso as condições existentes no canteiro na ocasião da visita diverjam das anteriormente estabelecidas, o fato deverá ser comunicado à fiscalização para que o seu cumprimento seja providenciado antes da mobilização da montadora.

6.3 Proteção contra acidentes

O montador deverá providenciar plataformas, cabos-guia, corrimãos, escadas de acesso, passarelas e outras proteções contra acidentes

e quedas para seu pessoal de montagem, como exigido pela legislação e pelas normas de segurança do trabalho. É permitido ao montador remover os dispositivos de segurança das áreas onde os trabalhos de montagem estejam concluídos.

O fornecimento e a instalação de proteção contra acidentes para utilização de terceiros que não estejam diretamente envolvidos na montagem devem ser de responsabilidade da construtora.

Quando a montagem de um componente ou elemento estiver terminada e a proteção contra acidentes fornecida pela montadora for deixada voluntariamente na área para o uso de terceiros, a construtora deverá:

- Assumir a responsabilidade da manutenção dessa proteção contra acidentes;
- Indenizar o montador por danos que possam ocorrer devido ao seu uso por outras empresas;
- Assegurar que essa proteção cumpra com os regulamentos de segurança quando for utilizada por outras empresas;
- Remover essa proteção quando não mais for necessária e devolver à montadora nas mesmas condições em que foi recebida.

A presença de materiais, equipamentos e pessoal de terceiros para execução de outros serviços simultâneos não deverá ser permitida até que a montagem do componente ou elemento ou parte dele esteja concluída pelo montador e aceita pela Fiscalização. Elementos cujo cronograma de construção requeira a simultaneidade de serviços de terceiros com a montagem, exigirão um rigoroso planejamento de forma a garantir as condições de segurança para todos os envolvidos.

6.4 Interfaces e alterações nos sistemas

As interfaces dos sistemas industrializados com outros elementos da edificação devem ser previstas e antecipadas, minimizando conflitos. Em caso de necessidade de interferência em qualquer subsistema, seja o industrializado ou outro, visando permitir a execução de serviços necessários, empreiteiras e projetistas devem ser informados, e compatibilizações de soluções, exercitadas.

Dessa forma, deve ser vetado ao fabricante e ao montador cortar, furar, ou alterar de qualquer outra forma os componentes ou elementos para atender às necessidades de outros serviços e empreiteiras, assim como deve

ser vetado à construtora ou outro empreiteiro fazer recortes, aberturas ou alterações em quaisquer peças sem autorização do projetista responsável.

Quando ocorrer conflitos ou necessidade de modificações for especificado, a fiscalização e o projetista deverão fornecer, num prazo adequado, a documentação com todas as informações necessárias, como detalhes, materiais, dimensões, posição, entre outros, de forma a não atrasar os trabalhos de fabricação e de montagem.

Os custos de eventuais alterações deverão ser minimizados pela adoção de métodos eficientes e econômicos que serão assumidos conforme especificado nos documentos contratuais.

6.5 Manuseio e armazenagem

A montadora deverá tomar precauções adequadas no manuseio e na armazenagem dos componentes e elementos durante as operações de montagem de forma a evitar deformações, danos à pintura (quando for o caso) ou o acúmulo de sujeira.

A montadora será responsável pela correção de eventuais danos aos componentes e elementos e à pintura que possam ter ocorrido, ou pela remoção de sujeira que possa ter-se acumulado durante a armazenagem e a montagem do elemento no canteiro. A montadora não será responsável pela remoção de resíduos resultantes das atividades da construtora ou de terceiros.

Após o término da montagem o montador deverá remover todos os seus escoramentos provisórios, resíduos e construções temporárias.

7. Monitoramento da obra para sistemas construtivos

O plano de monitoramento tem por objetivo atestar a conformidade dos componentes e elementos empregados e dos serviços executados na obra, incluindo a montagem, com a documentação apresentada.

Sendo assim, a conformidade deve ser atestada a partir da análise do projeto, da análise da qualidade da fabricação dos componentes e elementos e da qualidade na montagem, o que requer acompanhamento e controle do processo, com apresentação de resultados de ensaios tecnológicos pela contratada. O resultado deve ser apresentado no formato de relatório de cada etapa, seja da fabricação ou da montagem. Será emitido um relatório final conclusivo, atestando o Desempenho Completo do Sistema Construtivo industrializado.

A verificação de cada componente/elemento deve ser realizada de acordo com o projeto apresentado, as especificações técnicas e a análise da documentação técnica aprovada, indicando medidas corretivas adequadas para cada situação, caso sejam encontrados problemas/diferenças em algum item verificado.

O monitoramento prevê duas formas de verificação da qualidade e conformidade:

7.1 Durante a fabricação/execução

Na etapa de fabricação/execução e até a entrega de cada componente, elemento ou sistema construtivo (elementos de estrutura, vedações e outros), a verificação deve ocorrer por meio de fichas de acompanhamento, sendo realizada e assinada pelo responsável técnico do empreendimento.

Cada ocorrência de uma não conformidade com relação aos projetos e/ou especificações técnicas deverá ter uma ação corretiva proposta e executada antes da finalização do serviço.

A contratante deve estabelecer, para o monitoramento, um período; por exemplo, no término de cada 25% das unidades fabricadas/executadas deve ser emitido um relatório que resume, por meio de gráficos, todas as informações coletadas, monitoradas e analisadas.

7.2 Após a montagem e conclusão da obra

A empresa contratada, por meio de uma terceira contratada (independente), conforme termo de responsabilidade assinado e entregue à contratante no planejamento prévio (Quadro 8), deve monitorar a edificação, por meio de Registro do Relatório de Monitoramento da Obra. Esse monitoramento deve abranger um período predeterminado, sendo estabelecida também a frequência da elaboração e apresentação de relatórios de ocorrências de eventuais patologias identificadas no sistema construtivo, gerando assim relatórios periódicos por tipo de ocorrência.

Na hipótese de ocorrências identificadas, são adotados procedimentos de reparação e ajuste de todos os itens referentes a essas ocorrências, até se chegar à perfeita e completa sintonia entre materiais aplicados, elementos e suas interfaces.

O relatório final deve apresentar a síntese dos problemas apontados nos relatórios parciais, as soluções propostas e os eventuais aprimoramentos

executados ou considerados necessários para a melhoria do desempenho do sistema construtivo.

7.3 Plano de monitoramento

No plano de monitoramento, são consideradas a sua periodicidade e a forma de acompanhamento ou monitoramento, que devem ser feitas de acordo as especificidades de cada sistema.

Para o caso da utilização de um ou mais sistemas adotados, podendo inclusive ser de sistemas industrializados e convencionais é de fundamental importância o monitoramento das interfaces entre esses sistemas, de acordo com as recomendações de projeto e normas técnicas aplicáveis, bem como estabelecer os requisitos de controle, para o sistema convencional também presente, na solução adotada.

7.4 Aceite da obra

O processo de aceite da obra requer que se certifique que todo o escopo foi cumprido de acordo com o contrato estabelecido. É importante que seja feita a avaliação do aspecto visual dos componentes e elementos, seu acabamento, sua regularidade dimensional, suas ligações e demais serviços complementares.

Em caso de eventuais dúvidas relativas à interface com outros sistemas, o contratante pode e deve solicitar assistência por parte da empresa de sistemas pré-fabricados ou industrializados.

Deve-se elaborar um *checklist* contendo:

- Termos do contrato;
- Documentação (ART);
- Notas Fiscais e Guias do INSS e ISS;
- Garantia;
- Manual do proprietário e de manutenção;
- As Built (projeto final – “como construído”).

Observa-se que as garantias estarão definidas no Manual do Proprietário em função do escopo do contrato e projeto (Manual Descritivo e Garantias dependem da solução e tipologias adotadas para cada empreendimento).

8. Sistemas construtivos industrializados

Os principais sistemas industrializados disponíveis no Brasil são apresentados a seguir, incluindo o histórico e o estágio atual da tecnologia, as tipologias e o uso.

8.1 Sistemas construtivos industrializados em aço

Apesar de ainda serem tratadas como um sistema construtivo novo, as estruturas de aço são centenárias e muito difundidas em diversos países, principalmente nos Estados Unidos e na Europa.

A construção metálica teve início na Era do Ferro Fundido, que durou até 1850, passando pela Era do Ferro Forjado, por volta de 1890, até chegar à Era do Aço, sempre evoluindo em resistência mecânica e outras características, como a ductibilidade, soldabilidade e resistência à corrosão.

Uma referência bastante conhecida e que remete aos primórdios da história da construção em aço é a ponte sobre o rio Severn, na Inglaterra. Construída em 1779, a Ironbridge tem mais de dois séculos de existência e ainda está em uso como passarela, mostrando a durabilidade de sua estrutura metálica (Figura 10).



Figura 10: Ironbridge (crédito: Tony Hisgett - Birmingham, UK)

Em 1857, foi construída a ponte sobre o rio Paraíba do Sul, na cidade de mesmo nome, que se acredita ser a ponte mais antiga do Brasil. Com vãos de 30 m e em treliça arqueada, a estrutura tem 6 m de largura (Figura 11).

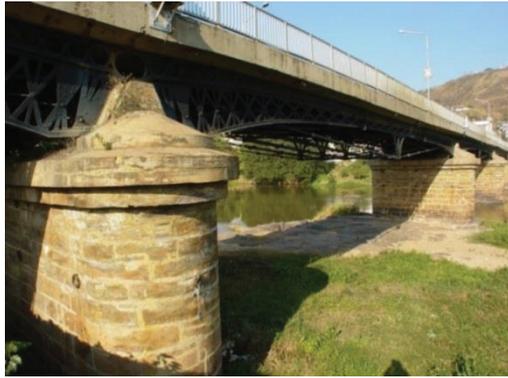


Figura 11: Ponte Paraíba do Sul (crédito: Instituto Estadual do Patrimônio Cultural)

Considerado o primeiro edifício de múltiplos andares estruturado em aço, o Home Insurance Building, em Chicago, nos EUA, foi construído em 1885 (Figura 12). Ele apresentou um sistema estrutural pioneiro das modernas estruturas de aço. Pela primeira vez, transferiu-se o peso das paredes para vigamentos de ferro e respectivos pilares, usando-se a alvenaria apenas para a vedação.



Figura 12: Home Insurance Building (crédito: Chicago Architectural Photographing Company)

No Brasil, alguns edifícios marcaram a nossa história, como o edifício garagem América, em São Paulo, com 16 pavimentos, construído em 1957. Outros edifícios como o Avenida Central, construído em 1961 no

Rio de Janeiro, com 34 andares, e o Escritório Central da CSN, de 1966, com 17 andares e o primeiro em perfis soldados também fizeram história.

Os emblemáticos edifícios da Esplanada dos Ministérios e o edifício do Congresso Nacional, construídos em 1960, também são todos estruturados em aço (Figura 13).

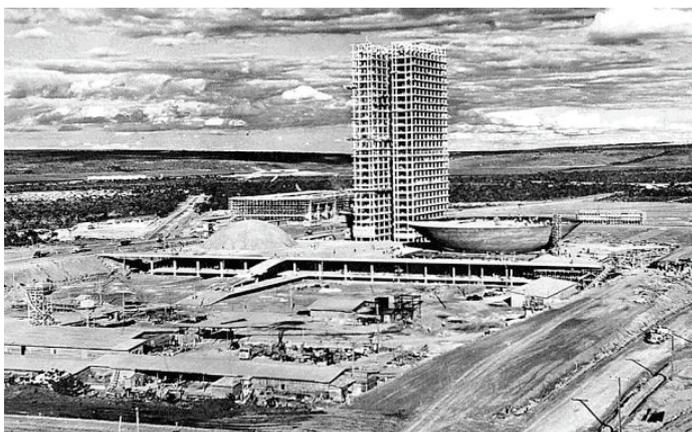


Figura 13: Anexo do Congresso Nacional (crédito: Folha de São Paulo)

Hoje, a construção industrializada em aço está sendo cada vez mais utilizada no Brasil, seja em pequenas ou grandes estruturas, graças aos avanços tecnológicos dos últimos anos, trazendo ao mercado novos produtos, devido às novas necessidades da construção moderna (Figura 14 e 15).



Figura 14: Centro Empresarial Senado (crédito: acervo WTorre)

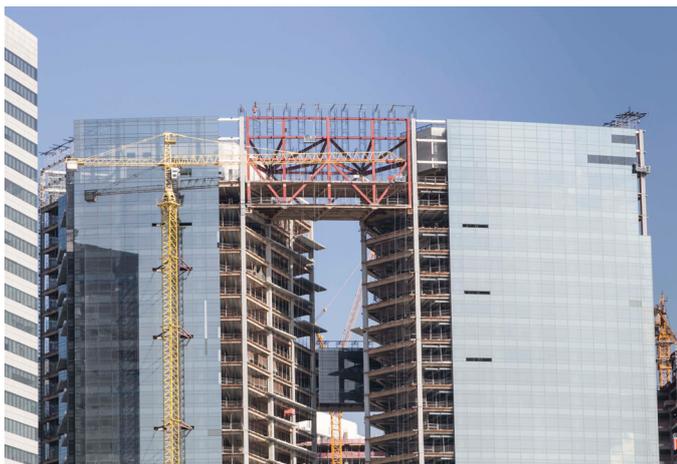


Figura 15: W Torre Morumbi (Foto: Marcelo Scandaroli)

8.1.1 Características da construção em aço

As estruturas em aço são empregadas em vários tipos de empreendimento, cada qual com as suas características, sendo classificadas em: estruturas para a construção civil, tais como edificações comerciais, residenciais e de interesse social, estruturas de coberturas, estádios esportivos (Figura 16), estações e terminais rodoviários, ferroviários e aeroportuários, mezaninos de lojas, centros logísticos e de distribuição, edifícios culturais e institucionais, estruturas para a indústria (galpões sem e com ponte rolante, estruturas de suporte de equipamentos: pipe-rack, usinas, mezaninos), estruturas de obras viárias (pontes e viadutos rodoviários e ferroviários, passarelas de pedestre). Também são empregadas em pisos, coberturas, fachadas, vedações verticais e horizontais.



Figura 16: Grandes vãos – Arena Castelão (Foto: Leonardo Finotti)

Por ser um material versátil e flexível, o aço apresenta algumas características particulares. Devido a sua alta resistência mecânica, o uso de estruturas de aço cria melhores condições para se vencer grandes vãos, permitindo a concepção de projetos arquitetônicos arrojados. Além disso, por causa das menores dimensões das peças e menor peso próprio, as estruturas em aço reduzem a carga nas fundações e conferem à construção em aço um aumento da área útil construída, aproveitando-se melhor o espaço interno. Por serem mais compactas e leves, as peças de aço fazem que o transporte de materiais para a obra seja reduzido. O uso desse sistema construtivo também pode reduzir até 40% do tempo de execução de um projeto, por permitir o acúmulo de etapas. Isto é, enquanto as peças estão sendo fabricadas na indústria, a fundação está sendo feita no canteiro. Como essa fabricação obedece a rigorosas especificações dimensionais, na etapa de montagem a estrutura estará nivelada e aprumada, o que serve de guia para as demais etapas da obra, reduzindo-se o desperdício de materiais.

Na construção em aço, como ocorre com toda solução estrutural, o sucesso da construção está atrelado a um projeto bem compatibilizado. O sistema construtivo deve ser definido no projeto arquitetônico, para que os benefícios advindos da construção industrializada sejam apreciados. Para se obter o melhor desempenho, os detalhes de ligações das construções em aço devem ser considerados, assim como as interfaces com as vedações. As normas técnicas também devem ser respeitadas para que não se tenha surpresas durante a obra.

A concepção como um todo deve privilegiar a otimização dos materiais, o detalhamento das ligações mais fáceis para a fabricação e montagem, além de contemplar uma visão da montagem em campo que maximize a simplicidade, a rapidez e a segurança.

O aço é um material que permite adaptações e ampliações sem que haja redução significativa do espaço interno e aumento da carga nas fundações. Também é 100% reciclável, e as estruturas em desuso podem ser reutilizadas na fabricação de novas, seja pela montagem e desmontagem, ou pela fundição para a fabricação de novas peças.

Na construção industrializada, deve-se examinar todo o processo de escolha do sistema estrutural, que envolverá uma série de variáveis ligadas à estrutura e à própria obra, como os custos diretos do empreendimento, relação tempo \times custo, peso da estrutura \times valor da fundação – no caso da construção em aço – e a redução de resíduos provenientes da obra.

Dessa forma, é possível avaliar o empreendimento como um todo e escolher o melhor sistema estrutural, de acordo com as suas características. O CBCA disponibiliza em seu site o manual *Viabilidade Econômica*, que auxilia o profissional a fazer o cálculo de viabilidade do empreendimento estruturado em aço como um todo. Alguns fatores que devem ser considerados nesse cálculo são o custo da fundação, que nesse sistema é reduzido, o custo direto com os profissionais alocados para a obra, a redução do prazo de entrega da obra, entre outros.

O fluxo de produção das estruturas de aço, do projeto à obra, segue o esquema da Figura 17:

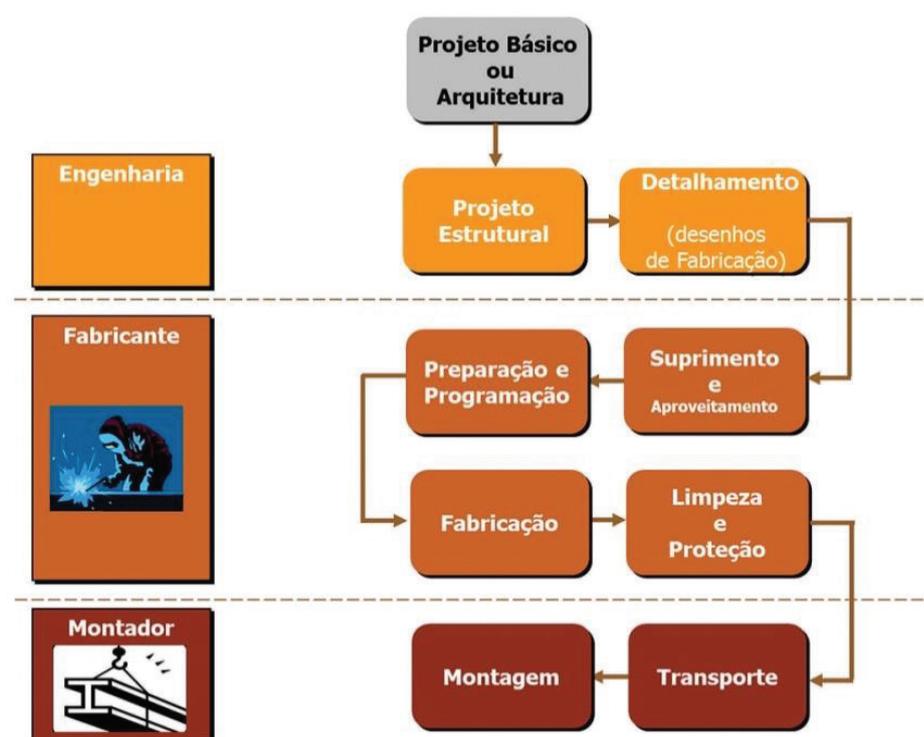


Figura 17: Fluxo de produção de estruturas de aço (Imagem: Fernando Pinho)

8.1.1.1 Ligações

Na construção em aço deve-se atentar para o que chamamos de ligações (Figura 18), que são todos os detalhes construtivos que unem as partes das estruturas entre si ou com elementos externos a elas, como as fundações. No caso das estruturas metálicas, essas uniões compõem-se de:

- Elementos de ligação – enrijecedores, placa de base, cantoneiras, chapas de gusset, talas de alma e de mesa etc. Esses elementos permitem ou facilitam a transmissão dos esforços.
- Meios de ligação – soldas, parafusos e barras roscadas, como os chumbadores. São elementos que unem as partes da estrutura para formar a ligação.

O bom desempenho de uma ligação depende diretamente de dimensionamento e detalhamento precisos, capazes de garantir que as resistências correspondentes aos estados-limites sejam maiores que as solicitações de cálculo e que as premissas de projeto possam ser devidamente atendidas na ligação real.

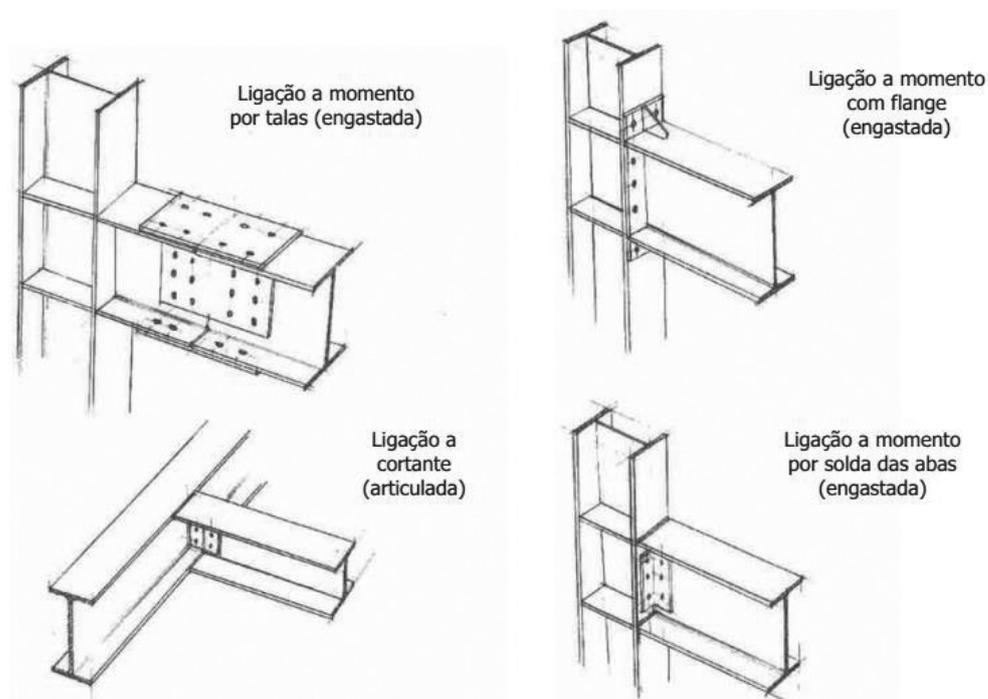


Figura 18: Exemplos de ligação

As ligações aparafusadas (Figura 19) são amplamente utilizadas na construção em aço por serem de fácil execução e controle. Esse tipo de ligação permite ainda que a estrutura seja desmontada após determinado uso. Isso faz que a construção em aço seja versátil, adaptando-se a diferentes projetos. No Rio de Janeiro, por exemplo, as estruturas do Complexo Esportivo de Handebol, que atenderá às demandas dos Jogos Olímpicos de 2016, serão desmontadas para posteriormente serem remontadas na

forma de escolas. Uma nova forma de economia, aproveitamento de material e sustentabilidade.

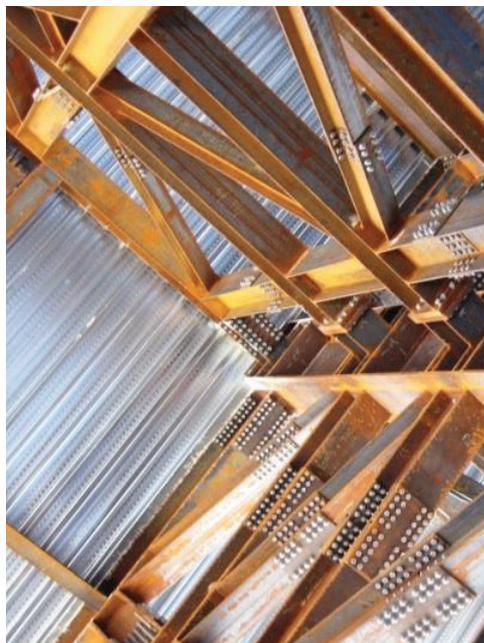


Figura 19: Ligações aparafusadas (Foto: Marcelo Micali Ros)

8.1.1.2 Vedações

Outro fator importante na construção em aço, as vedações devem estar em harmonia com a estrutura e com os demais elementos que formam a edificação. É preciso haver a compatibilização de interfaces entre a estrutura metálica e os sistemas complementares, como as vedações e instalações.

Na hora de selecionar a melhor solução de fechamento industrializado, é necessário que alguns critérios sejam adotados pelo projetista, especialmente considerando-se as prescrições da ABNT NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho.

Como se trata de um sistema industrializado, todas as interfaces precisam ser planejadas na fase de projeto e não no canteiro de obras. O ideal é que o projeto arquitetônico seja feito em consonância com o estrutural. Recomenda-se a presença do projetista de estruturas no desenvolvimento de todos os demais projetos que compõem o empreendimento. Planejamento é a palavra-chave para o sucesso desse tipo de sistema construtivo.

As vedações verticais fazem parte do sistema responsável pela estética e estanqueidade das edificações. A escolha do tipo de vedação precisa ser cuidadosamente avaliada e precedida do estudo das características de cada sistema. É importante ressaltar que a estrutura metálica é perfeitamente compatível com qualquer tipo de material de fechamento, sejam eles convencionais ou pré-fabricados, como alvenaria, painéis pré-fabricados de concreto, painéis metálicos termoisolantes, *light steel framing*, entre outros. Os exemplos a seguir são alguns dos sistemas de vedação estruturados em aço, perfeitamente compatíveis com as estruturas metálicas:

- ***Light steel framing* (LSF)** – Sistema construtivo industrializado caracterizado por um esqueleto estrutural leve composto por perfis de aço galvanizado. Complementados por placas cimentícias, os *frames* de aço podem configurar uma opção de fechamento externo para edifícios, sejam eles novos ou em processo de *retrofit*. Precisão dimensional, velocidade de execução, baixo peso próprio do sistema e menor perda de material são algumas vantagens associadas a essa tecnologia.

- **Painéis arquitetônicos de fachada** – Com uso extensivo na Europa e nos Estados Unidos, estão presentes no Brasil desde o início dos anos 1970. Nos últimos anos, avanços notáveis foram promovidos nesses produtos, como a redução do peso dos painéis e novas opções de acabamento. Fixados com o apoio de perfis metálicos, os painéis podem sair de fábrica com revestimento de mármore ou granito, por exemplo.

- **Painéis metálicos termoisolantes** – São bastante empregados em obras industriais, especialmente para compor ambientes que demandam temperaturas controladas. Os painéis-sanduíche normalmente são confeccionados em aço (zincado pré-pintado, anodizado ou inox), alumínio ou chapas de polímero perfiladas a quente com recheio isolante. A forma de instalação é semelhante à dos painéis arquitetônicos e emprega perfis ou encaixes tipo macho e fêmea metálicos.

O Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) disponibiliza gratuitamente em seu site diversos manuais que tratam de diferentes aspectos da construção em aço.

8.1.2 Construção em aço e seus produtos – tipologias

8.1.2.1 Aços estruturais

O aço é produzido em uma grande variedade de tipos e formas, cada qual atendendo eficientemente a uma ou mais aplicações. Isso decorre da necessidade de contínua adequação do produto às exigências de aplicações específicas que vão surgindo no mercado, seja pelo controle da composição química, seja pela garantia de propriedades específicas ou, ainda, na forma final (chapas, perfis, tubos, barras etc.).

A utilização do aço na construção faz que os impactos da obra, tanto urbanos como ambientais, sejam reduzidos, principalmente devido ao menor volume de entrada de materiais e saída de resíduos, o que contribui para a sustentabilidade do empreendimento – menor quantidade de circulação de caminhões para a obra e de resíduos a serem descartados.

Os aços mais utilizados na construção civil são os estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização nesse setor (Figura 20). Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos.

ABNT NBR 7007			ABNT NBR 6648			ABNT NBR 6649 / ABNT NBR 6650		
Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral			Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural			Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono para uso estrutural		
Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa
MR 250	250	400-560	CG-26	255	410	CF-26	260/260	400/410
AR 350	350	450	CG-28	275	440	CF-28	280/280	440/440
AR 350 COR	350	485				CF-30	---/300	---/490
AR 415	415	520						
ABNT NBR 5000			ABNT NBR 5004			ABNT NBR 5008		
Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica			Chapas grossas e bobinas grossas, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural		
Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	f_y MPa	f_u MPa
G-30	300	415	F-32/Q-32	310	410	CGR 400	250	380
G-35	345	450	F-35/Q-35	340	450	CGR 500 e		
G-42	415	520	Q-40	380	480	CGR 500A	370	490
G-45	450	550	Q-42	410	520			
			Q-45	450	550			
ABNT NBR 5920/ABNT NBR 5921			ABNT NBR 8261					
Chapas finas e bobinas finas (a frio/a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural			Perfil tubular, de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular ou retangular para usos estruturais					
Denominação	f_y MPa	f_u MPa	Denominação	Seção circular		Seções quadrada e retangular		
				f_y MPa	f_u MPa	f_y MPa	f_u MPa	
CFR 400	---/250	---/380	B	290	400	317	400	
CFR 500	310/370	450/490	C	317	427	345	427	

^a Para limitações de espessura, ver norma correspondente.

Figura 20: Aços especificados por Normas Brasileiras para uso estrutural - ABNT NBR 8800 2008, p.108

Os aços estruturais são fabricados através dos produtos descritos a seguir.

8.1.2.2 Chapas – grossas e finas: a quente e revestidas

- Chapa grossa: As chapas grossas têm espessura superior a 6,00 mm e são obtidas através do processo de laminação a quente. São utilizadas na fabricação de componentes estruturais como pilares e vigas para construção de pontes, edifícios, galpões e torres eólicas.
- Chapa fina: As chapas finas têm espessura superior a 0,30 mm e inferior a 6,00 mm. São subdivididas em:
 - chapa fina **a quente**: espessura final obtida pelo processo de laminação a quente. São utilizadas em perfis soldados, perfis formados a frio para a construção e indústria.
 - chapa fina **a frio**: espessura final obtida pelo processo de laminação a frio. São utilizadas em perfis e squadrias.

- chapa fina **galvanizada/zincada**: revestidas ambas as faces com zinco, pelo processo de galvanização a quente ou por eletrodeposição. É utilizada na fabricação de telhas, calhas, *steel deck* e perfis de *drywall* e *light steel frame*.

8.1.2.3 Perfis – soldados, laminados, formados a frio e tubos sem costura e com costura

Perfis soldados: perfis obtidos pela composição de chapas através de solda, com amplas possibilidades de composição e tamanhos (Figura 21).

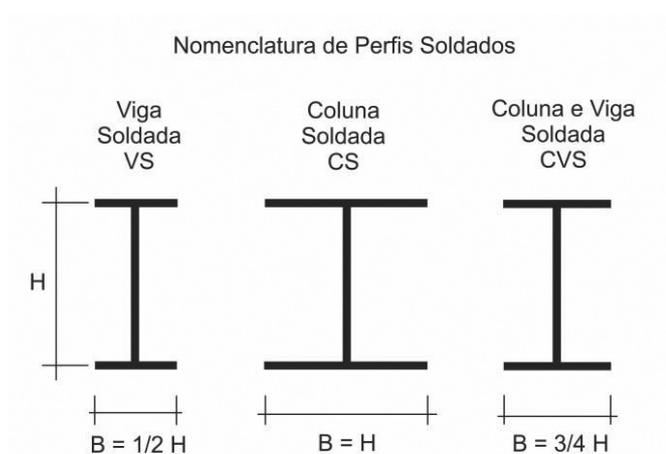


Figura 21: Exemplos de perfis soldados

Perfis laminados: produzidos através do processo de laminação a quente (Figura 22). Podem ser de abas inclinadas ou paralelas. Não possuem qualquer tipo de solda ou emenda. Devem corresponder às exigências descritas na Norma ABNT NBR 15980:2011 Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias.



Figura 22: Processo de laminação; pode-se observar o esboço do perfil (Foto: associada CBCA)

Perfis formados a frio: produzido por conformação a frio de chapas em temperatura ambiente em prensa dobradeira ou perfiladeira (Figura 23). Padronizados por meio da Norma ABNT NBR 6355:2012 Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização e ABNT NBR 15253:2014 Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais.



Figura 23: Dobradeira de perfis a frio (Imagem: Sidnei Palatnik)

8.1.2.4 Tubos

8.1.2.4.1 Tubos sem costura: produzidos por laminação a quente



Figura 24: Perfis tubulares sem costura (Foto: associada CBCA)

8.1.2.4.2 Tubos com costura: produzidos através da conformação e solda de chapas

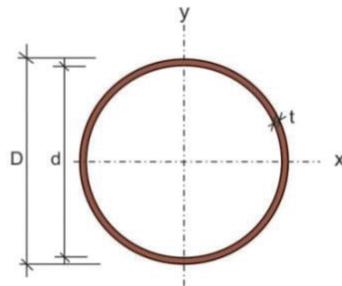


Figura 25: Exemplo de tubo com costura

8.1.2.5 Parafusos

Elementos que proporcionam a ligação entre as peças em uma estrutura.

Os principais tipos de parafuso empregados nas ligações estruturais são:

- **Parafuso comum** ou **ASTM A307**: empregados em estruturas leves e em ligações de elementos secundários ou temporários.
- **Parafuso de alta resistência** ou **ASTM A325/A490**: empregados nas ligações principais e devem ser apertados conforme especificação com equipamento específico (torquímetro).

8.1.2.6 Telhas de aço para coberturas e fechamentos

As telhas de aço têm sido cada vez mais utilizadas em coberturas e fechamentos de obras industriais, comerciais, residenciais e institucionais, bem como aeroportos e galpões. Os motivos que justificam tantas aplicações são vários. Entre eles, destacam-se o elevado desempenho e a durabilidade diretamente relacionados ao tipo de telha e ao seu revestimento, que podem ser especificados de acordo com as condições ambientais do local de implantação. A leveza das peças é outro ponto a se destacar, pois possibilita a construção de coberturas capazes de vencer grandes vãos com economia. Há ainda a flexibilidade proporcionada pela oferta de telhas com diferentes geometrias, espessuras e acabamentos. As telhas onduladas (Figura 26) apresentam vantagens em projetos nos quais a cobertura não é plana. Isso porque, em função de sua forma, permitem uma curvatura maior no sentido transversal. Já as telhas trapezoidais (Figura 27 e 28), por exemplo, são indicadas para cobrir amplos vãos e podem ser instaladas com uma inclinação menor, pois seu desenho favorece o escoamento da água.

Nos últimos anos, com o desenvolvimento tecnológico, surgiram novas possibilidades de aplicação das coberturas e fechamentos de aço. Um destaque nesse sentido são as telhas zipadas (Figura 29), fabricadas no canteiro de obra com perfiladeira especial portátil. Por dispensarem operações de transporte, essas telhas podem ser produzidas em grandes comprimentos, sem a necessidade de emendas ou de sobreposição de peças.

Para atender a diferentes linguagens arquitetônicas, há também as telhas curvas, que podem ser as calandradas, ou as multidobra. As primeiras recebem a sua curvatura ao passarem por uma calandra. O raio pode ser bastante variado a partir de um mínimo estabelecido pelo fabricante para cada espessura de chapa de aço e o aspecto superficial da telha é liso e uniforme. Já as telhas multidobra têm curvatura obtida por dobras transversais realizadas na chapa de aço. A cada nervura feita, a peça é ligeiramente arqueada e o processo permite a produção de telhas com raio variável e trechos retos. O processo de multidobragem é normalmente aplicado em telhas mais altas, entre 30 e 40 mm de altura e seu aspecto apresenta as características de nervuras transversais na chapa de aço.

O Manual Técnico *Telhas de aço*, publicado pela ABCEM em 2009, com o apoio da Finep, trata das boas práticas da qualidade em telhas de aço.

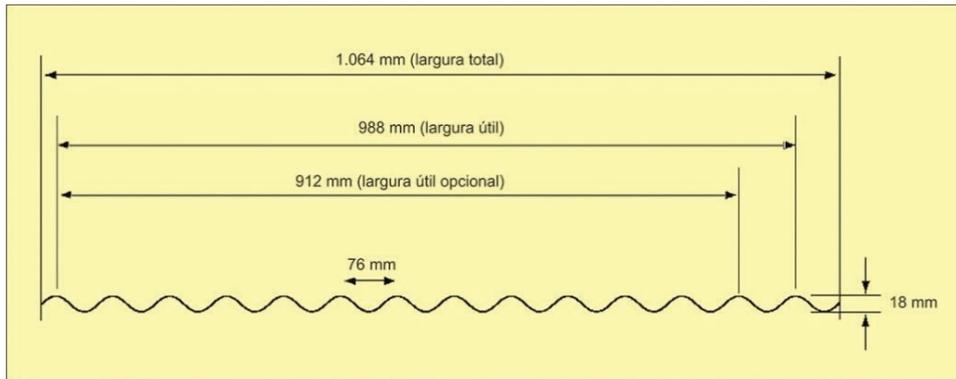


Figura 26: Exemplo de telha ondulada

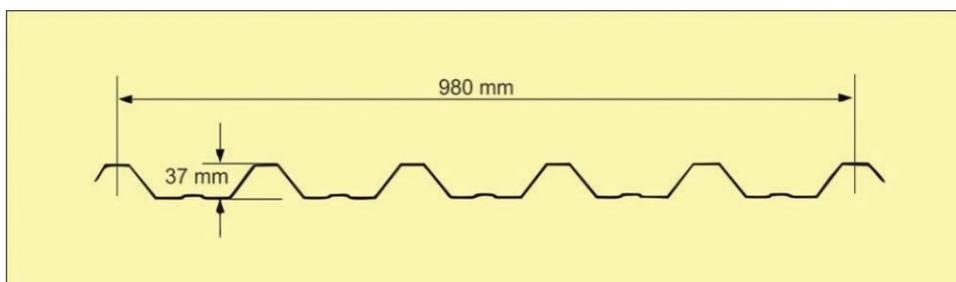


Figura 27: Exemplo de telha trapezoidal

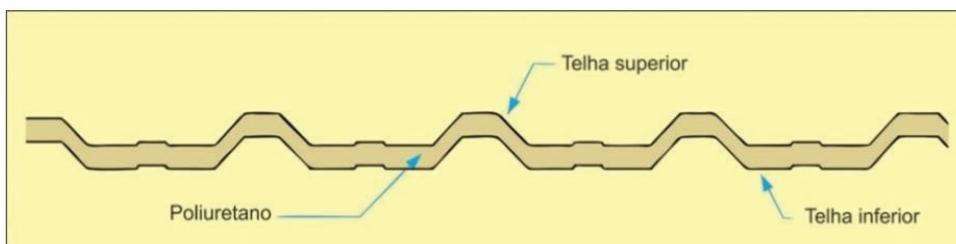


Figura 28: Exemplo de telha trapezoidal termoacústica

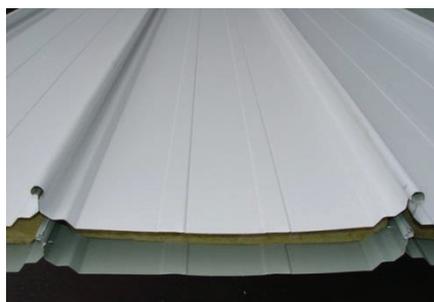


Figura 29: Telha zipada (foto: Dânica)

8.1.2.7 Steel-deck

O *steel deck* consiste na utilização de uma forma permanente de aço galvanizado, perfilada e formada a frio. Nesse sistema, o aço trabalha como forma para concreto durante a concretagem e como armadura positiva para as cargas de serviço. Para favorecer a aderência do concreto ao aço são conformadas moedas e ranhuras na chapa metálica que serve de superfície de ancoragem para o concreto.

Não necessita de escoramentos para a concretagem da laje, que pode vencer vãos de 2,0 m a 4,0 m, dependendo da sobrecarga requerida para a laje. Com isso, os andares inferiores à instalação do *steel deck* ficam livres, permitindo o trabalho no local e proporcionando rapidez na execução da obra (Figura 30).



Figura 30: Steel deck aplicado na obra (Imagem: arquivo CBCA)

8.1.2.8 Estacas metálicas

As estacas metálicas têm sido utilizadas há mais de 120 anos. No passado, sua grande aplicação era em cortinas de contenções prancheadas com madeira ou placas pré-moldadas de concreto. Devido à necessidade do mercado de reduzir as vibrações com a cravação de outros tipos de estacas e com o início da laminação de perfis estruturais, essa solução passou a ser considerada como uma solução técnica e economicamente viável. Outro fator que contribuiu para o avanço das estacas metálicas foi a grande modernização do parque de equipamentos hidráulicos e vibratórios no mercado, proporcionando obras mais rápidas, limpas e com aumento significativo da eficiência das estacas.

As estacas podem ser tubulares, feitas a partir de bobinas quentes e soldadas helicoidalmente. Normalmente, são utilizadas como camisas metálicas para fundação de obras portuárias e fundações de pontes.

Os perfis W e HP são utilizados como solução de fundações para obras imobiliárias, industriais, portuárias e de infraestrutura. Para fundações muito profundas, acima de 24 m, a solução de estacas de seção decrescente com a altura pode ser uma boa alternativa quando se deseja reduzir peso de estaca sem perder a sua capacidade de carga.

Outra alternativa em estrutura metálica para contenções de divisas são as estacas-prancha, laminadas a quente em diversos modelos e tamanhos. São produzidas no exterior e importadas para o Brasil.

A solução em estacas metálicas tem como principais características sua alta capacidade de carga, rapidez de execução, fácil controle e gerenciamento e ausência de resíduos, sendo, portanto, uma importante alternativa a ser considerada nos projetos.

8.1.3 Estruturas mistas

Cada vez mais utilizado no Brasil, o sistema misto é aquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto, formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista.

Na concepção da estrutura mista aço-concreto, os pilares são em perfis de aço com a envoltória em concreto ou perfis tubulares preenchidos com concreto, sendo que o perfil e o concreto responderão de forma conjunta ao dimensionamento estrutural (Figura 31). As vigas são em perfis laminados e trabalham junto com a laje, sendo por esse motivo consideradas vigas mistas, embora não estejam envoltas em concreto, como no caso dos pilares. Os benefícios desse sistema são a dispensa do uso de formas e escoramentos para a laje e redução da altura das vigas e, consequentemente, a redução no consumo de aço das vigas. Já em relação aos pilares mistos, há redução considerável do consumo de aço estrutural e das proteções contra incêndio e corrosão. É um sistema competitivo para estruturas de vãos médios a elevados, caracterizando-se pela rapidez de execução e pela significativa redução do peso total da estrutura (Figuras 32 e 33).

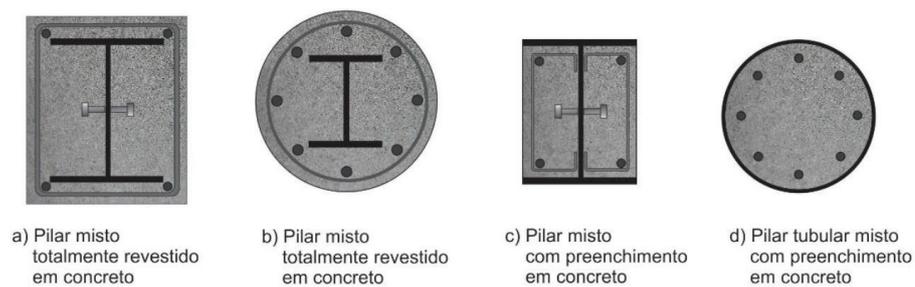


Figura 31: Exemplos de pilares mistos

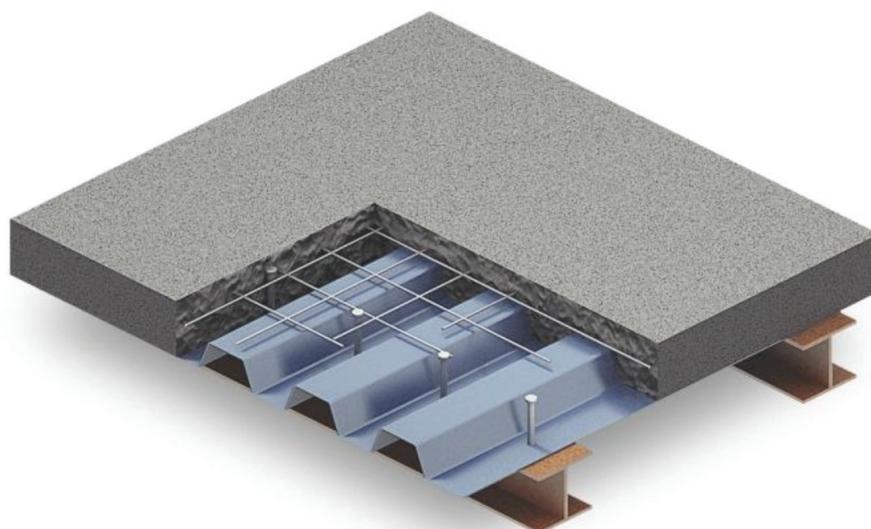


Figura 32: Exemplo de laje mista sobre viga metálica – Steel deck



Figura 33: Vista de fachada com os pilares mistos em processo de concretagem
(Foto: Ricardo Werneck)

8.1.4 Tratamento contra a corrosão

Um bom projeto é premissa para se evitar problemas de corrosão ao longo da vida útil da edificação. Deve-se atentar para a especificação correta do tipo de aço a ser utilizado para determinada condição climática na qual a edificação estará inserida.

A proteção de estruturas metálicas contra a corrosão pode ser feita através de medidas simples, descritas em normas, códigos de conduta e manuais. A principal abordagem pode ser agrupada em três linhas de atuação complementares:

1. Cuidados no detalhamento do projeto (Figura 34)

Como é de conhecimento geral, a corrosão atmosférica é um fenômeno espontâneo que, para acontecer, necessita de água e, concomitantemente, do oxigênio atmosférico sobre a superfície metálica.

Por isso, a recomendação é a de que os projetos prevejam sempre furos de drenagem para o escoamento da água, onde seja necessário. Outra ação simples é evitar a formação de cavidades e frestas onde a água possa ficar retida. A atenção ao detalhamento do projeto é a maneira mais econômica de proteger o aço contra a corrosão.

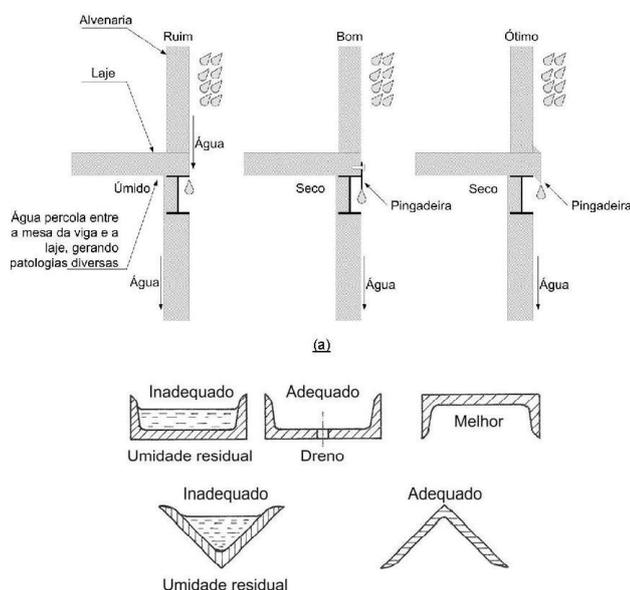


Figura 34: Exemplos de medidas de controle da corrosão através do detalhamento do projeto (imagem: retiradas do Manual de Construção em Aço do CBCA, Projeto e Durabilidade, do autor Fábio Domingos Pannoni)

2. Escolha do melhor sistema de proteção

A seleção de um sistema de proteção adequado depende do conhecimento prévio de alguns fatores:

- Agressividade do ambiente circundante e interno à estrutura. Esse é o ponto de partida para a escolha de um sistema de proteção que proporcione a durabilidade desejada;
- Dimensão e forma dos componentes metálicos estruturais;
- Possibilidade de intervenções periódicas de manutenção;
- Possibilidades de tratamento existentes.

3. Impactos ambientais

É cada vez mais importante considerar a utilização das tintas com baixo teor de solventes e que não contenham pigmentos nocivos ao meio ambiente. Da mesma forma, sistemas de proteção mais duradouros devem ser preferidos àqueles que necessitam de manutenção periódica com mais frequência. Na hora de comparar diferentes opções de tratamento, é aconselhável fazer o cálculo do custo do ciclo de vida de cada solução para fazer a escolha mais acertada.

8.1.4.1 Galvanização × pintura

Dois dos métodos mais consolidados para a proteção do aço contra a corrosão são a pintura e a galvanização, ambas bastante utilizadas.

Nos casos em que a escolha recai sobre a pintura (Figura 35), é importante não deixar de observar os preceitos contidos nas normas internacionais. Os sistemas propostos na norma ISO 12944 são reconhecidos mundialmente.



Figura 35: Aplicação de tinta com pistola sobre a estrutura (Foto: Sidnei Palatnik)

Outra opção que pode apresentar bons resultados é a galvanização a quente (Figura 36), quando os componentes estruturais são submersos em um banho de zinco a elevadas temperaturas.



Figura 36: Tanque de imersão da peça de aço para zincagem (Foto: Brafer)

A dica é nunca deixar de avaliar as duas possibilidades de proteção (pintura e galvanização). Isso porque os custos podem ser semelhantes.

As duas opções podem também ser combinadas aumentando a proteção das peças contra a corrosão. O sistema duplex, que combina galvanização com pintura, oferece uma expectativa de vida útil maior que a soma da expectativa de cada sistema, algo em torno de 1,5 vezes a soma das expectativas de vida de cada sistema (ex.: galvanização - 40 anos, pintura - 10 anos, sistema duplex - 75 anos).

Isso ocorre porque os produtos da corrosão do aço são mais volumosos e têm maior solubilidade, levantando e destruindo a tinta, ao passo que os resultantes da corrosão natural do zinco são menos volumosos e menos solúveis, não afetando a camada de tinta que continua protegendo o material.

8.1.5 Resistência ao fogo

Todos os materiais estruturais de uso comum (concreto, aço, madeira ou alumínio) apresentam profundas alterações em suas propriedades quando sujeitos às altas temperaturas, como as que ocorrem em um incêndio.

Resistência ao fogo é uma medida do tempo transcorrido antes que um elemento construtivo exceda limites especificados para a capacidade de suportar cargas (isto é, estabilidade), isolamento e estanqueidade.

Estruturas de aço são altamente resistentes ao fogo. Um dos pontos mais importantes nos projetos de construção civil é reduzir o risco de incêndios e, caso ocorram, aumentar o tempo de início de deformação da estrutura, conferindo, assim, maior segurança a essas construções. Essa é a razão do estabelecimento, em muitos países, de exigências mínimas de resistência ao fogo para os componentes estruturais. Essas normas de “segurança contra incêndio”, em geral, levam em consideração uma temperatura crítica na qual o aço perde uma porção significativa de sua resistência mecânica ou atinge um estado-limite de deformações ou de tensões, ou seja, uma temperatura que represente uma condição de falha, que pode representar o colapso da estrutura. Usualmente, refere-se também a um tempo de resistência ao fogo, ou seja, ao tempo para que a temperatura crítica, ou condição de falha, seja alcançada.

A ABNT NBR 14432 estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais (de aço, concreto, madeira etc.) e de compartimentação que integram os edifícios para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural. As exigências dessa norma são dadas em termos de “Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo”, também conhecidos como TRRF. Os TRRF são definidos na própria norma como o “tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito a um ensaio padronizado”. Esse ensaio padronizado é conhecido como “incêndio-padrão”.

A Norma fornece uma Tabela de TRRF exigidos para cada componente estrutural e de compartimentação que integram a edificação. O texto também traz uma série de disposições construtivas que permitem a isenção da proteção.

Materiais utilizados na proteção antitérmica “tradicionais” (também chamados de materiais de “proteção passiva”) isolam a estrutura de aço dos efeitos das altas temperaturas que podem ser geradas por um incêndio. Eles podem ser divididos em três grupos:

- Materiais projetados: materiais de baixo custo, duráveis, aplicados diretamente sobre o aço.
- Materiais rígidos ou semirrígidos: são aplicados, de modo geral, internamente à edificação, estando aparentes ou não. São materiais de boa aparência, fixação a seco e baixo custo.
- Materiais intumescentes: produtos aparentados das tintas de proteção contra a corrosão. São inertes em baixas temperaturas, mas

proporcionam isolamento térmico através da intumescência (ou “inchamento”), que ocorre em temperaturas de aproximadamente 250 °C. Esse “inchamento” da camada intumescente gera uma camada carbonizada de materiais de baixa condutividade térmica que funcionam como isolante térmico.

De acordo com o especialista em seguros Ricardo Cuoghi, membro da Comissão de Riscos de Engenharia da Federação Nacional de Seguros Gerais (FenSeg), estruturas em aço não encarecem o valor do prêmio do seguro contra incêndio da edificação. Segundo ele, os parâmetros de seguro que se referem à estrutura de um edifício estão relacionados ao caráter combustível ou incombustível dessa estrutura. Aço e concreto são materiais incombustíveis, portanto são estruturas normalmente aceitas pelas seguradoras. Atualmente muitas seguradoras globais atuam no Brasil com critérios de aceitação de risco muito similares dentro e fora do país.

8.1.6 Execução e montagem das estruturas de aço

A construção em aço, como exemplo de construção industrializada, tem como característica o fato de deslocar boa parte das atividades para fora do canteiro de obra. As peças são produzidas em fábricas e montadas posteriormente na obra (Figura 37). Esse processo reduz o tempo de obra e aumenta o controle da qualidade.

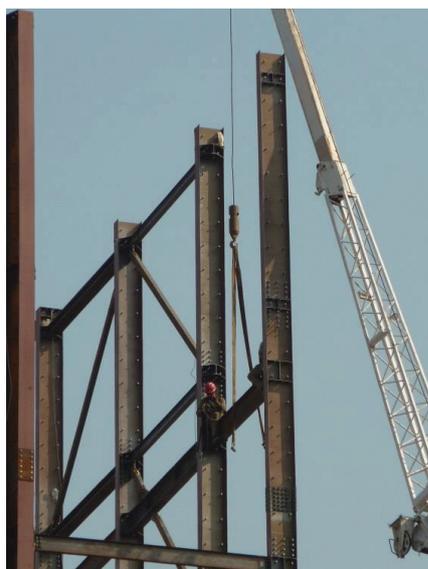


Figura 37: Montagem da estrutura de aço (Imagem: arquivo CBCA)

Durante a fabricação da estrutura, por exemplo, há ganhos de produtividade sempre que as peças são de simples concepção, se repetem diversas vezes e apresentam pequeno número de operações para serem concluídas. Como regra, quanto mais próxima a peça estiver da forma inicial do perfil que lhe deu origem, mais fácil será a sua fabricação.

Decisões tomadas na fase de elaboração de projeto interferem diretamente na produtividade obtida na montagem da estrutura na obra. Se ocorrerem repetições de peças em situações virtualmente idênticas ou mesmo semelhantes, o tempo de montagem será reduzido progressivamente.

A logística de produção e envio das peças para a obra devem ser previamente pensadas. É de extrema importância a elaboração de um plano de montagem. Se as peças serão soldadas ou aparafusadas, deverá ser feito planejamento prévio de recursos na obra – por exemplo, o uso de energia elétrica.

8.1.6.1 Transporte eficiente

O planejamento bem realizado do transporte das peças até o canteiro de obra otimiza as qualidades da construção em aço. É importante que lajes, vigas e pilares tenham dimensões, forma e peso compatíveis com os veículos que serão utilizados. Da mesma forma, peças devidamente armazenadas na fábrica e no canteiro propiciam maior facilidade para serem localizadas e içadas. Sem contar que estruturas bem acondicionadas dentro dos veículos também induzem operações de embarque e desembarque mais racionais, além de representar menores gastos com o transporte (Figura 38).

Por serem as estruturas em aço mais esbeltas e com volume menor, é considerável a redução de caminhões enviados para a obra.



Figura 38: Embarque de estruturas de aço em caminhão (Foto: Sidnei Palatnik)

8.1.6.2 Operação segura

A montagem de estruturas de aço tem diferentes graus de complexidade. Para as operações menos complexas deve ser elaborado um Plano de Montagem simplificado. Para a montagem de estruturas mais complexas será elaborado um Plano de Montagem detalhado com Plano de Rigging dos içamentos críticos. Deve-se levar em conta os equipamentos necessários de acordo com o peso e quantidade das peças a serem montadas em um mesmo momento.

O Plano de Montagem é um documento técnico constituído de descritivos, desenhos, diagramas e folhas de dados. É importante que os seguintes aspectos sejam abordados:

- Canteiro de obras: definição dos caminhos de serviço, planta de situação, capacidade de suporte do solo, dimensionamento da área de descarga e estocagem etc.
- Processo de montagem: detalhamento da sequência de montagem e os seus ciclos, recomendações quanto às precauções a serem tomadas sob a ocorrência de mau tempo, ventos ou temperaturas extremas etc.

8.1.7 Normas técnicas do aço

A seguir indicamos as normas técnicas aplicadas à construção em aço no Brasil:

- ABNT Norma NBR 16239:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares;
- ABNT Norma NBR 14323:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio;
- ABNT Norma NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- ABNT Norma NBR 15980:2011 – Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias;
- ABNT Norma NBR 15217:2009 – Perfis de aço para sistemas de gesso acartonado – Requisitos;
- ABNT Norma NBR 14514: 2008 – Telhas de aço revestido de seção trapezoidal – Requisitos gerais;

- ABNT Norma NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- ABNT Norma NBR 15253:2014 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais;
- ABNT Norma NBR 14513:2008 – Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos gerais;
- ABNT Norma NBR 6355:2012 – Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização;
- ABNT Norma NBR 16421:2015 – Telha-forma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto – Requisitos e ensaios;
- ABNT Norma NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico - Requisitos de desempenho;
- ABNT Norma NBR 14513:2008 – Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos;
- AASHTO specification – Bridge design specifications, standard specifications for highway bridges;
- AISC code of standard practice for steel buildings and bridges, March 18, 2005;
- AISC manual of steel construction – The AISC manual of steel construction, 14th Edition;
- AISC specification – The AISC specification for structural steel buildings, 2010;
- AWS D1.1/D1.1M – Structural welding code;
- AWS D1.5/D1.5M – Structural welding code for bridges.

8.2 Sistema construtivo em *light steel framing*

O *light steel framing* é um sistema construtivo estruturado em perfis de aço galvanizado formados a frio, projetados para suportar as cargas da edificação ou trabalhar em conjunto com outros subsistemas industrializados, para garantir os requisitos de funcionamento da edificação.

É um sistema construtivo aberto que permite a utilização de diversos materiais; flexível, pois não apresenta grandes restrições aos projetos; racionalizado, pois otimiza a utilização dos recursos e o gerenciamento das perdas; customizável, já que permite total controle dos gastos na fase de projeto; além de durável e reciclável em grande parte.

O sistema construtivo *light steel framing* – LSF – é indicado para uso em residências unifamiliares térreas ou sobrados, edifícios de até 8 pavimentos, hotéis, edifícios da área de saúde, clínicas, hospitais, comércio em geral, creches, edifícios para educação e ensino, fachadas de edifícios em geral incluindo os de grande altura, retrofit e ampliações de edifícios existentes (Figuras 39 a 41).



Figura 39: Habitação Unifamiliar Minha Casa Minha Vida – Paraná (Fonte: Saint-Gobain)



Figura 40: Habitação Unifamiliar (Fonte: Construtora Micura)



Figura 41: Edifício Educacional multi-pavimentos. Fachada em light steel framing (Fonte: Saint-Gobain)

Apesar de ser uma tecnologia recente no Brasil, a origem do *light steel framing* remonta ao início do século XIX. Na verdade, historicamente iniciou com as habitações em madeira construídas pelos colonizadores no território norte-americano naquela época. Para atender ao crescimento da população, foi necessário empregar métodos mais rápidos e produtivos na construção de habitações, utilizando os materiais disponíveis na região.

A partir daí esse tipo de construção tornou-se a tipologia residencial mais comum nos Estados Unidos.

Aproximadamente um século mais tarde, em 1933, com o grande desenvolvimento da indústria do aço nos Estados Unidos, foi lançado na Feira Mundial de Chicago o protótipo de uma residência em *light steel framing* que utilizava perfis de aço para substituir a estrutura de madeira. O crescimento da economia norte-americana e a abundância na produção de aço no período pós-Segunda Guerra possibilitaram a evolução nos processos de fabricação de perfis formados a frio, e o uso dos perfis de aço substituindo os de madeira passou a ser vantajoso, devido à maior resistência e eficiência estrutural do aço e à capacidade da estrutura de resistir a catástrofes naturais como terremotos e furacões.

Na década de 1990, as flutuações no preço e na qualidade da madeira para a construção civil, estimularam o uso dos perfis de aço nas construções residenciais. Estimou-se que até o final da década de 1990, 25% das residências construídas nos Estados Unidos foram em LSF (Bateman, 1998 apud CBCA, 2006).

8.2.1 Principais componentes do sistema light steel framing

8.2.1.1 Perfis de aço

Os perfis típicos para o uso em *light steel framing* são obtidos por conformação a frio a partir de bobinas de aço revestidas com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente ou por eletrodeposição conforme a NBR 15253.

A espessura da chapa varia entre 0,80 e 3,0 mm, sendo as seções mais comuns aquelas com formato em “C” ou “U” enrijecido (Ue) para montantes e vigas, e o “U” que é usado como guia na base e no topo dos painéis.

O limite de escoamento dos perfis de aço zincado, não deve ser inferior a 230 Mpa.

NBR 15253 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações: requisitos gerais.

NBR 6355 – Perfis estruturais de aço formados a frio – padronização

8.2.1.2 Vedações externas e internas

O sistema aceita uma grande variedade de materiais de vedação para esses tipos de edificações, como pode se constatar internacionalmente, seja de forma monocamada, seja de forma combinada.

No mercado nacional os produtos mais usuais para a vedação externa das construções em LSF são fornecidos em placas ou chapas, com várias espessuras, sendo os mais utilizados a placa cimentícia, o OSB (*Oriented Strand Board*) com proteção adequada quanto às intempéries, e painéis de aço tipo sanduíche compostos com isolantes – estes últimos de uso mais frequente em edificações não residenciais (Figuras 42 a 47).



Figura 42: Vedação com Placas Cimentícias – MCMV – Paraná (Fonte: Saint Gobain)



Figura 43: Vedação com Placas Cimentícias – MCMV – Paraná (Fonte: Saint-Gobain)



Figura 44: Vedação com Placas OSB e MCMV – Paraná (Fonte: Siding (Fonte: CBCA)

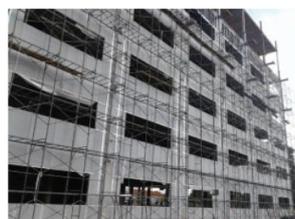


Figura 45: Fachada em light steel framing com vedação em Placas Cimentícias (Fonte: Saint-Gobain)



Figura 46: Fachada em light steel framing com vedação em Placas Cimentícias (Fonte: Saint-Gobain)



Figura 47: Fachada em light steel framing com vedação em Placas Cimentícias (Fonte: Saint-Gobain)

Para a vedação interior usam-se, via de regra, chapas de gesso acartonado para *drywall*.

A exemplo das práticas internacionais, as construções devem receber isolamento térmico e acústico adequados, para o conforto dos ocupantes e atendimento às normas brasileiras.

O sistema apresenta comportamento ao fogo dentro das exigências nacionais e internacionais, e seus elementos de vedação devem ter características adequadas e comprovadas, já que são grande parte da composição do sistema e fundamentais na proteção da edificação e de seus usuários.

As placas cimentícias, OSB e de gesso acartonado, já estão bastante disseminadas na realidade construtiva nacional no que se refere à mão de obra disponível e custo. A capacitação da mão de obra para

instalação de sistemas *drywall* muito influenciou na disseminação do uso de placas cimentícias e OSB, pelo método de instalação ser similar e a tecnologia encontrar-se amplamente difundida no Brasil.

Também se pode utilizar o acabamento tipo *siding* composto de réguas paralelas, muito comuns nas residências norte-americanas. O *siding* pode ser vinílico (feito com PVC), de madeira ou cimentício e normalmente é aplicado sobre placas de OSB.

As placas cimentícias podem ser utilizadas como fechamento e acabamento externo ou interno dos painéis, incluindo as áreas molháveis, e em áreas expostas a intempéries. Para uso em pisos é necessário um substrato de apoio, que pode ser de chapas OSB, para proporcionar às placas cimentícias resistência à flexão, ou compósitos usualmente de placas cimentícias com miolo em madeira.

As placas de OSB podem ser utilizadas como fechamento primário da face interna e externa dos painéis, para forros, pisos e como substrato para cobertura do telhado. Devido às suas características, não devem estar expostas a intempéries, necessitando de um acabamento impermeável em áreas externas. Suas propriedades de resistência mecânica, resistência a impactos e a boa estabilidade dimensional possibilitam seu uso estrutural como diafragma rígido quando aplicado aos painéis estruturais e lajes de piso.

As chapas de *drywall* constituem o fechamento vertical da face interna dos painéis estruturais e não estruturais que constituem o invólucro da edificação, e também o fechamento das divisórias internas. As chapas de gesso acartonado são vedações leves, pois não possuem função estrutural.

As chapas de *drywall* são fabricadas industrialmente e compostas de uma mistura de gesso, água e aditivos, revestidas em ambos os lados com lâminas de cartão, o que confere ao gesso resistência à tração e flexão. Esse sistema permite derivações e composições de acordo com as necessidades de resistência à umidade e ao fogo, isolamento acústico ou fixação em grandes vãos. As dimensões nominais e tolerâncias são especificadas por normas, e, de forma geral, as placas ou chapas são comercializadas com largura de 1,20 m e comprimentos que variam de 1,80 m a 3,60 m, de acordo com o fabricante, sendo as espessuras de 9,5 mm, 12,5 mm e 15 mm. No mercado nacional são oferecidos três tipos de placa: a Placa Standard (ST); a Placa Resistente à Umidade (RU); a Placa Resistente ao Fogo (RF).

8.2.1.3 Isolantes termo-acústicos

Os isolantes térmicos mais tradicionais no sistema para paredes, pisos ou coberturas são placas ou mantas de lã de vidro ou de rocha (Figura 48). Outros materiais podem ser empregados dependendo das características do sistema escolhido, porém sua condutividade térmica deve idealmente ser menor do que $0,06 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (condutividade térmica máxima de um material considerado isolante) e resistência térmica $\geq 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Figura 48: Detalhe de isolamento de vedações em light steel framing (Fonte: Saint-Gobain)

Nem todo isolante térmico tem boas propriedades acústicas e vice-versa. Portanto o desempenho acústico da edificação deve ser objeto de análise adequada para se atingir os níveis desejados de transmissão de ruído. Influenciam no desempenho acústico o posicionamento e as características de cada elemento usado na composição global do elemento de vedação interior/exterior e suas interfaces.

8.2.1.4 Barreira impermeável

São elementos usados para auxiliar a estanqueidade ao ar e água da edificação e eventualmente proteger outros elementos de umidade e intempéries. São usados para “envolpar” a edificação, sendo correntemente tecidos, não tecidos, emulsões etc. impermeáveis à água, e podem ou não serem permeáveis ao vapor d’água, conforme as necessidades do projeto.

8.2.1.5 Impermeabilizantes

Produtos para impermeabilização, na forma de mantas pré-fabricadas ou membranas moldadas no local, ou ainda emulsões e pinturas aplicáveis, como nas construções tradicionais, nos pontos necessários para garantir a proteção e longevidade dos materiais empregados na edificação.

8.2.1.6 Subcoberturas

Conforme o projeto, em caso de necessidade, são perfeitamente aplicáveis as subcoberturas tradicionais de mercado, simples ou compostas, como barreiras adicionais de estanqueidade, refletivas ou não, simples ou compostas etc.

8.2.1.7 Telhas

Pode-se utilizar no sistema *steel framing* todos os tipos de telhas existentes e disponíveis no mercado – aço, cerâmica, fibrocimento, shingle, concreto, plásticas etc.

Deve-se dar preferência aos sistemas de coberturas de maior desempenho de estanqueidade, assegurando sua correta amarração e fixação, para se evitar infiltrações ao longo da vida da edificação, usualmente causadas por deslocamentos dos elementos de cobertura em razão de fortes ventos, chuvas etc.

8.2.2 Vantagens e benefícios do sistema *light steel framing*

Os principais benefícios e vantagens do uso do sistema em edificações são os seguintes:

- Os produtos que constituem o sistema, em particular o aço, vedações e isolantes são padronizados, de tecnologia avançada e produzidos industrialmente, sendo que a matéria-prima utilizada, os processos de fabricação, suas características técnicas e acabamento passam por rigorosos controles de qualidade;
- O aço é um material de comprovada resistência, e o alto controle de qualidade, tanto da produção da matéria-prima quanto de seus

produtos, permite maior precisão dimensional e melhor desempenho da estrutura;

- Facilidade de obtenção dos perfis formados a frio que são largamente produzidos pela indústria, assim como o restante dos materiais empregados na construção;
- Durabilidade e longevidade da estrutura, proporcionada pelo processo de galvanização das chapas dos perfis;
- Durabilidade e longevidade dos elementos de vedação e isolamento, produzidos para atender às mais severas normas internacionais e nacionais, largamente testados e amplamente disponíveis e difundidos no mercado brasileiro;
- Facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos elementos;
- Construção a seco, o que minimiza o uso de recursos naturais e o desperdício;
- Os perfis de aço perfurados previamente e a utilização dos painéis de gesso acartonado facilitam as instalações elétricas e hidráulicas;
- Altos níveis de desempenho termoacústico que podem ser alcançados através da combinação de materiais de vedação e isolamento;
- Facilidade na execução das ligações entre perfis;
- Rapidez de construção, uma vez que o canteiro se transforma em local de montagem;
- O aço é um material incombustível e reciclável, podendo ser reciclado infinitas vezes sem perder suas propriedades;
- Grande flexibilidade no projeto arquitetônico, não limitando a criatividade do arquiteto.

8.2.3 Métodos de construção e montagem do sistema light steel framing

Os métodos de construção e montagem de edificações em LSF variam de acordo com o projetista e a empresa construtora. Quanto maior o nível de industrialização proposto pelo projeto, maior é a racionalização empregada no processo de construção, podendo-se atingir um patamar de alto grau de industrialização da construção civil, no qual as atividades no canteiro se resumem à montagem da edificação através do posicionamento das unidades e sua interligação.

De forma geral, existem 3 métodos para a construção de edificações em LSF:

1. Stick: os perfis são cortados no canteiro da obra. Painéis, lajes, coluna, contraventamentos e tesouras de telhado são montados no local. Os perfis podem vir perfurados para a passagem das instalações elétricas e hidráulicas. Os demais subsistemas são instalados posteriormente à montagem da estrutura. Esta técnica é usada quando a pré-fabricação não é viável (Figura 49).



Figura 49: Sistema stick (Fonte: Saint-Gobain)

2. Modular: é um processo altamente industrializado e caracteriza-se pelo uso de unidades modulares completamente pré-fabricadas que podem ser entregues no local da obra com todos os acabamentos internos prontos: revestimentos, louças sanitárias, bancadas, mobiliários fixos, metais, instalações elétricas e hidráulicas etc. As unidades podem ser estocadas lado a lado, ou uma sobre as outras já na forma da construção final. Esse método é vantajoso principalmente em obras maiores onde há grande repetição dos módulos.

3. Painéis: painéis estruturais ou não, lajes e tesouras de telhado podem ser pré-fabricados fora do canteiro ou no próprio local da obra. A confecção dos componentes é realizada em mesas especiais de trabalho

com a orientação dos projetos estruturais. Quanto maior a organização das atividades melhor a qualidade e precisão dos componentes. Oficinas externas, preparadas para a atividade, apresentam ambiente, equipamentos e organização muito mais apropriados. Contudo, é possível também estabelecer um local para a fabricação dos componentes na própria obra, porém isso vai depender da disponibilização de espaço e mão de obra qualificada. No Brasil, o método de construção por painéis é o mais amplamente utilizado, pois melhor se adaptou à cultura das empresas (Figura 50).



Figura 50: Sistema de painéis (Fonte: Construtora Micura)

8.2.4 Etapas da construção LSF no processo mais utilizado (método de painéis)

8.2.4.1 Fundação

Por ser muito leve, a estrutura de LSF e os componentes de fechamento exigem bem menos da fundação do que outras construções.

A escolha do tipo de fundação vai depender, além da topografia, do tipo de solo, do nível do lençol freático e da profundidade de solo firme. As fundações são efetuadas segundo o processo da construção convencional e como em qualquer outra construção deve-se observar o isolamento contra a umidade.

A qualidade final da fundação está intimamente ligada ao correto funcionamento dos subsistemas que formam a construção. Assim, uma base corretamente nivelada e em esquadro possibilita maior precisão de montagem da estrutura e demais componentes do sistema.

A laje radier é a fundação mais comumente utilizada para construções em *light steel framing*. O radier é um tipo de fundação rasa que funciona como uma laje e transmite as cargas da estrutura uniformemente para o terreno. Os componentes estruturais fundamentais do radier são uma laje contínua de concreto, e eventuais reforços.

8.2.4.2 Fixação dos painéis à fundação

Para evitar o movimento da edificação por causa da pressão do vento, a superestrutura deve ser firmemente ancorada na fundação.

A escolha da ancoragem mais eficiente depende do tipo de fundação e das solicitações que ocorrem na estrutura. O tipo de ancoragem, suas dimensões e espaçamento são definidos segundo o cálculo estrutural. Os tipos mais utilizados de ancoragem são a química com barra roscada e a expansível com chumbadores tipo parabolts. A ligação entre a fundação e a estrutura é feita com suportes de ancoragem. Na base dos painéis, antes da montagem, deve ser fixada uma manta asfáltica, que, além de evitar o contato direto com a umidade do piso, minimiza as pontes térmicas e acústicas.

8.2.4.3 Painéis

O conceito estrutural do sistema *light steel framing* é dividir as cargas em um número maior de elementos estruturais, sendo que cada um é projetado para receber uma pequena parcela de carga, o que possibilita a utilização de perfis conformados com chapas finas de aço. A modulação ou malha de distribuição desses perfis, usualmente, é de 400 mm ou 600 mm. Tanto a disposição dos montantes dentro da estrutura dos painéis como suas características geométricas, de resistência e sistema de fixação entre as peças, faz que este esteja apto a absorver e transmitir cargas verticais e horizontais. Os elementos estruturais mais utilizados para garantir a estabilidade estrutural dos painéis e, consecutivamente da edificação do sistema, são as fitas e placas de contraventamento e as linhas de bloqueadores. Externamente, os painéis podem ser fechados com placas cimentícias ou OSB. Independentemente do acabamento final, as placas de OSB devem ser protegidas externamente da umidade e da água, com uma manta ou membrana não tecido, formando uma barreira impermeável à água. Essas membranas, apesar da não obrigatoriedade, podem ser

utilizadas em sistemas que usem placas cimentícias. Além dos materiais usados externamente, nas áreas internas também usualmente são usadas placas de gesso acartonado.

8.2.4.4 Isolamento térmico e acústico

Antes de se fechar o lado interno do painel, deve-se proceder à colocação do material de isolamento térmico e acústico. Hoje, com o avanço tecnológico dos produtos e processos de cálculo, consegue-se mensurar a real necessidade do isolamento e quantificar o material isolante necessário. Os materiais mais empregados são as mantas de lã de vidro ou de rocha.

8.2.4.5 Lajes

O conceito estrutural do sistema *light steel framing*, dividindo as cargas entre os perfis, também é utilizado para os elementos que suportam as lajes e coberturas. Seus elementos trabalham biapoiados e deverão, sempre que possível, transferir as cargas continuamente, ou seja, em elementos de transição até as fundações. Para o sistema, existem dois tipos distintos de laje, denominados de laje “seca” ou “úmida”. As lajes “secas” (Figura 51) podem ser compostas por painéis de madeira (OSB ou outros) ou placas cimentícias, apoiadas sobre perfis metálicos estruturais (vigas de entrepiso). Já as “úmidas” (Figura 52) são compostas por formas de aço (telhas galvanizadas) preenchidas com concreto e tela de reforço estrutural.



Figura 51: Laje Seca (Fonte: LP Brasil)



Figura 52: Laje Úmida (Fonte: CBCA)

8.2.4.5 Cobertura

A cobertura pode ser calculada para suportar qualquer tipo de telha. Assim como os demais painéis, deve ser contraventada e bloqueada para suportar as cargas de vento. Havendo possibilidade, projeta-se a cobertura de forma que suas cargas sigam diretamente até a fundação, através de montantes.

Ao contratar uma obra em LSF, o contratante deve prestar atenção principalmente aos seguintes aspectos:

- É importante ter um contrato detalhado com o escopo da obra, responsabilidades da montadora, especificações e critérios de desempenho esperado da edificação, cronograma de obras com prazos de execução de cada etapa, relação de normas técnicas e outros regulamentos a serem observados;
- A empresa montadora deverá manter um programa de garantia da qualidade para assegurar que seu trabalho esteja de acordo com as especificações das normas aplicáveis e com os Documentos Contratuais;
- A Montadora deverá possuir qualificação e capacidade de executar a montagem das Estruturas LSF, devendo para isso fornecer equipamento, pessoal e supervisão proporcionais ao escopo, magnitude e qualidade exigíveis para cada obra;
- Os produtos e materiais utilizados devem satisfazer aos requisitos estabelecidos no contrato;
- Deve ser exigido da montadora um projeto detalhado, e a memória do cálculo estrutural, deve ser realizado por profissional habilitado e, no caso de estruturas maiores e mais complexas, deve-se exigir também um plano detalhado de montagem;
- A elaboração do projeto executivo deve estar atrelada à compatibilização do projeto estrutural com o arquitetônico. Posteriormente, deve-se compatibilizar esses projetos com o de instalações, identificando, analisando e solucionando as interferências;
- Elaborar projetos de vedações internas e externas atendendo ao projeto estrutural, já que é na estrutura que os componentes são fixados, compatibilizando-os e integrando-os com os outros subsistemas. A paginação dos componentes de fechamento deve otimizar a modulação vertical e horizontal;
- Especificar e detalhar o tipo de juntas de união (aparente ou invisível) de dessolidarização e movimentação das placas de

fechamento, incorporando sempre que necessário esses detalhes ao projeto de arquitetura;

- Identificar e solucionar a interferência de pontos hidráulicos de pias, vasos sanitários, chuveiros, tanques e outros com a posição dos elementos estruturais, principalmente contraventamentos e montantes;
- Especificar e detalhar o tipo de impermeabilização e revestimento de áreas molháveis e molhadas e o uso de materiais como piso box e outros;
- Detalhar a interface painéis/esquadrias, caracterizando o tipo de material (alumínio, madeira, aço, PVC etc.), o modo de fixação, componentes de proteção dessas aberturas tais como peitoris, pingadeiras e alisares. Cuidados especiais devem ser tomados quando as Diretrizes de Projeto usam materiais metálicos como o alumínio, para isolar as esquadrias da estrutura, evitando dessa forma os pares galvânicos;
- Dar preferência aos detalhes padronizados, que têm desempenho comprovado. Isso deve ser aplicado tanto ao detalhamento do projeto arquitetônico quanto ao projeto estrutural;
- Definir projeto elétrico e luminotécnico para evitar interferência com a estrutura, como vigas de piso e montantes.

8.2.5 Principais documentos a serem referenciados no steel framing

1. Manual da Construção Metálica – steel framing arquitetura – CBCA;
2. Execução de Estruturas de Aço – Práticas recomendadas – ABCEM/CBCA/ABECE;
3. NBR 14762 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento;
4. NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações: Requisitos gerais;
5. Diretriz SiNAT 003 rev 1 – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo *light steel framing*);
6. DATec 14a – Sistema construtivo a seco saint-Goban – *light steel framing*;
7. DATec 15 – Sistema construtivo LP Brasil OSB com fechamento em chapas de OSB revestidas com siding vinílico;
8. DATec 16 – Sistema construtivo LP Brasil OSB com fechamento em SmartSide panel.

8.3 Sistemas construtivos industrializados em *drywall*

O sistema de construção industrializada *drywall*, utilizado nas vedações internas de qualquer tipo de edificação, incluindo paredes não estruturais, forros e revestimentos, e também na montagem de mobiliário fixo como estantes e balcões de recepção, entre outras possibilidades, tem 120 anos de história. Surgiu nos Estados Unidos em 1894, quando Augustine Sackett e Fred Kane inventaram as chapas para esse sistema, compostas por massa de gesso prensada entre duas folhas de cartão. Naquela época buscava-se um material que pudesse proteger as estruturas de madeira nas construções, minimizando os efeitos dos incêndios que grassavam no país destruindo boa parte de cidades como Chicago, Boston, São Francisco, entre outras. Sua resistência ao fogo se deve ao miolo de gesso cuja fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ onde as duas moléculas de água representam 20% do peso. Sob a ação do fogo essa água é liberada sob a forma de vapor retardando os efeitos do fogo. Com o advento dos edifícios altos (a partir dos anos 1930), o *drywall* passa a ser utilizado como vedação interna com estruturas de perfis de aço também nesses prédios. A partir daí a tecnologia se difundiu pelo mundo, sendo utilizada em construções residenciais e não residenciais.

O sistema *drywall* chegou ao Brasil em 1970, por iniciativa do médico Dr. Roberto Campos Guimarães, ao fundar em Petrolina (PE) a Gypsum do Nordeste. Foi a primeira fábrica de chapas de gesso para *drywall* instalada no país. Os resultados alcançados foram positivos, mas modestos em termos quantitativos, levando a empresa a enfrentar dificuldades. Estas foram solucionadas em 1995, quando foi adquirida pela Lafarge Gypsum, do grupo francês Lafarge. Logo depois, foram fundadas a BPB Placo (joint-venture anglo-chilena) e a Knauf do Brasil (do grupo alemão Knauf).

No ano 2000, estavam em operação no país três fábricas de chapas e outros componentes para a tecnologia *drywall*: além da unidade da Lafarge Gypsum, havia a da BPB Placo em Mogi das Cruzes (SP) e a da Knauf em Queimados (RJ). Nos primeiros anos do século XXI, a BPB Placo passou ao controle do grupo francês Saint-Gobain, e a Lafarge Gypsum foi adquirida pelo grupo belga Etex. Em 2010, foi inaugurada a primeira fábrica do segmento com capital nacional, a Trevo do Nordeste, instalada em Juazeiro do Norte (CE). E, em 2014, a Knauf e a Placo inauguraram duas novas fábricas de chapas, respectivamente em Camaçari e Feira de Santana na Bahia.

8.3.1 Utilização do sistema *drywall*

O *drywall* é um sistema construtivo utilizado como vedação na parte interna das construções sem função estrutural. Pode ser aplicado em construções residenciais e não residenciais como: paredes, forros e revestimentos.

8.3.2 Materiais componentes do sistema *drywall*

8.3.2.1 Perfis de aço

Os perfis de aço para *drywall* são fabricados a partir de tiras cortadas de bobinas de aço de alta resistência (ZAR), com limite de escoamento não inferior a 230 MPa e espessura mínima de 0,50mm, revestida com zinco pelo processo contínuo de imersão a quente, com massa mínima de zinco classe Z275 g/m² e passam por perfilagem em conjunto de roletes garantindo a precisão das dimensões (Figura 53).

O revestimento Z275 exerce a proteção galvânica do zinco que se sacrifica evitando a corrosão do aço ao longo dos perfis e principalmente nas áreas de corte, mesmo em regiões litorâneas ou em áreas industriais de alta agressividade.

Os montantes têm furação com dimensões e espaçamentos padronizados para passagem de instalações pelo interior das paredes. Caso haja a necessidade de furos extras em outras posições ao longo dos montantes, eles podem ser executados desde que feitos com serra copo, mantendo as dimensões da furação original, centralizados na largura dos montantes.



Figura 53: Perfis de aço

8.3.2.2 Chapas de gesso

As chapas de gesso para *drywall* são constituídas de um miolo de gesso encontrado na natureza, como o mineral gipsita (pedra) cuja fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, revestido em ambos os lados por lâminas de cartão duplex especialmente desenvolvido para *drywall* a partir de papel e papelão reciclados que conferem resistência mecânica e propiciam excelente acabamento.

Quando parafusadas na estrutura de aço, as chapas de gesso fazem o fechamento e complementam a estruturação. Quanto maior a espessura e o número de chapas maior a resistência mecânica do conjunto.

Os tipos de chapa são ST chapa Standard para utilização geral, RU chapa resistente à umidade com coloração verde para utilização em áreas molhadas e RF chapa resistente ao fogo utilizadas em rotas de fuga e em áreas que demandem alta resistência ao fogo (Figura 54).

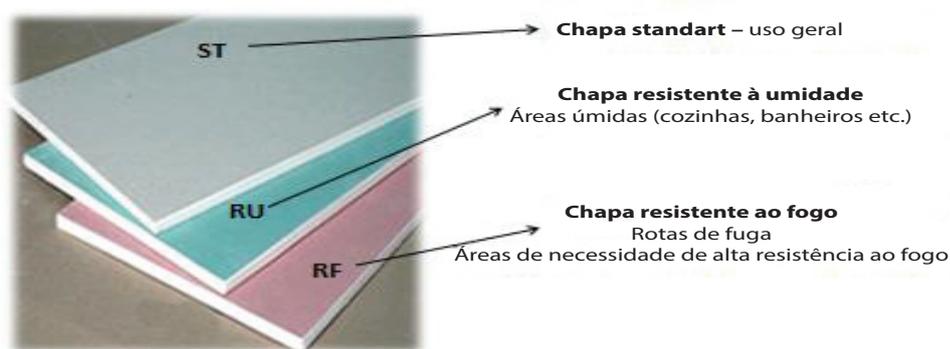


Figura 54: Chapas de gesso

8.3.2.3 Parafusos

Os parafusos utilizados para fixação dos perfis entre si e fixação das chapas na estrutura são específicos para *drywall*: autoperfurantes e auto-atarrachantes com acabamento de proteção a corrosão, zincados e fosfatizados, respectivamente.

O parafusamento adequado é fundamental para garantir a rigidez, a estabilidade e o bom desempenho diante dos esforços a que o sistema será submetido.

8.2.3.4 Tratamento de juntas

O tratamento das juntas entre as chapas e o tratamento no encontro com as alvenarias e os tetos são feitos com fita e massa próprias para *drywall*, que, além de propiciarem acabamento a essas regiões, complementam a rigidez do sistema evitando trincas.

8.2.3.5 Lã de vidro

Lã de vidro utilizada para melhorar o desempenho acústico e térmico dos sistemas construtivos *drywall* (Figura 55).



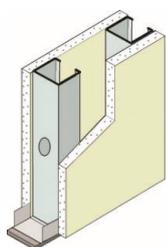
Figura 55: Lã de vidro

8.3.3 PSQ do drywall

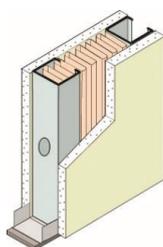
O Programa Setorial da Qualidade do Drywall está vinculado ao PBQP-H do Ministério das Cidades. Avalia a conformidade de todos os componentes do sistema *drywall* de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras. A lista de conformes e não conformes é renovada trimestralmente.

8.3.4 Sistema de paredes

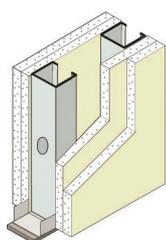
Sistemas de vedação vertical não estrutural constituídas de chapas de gesso para *drywall* com 1.200 mm de largura parafusada em estruturas de aço galvanizado (Figura 56).



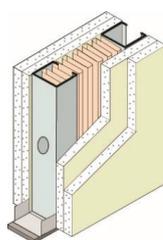
Perspectiva de parede drywall com uma chapa de cada lado



Perspectiva de parede drywall com uma chapa de cada lado com lã isolante



Perspectiva de parede drywall com duas chapas de cada lado



Perspectiva de parede drywall com duas chapas de cada lado com lã isolante

Figura 56: Sistemas de vedação vertical

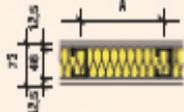
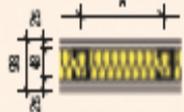
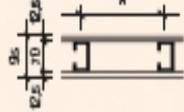
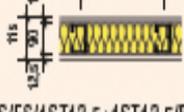
Corte da parede e designação	A – Distância entre montantes (mm)	Altura limite da parede (m)		Quantidade de chapas	Espessura das chapas (mm)	Isolamento acústico R_w (dB)		Resistência ao fogo (minutos)		Peso da parede (kg/m ²)
		Montantes Simples	Duplo			Isolantes		Chapas		
						Sem	Com	ST ou RU	RF	
 73/48/A/MS/ES/1ST12,5+1ST12,5/BR	600	2,50	2,90	2	12,5	36dB	-	CF 30	CF 30	22
	400	2,70	3,25							
 73/48/A/MS/ES/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	2,50	2,90	2	12,5	-	44dB	CF 30	CF 30	23
	400	2,70	3,25							
 98/48/A/MS/ES/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	2,90	3,50	4	12,5	-	50dB	CF 60	CF 90	43
	400	3,20	3,80							
 95/70/A/MS/ES/1S112,5+1S112,5/BR	600	3,00	3,60	2	12,5	38dB	-	CF 30	CF 30	22
	400	3,30	4,05							
 95/70/A/MS/ES/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	3,00	3,60	2	12,5	-	45dB	CF 30	CF 30	23
	400	3,30	4,05							
 120/70/A/MS/ES/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	3,70	4,40	4	12,5	-	51dB	CF 60	CF 90	43
	400	4,10	4,80							
 115/90/A/MS/ES/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	3,50	4,15	2	12,5	-	45dB	CF 30	CF 30	23
	400	3,85	4,60							
 193/70/A/MS/DES/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	2,90	3,40	4	12,5	-	61dB	CF 60	CF 90	45
	400	3,20	3,70							

Figura 57: Paredes drywall mais comuns e seus desempenhos: estrutural, acústico e resistência ao fogo.

Para construções habitacionais, a NBR 15575 estabelece níveis de exigência de desempenho acústico, resistência ao fogo, durabilidade etc., que são os parâmetros para definição da configuração da parede (Figura 57). A Associação Drywall possui relatório com os devidos laudos de comprovação de atendimento às exigências da Norma de Desempenho NBM 15.575 (TR 19A, TR20A) e, caso necessário, disponibiliza esse relatório mediante solicitação formal.

8.3.5 Sistema de forros

8.3.5.1 Forro estruturado

Forro fixo e monolítico, constituído pelo parafusamento de uma ou mais chapas de gesso para *drywall*, com 1.200 mm de largura, fixadas em estruturas de aço galvanizado suspenso por pendurais, compostos por suportes niveladores associados a tirantes de aço galvanizado (Figura 58).



Figura 58: Forro estruturado

8.3.5.2 Forro aramado ou forro de H

Forro fixo e monolítico constituído pela justaposição de chapas de gesso de 600 mm de largura, utilizando dispositivo de aço galvanizado tipo H para união das chapas, suspenso por arame de aço galvanizado (Figuras 59 e 60).

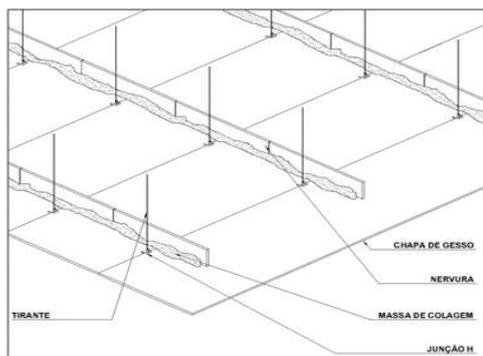


Figura 59: Forro aramado



Figura 60: Junção H

8.3.6 Sistema de revestimentos

8.3.6.1 Revestimento estruturado

Revestimento constituído de chapas de gesso para *drywall* com 1.200 mm de largura parafusadas em um dos lados de uma estrutura de perfis de aço galvanizado, montada paralelamente ao elemento a ser revestido (Figura 61).



Figura 61: Revestimento estruturado

8.3.6.2 Revestimento colado

Revestimento constituído de chapas de gesso com 1.200 mm de largura, coladas com massa para colagem diretamente no elemento a ser revestido (Figura 62).



Figura 62: Revestimento colado

8.3.7 Itens para contratação

Para melhor aproveitamento das características dos sistemas *drywall*, deve-se primeiramente projetar, especificar, detalhar e quantificar o sistema a ser contratado.

Dessa forma, a maneira correta é contratar inicialmente um projetista de *drywall* fornecendo-lhe as informações das características e desempenho desejados.

Para a execução dos serviços, pode-se contratar a montagem e fornecimento de materiais em conjunto ou separadamente.

Nota 1: os serviços e materiais mencionados anteriormente devem obedecer às normas dos sistemas *drywall*, bem como às demais normas da construção civil brasileira.

Nota 2: a durabilidade e desempenho dos sistemas *drywall* são parametrizados e garantidos pelo projeto e montagem de acordo com as normas e a qualidade dos componentes seguindo-se o programa setorial da qualidade (PSQ-Drywall). Garantias adicionais devem ser negociadas com o fornecedor.

8.3.8 Normas ABNT NBR do drywall

ABNT NBR 14.715-1: 2010 Chapas de gesso para *drywall*. Parte 1: Requisitos

ABNT NBR 14.715-2: 2010 Chapas de gesso para *drywall*. Parte 2: Métodos de ensaio

ABNT NBR 15.217: 2009 Perfis de aço para sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall* – Requisitos e métodos de ensaio

ABNT NBR 15.758-1: 2009 Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall*: Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 1: Requisitos para sistemas usados como paredes

ABNT NBR 15.758-2: 2009 Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall*: Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 2: Requisitos para sistemas usados como forros

8.4 Sistemas construtivos industrializados em concreto

Remontando à história da pré-fabricação no Brasil, a primeira grande obra que utilizou elementos pré-fabricados foi o Hipódromo da Gávea no Rio de Janeiro em 1926, nas fundações e no muro que contorna o perímetro da área reservada do hipódromo. Essa obra foi executada pela empresa dinamarquesa Christiani Nielsen através de sua sucursal brasileira (VASCONCELOS, 2002). Somente no final da década de 1950 é que as obras pré-moldadas começaram a aparecer com maior frequência. Vasconcelos (2002) ainda relata que o concreto pré-moldado em canteiro foi utilizado em 1952, na obra do Cortume Franco Brasileiro, pela Construtora Mauá, especializada em construções industriais. Outro importante marco foi em 1962, quando foram utilizadas placas pré-moldadas e vigas pré-moldadas protendidas nos prédios de escritórios e almoxarifados, do Setor Norte do Campus da Universidade de Brasília, projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer. O processo de fabricação dos elementos pré-moldados em canteiro foi filmado nessa obra, o que constitui um importante documentário sobre o tema. Nos anos 1970, com o início do chamado “Milagre Brasileiro”, o Brasil era considerado o país do futuro, e o investimento em tecnologia possibilitou que fossem ampliadas as possibilidades de obras em concreto pré-moldado.

Assim, efetivamente no início dos anos 1980 é que a pré-fabricação começa a ter maior visibilidade, na execução de obras industriais e especialmente em obras de empresas multinacionais que já vinham adotando esse sistema construtivo para suas obras fora do Brasil, pois já traziam o conceito

de industrialização e alta produtividade com exigências rigorosas no controle de qualidade. Essas características também motivaram a continuidade do emprego do pré-fabricado na construção civil, em obras das grandes redes de hipermercados no Brasil, no início da década de 1990, devido também à rapidez construtiva requerida nessas obras, o que contribuiu sobremaneira para a consolidação desse conceito. Se por um lado a execução de obras industriais e comerciais difundiu a pré-fabricação, por outro, o sistema construtivo com pré-fabricado passou naquele momento a ser associado a obras com pouca liberdade arquitetônica. No entanto, esse paradigma foi quebrado no final da década de 1990, com a introdução de novas concepções arquitetônicas e de inovações tecnológicas, nas quais o projeto arquitetônico pode ser voltado às demandas específicas e particulares da estrutura pré-fabricada, aproveitando a maior eficiência estrutural que pode ser alcançada, ampliando ainda mais o emprego dos sistemas estruturais pré-fabricados. A busca por estruturas que sejam sustentáveis e adaptáveis (como para mudanças de utilização ou renovação arquitetônica) vem aumentando o emprego das estruturas pré-fabricadas.

Atualmente evidencia-se a grande aplicabilidade da pré-fabricação em concreto em obras industriais, comerciais, habitacionais e de infraestrutura (pontes, viadutos, passarelas, portos, aeroportos, metrô, BRTs e na área de energia), além da vasta aplicação em complexos esportivos como estádios e arenas (Figura 63). A indústria brasileira está apta ao atendimento desde a fundação à fachada com desenvolvimento tecnológico compatível com empresas internacionais desse segmento.



Figura 63: Estádio Arena Fonte Nova durante a montagem da estrutura pré-moldada

8.4.1 Sistemas estruturais e tipologias

As soluções estruturais mais adotadas pela construção pré-fabricada são compostas por um ou mais dos sistemas: aporticados, em esqueleto e de paredes portantes, que por sua vez podem estar associados aos sistemas formados por pisos, de fachadas e sistemas celulares. A escolha das opções se dá durante a concepção de projeto arquitetônico, em conjunto com o projetista da estrutura e o responsável pela execução da obra, considerando os aspectos de logística (produção, transporte, montagem da estrutura e equipamentos requeridos), gerenciamento e planejamento da obra. A seguir, apresentam-se as características básicas dos sistemas estruturais utilizados.

Uma observação importante é que o ideal seria a solução estrutural ser concebida já no momento do projeto arquitetônico; no entanto, na maioria das vezes, o sistema construtivo a ser adotado é definido somente após a contratação da empresa construtora, sendo necessário voltar ao projeto arquitetônico original que, muitas vezes, na sua origem foi concebido para os métodos convencionais de construção, o que limita o uso de sistemas industrializados, inclusive as estruturas pré-fabricadas de concreto não permitindo que o máximo benefício do sistema seja incorporado ao projeto, indo contra inclusive aos princípios de sustentabilidade, ou por vezes até inviabilizando a adoção do conceito de industrialização.

É importante salientar que uma edificação ou obra de infraestrutura pode ser integralmente pré-fabricada utilizando-se todas as tipologias descritas, desde a estrutura aos elementos de fachada ou em combinação com outros sistemas construtivos (a chamada industrialização de ciclo aberto). Pode-se, por exemplo, num sistema convencional de estrutura em concreto moldada *in loco* ou metálica, adotar as lajes pré-fabricadas. Ou numa estrutura convencional em concreto moldado *in loco* adotar os painéis pré-moldados arquitetônicos ou não, portantes ou não em substituição às fachadas executadas em alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto. Enfim, são inúmeras as possibilidades que devem ser avaliadas, se possível, desde a concepção arquitetônica e em conjunto com a engenharia estrutural. É possível ainda em razão da distância dos centros produtores, dependendo do tamanho e complexidade do empreendimento, montar uma fábrica móvel para executar o pré-moldado no canteiro ou até a combinação pré-moldado e pré-fabricado, canteiro e indústria, visando à otimização de logística especialmente no que diz respeito ao

transporte de peças maiores em grandes centros urbanos. Enfim, são inúmeras as possibilidades que podem trazer muitas vantagens aos empreendimentos se adequadamente avaliadas.

8.4.1.1 Sistemas aporticados

São formados por pórticos planos, compostos por pilares e vigas de fechamento. São usualmente denominados galpões (Figura 64).

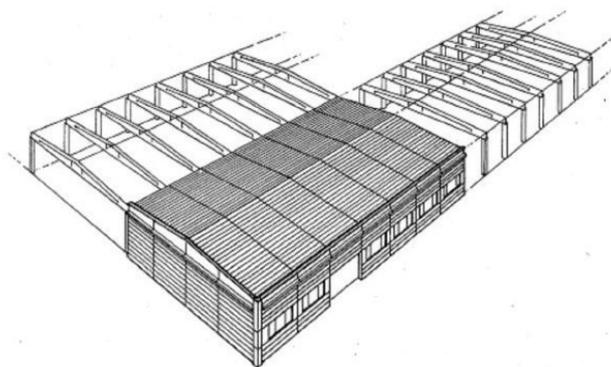


Figura 64: Exemplo de estrutura pré-moldada aporticada (Extraído de FIB, 2004)

8.4.1.2 Sistema esqueleto

Os sistemas esqueletos são formados por pilares, vigas e lajes (Figura 65) e apresentam grande flexibilidade sob o aspecto arquitetônico, pois possibilitam a concepção de estrutura com grandes vãos, que pode estar associada a diferentes sistemas de fechamento. Pode ser aplicável em estruturas de apenas um pavimento, de média altura (com até 20 pavimentos) ou de edifícios altos (acima de 20 pavimentos).



Figura 65: Shopping em Jaraguá do Sul (SC) em ampliação com torre que abrigará um hotel (exemplo de estrutura em esqueleto)

Soluções diferenciadas para edifícios baixos a edifícios altos são adotadas para o atendimento dos requisitos de estabilidade global. A estabilidade global da edificação está relacionada com a altura e esbelteza da edificação, as ações laterais (vento e desaprumo), com a eficácia da transmissão dos esforços para as fundações e a limitação dos movimentos da estrutura em todas as fases construtivas desde a montagem.

Em edifícios altos tem sido comum a subdivisão da estrutura em subestruturas de contraventamento, o que confere rigidez para as ações horizontais e em estrutura contraventada, o que transfere os esforços provenientes de ações horizontais para a anterior por meio de ligações viga-pilar articuladas e sistemas de pisos. Também podem ser projetados como pórtico espacial com ligações semirrígidas entre vigas e pilares, aliados a sistemas de pisos que absorvem e distribuem os esforços horizontais para os demais elementos por efeito diafragma. Em edifícios multipavimentos a estrutura pode ser mais onerosa quanto maior o número de ligações entre elementos que concorrem no mesmo nó, para atender aos requisitos de estabilidade global.



Figura 66: Sistema estrutural em esqueleto com núcleo rígido (central) (Fonte: FIB, 2014)

A concepção da estrutura aporticada ou em esqueleto passa pelo lançamento das fundações, pilares, vigas e dos sistemas estruturais de pisos. A Figura 66 ilustra as seções transversais comuns utilizadas para os pilares pré-moldados. As dimensões usuais de pilares quadrados pré-moldados variam de 40×40 cm a 60×80 cm, possuem comprimentos que podem chegar até 30 m para estruturas aporticadas, sendo recomendável limitar à ordem de 20 m devido ao transporte e montagem. Em estruturas tipo esqueleto é mais comum o emprego de pilares curtos (entre pisos de um ou dois andares consecutivos) e em ambos os casos é mais comum o

emprego de pilares em concreto armado, para que não sejam submetidos a momentos fletores muito elevados.

As Figuras 67 e 68 ilustram detalhes de pilares vazados, com seção retangular e quadrada, indicando diferentes tipos de apoio para vigas (consolos), esperas de armadura, ligação viga-pilar, insertos e almofadas de apoio.

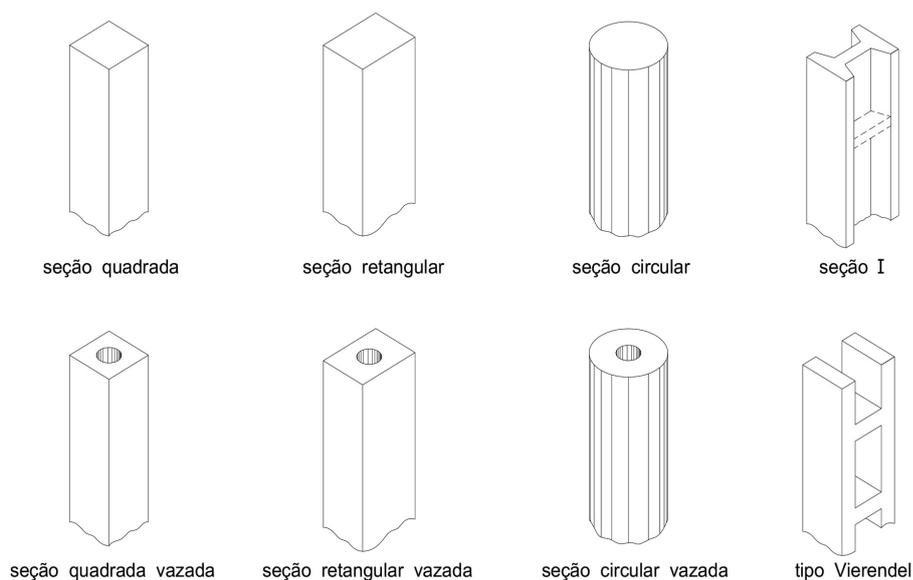


Figura 67: Seções transversais utilizadas em pilares pré-moldados (Fonte: El Debs, 2000)

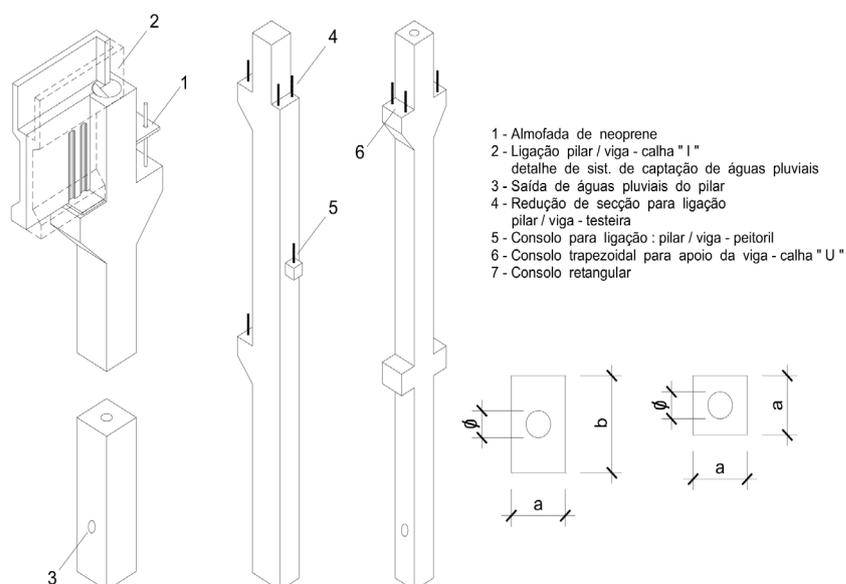


Figura 68: Características e elementos acessórios dos pilares de seção quadrada e retangular empregados no Brasil (Fonte: ABCIC apud El Debs, 2000)

As seções de vigas mais comuns empregadas em estruturas pré-moldadas são a retangular, seção I, seção T invertido (para apoio na aba das lajes) e seção L (para apoio nas extremidades de lajes pré-moldadas), entre outras, conforme as Figuras 69 e 70. Podem vencer vãos na ordem de 15 m (seção retangular) e de 10 a 35 m (seção I), em concreto protendido, porém também podem ser executadas em concreto armado para vãos menores. Em coberturas também podem ser adotadas vigas de altura variável e com seção em forma de calha para direcionamento das águas de chuva.

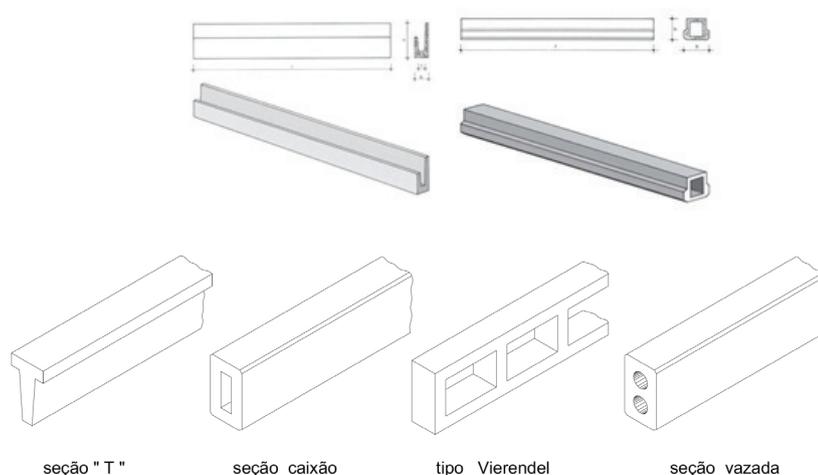


Figura 69: Seções típicas de vigas pré-moldadas de concreto (Fonte: El Debs, 2000)

No Brasil, há registro de estruturas integralmente pré-moldadas construídas em sistemas estruturais em esqueleto com até dez quinze andares e de edificações com alturas próximas a esse limite e mais altas construídas com sistema híbrido, combinando a estrutura pré-moldada com concreto moldado no local, como o Edifício Comercial Terra Firme em São José (SC) (Figura 71), o edifício Pátio Dom Luís em Fortaleza (CE) (Figura 72) e um edifício da Universidade Universo em Recife (PE) – 12 pavimentos em estrutura pré-fabricada (Figura 73). Na primeira obra, foi utilizado um sistema estrutural em esqueleto subdivido em estrutura contraventada e de contraventamento. O contraventamento foi conferido pelo núcleo rígido de elementos localizados na região da escada e elevadores e pelo efeito diafragma dos pisos compostos por lajes alveolares solidarizadas com as vigas por meio de detalhamento de armadura nas ligações e capeamento estrutural. Foram utilizadas vigas protendidas pré-moldadas

apoiadas em pilares moldados no local. Essa solução acarreta acréscimo de custos com as fundações, para absorver os esforços horizontais atuantes nos 14 pavimentos do edifício e detalhes especiais de solidarização dos elementos, porém proporciona rapidez e racionalização da construção entre os demais aspectos da estrutura pré-fabricada. De forma parecida foram concebidas as torres do empreendimento Pátio Dom Luís. A estrutura híbrida também é formada por vigas e lajes pré-fabricadas protendidas, pilares moldados no local e núcleo rígido de contraventamento na região das escadas e elevadores. As sacadas são pré-fabricadas.

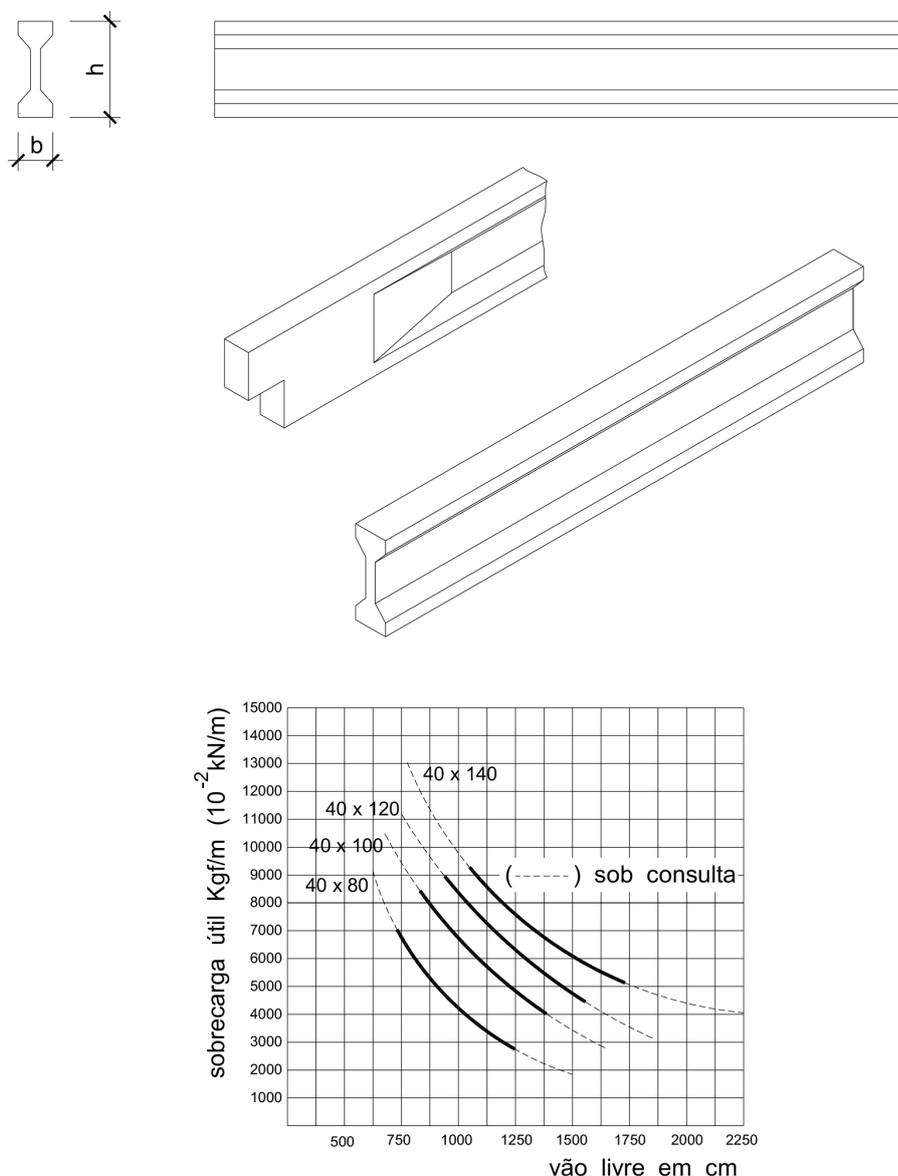


Figura 70: Sobrecarga \times vão livre para vigas de seção tipo I com as relações $b \times h$ mais comuns empregadas no Brasil (Fonte: ABCIC apud El Debs, 2000)



Figura 71: Obra do Edifício Comercial Terra Firme em São José (SC), com 14 pavimentos em sistema híbrido



Figura 72: Empreendimento Pátio Dom Luís em Fortaleza (CE), composta de vigas e lajes pré-fabricadas protendidas e pilares moldados no local e torres de 20 e 24 pavimentos



Figura 73: Obra da Universidade Universo em Recife (PE) – 12 pavimentos em estrutura pré-fabricada

8.4.1.3 Painéis portantes

Nesse sistema a estrutura é formada por painéis verticais portantes localizados nas extremidades (fachadas), que servem de apoio para os sistemas de piso. Como os painéis permitem que a estrutura tenha grandes vãos livres, a arquitetura tem disponibilidade para criar o projeto de acordo com as exigências do cliente, utilizando divisórias leves para definição da disposição interna, que pode ser facilmente modificada se necessário.

Esses sistemas são utilizados em conjuntos habitacionais, escritórios, hospitais e escolas (Figura 74).

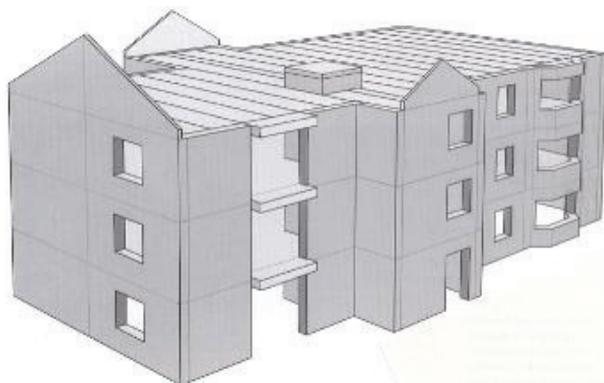


Figura 74: Sistema estrutural composto por painéis portantes (Fonte: FIB, CEB-FIP, 2002)

Também é possível a associação de sistemas estruturais em esqueleto com painéis portantes, como a utilização de paredes externas estruturais e estrutura interna em esqueleto (Figura 75).

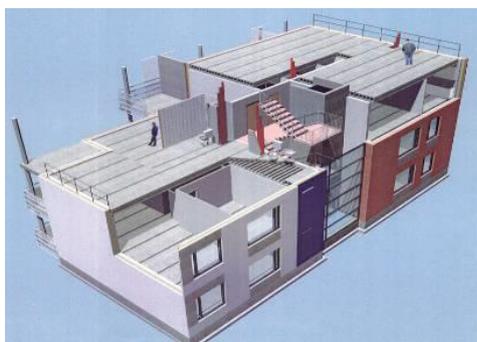


Figura 75: Sistema estrutural com painéis portantes e lajes alveolares protendidas (Fonte: FIB, CEB-FIP, 2002)

O edifício do condomínio Piemonte em Belo Horizonte/MG foi construído em sistema pré-moldado em canteiro, composto predominantemente por painéis estruturais de $2,8 \times 3,5$ m, com espessura de 10 e 12 cm para os painéis internos e externos, em ordem, e pré-lajes. O concreto de capeamento estrutural e de solidarização das lajes com os elementos de apoio confere a rigidez e estabilidade global do conjunto, no qual os esforços horizontais e verticais da edificação são transferidos para as fundações moldadas *in loco*. Cada andar do edifício foi montado em uma semana, totalizando 6 meses para o término da obra (Figura 76).



Figura 76: Montagem de painéis em edifício residencial – Condomínio Piemonte, em 2008 – Belo Horizonte (MG)

8.4.1.4 Sistemas estruturais para pisos

Os elementos pré-moldados para pisos fazem parte dos produtos pré-moldados mais antigos e foram inicialmente introduzidos nas estruturas de concreto moldadas *in loco*. Atualmente, os elementos pré-moldados para pisos também são utilizados extensivamente em estruturas mistas como as formadas pela combinação de estruturas metálicas, de estruturas de concreto moldado no local etc.

A escolha do sistema de pavimentos a ser utilizado varia para cada tipo de construção, condições de transporte e localização da obra, das facilidades de montagem (tecnologia, equipamentos disponíveis, custos e capacitação dos serviços e mão de obra), disponibilidade no mercado, requisitos de desempenho estrutural, cultura construtiva, entre outros. O mercado oferece grande variedade de sistemas estruturais de pisos e de coberturas pré-moldadas, destacando-se cinco tipos principais:

- Sistemas de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas;
- Sistemas de painéis com nervuras protendidas (seções T ou duplo T);
- Sistemas de painéis maciços de concreto;
- Sistemas de laje mista;
- Sistemas de laje com vigotas pré-moldadas.

8.4.2 Tipologias das faces inferiores dos elementos de laje

As faces inferiores dos elementos pré-moldados para lajes de piso podem ser nervuradas ou planas, lisas ou rugosas para revestimento, com ou sem isolamento térmico. Os elementos com nervuras aparentes inferiores oferecem a possibilidade do embutimento de dutos e tubos entre essas nervuras. No caso das lajes alveolares protendidas, com faces planas, o uso combinado da protensão com as nervuras internas possibilita melhor rendimento mecânico das lajes, isolamento térmico e acústico, porém as juntas longitudinais aparentes que se formam nas faces inferiores entre os elementos de lajes alveolares podem não ser aceitáveis pela arquitetura. No caso do emprego de lajes alveolares sem capeamento estrutural, elas podem ser revestidas na face inferior com uma camada de isolamento térmico em regiões mais frias e pisos elevados acima do solo sobre espaços abertos.

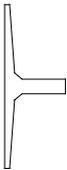
Os tipos e características dos elementos mais comuns de laje empregados encontram-se no Quadro 19. No Brasil são mais comumente empregadas as lajes alveolares protendidas em edificações comerciais e média carga, elementos de pré-laje em edifícios residenciais e residências, bem como as lajes com nervuras pré-moldadas no caso de vãos menores.

8.4.3 Fachadas de concreto pré-fabricado

Fachadas pré-fabricadas podem ser utilizadas em qualquer tipo de construção. Podem ser concebidas com elementos de painéis verticais portantes e/ou com painéis arquitetônicos. Os elementos de fachadas que possuem função estrutural têm também a função de vedação e decoração. Suportam as cargas verticais dos pavimentos e dos painéis superiores e dispensam uso de pilares nas bordas e de vigas de extremidade para apoio de pisos, podendo ser boa alternativa econômica. Outra vantagem da utilização de painéis estruturais consiste no fato de que a construção fica protegida internamente num estágio bastante inicial da obra.

As fachadas arquitetônicas de concreto são geralmente empregadas em combinação com as estruturas de esqueleto, onde a estrutura interna é composta de pilares e vigas. Nesse caso os painéis não estruturais de fachadas possuem funções de fechamento e de acabamento e são fixados na estrutura, que pode ser de concreto pré-moldado, concreto moldado no local ou metálica.

Quadro 19: Características dos elementos de laje segundo a fib (adaptado de El Debs, 2000)

TIPO DE ELEMENTO	TIPO DE EDIFÍCIO	VÃO MÁXIMO (M)	ALTURA (MM)	LARGURAS MAIS COMUNS (MM)	PESO POR UNIDADE DE ÁREA (KN/M ²)
 lajes alveolares não profundadas	Habitacional/ Comercial	≤ 9	100-300	300-2400	2,1-4,0
 lajes alveolares profundadas	Habitacional/ Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 20	100-500	1200-1250	2,0-4,8
 Lajes/painéis TT ou π	Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 24 (30)	200-800	1200-2400	2,1-5,0
 elementos de seção T	Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 30	600-1200	1500-5000	3,0-3,6
 elementos de seção U	Comercial/ Industrial	≤ 9	150-300	600	1,45-3,5
 elementos de seção U invertido	Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 20	200-700	1200	1,75-6,9
 elementos de pré-laje	Habitacional/ Comercial	≤ 7,2	100-200	600-2400	2,4-4,8
 lajes/painéis π ou TT invertidos	Habitacional/ Comercial	≤ 9	150-350	600-2400	1,0-3,0
 laje com nervuras pré-moldadas	Habitacional	≤ 7,2	200-300		1,8-2,4

No Brasil, a utilização especialmente de painéis arquitetônicos tem crescido nos últimos anos, podendo-se citar obras ícones como o edifício San Paolo, na Av. Faria Lima em São Paulo (SP) (Figura 77).



Figura 77: Edifício San Paolo – São Paulo (SP): (a) Fachada com elementos e painéis pré-fabricados arquitetônicos; (b) Elemento arquitetônico pré-fabricado que compõe o arco na entrada

É tendência mundial, em especial nos países de clima com frio intenso no inverno, a utilização de painéis sanduíche, constituídos por parede dupla e com materiais isolantes em seu interior, como o poliuretano expandido, que atuam como isolante térmico, fazendo que se reduza custos com sistemas de aquecimento no inverno e refrigeração no verão. No Brasil os sistemas de parede dupla, que permitem que o ar no seu interior cumpra a função de isolamento, já vêm sendo utilizados.

8.4.4 Fundações com elementos pré-fabricados

Elementos pré-fabricados também têm sido utilizados em sistemas de estruturas de fundações e podem ser usados em qualquer tipo de edificação ou obra de infraestrutura, o que dependerá não da viabilidade do uso da estrutura pré-fabricada mas das características geotécnicas do local onde será executado o empreendimento. Como fundação profunda em estacas pré-moldadas de concreto, entende-se o sistema formado pelo conjunto do elemento estrutural de estaca pré-moldada de concreto armado ou protendido, que pode ser vibrada ou centrifugada e o maciço de solo envolvente, ao longo do elemento e sob a base, com ampla faixa de capacidade de carga,

de 100 kN até 5000 kN, com dimensões da seção transversal variando entre 15 cm a 80 cm. Para esses elementos também estão previstas a realização de ensaios estáticos e dinâmicos conforme a ABNT NBR 6122:2010.

8.4.5 Sistemas celulares

As unidades celulares são algumas vezes utilizadas em algumas partes de construções, como os banheiros, cozinhas, garagens etc. Esse sistema é vantajoso, pois a fabricação é industrializada até o término, dando rapidez à obra, e os equipamentos celulares podem ser montados completamente em fábrica (Figura 78).

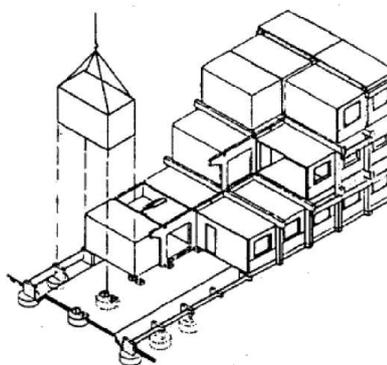


Figura 78: Esquema de construção com sistema celular (Fonte: FIB, CEB-FIP, 2004)

As estruturas pré-fabricadas de concreto compostas pelas possibilidades descritas a partir de suas tipologias se diferem das estruturas de concreto moldadas no local, por dois aspectos fundamentais, que devem estar previstos e considerados desde o projeto da estrutura, as ligações e as situações transitórias.

8.4.6 Sistemas de cobertura

Usualmente os sistemas em galpão adotam as telhas W protendidas de concreto pré-fabricado para maiores vãos (até 20 m). Podem ainda ser utilizadas coberturas metálicas, telhas zipadas, telhas onduladas e todos os tipos de cobertura disponíveis no mercado por causa da facilidade de interface que as estruturas pré-fabricadas de concreto propiciam. Em particular os sistemas com telhas W pré-fabricadas de concreto protendido para maiores vãos em conjunto com domos e telhas metálicas para

vão menores (Figuras 79 e 80, respectivamente) possibilitam a redução do consumo de energia elétrica por criarem iluminação natural.



Figura 79: Fábrica de estruturas pré-fabricadas de concreto, com cobertura em telhas W com domos, em produção das telhas W (pistas)



Figura 80: Cobertura com telhas metálicas para vãos menores

8.4.7 Projeto

Os procedimentos de projeto e detalhamento das estruturas pré-fabricadas de concreto estão previstos em capítulo específico da ABNT NBR 9062:2006. Adicionalmente neste item pretende-se ressaltar os aspectos das estruturas pré-fabricadas que diferem das considerações para estruturas de concreto convencionais, moldadas no local.

Nesse aspecto há que se enfatizar as situações transitórias da produção à montagem que são decorrentes da desforma, liberação da protensão (no caso das peças protendidas por pré-tração), manuseio, içamento, transporte e armazenamento dos elementos (Figuras 81 e 82).

O carregamento crítico dos elementos pré-fabricados frequentemente não é a situação permanente (de vida útil), mas a transitória que ocorre

durante a própria montagem da estrutura. Portanto, essas situações devem estar previstas em projeto e no planejamento de montagem da obra. Em sistemas estruturais de pisos também devem ser previstas outras condições transitórias como no caso de pré-lajes e lajes pré-moldadas que são montadas e depois submetidas ao peso do concreto fresco do capeamento estrutural.



Figura 81: Situações transitórias de projeto e fabricação – manuseio e içamento de viga pré-fabricada



Figura 82: Situações transitórias: armazenamento de lajes alveolares pré-fabricadas

Os esforços decorrentes do manuseio têm início durante a desmoldagem das peças na fábrica, onde são içadas em baixas idades, às vezes inferiores a 24 horas. É recomendável que as resistências das fases transitórias estejam especificadas em projeto ou que os procedimentos da indústria sejam validados pelo projetista estrutural para que as liberações na produção sejam orientadas por esses critérios.

O manuseio é feito para o posicionamento da peça em equipamentos de transporte até o local de estocagem, onde as peças são armazenadas até o envio para a obra. Na obra as peças são novamente manuseadas por equipamentos de içamento e montagem. Podem ser utilizadas alças de içamento posicionadas durante a moldagem do concreto, ou mesmo outros dispositivos ou equipamentos com garra para a retirada da forma e demais movimentações até a colocação das peças na posição final na obra. A Figura 83 mostra um exemplo de montagem de pilares em obra.



Figura 83: Situações transitórias – içamento de pilares pré-fabricados durante a montagem

Na determinação das juntas, devem ser previstas em projeto as inevitáveis discrepâncias entre as medidas previstas e as medidas reais, por questões básicas de montagem. A ABNT NBR 9062 – item 3.2.2 e o Selo de Excelência ABCIC definem e apresentam critérios de folgas, tolerâncias de fabricação e tolerâncias de montagem.

Quando se desenvolve um projeto em estruturas pré-fabricadas de concreto é necessário levar em conta sua otimização, o que será determinante para a viabilidade de execução. O ideal seria que o projeto da estrutura pré-fabricada fosse concebido já na sua arquitetura para esse sistema construtivo. No entanto, na prática se verifica que muitas vezes o projeto de arquitetura é concebido para uma estrutura convencional, moldada no local, e posteriormente é convertido para o pré-fabricado, o que nem sempre leva ao máximo potencial que o sistema apresenta.

Os aspectos fundamentais em relação ao projeto de viabilidade de estruturas pré-fabricadas, que estão mais relacionados com o projeto propriamente dito, dizem respeito à modulação e conseqüente repetição de peças, o que reduz o custo de produção pela produtividade. Além disso, é fundamental a construtibilidade e logística da obra que envolvem a definição dos acessos, limites de comprimento de peças, ângulo para movimentação de guindastes e demais equipamentos, entre outros. Deve-se buscar o máximo possível repetir vãos de mesma ordem de grandeza ao limite de não inviabilizar a arquitetura. E também buscar reduzir e simplificar ao máximo as ligações, mantendo-se a eficiência da estrutura e minimizando prazos de execução.

Já as ligações ou conexões têm a função de conectar os elementos de uma estrutura pré-moldada e são fundamentais no desempenho estrutural

da mesma. Devem resistir aos esforços devido às ações consideradas em projeto, sendo capazes de se acomodar nos movimentos e deformações previstos, para garantir o bom funcionamento da estrutura.

O projeto de uma ligação é função tanto dos elementos estruturais quanto dos mecanismos de transmissão de forças nas interfaces entre esses elementos. Além das considerações dos esforços a serem transmitidos pela ligação, é importante no seu projeto as verificações das situações transitórias, devendo-se levar em conta as tolerâncias de fabricação e de montagem dos elementos. Consideram-se como situações transitórias as etapas intermediárias entre a produção e a montagem efetiva dos elementos após a execução das ligações (desmoldagem, movimentação, transporte e montagem). Também devem ser previstas acomodações da ligação, até que atinjam sua capacidade resistente de projeto. A Figura 84 apresenta uma perspectiva esquemática contendo exemplos de ligações que são utilizadas em estruturas pré-fabricadas, sendo de cima para baixo: ligação de laje alveolar – viga I, viga I – pilar e viga de fechamento-consolo.



Figura 84: Esquema de ligações típicas de estruturas pré-fabricadas (Fonte: FIB, CEB-FIP, 2002)

8.4.8 Montagem

Planejar a montagem de uma obra pré-fabricada é uma atividade essencial e, sempre que possível, deve anteceder a própria elaboração do projeto visando à sua otimização. Ou seja, a análise das condições do terreno em que determinada estrutura em pré-fabricado será montada é parte determinante para a sua viabilidade e as condições em que ocorrerá devem ser também consideradas como dados de entrada de projeto.

A qualificação dos profissionais envolvidos na montagem, considerando principalmente a experiência, é pré-requisito para o planejamento. De forma geral, as estruturas são montadas pelas próprias empresas produtoras da estrutura pré-fabricada.

O planejamento é antes de tudo uma ação que visa prevenir situações que possam afetar a segurança dos envolvidos, a integridade da estrutura e o cronograma proposto.

Na montagem das estruturas pré-fabricadas de concreto se aplica o disposto no item 8 deste Manual.

8.4.9 Normalização e processos de certificação

As normas técnicas aplicáveis às estruturas pré-fabricadas de concreto estão relacionadas a seguir. Adicionalmente o setor possui um programa de certificação chamado “Selo de Excelência ABCIC”, independente e avaliado por um organismo de terceira parte: o IFBQ (Instituto Falcão Bauer da Qualidade). Os regulamentos e procedimentos aplicáveis podem ser acessados através do site www.abcic.org.br

ABNT NBR 9062:2006 Projeto e execução de estruturas pré-moldadas de concreto. É considerada como a norma principal das estruturas pré-moldadas de concreto, incluindo requisitos para pré-moldados de canteiro e fábrica. Essa norma foi recentemente revisada, por sua respectiva comissão de estudos no âmbito da Associação Brasileira de Normas Técnicas, passando a incorporar outras melhorias e atualizações referentes à questão de resistência ao fogo, de forma específica para as estruturas pré-moldadas, conforme já havia sido previsto na última revisão da NBR 15200: 2012 Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, aplicável até que a NBR 9062 em sua nova versão seja publicada pela ABNT. O concreto, devido às propriedades inerentes ao próprio material composto por materiais inertes como cimento e agregados, não combustível e com baixa taxa de transferência de calor e índice de propagação, na maioria dos casos não necessita de nenhuma proteção ou medida de projeto adicional. Por essa razão também não há risco de emissão de fumaça tóxica, caso venha a ser afetado pelo fogo.

A versão anterior à vigente da NBR 9062 datava de 1985. Após a consulta nacional da recente revisão, será publicada pela ABNT a versão 2016 da ABNT NBR 9062.

Adicionalmente, a partir de 2009 entendeu-se que, além da norma de estruturas pré-moldadas de concreto, aplicável de forma geral aos elementos pré-moldados e pré-fabricados, devido à diversidade de tipologias, ou maior tecnologia aplicada à produção, normas específicas para os produtos Lajes Alveolares, Estacas e Painéis deveriam ser elaboradas, dando origem então às normas indicadas: ABNT NBR 14861:2011 Lajes alveolares protendidas pré-moldadas de concreto e ABNT NBR 16258:2014 Estacas pré-fabricadas de concreto.

Quanto à norma de painéis que em breve entrará em consulta nacional, seu texto foi finalizado recentemente e encaminhado à ABNT como Projeto de Norma PN 18.600.01 painéis de parede de concreto pré-moldado – requisitos e procedimentos.

Em relação aos requisitos de qualificação de pessoal, se aplica a parte 3 da ABNT NBR 15146 Qualificação de pessoal destinado ao controle tecnológico do concreto, destinada aos profissionais da indústria do concreto pré-fabricado. Sendo possível para a indústria, não só o atendimento dessa norma, mas também a certificação de pessoal atualmente conduzida pelo NQCP, Núcleo de Qualificação e Certificação Pessoal, do IBRACON Instituto Brasileiro do Concreto devidamente acreditado pelo INMETRO.

O atendimento à ABNT NBR-15575 Desempenho de edificações, aplicável às edificações habitacionais está contemplado pelo Sistema de Avaliações Técnicas (SiNAT) no âmbito do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), tendo sido já emitidos os Documentos de Avaliação Técnica (DATecs) para sistemas distintos, um deles composto por estrutura reticulada de lajes, pilares e vigas, tendo como elementos de vedação painéis pré-fabricados mistos de concreto e alvenaria cerâmica sem função estrutural (DATec 12 PRECON ENGENHARIA) e outro em sistemas de painéis nervurados (DATec 24 DPB). Ambos podem ser consultados pelo link: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php

8.4.10 Outros exemplos de estruturas pré-fabricadas

As estruturas pré-fabricadas de concreto, já consagradas em usos industriais, centros de distribuição e logística, obras industriais e shopping centers (Figura 85), tiveram nos últimos anos crescimento expressivo em aplicações em obras de infraestrutura viária e mobilidade urbana (Figura

86). Os sistemas construtivos industrializados têm amplo potencial de crescimento e desenvolvimento no Brasil de forma isolada ou em combinação com outros sistemas, compondo alternativas híbridas (Figura 87).



Figura 85: Shopping Rio Mar Recife



Figura 86: Complexo do Itaguaí no estado do Rio de Janeiro, composto por uma ponte ferroviária, uma ponte e dois viadutos rodoviários, todos em estrutura pré-fabricada de concreto



Figura 87: Terminal rodoviário urbano de integração do BRT de Belo Horizonte, em estrutura híbrida, pilares pré-fabricados de concreto e cobertura metálica

8.5 Sistema construtivo industrializado em wood frame

O sistema construtivo wood frame aplicado no Brasil é derivado de uma evolução dos sistemas leves em madeira. Essa evolução, do uso de peças longas para peças curtas foi impulsionada na Idade Média com o Sistema Enxaimel, muito utilizado no Brasil em regiões de colonização alemã, como no estado de Santa Catarina. Os imigrantes europeus levaram a técnica da construção em madeira para a América do Norte, onde, durante a Revolução industrial, o sistema evoluiu para os Sistemas Nervurados. Em 1833, o Sistema Balão foi criado nos Estados Unidos, onde a seção transversal das peças de madeira foi reduzida, e no fechamento das paredes eram utilizadas tábuas de madeira que contribuíam para a rigidez estrutural do conjunto. Nesse sistema, as peças delgadas eram pouco espaçadas e iam de forma contínua desde a fundação até o telhado. Por volta de 1920, o Sistema Balão evoluiu para o Sistema Plataforma, no qual peças curtas eram utilizadas no lugar de peças longas de madeira. Esse sistema nervurado, composto de planos horizontais formando o piso de cada pavimento, sobre os quais são sobrepostos os planos verticais formando as paredes, permitiu que a logística e a montagem das edificações fosse facilitada, além de tornar o uso de madeiras mais jovens viável. Salienta-se também que o Sistema Plataforma (Figura 88) sobrepujou o Sistema Balão por apresentar um melhor desempenho em relação ao fogo.

Após a Segunda Guerra Mundial, surgiram as treliças pré-fabricadas para telhados, que utilizavam conectores metálicos estampados, o

que levou a construção civil para a escala industrial. A partir de 1960, os painéis de parede produzidos em fábrica deram início aos Sistemas Panelizados, de onde surgiram as casas modulares e posteriormente as casas industrializadas (DIAS, 2005; VELLOSO, 2010).



Figura 88: Perspectiva dos subsistemas que compõem a edificação construída no Sistema Plataforma (Fonte: Velloso, 2010)

O sistema construtivo wood frame brasileiro é o produto de um processo industrializado de fabricação de painéis estruturais para a montagem de edificações, sendo sua principal matéria-prima a madeira proveniente de florestas plantadas. No Brasil, no início do século XXI, houve experiências com o wood frame em iniciativas acadêmicas com parceria de algumas empresas ligadas à cadeia da madeira. Porém, considera-se como marco o ano de 2010, quando a Comissão Casa Inteligente foi fundada em Curitiba, Paraná, dentro da FIEP – Federação das Indústrias do Paraná – para abrigar uma comissão formada por empresas, pesquisadores e fornecedores ligados ao sistema wood frame. A demanda do setor da construção civil, que possui proporções impactantes e, ainda assim, com processos artesanais, inspirou a Casa Inteligente a buscar soluções tecnológicas na Alemanha, mais especificamente em Baden-Württemberg, que pudessem ser adequadas às necessidades da sociedade brasileira, assim como passíveis de adaptação aos materiais e à mão de obra nacional. A concepção do wood frame a ser aplicado no Brasil passou pela industrialização das atividades construtivas, visando à racionalização, eficiência, produtividade e qualidade.

Em 2010, o Gerente de Engenharia de Produto da Tecverde, uma das empresas membro da Casa Inteligente recebeu treinamento na Alemanha e no Brasil através das duas principais empresas de consultoria alemãs para projeto em wood frame, Baumeister & Sapper e Sema-soft. Uma

das primeiras constatações foi a importância da correta representação dos elementos e dos componentes em wood frame nos projetos arquitetônicos e verificou-se que, conforme ocorria na Alemanha e em outros países onde o wood frame é um sistema convencional de construção, os projetos arquitetônicos necessitam ser pensados à luz do sistema construtivo a ser aplicado. Essa questão se apresentou como desafio no Brasil, um local onde a cultura arquitetônica e as soluções técnicas são voltadas para a aplicação da alvenaria e concreto.

Nacionalmente, por se tratar de um sistema inovador, o sistema wood frame teve que passar por um processo de avaliação de normas técnicas internacionais, estudo de processos e do produto final, entre a Casa Inteligente e o IPT, que culminou com o desenvolvimento da Diretriz SiNAT 005 (2011). O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT) é uma iniciativa da comunidade técnica brasileira para operacionalizar a avaliação de produtos inovadores na construção civil brasileira. Para um produto inovador ser aprovado pelo SiNAT, precisa apresentar um Documento de Avaliação Técnica (DATec) que deve ser redigido por uma Instituição Técnica Avaliadora (ITA) que indica o atendimento do sistema às normas nacionais e cumprimento dos requisitos de desempenho.

Após o desenvolvimento da tecnologia wood frame para Habitações de Interesse Social em 2012, o sistema foi homologado no Ministério das Cidades em 2013 (DATec 020 Sistema Construtivo Tecverde), ambos documentos ilustrados na Figura 89.



Figura 89: Diretriz SiNAT 005 e DATec 020

A empresa alemã Homag-Weinmann auxiliou na industrialização do processo em 2010, para fomentar a implantação da primeira fábrica de wood frame no município de Pinhais, Região Metropolitana de Curitiba, com 400 m². Na fase inicial, a equipe de produção era composta por seis

funcionários e eram produzidos apenas painéis abertos, sendo a produtividade de 80 m²/dia. A segunda fábrica de wood frame foi instalada em 2012 no município de Pelotas (RS) em parceria com a construtora Roberto Ferreira, em um espaço de 1.600 m². A unidade industrial foi planejada para a produção do Residencial Haragano (270 sobrados de 47 m² e 10 casas térreas com previsão de acessibilidade e preparadas para receber deficientes visuais). A produção das casas foi realizada em um prazo até 6 vezes menor em relação à construção convencional.

O wood frame não impulsiona apenas o setor da construção civil, mas todo o setor ligado à indústria da madeira e seus derivados. Somente em 2012, segundo a ABIMCI, as indústrias de base florestal e a de madeira processada mecanicamente foram responsáveis por 2,5% dos empregos gerados no Brasil e por um superávit de 43,5% do total do país. Ações como o desenvolvimento da tecnologia em que é baseado o wood frame nacional estimulam o aumento do uso da madeira, e também cobram por produtos certificados e normalizados, com maior valor agregado, de modo a atender à demanda nacional por moradias com velocidade, custo competitivo e ganho em escala.

8.5.1 Descrição do sistema

Atualmente, nos Estados Unidos e Canadá, o sistema wood frame é construído a partir das técnicas do Sistema Plataforma. Este pode ser aplicado em quatro formas: kits pré-cortados, *panelized homes*, *modular homes* e *manufactured home*. As casas montadas a partir de kits pré-cortados são a forma mais tradicional e artesanal de construção, caso em que toda a estrutura da casa é montada diretamente no canteiro de obras. As *panelized homes* respondem pela maior parte das edificações norte-americanas, país onde são utilizados componentes industrializados, como painéis de parede e treliças industrializadas, o que garante maior valor agregado e confiabilidade do produto. No caso das *modular homes*, estas são uma evolução das casas panelizadas, caso em que são fabricados módulos tridimensionais, com esquadrias já instaladas e instalações já embutidas. No caso da *manufactured home*, também conhecida como *mobile home*, esta é transportada pronta para o canteiro de obras e instalada sobre um chassi metálico (VELLOSO, 2010).

Dias (2005) expõe que a madeira apresenta características próprias e propriedades físicas e mecânicas que a qualificam como material capaz

de prover edificações seguras, confortáveis, duráveis e com grande versatilidade de estilos e soluções para os espaços construídos. Segundo Velloso (2010), os sistemas construtivos leves em madeira, especialmente o Sistema Plataforma, já são consagrados em países europeus, no Japão, Canadá e Estados Unidos e empregam técnicas que evoluíram ao longo do tempo e hoje são capazes de oferecer vantagens que vão além da pré-fabricação e conseqüentemente redução da mão de obra na execução.

O setor da construção em madeira japonês é o segundo maior do mundo, ficando apenas atrás do norte-americano. Salienta-se que este fato é ainda mais surpreendente devido à população japonesa contar com metade da população, o que torna o mercado japonês o maior consumidor de materiais para construção em madeira no mundo (AWC, 2008 apud VELLOSO, 2010).

O wood frame, segundo a Diretriz SiNAT 005 (2011), é um sistema construtivo estruturado por peças de madeira maciça serrada com fechamento em chapas delgadas. Os componentes de fechamento externo podem ser constituídos de chapas delgadas tipo OSB, de chapas de madeira compensada, outras chapas de madeira ou chapa cimentícia. Os mesmos elementos podem ser aplicados para fechamentos internos, juntamente com as chapas de gesso acartonado para *drywall*. A madeira deve ser de origem legal, proveniente de florestas plantadas ou florestas nativas, com desmatamento ou manejo florestal aprovado pelo IBAMA.

A Figura 90 ilustra um painel multicamadas no sistema wood frame executado no Brasil. Este segue um dos possíveis modelos apresentados na Diretriz SiNAT 005 (2011).



Figura 90: Painel multicamadas no sistema wood frame (Fonte: Tecverde, 2015)

A fundação do sistema wood frame é convencionalmente executada em sistema radier de concreto, sendo simplificada devido ao baixo peso dos componentes do sistema. Além do tratamento químico com função de preservação para as madeiras de florestas plantadas, todas as peças de madeira ficam envoltas por chapas e membranas. A membrana hidrófuga que vai na face externa sobre o OSB possui a função de controlar a umidade e o vapor que atingem a habitação. Ela impede que o vapor e a umidade externa entrem nos painéis e possibilita que o vapor e a umidade interna sejam liberados, permitindo a respiração da habitação. Após a membrana são utilizadas placas cimentícias e textura, garantindo o acabamento e a durabilidade do sistema.

Na Figura 91 é possível observar o uso do OSB (*Oriented Strand Board* – placa estrutural feita de derivados de madeira) nas faces do painel, como opção de contraventamento da estrutura.



Figura 91: Vista de uma habitação de alto padrão executada em wood frame no Brasil

Inicialmente, o wood frame produzido nacionalmente foi desenvolvido para se trabalhar com Painéis Abertos, ou seja, eles eram compostos pelos Montantes de Pinus + OSB + Membrana Hidrófuga + Placa Cimentícia. Depois de serem produzidos em ambiente fabril, os painéis eram levados para o canteiro de obras para o processo de montagem. Durante esse processo de colocação dos Painéis Abertos, o objetivo era encapsular a casa no menor tempo possível, ou seja, montar os Painéis no Radier e colocar a Cobertura. Depois desse processo, eram realizadas as instalações elétricas e hidráulicas em campo e preparavam-se as chapas de OSB (marcações conforme as prumadas, seguidas de recorte) para se realizar o chapeamento. Concluída essa etapa, eram colocadas as placas de gesso acartonado.

A partir de 2013, foi desenvolvido o sistema de Painéis Fechados, ou seja, em ambiente fabril o painel é produzido com todos os elementos das camadas, incluindo a parte elétrica e hidráulica interna, e no canteiro eram feitos apenas os arremates finais, ou seja, as paredes vão para obra pronta para pintura. Os Painéis Fechados já são enviados com os contramarcos e hidráulica e elétrica completas, ou seja, prontos para o acabamento final. Essa inovação gera muitos benefícios, além de um menor tempo de obra, podendo ser ressaltado: controle sobre as atividades dentro da fábrica, redução do uso de mão de obra intensiva no canteiro (o que reduz os custos, uma vez que a maioria das HIS é produzida em locais isolados, de difícil acesso), redução na quantidade de insumos enviados para a obra (o que reduz a quantidade de materiais controlados em obra e torna o processo logístico menos complexo), aumento na qualidade do produto final e redução dos riscos em relação ao prazo de obra, pois o processo todo é menos sujeito a intempéries.

Em 2014, foi implantada no município de Araucária, região metropolitana de Curitiba, uma nova fábrica de produção de wood frame, sendo esta a unidade industrial de pré-fabricação de sistemas construtivos mais automatizada da América Latina (Figura 92).



Figura 92: Linha automatizada de produção de painéis wood frame em Araucária (PR)

A industrialização e a utilização de sistema construtivo a seco e modular permitem a redução de até 90% dos resíduos sólidos produzidos em termos de metro quadrado construído. Um dos efeitos colaterais gerados pela tecnologia utilizada no produto tem como externalidade positiva a diminuição na emissão de gases de efeito estufa, em especial o carbono, durante o processo de beneficiamento dos insumos e da produção e montagem das habitações, em relação ao sistema convencional. A utilização de madeira de florestas plantadas, provenientes de um reflorestamento de manejo mais sustentável, fomentam um sistema baseado em recursos renováveis. Além disso, como parâmetros de sustentabilidade ambiental, podemos verificar a questão do consumo de recursos hídricos e energéticos e a geração de resíduos sólidos.

O wood frame é considerado um sistema construtivo seco, com baixo consumo de recursos hídricos e o ótimo desempenho térmico da habitação associado ao baixo consumo de energia no processo produtivo e construtivo, bem como após a ocupação do imóvel. Isso faz dele uma opção energeticamente mais eficiente. Ressalta-se que o produto promove um canteiro e obra de baixo impacto ambiental e o reuso de materiais. Devido ao processo industrializado mais eficiente, racionaliza-se a

utilização de recursos e por isso possuímos um baixo índice de desperdício de materiais.

Ressalta-se ainda que, além da diminuição nos custos, no tempo e no aumento da qualidade da habitação, a simples opção pelo Sistema Construtivo Tecverde acarreta no atendimento automático de 10 itens do Selo Casa Azul: Desempenho Térmico – Vedações; Iluminação Natural de Áreas Comuns; Ventilação e Iluminação Natural de Banheiros; Coordenação Modular; Qualidade de Materiais e Componentes; Componentes Industrializados ou Pré-Fabricados; Formas e Escoras Reutilizáveis; Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD); Concreto com Dosagem Otimizada e Madeira Plantada ou Certificada.

8.5.2 Tipologias construtivas

Até o momento, já foram construídos no Brasil mais de 40.000 m² no sistema wood frame, o que representa um avanço nas construções em madeira industrializadas brasileiras, atendendo a diversas tipologias, entre essas, foram contratados e entregues mais de 500 unidades no programa MCMV. O wood frame já foi aplicado em edificações residenciais térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas e em condomínios horizontais), atendendo a essa tipologia de Habitações de Interesse Social.

A Figura 93 ilustra o Residencial Haragano, condomínio composto por 280 casas construídas totalmente em wood frame. O Residencial Haragano foi o primeiro condomínio construído em wood frame e entregue para o programa habitacional governamental MCMV, atendendo ao público da Faixa 1, composto por famílias com renda de até R\$1.600,00.



Figura 93: Residencial Haragano, Pelotas (RS)

Junto com o Residencial Haragano, o município de Pelotas também recebeu a escola ilustrada na Figura 94. Por se tratar de um sistema que atende a todos os requisitos da Norma de Desempenho, a estratégia de utilizá-lo em unidades educacionais propicia ao aluno um ambiente com conforto térmico e acústico comprovado, o que vai ao encontro do princípio que espaços escolares devem atender a diversos critérios para promover a formação do aluno.



Figura 94: Escola entregue para a prefeitura de Pelotas (RS)

Para edificações fora do MCMV, já são construídas residências e edificações institucionais para 3 e 4 pavimentos, sem limitação de área construída, com vãos livres de até 12 m, sendo estes vencidos com o auxílio de vigas metálicas ou madeira laminada colada (MLC), um produto de madeira para estruturas, conforme ilustrado na Figura 95, onde foi aplicado no Núcleo Senai de Sustentabilidade, edificação premiada em 2014 no RCE Awards/Unesco na categoria *Community Mobilising Local Innovations for Sustainable Development*. O prêmio concedido pela Universidade das Nações Unidas (UNU-IAS) reconhece projetos de destaque na área da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (Figura 96).



Figura 95: Uso de MLC aparente no Núcleo Senai de Sustentabilidade, Curitiba/Paraná



Figura 96: Núcleo Senai de Sustentabilidade – construído em wood frame e ganhador do prêmio RCE Awards/Unesco na categoria *Community Mobilising Local Innovations for Sustainable Development*

O wood frame aplicado no Brasil se adaptou tanto ao público do MCMV quanto ao público de casas de médio e alto padrão. A Figura 97 ilustra uma residência de alto padrão construída em Curitiba que conta com geração própria de energia.



Figura 97: Habitação de alto padrão em Curitiba (PR) com geração própria de energia

Até o momento, o wood frame teve sua aplicação concentrada em residências, edificações educacionais, institucionais e comerciais. Porém a flexibilidade do sistema o torna aplicável em diversas outras tipologias, que dependem da classificação de uso. Importante também salientar que o sistema pode ser compatibilizado com outros sistemas construtivos, como a Alvenaria Convencional e/ou Steel Frame, caracterizando habitações com tipologias mistas.

Ainda não foram construídos prédios em wood frame no Brasil, porém estudos já realizados demonstram que não apenas são viáveis para o cenário nacional, como é uma tendência sua adoção nos próximos anos, visto que a escassez de habitações a preços acessíveis é um problema compartilhado mundialmente por todas as grandes cidades industrializadas, uma vez que a valorização dos terrenos e o aumento dos custos com a construção civil afetam diretamente as habitações de interesse social. Edifícios multifamiliares de três a cinco andares construídos no sistema construtivo wood frame são uma alternativa para ofertar ao mercado uma habitação econômica pela sua velocidade de construção e os baixos custos com os materiais. Segundo Molina e Calil Júnior (2010), o sistema wood frame permite a construção de edificações de até cinco pavimentos, e os autores ainda ressaltam o paradoxo que é a dificuldade de se utilizar a madeira como solução para a construção de edificações no Brasil, uma vez que a indústria do reflorestamento nacional é uma das mais competitivas do mundo e existe uma enorme disponibilidade de áreas de reflorestamento no país. Edificações

multifamiliares de até cinco pavimentos são comumente utilizadas em países da América do Norte e Europa (Figura 98).



Figura 98: Edificações multifamiliares em wood frame na América do Norte

8.5.3 Normalização

As normas técnicas aplicáveis ao sistema wood frame estão a seguir relacionadas:

ABNT NBR 7190-1997 – Projeto de estruturas de madeira;

Diretriz SiNAT 005 – Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”);

EN 1995-1-1:2004 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings;

EN 1995-1-2:200 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design;

O atendimento à ABNT NBR-15575 – Norma de Desempenho de Edificações, em conjunto com as normas listadas anteriormente é fundamental, gerando como produto a DATec 020 (Sistema construtivo Tecverde: “Sistema leve em madeira”), contemplada pelo SiNAT.

9. Exemplo de sistema racionalizado

Com a finalidade de aumentar a produtividade no processo de produção das edificações, racionalizar as etapas de construção, diminuir desperdícios de materiais e ainda reduzir capital econômico e humano, desenvolveu-se o sistema construtivo de painéis pré-moldados compostos por blocos cerâmicos e concreto armado, que consiste em painéis estruturados e autoportantes confeccionados com blocos cerâmicos e

estruturados com nervuras de reforço em concreto armado. As instalações hidráulicas e sanitárias podem ser internas, realizadas durante o processo produtivo, ou externas e protegidas por meio de shafts, executadas na própria obra. Os sistemas que compõem os shafts precisam ter seu desempenho avaliado conforme normas pertinentes. Instalações aparentes devem atender à norma ABNT NBR 15575-6. A colocação das esquadrias de portas e janelas também é realizada durante o processo produtivo, assim como a aplicação da argamassa em ambas as faces.

Os painéis já saem da linha de produção prontos para serem montados. A produção dos painéis pode ser realizada em fábrica ou em unidade fabril montada no canteiro de obras (Figura 99). Basicamente, todos os painéis apresentam o mesmo modelo construtivo, sendo pré-fabricados na posição horizontal por meio de formas metálicas, conforme a Figura 100. Para o transporte e a montagem dos painéis em obra utiliza-se caminhão guindauto (tipo “munck”) ou guindaste.



Figura 99: Processo de fabricação no canteiro de obras. (Fonte: Olé Casas, 2015)



Figura 100: Modulação dos blocos cerâmicos com esquadria para concretagem. (Fonte: DATec Jet Casa N 008-A, 2014)

De acordo com o Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT), atualmente no país existem quatro fabricantes de sistemas construtivos de painéis pré-moldados compostos por blocos cerâmicos e concreto armado que possuem o DATec (Documento Técnico de Avaliação), dos quais três possuem função de vedação e estrutural, e um apenas de vedação. Esses painéis estão vinculados à Diretriz SiNAT nº 002, que baliza as produções inovadoras em painéis estruturais pré-moldados. Durante o período de validade do DATec são realizadas auditorias técnicas nas empresas detentoras da tecnologia a cada seis meses para verificação dos controles realizados no processo de produção e no produto final, incluindo

análise dos resultados históricos do controle tecnológico dos materiais e componentes do sistema construtivo.

9.1 Histórico

O uso de painéis pré-fabricados iniciou com a revolução industrial, primeiramente com os painéis metálicos; contudo, foi principalmente a partir dos anos 1950 que aconteceram pesquisas buscando o desenvolvimento de painéis de vedação para viabilizar a sua utilização (ZANONI; SÁNCHEZ, 2012).

Precedida apenas pela pedra e pela madeira, a cerâmica vermelha como material para construção é empregada pela humanidade há milhares de anos por ser um material natural, produzido a partir dos quatro elementos da natureza (terra, ar, fogo e água), não utiliza aditivos insalubres aos ocupantes dos imóveis e ao meio ambiente e ainda proporciona conforto ambiental para o usuário. Em 1984, Joan Villà iniciou no Brasil o desenvolvimento de pesquisas, no Laboratório de Habitação da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), com painéis de blocos cerâmicos como caminho para a industrialização da construção em habitações sociais. Segundo Dualibi (2013), entre 1986 e 1987, Joan Villà concretizou o primeiro e o segundo protótipo utilizando o sistema: uma casa térrea de 40 m² (Figura 101) e outra casa de 60 m² já com dois pavimentos e contendo também painéis de escada pré-moldada. Devido à exposição na mídia, o sistema ganhou visibilidade por causa de sua qualidade, celeridade de execução e o baixo custo do sistema, fazendo que após a execução dos primeiros protótipos, o Laboratório passasse a executar uma série de obras públicas empregando o sistema desenvolvido pelo Laboratório da Habitação da Unicamp, transformando aos poucos o Laboratório em um escritório de arquitetura.

Mais tarde, os painéis com blocos cerâmicos ganharam ênfase em escala industrial, principalmente no final da década de 1990, a partir da necessidade de aumentar a produtividade, qualidade e controle, reduzir desperdícios e mão de obra e utilizar equipamentos especiais, sem abrir mão do uso de materiais consagrados pelo mercado e pelo consumidor, como a cerâmica, empregada em cerca de 90% das residências brasileiras.



Figura 101: Primeira habitação experimental utilizando o painel cerâmico, na Unicamp, em 1986. (Fonte: Dualib, 2013)

9.2 Tipologias

A família de painéis pré-moldados compostos por blocos cerâmicos e concreto armado pode ser classificada, basicamente, em painéis de parede com função estrutural e vedação, e painéis de parede com apenas a função de vedação. É fundamental que os blocos cerâmicos, bem como os demais componentes, estejam qualificados através dos Programas Setoriais da Qualidade (PSQs), que é um instrumento do Governo Federal no âmbito do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), integrado à Secretaria Nacional de Habitação do Ministério das Cidades. O objetivo geral dos PSQs é elevar os patamares da qualidade e produtividade da construção civil, por meio de mecanismos de modernização tecnológica e gerencial, contribuindo para ampliar o acesso à moradia, em especial para a população de menor renda. A Associação Nacional da Indústria Cerâmica (Anicer) é a entidade mantenedora dos Programas Setoriais da Qualidade de blocos e telhas cerâmicas, que promove essa articulação no âmbito do PSQ, desenvolvendo ações que visam ao desenvolvimento tecnológico do setor e ao combate da produção em não conformidade com as Normas Técnicas pertinentes, observadas as diretrizes do PBQP-H.

Conforme DATec aprovado pelo SiNAT, esses painéis são destinados à construção de casas térreas unifamiliares e sobrados (isolados ou geminados), casas sobrepostas e ainda edifícios habitacionais de dois pavimentos (térreo e superior), desde que as lajes de piso intermediárias atendam à normalização brasileira e respeitem as cargas atuantes nos painéis

consideradas na avaliação do DATec. O sistema construtivo, de acordo com o DATec nº 012-A, pode ser destinado ainda à execução de paredes sem função estrutural em edificações habitacionais multifamiliares de até oito pavimentos. O Quadro 20 apresenta condições e limitações de uso dos painéis de acordo com o respectivo DATec de cada fabricante detentor da tecnologia – vale ressaltar que para outros projetos recomenda-se a elaboração de análises específicas.

No item 9.3, que segue, temos os Quadros 21 e 22, que trazem o resumo dos sistemas construtivos de painéis pré-moldados compostos por blocos cerâmicos e de concreto armado em aplicações estruturais autoportantes para fundação, vedação e cobertura.

Quadro 20: Condições e limitações de uso. Fonte: Adaptado de PBQP-H, 2014.

CONDIÇÕES E LIMITAÇÕES DE USO				
DATec	Tipologias aplicáveis	Restrições estruturais	Classes de agressividade ambiental*	Zona bioclimática**
Nº 008-A Painéis JETCASA pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes	Casas térreas e sobrados, isolados e geminados.	As paredes são estruturais, portanto não poderão ser removidas, mesmo que parcialmente, nem ampliadas verticalmente sem que sejam previamente acordadas formalmente com a empresa detentora da tecnologia, bem como qualquer outra modificação em paredes e lajes, como abertura de vãos e rasgos para instalações hidráulicas e/ou elétricas. Os cuidados na utilização constam do Manual de Operação, Uso e Manutenção, preparado pela empresa detentora da tecnologia.	Atende às classes I (Rural) e II (Urbana).	Possuem potencial para apresentar desempenho térmico mínimo, desde que consideradas as condições das Tabelas 1 e 2 do DATec, para os diferentes tipos de laje analisados na avaliação técnica. Foram feitas simulações para todas as zonas climáticas Brasileiras (Z1 a Z8), para as tipologias de casas térreas e sobradas.
Nº 009-B Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes - CASA EXPRESS	Casas térreas, isoladas ou geminadas, e sobrados, isolados ou geminados. Podem ser estendidos a casas sobrepostas e a edifícios habitacionais multifamiliares com no máximo dois pavimentos (térreo e superior), desde que as lajes de piso intermediárias atendam à normalização brasileira e desde que sejam respeitadas as cargas atuantes nos painéis.		Atende às classes I (Rural), II (Urbana) e III (atmosfera marinha).	Atende aos critérios mínimos de desempenho térmico para as zonas bioclimáticas Z1 a Z7 para a tipologia de casas térreas e as zonas Z1, Z2, Z5, Z6, Z7 para os sobrados. Possui potencial para apresentar desempenho térmico mínimo, desde que consideradas as condições das Tabelas 2 e 3 deste DATec, para as diferentes tipologias consideradas.
Nº 021 Sistema Construtivo "Casas Olé - Painéis Pré-moldados em Alvenaria com Blocos Cerâmicos e Concreto Armado".	Edificações habitacionais térreas unifamiliares geminadas ou isoladas.		Atende às classes I (Rural), II (Urbana) e III (atmosfera marinha).	Atende aos critérios mínimos estabelecidos de desempenho térmico para as zonas bioclimáticas Z3 a Z8, considerando-se cores claras e médias para as superfícies das paredes externas, com valores de absorvância à radiação solar (α) menor ou igual a 0,6. Ressalta-se que a ABNT NBR 15220-2 recomenda considerar ático ventilado para as zonas bioclimáticas Z7 e Z8.

* Considerando as variações ou os tipos distintos de painéis previstos para cada classe.

**As cores das paredes de fachada devem atender às exigências do respectivo DATec da empresa detentora da tecnologia. Para outros projetos e outras zonas bioclimáticas recomenda-se a elaboração de análises específicas.

9.3 Resumo do sistema construtivo de painéis pré-moldados compostos por blocos cerâmicos e concreto armado

Quadro 21: Resumo – estruturas para construção civil (painéis estruturais autoportantes) Fonte Jet Casa, 2015

FUNDAÇÃO	VEDAÇÃO	COBERTURA	PROCEDIMENTO DE MONTAGEM DOS PAINÉIS
<p>Podem ser utilizadas uma fundação ecológica tipo "sapata corrida" (fundação direta) em concreto armado. Para a execução desta fundação, é necessário que toda a área, inclusive o fundo da vala, seja previamente apiloada e nivelada. O solo deve ser compactado até atingir o Proctor normal. Toda tubulação de elétrica, rede de água, rede de esgoto deve ser instalada antes de executar a concretagem.</p> <p>Esta fundação apresenta a vantagem de ficar pronta para receber os painéis sem a necessidade de executar o contrapiso.</p>	<p>Suportam as cargas verticais das lajes e do pavimento superior e dispensam uso de pilares nas bordas e de vigas de extremidade para apoio de pisos, podendo ser boa alternativa econômica.</p> <p>Após a montagem dos painéis, estão prontos para execução de acabamentos.</p>	<p>O forro pode ser executado com diferentes materiais com forro de PVC (policloreto de vinila), laje pré-fabricada em concreto armado (com ou sem viga invertida), laje convencional com viga treliçada com elemento de enchimento (laje cerâmica) ou isopor (poliestireno expandido - EPS).</p> <p>A estrutura pode ser executada em madeira ou metálica.</p> <p>A telha poderá ser cerâmica, concreto ou fibrocimento.</p>	<p>O assentamento do painel ocorre sobre argamassa com aditivo impermeabilizante de base acrílica, previamente distribuída na região demarcada no <i>radier</i>. O primeiro painel é lançado, apuramado e devidamente escorado. Sequencialmente, conforme plano de montagem, o próximo painel é lançado, apuramado e soldado por meio dos dispositivos metálicos dispostos em três pontos distintos em suas laterais. Os pontos de solda são protegidos com primer epóxi rico em zinco. Após soldagem dos painéis, as escoras são removidas e os vãos nas interfaces são preenchidos com graute. As juntas são concebidas por meio da aplicação de tela de poliéster e argamassa.</p>
			

Quadro 22: Resumo – estruturas para construção civil (painéis estruturais autoportantes). Fonte: Casas Express, 2015

FUNDAÇÃO	VEDAÇÃO	COBERTURA	PROCEDIMENTO DE MONTAGEM DOS PAINÉIS
<p>As fundações podem ser do tipo “sapata corrida”, vigas baldrames ou <i>radier</i>. Os painéis de parede são apoiados diretamente sobre as fundações.</p> 	<p>Os painéis possuem função estrutural e de vedação.</p> 	<p>Estrutura de madeira e telhas cerâmicas ou de fibrocimento.</p> <p>As lajes são diretamente apoiadas sobre as paredes, através de métodos específicos do sistema construtivo.</p> <p>As cargas das lajes são transferidas diretamente para os painéis de parede.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Locação das paredes previamente demarcadas sobre a fundação e posicionamento dos painéis sobre bases guias de ferro fundido. Os painéis são travados na parte superior para ajustar o alinhamento e o prumo. • Ligação entre os painéis por meio de pontos de solda distribuídos ao longo da altura, utilizando-se barras de aço soldáveis. • Utilização de caixos de argamassa nas interfaces entre painéis e fundação. • Preenchimento do vão entre a parte inferior dos painéis e o piso, ou elemento de fundação, com argamassa de cimento e areia (1:3 em volume) com aditivo impermeabilizante e expansor, e aplicação de emulsão acrílica sobre essa argamassa, depois de seca. • Grauteamento das juntas entre os painéis, com o auxílio de formas metálicas. 

10. Bibliografia

- ABECE/CBCA; Série Manual de Construção em Aço Execução de Estruturas de Aço – Práticas recomendadas ABCEM; Manual Técnico de Telhas de Aço; São Paulo, 2010.
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil*, 2010. Disponível em: www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Bra-sil_2l.pdf. Acesso em 13 nov. 2015.
- BARBOSA, L.; QUALHARINI, E. A influência da coordenação modular na produção de construções dotadas de processos de automação. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 5., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2005.
- BLACHÈRE, G.- Tecnologias da Construção Industrializada. Coleção Tecnologia y Arquitetura – Editora Gustavo Gilli, Barcelona, Espanha, 1977.
- BLUMENSCHNEIN, R. Three studies of innovation in the construction industry. 1989. 66f. Dissertação (Mestrado em Economia e Administração Aplicadas à Indústria da Construção). Bartlett School of Architecture and Planning. University College London.
- BRASIL, Ministério das Cidades. PBQP-HABITAT – Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SiAC. Brasília, 2012.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. Obras públicas: recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras públicas / Tribunal de Contas da União. 3. ed. Brasília : TCU, SecobEdif, 2013.
- BRUNA, P. J. V. Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento. Editora Perspectiva, São Paulo, Brasil, 1976. CBCA; Manual da

Construção Metálica – Steel Framing Arquitetura; Rio de Janeiro; 2006.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.

CONSELHO FEDERAL DE ADMINISTRAÇÃO. Roteiro para elaboração de termo de referência ou projeto básico. 2011.

CONSTRUÇÃO E MERCADO. São Paulo: Editora Pini, v. 53, Janeiro, 2009. aspx. 128p.

DATec nº 020. DATec nº 020 – Sistema Construtivo Tecverde: “Sistema leve em madeira”, 2013.

DEUTSCH, R. BIM and Integrated design: strategies for architecture practice / Randy Deutsch – 1. ed. United States: AIA, 2011. 241p.

DIAS, G. L. Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetidas à força horizontal no seu plano. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

Diretriz SiNAT 005. Diretriz SiNAT nº 005 – Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”), 2011.

DONIAK, I.L.O.; GUTSTEIN, D. Concreto Pré-Fabricado. In: ISAIA, G. C. Concreto Ciência e Tecnologia. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1569-1613.

DUALIBI, J. A. S. Arquiteto Joan Villà: a construção da cerâmica armada. 2013. 183 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2013.

- DURANTE, F. K. O uso da metodologia BIM (Building Information Modeling) para gerenciamento de projetos: Gerente BIM. 2013. 118p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2013
- EL DEBS, M. K. Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações. EESC-USP, São Carlos, SP, 2000.
- ELLIOTT, K. S.; JOLLY, C.K. Multi-storey Precast Concrete Framed Structures, Second Edition –WILEY Blackwell, UK 2013.
- FEDERATION INTERNATIONAL DU BETÓN, FIB. Planning and Design Handbook on Precast Building Structures, 2nd edition, 2004.
- FERREIRA, A. P.; MACHADO, Mariza A. O.; SANTOS, M. S. T. Cessão de mão de obra e empreitada. 3. ed. São Paulo: IOB Thomson, 2004.
- FILHA, C. M. et al. PERSPECTIVAS DO INVESTIMENTO 2010-2013: Construção Civil: BNDES, Rio de Janeiro, 2009.
- FORMOSO, C. T. Lean Construction: princípios básicos e exemplos. PINI, São Paulo, 2002.
- HELENE, Paulo. Concreto, Sustentabilidade e Pré-Moldado. In: 3º ENCONTRO NACIONAL DE PROJETO, PRODUÇÃO E PESQUISA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. São Carlos: USP, 2013.
- HOUSING CORPORATION (UK). A Guide to Modern Methods of Construction. Published by IHS BRE Press on behalf of NHBC Foundation, 2006.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Tecnologia de edificações*. São Paulo: Pini, 1988.

- ISHIKAWA, K. Controle de Qualidade Total. Editora Campus. Rio de Janeiro. 1997.
- LIMA, J. F. Escola transitória. Brasília: MEC, 1984.
- LINNER, T.; BOCK, T. Evolution of large-scale industrialization and service innovation in japanese prefabrication industry. *Construction Innovation*, v. 12, p. 156-178, 2012.
- MANDOLESI, E. Edificación. El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del futuro. Ediciones CEAC / Barcelona, España, 1981.
- MEDEIROS, J. S. Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas / Jonas Silvestre Medeiros et al. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014.
- MESEGUER, A. G. (1991). “Controle e Garantia da Qualidade na Construção”. Trad. Roberto José Falcão Bauer, Antônio Carmona Filho, Paulo Roberto do Lago Helene. São Paulo, Sinduscon-SP/Projeto/PW, 1991.
- MOLINE, J. C.; Júnior, C. C. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. *Ciências Exatas e Tecnologia*, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.
- MORAES, F. R. Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de empreendimentos em construção metálica: uma visão segundo a nova filosofia de produção. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.
- NASCIMENTO, M. Fluxo de caixa projetado: Gestão de obra da construção civil. Monografia da Universidade de Santa Catarina. Departamento de Ciências Contábeis. 2007.
- OLIVEIRA, M; LANTELME, E; FORMOSO, C. “Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade da Construção Civil”. Manual de Utilização, Sinduscon-RS, Porto Alegre, 1993.

PARLAMENTARY OFFICE SCIENCE AND TECHNOLOGY,
Postnote 209, UK, Dezembro 2003.

PIGOZZO, B. N.; SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A. Anais do XII
SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 07 a 09 de novembro de 2005.

PINI. Fazendo Fluxo de caixa da obra. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/fazendo-o-fluxo-de-caixa-da-obra-parte-2-326896-1.aspx>> Acesso em: 18 abr. 2015.

PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE
NO HABITAT – PBQP-H. Informações sobre o Programa Brasileiro
da Qualidade e Produtividade do Habitat. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/Apresentacao.htm>>. Acesso em: 25
maio 2015.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE
DO HABITAT – PBQP-H. SISTEMA NACIONAL DE
AVALIAÇÕES TÉCNICAS – SiNAT. Nº 008-A. Painéis JETCASA
pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para
paredes. Brasília, DF, 2014.

_____. SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS
– SiNAT. Nº 021. Sistema Construtivo “Casas Olé – Painéis Pré-
moldados em Alvenaria com Blocos Cerâmicos e Concreto Armado”.
Brasília, DF, 2014.

_____. SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS –
SiNAT. Nº 012-A. Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e
blocos cerâmicos sem função estrutural - PRECON. Brasília, DF, 2014.

RIBEIRO, M. S. A Industrialização como Requisito para a Racionalização
da Construção. Rio de Janeiro: UFRJ / PROARQ / FAU , 2002. iii,
93p.

ROSSO, T. Racionalização da Construção. FAU/USP, São Paulo, Brasil,
1980.

SABBATINI, F. H.; AGOPYAN, V. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo, 1989. 336p. Tese (Doutorado) - PCCABCEM

SERRANO, J. S. Construcion Industrializada: Prefabricacion. Madrid, 1987.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G.; SILVA, M. A. C.; LEITÃO, A. C. M. T.; SANTOS, M. M. Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras. São Paulo: CTE – Centro de Tecnologia de Edificações, Sebrae-SP, Sinduscon-SP, 1994.

SPADETO, T. F. Industrialização da construção civil – uma contribuição à política de utilização de estruturas pré-fabricadas em concreto. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2011.

SUNDFELD, C. A. Licitação e Contrato Administrativo. São Paulo: Malheiros, 1994, p. 43.

TAM, V.W. Y.; TAM, C. M.; NG, William C. Y. Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, v. 42, p. 3642-3654, out. 2007.

TÉCHNE. São Paulo: Editora Pini, v. 150, Setembro, 2009.

TÉCHNE. São Paulo: Editora Pini, v. 159, Junho, 2010.

TECVERDE. Relatório de Sustentabilidade 2014/2015, 2015.

U.S. GREEN CONCRETE COUNCIL. The Sustainable Concrete Guide – Applications. Farmington Hills, USA, 2010.

VASCONCELLOS, A. C. O Concreto no Brasil – Vol.3: Prefabricação, Monumentos, Fundações. São Paulo, Studio Nobel, 2002.

VELLOSO, J. G. Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

VILLÀ, J. Painéis pré-fabricados de cerâmica vermelha. Cap.7; p.168-210: Dez alternativas tecnológica para habitação. Brasília: MINTER/PNUD, 1989.

VILLÀ, J. A Construção com componentes pré fabricados cerâmicos: Sistema construtivo desenvolvido em São Paulo entre 1984 e 1994, dissertação de mestrado apresentada à Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2002.

ZANONI, V. A. G.; SÁNCHEZ, J. M. Ms. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. Estágio de desenvolvimento tecnológico dos painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

10.1 Normas Técnicas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).
ABNT NBR ISO 9000 –Sistemas de gestão da qualidade –
Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR ISO 9001 – Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos.
Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 5921:2009 – Chapas finas a quente e bobinas finas a quente, de aço baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – requisitos.

_____. NBR 5920:2009 – Chapas finas a frio e bobinas finas a frio, de aço baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – requisitos.

ABNT - Norma NBR 5008:2009 – Chapa grossa e bobina grossa, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – requisitos.

_____. NBR 5419. Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5674. Manutenção de edificações. Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 5671. Participação dos intervenientes em serviços e obras de engenharia e arquitetura. Rio de Janeiro, 1990.

_____. NBR 7007. Aço-carbono e microligados para barras e perfis laminados a quente. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 8800. Projeto de Estruturas de Aço e de Estrutura Mista de Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

_____. ABNT NBR 9062. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 10151. Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 14037. Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 14323. Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 14513. Telhas de aço revestido de seção ondulada – requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 14514. Telhas de aço revestido de seção trapezoidal – requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

- _____. NBR 14762. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 14861. Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. NBR 15146. Controle tecnológico de concreto. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. NBR 15200. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. NBR 15220-1. Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e Unidades. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 15220-2. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15575-2: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15575-3: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistema de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

- _____. NBR 15575-5: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Sistema de pisos. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15575-5: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 6: Sistema de pisos. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15980. Perfis estruturais de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. NBR 16258. Estacas pré-fabricadas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. NBR 14001: Sistema de Gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NBR 14.715-1: Chapas de gesso para *drywall*. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 14.715-2: Chapas de gesso para *drywall*. Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 15.217: Perfis de aço para sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall*-Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 15.758-1: Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall*: Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 1: Requisitos para sistemas usados como paredes. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 15.758-2: Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall*: Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 2: Requisitos para sistemas usados como forros. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 15.758-3: Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall*: Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 3:

Requisitos para sistemas usados como revestimentos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15.873: Norma de Coordenação Modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

10.2 Leis

Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências.

Lei nº 10.520, de 17 de julho de 2002. Institui, no âmbito da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, nos termos do art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, modalidade de licitação denominada pregão, para aquisição de bens e serviços comuns, e dá outras providências.

RESOLUÇÃO nº 307, DE 5/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 348, de 16/08/2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.

RESOLUÇÃO nº 448, DE 18/01/2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Resolução CONAMA nº 431 de 24/05/2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso.

10.3 Sites

<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/195/engenheiro-de-rigging-icamento-e-movimentacao-de-pecas-pesadas-294071-1.aspx>

<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/leanconstructionprincipiosbasicoseexemplos807141>

<http://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?inline=1&fileId=8A8182A24D6E86A4014D72AC81CA540A> .

<http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2013/02/creatce.pdf>

http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2013/10/cartilha_asstec1.pdf

http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/07/cartilha/cartilha_gt_engarq_sust_autoconstrucao_creasp.pdf



ABCEM
Associação Brasileira da
Construção Metálica

Abcic
Associação Brasileira da Construção
Industrializada de Concreto

ABRAMAT

ANICER
ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA

CAIXA

CBCA
Centro Brasileiro da Construção em Aço

CBIC

DRYWALL
Associação Brasileira do Drywall

FIESP

ABDI
Agência Brasileira de
Desenvolvimento Industrial

Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA