

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**PROJETOS PARA PRODUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES
EM *LIGHT STEEL FRAMING***

André Luiz Vivan

São Carlos
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**PROJETOS PARA PRODUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES
EM *LIGHT STEEL FRAMING***

André Luiz Vivan

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

Área de Concentração: Sistemas Construtivos de Edificações

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Paliari

São Carlos
2011

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

V855pp

Vivan, André Luiz.

Projetos para produção de residências unifamiliares em
light steel framing / André Luiz Vivan. -- São Carlos :
UFSCar, 2011.
209 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2011.

1. Administração de produto. 2. Projeto para produção. 3.
Light steel framing. 4. Construção enxuta. I. Título.

CDD: 658.5 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil
Rod. Washington Luís, Km 235
13565-905 – São Carlos – SP
Fone: (16) 3351-8261 Fax (16) 3351-8262
e-mail: ppgciv@ufscar.br site: www.ppgciv.ufscar.br

**“PROJETOS PARA PRODUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES EM
LIGHT STEEL FRAMING”**

ANDRÉ LUIZ VIVAN

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em trinta de junho de 2011.

Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. José Carlos Paliari
Departamento de Engenharia Civil/PPGCiv/UFSCar
Orientador

Prof. Dr. Márcio Minto Fabrício
Departamento de Arquitetura e Planejamento/Instituto de Arquitetura e
Urbanismo/Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/IAU/USP
Examinador Externo

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini
Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil/Pós-Graduação em Engenharia
Civil: Estruturas e Construção Civil/PEC/UFC
Examinador Interno

*Ao meu pai Dari, à minha mãe Eli e
à minha irmã Paula.*

*A todos os profissionais da
Construção Civil
que acreditam na ciência.*

AGRADECIMENTOS

Ao caro Professor Dr. José Carlos Paliari, por acreditar em minha pesquisa e nas minhas propostas de estudo. Obrigado por estar presente em todas as etapas desta dissertação, obrigado por compartilhar seu conhecimento por meio de sua orientação e obrigado pelo apoio durante as entrevistas.

Ao Professor Dr. Celso Carlos Novaes pelos conhecimentos transmitidos, por me mostrar o início dos caminhos a serem seguidos e pelas caras considerações no exame de qualificação.

Ao Professor Dr. Márcio Minto Fabrício pela exposição dos caminhos a serem tomados durante o exame de qualificação.

Ao Professor Dr. Alexandre Araújo Bertini pela sua apreciação durante a defesa e suas importantes sugestões que contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Ao Professor Dr. Almir Sales pela orientação no Programa de Estágio Supervisionado de Capacitação Docente (PESCD), juntamente com o Prof. Paliari.

A todos os profissionais da Construção Civil que colaboraram com esta dissertação, em especial ao Arquiteto Alexandre Mariutti, ao Arquiteto Alexandre Kokke Santiago, ao Arquiteto Luiz Gustavo Della Noce, à Engenheira Luciana Oliveira, ao Engenheiro Maurício Malafaia e ao Técnico Wallace Santos.

À CAPES pela bolsa concedida durante a pesquisa.

A todos os professores que participaram da minha graduação na UFSCar, por me apresentarem às ciências que a Engenharia faz uso e, em especial, aos professores do Departamento de Engenharia Civil.

A todos os colegas do PPGCiv pelo companheirismo, em especial ao Adriano pelas ótimas conversas e companhia no laboratório (você foi um grande parceiro!), ao Riberto (grande parceiro de viagens) pelo seu entusiasmo e camaradagem, ao Thiago pela convivência durante as disciplinas do mestrado, e ao Victor (outro grande parceiro) pelas boas risadas e sua companhia.

Ao meu cunhado Rogério por despertar em mim o interesse inicial no mestrado.

Ao Volkswagen Gol G5 motor 1000 cm³, pelo prazer em guiá-lo e por nunca ter me deixado na mão em todas as viagens realizadas durante a elaboração deste estudo.

*“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo principal a proposição de diretrizes para a elaboração de projetos para produção voltados para a construção de habitações unifamiliares de *Light Steel Framing*. Tais diretrizes envolvem considerações a respeito da apresentação dos projetos e sobre sequências de montagem dos principais elementos de uma edificação em *Light Steel Framing*, promovendo maior construtibilidade aos projetos. Paralelo a estas diretrizes, foram desenvolvidos alguns detalhes gráficos com relação aos elementos abordados baseados no conceito do *Design for Assembly*. Para isso, foram utilizadas as informações da revisão bibliográfica, que aborda conceitos como a Engenharia Simultânea, *Lean Design* e o próprio Projeto para Produção, e as informações coletadas nas entrevistas estruturadas. O produto desta dissertação contribui para o avanço dos estudos a respeito do processo de projeto do *Light Steel Framing*, além de promover o uso de conceitos pouco abordados ou utilizados na Construção Civil. Sendo um sistema construtivo pré-fabricado, o *Light Steel Framing* colabora com a modernização dos processos envolvidos em obras de pequeno porte e facilita o emprego de princípios de gestão como da *Lean Construction* e de ferramentas como o *Design for Assembly*.

Palavras-chave: Projeto para Produção. *Light Steel Framing*. *Construção Enxuta*.

ABSTRACT

This work has the aim to propose guidelines for the preparation of designs for production with the construction of single family houses of Light Steel Framing. These guidelines involve considerations about the presentation of designs and assembly sequences on the main elements of a building in Light Steel Framing, promoting higher constructability on projects. Parallel to these guidelines were developed some graphical detail, with respect to the elements discussed, based on the concept of Design for Assembly. For this, have been used the information from the literature review, which deals with concepts such as Concurrent Engineering, Lean Design and Design for Production, and information gathered in structured interviews. The product of this work contributes to the advancement of studies about the design process of Light Steel Framing, besides promoting the use of concepts just discussed or used in Construction. Being a prefabricated building system, Light Steel Framing collaborates with the modernization of the processes involved in small works and facilitates the use of management principles such as Lean Construction and tools such as Design for Assembly.

Key-words: Design for Production. Light Steel Framing. Lean Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema hierárquico da estruturação da pesquisa.....	11
Figura 2: Esquema básico de uma estrutura do tipo <i>Balloon Framing</i>	14
Figura 3: Perspectiva esquemática de uma edificação de dois pavimentos em <i>LSF</i>	16
Figura 4: Visão geral da estrutura de uma residência em <i>LSF</i>	17
Figura 5: Fachada principal da residência em <i>LSF</i>	17
Figura 6: Esquema de ancoragem de painel do sistema <i>LSF</i> em fundação do tipo radier. ..	20
Figura 7: Detalhe da sapata corrida como fundação para o sistema <i>LSF</i>	21
Figura 8: Barra roscada	22
Figura 9: Detalhe da ancoragem química na fundação.....	23
Figura 10: Detalhe do conector de ancoragem e barra roscada utilizados no sistema <i>LSF</i> .	23
Figura 11: Fitas metálicas para ancoragem e estabilização de painéis.....	24
Figura 12: Rolos de fitas metálicas utilizados em obra.....	24
Figura 13: <i>Bolt</i> sem camisa de expansão	25
Figura 14: <i>Bolt</i> com camisa de expansão	25
Figura 15: Ancoragem de painel com barra roscada tipo “J”	26
Figura 16: Pistola para fixação a pólvora	27
Figura 17: Perfis enrijecidos Ue	31
Figura 18: Perfis simples U.....	31
Figura 19: Representação esquemática de um painel estrutural e seus elementos, com detalhe para a abertura destinada a caixilhos.....	32
Figura 20: Painel contraventado com fita metálica.....	33
Figura 21: Parafuso do tipo cabeça lenticular e ponta broca.....	34
Figura 22: Detalhe das vigas de piso em laje para o sistema <i>LSF</i>	35
Figura 23: Parafuso do tipo cabeça sextavada e ponta broca.....	36
Figura 24: Esquema estrutural de uma laje em <i>LSF</i>	37
Figura 25: Representação esquemática de uma laje seca e os componentes necessários .	38
Figura 26: Representação esquemática de uma laje úmida e os componentes necessários	39
Figura 27: Escada estruturada em <i>LSF</i> revestida com placas <i>OSB</i>	39
Figura 28: Escada do tipo viga caixa inclinada.....	40
Figura 29: Escada do tipo viga caixa inclinada.....	41
Figura 30: Escada estruturada com painéis escalonados e painéis de degrau	42
Figura 31: Exemplo de aplicação de placas <i>OSB</i> em painéis estruturais	43
Figura 32: Parafuso do tipo auto-atarraxante.....	44

Figura 33: Edificação em <i>LSF</i> vedada com <i>OSB</i> e revestida com manta de polietileno.....	45
Figura 34: Perfil típico de siding vinílico	46
Figura 35: Exemplo de aplicação do siding vinílico em fachada residencial	46
Figura 36: Detalhe de painel sendo revestido com placas de gesso acartonado	47
Figura 37: Placas de gesso acartonado instaladas em painel com abertura para esquadrias	47
Figura 38: Tratamento de juntas em placas de gesso acartonado	48
Figura 39: Fechamento de painéis externos com placas cimentícias.....	50
Figura 40: Parafuso do tipo cabeça trombeta e ponta broca.....	51
Figura 41: Detalhe de vedação com alvenaria e peças de conexão.....	52
Figura 42: Detalhe de cobertura em <i>LSF</i> estruturado com tesouras	53
Figura 43: Tubulação passando pelo perfil que compõe uma laje em <i>LSF</i>	54
Figura 44: Conduítes para fiação elétrica passando pelos montantes de um painel em <i>LSF</i>	55
Figura 45: Abertura para esquadria em painel em <i>LSF</i>	56
Figura 46: Parafusadeira elétrica	57
Figura 47: Medidor digital de ângulos	58
Figura 48: Medidor de distância a laser	58
Figura 49: Giz de linha e refil líquido para recarga.....	59
Figura 50: Nível a laser	59
Figura 51: Comportamento do processo de projeto em relação ao desenvolvimento do produto e possíveis mudanças ao longo do tempo	65
Figura 52: Representação do esquema tradicional do processo de projeto em Construção Civil.....	69
Figura 53: Atividades sequenciais típicas de projeto na Construção Civil	70
Figura 54: Representação esquemática do modelo de conversão.....	73
Figura 55: Representação esquemática da produção como um fluxo, com destaque (em azul) para as atividades de fluxo.....	74
Figura 56: Processo de projeto em processo sequencial comparado com processo simultâneo	88
Figura 57: Ilustração da ideia de que o <i>Lean Design</i> pode ter um melhor desempenho quando desenvolvido sob a luz dos conceitos da ES.....	90
Figura 58: Comparação de possíveis aplicações dos PP entre uma estrutura qualquer de concreto armado e uma de <i>LSF</i>	103
Figura 59: Projeto para a montagem de determinada peça, com todos os componentes necessários	108
Figura 60: Mesma peça da figura anterior com as simplificações promovidas pelo uso do <i>DFA</i> ao longo do desenvolvimento do produto.....	108

Figura 61: Planta tipo das residências que formam a Vila Dignidade (cortesia CDHU)	116
Figura 62: Cortes executados na alma do perfil de aço para a passagem de tubulação hidráulica, sem previsão por parte do projeto estrutural	122
Figura 63: Cortes executados na alma do perfil de aço para a passagem de tubulação elétrica, sem previsão por parte do projeto estrutural.....	123
Figura 64: Cortes executados no painel de gesso acartonado para abertura da caixa de passagem após a fixação	123
Figura 65: Utilização de placas cimentícias para a sustentação de reservatório de água (detalhe para o empenamento das placas)	124
Figura 66: Bobinas de aço utilizadas para a fabricação de perfis do LSF	128
Figura 67: Máquina utilizada para converter o aço das bobinas nos perfis do LSF	129
Figura 68: Máquina de maior porte sendo alimentada pela bobina de aço.....	129
Figura 69: Operários verificando a qualidade dos perfis fabricados	130
Figura 70: Perfil com identificação originada pela máquina em consonância com o projeto	131
Figura 71: Montagem de um painel convencional em <i>LSF</i>	145
Figura 72: Montagem de um painel estrutural em <i>LSF</i> com esquadria.....	148
Figura 73: Montagem de um painel de vedação em <i>LSF</i> com esquadria	151
Figura 74: Montagem do encontro de painéis	156
Figura 75: Montagem de escada com painel escalonado.....	161
Figura 76: Montagem da laje convencional em <i>LSF</i>	164
Figura 77: Montagem e fixação de cobertura estruturada com caibros	170
Figura 78: Montagem de cobertura estruturada com tesoura	172
Figura 79: Fixação de tesouras nos painéis.....	175
Figura 80: Montagem da vedação com placas de gesso acartonado em painel.....	179
Figura 81: Montagem de vedação da cobertura com telhas shingle.....	192

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Origem de manifestações patológicas representadas pela porcentagem dos custos globais.....	2
Quadro 2: Valores mínimos de revestimentos para PFF.....	29
Quadro 3: Principais PFF utilizados no <i>LSF</i> e aplicações.....	30
Quadro 4: Comparação entre três abordagens diferentes para projeto.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer Aided Design*

CBCA – Centro Brasileiro de Construção em Aço

CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano

CEF – Caixa Econômica Federal

DFA – *Design for Assembly*

DFM – *Design for Manufacture*

ES – Engenharia Simultânea

LSF – *Light Steel Framing*

NASFA – *North American Steel Framing Alliance*

PP – Projetos para Produção

PS – Projeto Simultâneo

Sumário

RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE QUADROS E TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Problema de Pesquisa	1
1.2 Questão de Pesquisa.....	7
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo Geral	7
1.3.2 Objetivos Específicos	7
1.4 Método de Pesquisa	8
1.4.1 Estratégia de Pesquisa.....	8
1.4.2 Detalhamento das Etapas de Pesquisa.....	10
1.5 Estruturação do Trabalho	11
1.6 Delimitações.....	12
2 O SISTEMA <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>.....	13
2.1 Origens do <i>Light Steel Framing</i>	13
2.2 Características Gerais do Sistema <i>LSF</i>.....	15
2.3 Fundações	19
2.4 A Estrutura.....	27
2.4.1 Perfis de Aço Formados a Frio	27
2.4.2 Os Painéis.....	31
2.4.3 Estrutura de Piso.....	34
2.4.4 Escadas.....	39
2.5 Vedações e Coberturas.....	42
2.5.1 Vedações com Placas <i>OSB</i>	43
2.5.2 Vedações com Placas de Gesso Acartonado	46
2.5.3 Vedações com Placas Cimentícias.....	50
2.5.4 Vedações com Alvenaria	51
2.5.5 Coberturas.....	52
2.6 Instalações Prediais e Esquadrias	54
2.7 Ferramentas Recomendadas para a Construção em <i>LSF</i>.....	57
2.8 Considerações Básicas sobre o Projeto para o Sistema <i>LSF</i>.....	59
2.9 Considerações Acerca do Capítulo.....	62
3 O PROJETO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	63
3.1 Os Conceitos sobre Projeto	63

3.2	Contextualização do Processo de Projeto na Construção Civil	67
3.3	<i>O Lean design</i>	71
3.4	A Necessidade da Coordenação Modular e a Compatibilidade entre Projetos.....	78
3.5	Considerações Acerca do Capítulo.....	81
4	A ENGENHARIA SIMULTÂNEA E O PROCESSO DE PROJETO	83
4.1	O Conceito de Engenharia Simultânea	83
4.2	A Engenharia Simultânea e o <i>Lean Design</i>	89
4.3	Projeto Simultâneo.....	91
4.4	Considerações Acerca do Capítulo.....	94
5	PROJETOS PARA PRODUÇÃO	97
5.1	Conceitos Gerais Acerca dos Projetos para Produção	97
5.2	<i>Design for Assembly</i> (Projeto para Montagem)	104
5.3	Considerações Acerca do Capítulo.....	110
6	ENTREVISTAS ESTRUTURADAS	112
6.1	Questões Propostas para as Entrevistas	112
6.2	Características e Dados Coletados das Entrevistas	115
6.2.1	Primeira Entrevista: CDHU	115
6.2.2	Segunda Entrevista: IPT.....	119
6.2.3	Terceira Entrevista: Empresa A	120
6.2.4	Quarta Entrevista: Empresa B	125
6.2.5	Quinta Entrevista: Empresa C	127
6.3	Considerações Acerca do Capítulo.....	132
7	DIRETRIZES E DETALHES DE PROJETO PARA MONTAGEM DE RESIDÊNCIAS EM <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	135
7.1	Conteúdo para a Elaboração dos Projetos para Produção	135
7.1.1	Diretrizes Gerais para Estruturação e Apresentação dos Projetos.....	136
7.1.2	Diretrizes Específicas e Detalhes Gráficos	140
7.1.2.1	Mesa de montagem e fundação tipo radier	141
7.1.2.2	Locação das guias inferiores dos painéis no radier.....	141
7.1.2.3	Montagem de painéis estruturais	143
7.1.2.4	Montagem de painéis estruturais com esquadrias	146
7.1.2.5	Montagem de painéis para vedação	149
7.1.2.6	Montagem de painéis de vedação com esquadrias.....	149
7.1.2.7	Fixação dos painéis no radier	152
7.1.2.8	Fixação entre painéis.....	153
7.1.2.9	Montagem da escada	157
7.1.2.10	Montagem da laje para piso.....	162
7.1.2.11	Montagem da laje para piso com desnível	165
7.1.2.12	Montagem da laje com balanço.....	165
7.1.2.13	Montagem da cobertura estruturada com caibros	167
7.1.2.14	Fixação da cobertura estruturada com caibros nos painéis:.....	169
7.1.2.15	Montagem da cobertura estruturada com tesouras:	171
7.1.2.16	Fixação da cobertura estruturada com tesouras no painel	173
7.1.2.17	Vedação de painéis com placas de gesso acartonado.....	176
7.1.2.18	Vedação de painéis com placas cimentícias	180

7.1.2.19	Vedação de painéis com placas <i>OSB</i>	182
7.1.2.20	Fixação de placas <i>OSB</i> nas lajes.....	185
7.1.2.21	Fixação de placas <i>OSB</i> na cobertura.....	186
7.1.2.22	Fixação de telhas <i>shingle</i>	187
7.1.2.23	Fixação de telhas cerâmicas ou de concreto:.....	193
7.1.2.24	Fixação de esquadrias nos painéis	193
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	195
	REFERÊNCIAS.....	199

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Uma das principais características das indústrias de produção em larga escala é a exaustiva preocupação com a elaboração de projetos detalhados, no sentido de fornecer todos os subsídios necessários para a produção, de maneira que erros e desperdícios sejam evitados.

No caso da produção de edificações residenciais unifamiliares, por se tratarem, em geral, de produtos únicos, é comum que, tanto profissionais da Construção Civil quanto clientes intermediários e finais, negligenciem a fase de planejamento e projeto, geralmente alegando aumento de custos, o que resulta em desperdícios de tempo e material durante a produção, tornando-a onerosa ao proprietário, sendo esta a principal característica das obras residenciais unifamiliares no Brasil que utilizam sistemas construtivos tradicionais.

Corroborando com tal afirmação, Farah (1996) acrescenta que na Construção Civil, considerando os edifícios habitacionais, não há um planejamento prévio e sistemático da execução da obra, ou seja, os projetos não contemplam o local de produção (canteiro de obras) e as sequências das atividades de construção, o que geram constantes imprevistos na construção, culminando com frequentes interrupções do trabalho na obra.

Para Fabrício (2002) as fases de viabilidade, concepção e projeto de um empreendimento influenciam de maneira significativa na qualidade e nos custos do produto final, pois, com a falta de detalhamento dos projetos, a produção torna-se empírica, ou seja, importantes decisões construtivas, tecnológicas e produtivas ficam sob responsabilidade de operários que não possuem conhecimento científico e desconhecem o comportamento físico da edificação.

Na Construção Civil, o processo de projeto de uma edificação é comumente caracterizado por ser fragmentado e sequencial, de forma que esta fase do empreendimento torna-se um processo à parte do restante das atividades subsequentes. Como consequência, há o surgimento de problemas patológicos na edificação. Neste sentido, Silva e Sabbatini (2007) consideram que a incidência crescente de manifestações patológicas acarreta em altos custos de correção e apontam para a urgência de reversão desse quadro, o que pressupõe estreitamento das atividades de projeto e de execução da edificação a partir de um processo contínuo de aperfeiçoamento simultâneo entre projetar e construir.

Na temática das manifestações patológicas que podem ocorrer nas edificações, Josephson e Hammarlund (1999) sintetizam uma série de estudos sobre defeitos na Construção Civil, cujos resultados estão representados no Quadro 1. Neste Quadro, nota-se que os defeitos estudados podem ser detectados tanto durante a produção quanto no uso e manutenção da edificação, sendo que suas causas primárias são, em grande parte, representadas por falhas de projeto e, conseqüentemente, da produção.

Quadro 1: Origem de manifestações patológicas representadas pela porcentagem dos custos globais. Adaptado de (JOSEPHSON; HAMMARLUND, 1999)

	Falhas detectadas durante a produção	Falhas detectadas durante o uso e manutenção
Clientes	5 a 15%	0
Projeto	15 a 30%	40 a 55%
Produção	35 a 55%	20 a 45%
Material	5 a 20%	5 a 15%
Manutenção	0	5 a 10%
Outros	0 a 15%	0 a 10%

Considerando, especificamente, habitações unifamiliares, Fiess *et al.* (2004) comprovaram que 35% das manifestações patológicas observadas nas obras analisadas no estudo consultado estavam ligadas a falhas de projeto e outras 50% das manifestações patológicas estariam relacionadas à falhas na execução, que de certa forma é a consequência de projetos falhos. Esta comprovação ilustra o fato de a fase de projeto e concepção na Construção Civil ser negligenciada e desunida da produção.

Partindo para a caracterização da fase de projeto na Construção Civil, Aquino (2004) parte do princípio de que os produtos nesta indústria, em particular a construção de edifícios residenciais e comerciais térreos ou de múltiplos pavimentos, são caracterizados como de baixo volume de produção e alta variedade de modelos, repercutindo em atividades (referentes à fase de concepção do empreendimento) que enfatizam o projeto do produto. Para Fabrício, Baía e Melhado (1999) os projetos na Construção Civil são orientados apenas para a definição e detalhamento do produto final, negligenciando a forma e as implicações quanto à produção das soluções e tecnologias adotadas no produto.

Neste contexto, Slack, Chambers e Johnston (2002, p.120) chamam a atenção para alterações tardias no projeto e destacam que “*pequenas mudanças no projeto de produtos e serviços podem ter conseqüências profundas para o modo como a produção deve fazê-los*”,

ou seja, é imprescindível que os desejos e necessidades dos clientes sejam considerados no projeto, pois mudanças solicitadas durante a construção podem resultar em desperdícios econômicos e temporais.

Melhado e Fabrício (1998) destacam que há certas barreiras para melhorias nos processos inerentes à Construção Civil. A desarticulação entre projeto e produção é um dos obstáculos que mais se destaca, tal desarticulação dificulta a melhoria do desempenho das edificações e também é apontada como uma das responsáveis pela dificuldade de aumento da produtividade e qualidade nos processos. Dessa forma, pode-se afirmar que as características do processo de projeto geralmente adotado na Construção Civil vão contra as condições que, teoricamente, seriam ideais para a concepção e a produção de qualquer tipo de edificação.

No entanto o setor da Construção Civil revela tentativas de “*padronização e sistematização de algumas das suas atividades*”, principalmente no sentido da racionalização construtiva, o que facilita a integração entre o projeto do produto e os processos de produção dos mesmos, através de determinados tipos de projetos que são integrados a estratégias que possibilitam melhorias na Construção Civil (AQUINO, 2004, p.21). Tais condições remetem a práticas projetuais adotadas para produtos da indústria de produtos seriados. Neste sentido, Souza (2002) descreve as etapas de projeto de um produto na indústria seriada da seguinte forma:

- a) Projeto do produto: definição exata das formas e características do produto em desenvolvimento;
- b) Projeto do processo: definição de cada uma das etapas que constituem o processo produtivo para se chegar ao produto final descrito pelo projeto do produto;
- c) Projeto da fábrica: definição e organização do espaço que se dispõe para que as ações do processo produtivo ocorram com eficiência.

A partir disso, nota-se que a indústria de produtos seriados preocupa-se em subsidiar a fabricação de seus produtos por meio do projeto do processo (produção) e o projeto da fábrica (local de produção), a partir das informações do projeto do produto. Porém, para que isso seja feito de forma eficaz, é necessário que haja troca de informações entre as atividades referentes a cada etapa do empreendimento, principalmente entre o processo de projeto e produção.

Assim, Koskela, Huovila e Leinonen (2002) sugerem que o processo de projeto deva ser visto sob três perspectivas: como transformação de informações e requisitos para o projeto do produto, como fluxo de informações e como um processo de geração de valores por meio do cumprimento dos requisitos impostos pelos clientes. Esta abordagem para o

processo de projeto é comumente conhecida pelo termo *Lean Design* (Projeto Enxuto) que, de maneira simplificada, propicia a integração entre as equipes de projeto e as equipes de produção, visando a redução de desperdícios.

A visão tradicional, que geralmente caracteriza o processo de projeto no subsetor de edificações unifamiliares, supõe o projeto essencialmente como transformação, resultando em um processo ineficiente e com fraca cooperação entre os diversos atores que participam do empreendimento (KOSKELA; HUOVILA; LEINONEN, 2002). No entanto, para que o *Lean Design* seja implantado com sucesso, é imprescindível que os profissionais e as empresas participantes adotem os conceitos da Engenharia Simultânea.

Uma das principais ferramentas de projeto para a aplicação dos conceitos do *Lean Design* e da Engenharia Simultânea, visando a consideração e a gestão do fluxo de informações entre equipes multidisciplinares, é o Projeto para Produção. Esta ferramenta, intimamente relacionada com os conceitos de construtibilidade que, de acordo com Fabrício (2002) relaciona-se, sobretudo, com as soluções projetuais, integração entre projetos e, destes com a execução da obra, representa uma adequada solução para que os objetivos do ideal de desempenho dos empreendimentos (sob o ponto de vista da engenharia e do consumidor) sejam atingidos.

Aquino e Melhado (2002) afirmam que a indústria de produtos seriados utiliza em seu processo de projeto os conceitos de Projeto para Produção já há algum tempo, mais precisamente a partir da década de 60, com o objetivo de atingir a integração entre a excelência na qualidade dos produtos e o processo de produção. Os autores afirmam que na Construção Civil o projeto do processo de produção é algo bastante recente.

Conceitualmente, os Projetos para Produção agrupam as informações, de maneira associada com as atividades de construção das edificações a partir do uso dos conceitos de construtibilidade. Assim, Melhado e Fabrício (1998, p.?) conceituam os Projetos para Produção como sendo a *“definição (em projeto) das seqüências e métodos de execução de determinadas etapas críticas da obra, como forma de se ampliar o desempenho na produção dessas etapas”*.

Assim, visando a solução dos diversos problemas explicitados anteriormente, para a Indústria da Construção Civil, a utilização dos Projetos para Produção pode tornar mais eficiente os processos no subsetor de edificações, de forma que as atividades de fluxo (inerentes às atividades de construção), de materiais e mão-de-obra, e não somente informações construtivas, também sejam incorporadas no processo de projeto. Aquino e Melhado (2002) ressaltam ainda que os Projetos para Produção são apontados como solução de inúmeros problemas originados durante a fase de concepção e desenvolvimento do projeto.

Na indústria de produtos seriados (como a Indústria Automobilística, Indústria Aeronáutica etc.) a utilização dos Projetos para Produção, como foi indicado, remonta à década de 60 do século XX (KUO; HUANG; ZHANG, 2001). Nestas indústrias houve um grande avanço das técnicas e estratégias de projeto afim de que o processo de desenvolvimento contemplasse as novas tecnologias, o que passou a incrementar a qualidade do produto. Neste sentido, pelo fato de a linha de produção da indústria seriada moderna ser definida por atividades de montagem, surgiu uma particularidade dos Projetos para Produção denominada Projeto para Montagem, traduzido do termo em inglês *Design for Assembly*.

Koskela (2007) ao abordar os conceitos por trás da Engenharia Simultânea e do *Lean Design*, afirma que, visando o uso de ferramentas para tais conceitos e a mudança das práticas características do processo de projeto tradicional, algumas soluções emergiram, dentre elas destaca-se o *Design for Assembly*. Simplificadamente, o *Design for Assembly* é uma estratégia de projeto que visa a simplificação do processo de produção através da redução do número de componentes do produto, orientando e facilitando as atividades de montagem que utilizam tais componentes (LAI; GERSHENSON, 2008). O *Design for Assembly* é um tipo de Projeto para Produção, porém mais específico do que hoje é desenvolvido na Construção Civil, mas, em linhas gerais, ambos contemplam o projeto das atividades necessárias à produção.

Para a utilização do conceito do *Design for Assembly* no contexto da Indústria da Construção Civil é necessário que a construção da edificação, assim como na indústria seriada, contemple atividades de montagem e isso está diretamente relacionado com o tipo do sistema construtivo utilizado. Dessa forma, o desenvolvimento e as vantagens do *Design for Assembly* na Construção Civil poderão ter maior eficiência quando tal ferramenta de projeto for aplicada a sistemas construtivos pré-fabricados.

Um exemplo de sistema construtivo pré-fabricado, que será detalhado neste estudo, é o *Light Steel Framing (LSF)*, que tem sido utilizado com grande intensidade há mais de trinta anos em países desenvolvidos como Inglaterra, Japão, Austrália, Canadá e Estados Unidos (RODRIGUES, 2006). Santiago e Araújo (2008) descrevem que o Brasil, na atualidade, começa a utilizar o *LSF*, principalmente, na produção de habitações unifamiliares de pequeno porte, de até dois pavimentos.

Sistemas construtivos pré-fabricados, como o *LSF*, representam uma importante contribuição alternativa para a modernização das práticas de construção do subsetor de edificações, em contraposição aos sistemas tradicionais como estruturas de concreto armado com vedações em blocos cerâmicos e a alvenaria estrutural, que apesar de apresentarem técnicas e tecnologias mais acessíveis aos profissionais, são caracterizados,

de maneira geral, no caso das residências unifamiliares, pela existência grandes desperdícios de material, pela lentidão no processo de produção e por serem mais susceptíveis ao surgimento de manifestações patológicas durante o uso do produto, principalmente, devido à falta de detalhamento adequado dos projetos.

Simplificadamente, o *LSF* pode ser conceituado como sendo um sistema construtivo formado por uma estrutura composta pela associação de elementos formados por perfis de aço dobrados a frio, que constituem os elementos estruturais e que se associam a diversos outros sistemas como o de vedação que, geralmente, utiliza placas pré-fabricadas, que variam em sua composição, e caracterizam a produção de edificações em *LSF* como sendo essencialmente de montagem.

Assim, sendo um sistema pré-fabricado, é uma premissa do *LSF* o detalhamento do projeto a fim de que o modo de se produzir seja projetado desde a fase de concepção (RODRIGUES, 2006).

Dessa forma, torna-se necessário que o processo de projeto de construções em *LSF* passe a considerar o modo como a edificação será produzida. Para isso, é necessária a integração entre o processo de projeto e o processo de produção, pois conforme afirma Fabrício (2002), é durante o processo de projeto que podem ser notadas as diferentes interfaces e diferentes compatibilizações entre sistemas e elementos que compõem a edificação, o que garante a coerência entre decisões e projetos, sendo isso, portanto, fundamental para o *LSF*.

Complementando esta afirmação, pode-se citar a afirmação de Oliveira (2010), na qual o autor sugere que a qualidade da edificação está intimamente ligada à qualidade do projeto e da produção, sendo que as atividades de construção (produção) devem ser contempladas no processo de projeto, e não somente o produto.

Neste sentido, este trabalho terá como foco principal a elaboração de diretrizes e detalhes construtivos padrões para a elaboração de projetos voltados para a montagem (*Design for Assembly*) de residências unifamiliares em *LSF*, pois, dada a pré-fabricação deste sistema construtivo, as atividades de construção no canteiro de obras são, de maneira geral, definidas pela montagem dos componentes que formarão os sistemas da edificação. Assim, justifica-se a elaboração de tais diretrizes e detalhes construtivos, visto que irão contribuir para o aumento da qualidade do produto final, sob o ponto de vista do consumidor e para melhorias sob o ponto de vista da engenharia, em diversos aspectos técnicos como o gerenciamento de processos.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Essencialmente, a presente dissertação relaciona os conceitos e práticas envolvidos com os Projetos para Produção que deverão ser estruturados para a determinação de diretrizes e detalhamentos padrões para a elaboração dos Projetos para Montagem visando a aplicação em obras residenciais unifamiliares em *LSF*. Assim, foi formulada a questão de pesquisa apresentada a seguir, a partir da qual foi possível desenvolver todo o conteúdo do estudo:

Como elaborar diretrizes e detalhes construtivos de Projetos para Produção, sob a luz dos conceitos da Engenharia Simultânea, no contexto das particularidades projetuais e produtivas de residências unifamiliares em *LSF*?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta dissertação é propor diretrizes gerais para a elaboração e apresentação de Projetos para Produção para edifícios em *LSF* e diretrizes específicas de produção, juntamente com detalhes construtivos para projetos que contemplem as atividades de montagem, características em obras que utilizam o sistema *LSF*, mais especificamente, obras para a construção de habitações unifamiliares de até dois pavimentos de médio padrão.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar os conceitos dos Projetos para Produção com as particularidades dos Projetos para Montagem no contexto da Indústria da Construção Civil;
- Associação das sequências de montagem da estrutura, vedação e cobertura de residências em *LSF* e atividades inerentes com os Projetos para Montagem.

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

1.4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Antes de ser feita a explanação a respeito do método adotado na coleta de dados, é necessário que as demais etapas da pesquisa também sejam caracterizadas. Assim, este trabalho pode ser caracterizado, a partir dos conceitos apresentados nos estudos sobre metodologia de pesquisa na obra de Leopardi (2002), quanto: às fontes de informação, quanto à abordagem, quanto aos objetivos, aos procedimentos de coleta e quanto ao uso dos resultados.

Com relação às fontes de informação esta pesquisa pode ser classificada de duas maneiras, que se referem, primeiramente, aos aspectos teóricos relacionados com os objetivos propostos e neste caso é classificada como uma revisão da literatura e com relação aos dados coletados que, neste caso, é classificada como pesquisa de campo.

Para a revisão da literatura, Sampieri, Collado e Lucio (2006) consideram que a mesma consiste em identificar, obter e consultar a bibliografia e outros materiais que sejam benéficos para o alcance dos objetivos propostos, extraíndo-se as informações mais relevantes e necessárias para o problema de pesquisa. No que diz respeito à pesquisa de campo, Leopardi (2002) mostra que a mesma é feita a partir de fontes de informação que podem ser feitas de algumas maneiras específicas como estudos de caso, entrevistas etc.

Com relação ao enfoque, a pesquisa pode ser classificada como sendo qualitativa, visto que a intensão da pesquisa é obter informações no próprio contexto em que se inserem os dados, ou seja, demonstrar o que estas informações representam na conjuntura do trabalho (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006).

No que diz respeito aos objetivos da pesquisa, a mesma pode ser classificada como sendo exploratória, pois, como afirmam Sampieri, Collado e Lucio (2006, p.99), os estudos exploratórios são realizados quando “...o objetivo é examinar um tema ou problema de pesquisa pouco estudado, do qual se tem muitas dúvidas ou não foi abordado antes”, o que é justificado nesta pesquisa, pois o estudo de ferramentas de projeto para do LSF é, ainda, pouco abordado. Porém, ainda com relação aos objetivos, a pesquisa também pode ser entendida como sendo descritiva, pois de acordo com Fernandes e Gomes (2003, p. 8), as pesquisas descritivas têm por objetivo principal “*analisar ou verificar as relações entre fatos e fenômenos (variáveis), ou seja, tomar conhecimento do que, com quem, como e qual a intensidade do fenômeno em estudo*”. No caso desta dissertação, as variáveis analisadas foram o processo de projeto, o sistema LSF e a atuação dos profissionais.

Para o uso dos resultados apresentados, a pesquisa é aplicada, pois de acordo com Leopardi (2002) a intensão, nestes resultados, é contribuir com problemas práticos visando

soluções específicas, tendo em vista que as diretrizes de projeto propostas podem ser utilizadas pelos profissionais.

Com relação à técnica de coleta de dados, e visando atender aos objetivos do trabalho, optou-se pela entrevista com profissionais especializados em *LSF*. A técnica da entrevista foi escolhida entre as várias técnicas de coleta de dados, principalmente devido a proximidade que as entrevistas proporcionam com os profissionais da área, pois como afirmam Beck, Gonzales e Leopardi (2002, p.176):

são os atores sociais mesmos que proporcionam os dados relativos a suas condutas, opiniões, desejos e expectativas, coisas que, pela sua própria natureza, é impossível perceber de fora. Ninguém melhor do que a própria pessoa envolvida, para falar sobre aquilo que pensa e sente do que tem experimentado.

Esta proximidade com o profissional proporcionada pela entrevista é especialmente importante no caso do estudo do sistema *LSF*, visto que as informações relativas a edificações neste sistema construtivo são um tanto escassas no Brasil, uma vez que o *LSF* configura-se como uma inovação no país que começa a ganhar maior atenção do mercado e dos acadêmicos. Assim, as entrevistas proporcionam um contato pessoal com o profissional, sendo possível a percepção das reais condições e necessidades com que os empreendimentos estão sujeitos.

De acordo com Beck, Gonzales e Leopardi (2002) em pesquisas com enfoque qualitativo, como este estudo, a entrevista é um importante recurso para o investigador e configura-se como sendo uma técnica na qual o pesquisador está presente junto ao informante e estabelece questões pertinentes à sua pesquisa. As autoras consideram que uma entrevista pode ser classificada de quatro maneiras: informal, focalizada, por pautas e estruturada. No caso deste trabalho, a entrevista é classificada como estruturada, pois foram estabelecidas questões aplicadas para todos os entrevistados.

Neste sentido, foi elaborado um roteiro dividido em duas partes que abordam tanto o processo de projeto de edificações em *LSF* quanto o processo de produção destas edificações. Optou-se por abordar o processo de produção juntamente com os projetos, para que fosse possível a percepção das consequências que as atuais práticas projetuais relativas ao sistema *LSF* ocasionam no canteiro de obras e, dessa forma, propor algumas propostas técnicas aplicáveis ao processo de projeto que ajudem a potencializar a racionalização proporcionada pelo *LSF*.

As entrevistas foram realizadas com cinco profissionais que operam em áreas distintas do ciclo de vida de uma edificação em *LSF*. Dentro destas cinco entrevistas foi feita uma visita a uma obra de habitação popular com tal sistema construtivo. Estas entrevistas

foram gravadas por meio de aparelhos eletrônicos com a devida autorização dos profissionais. O reduzido número de entrevistas se deve ao fato de o *LSF* não ser um sistema construtivo amplamente adotado no país, de maneira que apenas algumas poucas empresas o utilizam exclusivamente em seus empreendimentos. As características e o parecer destas entrevistas e as propostas do estudo estão detalhadas no capítulo 6.

A elaboração da proposta final desta dissertação levou em conta todas as informações obtidas com a revisão bibliográfica e com as entrevistas, de maneira que os dados coletados possibilitaram maior precisão para a elaboração das diretrizes de projeto e dos detalhes de montagem padrão para edificações em *LSF*. A proposta levou em conta, principalmente, as lacunas que os profissionais entrevistados julgaram estarem presentes no atual estágio de desenvolvimento e conhecimento do processo de projeto e produção do *LSF* no Brasil.

1.4.2 DETALHAMENTO DAS ETAPAS DE PESQUISA

Para o desenvolvimento das proposições explicitadas nos objetivos da pesquisa são propostas as seguintes ações hierarquizadas pelo fluxograma apresentado na Figura 1. Neste fluxograma, dividiram-se as ações da pesquisa em três etapas principais A, B e C, além da revisão bibliográfica, que serão detalhadas.

A revisão bibliográfica compreende a pesquisa teórica com os principais autores e trabalhos publicados a respeito dos temas abordados, ou seja, com ela foi possível obter o embasamento científico necessário para os objetivos da dissertação. Com relação à coleta de dados, esta pode ser dividida em duas partes: a etapa A e a etapa B, descritas a seguir.

Etapa A: representa a fase de planejamento da coleta de dados. É composta pelos primeiros contatos com empresas que utilizam o sistema construtivo *LSF* em seus processos (A1). Uma vez definidas as empresas que contribuirão para o estudo, foi um questionário (A2) voltado para a investigação dos processos de projeto e produção adotados pelas empresas estudadas.

Etapa B: concluída a etapa A, a pesquisa segue com a etapa B representada pelas entrevistas e visitas às empresas que utilizam o *LSF* (B1). Feita a coleta de dados, a dissertação segue para a última etapa de pesquisa.

Etapa C: esta fase da pesquisa é representada pela análise dos dados coletados e processamento dos mesmos (C1) e, finalmente, pela proposição de diretrizes e detalhes para o projeto de montagem de residências unifamiliares em *LSF* (C2), alcançando, assim, o objetivo principal deste estudo.

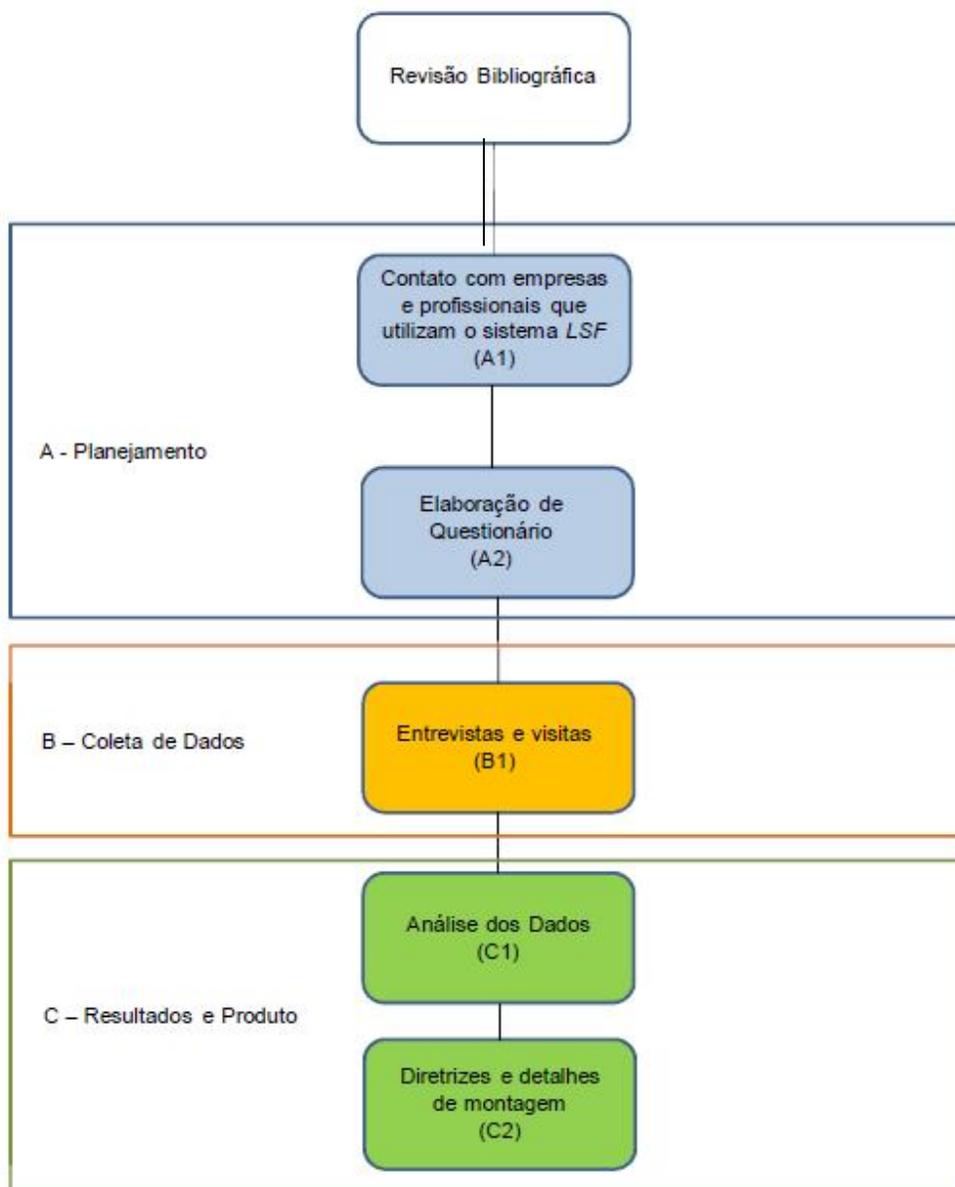


Figura 1: Esquema hierárquico da estruturação da pesquisa

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O texto desta dissertação está estruturado em mais sete capítulos, além deste capítulo introdutório, conforme segue:

Capítulo 2 – Aqui, inicia-se a revisão bibliográfica apresentando, primeiramente, as principais definições a respeito do sistema *LSF*, abordando as técnicas e ferramentas utilizadas bem como os materiais que compõem uma edificação em *LSF*.

Capítulo 3 – Neste capítulo serão abordados os principais conceitos sobre o processo de projeto, analisando as atividades projetuais na Construção Civil e abordando quais seriam as práticas ideais de projeto para a produção de residências em *LSF*.

Capítulo 4 – Compete a este capítulo a análise dos conceitos envolvidos com a Engenharia Simultânea e outros conceitos relacionados com uma abordagem voltada para o processo de projeto de edificações residenciais unifamiliares.

Capítulo 5 – Aqui serão expostas as ideias por trás dos conceitos e uso do Projeto para Produção e do *Design for Assembly* e seu potencial de uso na Construção Civil.

Capítulo 6 – Compete a este capítulo a apresentação das características das entrevistas realizadas e a exposição dos dados coletados.

Capítulo 7 - Neste capítulo estarão as diretrizes e os detalhes de montagem dos sistemas que compõem as edificações em *LSF* sob a luz dos conceitos do *Design for Assembly*.

Capítulo 8 – Neste último capítulo são apresentadas as considerações finais a respeito do trabalho realizado.

1.6 DELIMITAÇÕES

A dissertação é delimitada, exclusivamente, pelo estudo de diretrizes de projeto e das sequências de montagem e fixação dos sistemas de estrutura, vedação e cobertura de edificações em *LSF*, representado por habitações unifamiliares de até dois pavimentos de médio padrão, contempladas no processo de projeto por meio dos conceitos de Projetos para Produção e, especificamente no caso da montagem, pelo *Design for Assembly*.

Não serão abordados nesta pesquisa: a interface de subsistemas (elétrico, hidráulico etc.) com os painéis; o papel de profissionais responsáveis pela gerência das atividades de projeto (coordenadores de projeto); os profissionais responsáveis por cada especialidade. O estudo também não contempla o projeto de disciplinas específicas e diretrizes para a utilização de ferramentas da tecnologia de informação nos projetos.

2 O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING*

É característico que a construção de residências unifamiliares ainda mantenha uma particularidade produtiva arcaica associada a um sistema construtivo tradicional que, usualmente, favorece o desperdício de materiais e o surgimento de imprevistos e manifestações patológicas. A falta de projetos detalhados associados a filosofias gerenciais que forneçam os subsídios para a produção, também favorecem a baixa eficiência durante a produção das residências. Neste contexto, o sistema *LSF* surge como uma importante alternativa tecnológica para a construção residencial. Sendo um sistema industrializado, o *LSF* é caracterizado por promover a precisão de montagem, resistência estrutural, redução drástica de desperdícios, além das inúmeras possibilidades de inovação tecnológica.

2.1 ORIGENS DO *LIGHT STEEL FRAMING*

O nome *Light Steel Framing (LSF)* é um termo da língua inglesa utilizada para designar edificações, em sua maioria de pequeno porte, cuja estrutura é executada com perfis de aço galvanizado laminados a frio. Essencialmente, o *LSF* é um sistema no qual os perfis de aço são utilizados para a composição de uma estrutura de painéis, que podem ser estruturais ou não, vigas, tesouras entre outros componentes necessários (FREITAS; CRASTO, 2006).

A palavra *Light* designa uma construção leve, ou seja, sem grandes solicitações, mesmo nos edifícios em altura, pois o material utilizado na estrutura é obtido pela moldagem de chapa de aço com baixa espessura, portanto todos os perfis metálicos utilizados possuem baixo peso, daí a designação completa *Light Gauge Steel Framing*, ou seja, estruturas de aço leve. O termo *Light* também ressalta a flexibilidade do sistema, visto que permite qualquer tipo de acabamento no exterior e no interior da edificação. Além disso, o peso próprio do edifício é baixo, não só porque a sua estrutura é leve, mas também porque o *LSF* pode ser utilizado para edifícios de pouca altura (máximo de 8 pavimentos).

Historicamente a ConsulSteel (2010), define que a origem do *LSF* remonta aos anos de 1810, quando os EUA iniciaram o processo de expansão do seu território, e 1860 com a migração chegando até a costa oeste no Oceano Pacífico. Entre estes anos, a população norte-americana decuplicou aumentando significativamente a demanda por habitações. Assim, visando principalmente a rapidez da produção, recorreu-se à utilização de materiais que estavam disponíveis no próprio local, neste caso a madeira, e a conceitos de praticidade, velocidade e produtividade. A combinação destes conceitos e materiais deu origem ao que hoje é conhecido por *Balloon Framing* (1830), conforme ilustrado na Figura 2.

O conceito básico do *Balloon Framing* é a utilização de montantes que já possuem a altura total da edificação (em geral dois pavimentos), com as vigotas de sustentação do piso superior fixadas lateralmente aos montantes. O *Balloon Framing* evoluiu para o que hoje é conhecido por *Platform Framing*, que essencialmente é o mesmo conceito construtivo do *Balloon Framing*, com a diferença de que os montantes possuem uma altura que alcança apenas o piso superior e, portanto, a laje é apoiada entre os montantes. Assim, a laje passa a transmitir as cargas de forma axial, e não mais de forma excêntrica como no *Balloon Framing*, resultando em montantes com seções menores, o que permite maior eficiência na montagem do edifício e melhor aproveitamento dos recursos (CONSULSTEEL, 2010).

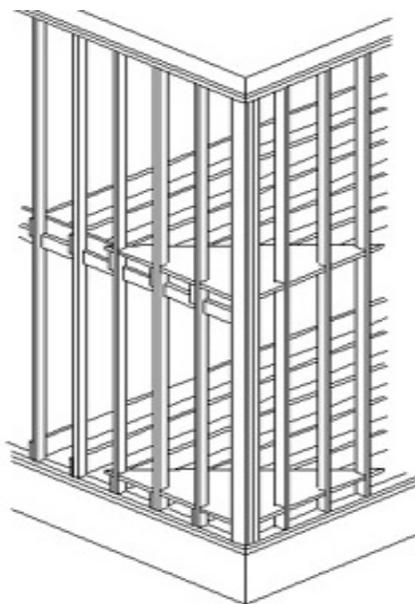


Figura 2: Esquema básico de uma estrutura do tipo *Balloon Framing* (ConsulSteel, 2010)

Assim, as construções em madeira tornaram-se conhecidas por *Wood Frame*, sendo as mais populares nos EUA até a primeira metade do século XX. Em 1933, com o grande desenvolvimento da indústria siderúrgica nos EUA, foi lançado, na Feira Mundial de Chicago, um protótipo de uma residência em *LSF* que utilizou os perfis de aço no lugar da estrutura de madeira (FRECHETTE, 1999). Até pouco antes da Segunda Guerra Mundial, a utilização do *LSF* limitava-se a edifícios comerciais, sendo que a migração de tal sistema para as obras residenciais ocorreu somente após a Segunda Grande Guerra (CONSULSTEEL, 2010).

O grande crescimento da economia norte-americana no pós-guerra e a abundância na produção de aço permitiu a evolução dos processos de fabricação dos perfis formados a frio. O aço sendo mais resistente e eficiente em termos de função estrutural, este passou a ser mais vantajoso do que a madeira para construções residenciais (FREITAS; CRASTO,

2006). Mais recentemente, durante os anos 90, a constante flutuação nos preços da madeira e políticas públicas de preservação potencializou o uso do aço nas obras habitacionais que, em estimativa, pode ter alcançado 25% das construções residenciais nos EUA no final da década de 90 (BATEMAN, 1997). De maneira geral, peças fabricadas em aço são mais vantajosas, sob o ponto de vista da engenharia, do que componentes fabricados em madeira, pois o aço proporciona maior precisão nas formas e dimensões, além de apresentar um melhor desempenho estrutural.

Desta forma, o *LSF* passa a ganhar espaço no mercado residencial. Consolidado em países desenvolvidos, o *LSF* começa a entrar no mercado brasileiro e representa uma importante alternativa aos sistemas construtivos tradicionais. Assim torna-se necessário caracterizar o sistema a fim de promover as vantagens sobre sistemas construtivos tradicionais.

2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA *LSF*

No Brasil, como já mencionado anteriormente, a construção de residências unifamiliares é, basicamente, caracterizada por ser, na maioria dos casos, improdutiva e por haver grande desperdício de material. De certa forma, estas características estão diretamente relacionadas com o tipo de sistema construtivo que está sendo utilizado.

Sistemas construtivos tradicionais, formado por estruturas de concreto armado e vedações de blocos cerâmicos e até mesmo a alvenaria estrutural (apesar de ser um sistema com maior grau de racionalização) são mais susceptíveis a desperdícios, imprecisões e imprevistos na produção, ocasionados, principalmente, por falhas de projeto e da própria execução.

A inovação tecnológica na Indústria da Construção Civil associada a algumas ferramentas projetuais e gerenciais, garantem o avanço do setor em paralelo com a demanda de mercado de residências unifamiliares. Sistemas pré-fabricados como o *LSF*, bastante popular nos países desenvolvidos, passam a ganhar força em países emergentes como o Brasil, particularmente no subsetor de edificações.

O *LSF* associado a estratégias projetuais colaborativas, forma a base ideal e necessária para que teorias de gestão de processos sejam aplicadas de forma adequada, em todas as fases do ciclo de vida do empreendimento, de forma que altos graus de racionalização sejam alcançados. Desta forma, o *LSF* torna-se uma importante alternativa tecnológica para a Indústria da Construção Civil que, no Brasil, é um sistema construtivo inovador capaz de fomentar a pesquisa e o desenvolvimento entre os diversos agentes envolvidos com a modernização do setor.

Essencialmente, o *LSF* é um sistema construtivo industrializado que permite um melhor desempenho da produção articulada com projetos elaborados visando a montagem da edificação. Freitas e Crasto (2006, p.12) definem a expressão *Steel Framing* como sendo um “processo pelo qual se compõe um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação e dando forma a mesma”. Na Figura 3 ilustra-se a perspectiva gráfica de uma edificação de dois pavimentos em *LSF* e nas Figuras 4 e 5 ilustra-se a estrutura real de uma edificação em *LSF*.

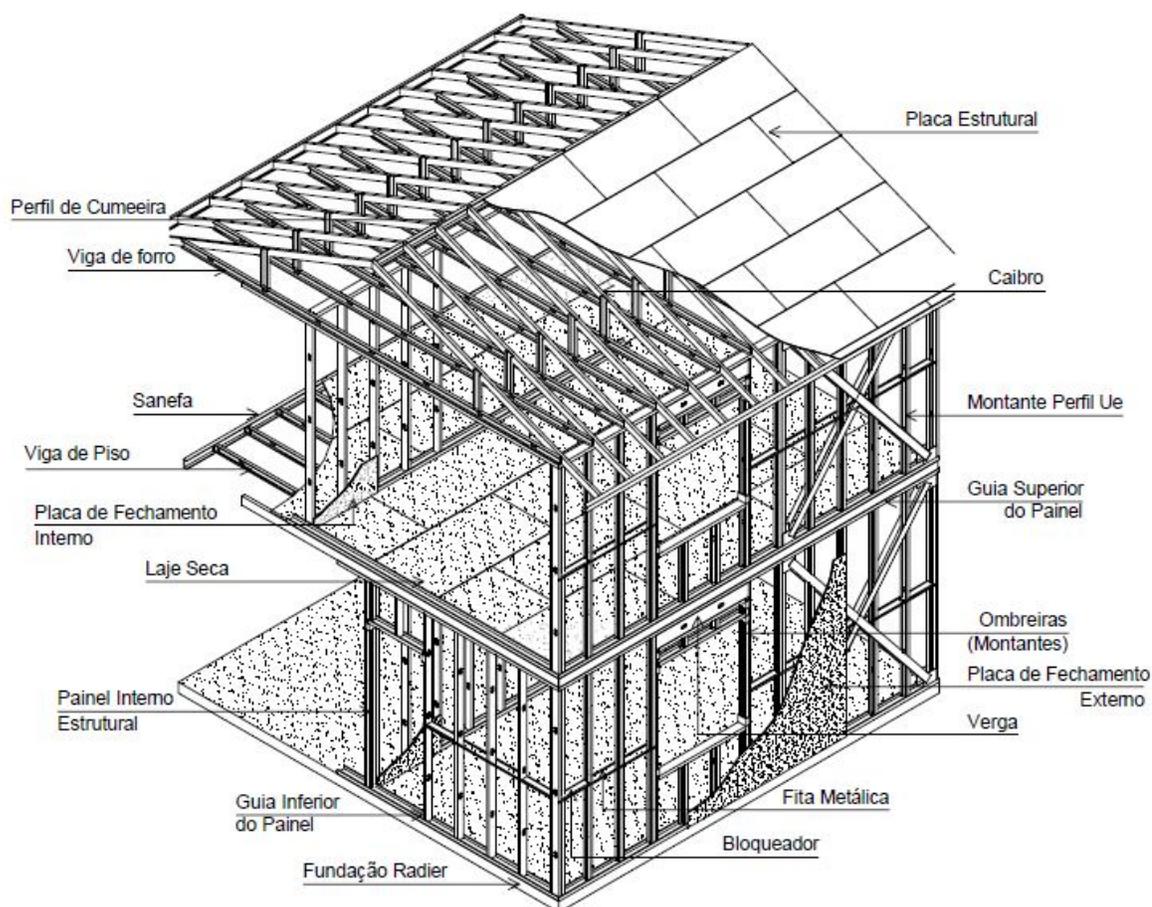


Figura 3: Perspectiva esquemática de uma edificação de dois pavimentos em *LSF* (Adaptado de FREITAS; CRASTO, 2006)



Figura 4: Visão geral da estrutura de uma residência em LSF



Figura 5: Fachada principal da residência em LSF

Continuando com os conceitos de *LSF*, Gomes (2007) considera que:

O sistema construtivo *LSF* possui concepção racionalizada e caracteriza-se por perfis de aço galvanizado, formados a frio, constituindo um esqueleto estrutural capaz de resistir às cargas que solicitam a edificação e por vários

componentes e subsistemas inter-relacionados que possibilitam uma construção industrializada, com grande rapidez de execução e a seco.

Em outra conceituação, Burstrand (1998) define o sistema *LSF* como sendo um sistema construtivo que consiste na utilização, exclusivamente, de materiais “secos”, como, por exemplo, os perfis de aço formados a frio (PFF) para estrutura, placas de gesso acartonado para vedação e lã de rocha para isolamento térmico. Além disso, os produtos em *LSF* são sustentáveis e totalmente recicláveis e são produzidos com grande precisão dimensional garantindo a satisfação dos clientes (BURSTRAND, 1998).

A *North American Steel Framing Alliance* (NASFA, 2010) destaca algumas vantagens do sistema *LSF* para o construtor, como: material mais leve do que outros utilizados em estruturas; fácil seleção do material; paredes ortogonais; menos resíduos; possui grande precisão dimensional; materiais produzidos na indústria, ou seja, sem variações regionais.

Particularmente, o funcionamento em conjunto dos subsistemas e elementos que compõem o *LSF* é o que difere tal sistema dos outros tradicionais na Construção Civil sob o ponto de vista de seu desenvolvimento e produção, sendo que o uso deste sistema também promove a redução de perdas no canteiro de obras (RODRIGUES, 2006).

Em uma análise global de um empreendimento em *LSF*, este pode representar um enorme ganho sob o ponto de vista técnico, mas que, comercialmente, ainda enfrenta barreiras culturais no Brasil. Economicamente, o *LSF* não é muito mais oneroso do que sistemas tradicionais. Neste sentido, pode-se dizer ainda que o uso do *LSF* se torna mais vantajoso quando a produção é em larga escala, ou seja, o custo inicial de uma unidade é diluído pela sua rapidez de execução frente aos sistemas convencionais, dada a construção em série das edificações.

De acordo com Silva (2010), em reportagem na revista *Téchne*, foi constatado que a produção de uma unidade residencial em *LSF*, de pouco mais de 40 m², custou 7% a mais comparada a uma edificação em alvenaria e estrutura de concreto. A grande diferença é que em países desenvolvidos, a cultura pragmática da população e, por conseguinte, do consumidor, contribui para o sucesso do sistema construtivo, havendo ainda a possibilidade de se utilizar a madeira no lugar do aço (*Wood Framing*).

Assim, de maneira geral, o sistema *LSF* utiliza componentes pré-fabricados (toda a estrutura é pré-fabricada e deve ser projetada para solidarizar com a modulação da vedação) e, dessa forma, pode-se dizer que as edificações em *LSF* são, obviamente se o processo de projeto fornecer subsídios para tanto, produzidas a partir da montagem dos componentes, excluindo-se a fundação, que ainda deve utilizar o concreto armado como principal material. Assim, é necessário abordar os principais conceitos e características inerentes aos materiais e componentes do sistema *LSF*.

2.3 FUNDAÇÕES

As edificações em *LSF* não exigem grandes fundações como no sistema tradicional, no entanto, como os painéis estruturais distribuem as cargas uniformemente é necessário que a fundação seja contínua, em toda a extensão dos painéis. Neste caso, a estrutura segue o processo construtivo tradicional e deverá ser em concreto armado, sendo necessário que a base seja nivelada e em esquadro, o possibilita maior precisão durante a produção da edificação.

Um tipo de fundação bastante eficiente para o sistema *LSF* é a do tipo radier. O radier é um tipo de fundação superficial que pode ser admitido como uma laje, executada em toda a área que compreende a construção, que recebe as solicitações da edificação e as transmite ao solo onde o radier está apoiado (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

A prática habitual é o dimensionamento com base no modelo de placa sobre base elástica, embasado pela hipótese de Winckler; neste caso, o solo é visto como um meio elástico formando infinitas molas que agem sob o inferior da placa, gerando uma reação proporcional ao deslocamento (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

Estruturalmente, o radier pode ser dos tipos: liso (como uma laje com espessura constante e sem nenhuma viga enrijecedora); radier com pedestais ou cogumelos (aumento da seção nas regiões próximas aos pilares); radier nervurado (execução de nervuras secundárias e principais na parte inferior ou superior da laje, aumentando a rigidez da estrutura); radier em caixão (utilizado somente para grandes solicitações, pois apresenta grande rigidez) (DÓRIA, 2007).

A escolha de uma das tipologias acima citadas depende da resistência do solo, das cargas atuantes sobre o radier e da intensidade e aplicação das ações da estrutura; no entanto, para o sistema *LSF* o tipo mais utilizado é o liso, devido às baixas solicitações de carga.

O radier permite locar os nichos para instalações hidráulicas, sanitárias, elétricas e de telefonia, o que potencializa a característica de montagem do *LSF*. Essas locações devem ser precisas em relação às posições e diâmetro dos furos, para que não ocorram contratempos na montagem dos painéis, nas colocações das tubulações e dos acessórios e nos serviços subseqüentes, de forma que os ajustes tomam-se muito difíceis se houver grande desalinhamento (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

O radier mostra-se mais competitivo quando a edificação possui um só nível e todos os painéis referentes ao primeiro pavimento são assentados na mesma cota. Considerando-o como uma estrutura de concreto armado, o radier é interessante, pois demanda poucas fôrmas, principalmente de madeira, cuja participação no custo da estrutura convencional pode chegar a 20% (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

O radier, como ilustrado na Figura 6, deve possuir certo desnível em seu contorno para que o painel fique protegido da umidade. A calçada deve ser executada de forma que permita o escoamento das águas pluviais, recomendando-se uma inclinação em torno de 5%. A espessura do radier, conforme recomenda a boa norma, deve ser de pelo menos 15 cm, para evitar a penetração de umidade (FREITAS; CRASTO, 2006).

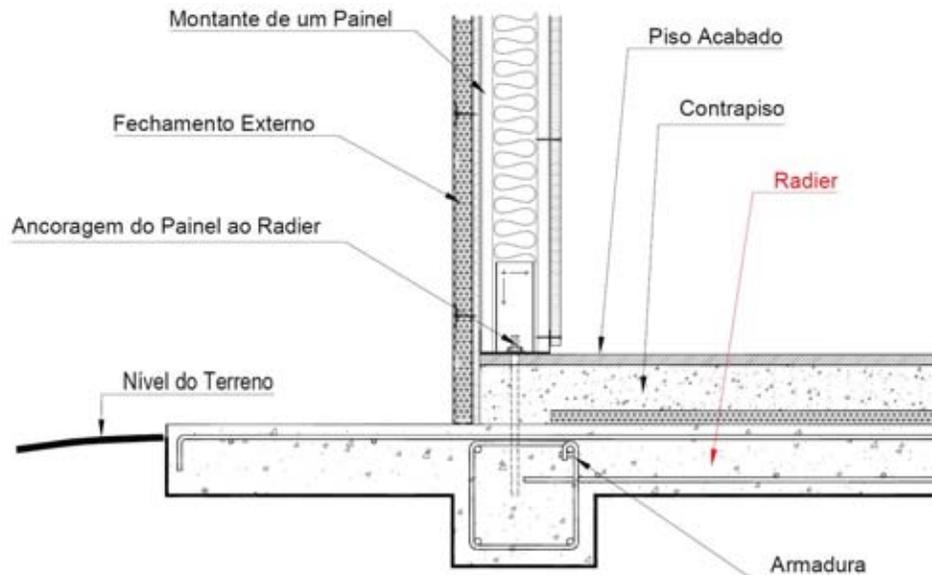


Figura 6: Esquema de ancoragem de painel do sistema LSF em fundação do tipo radier (Adaptado de CONSULSTEEL, 2010).

Além do radier, outro tipo de fundação que pode ser utilizada no sistema LSF, segundo Freitas e Crasto (2006), é a sapata corrida, que se constitui de concreto armado, blocos de concreto ou alvenaria que são colocados sob os painéis e servem de apoio para o contrapiso que poderá ser de concreto ou de perfis metálicos.

As sapatas representam um dos tipos mais comuns de fundação e são caracterizadas por serem elementos estruturais de concreto armado com altura relativamente pequena em relação a sua base em contato com o solo e destinam-se a receber as cargas originadas de muros e pilares (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

Terni; Santiago e Pianheri (2008) descrevem a sapata corrida como uma estrutura prismática de concreto armado que possui a base, que no caso está em contato com o solo, alargada para melhor distribuição das cargas no solo provenientes da edificação. No caso da sapata corrida, é necessário que o contrapiso seja executado em etapas posteriores, o que já não ocorre com a adoção do radier.

Ainda com relação ao contrapiso para a sapata corrida, o mesmo pode ser executado em concreto armado ou ainda com perfis de aço galvanizado que estarão

apoiados na própria sapata (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). Na Figura 7 ilustra-se o esquema básico de uma sapata corrida sustentando os painéis do sistema *LSF* e o contrapiso seco formado por perfis de aço.

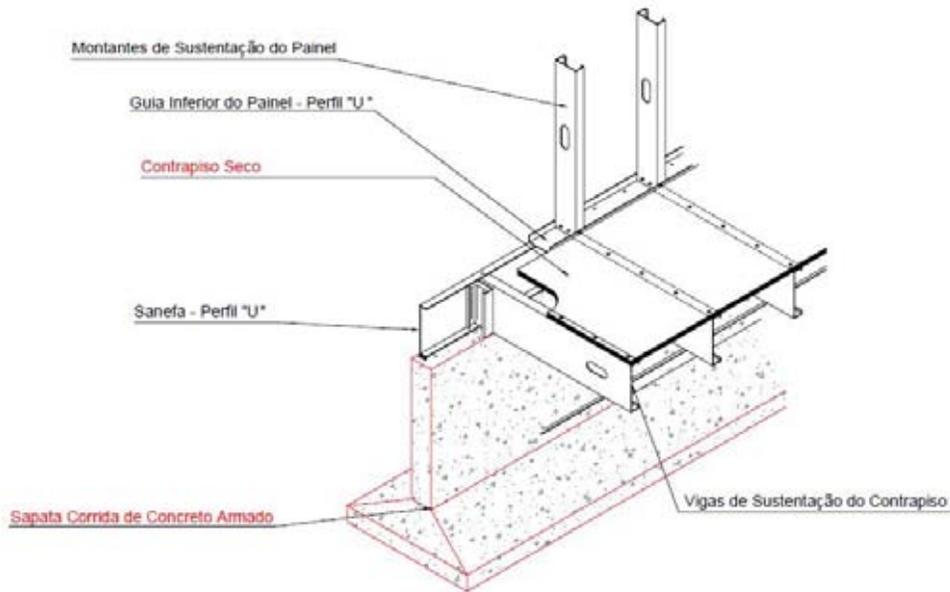


Figura 7: Detalhe da sapata corrida como fundação para o sistema *LSF* (Adaptado de CONSULSTEEL, 2010)

Com relação ao alto grau de racionalização obtida com o sistema *LSF*, a escolha do radier como fundação das edificações residenciais mostra-se mais vantajosa em comparação às soluções mais tradicionais como a sapata corrida, pois permite, e exige a antecipação de etapas construtivas, como instalações prediais e contrapiso, que deverão estar previstas nos projetos. Isto impede que imprevistos e retrabalhos façam parte das obras, havendo compatibilização entre os sistemas.

Quanto à fixação dos painéis na fundação (radier ou sapata corrida), a mesma deve ser feita a fim de se evitar a movimentação da estrutura devido às ações do vento, que originam esforços de tração e elevação dos painéis, garantindo a resistência suficiente para a superação dos efeitos de segunda ordem.

A estrutura em *LSF*, basicamente, terá de resistir aos deslocamentos de translação e rotação. A translação é, basicamente, o deslocamento lateral da parte superior da estrutura, enquanto que o rotação é o deslocamento que tende a rotacionar a estrutura a partir do despreendimento da base (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). Assim, para que a estrutura do sistema *LSF* resista a tais esforços, é necessária que haja a ancoragem dos painéis.

A ancoragem deve ser escolhida mediante as solicitações estruturais da edificação, e essencialmente, todos os tipos de ancoragem necessitam de uma guia formada por um

perfil estrutural posicionada na posição horizontal onde estarão fixados os montantes dos painéis (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008). Assim, Crasto (2005) e Freitas e Crasto (2006) consideram que no sistema *LSF* há cinco tipos principais de ancoragens:

a) Ancoragem química com barra roscada:

A ancoragem química com barra roscada é executada somente após a concretagem da fundação. O sistema é composto por uma barra roscada com arruela e porca (Figura 8), que será fixada no concreto após sua perfuração, e preenchida com uma resina química que poderá ser a base de epóxi que garante a fixação necessária entre a barra e o concreto (CRASTO, 2005).



Figura 8: Barra roscada (FISCHER, 2010)

Tanto para a utilização do adesivo epóxi quanto para qualquer outro tipo de resina química, o calculista deve garantir que a resistência do produto químico será superior à do concreto, garantindo a aderência do conjunto de ancoragem, sendo que a reação ao arrancamento, no caso de fixação com epóxi, da barra roscada após a aplicação do adesivo pode suportar até, aproximadamente, 123 KN (VEDACIT, 2010).

Assim, a estrutura da edificação é fixada na fundação através da barra roscada, devidamente engastada pelo produto químico, por meio da conexão de uma peça de aço (conector de ancoragem) que ficará ajustada à guia do montante do painel, conforme ilustrado na Figura 9 e na Figura 10 (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

A ancoragem química, estando basicamente engastada por aderência, não produz tensões de expansão do conjunto e, dessa forma, não necessita de grandes distâncias entre a borda da base de concreto e a ancoragem (FISCHER, 2010). Tais distâncias variam de acordo com as solicitações de cada edificação e são especificadas pelo projeto estrutural.

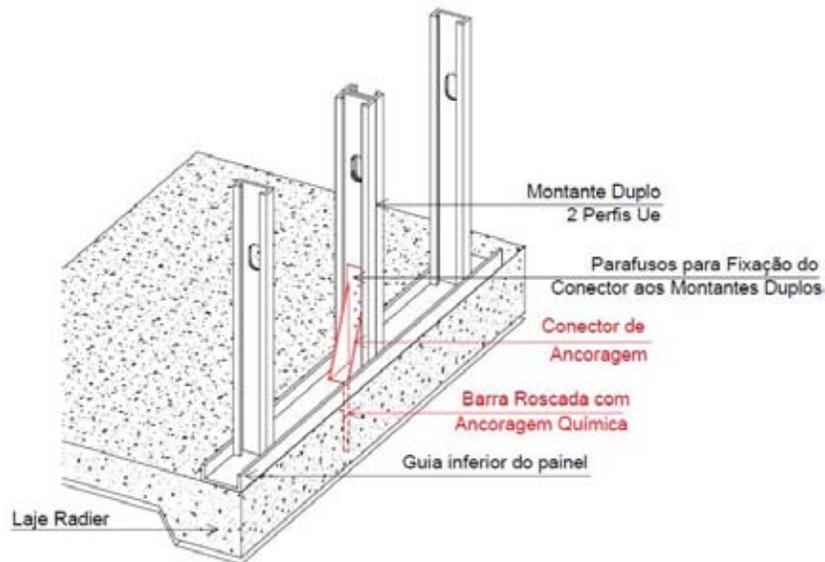


Figura 9: Detalhe da ancoragem química na fundação (FREITAS; CRASTO, 2006)

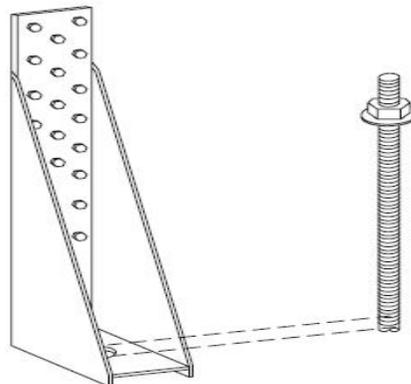


Figura 10: Detalhe do conector de ancoragem e barra rosca utilizados no sistema *LSF* (CONSULSTEEL, 2010)

b) Ancoragem com fita metálica:

Além da ancoragem química, o sistema *LSF* permite a utilização de fitas metálicas que também serão chumbadas à fundação para a fixação dos painéis, como ilustrado na Figura 11. Crasto (2005) afirma que as fitas metálicas são peças de aço galvanizado com uma das extremidades engastada na fundação, que deverá ser locada antes da concretagem e, a outra extremidade, parafusada nos montantes do painel. Mais especificamente, com relação às dimensões, as fitas de aço devem apresentar pelo menos 38,00 mm de largura e 0,95 mm de espessura (RODRIGUES, 2006). Na Figura 12 estão demonstrados rolos da fita metálica utilizados no canteiro de obras.

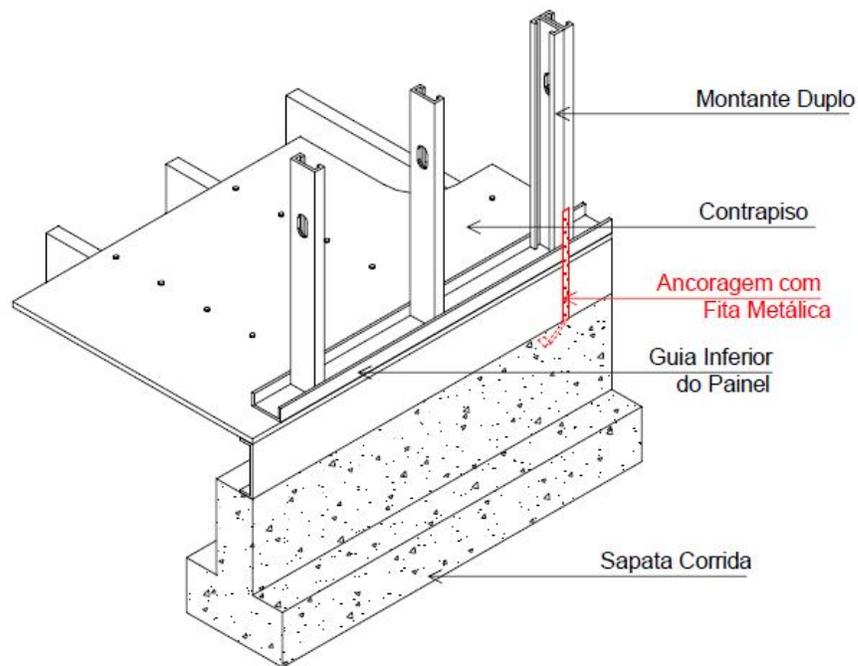


Figura 11: Fitas metálicas para ancoragem e estabilização de painéis (Adaptado de FREITAS; CRASTO, 2006)



Figura 12: Rolos de fitas metálicas utilizados em obra

As tiras ou fitas são, normalmente, utilizadas para a estabilização dos painéis e formação de ligações, sendo que existe uma grande variedade de dimensões de tais materiais (FREITAS; CRASTO, 2006). A estabilidade global do sistema pode ser obtida

utilizando tais fitas, formando contraventamentos na forma de “V”, “X” ou “K” (RODRIGUES, 2006). Para o perfeito funcionamento, as fitas metálicas deverão estar perfeitamente parafusadas nos montantes da estrutura, de maneira que se algum problema venha a ocorrer durante a colocação das fitas, as mesmas possam ser substituídas por ancoragem com barra roscada (CRASTO, 2005).

Além de ancoragem para a estrutura na fundação, as fitas de aço também são utilizadas para a diminuição dos comprimentos de flambagem dos montantes dos painéis e travamento lateral das vigas de pavimentos superiores (RODRIGUES, 2006).

c) Ancoragem com *bolts*:

A ancoragem com *bolts* é um processo mecânico na qual uma peça metálica roscada, como o exemplo apresentado na Figura 13, é instalada na fundação de concreto (após esta ser perfurada), que deverá estar concluída, fixando a guia inferior dos painéis. Muitas vezes o torque aplicado para a fixação destes componentes pode ser controlado por meio de uma chave de torque. Além disso, os “bolts” também podem ser do tipo expansível, como se ilustra na Figura 14. Neste caso, sua estrutura roscada é revestida por uma camisa metálica que se expande (dentro do concreto) de acordo com o torque utilizado na sua fixação.



Figura 13: Bolt sem camisa de expansão



Figura 14: Bolt com camisa de expansão (FISCHER, 2011)

d) Ancoragem com barra roscada tipo “J”:

Como ilustrado na Figura 15, este tipo de ancoragem consiste basicamente de uma barra roscada e curvada em uma das extremidades que será engastada na fundação de concreto e outra extremidade reta que será fixada à guia ou a montante (CRASTO, 2005). Para a autora, este tipo de ancoragem não é muito recomendada para o sistema *LSF*, pois devido a dificuldade de locação da barra roscada no radier de concreto, torna-se necessário o uso de um reforço de comprimento mínimo de 150 mm de um perfil Ue.

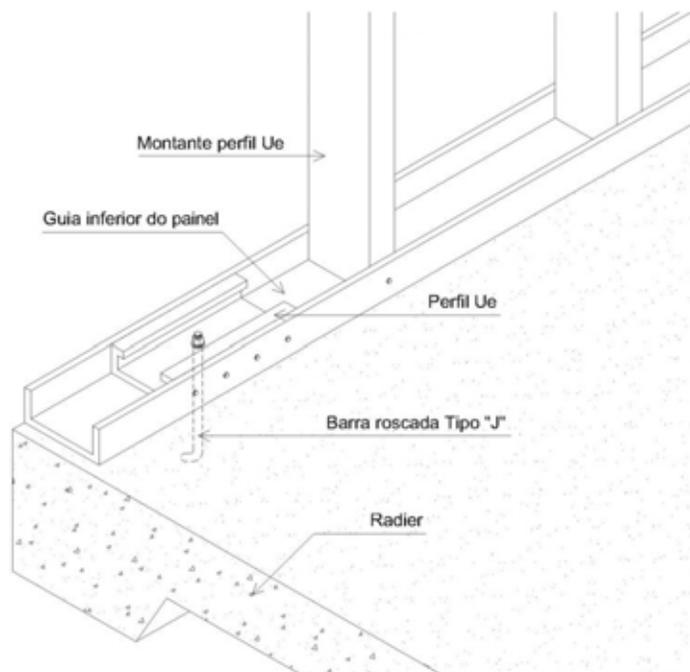


Figura 15: Ancoragem de painel com barra roscada tipo “J” (CRASTO, 2005)

e) Ancoragem provisória:

Neste tipo de ancoragem, a fixação é feita por meio de um sistema finca pinos acionados a pólvora. Este tipo de fixação é utilizado para manter o prumo dos painéis enquanto são montados e conectados aos outros painéis até o momento em que as ancoragens definitivas estejam concluídas, além de poderem ser utilizadas em paredes de vedação a fim de se evitar deslocamentos laterais (CRASTO, 2005).

Este sistema é composto por uma pistola, como ilustrado na Figura 16, que lança os pinos de fixação diretamente onde as peças serão instaladas, por meio de cartuchos que, ao serem acionados pela pistola, liberam a energia contida em uma pequena carga de pólvora que empurra os pinos para as bases destinadas ao engastamento.



Figura 16: Pistola para fixação a pólvora (FISCHER, 2011)

O sistema de fixação a pólvora permite que instalações sejam executadas tanto em aço quanto em concreto, com produtividade de aproximadamente 500 fixações por hora de maneira que a profundidade de penetração irá variar de acordo com a resistência do concreto, podendo alcançar até 35 mm de profundidade (FISCHER, 2010).

2.4 A ESTRUTURA

2.4.1 PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO

Toda a estrutura do sistema *LSF* é constituída por aço, mais especificamente, o sistema utiliza perfis de aço formados a frio (PFF). Segundo Rodrigues (2006) os PFF apresentam grande diversidade de uso como: hangares, coberturas de galpões, estrutura para o próprio sistema *LSF*, edificações com vedações em gesso acartonado (*Dry-Wall*), ginásios poliesportivos, fôrmas para concretagem, entre outros usos diversos. O mesmo autor afirma que esta grande diversidade de usos é justificada devido à grande variedade de combinações para as seções transversais.

Maiola e Malite (2007) definem os PFF como sendo materiais obtidos por meio do dobramento a frio de chapas de aço. Para sua confecção a indústria siderúrgica utiliza aços-carbono do tipo ASTM A 570 GR 33, com limite de escoamento mínimo de 230 MPa, e ASTM A 570 GR 40, com limite de escoamento mínimo de 280 MPa (DIAS, 2006).

A grande vantagem dos processos de conformação é a flexibilidade na fabricação dos perfis, apesar de existir a padronização de tais perfis pela norma brasileira NBR 6355:2003, o que proporciona maior liberdade de projeto estrutural, visto que, normalmente, os perfis resultantes são de elevada relação inércia/peso (MAIOLA; MALITE, 2007).

Quanto ao processo de fabricação dos PFF, Dias (2006) descreve que tais perfis são concebidos a partir da conformação a frio de elementos planos, como chapas e tiras que sofrerão alterações na sua forma física por meio de dobradeiras e perfiladeiras, estas limitadas a perfis mais leves, operando com espessuras máximas de 3,00 mm e com dimensões máximas dos perfis de 50x150x50 mm, sendo recomendados para estruturas de construções leves como o *LSF*.

Rodrigues (2006) afirma que há três particularidades, e que merecem ser citadas neste trabalho por se tratar da estrutura do sistema *LSF*, relacionadas aos processos de produção dos PFF. A primeira se remete às alterações mecânicas que a conformação a frio provoca no material, onde nota-se uma relativa elevação na resistência ao escoamento do aço e redução da ductilidade do mesmo. A segunda faz referência ao surgimento de tensões residuais nos elementos do perfil, ou seja, esforços que se mantém na estrutura mesmo após as cargas serem removidas; e a terceira particularidade relaciona-se com a esbelteza dos perfis, fato resultante do aumento da relação entre largura e espessura dos elementos, fato este que proporciona maior susceptibilidade à flambagem local, o que reduz gradativamente sua rigidez axial e de flexão.

De acordo com o estudo realizado pela Caixa Econômica Federal, “Sistema Construtivo Utilizando Perfis Estruturais Formados a Frio de Aços Revestidos: *Steel Framing*” (2003), que fornece os requisitos e condições mínimos para construções habitacionais, os PFF utilizados para as obras em *LSF* deverão receber revestimento metálico, preferencialmente de zinco, através do processo contínuo de imersão a quente ou eletrodeposição.

Isto é justificado pela CEF (2003), pelo fato de que o processo de corrosão no aço ocorre quando a peça em questão fica exposta a ação da intempérie sem qualquer tipo de proteção, de forma que o zinco proporciona proteção à peça de aço a partir da criação de uma barreira física e catódica, visto que quando a base de aço sofre alterações como cortes ou riscos, o material é protegido catodicamente através do sacrifício da camada de zinco.

A zincagem, neste caso, torna-se um dos processos mais econômicos e eficazes para a proteção dos PFF, de maneira que a norma brasileira NBR 15253:2005 determina as massas mínimas necessárias do revestimento de zinco, como ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2: Valores mínimos de revestimentos para PFF (Adaptado da NBR 15253:2005)

Revestimento	Perfis estruturais		Perfis não-estruturais	
	Massa mínima do revestimento	Designação do revestimento conforme normas	Massa mínima do revestimento	Designação do revestimento conforme normas
Zinco por imersão a quente	180 g/m ²	Z180 (NBR 7008)	100 g/m ²	Z 100 (NBR 7008)
Zinco por eletrodeposição	180 g/m ²	90/90 (NBR 14964)	100 g/m ²	50/50 (NBR 14964)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150 g/m ²	AZ150 (NM 86)	100 g/m ²	AZ 100 (NM 86)

O processo de galvanização por imersão a quente consiste no revestimento dos PFF com uma liga de zinco e ferro (Zn-Fe), no qual, em contato com as chapas, o material passa por fornos que aquecem o material por indução e na sequência ocorre o resfriamento a baixa pressão, completando o processo através do desempenamento das chapas já na fase de acabamento (DIAS, 2006). Já a galvanização por eletrodeposição consiste na emigração das partículas (zinco ou outro metal) carregadas eletricamente em solução eletrolítica por meio de uma corrente elétrica que vai garantir a proteção dos PFF contra os efeitos do intemperismo.

Ainda com relação aos PFF, é necessário que se defina quais os principais perfis utilizados no sistema *LSF*. No Brasil, tais perfis são reconhecidos pela ABNT de acordo com a norma NBR 15253:2005 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações. No Quadro 3 são apresentados os perfis mais utilizados no *LSF* de acordo com tal norma. Neste Quadro, destacam-se o perfil “Ue”, mostrado na Figura 17, que é utilizado como enrijecedor de montantes nos painéis estruturais, e o perfil “U”, ilustrado na Figura 18, que permite o encaixe deste perfil nas guias. Para o sistema *LSF* podem ser necessários outros tipos de perfis, como tiras planas, e cantoneiras que não possuem dobras.

Quadro 3: Principais PFF utilizados no LSF e aplicações (Adaptado da NBR 15253:2005)

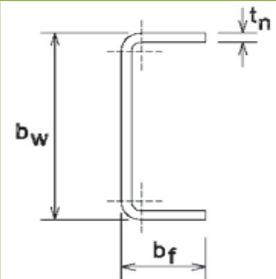
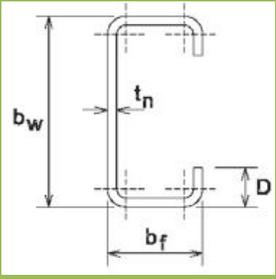
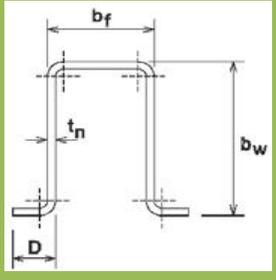
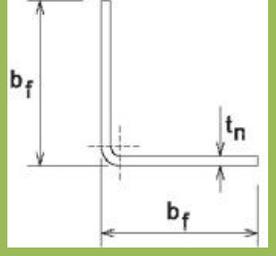
Seção transversal	Designação NBR6355:2003	Uso
	U simples	<p>Guia</p> <p>Ripa</p> <p>Bloqueador</p> <p>Sanefa</p>
	U enrijecido (Ue)	<p>Bloqueador</p> <p>Enrijecedor de alma</p> <p>Montante</p> <p>Verga</p> <p>Viga</p>
	Cartola (Cr)	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais (L)	Cantoneira



Figura 17: Perfis enrijecidos Ue



Figura 18: Perfis simples U

2.4.2 OS PAINÉIS

A estrutura de sustentação de uma residência em *LSF* é constituída pelos painéis estruturais, além das lajes. Os perfis que constituem os painéis são compostos pelos PFF e, obrigatoriamente, deverão estar modulados (com distancias previstas em projeto mas que obedecem aos valores de 400 ou 600 mm) visando o melhor desempenho da produção.

Basicamente, a estrutura formada pelos painéis forma um sistema que consiste na pré-fabricação dos elementos.

Os painéis, assim como as paredes estruturais na alvenaria estrutural, absorvem os esforços originados pelos sistemas da edificação bem como as solicitações originadas pelo uso do produto. Um painel em *LSF* é formado por duas peças principais denominadas guias e montantes.

Neste sentido, um painel típico em *LSF* apresenta, primeiramente, guias que são utilizadas na horizontal e servem para formar a base e o topo dos painéis (RODRIGUES, 2006). O mesmo autor afirma que o dimensionamento das guias é feito a partir das solicitações de compressão e que as peças de entrepiso, normalmente, são dimensionadas a partir de uma seção transversal constituída por dois perfis U simples conectados pela alma. Já para a ligação do painel à fundação, utiliza-se para o dimensionamento uma seção transversal formada pelo perfil U simples. Tanto as guias superiores como as inferiores unem os montantes, a fim de se constituir um quadro estrutural, como se verifica nas Figuras 19 e 20.

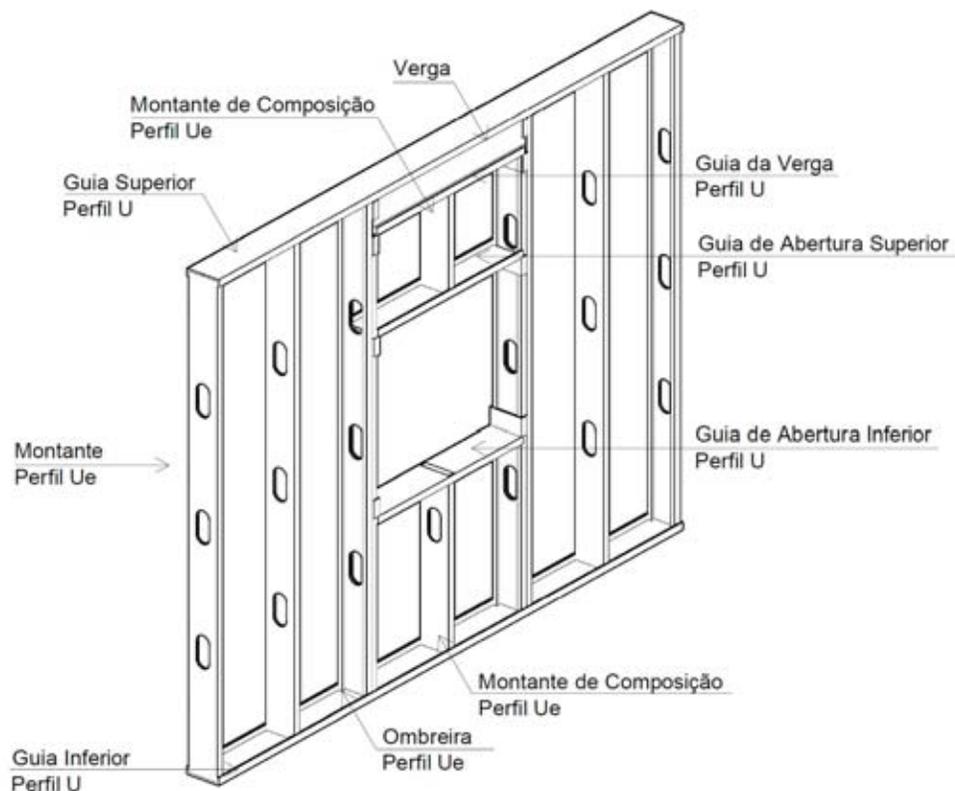


Figura 19: Representação esquemática de um painel estrutural e seus elementos, com detalhe para a abertura destinada a caixilhos



Figura 20: Painel contraventado com fita metálica

Elementos, especificamente os montantes, têm a principal função de transferência de cargas verticais, de maneira que suas seções devem coincidir de um nível a outro (quando existir) o que caracteriza o conceito de alinhamento da estrutura (CRASTO, 2005). A autora também afirma que além dos montantes estarem alinhados, todas as outras estruturas que se apóiam nestas peças devem obedecer à sua modulação que, geralmente, é de 400 ou 600 mm, mas que pode variar conforme as solicitações sobre os painéis. No que diz respeito ao dimensionamento dos montantes, Rodrigues (2006) afirma que para as paredes internas tais peças devem ser dimensionadas à compressão e à tração atuando isoladamente, já os montantes das paredes externas são dimensionados à flexo-compressão e à flexo-tração.

Com relação aos encontros entre painéis, estes podem ocorrer de três formas possíveis. Uma das formas corresponde aos cantos das edificações, outra forma corresponde a encontros que formam um “T” e a última forma e representada por encontros de painéis em cruz. Todas estas possibilidades exigem a fixação de montantes de apoio em adição às que compõem os painéis.

De acordo com Crasto (2005), com relação à fixação dos montantes nas guias, é usual a utilização de parafusos do tipo cabeça lenticilha e ponta broca, como demonstrado na Figura 21.



Figura 21: Parafuso do tipo cabeça lentilha e ponta broca

Dependendo do tipo da edificação e do local onde a mesma será instalada, os painéis podem ser solicitados por esforços horizontais acima do que se espera em construções residenciais tradicionais. Neste caso as guias e os montantes devem ser equipados com outros elementos, que associados aos mesmos, conferem ao painel a rigidez necessária para solicitações horizontais. Segundo Crasto (2005), normalmente, estes elementos são representados por contraventamentos em “X” ou placas estruturais de fechamento que funcionariam como diafragmas.

A estrutura de uma residência em *LSF* é um dos sistemas da edificação onde há maior número de atividades de montagem. Dependendo da empresa construtora, algumas soluções de produção dos elementos estruturais, e mesmo os de vedação, podem ser adotadas, o que resulta em maior ou menor nível de racionalização. É possível produzir os perfis a partir de máquinas perfiladeiras, nas quais os dados são compilados a partir de desenhos *CAD*. Com os desenhos dos perfis, tais máquinas passam a fabricar os elementos na exata medida de projeto; assim, basta que os operários montem os painéis no canteiro de obras (nada impede, também, que os painéis cheguem prontos na obra).

2.4.3 ESTRUTURA DE PISO

A laje, no sistema *LSF*, é a estrutura de piso responsável por suportar e conduzir para as estruturas as reações originadas por carregamentos permanentes e sobrecargas, podendo atuar ainda como contraventamento horizontal aumentando a rigidez da estrutura (DIAS, 2006).

No sistema *LSF*, as lajes são painéis de pisos formados a partir de perfis “Ue” paralelos que devem possuir a mesma modulação da estrutura da edificação composta pelos painéis, lajes e telhado. A associação destes perfis formam as chamadas vigas de piso, cujas seções possuem mesas, usualmente, com as mesmas dimensões das mesas dos montantes alterando-se apenas a dimensão da alma que é definida por uma série de

fatores como, por exemplo, o vão entre apoios, como mostra a Figura 22. Cabe destacar, também, que nas extremidades onde se fixam as vigas de piso (nas sanefas) é recomendada a utilização de enrijecedores de alma (pedaços de perfil Ue) que garantem maior rigidez à estrutura.

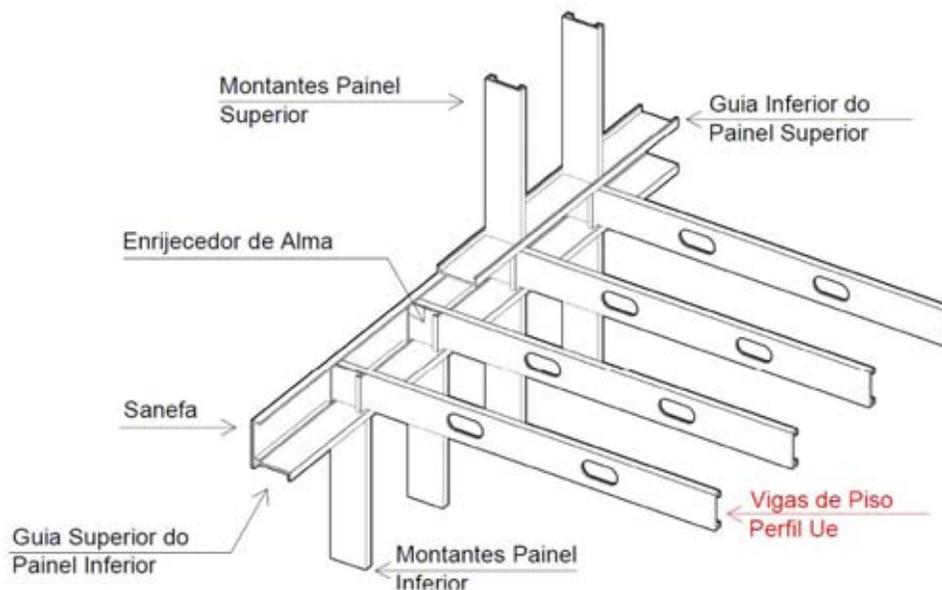


Figura 22: Detalhe das vigas de piso em laje para o sistema LSF

Um detalhe importante a ser considerado durante a fase do projeto estrutural das vigas de piso é a necessidade de execução de perfurações adicionais para a passagem de tubulações previstas nas instalações prediais, já que alguns perfis já apresentam perfurações originadas durante a fabricação, e conhecidas por *punch* (CRASTO, 2005).

A norma brasileira NBR 15253:2005 recomenda que perfurações sem reforços sejam executadas de maneira que o maior eixo do furo coincida com o eixo longitudinal da alma, visto que a distância mínima entre os furos deve ser igual a 600 mm e a distância mínima entre uma extremidade do perfil e o centro do primeiro furo deverá ser de 300 mm. Para perfurações maiores do que as dimensões recomendadas pela NBR 15253:2005, torna-se necessária execução de reforços na região do entorno da perfuração, que normalmente, são garantidos por uma chapa de aço galvanizado que deverá se estender, ao menos, 25 mm além das bordas da perfuração (CRASTO, 2005).

Segundo Crasto (2005), com relação à fixação das peças que compõem as lajes, como as vigas de piso e os enrijecedores de alma, é comum a utilização de parafusos estruturais do tipo cabeça sextavada e ponta broca, como demonstrado na Figura 23.



Figura 23: Parafuso do tipo cabeça sextavada e ponta broca

A autora mostra ainda que além das vigas de piso, há outros elementos, representados na Figura 22, que são essenciais para a constituição de uma laje no sistema *LSF*:

- a) **Sanefa ou guia:** perfil do tipo “U” fixado nos extremos da viga;
- b) **Enrijecedor de alma:** tem como função principal evitar o esmagamento da alma da viga de sustentação das vigas de piso. Geralmente é composto pelo recorte de um perfil “Ue”;
- c) **Viga caixa de borda:** utilizada principalmente para servir de apoio a algum painel, podendo ser composto pela união de perfis “U” e “Ue”;
- d) **Viga composta:** também é composta pela união de perfis “U” e “Ue”, utilizada principalmente para apoio de vigas interrompidas que permitirá o acesso através de uma escada.

As lajes estruturadas em *LSF*, assim como as lajes convencionais, também podem ser executadas com balanços ou desníveis. De acordo com Rodrigues (2006), os balanços podem ser feitos por meio do prolongamento (que não deverá exceder a metade) das vigas de piso e, no caso de balanços contrários ao vigaamento da laje, basta que os elementos que estão em balanço sejam fixados na viga de piso imediatamente anterior ao início de tais elementos. Normalmente, as vigas que servem de apoio para o balanço em direção contrária são do tipo caixa ou composta. Na Figura 24 também estão ilustrados os dois tipos de balanço mencionados.

No que diz respeito aos desníveis em piso, estes podem ser obtidos a partir da utilização de perfis de aço com menor altura em relação às vigas de piso. No ponto de início do desnível, o primeiro perfil de menor altura é parafusado na viga de piso que estará na

borda do desnível e os demais são fixados nas sanefas. Se houver necessidade de balanço com desnível, tais elementos de menor altura deverão transpassar as sanefas.

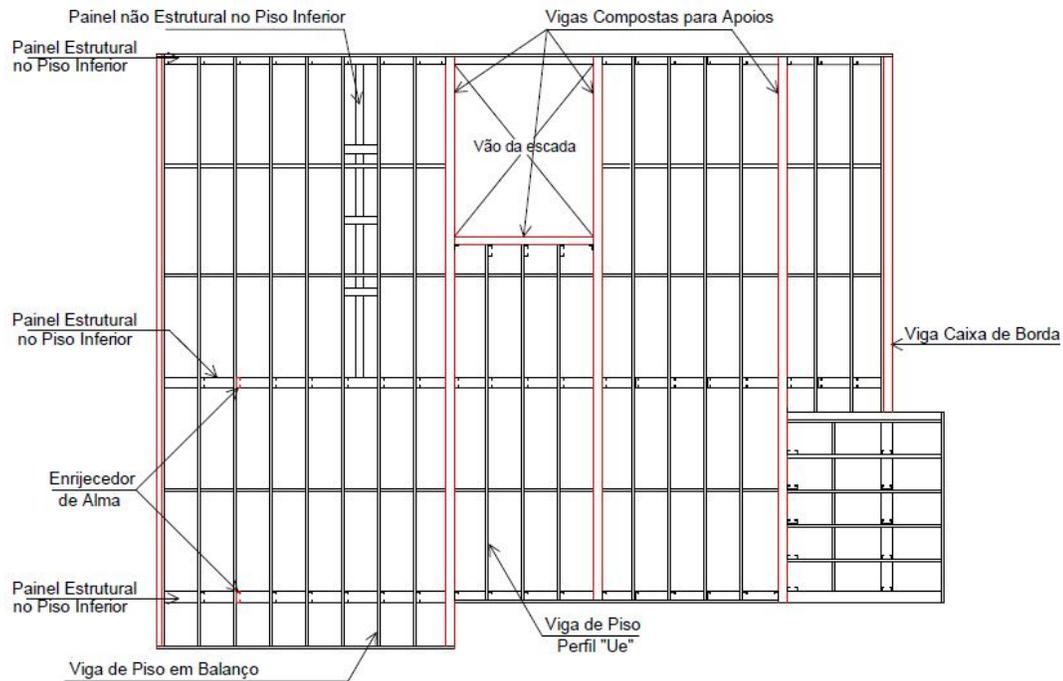


Figura 24: Esquema estrutural de uma laje em LSF (Adaptado de FREITAS; CRASTO, 2006)

Ainda em relação às lajes, em sua composição podem ser utilizados dois tipos principais no sistema LSF:

a) **Construção de laje a seco:** ilustrada na Figura 25, esta estrutura consiste, da associação das vigas de piso que sustentarão as placas rígidas e que servirão de contrapiso. O tipo e a dimensão da placa a ser utilizada relacionam-se diretamente com os esforços solicitantes originados pelo uso destinado da laje.

De maneira geral, o material mais utilizado nas construções de lajes a seco são as placas rígidas de *Oriented Strand Board (OSB)*, com exceção das áreas molháveis onde se recomenda a utilização de placas cimentícias. Normalmente as placas *OSB* possuem 18 mm de espessura e podem desempenhar a função de diafragma horizontal participando efetivamente da rigidez global do conjunto da edificação, semelhante ao que se considera nas estruturas de alvenaria estrutural.

Alguns efeitos indesejados podem ser causados nas lajes em LSF, como as perturbações acústicas. Assim, para reduzir o ruído entre pavimentos, normalmente, utiliza-se lã de vidro entre as vigas de borda e manta de polietileno expandido entre a laje e a estrutura (GOMES, 2007). Assim, de acordo com Crasto (2005) e Gomes (2007), é mais

vantajoso utilizar a laje seca no sistema *LSF*, pois os materiais envolvidos possuem menor carga por peso próprio, além de não haver a necessidade de utilização de água na obra.

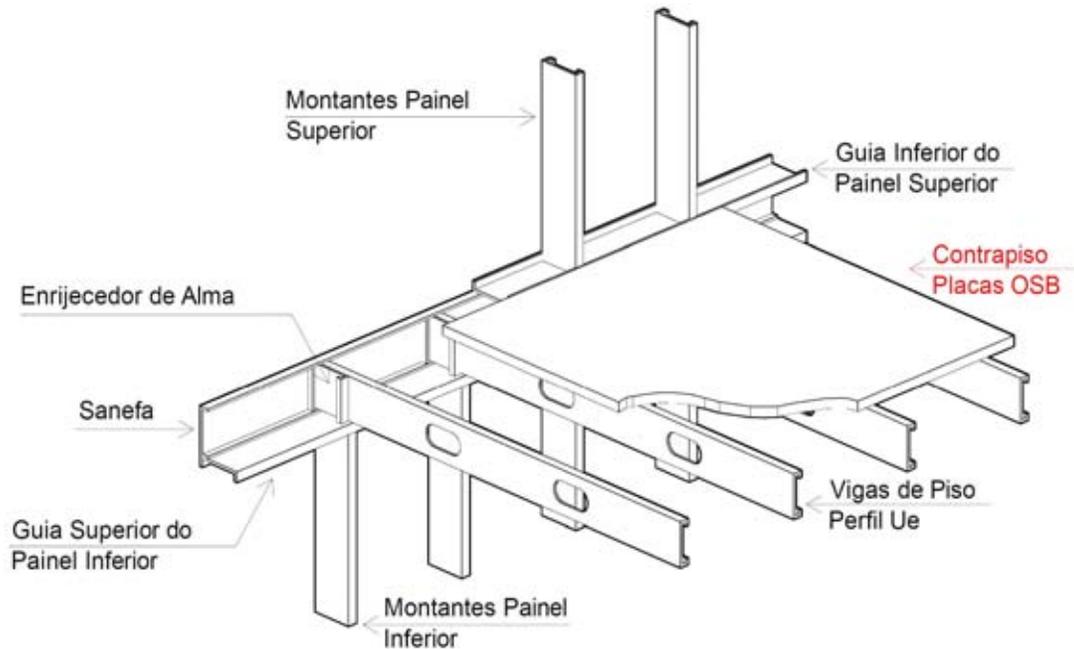


Figura 25: Representação esquemática de uma laje seca e os componentes necessários

b) **Laje moldada com materiais úmidos:** além da laje seca, há também a possibilidade de utilização da laje úmida, sendo que esta é, normalmente, executada a partir de fôrmas de chapa de aço ondulada que deverão ser parafusadas às vigas e preenchidas com concreto (camada de 4 a 6 cm) além da armadura de combate a fissuras, como ilustrado na Figura 26. No entanto, a utilização de lajes úmidas é desaconselhável para o sistema *LSF*, pois não condizem com o conceito de construção a seco (uma das particularidades do *LSF*) (CRASTO, 2005).

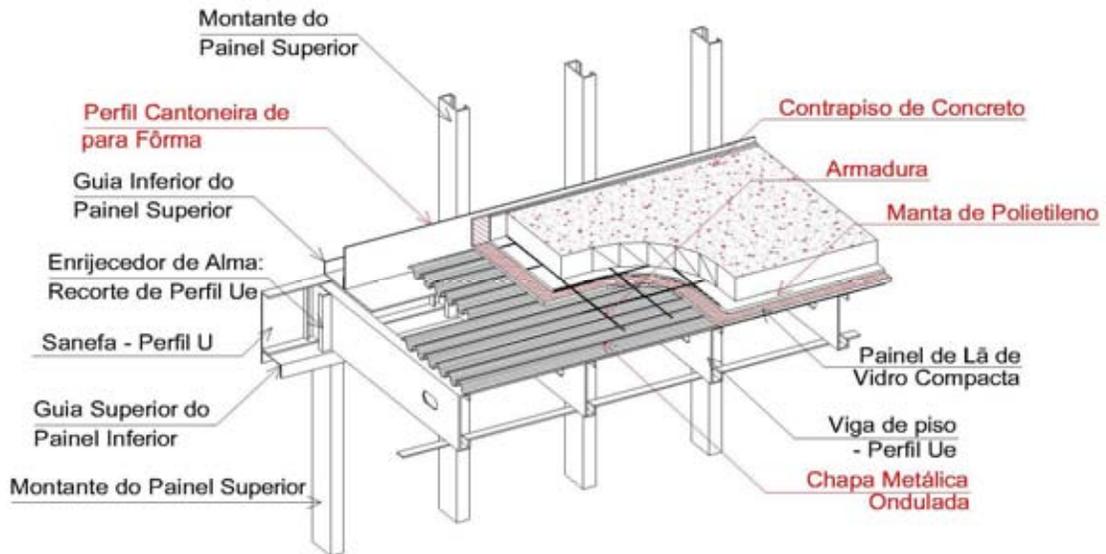


Figura 26: Representação esquemática de uma laje úmida e os componentes necessários (FREITAS; CRASTO, 2006)

2.4.4 ESCADAS

As estruturas que formam as escadas no *LSF* são formadas pela combinação dos perfis U e Ue, os mesmos utilizados nos painéis. Como revestimento rígido são, normalmente, utilizadas placas *OSB*, como ilustrado na Figura 27, fixadas por meio de parafusos nos perfis da escada (FREITAS; CRASTO, 2006).



Figura 27: Escada estruturada em *LSF* revestida com placas *OSB*

De acordo com Crasto (2005) podem ser utilizados três métodos para a montagem da escada em LSF, descritos a seguir:

a) **Viga caixa inclinada:** de acordo com Freitas e Crasto (2006), este método é indicado para escadas abertas (sem apoios laterais). Neste caso, os degraus são constituídos por uma série de perfis U, cortados nas medidas do piso e do espelho da escada e, dessa forma, os perfis são unidos (piso e espelho) por parafusos estruturais. A combinação destes dois perfis é unida com uma viga tipo caixa, que se estende ao longo do comprimento da escada. Freitas e Crasto (2006) também sugerem que os degraus podem ser formados a partir de uma única guia, que deverá ser cortada (nas mesas) e dobrada em pontos que determinam as medidas do piso e do espelho, como sugerido na Figura 28.

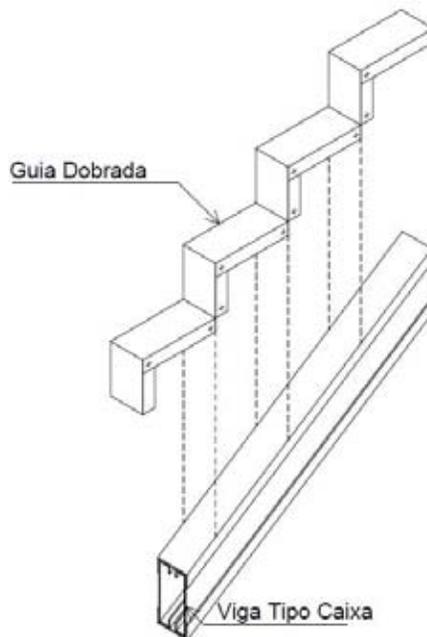


Figura 28: Escada do tipo viga caixa inclinada (Adaptado de FREITAS; CRASTO, 2006)

b) **Painel com inclinação:** este é um método mais indicado para escadas residenciais. De acordo com Freitas e Crasto (2006), os degraus são formados pela mesma combinação de perfis U (cortados e unidos por parafusos) descrita para o método “viga caixa inclinada”. A diferença fica por conta do apoio, visto que este é formado por um painel que possui a guia superior devidamente inclinada, de acordo com o ângulo da estrutura. Cabe destacar que neste painel de apoio, os montantes aumentam ou diminuem de altura conforme a inclinação da guia superior. A Figura 29 ilustra a escada montada com painéis inclinados.

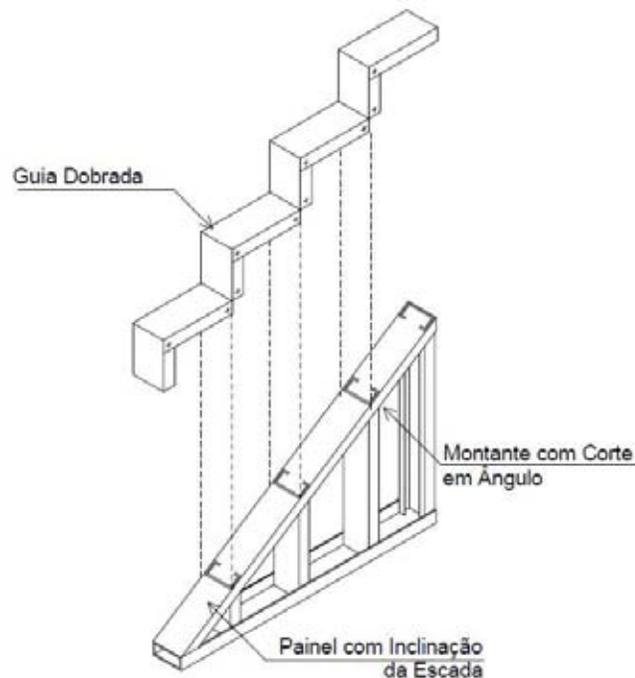


Figura 29: Escada do tipo viga caixa inclinada (Adaptado de FREITAS; CRASTO, 2006)

c) **Painéis escalonados com painéis de degrau:** neste método, tanto o apoio como a inclinação da escada é garantida por painéis cujos montantes assumem as alturas determinadas para cada lance da escada, de maneira que a guia superior é separada em vários trechos que servem de base para o piso. Freitas e Crasto (2006) sugerem que a estrutura que se apoia sobre as guias superiores do painel de apoio (e que receberão as placas de revestimento), pode ser formada por um retângulo, estruturado com dois perfis U (lados menores) e dois perfis Ue (lados maiores). De certa forma, este método é mais fácil de ser utilizado no canteiro de obras, pois não necessita nem de dobras e nem de cortes com ângulos diferentes de 90° nos perfis. Este tipo de escada está representado na Figura 30.

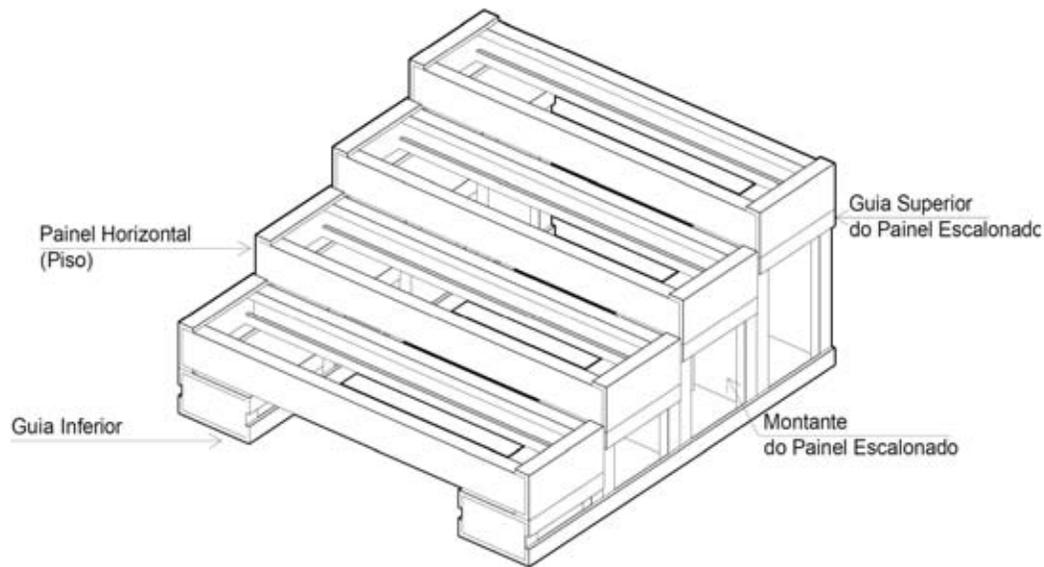


Figura 30: Escada estruturada com painéis escalonados e painéis de degrau

2.5 VEDAÇÕES E COBERTURAS

Diferentemente de sistemas construtivos tradicionais, o sistema de vedação no *LSF* deve ser constituído por elementos leves e, se possível, modulares, a fim de solidarizar com o conceito de obras industrializadas. Neste sentido Crasto (2005) afirma que os fechamentos para o sistema *LSF* baseiam-se no conceito de se empregar sistemas racionalizados com o objetivo de se obter um maior grau de industrialização no canteiro de obras. Nesse sentido, Crasto (2005, p.122) mostra que:

...o sistema *LSF* apresenta grande potencial de industrialização, já que a própria modulação estrutural é dimensionada para uma melhor otimização da utilização de chapas ou placas. Por isso na maioria dos casos, as placas são dimensionadas com largura de 1,20 m, múltiplo da modulação de 400 mm ou 600 mm, como ocorre com as placas de gesso acartonado e placas cimentícias.

Neste aspecto, Kruger (2000) afirma que a utilização de sistemas de fechamento vertical industrializados garante algumas vantagens como maior organização e limpeza no canteiro de obras, redução dos prazos de execução, facilidade de introdução de isolamentos e grande precisão dimensional, sendo que tais vantagens muito colaboram para a Racionalização Construtiva. De acordo com Crasto (2005) os principais elementos industrializados que formam os sistemas de vedação nos *LSF* são: o *OSB*, a placa cimentícia e o gesso acartonado e, eventualmente, a alvenaria.

Com relação à cobertura, Freitas e Crasto (2006) afirmam que há uma grande variedade de soluções estruturais no *LSF*, dependendo de uma série de fatores como vão a ser vencido, carregamentos, exigências arquitetônicas, econômicas etc. Assim, tanto o *LSF* como as construções convencionais permitem que as mesmas variedades de telhas sejam utilizadas na cobertura.

2.5.1 VEDAÇÕES COM PLACAS OSB

Na língua portuguesa, o significado da sigla *OSB* pode ser entendido para algo próximo de “painel de tiras de madeira orientadas” (LP-BRASIL, 2010). As placas em *OSB* são formadas por tiras de madeira orientadas em três camadas cruzadas perpendicularmente, garantindo alta rigidez e resistência mecânica, de maneira que as tiras de madeira que formam as camadas são unidas com resinas e prensadas sob altas temperaturas e pressão (LP-BRASIL, 2010). Nesse aspecto, o *OSB* pode ser utilizado tanto assumindo a função de chapa como de placa, visto que é utilizado essencialmente para aplicações estruturais, como ilustrado na Figura 31.



Figura 31: Exemplo de aplicação de placas OSB em painéis estruturais (CRASTO, 2005)

Segundo Bortoletto Júnior e Garcia (2004) o *OSB* é muito utilizado em países desenvolvidos como os EUA e Canadá, onde inclusive há normas de padronização para o uso do *OSB* como placas e chapas. De acordo com Gomes (2007), o *OSB* pode ser utilizado como vedação tanto na face interna como na face externa dos painéis, em forros,

pisos e substrato para coberturas, porém tal material é mais comum de ser utilizado como vedação externa.

Quanto à sua fixação, as vedações em *OSB*, que podem ser facilmente transportadas manualmente, são fixadas nos PFF através de parafusos auto-brocantes e auto-atarraxantes, como ilustrado na Figura 32, que serão especificados em projeto, sendo que podem ser instalados tanto em paredes como nos pisos. As dimensões deste tipo de parafuso são variáveis e aumentam conforme a espessura da vedação.



Figura 32: Parafuso do tipo auto-atarraxante (CISER, 2011)

De acordo com Crasto (2005) para a instalação das peças *OSB* do lado externo da edificação, é necessário que o projeto considere atividades de execução de juntas de dilatação entre cada peça, além da necessidade se prever a proteção contra umidade e contra a água como mencionado anteriormente. Essa proteção é executada através de uma manta ou película de polietileno de alta densidade que irá revestir toda a área externa da edificação que, eventualmente, seja composta por *OSB*, como se verifica na Figura 33. Tal manta é fixada nas placas por meio de grampos. De acordo com Bortoletto Júnior e Garcia (2004), esta manta é necessária para o *OSB*, pois tais placas podem expandir-se quando expostas a chuvas ou condições de alta umidade por longos períodos.



Figura 33: Edificação em LSF vedada com OSB e revestida com manta de polietileno

Assim como o OSB não deve ficar em contato direto com o ambiente em fechamentos externos, o mesmo também não deve estar em contato direto com o solo (ainda com a intenção de se evitar a umidade), devendo ser feito um embasamento acima dos níveis críticos para se evitar tal contato (GOMES, 2007).

Considerando agora o acabamento final em edificações com OSB, o mesmo pode ser feito com *siding* vinílico, como ilustrado nas Figuras 34 e 35, de madeira ou cimentício e a argamassa comum. Conceitualmente o *siding* é um acabamento de fachada formado por placas paralelas, sendo que pode ser composto de PVC, madeira ou cimentício, fato que o *siding* composto por PVC (vinílico) possui melhor desempenho e é de concepção industrializada. Para o uso da argamassa, recomenda-se que a mesma seja aplicada no OSB sobre a tela eletrossoldada ou a tela plástica. As telas por sua vez deverão estar dispostas em duas camadas e fixadas com grampos sobre a superfície do OSB (CRASTO, 2005; GOMES, 2007).

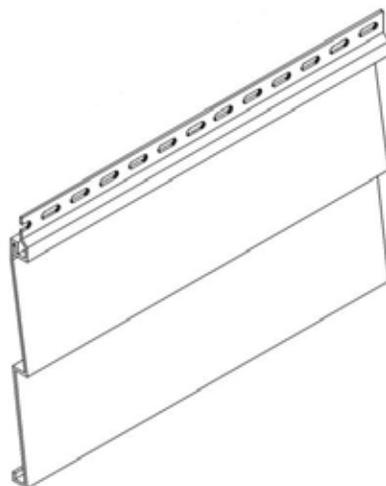


Figura 34: Perfil típico de siding vinílico (SANTIAGO, 2008)



Figura 35: Exemplo de aplicação do siding vinílico em fachada residencial (LPBRASIL, 2011)

2.5.2 VEDAÇÕES COM PLACAS DE GESSO ACARTONADO

Os elementos compostos por gesso acartonado podem ser utilizados no sistema de vedação interna tanto para painéis estruturais (face interna) quanto para painéis não estruturais. São peças que necessitam de atividades de montagem no canteiro de obras e assim, o sistema de vedação deve ser projetado em consonância com tais atividades, visto que não permite a improvisação durante a execução, como ilustrado nas Figuras 36 e 37.



Figura 36: Detalhe de painel sendo revestido com placas de gesso acartonado



Figura 37: Placas de gesso acartonado instaladas em painel com abertura para esquadrias

As placas de gesso acartonado são produzidas industrialmente com rigoroso controle de qualidade e chegam prontas para o uso na obra (dai a importância de haver modularização na fase de projeto), sendo suas matérias-primas básicas o gesso e o papel cartão o que lhes conferem resistência à compressão e à flexão (BRAGA *et al.*, 2008). Gomes (2007) relata que as placas de gesso acartonado são produzidas por meio de um processo de laminação contínua que mistura o gesso, água e aditivos químicos entre duas placas de papel cartão.

Atualmente, no Brasil, são comercializados três tipos de placas. A mais comum e de uso padrão denominada *Standard* é composta pelo gesso e aditivos revestidos em ambos os lados com papel *Kraft* sendo a espessura de 12,50 mm a dimensão mais utilizada nas obras. O segundo tipo de placa são aquelas resistentes à umidade, sendo compostas pelos mesmos materiais da *Standard*, porém o papel *Kraft* é substituído por um cartão hidrofugante. O terceiro e último tipo de placa é resistente ao fogo e é caracterizada por ser composta por aditivos que retardam a liberação da água contida nas placas (BRAGA *et al.*, 2008).

Considerando a execução das placas de gesso acartonado, Taniguti e Barros (2000) afirmam que essa é uma fase da obra que envolve diversas atividades de montagem que podem ser divididas em algumas etapas principais: locação e fixação das guias (esta etapa compreende a montagem dos painéis), fechamento de uma das faces, fechamento da outra face e tratamento das juntas. Particularmente, o tratamento das juntas, como se verifica na Figura 38, representa uma importante etapa na instalação das placas de gesso acartonado, uma vez que falhas em sua execução podem resultar em fissuras.



Figura 38: Tratamento de juntas em placas de gesso acartonado

Entre um fechamento e outro, cabe destacar aqui uma das principais vantagens, que é originada da associação entre a vedação por placas e o sistema estrutural de perfis de aço, que consiste na facilidade de instalação e manutenção de subsistemas e materiais isolantes, dado que, para isso, basta que a placa seja retirada dos perfis, evitando quebras e desperdícios.

Com relação à fixação das placas de gesso acartonado, estas utilizam os parafusos auto-atarraxantes do tipo cabeça trombeta e ponta broca, os mesmos utilizados para as placas OSB (CRASTO, 2005).

Quando se trata da utilização de placas de gesso acartonado como elementos do sistema de vedação, surge um termo bastante conhecido na Construção Civil denominado *Drywall*. Este é um termo comercial que remete às divisórias internas não estruturais e, dessa forma, os painéis podem utilizar perfis de aço de dimensões menores do que aqueles utilizados nos painéis estruturais (GOMES, 2007). O gesso acartonado, assim como os outros tipos de fechamento vertical permite a utilização de materiais isolantes (ondas sonoras e transferência de calor) entre as chapas como lã de vidro ou lã de rocha.

De acordo com Fabrício (2008), a utilização de placas de gesso acartonado favorece a racionalização da construção, pois elimina a necessidade de utilização de argamassas que representa atividades típicas artesanais (no contexto do canteiro de obras), sendo fontes de desperdícios e improdutividade. O uso das placas de gesso acartonado também costuma ser acompanhado de vantagens produtivas nas instalações prediais (fixadas nos painéis), pois admite o uso de *shafts*, além de permitir extrema facilidade de manutenção (FABRÍCIO, 2008).

Concluindo este raciocínio, Braga *et al.* (2008) destacam algumas vantagens do uso das placas de gesso acartonado como elementos do sistema de vedação:

- a) Montagem por acoplamento mecânico com modulação flexível: as atividades de montagem implicam em precisão dimensional e diminuição do consumo de mão de obra;
- b) Superfície plana e lisa: isto permite a aplicação de espessuras muito pequenas de revestimento, eliminando a necessidade de camadas de regularização;
- c) Vedação desmontável e leve: possibilita testes de subsistemas durante a execução (o que evita a demolição de algo que está pronto – atividade muito comum em obras residenciais tradicionais) e facilita a manutenção dos mesmos; reduz os esforços solicitantes em estruturas e fundações;
- d) Construção a seco: favorece a limpeza e organização da produção;
- e) Flexibilidade de saída: nos painéis não estruturais, as placas possibilitam a mudança no layout, o que resulta em flexibilidade de projeto e, conseqüentemente, no produto final.

2.5.3 VEDAÇÕES COM PLACAS CIMENTÍCIAS

Assim como as placas de gesso acartonado, as placas cimentícias podem ser utilizadas como elementos do sistema de vedação da edificação tanto do lado externo como do lado interno e, ainda, tanto na horizontal quanto na vertical, apresentando grande vantagem, pois podem ser utilizadas em áreas molháveis e expostas ao meio, conforme a Figura 39.



Figura 39: Fechamento de painéis externos com placas cimentícias (BRASILIT, 2010)

De acordo com a Brasilit (2010), as placas cimentícias são fabricadas a partir de uma mistura de cimento Portland, agregados naturais de celulose e fios sintéticos de polipropileno, recebendo ainda um tratamento em sua superfície que lhe confere maior resistência à abrasão e impermeabilidade.

As placas cimentícias podem ser aplicadas tanto em perfis para vedação quanto para perfis do *LSF*, variando apenas a espessura da placa. Neste aspecto, as placas podem ser fixadas nos perfis de vários modos como: parafusos e buchas plásticas, rebites metálicos, pregos de aço para o uso de pistola de impacto e chumbador de expansão por torque e adesivos (BRASILIT, 2010). Novamente, por ser um produto industrializado, pronto para o uso, recomenda-se que a instalação das placas cimentícias respeite a modulação que deverá ser prevista em projeto.

No que diz respeito a sua fixação, as placas cimentícias, de acordo com Crasto (2005), podem ser instaladas com parafusos do tipo cabeça trombeta e ponta broca com asas, como mostra a Figura 40:



Figura 40: Parafuso do tipo cabeça trombeta e ponta broca

Assim como as placas de OSB e as de gesso acartonado, as placas cimentícias necessitam de um tratamento especial nas juntas entre as placas, para garantir a estanqueidade e evitar fissuras. Podem ser usadas diversas técnicas para o tratamento das juntas, porém recomenda-se a utilização de silicones ou elastômeros, principalmente quando as juntas estiverem localizadas na área externa da edificação. Nas juntas aparentes pode-se utilizar fita adesiva de polietileno expandido ou de neoprene, ou ainda um perfil matajunta de PVC, aço ou alumínio (BRASILIT, 2010).

As vantagens do uso da placa cimentícia são, essencialmente, as mesmas relacionadas com as placas de gesso acartonado, somadas com a impermeabilização proporcionada pelos componentes da mesma. Cabe ressaltar aqui que tais placas também permitem o uso de materiais isolantes entre as duas faces do sistema de vedação.

Desde 2007 os profissionais da Construção Civil no Brasil contam com a NBR 15498 - Placa Plana Cimentícia sem Amianto - Requisitos e Métodos de Ensaio, que estabelece requisitos e métodos de ensaio além de condições ideais de recebimento das placas.

2.5.4 VEDAÇÕES COM ALVENARIA

Por ser um sistema bastante flexível sob o ponto de vista da utilização de materiais, o LSF também permite que o tradicional bloco cerâmico ou de concreto sejam utilizados no sistema de vedação da edificação. Gomes (2007) afirma que o uso da alvenaria é um elemento independente dos painéis, que pode ser entendida como um invólucro conectado ao LSF por meio de conectores metálicos, como mostra a Figura 41. O mesmo autor atenta para o fato de que a utilização da alvenaria remete à atividades artesanais que contradizem o conceito do sistema LSF.



Figura 41: Detalhe de vedação com alvenaria e peças de conexão (SANTIAGO, 2008)

A utilização da alvenaria como elemento da vedação da residência torna-se, em muitos casos, apenas um adorno na edificação produzida com o *LSF*. Porém não existem impedimentos na utilização da alvenaria neste sistema industrializado, principalmente quando o cliente passa a exigir tal serviço.

2.5.5 COBERTURAS

Essencialmente, as coberturas em *LSF* utilizam os mesmos materiais dos painéis na estrutura que podem ser tesouras, demonstradas na Figura 42, e até mesmo caibros em aço. As características arquitetônicas das coberturas utilizadas no sistema *LSF* são praticamente iguais quando comparadas com construções convencionais. No entanto, o projeto estrutural deve respeitar o conceito de estrutura alinhada, visto que a alma dos perfis que formam as tesouras (solução estrutural mais comum nas obras em *LSF*) deverá estar alinhada com os montantes dos painéis estruturais garantindo a transmissão axial das cargas.

Os parafusos utilizados para a fixação dos componentes da estrutura, como as tesouras, são os mesmos utilizados nas vigas de piso, ou seja, parafusos estruturais do tipo cabeça sextavada e ponta broca.



Figura 42: Detalhe de cobertura em LSF estruturado com tesouras

Desde que consideradas no projeto, o sistema *LSF* permite a utilização de qualquer tipo de telha na cobertura. No caso da utilização das telhas *shingle*, torna-se necessário a utilização de placas de fechamento estruturais como o *OSB*, servindo de base para a fixação das telhas e funcionando, também, como diafragma rígido que colabora para o travamento das tesouras (CRASTO, 2005).

Em particular, as telhas *shingle* fazem parte do conjunto de componentes que, de certa forma, são inerentes ao *LSF*. Este componente possui algumas particularidades em sua instalação, como a necessidade de colocação de uma subcobertura de feltro asfáltico sobre a placa *OSB*, necessidade de gabaritos (com a própria telha) para cada linha de assentamento, necessidade de fabricação das cumeeiras, entre outros detalhes de execução.

Cabe destacar que as telhas *shingle* são produzidas a partir de uma base de fibra de vidro recoberta por uma camada de asfalto para impermeabilização da cobertura. As características estéticas das telhas são garantidas por grânulos de cerâmica que podem ser de diversas cores.

No que diz respeito aos beirais, estes, quando necessários, são formados pelo prolongamento dos banzos superiores das tesouras ou prolongamento dos caibros, de maneira que se houver necessidade de acabamento, ou apoio para vedações, pode ser fixado um perfil U ao longo dos prolongamentos (tesouras ou beirais). Para beirais sem inclinação, é necessário que as vigas de piso estejam em balanço, o que irá proporcionar o avanço necessário para fora do painel de apoio.

2.6 INSTALAÇÕES PREDIAIS E ESQUADRIAS

Com relação às instalações prediais, o *LSF* possui uma grande vantagem sobre obras convencionais, pois o mesmo permite enorme facilidade tanto de execução quanto de manutenção. Os perfis metálicos que compõem a estrutura dos painéis possuem furos, de dimensões conhecidas pelo projeto estrutural, pelos quais passam as tubulações tanto de hidráulica quanto de elétrica. Nos mesmos perfis metálicos, as tubulações podem ser fixadas com peças especiais, de acordo com a necessidade. A Figura 43 mostra um trecho de tubulação passando por um furo pré-determinado em uma sanefa de apoio para uma viga de piso.



Figura 43: Tubulação passando pelo perfil que compõe uma laje em *LSF*

Os materiais utilizados para as instalações hidráulicas seguem os padrões utilizados nas obras convencionais. A grande diferença fica por conta da instalação destes componentes na edificação, ou seja, no *LSF* não é executado qualquer tipo de rasgo na parede. As tubulações e demais componentes do sistema hidráulico são fixados nos perfis metálicos, sendo acondicionados nos furos pré-determinados, como citado anteriormente.

De acordo com Lima (2008), em obras com sistemas construtivos como o *LSF*, vem sendo utilizadas tubulações como a do tipo polietileno reticulado (PEX), pois é um material que possui maior flexibilidade e maior produtividade com relação à sua passagem e fixação nos perfis metálicos do *LSF*.

Com relação às instalações elétricas, os componentes deste sistema são iguais aos utilizados nas obras convencionais, porém seguem o mesmo raciocínio de fixação do sistema hidráulico, ou seja, passagem por furos pré-determinados nos perfis metálicos e posterior fixação. A Figura 44 ilustra a passagens de conduítes para fiação em um painel de *LSF*.



Figura 44: Conduítes para fiação elétrica passando pelos montantes de um painel em *LSF*

Ainda com relação às instalações prediais, o *LSF* possui outra grande vantagem sobre sistemas tradicionais no que se refere à manutenção durante o uso do produto. Para a manutenção dos sistemas prediais, basta que as placas de vedação (*OSB*, cimentícia ou gesso acartonado) sejam desparafusadas dos perfis metálicos. Nesse sentido, apenas o tratamento das juntas deveria ser feito novamente e a recolocação de alguns revestimentos cerâmicos, se este for o caso, ou seja, quebras e rasgos nas paredes são evitados.

Com relação às esquadrias, o *LSF* no Brasil enfrenta um problema relacionado com os produtos disponíveis no mercado. Por ser um sistema construtivo novo no país, não existem esquadrias voltadas exclusivamente para o sistema construtivo em questão, principalmente no que diz respeito às janelas. Dessa forma, são feitas adaptações no sistema para adequação ao que está disponível no mercado. Tais adaptações referem-se à adequação modular frente ao sistema construtivo e à questões de estanqueidade.

Em termos de execução, deve-se atentar ao fato da existência de algumas peças especiais que se diferenciam das guias e montantes como: guias de abertura e vergas. Estas peças, que são devidamente projetadas, formam a abertura para a fixação das

esquadrias, como mostra a Figura 45. No caso de janelas, é necessária a fixação de guias superiores e inferiores e vergas, caso o painel seja estrutural. No caso das portas, deve haver a interrupção da guia inferior por meio da fixação de uma montante que servirá de apoio para o batente.



Figura 45: Abertura para esquadria em painel em LSF

Com relação aos tipos de esquadrias, considera-se que praticamente todos os tipos podem ser utilizados no sistema *LSF*. Porém há um consenso entre os profissionais de que esquadrias em PVC são mais indicadas para tal sistema.

Segundo Lima (2008) se forem utilizadas esquadrias metálicas, estas devem ser de metais diferentes do aço, devendo ser prevista uma camada isolante entre as esquadrias e os perfis do *LSF*. O autor ainda sugere que as esquadrias de PVC garantem maior estanqueidade e conforto termoacústico à edificação em *LSF*.

No que diz respeito à fixação das esquadrias, as atividades de execução resumem-se ao que é praticado na construção convencional, porém, há um largo uso da espuma de poliuretano expansiva, que garante a preservação do conceito de execução do *LSF*, além de facilitar a execução.

2.7 FERRAMENTAS RECOMENDADAS PARA A CONSTRUÇÃO EM LSF

Devido às suas particularidades de produção, o sistema *LSF* necessita que algumas ferramentas, que não são comuns em obras tradicionais, sejam utilizadas no canteiro de obras. A seguir são listadas algumas dessas ferramentas especiais e suas principais funções.

a) Parafusadeira elétrica: utilizada em praticamente todas as atividades de junção de componentes por parafusos, mesmos entre os perfis metálicos e destes com placas para vedação. Um exemplo de parafusadeira elétrica é ilustrado na Figura 46.



Figura 46: Parafusadeira elétrica (BOSCH, 2011)

b) Medidor de ângulo digital: não é muito utilizado, porém sua concepção e uso condizem com a proposta de racionalização inerente ao *LSF*. É um instrumento de precisão que garante o correto posicionamento das peças com relação ao ângulo especificado em projeto, principalmente no que diz respeito à montagem da estrutura da cobertura e verificação da ortogonalidade entre guias e montantes e entre painéis. A Figura 47 ilustra esta ferramenta.



Figura 47: Medidor digital de ângulos (BOSCH, 2011)

c) **Chave de torque:** também não é de uso comum, porém seria indicado principalmente para a fixação dos painéis na fundação, garantindo melhor qualidade e segurança ao serviço executado.

d) **Medidor de distância a laser:** ferramenta de uso um pouco mais comum dentre os profissionais da Construção Civil, e que garante a precisão necessária para a montagem dos elementos do *LSF*, devido à sua precisão eletrônica de até três casas decimais. A Figura 48 ilustra tal equipamento.



Figura 48: Medidor de distância a laser (BOSCH, 2011)

e) **Giz de linha:** ferramenta utilizada para demarcar fronteiras sendo bastante conhecida entre os profissionais. No caso do *LSF*, esta ferramenta é utilizada para formar o gabarito para fixação dos painéis sobre o radier. Para o uso desta ferramenta é necessário que a linha demarcadora seja embebida com um líquido especial que, normalmente, é comercializada como refil. A Figura 49 demonstra esta ferramenta.



Figura 49: Giz de linha e refil líquido para recarga (STARRETT, 2011)

f) **Nível a laser para ladrilhos:** também não é uma ferramenta de uso difundido. Porém, dada a precisão usual dos projetos em *LSF*, ferramentas como o giz de linha e a trena comum poderiam ser auxiliadas por outras muito mais precisas como o nível a laser. Tal ferramenta libera três feixes de raio laser, de maneira que dois destes feixes são ortogonais e o terceiro forma um ângulo de 45° entre os dois perpendiculares. Assim, esta ferramenta (Figura 50) pode auxiliar o operário no momento da locação dos painéis no radier, garantindo precisão à execução.



Figura 50: Nível a laser (BOSCH, 2011)

2.8 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE O PROJETO PARA O SISTEMA *LSF*

Obras residenciais convencionais, erroneamente, acabam por aceitar a negligência dos projetos, o que gera resultados indesejados na produção como imprevistos,

desperdícios e aumento do consumo de mão de obra, caracterizando assim um modelo artesanal de produção.

Como expõe este capítulo, o sistema *LSF* é industrializado, sendo indispensável que estratégias e ferramentas necessárias ao processo de industrialização incorporem ao projeto. Tais estratégias e ferramentas são essencialmente gerenciais e proporcionam maior eficiência e produtividade no canteiro de obras, que resulta em edificações de alta qualidade; o potencial de manifestações patológicas é bastante reduzido e isso traz maior satisfação ao cliente final (FREITAS; CRASTO, 2006).

Neste sentido, Freitas e Crasto (2006, p.108) afirmam ser fundamental que o *“projeto seja pensado em conformidade com todos os seus condicionantes, pois sistemas industrializados são incompatíveis com improvisações no canteiro de obras, e a reparação dos erros pode acarretar em prejuízos tanto financeiros como de qualidade do produto final”*. No entanto, muitos consideram a existência de certas barreiras, principalmente econômicas, no que diz respeito a dispensar um tempo maior para o desenvolvimento do produto, visto que na Construção Civil a maioria dos empreendimentos é único em relação ao tipo a ser construído. De certa forma, isso se tornou uma tendência entre alguns profissionais.

Tal predisposição na Construção Civil dificulta a transposição de certas práticas e ferramentas da indústria moderna para o subsetor de edificações; no entanto, segundo Rosso (1980), mesmo se tratando de produtos únicos, é válida para a Construção Civil a mecanização e outros instrumentos que caracterizam uma produção industrial.

Na tentativa de compensar o atraso técnico no processo de produção, a Construção Civil tem apostado nos conceitos de racionalização como forma de tornar mais eficiente a produção da edificação, ou seja, o setor passa a agir de forma a evitar desperdícios e materiais e mão-de-obra (FREITAS; CRASTO, 2006).

Rosso (1980) afirma que em processos de produção como o da Construção Civil, alguns ideais da indústria podem ser alcançados por meio do fracionamento dos elementos da edificação. O autor sugere que este fracionamento em partes ou componentes intermediários possibilita que os mesmos passem a ser fabricados em indústrias subsidiárias, ou seja, fora do canteiro de obras. Dessa forma, o processo final (construção) resultaria apenas em operações de montagem, ajustagem e acabamento.

Neste sentido, Veljkovic e Johansson (2006) afirmam que o sistema *LSF* pode ser projetado para atender todos os requisitos funcionais característicos de edificações residenciais, sendo adequado para a produção industrializada, de maneira que são, portanto, uma parte natural de um processo de construção industrial.

Para o efetivo sucesso da racionalização é necessário que suas diretrizes passem a compor os fundamentos das decisões inerentes ao processo de projeto, visto que dessa maneira a racionalização continua naturalmente durante a construção da edificação. Mesmo

durante a execução e uso do produto, o processo de projeto ainda pode ser desenvolvido, visto que o canteiro de obras e o desempenho do produto podem retornar importantes informações para empreendimentos futuros auxiliando as decisões de projeto.

Considerando, dessa forma, o grande potencial de racionalização e, de certa forma, de industrialização (como será discutido neste trabalho), proporcionado pelo sistema *LSF*, Crasto (2005, p.198) e Freitas e Crasto (2006, p.110) destacam algumas estratégias e ações, listadas a seguir, que podem ser adotadas durante o processo de projeto de edificações em *LSF*, com o intuito de garantir a racionalização dos processos:

- a) Construtibilidade, conceito que será devidamente abordado no capítulo 4, mas que, basicamente, envolve o quão fácil é a execução da obra. Este conceito, essencialmente, é determinado e delimitado pelos projetos da edificação;
- b) Planejamento das etapas do empreendimento, que se inicia com a definição do produto e segue até a entrega da obra;
- c) Coordenação modular e dimensional;
- d) Associação da estrutura de aço com outros sistemas compatíveis;
- e) Formação de equipes multidisciplinares visando operações simultâneas entre o processo de projeto e fatores condicionantes do canteiro de obras;
- f) Compatibilização de projetos;
- g) Detalhamento técnico;
- h) Antecipação das decisões;
- i) Elaboração dos Projetos para Produção a partir da formação das equipes multidisciplinares visando a interação entre processos;
- j) Visão sistêmica comum a todos os profissionais que atuam no projeto.

Tais operações e estratégias são fundamentais para o sucesso de empreendimentos que utilizam o *LSF* como sistema construtivo. Além disso, para que estas ações possam ser efetivamente implantadas, é necessário o conhecimento de algumas teorias de gerenciamento de processos que envolvem tanto a produção quanto o projeto.

A partir das ações a serem implantadas no processo de projeto e, considerando as características construtivas e gerenciais inerentes ao *LSF*, a presente pesquisa, a partir dos próximos capítulos, passa a abordar as principais teorias e conceitos que compõem a base científica das propostas acima descritas.

2.9 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

O sistema *LSF*, apesar de utilizado há muitos anos em países desenvolvidos, surge no Brasil como uma importante alternativa para incrementar a modernização do setor. Apesar de ainda haver grande preconceito no país, o uso do *LSF* começa a ganhar espaço no cenário da Construção Civil brasileira. Importantes órgãos e instituições, como a CDHU, Caixa Econômica Federal e o CBCA passam a apoiar a utilização do sistema para fins de modernização da indústria sem que haja mudança nas bases produtivas. Com este sentido, o *LSF* potencializa a adoção de metodologias científicas para o controle de processos, tanto de produção como de projetos, fazendo com que os mesmos se equiparem aos da indústria de manufatura.

O déficit habitacional brasileiro demanda pela construção de milhões de moradias. Esta condição requer que a Indústria da Construção Civil modernize-se e, neste caso especificamente, assuma as características das indústrias que produzem em larga escala. Assim o *LSF*, sendo em sistema mais susceptível ao sucesso de teorias de gestão, aparece como um sistema construtivo que promove a inovação tecnológica (materiais e processos), e que o torna mais vantajoso sobre os sistemas construtivos tradicionais.

Basicamente, a vantagem do *LSF* sobre outros sistemas construtivos é que o mesmo, a partir das características dos seus elementos e das atividades e operações de projetos apresentados neste capítulo, promove práticas essencialmente de montagem, que reduzem drasticamente o tempo gasto com certas atividades durante a produção, o que acaba favorecendo melhor desempenho nos resultados esperados, ao se utilizar metodologias científicas de gestão tanto na produção quanto nos projetos.

Porém, o atual modelo de gerência dos processos envolvidos na Indústria da Construção Civil mostra-se incompatível tanto com os requisitos exigidos pela necessidade de construção de milhões de moradias (rapidez e qualidade na produção em larga escala) quanto com as condições necessárias para se construir residências com o sistema *LSF*; sendo assim, é necessário que haja uma mudança nas práticas usuais de gerenciamento dos processos.

3 O PROJETO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na Construção Civil, o processo de projeto é bastante problemático, sob o ponto de vista de que para a concepção de uma edificação há a necessidade de equipes multidisciplinares, que atuam sem um modelo específico para a gestão de tal processo, o que torna árdua a interação entre os projetos no sentido de que o processo é dependente, geralmente, da experiência dos profissionais envolvidos. No caso da utilização do sistema *LSF*, o projeto torna-se a etapa fundamental para o sucesso do empreendimento, tanto sob o ponto de vista da engenharia quanto para o consumidor. No entanto, atualmente, o modo como os profissionais abordam o projeto é inconciliável com as práticas necessárias para a produção de residências em que utilizam sistemas construtivos pré-fabricados, como o *LSF*. Assim, este capítulo abordará os principais conceitos de projeto, as práticas atuais na Construção Civil e o ideal de projeto como processo para o *LSF*.

3.1 OS CONCEITOS SOBRE PROJETO

Em português a palavra “projeto” é utilizada, basicamente, para dois significados. O primeiro é utilizado para descrever futuras ações, normalmente empreendimentos concretizados por realizações pessoais ou por determinadas organizações que visam algum tipo de retorno com tais cometimentos, devidamente planejados ao longo de certo período de tempo. O segundo é utilizado para definir a reunião de informações técnicas, que traduzem uma ideia inicial em informações, por meio de representações gráficas e textuais, normalmente embasadas em normas técnicas, que permitem a concretização da concepção inicial do empreendimento.

Já na língua inglesa há duas palavras distintas para os dois significados citados anteriormente. Com a palavra “*design*” entende-se o segundo raciocínio, que compreende os documentos gráficos e textuais e com a palavra “*project*” resta o primeiro significado, ou seja algo que envolve várias etapas além do “*design*” e, normalmente, tal palavra caracteriza todo o ciclo de vida de um empreendimento. No presente estudo, será utilizada a palavra projeto no sentido de *design*.

Assim, torna-se necessária a compreensão do que vem a ser um projeto como *design*. Primeiramente, em uma visão bastante singela, baseada no contexto da arquitetura, McGinty (1984, p. 160), de maneira bastante abstrata e simplificada, sugere que o projeto “... é simplesmente a atividade de criar propostas que transformem alguma coisa já existente em algo melhor”.

De fato, o projeto como uma reunião de informações promove melhorias progressivas na concepção inicial da ideia, porém, tal atributo não é tão trivial. Neste sentido, Noble (1993) sugere que o ato de se projetar é uma atividade de grande complexidade, visto que ao se projetar um produto ou sistema é importante, e necessário, que o projeto considere todos os componentes e informações, de maneira interativa, necessários para a fabricação do produto. Aqui, o autor passa o raciocínio de que o projeto não é simplesmente a concepção da ideia principal, mas deve contemplar, também, os meios pelos quais o produto será construído.

No mesmo raciocínio de Noble (1993), Melhado (1994) considera que a função do projeto de uma edificação deva ir além das informações a respeito das características físicas do produto ou ainda da função do mesmo. O autor sugere que o projeto também contemple o processo pelo qual a edificação será construída. Assim, no contexto de que o projeto deve exceder simples informações visuais ou funcionais, Melhado (1994) avalia, primeiramente, que tal atividade pode ser encarada tanto como informação tecnológica quanto como informação gerencial oferecendo suporte às atividades de execução. Além do caráter puramente informativo ou gerencial sobre o produto, o projeto também pode ser entendido como a criação e a racionalização de uma série de decisões que guiarão um determinado problema a uma solução (GALLE, 1996).

Em sua tese de doutorado, Melhado (1994) analisa minuciosamente questões sobre projeto, avaliando, principalmente, sua qualidade, seus conceitos e funções. O autor faz várias considerações, como mostrado anteriormente, e, considerando o projeto como um todo sem distinção de fases, Melhado (1994, p.195) considera que o projeto é:

atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução.

O conceito de projeto proposto pelo autor reflete a questão de que todas as informações contidas na etapa de concepção do empreendimento implicam em consequências na fabricação, conforme afirmação de Souza e Abiko (1997, p.20), onde “*as soluções adotadas na etapa de projeto têm amplas repercussões em todo o processo da construção e na qualidade do produto final a ser entregue ao cliente*”. Além disso, pode-se dizer que as possibilidades de mudança no próprio projeto, diminuem conforme o avanço do desenvolvimento do mesmo, ou seja, quanto mais tempo se passa, mais se conhece sobre o produto e menores são as decisões tomadas, como mostra a Figura 51. Com base nesta Figura, Chang; Silva e Bryant (1999) asseguram que as decisões de projeto devem ser

tomadas nas fases iniciais do processo, quando o produto ainda está sendo concebido e ainda existem muitas dúvidas sobre o que virá a ser o resultado final.

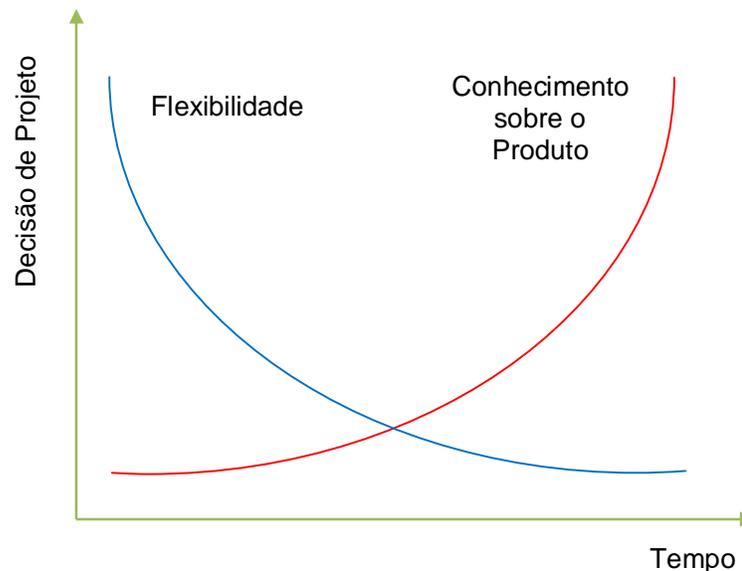


Figura 51: Comportamento do processo de projeto em relação ao desenvolvimento do produto e possíveis mudanças ao longo do tempo (Adaptado de CHANG; SILVA; BRYANT, 1999)

Para Fabrício; Baía e Melhado (1999) o projeto é “*um processo colaborativo não somente entre as várias especialidades, mas também com a participação dos demais envolvidos na produção, manutenção e uso dos edifícios*”. Nesta citação, os autores também avaliam a necessidade de consideração, em projeto, dos meios pelos quais a ideia, melhorada progressivamente pelo refinamento das informações, será materializada de forma racionalizada. Além disso, a afirmação destes autores sugere que o projeto não deve ser uma etapa isolada no empreendimento, mas sim uma ação colaborativa entre os responsáveis por cada fase.

Assim, Novaes (2001) considera que o projeto pode ser abordado a partir de dois enfoques diferentes. O autor sugere que uma abordagem pode ser entendida como sendo estática, na qual o projeto é compreendido como um produto formado por informações gráficas e descritivas elaboradas com linguagem técnica apropriada. A segunda abordagem indicada por Novaes (2001) refere-se ao projeto como atividade dinâmica, que confere ao mesmo um sentido de processo, pelo qual as soluções entre diferentes etapas do empreendimento são elaboradas e devem ser compatibilizadas.

Peña (2003) sugere que devido a alterações de mercado visando à modernização dos processos através da adoção de conceitos como os de construtibilidade, desempenho, produtividade, qualidade entre outros aspectos, novos requisitos foram conferidos ao projeto. Baseado em tais conceitos para tentativas de modernização do setor, o projeto

passou a considerar também as definições e requisitos do processo construtivo, sendo que o projeto passa a fazer parte do contexto do processo de produção (PEÑA, 2003).

Neste sentido, Melhado *et al.* (2006, p.7), consideram que “o projeto é um conjunto de atividades intelectuais que levam à concepção das exigências para a construção, das formas e dimensões do produto e de seus métodos construtivos.” Ainda neste contexto, Prins e Kruijne (2008) afirmam que o projeto pode ser definido como sendo um processo de geração de informações e especificações que se inicia na concepção do produto e se estende para a produção através de informações e subsídios.

Para Galle (2008) o projeto é entendido como a produção de representações de projetistas segundo uma ideia inicial que permite que um fabricante ou construtor produza determinado objeto. Visser (2009) também percebe que o projeto pode ser qualificado como sendo a construção de representações que, de maneira geral, podem ser abordadas como a solução de problemas, sob a ótica de que em cada empreendimento surgem problemas (execução, funcionamento, qualidade etc.) diferentes, e que os projetos, por sua vez, deverão solucionar.

Analisando tais definições e conceitos, nota-se que o projeto é um processo intelectual que visa subsidiar a produção de um objeto por meio de duas maneiras: através das características físicas do produto (projeto do produto) e com informações a respeito dos meios pelos quais a produção deste objeto será atingida (projeto do processo). Ou seja, o projeto é um dos processos que compõem um empreendimento, sendo caracterizado pela reunião de informações gráficas e textuais que fornecem as condições necessárias, tanto para as características físicas do produto quanto para os meios pelos quais o fruto da concepção intelectual será produzido.

No caso de obras em *LSF*, a pré-fabricação dos elementos sugere que todas as atividades de construção, bem como as características físicas de cada elemento utilizado nos sistemas deverão ser contempladas nos projetos, visto que, obviamente, elementos pré-fabricados não admitem imprevistos no canteiro de obras, uma vez que mudanças na forma física destes elementos e na configuração arquitetônica da edificação (que originam interrupções no processo de produção) apontariam falhas no gerenciamento do empreendimento e resultariam em prejuízos.

Assim, para construções em *LSF* (e também para a Construção Civil como um todo), o projeto passa a ser um dos processos que formam o ciclo de vida da edificação. No entanto, diferentemente do que é praticado atualmente, os projetos de residências unifamiliares em *LSF* devem contemplar o processo de produção da edificação, e, mais especificamente, da montagem. Desta forma, é pertinente caracterizar o atual processo de projeto praticado na Construção Civil bem como apontar as práticas ideais que subsidiariam a construção de habitações unifamiliares em *LSF*.

3.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na Construção Civil, o processo de produção é caracterizado por ser fragmentado e por envolver a participação de diversos profissionais de áreas bastante heterogêneas. Assim como a produção, o processo de projeto na Construção Civil é algo de grande complexidade, com numerosas interdependências, grandes incertezas originadas pelas decisões muitas vezes impostas pelos próprios clientes e legislações, realizadas sob pressão temporal, tendo em mente que a desarticulação entre as diversas disciplinas do processo é a maior causadora de defeitos no produto final (KOSKELA; BALLARD; TANHUANPÄÄ, 1997).

As questões relacionadas com a produção são, normalmente, apreciadas quando o projeto do produto está finalizado, de maneira que os defeitos e falhas projetuais notados durante o processo de produção são encontrados em um período de tempo do ciclo de vida do empreendimento em que não há mais tempo hábil para ser corrigido no papel e, conseqüentemente, um maior número de atividades (ações corretivas e imprevistas) são necessárias na produção, resultando em elevados custos, prazos muito longos e a qualidade do produto passa a ser comprometida para se evitar mais atrasos (CHANG; SILVA; BRYANT, 1999).

Neste sentido, tanto Wainwright (1995) quanto Chang; Silva e Bryant (1999) afirmam que uma parcela muito pequena do orçamento destinado ao empreendimento é voltada para o processo de projeto (cerca de 5% do custo relativo ao tempo de produção é destinado ao processo de projeto); em contrapartida, os autores revelam que a fase de concepção é responsável pela determinação de aproximadamente 70 a 80% de todo o custo de um produto.

Durante o projeto de uma edificação, de maneira geral, fica clara, sob o ponto de vista técnico, a forma sequencial na qual o empreendimento é concebido. As baixas interações entre as disciplinas de projeto e a obsolescência dos mesmos são refletidas na ineficiência do canteiro de obras. Neste sentido, Koskela (1998) sugere que o processo de projeto na Construção Civil, assim como o processo de produção, é baseado no contexto da conversão (abordagem que será mais detalhada neste trabalho), entretanto, várias características de grande importância, como tempo e satisfação do cliente, são desprezadas nesta conceitualização.

Melhado e Fabrício (1998) afirmam que o projeto de edifícios é caracterizado por diversas indefinições (tanto do produto quanto do processo), o que resulta em uma acentuada improvisação no canteiro de obras, para o qual são delegadas importantes decisões que poderiam ser mais bem estudadas e elaboradas na fase de projeto.

Considerando construções de pequeno porte, o processo de projeto é ainda mais desfavorecido. Em vários casos, que dependem muito do profissional responsável, a obra é iniciada somente com os projetos legais (documentação gráfica exigida pelo poder público municipal) e, assim, a produção fica a mercê de decisões imediatistas que podem comprometer seriamente a qualidade da residência. Ballard e Koskela (1998) afirmam ainda, que muitas decisões projetuais são tomadas de forma independente em relação a outras etapas e projetos, tornando o fluxo de trabalho (informações), entre os especialistas, especialmente importante. No entanto, é fato que esse fluxo de informações entre profissionais durante os procedimentos de projeto não é unanimidade na Construção Civil.

Nas equipes formadas por tais profissionais, a troca de informações entre os mesmos deveria ser feita, teoricamente, durante todo o processo de projeto; no entanto, notam-se graves falhas de comunicação (ausência de programa de necessidades e inadequações entre disciplinas de projeto) entre os especialistas, que são forçados a obedecer a rígidos controles orçamentários e grande pressão referente aos cronogramas do empreendimento (BALLARD; KOSKELA, 1998). Assim, há constante desaprovação do produto por parte do cliente, análises críticas tardias por parte dos profissionais e tempo insuficiente para que os projetos sejam elaborados cuidadosamente (BALLARD; KOSKELA, 1998).

Novaes (1998) afirma que *“por consequência, quanto aos resultados do processo de projeto, a composição do conjunto dos projetos elaborados, em geral, apresenta-se limitada aos projetos de arquitetura, de estruturas e fundações e de instalações prediais.”* Além disso, o nível de qualidade de informação presente nestes projetos é bastante insuficiente, tanto por falta de integração entre os mesmos quanto por inadequação com relação ao processo construtivo (NOVAES, 1998).

Tzortzopoulos (1999) também releva a necessidade de melhorias na comunicação entre os próprios projetistas que podem, até mesmo, serem da mesma especialidade. A autora afirma que os problemas de projeto originam-se a partir de informações que chegam aos projetistas por meio de outras pessoas, ou seja, tais informações podem sofrer grandes variações em seu conteúdo. Grande parte das decisões tomadas em projetos na Construção Civil são executadas a partir de informações de empreendedores e, até mesmo, corretores de imóveis sem embasamento científico ou pesquisas de mercado que, certamente, forneceriam solidez nas definições de projeto se fossem direcionadas ao crivo de profissionais competentes. (TZORTZOPOULOS, 1999).

Diante desses fatos, reitera-se a ocorrência de que o processo de projeto na Construção Civil se desenvolve de uma forma sequencial entre equipes e disciplinas, o que contribui para a ineficiência da produção no canteiro de obras. Assim, a Figura 52 exemplifica tal sequencialidade, sendo que, com esta Figura, Fabrício; Baía e Melhado

(1999) alegam que muitos profissionais projetistas são contratados somente após a etapa de início das obras, prejudicando profundamente o processo e, conseqüentemente, a qualidade da edificação.

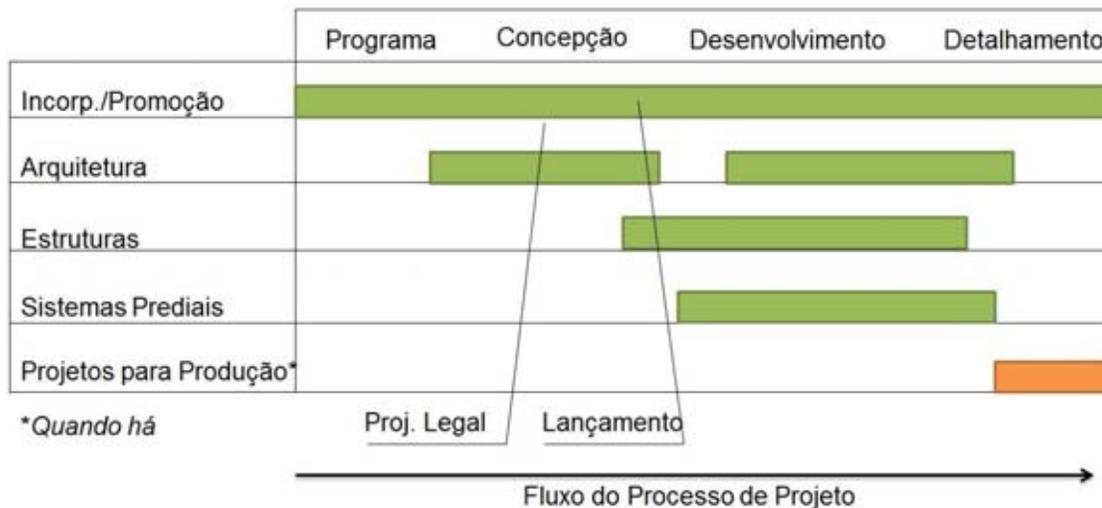


Figura 52: Representação do esquema tradicional do processo de projeto em Construção Civil. (Adaptado de FABRÍCIO; BAÍA; MELHADO, 1999)

De maneira semelhante, Assumpção e Fugazza (2001) observam o processo de projeto na Construção Civil, representado na Figura 53, como sendo uma sequência de atividades que começa com os estudos de viabilidade, sendo finalizado com a entrega da obra e desligamento do produto final com os incorporadores e desenvolvedores. Nota-se na Figura que o desenvolvimento de projetos estende-se até a entrega da obra, o que é uma contradição, pois, teoricamente, durante a produção e entrega da edificação, os projetos já deveriam estar concluídos, pois são estes que definem as características do produto e os meios de produção.

Fabrício (2002) aprofunda mais as conseqüências da falta de comunicação e cooperação entre equipes de projeto, explicando que em síntese os processos de projeto tradicionais (como os de residências unifamiliares) são orientados para definições acerca do produto, sem considerar a forma e as implicações do modo de produção adequado. Quando há detalhamento e especificações do produto, estes são, normalmente, incompletos e insuficientes e acabam tendo que ser modificados ou resolvidos durante a construção, quando a equipe de obra (em sua maior parte os operários somente) decide de forma “amadora” o que não foi previsto em projeto (FABRÍCIO, 2002).

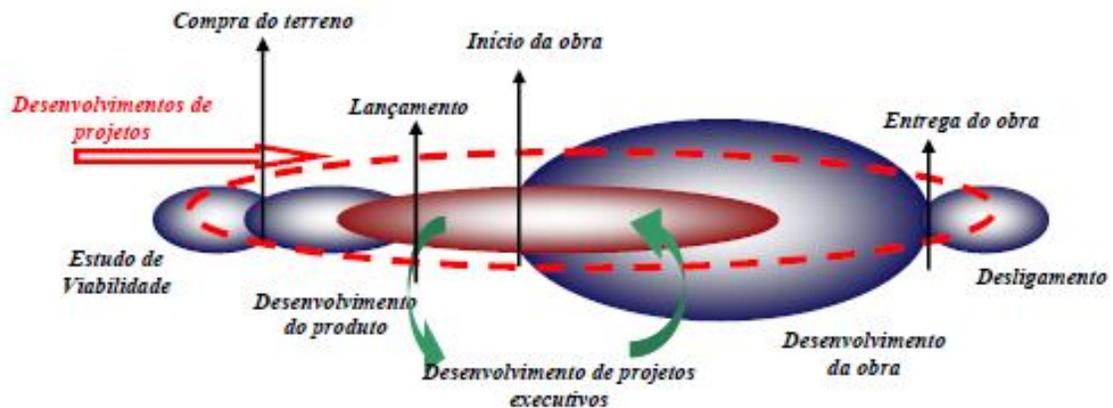


Figura 53: Atividades sequenciais típicas de projeto na Construção Civil (ASSUMPÇÃO; FUGAZZA, 2001)

Diante destes fatos, Austin *et al.* (2007) consideram que o projeto em Construção Civil retrata uma determinada fase do empreendimento onde a complexidade deste processo não é muito bem compreendida, sendo fracamente administrada. Nos últimos anos, o projeto em Construção Civil tornou-se progressivamente mais fragmentado, em grande parte, devido ao crescimento da especialização dos profissionais nesta indústria e o aumento da complexidade dos métodos e tecnologias envolvidas (AUSTIN *et al.*, 2007).

No sentido de reverter este quadro, a Construção Civil passa a apoiar-se em setores industriais mais avançados como a Indústria Automobilística ou a Indústria Aeronáutica. Austin *et al.* (2007) mostram que o estilo de administração dos processos adotados nestas indústrias é uma prática a ser seguida também na Construção Civil, visto que o aumento da produtividade alcançado por estas indústrias nos últimos trinta anos e o grau de satisfação dos clientes, revelam o prestígio e o sucesso das mesmas, fatos estes que também podem ser alcançados no mercado imobiliário.

Song, Mohamed e AbouRizk (2009) também asseguram que os métodos tradicionais de execução de projetos na Construção Civil ainda são fundamentados em práticas que separam o processo de projeto do processo de produção. Assim, visando à modernização do setor, a Indústria da Construção Civil começa a dar maior importância à necessidade de integração entre o processo de projeto e as atividades de construção (SONG; MOHAMED; ABOURIZK, 2009).

Neste sentido, Blacud *et al.* (2009) sugerem que as atividades das fases de projeto e construção podem ser sobrepostas sob o ponto de vista da troca de informações entre tais atividades, o que possibilitaria melhor integração entre os processos. Os autores mostram que tal sobreposição e troca de informações pode ser alcançada pelos conceitos da Engenharia Simultânea, que será devidamente detalhada neste trabalho.

Isto é justificado, pois como afirma Miron (2010), a Indústria da Construção assume procedimentos, para a produção de uma edificação, demasiadamente simplistas, onde o cliente final informa suas necessidades, engenheiros e arquitetos transformam essas necessidades em informações técnicas e espaciais e, finalmente, o próprio cliente fica encarregado da aquisição de materiais, equipamentos e mão-de-obra para o desenvolvimento da construção.

É necessário, portanto, que a Construção Civil passe a abordar o processo de projeto como uma etapa do empreendimento que potencializa a qualidade e a produtividade da edificação; assim, é imprescindível definir o que seria o ideal teórico para a sua prática, apresentando as principais técnicas e conceitos utilizados pela indústria de manufatura, na qual a Construção Civil poderia basear-se, tendo em vista o aumento da qualidade dos seus serviços e produtos, alcançando, possivelmente, a excelência ao lado de outras indústrias.

Essencialmente, as melhores práticas que estão ao alcance da Construção Civil e que podem ser adotadas no processo de projeto, segundo a literatura, é a consideração do fluxo de informações entre disciplinas de projeto, entre processos (projeto e construção) e entre os atores que participam diretamente do desenvolvimento da edificação e no empreendimento com um todo. Tais práticas implicam na sobreposição de informações que são específicas de cada área ou disciplina e que são inerentes às atividades desenvolvidas nos processos que compõem o empreendimento.

3.3 O LEAN DESIGN

Fica claro, portanto, que o processo de projeto na Construção Civil é caracterizado por uma série de atividades sequenciais e que, raramente, as atividades necessárias à construção são contempladas em projeto. Neste sentido, pode-se dizer que há formas e ações que podem ser mais eficientes para o empreendimento a serem adotadas no processo de projeto. Neste sentido, Souza e Abiko (1997, p.20), no contexto de melhores práticas em projeto, entendem que:

É na fase de projeto que acontece a concepção e o desenvolvimento do produto, que devem ser baseados na identificação das necessidades dos clientes em termos de desempenho e custos e das condições de exposição a que está submetido o edifício na sua fase de uso.

O entendimento de Souza e Abiko (1997), apesar de ser voltado para um produto específico, sugere que o processo de projeto é um dos responsáveis pelo desempenho e

nível de qualidade do produto. De forma mais elaborada, Romano (2003, p. 23) sugere que o processo de projeto de uma edificação:

...permeia, ou ao menos, deve permear todo o processo construtivo, iniciando no planejamento (estudos de viabilidade e definição do produto), passando pela elaboração dos projetos do produto e dos projetos para produção, pela preparação para execução (definição de materiais, componentes e equipamentos e seus respectivos fornecedores, planejamento e organização da obra), pela execução (acompanhamento e retroalimentação a partir da obra), e estendendo-se até o uso (retroalimentação a partir da avaliação pós-ocupação e da análise financeira do empreendimento).

Melhado *et al.* (2006) entendem que o processo de projeto na Construção Civil pode ser estruturado afim de que três fases básicas e essenciais sejam consideradas: a concepção das exigências para a construção (necessidades dos clientes, tramites legais etc.), a concepção do produto (características do produto) e a concepção da execução das obras (projetos especializados voltados para a produção). De certa forma, os raciocínios a respeito de melhores práticas no processo de projeto são semelhantes aos conceitos do mesmo, demonstrados no início deste capítulo, ou seja, as práticas corretas fazem parte da natureza do projeto, porém, especificamente na Construção Civil, isto é distorcido, tanto na elaboração dos projetos quanto no gerenciamento dos mesmos.

Assim, analisando as afirmações dos autores, percebe-se que o projeto pode ser estendido para todas as fases do empreendimento, em especial no que diz respeito às atividades necessárias à produção do objeto. Porém, a forma sequencial com que o processo de projeto é caracterizado hoje na Construção Civil, não favorece, ou ainda, tornaria ineficiente a utilização de técnicas que contemplariam não somente o cliente final, mas também os clientes internos ao empreendimento.

No contexto em que se insere o projeto e a produção de habitações unifamiliares em *LSF* e em outros sistemas construtivos no Brasil, nesta presente dissertação, de fato, se entende que há a necessidade de adoção de estratégias que priorizem atividades de gerenciamento, no sentido do favorecimento da tomada de decisões e utilização de técnicas, paralelas entre processos, principalmente no que tange o projeto e a produção. Pode-se dizer que a principal consequência da integração entre dois processos distintos (projeto e produção) é o surgimento da troca de informações entre os profissionais que atuam nestas áreas e que, de certa forma, caracteriza um fluxo destas informações.

Neste sentido, Koskela e Huovila (1997) propõem que o processo de projeto pode ser abordado e gerido de três maneiras diferentes sob o ponto de vista da administração das informações: o projeto como conversão, o projeto como fluxo e o projeto como gerador de valores. A adoção desses três pontos de vista ao processo de projeto potencializa a adoção

de estratégias que prezam pelo paralelismo de decisões, em detrimento às atividades sequenciais, características da Construção Civil, como será mostrado neste trabalho.

A proposta de abordagem do processo de projeto de Koskela e Huovila (1997) possui um referencial teórico originado na pesquisa realizada por Koskela (1992) denominada: *Application of the new production philosophy to construction*, visto que este trabalho deu origem a uma filosofia de gerenciamento de processos chamada *Lean Construction* (Construção Enxuta). Para que se compreenda a abordagem de projeto a partir das ideias de conversão, fluxo e valor é necessária uma rápida explanação do que vem a ser a *Lean Construction*.

No universo da *Lean Construction*, Koskela (1992) mostra que o processo de projeto e produção tradicional na Construção Civil é baseado em um sistema de conversão, como mostra a Figura 54. No modelo de conversão, Koskela (1992) demonstra que cada material ou trabalho, necessário para a formação do objeto, é transformado em um produto por meio de um processo de conversão ou transformação, de maneira que, dentro desta conversão de materiais ou informações, existem subprocessos que, por sua vez, também são chamados de conversão.

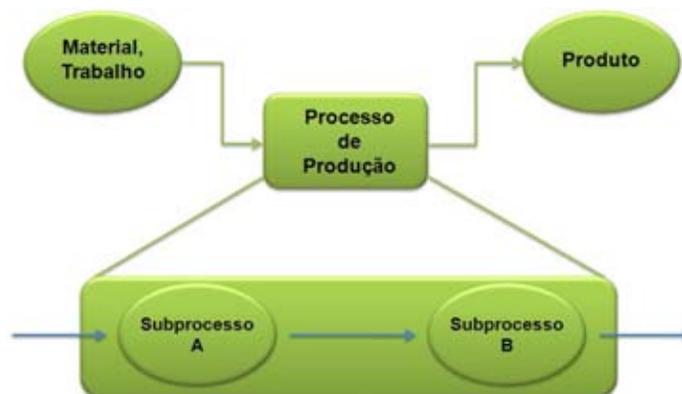


Figura 54: Representação esquemática do modelo de conversão (Adaptado de KOSKELA, 1992).

Porém, o autor afirma que no modelo de conversão, os fluxos físicos entre as transformações não são considerados nem durante a produção e, muito menos, durante o projeto. Estes fluxos físicos, Koskela (1992) os denomina atividades de fluxo e são representadas por: atividades de transporte, espera e atividades de inspeção. Cabe destacar aqui, que uma das principais características das atividades de fluxo é a de que elas não agregam valor ao produto, mas podem ser necessárias para o processo de produção e projeto e, portanto, não devem ser ignoradas.

Sob a ótica da *Lean Construction*, o modelo de conversão é incompatível com sistemas de produção modernos. Para Koskela (1997), a essência desta teoria é a necessidade de consideração de que há dois aspectos em qualquer sistema de produção: fluxos e conversões (e não somente conversões), como mostra a Figura 55. Porém, enquanto todas as atividades dos processos consomem tempo e recursos, apenas as atividades de conversão agregam valor ao produto e, assim, a melhoria na gestão das atividades de fluxo (inspeção, espera e transporte), que por sua vez não agregam valor, deve ser orientada para a sua redução ou mesmo a eliminação, de modo que as atividades de conversão deverão ser mais eficientes (KOSKELA, 1997).

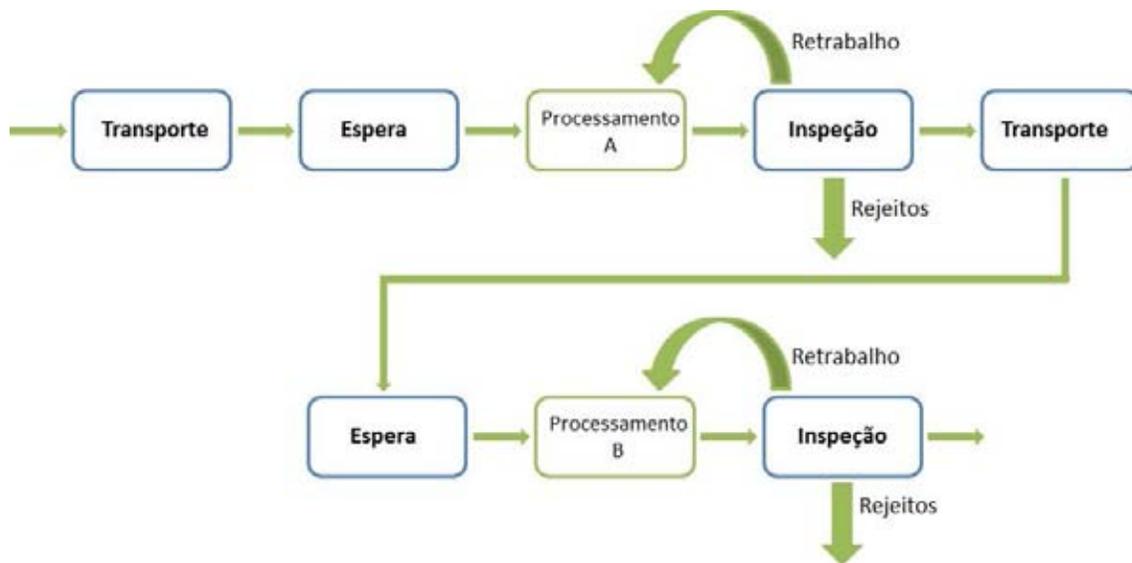


Figura 55: Representação esquemática da produção como um fluxo, com destaque (em azul) para as atividades de fluxo (Adaptado de KOSKELA, 1992)

O que é importante destacar a partir do que foi exposto é a diferença entre o modelo de conversão e a *Lean Construction*. Essencialmente, o diferencial fica por conta de que na *Lean Construction* o processo de construção é entendido como sendo um conjunto de atividades que são desenvolvidas a partir do conceito de conversão de materiais e informações por meio das atividades de fluxo, ou seja, entre processos e subprocessos de conversão a informação ou o material pode estar em transporte, espera ou inspeção. Além disso, a *Lean Construction* preza pela redução do ciclo de desenvolvimento e produção. Assim, baseado nisso, Koskela (1992) propôs onze princípios que prezam por esse controle sobre as atividades de fluxo nos processos inerentes à Construção Civil e que estão citados a seguir:

- a) Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
- b) Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes;

- c) Reduzir a variabilidade;
- d) Reduzir o tempo de ciclo;
- e) Simplificar por meio da redução do número de etapas e partes;
- f) Aumentar a flexibilidade de saída;
- g) Aumentar a transparência do processo;
- h) Focar o controle no processo completo;
- i) Melhoria contínua no processo;
- j) Equilíbrio entre melhorias nos fluxos e melhorias nas conversões;
- k) *Benchmark.*

No entanto, para se alcançar os benefícios dos princípios da *Lean Construction*, é obrigatório que haja uma mudança cultural no setor da Construção Civil, sendo necessária a mudança das práticas gerenciais bem como das práticas de trabalho usuais (projeto e produção) através da adoção de estratégias, princípios, práticas e ferramentas que devem ser desenvolvidas e trabalhadas (HÖÖK; STEHN, 2008).

Assim, visando este objetivo, o fundamento teórico e a aplicação dos princípios da *Lean Construction* no processo de projeto origina a proposta de Koskela e Huovila (1997), gerando o que hoje é comumente chamado de *Lean Design* (Projeto Enxuto) que, assim como sua teoria genitora, promove a eliminação de desperdícios e de atividades que não geram valor ao processo (FREIRE; ALARCÓN, 2002). Essencialmente, a prática do *Lean Design* abre espaço para a aplicação de práticas, estratégias e ferramentas inovadoras no processo de projeto, conforme sugestão de Höök e Stehn (2008) e que será apresentado mais adiante.

No trabalho de Koskela (2000), o autor mostra que a abordagem proposta pelo *Lean Design* considera não somente as conversões de entradas em saídas, mas também o fluxo de materiais e informações para estas transformações e o valor gerado tanto para os clientes internos ao processo de projeto quanto para o usuário final.

Tilley (2005), de maneira semelhante, observa que o objetivo final de um processo de projeto gerido com base na proposta do *Lean Design* é a maximização do valor total agregado à determinada informação. O autor ainda mostra que a proposta de gestão apresentada pelo *Lean Design* tem sido abordada na literatura como sendo um novo paradigma, assim como a *Lean Construction*, na forma como o processo de projeto deve ser gerido, de maneira que o *Lean Design* apresenta um grande potencial de melhorias que são imprescindíveis à Construção Civil.

Segundo Jørgensen (2006), o *Lean Design* não possui uma definição formal específica e pode ser utilizado de diversas formas com o intuito de se aplicar a filosofia *lean*

na construção. O autor também afirma que os principais estudos e práticas atuais a respeito do assunto são voltados para questões de interações entre disciplinas de projeto e entre o projeto e o processo de produção.

Cabe destacar que a proposta do *Lean Design* também foi acometida em trabalhos posteriores ao de Koskela e Huovila (1997), por vários outros autores de diferentes áreas de atuação que abordam o processo de projeto sob a ótica “*Lean*”. Assim, nestes trabalhos, os autores propõem que o projeto pode ser abordado sob três aspectos distintos: fluxo, conversão e gerador de valores, como apresentado no Quadro 4.

Quadro 4: Comparação entre três abordagens diferentes para projeto (Adaptado de KOSKELA; HUOVILA, 1997)

	Projeto como Conversão	Projeto como Fluxo	Projeto como Geração de Valores
Conceituação	Como uma transformação de requisitos e outras informações ao projeto do produto	Como fluxo de informação composto por conversão, inspeção, transporte e espera	Como um processo onde o valor para o cliente é gerado através do atendimento de suas necessidades
Princípios básicos	Decomposição hierárquica: controle de atividades decompostas	Eliminação de desperdícios (atividades desnecessárias); redução do tempo e redução de incertezas	Eliminação da diferença entre o valor alcançado e o melhor resultado possível e análise rigorosa dos requisitos impostos
Contribuição prática	Controle das atividades	Minimização das atividades essencialmente desnecessárias	Controle para que os requisitos dos clientes sejam atingidos

No entanto, como foi visto, tradicionalmente, o processo de projeto na Construção Civil, assim como as atividades de construção, é administrado, exclusivamente, sob a ótica em que se insere o contexto da conversão de informações, em detrimento do fluxo e valor das mesmas (KOSKELA, 2007). Porém, uma vez que a matéria-prima do projeto é a informação, é coerente dizer que esta seja gerenciada ao longo do processo, afim de que possa gerar o resultado e o valor esperado.

Destarte, voltando para o conceito do *Lean Design*, a partir da abordagem do projeto como conversão, Koskela (2007) afirma que as melhorias baseadas na estrutura desta conceitualização, foram orientadas de ferramentas para a coordenação conjunta dos esforços para ferramentas que reforçam a eficiência de tarefas individuais e específicas como o *CAD*, modelos de cálculo, modelos de simulação etc. Ou seja, uma vez que o

processo de projeto é orientado para questões específicas e individuais, passa a existir uma depreciação com relação a questões e decisões multidisciplinares. De maneira geral, não existe um gerenciamento que coordene a troca de informações entre equipes de trabalho (considerando entre projeto e produção também), justamente porque os projetos não contemplam as informações para interfaces de trabalho interdisciplinares.

O aspecto do projeto como gerador de valor pode ser explicada essencialmente pelo fato de que as necessidades e requisitos dos clientes serão atendidos e, assim, haverá um valor agregado para tanto. Porém, Koskela (2007) nota que podem ocorrer alguns problemas neste enfoque, nos quais os principais são: a forma de captura dos requisitos e necessidades dos clientes não é ideal, os requisitos e necessidades podem se tornar obsoletos ao longo do empreendimento e a tradução das necessidades dos clientes para a linguagem de projeto pode ser falha.

Finalmente, no que diz respeito ao fluxo de informações, Koskela (2007) atenta ao fato de que a falta de especificações necessárias às atividades de produção originam esforços adicionais que são desnecessários e que podem conduzir a falhas e retrabalhos, e conseqüentemente, desperdícios e aumento do tempo de desenvolvimento e produção. Assim, a função do projeto deve ser estendida também para a produção que, internamente ao empreendimento, é a maior deficitária de informações na Construção Civil, sendo que, visando a mudança desse paradigma na óptica do processo de projeto, algumas soluções emergiram e, dentre elas, destaca-se o *Design for Assembly* (KOSKELA, 2007).

Essencialmente, no caso de edificações em *LSF*, estas três abordagens aplicadas ao processo de projeto tornam-se especialmente importantes. Sendo o *LSF* um sistema construtivo pré-fabricado, muito contribui que em seu processo de projeto sejam apreciadas as atividades de fluxo inerentes as atividades de montagem no canteiro de obras, visto que isso garante melhor eficiência da produção e reduz a possibilidade de erros, tendo em vista que isso garante quais serão as ações necessárias para a produção.

Para que as três abordagens mostradas no Quadro 4 retornem os resultados esperados, tanto para as questões da engenharia quanto para a satisfação do cliente, é necessário que elas atuem de forma conjunta, ou seja, para um resultado de impacto da utilização do *Lean Design*, é imperativo que algumas ferramentas sejam adotadas nas fases de desenvolvimento do empreendimento. O próprio Koskela (1992) enunciou algumas técnicas e estratégias que poderiam ser utilizadas, afim de que o atual cenário em que se insere o gerenciamento dos processos na Construção Civil seja modernizado.

Dentre as sugestões propostas, tendo em foco especificamente a integração entre os processos de projeto e produção, há uma estratégia de atuação bastante difundida na indústria de produtos seriados, e que passa a ganhar maior atenção da Construção Civil, denominada Engenharia Simultânea. Esta ferramenta muito contribui para a aplicação do

Lean Design, visto que preza pela modernização e integração entre equipes e processos, evitando a sequencialidade das ações, característica da Construção Civil, como será mostrado no próximo capítulo.

Antes, porém, é conveniente e necessário que sejam abordados questões a respeito da coordenação modular que é indispensável ao projeto de edificações em *LSF* e questões a respeito da compatibilidade entre projetos que, de certa forma, irão contribuir para um melhor entendimento do que vem a ser a Engenharia Simultânea.

3.4 A NECESSIDADE DA COORDENAÇÃO MODULAR E A COMPATIBILIDADE ENTRE PROJETOS

Todos os conceitos e ações de melhorias descritas a respeito do processo de projeto na Construção Civil remetem a duas operações de vital importância para a produção de residências em *LSF*, ou qualquer outro tipo de sistema pré-fabricado, e são referentes à coordenação modular e à compatibilização entre projetos.

No que diz respeito à coordenação modular, Fabrício (2008) afirma que a mesma remete aos preceitos da industrialização aberta que, segundo o autor, denota a industrialização de diferentes componentes por um mesmo ou por diferentes fabricantes voltados para operações de montagem e interconexões padronizadas. Estas características condizem perfeitamente com o contexto em que a produção de residências em *LSF* se insere, ou seja, pré-fabricação e montagem.

Neste contexto da industrialização, Fabrício (2008) afirma que a coordenação modular deve ser abordada como uma técnica voltada para o processo de projeto que colabora para a redução de desperdícios e para a racionalização da construção a partir do controle das dimensões dos componentes que formam os elementos pré-fabricados. Este controle, normalmente é feito a partir de uma medida padrão (básica) na qual a medida de todos os componentes dos sistemas da edificação é múltipla da medida padrão adotada.

Em um empreendimento que utiliza o sistema *LSF*, a coordenação modular torna-se uma operação indispensável no processo de projeto, visto que o sistema construtivo utiliza elementos prontos para a instalação e, portanto, devem ser projetados a fim de que as medidas sejam respeitadas e compatibilizadas entre o elemento a ser utilizado e as dimensões do projeto arquitetônico. Neste sentido, pode-se dizer que o principal objetivo da coordenação modular é “... eliminar a fabricação, modificação ou adaptação das peças em obra, reduzindo o trabalho de montagem das unidades em seus correspondentes subsistemas e componentes funcionais” (CRASTO, 2005, p.199).

Neste sentido, pode-se dizer que a coordenação modular está intimamente ligada com a indústria de materiais e componentes e, dessa forma, as empresas de projeto e construtoras devem ofertar seus produtos de acordo com o que há disponível no mercado, que de certa forma, apresenta uma ampla gama de medidas e tipos de produtos, o que favorece maior liberdade de criação na concepção da edificação.

Franco (1992) afirma que a coordenação modular é uma prática que pode ter reflexos em quase todas as etapas do empreendimento, pois, além de permitir a introdução de procedimentos padronizados na obra e ganhos na precisão da construção de sistemas da edificação, também permite a introdução de técnicas de montagem que facilitam a produção. Nestes aspectos, Franco (1992) lista algumas vantagens proporcionadas pela coordenação modular, sendo as principais:

- a) Simplificação das atividades de projeto;
- b) Padronização de materiais e componentes;
- c) Diminuição dos problemas de interface entre os componentes, elementos e subsistemas;
- d) Facilidade na utilização de técnicas pré-definidas, o que facilita a introdução de técnicas de gestão;
- e) Redução de desperdícios originados pelas adaptações na obra;
- f) Precisão dimensional;
- g) Diminuição de erros da mão-de-obra, que resulta em melhor qualidade e produtividade.

Considerando os benefícios da técnica, pode-se dizer que a não participação da coordenação modular no processo de projeto, resulta na ineficiência das atividades de montagem no canteiro de obras, ficando seriamente comprometida devido ao surgimento de ajustes nos materiais e componentes (FABRÍCIO, 2008). No contexto das obras em *LSF*, a coordenação modular delimita um dos pré-requisitos para se utilizar tal sistema construtivo, visto que sem a modulação dos elementos, todo o propósito de racionalização do *LSF* é perdido.

A partir de 2010, os profissionais da Construção Civil passaram a contar com a NBR 15873/2010 – Norma de Coordenação Modular que define os princípios de modularização para edificações, de maneira que a ideia principal é a de que todos os sistemas e componentes sejam padronizados, o que facilitaria a compatibilização durante a fase de projeto.

No entanto, para que a coordenação modular resulte em todas as vantagens acima descritas, é necessário que os sistemas que formam o edifício sejam compatíveis para

tanto, ou seja, os projetos referentes aos vários sistemas do produto deverão ser compatíveis entre si, por exemplo, no sistema *LSF* não haveria vantagem em modular o sistema de vedação da residência se o sistema estrutural não for modular e compatível com os elementos de fechamento.

A compatibilização de projetos não favorece somente a modulação entre sistemas, mas também tem um grande impacto na geometria arquitetônica da residência, visto que permite a previsão e a conseqüente correção das interferências espaciais entre sistemas e suas relações com a arquitetura da casa.

De acordo com Novaes (1998) a compatibilização de projetos caracteriza-se como sendo uma ação projetual pela qual os profissionais competentes conseguem conciliar física, geométrica, tecnológica e produtivamente os componentes dos elementos que irão compor os sistemas da edificação, de maneira que o autor complementa o raciocínio afirmando que a compatibilização de projetos é uma operação que introduz melhorias na construtibilidade e na Racionalização Construtiva, a partir da integração das decisões tomadas no projeto do produto e no projeto do processo.

Para Rodriguez (2005, p.18) a compatibilização de projetos é “... a análise, verificação e correção das interferências físicas entre as diferentes soluções de projeto de uma edificação”.

De acordo com Fabrício (2008, p.38) “a compatibilização de projetos consiste na superposição de projetos de diferentes especialidades para verificar as interferências”.

Segundo Mikaldo Jr. e Scheer (2008, p.82) a compatibilização de projetos pode ser entendida como “...atividade que torna os projetos compatíveis, proporcionando soluções integradas entre as diversas áreas que tornam um empreendimento factível”.

A partir dos conceitos propostos, pode-se dizer que a compatibilização entre projetos é essencial para a racionalização da produção, principalmente quando se utilizam sistemas construtivos industrializados como o *LSF*, onde não recomendável que sejam feitas adaptações ou reparos no canteiro de obras.

Na sugestão de Novaes (1998), a compatibilização dos projetos implica na integração entre os processos e entre projetos. Neste sentido, Fabrício (2008) e Mikaldo Jr. e Scheer (2008) acreditam que a compatibilização pode ser abordada como sendo uma complementação da estratégia de integração entre processos e projetos, sendo limitada por ações de correção e detecção de erros, visto que isso implica em retrabalhos no processo de projeto.

Assim, Mikaldo Jr. e Scheer (2008) consideram que tal integração remete a uma estratégia de gestão de processos denominada Engenharia Simultânea. Os autores afirmam que quanto maior for a integração entre projetos e processos, menor será a necessidade de se compatibilizar os projetos. Sendo assim, nesta pesquisa será destacada a necessidade

de integração entre processos, enfatizando a Engenharia Simultânea como sendo a maneira pela qual o fluxo de informações passa a ser introduzido no processo de projeto e, dessa forma, diminui-se a necessidade de se apelar para a compatibilização de projetos.

3.5 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

Em um ambiente competitivo, como é caracterizado o subsetor de edificações, torna-se necessário que as empresas adotem medidas que tornem os seus produtos como sendo diferenciais no mercado, mantendo a qualidade do mesmo. A partir da modernização do setor, algumas empresas vêm enfatizando a importância do projeto como meio para a garantia da qualidade e diferenciação de seus produtos.

Diante do que foi exposto, percebe-se que a Construção Civil age de maneira contrária com relação às atividades de projeto, visto que os conceitos apresentados são bastante claros no sentido de que o processo de projeto de um produto não envolve apenas as características físicas do mesmo. Além disso, as práticas sequenciais entre as etapas de projeto propiciam o surgimento de dúvidas durante a construção, o que irá gerar falhas e desperdícios.

Outro ponto importante a ser destacado aqui é de que o projeto, tradicionalmente, não gerencia as informações necessárias para os trabalhos a serem executados, ou seja, além de ser sequencial, não há comunicação entre as equipes responsáveis por cada etapa. Isso acaba prejudicando o desempenho da produção e da qualidade do produto final.

A proposta de utilização de sistemas pré-fabricados como o *LSF*, propicia a modernização da Construção Civil tanto quanto ao uso de materiais quanto aos processos de produção e projetos. Especificamente com relação ao projeto, sistemas pré-fabricados são incompatíveis com as práticas atuais.

Ao se utilizar o sistema *LSF*, é necessário, que todo o processo de produção seja previsto na fase de projeto, visto que o sistema utiliza peças pré-fabricadas e que necessitam apenas de montagem para a construção da edificação e, assim, é imperativo que o projeto esteja de acordo com os desejos do cliente (para que não haja mudanças durante a produção) e antecipe as atividades competentes à produção (integração entre processos de projeto do produto e da produção). Além disso, o projeto de sistemas pré-fabricados, obrigatoriamente, deve obedecer ao controle dimensional a partir da coordenação modular e compatibilizar seus sistemas evitando imprevistos.

No entanto, para a eficiência dos processos relacionados ao uso do sistema *LSF*, é necessário que o processo de projeto seja gerenciado por modelos de gestão que garantam a qualidade tanto para a engenharia do produto quanto para o cliente. Assim, as

características ideais para o processo de projeto apontadas a partir dos tópicos abordados nos trabalhos de Koskela devem ser guiadas por alguns princípios que permitam a eficácia na produção e na integração entre os processos, bem como a racionalização da construção.

Uma das mais importantes estratégias da indústria moderna e que também pode ser utilizada no processo de projeto da Construção Civil, a fim de se evitar a sequencialidade do mesmo, é a Engenharia Simultânea. Este é um conceito amplamente adotado na indústria de produtos seriados, que promove a redução do tempo de desenvolvimento do produto, aumentando sua qualidade tanto sobre o ponto de vista da engenharia quanto para o cliente com custos reduzidos.

Cabe destacar também que a Engenharia Simultânea relaciona-se intimamente com o processo de projeto e, como será visto a seguir, possibilita que o mesmo encontre as condições necessárias para que os princípios da *Lean Construction* sejam adotados no projeto, ou seja, a Engenharia Simultânea cria as condições para que o *Lean Design* contribua para o melhoramento do processo e, conseqüentemente, da qualidade do produto.

4 A ENGENHARIA SIMULTÂNEA E O PROCESSO DE PROJETO

Visando maior eficiência nos processos de produção e projeto, as indústrias de produtos seriados, com destaque para a indústria automobilística, passaram a adotar estratégias de atuação que priorizavam o paralelismo entre atividades e decisões entre processos. A mais notável destas estratégias é a Engenharia Simultânea, que é amplamente utilizada em indústrias modernas e que começa a ganhar maior atenção da Construção Civil como técnica que possibilita uma melhor eficiência na troca de informações entre processos e facilita a gerência das atividades inerentes ao empreendimento. O *LSF*, por ser um sistema pré-fabricado, necessita que haja integração entre processos, principalmente no que diz respeito ao projeto e produção. Assim, este capítulo trata da utilização da Engenharia Simultânea, seus principais conceitos e sua relação com projetos e teorias relacionadas como o *Lean Design*.

4.1 O CONCEITO DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA

É fato que na Construção Civil os processos, intelectuais e executivos, são tradicionalmente sequenciais. Para isso, muito contribui o atraso tecnológico referente à administração dos procedimentos e a grande incidência de especialização dos profissionais, o que acaba prejudicando a interação entre equipes e a dinâmica do fluxo de informações, gerando graves problemas que são facilmente notados durante a produção (desperdícios, imprevistos, atrasos etc.) e no produto final (manifestações patológicas e insatisfação do consumidor).

Tais problemas estão relacionados, entre outros fatores, com a dissociação entre o projeto, a engenharia do produto e a produção, resultantes da grande dificuldade encontrada pelos profissionais da Construção Civil, responsáveis por tais etapas, em se comunicar e interagir de maneira efetiva (TOOKEY *et al.*, 2005). Prasad (1996) expõe que em muitos processos caracterizados por serem sequenciais, a fase de produção é a mais prejudicada, pois o desenvolvimento do produto é feito por equipes de profissionais que estão completamente isoladas do processo de produção.

A falta de integração e comunicação entre as equipes responsáveis, não somente entre projeto e produção, mas por cada etapa do empreendimento, resulta em períodos de desenvolvimento muito longos e que estão susceptíveis a falhas e a um significativo

aumento dos custos. Em sua obra, Prasad (1996) lista os principais problemas que podem ocorrer devido a tal dissociação:

- a) Projeto do produto inadequado para a produção;
- b) Indisponibilidade de equipamentos adequados para a produção;
- c) Trabalho extra, além do previsto, e alta geração de desperdícios;
- d) Problemas com a montagem de peças ou componentes;
- e) Incapacidade de utilização dos equipamentos e ferramentas disponíveis na produção.

Apesar de as falhas apresentadas por Prasad (1996) serem observadas na indústria de produtos seriados, nota-se grande semelhança com os problemas enfrentados na Construção Civil. Assim, para solucionar esses problemas, profissionais do setor industrial introduziram novos métodos de trabalho e estruturas organizacionais para permitir a integração entre o projeto, o seu desenvolvimento e a produção (GUNASEKARAN; LOVE, 1998). De acordo com Tookey *et al.* (2005) estes métodos resultaram em uma infinidade de ferramentas, sendo que a mais notável de todas é a Engenharia Simultânea (ES).

Fabício (2002) assegura que os primeiros estudos sobre ES e a sua utilização nas empresas remontam a década de oitenta, sendo que o termo de uso corrente é oriundo da expressão em língua inglesa *Concurrent Engineering* proposta originalmente pelo *Institute for Defense Analysis (IDA)* do governo norte-americano.

Segundo Koskela (1992), a ES se refere a uma estratégia essencialmente voltada para o projeto, sendo caracterizada por uma rigorosa análise dos requisitos iniciais que incorpora as restrições das fases subsequentes com controle sobre as possíveis mudanças que possam ocorrer. O autor mostra que os principais objetivos da ES sobre o processo de projeto é a redução do tempo de projeto, aumento de interações entre equipes e processos e redução das alterações no produto.

Parsaei e Sullivan (1993) consideram que o principal objetivo da ES é promover o desenvolvimento de produtos de alta qualidade trazendo-os ao competitivo mercado a preços baixos em um curto período de tempo (corroborando com a *Lean Construction*). Essa otimização entre qualidade, custo e tempo é proporcionada pela ES, basicamente, por meio da integração entre as atividades executadas durante o desenvolvimento das etapas do empreendimento.

Neste sentido, a ES pode ser entendida como sendo a integração dos processos de produção e projeto do produto, ou seja, atividades paralelas entre o produto e seu processo de fabricação, sendo que os principais objetivos desta integração é a redução do tempo de desenvolvimento do produto, redução de custos e melhor atendimento das expectativas dos

clientes finais (NOBLE, 1993). Cabe destacar que, no que tange tal integração, vários conceitos foram propostos por diversos autores. No entanto, há um consenso de que, efetivamente, a ES é a integração entre produtos e seus respectivos processos, não somente de produção, mas de todo o ciclo de vida do empreendimento.

Segundo Ranky (1994) a ES é uma estratégia baseada na interação paralela entre os vários fatores e interesses que constituem o empreendimento, de forma que o autor resume tal conceito afirmando que a ES constitui uma abordagem sistemática de integração entre o projeto do produto e seus processos relacionados como produção e manutenção. De acordo com Ranky (1994), os principais propósitos da ES são:

- a) Incrementar a produtividade;
- b) Criar produtos de alta qualidade, rentáveis e que sejam a concretização dos requisitos dos clientes;
- c) Funcionalidade;
- d) Rentabilidade;
- e) Redução do tempo de desenvolvimento do produto;
- f) Alcançar maior qualidade no produto final e valor agregado.

Assim como Ranky (1994), Fabrício e Melhado (2002) também apontam alguns objetivos que podem ser alcançados ao se utilizar a ES como estratégia de atuação no processo de projeto:

- a) Redução do tempo de projeto;
- b) Introdução de inovações;
- c) Ampliação da qualidade ao longo da vida útil de produtos e serviços;
- d) Ampliação da manufaturabilidade dos projetos;
- e) Aumento de eficiência dos processos produtivos de bens e serviços.

É importante destacar nos objetivos propostos por Fabrício e Melhado (2002), que a ES pode potencializar a manufaturabilidade dos projetos. Isso é possível através da utilização de certos tipos de projetos que contemplam tal manufaturabilidade (na construção civil, este termo passa a ser denominado de construtibilidade) através de seu método de execução nas condições de trabalho proporcionadas pela ES, como será mostrado posteriormente.

Para Gunasekaran e Love (1998), a ES é um procedimento de projeto que delineia uma série de etapas em que as atividades características são conduzidas paralelamente ao

invés de sequencialmente e, assim, o tempo de desenvolvimento da obra pode ser reduzido levando o processo a ter uma significativa vantagem sobre os métodos tradicionais.

Visando especificamente a aplicação da ES no projeto, Hoffman (1998) analisa tal conceito sob três aspectos principais:

- a) O processo de integração de desenvolvimento do produto deve ser compreendido e moldado para que possa ser repetitivo, assegurando o sucesso do empreendimento;
- b) Todos os aspectos relevantes ao desenvolvimento do produto, das necessidades dos clientes até restrições internas ao processo, devem ser considerados nas definições e projeto do produto;
- c) Todos os aspectos devem ser integrados para se alcançar uma otimização global, melhor custo-benefício e projetos a prova de variações de compreensão.

Os três aspectos ressaltados por Hoffman (1998) mostram que a ES pode ser intimamente relacionada a processos repetitivos, o que resulta na padronização de certas etapas e componentes. Para isso, muito contribui, como afirma o próprio autor, que o desenvolvimento do produto preze desde os requisitos dos usuários até as restrições de projeto e, principalmente, da produção evitando assim que profissionais de cada etapa se esquivem da responsabilidade, no sentido de se evitar erros de interpretação de projetos, o surgimento de imprevistos e a tomada de decisões durante a produção.

Abdalla (1999) considera que a ES é a consideração de uma série de fatores associados ao ciclo de vida do produto durante a fase de projeto, visto que tais fatores incluem a construtibilidade, manutenção, montagem, custos e qualidade. A ES tem como essência não somente a simultaneidade entre atividades, mas também esforços cooperativos entre todas as equipes envolvidas, o que resulta em maior rentabilidade e competitividade (ABDALLA, 1999). Visando os princípios da *Lean Construction*, Koskela e Huovila (1999), de maneira muito simplificada, afirmam que a ES é baseada na visão de que os processos são fundamentados em um fluxo de operações e informações.

No sentido da necessidade de integração de atividades ressaltada por Parsaei e Sullivan (1993) e Hoffman (1998), Oliveto (2000 p.?) conceitua a ES como sendo "... *uma abordagem sistemática da equipe para compartilhar da concepção e desenvolvimento de produtos e seus relativos processos simultaneamente para obter objetivos comuns*". Demonstrando a grande abrangência da ES no empreendimento, Oliveto (2000) expõe que a equipe pode ser composta por diversas disciplinas técnicas da engenharia, assim como programas de gestão, marketing, vendas e finanças ou qualquer outra atividade que possa ser uma influência positiva no desenvolvimento e comercialização do produto.

Pode-se dizer que vários estudos, na atualidade, investigam a aplicação da ES nos processos envolvidos no ciclo de vida de um empreendimento, sendo que nestes estudos notam-se certas diferenças que privilegiam algumas características conceituais da ES (FABRÍCIO, 2002). Isto é explicado pelo fato da ES ser uma ferramenta a ser utilizada em praticamente todas as etapas de um empreendimento. Porém, neste estudo, o raciocínio ficará restrito as contribuições que tal ferramenta proporciona na integração entre projeto e produção.

Tookey *et al.* (2005) avaliam a ES sob um ponto de vista econômico, afirmando que a filosofia por trás da ES em projetos e fabricação, essencialmente, tentou adaptar a flexibilidade dos métodos artesanais a um nível macro (produção em larga escala), ao mesmo tempo em que mantém a economia de escala necessária para uma produção rentável. Os autores complementam o raciocínio afirmando que a ES é baseada na utilização de equipes multidisciplinares para que soluções de projeto e produção sejam encontradas o mais rápido possível, permitindo que o produto seja comercializado em prazos relativamente curtos incrementando o lucro da empresa.

Corrêa (2006) afirma que a ES surge para as indústrias como um referencial teórico fundamentado em diretrizes e ferramentas que, em termos de conceito e prática, rompem com a situação em que se encontra a Construção Civil, especificamente, pois se destaca por promover a integração entre o produto e seus processos relacionados. Assim, é coerente afirmar que uma das principais características da ES é a sinergia necessária entre os processos (projeto e produção) e, conseqüentemente, entre as equipes responsáveis por cada tarefa. Corrêa (2006) ainda afirma que a introdução dos conceitos da ES possibilita a detecção prévia de erros e falhas durante o processo de projeto e, mais do que isso, permite que haja um fluxo retroativo de informações, possibilitando a melhoria contínua do produto e dos processos até sua versão final que será utilizada e comercializada.

Para Giudice, Ballisteri e Risitano (2009) a ES possibilita que o processo de desenvolvimento seja estruturado e administrado com base nas atividades de integração do processo de projeto, de forma que esta integração inclui, de maneira geral, a implementação de novos métodos e técnicas e a reorganização das atividades de desenvolvimento do produto, com a participação de uma equipe multidisciplinar de projeto que atua em uma ampla gama de competências, visando produtos funcionais de alta qualidade a custos baixos em um curto período de tempo.

No entendimento de Antaki, Schiffauerova e Thomson (2010), a ES é uma estratégia onde um determinado número de tarefas é desenvolvido em paralelo, ou seja, de forma não linear, por membros de equipes e líderes de diferentes departamentos e locais, de forma que todos estes profissionais necessitam ter acesso às informações simultaneamente das mesmas fontes. Segundo os autores, a consideração do fluxo de informações proporcionada

pela ES assegura maior e melhor nível de comunicação entre departamentos e, conseqüentemente, entre processos, o que reduz os custos e mudanças no projeto durante a produção.

Com o intuito de ilustrar os conceitos e ideias expostos, destaca-se a Figura 56, que elucida as vantagens do uso da ES no processo de projeto, comparando-a com processos executados a partir de atividades sequenciais, como é o caso da Construção Civil.

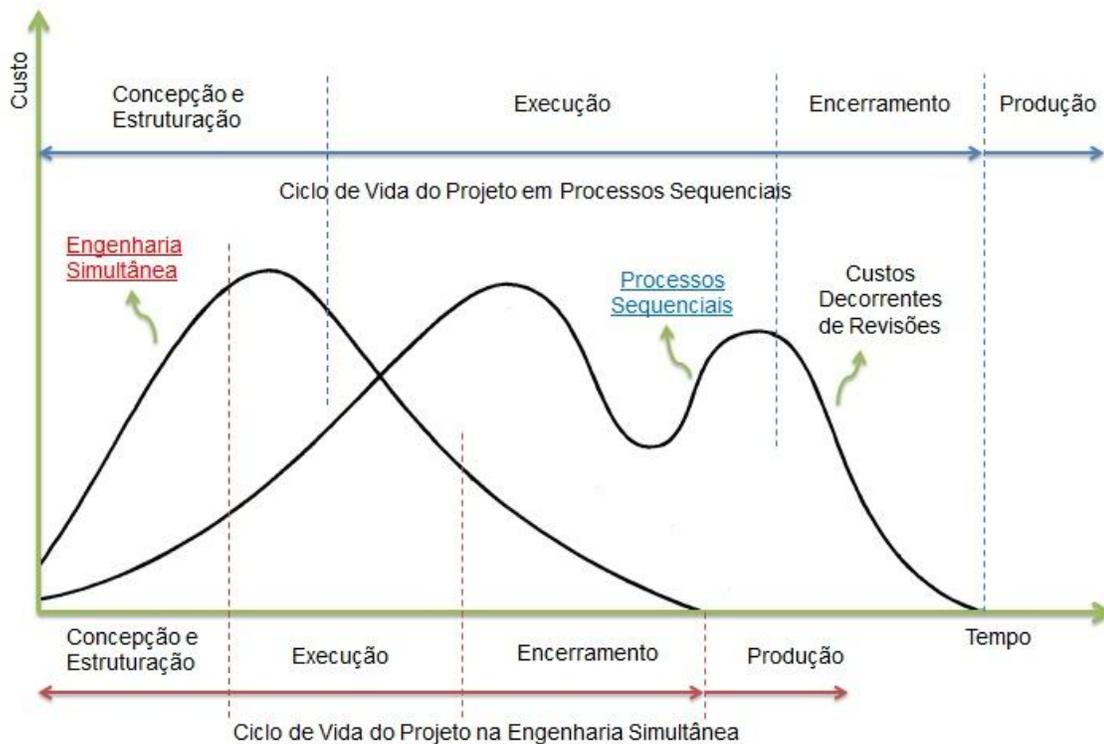


Figura 56: Processo de projeto em processo sequencial comparado com processo simultâneo (Adaptado de KRUGLIANSKAS, 1993)

Diante do exposto, percebe-se que as principais vantagens de se utilizar a ES como estratégia frente ao processo de projeto são: a integração entre equipes e processos (principalmente entre projeto e produção), diminuição do custo de produção e, conseqüentemente, de comercialização e a redução do tempo de desenvolvimento do produto. Assim, é possível assegurar que a ES é uma estratégia de trabalho que pode ser utilizada em vários processos do empreendimento, mas que possui um foco principal no processo de projeto. Fundamentada em uma visão de fluxo de informações, a ES corrobora com a *Lean Construction* e, de certa forma, proporciona as condições necessárias para que tal filosofia de gestão possa ser aplicada ao projeto por meio do conceito do *Lean Design*.

4.2 A ENGENHARIA SIMULTÂNEA E O *LEAN DESIGN*

Baseando-se no aspecto da necessidade de gerenciamento da troca de informações entre as disciplinas de projeto e entre o processo de produção e projeto, foi sugerido anteriormente que a maneira mais sensata para tanto é o conceito por trás do *Lean Design*.

Especificamente, para a integração do projeto com a produção, é necessária a troca de informações entre tais processos, de maneira que as transformações subseqüentes possam originar valores associados aos produtos gerados, ou seja, é necessário um ambiente propício para que esta troca de informações flua com eficácia. Em outras palavras, para que os conceitos do *Lean Design* tenham um bom desempenho, é imprescindível que o empreendimento esteja sendo desenvolvido e produzido por equipes de profissionais que atuam sob a luz dos conceitos da ES.

Como foi demonstrado, o conceito principal do *Lean Design* é abordar o processo de projeto por três aspectos: conversão, fluxo e valor, sendo que estas três abordagens são diretamente voltadas para as informações que irão compor os projetos. No entanto, como afirmam Freire e Alarcón (2002), somente o aspecto da conversão das informações é modelada, gerida e controlada pelos profissionais da Construção Civil, sendo que o fluxo de informações e valor, inerente das mesmas são, habitualmente, ignorados. Neste sentido, os autores afirmam que a ES muito contribui, no processo de projeto, com estes dois aspectos (fluxo e valor), pois propicia um gerenciamento sistemático dos mesmos.

Koskela, Huovila e Leinonen (2002) afirmam que os três aspectos do *Lean Design*, são baseados tanto na visão tradicional de projeto (conversão) quanto na visão da ES (fluxo e valor). Por exemplo, Ballard e Koskela (1998) mostram que no gerenciamento de projetos, a visão do fluxo de informações tem como principal objetivo a eliminação de desperdícios por meio da redução de retrabalhos, formação de equipes multidisciplinares e liberação de informações em menor quantidade para as tarefas seguintes. Os autores mostram que para isso é necessária a redução das incertezas, integração entre ferramentas de projeto e equipes multidisciplinares e parcerias entre profissionais (principalmente entre clientes internos e fornecedores), ou seja, para que haja a consideração e o gerenciamento do projeto como fluxo de informações é necessário que as equipes que desenvolvem tal projeto estejam inseridas nos conceitos da ES, no sentido da forma como as atividades são desenvolvidas por estas equipes, conforme os conceitos apresentados anteriormente.

Em pesquisa realizada na Suécia a respeito da construção de residências unifamiliares com sistemas construtivos pré-fabricados, Stehn e Bergström (2002) demonstram que a estratégia de projeto adotada com relação a estas obras levava em conta a troca de informações entre o processo de projeto, os clientes (com suas necessidades e

requisitos) e o processo de produção destas casas, ou seja, gerenciamento do fluxo de informações visando eficiência da construção e a satisfação do cliente (*Lean Design*). O gerenciamento do fluxo de decisões só foi possível porque o processo de projeto estava inserido no contexto de atuação da ES, de maneira que esta possibilitou a integração e a troca de informações entre projetos e a produção (STEHN; BERGSTRÖM, 2002).

Para Antaki, Schiffauerova e Thomson (2010), fica claro que estratégias ou conceitos de fluxo de informações utilizados no processo de projeto (como o *Lean Design*) são muito bem acolhidos pelos conceitos da ES. Assim, pode-se dizer que, se a ES está sendo aplicada nas atividades de projeto, então o conceito do *Lean Design* pode resultar em bom desempenho. No entanto, não é possível aplicá-lo sem a ES, como por exemplo, com práticas tradicionais de projeto, visto que as atividades habituais na Construção Civil são incompatíveis com a proposta do *Lean Design*. A Figura 57 ilustra esta afirmação, demonstrando que a eficácia dos processos pode ser alcançada com a ES.

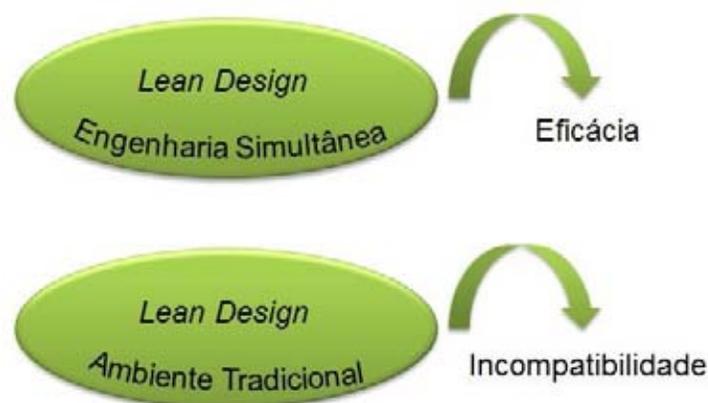


Figura 57: Ilustração da ideia de que o *Lean Design* pode ter um melhor desempenho quando desenvolvido sob a luz dos conceitos da ES.

A ES, quando associada ao *Lean Design* pode cobrir uma ampla gama de etapas do empreendimento que necessitam e geram projetos. No entanto, algumas questões específicas são salientadas quando se trata da relação entre o projeto e a produção. Nesta relação em particular, o gerenciamento do fluxo de informações visa, principalmente, a redução ou a eliminação das atividades desnecessárias, o que reduziria custos e tempo de trabalho. Assim, o foco principal do conjunto (ES e *Lean Design*) estaria voltado para o projeto das atividades estritamente necessárias na construção.

Considerando o sistema *LSF*, o uso da ES durante o processo de projeto, configura-se como ferramenta de aplicação da *Lean Construction* (concebida neste caso pelo *Lean Design*) e consente que as atividades de montagem inerentes ao sistema construtivo sejam devidamente detalhadas, revelando ao operário o modo correto de execução, as sequências

de montagem, bem como as interferências entre subsistemas, além da eliminação de imprevistos (VIVAN; PALIARI; NOVAES, 2010).

Neste caso, surgem alguns tipos específicos de projeto que, dentro da filosofia do *Lean Design* e da ES, poderiam ser classificados como sendo os meios pelos quais estes dois conceitos podem ser aplicados na integração entre o processo de projeto e produção. Essencialmente, estes tipos de projeto contemplam a construtibilidade do produto, ou seja, as informações originadas visam a delimitação das atividades essencialmente indispensáveis à construção buscando a otimização entre as técnicas necessárias do sistema construtivo adotado com as condições do canteiro de obras e da mão-de-obra utilizada.

Assim, visando uma maior eficácia na adoção da ES como estratégia de projeto e focando o *Lean Design*, especificamente, para a integração entre projeto e produção, se torna conveniente abordar um conceito que engloba as ideias expostas e forma o embasamento teórico de projetos voltados especificamente para a produção: o Projeto Simultâneo.

4.3 PROJETO SIMULTÂNEO

É possível afirmar que quando o interesse principal é a integração entre o processo de projeto e o processo de produção, o *Lean Design* passa a ser modelado sob condições de trabalho proporcionadas pelo conceito de Projeto Simultâneo (PS).

O conceito do PS, como será demonstrado posteriormente, é bastante parecido com o da ES, porém o PS aborda algumas especificidades do processo de projeto que aparecem de maneira mais generalizada na conceituação da ES. Por exemplo, quando as etapas do processo de projeto de um empreendimento são geridas de acordo com as predições do *Lean Design*, inevitavelmente, como foi demonstrado, a ES estará sendo praticada. No entanto, quando é específico para as atividades de produção, a ES é particularizada pelo PS. Assim, faz-se necessária a discussão de alguns conceitos relacionados ao PS, tendo em vista o fluxo de informações específicas que irão guiar as atividades do canteiro de obras.

Para Fabrício e Melhado (1998), este conceito, tanto na Construção Civil quanto em outros setores industriais, deve ter como ponto de partida a identificação dos desejos e necessidades dos clientes, tanto os internos ao empreendimento quanto como os finais, e atendê-los de maneira rápida e eficiente por meio de um processo de projeto que garanta a agilidade na produção.

Quando se trata da integração entre o projeto e as atividades de construção, o PS passa a ter como foco principal os clientes internos ao empreendimento. De certa forma, os benefícios proporcionados por esta integração irão se refletir na satisfação do usuário, pois o produto final terá ganho de qualidade em menor tempo. No caso das construções em *LSF*, o PS contribui consideravelmente para o sucesso do empreendimento. Sendo um sistema industrializado baseado na montagem das peças pré-fabricadas, nota-se a necessidade das atividades do canteiro de obras serem previstas no projeto, bem como a especificação das peças e materiais que serão empregados.

No mesmo estudo, Fabrício e Melhado (1998) propõem uma conceituação a respeito do PS, afirmando que tal estratégia consiste na:

realização em paralelo de várias “etapas” do processo de desenvolvimento de produto, de forma a reduzir o tempo de projeto e ampliar a integração entre as interfaces de projetos. Nesta linha, uma atenção especial é dada para o desenvolvimento do processo de produção (englobando atividade de seleção da tecnologia, realização de projetos para produção e o planejamento da produção) simultaneamente à concepção e projeto do produto objetivando integrar, de maneira mais efetiva, as características e especificações do produto com o desenvolvimento de sua produção e o sistema de produção da empresa.

A abordagem a respeito do paralelismo das atividades projetuais mostra que o PS é um esforço coordenado para a reunião de uma equipe multidisciplinar que começa a atuar no início da fase de projeto com o intuito de se alcançar um objetivo comum na produção que se resume na confiabilidade do produto, custo competitivo e sucesso comercial (OLIVETO, 2000). Dessa forma, as premissas da ES podem ser adaptadas, de acordo com o contexto e necessidades do setor da Construção Civil, de forma a garantir a conexão entre os profissionais e as interfaces de projeto (FABRÍCIO; MELHADO, 2002). Assim, Fabrício (2002, p. 204) transpõe os conceitos da ES para a Construção Civil e define o PS como sendo:

O desenvolvimento integrado das diferentes dimensões do empreendimento, envolvendo a formulação conjunta da operação imobiliária, do programa de necessidades, da concepção arquitetônica e tecnológica do edifício e do projeto para produção, realizado por meio da colaboração entre o agente promotor, a construtora e os projetistas, considerando as funções subempreiteiros e fornecedores de materiais, de forma a orientar o projeto à qualidade ao longo do ciclo de produção e uso do empreendimento.

Nota-se na definição do autor que assim como a ES, o PS promove a colaboração entre equipes de trabalho por meio da constante troca de informações, o que permite e viabiliza a aplicação do *Lean Design* (neste caso, focado nas informações necessárias para

a produção). A partir desta definição, Fabrício (2002, p.204) lista os principais objetivos para a aplicação do PS na criação e desenvolvimento de novas edificações e que são descritos a seguir:

- a) Ampliar a qualidade do projeto e, por conseguinte, do produto;
- b) Aumentar a construtibilidade do projeto;
- c) Subsidiar, de forma mais robusta, a introdução de novas tecnologias e métodos no processo de produção de edifícios;
- d) Eventualmente, reduzir os prazos globais de execução por meio de projetos de execução mais rápida.

Com estes objetivos, o autor destaca que o aumento da qualidade do produto (edificação) é obtida por intermédio de projetos com alto desempenho que contemplem a construtibilidade do processo de construção e auxiliem o ingresso de inovações tecnológicas no setor que contribuam para tanto, resultando na diminuição dos prazos de execução e também dos custos de produção, aumentando a competitividade do produto gerado nestes moldes. No entanto, para o alcance destes objetivos a partir do PS, Fabrício (2002), Slack, Chambers e Johnston (2002), Austin *et al.* (2007) entre outros autores, afirmam que tal prática demanda pela fluência de informações entre todos os participantes, ou seja, é interessante que o PS esteja sendo empregado em um conceito de gestão de projetos que preze pelo fluxo de informações, como o *Lean Design*.

Assim, da mesma maneira como ocorre na ES, Fabrício (2002) considera que o PS demanda pela interação entre as decisões e as criações na fase de projeto, assim, “...os agentes do empreendimento devem ser mobilizados precocemente no projeto e orientar a atuação individual por objetivos coletivos comuns” (FABRÍCIO, 2002, p.213).

Neste sentido Giudice; Ballisteri e Risitano (2009) afirmam que o PS representa uma nova abordagem para o desenvolvimento do produto e prefiguram a evolução dos processos sequenciais (projeto em Construção Civil) tanto em questões técnicas quanto humanas, transformando tais práticas tradicionais a partir de intervenções simultâneas e integradas. Conforme já mencionado por Fabrício (2002), a prática de um processo de projeto simultâneo contribui ainda para a demonstração e adequação deste recurso estratégico a novos métodos e ferramentas que podem auxiliar o projetista no desenvolvimento de soluções técnicas e na tentativa de prevenção das consequências de tais inovações no ciclo de vida do empreendimento (GIUDICE; BALLISTERI; RISITANO, 2009).

Como afirmam Vivan, Paliari e Novaes (2010), o uso do PS potencializa a produtividade e a qualidade de habitações industrializadas e, dessa maneira, reavendo os conceitos e definições por trás do sistema *LSF* e associando-os com as apreciações acerca

do PS, pode-se dizer que a adoção de tal estratégia projetual voltada para o *LSF* representa uma tática que muito contribui para a produção de residências unifamiliares e outros tipos de edificações em *LSF*, visto que este tipo de obra representa uma inovação tecnológica (no caso do Brasil) e exige a prevenção das ações de construção em projeto (interação entre processos), pois do contrário, os custos de produção por conta de imprevistos e imprevistos resultariam na inadequação do sistema.

Obviamente estratégias como a ES e o PS, na Construção Civil, também podem e devem ser aplicadas em obras que utilizam sistemas construtivos mais tradicionais e mão de obra menos especializada. Porém ao se utilizar o *LSF*, os resultados esperados por se utilizar tais estratégias podem ser potencializados já que estão sendo aplicados em um sistema construtivo industrializado e que exige esforços coordenados entre equipes. Assim, considerando essencialmente a engenharia de um empreendimento em *LSF*, torna-se necessário que haja uma dedicação especial entre dois dos mais importantes processos que compõem a edificação: o projeto e a produção. Dessa maneira, o PS passa a ser o elo, especificamente, entre o processo de projeto e o processo de produção por meio dos chamados Projetos para Produção.

4.4 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

Em um ambiente competitivo, como é caracterizado o subsetor de edificações na Construção Civil, torna-se necessário que as empresas adotem medidas que contribuam para que os seus produtos sejam diferenciais no mercado, mantendo a qualidade dos mesmos. A partir da modernização do setor, algumas empresas vêm enfatizando a importância do projeto como meio para a garantia da qualidade e diferenciação de seus produtos.

Em setores industriais modernos, o projeto é abordado como sendo uma etapa do empreendimento indispensável à produção e, neste sentido, as empresas que compõem estes setores industriais adotam estratégias baseadas em conceitos de integração entre processos, como a ES. Assim, todo o processo de projeto pode ser desenvolvido em um ambiente dinâmico, onde a informação está constantemente sendo processada, avaliada e utilizada não só por uma disciplina de projeto, mas por várias ao mesmo tempo. Basicamente, isto significa que antes do projeto estar concluído e ser liberado para a produção, todas as informações foram coordenadas, visando à diminuição ou a eliminação das interferências entre sistemas e subsistemas que formarão o produto.

Com o ideal de modernização da Construção Civil, algumas empresas e profissionais discerniram na ES um meio, com embasamento científico sólido e sucesso comprovado,

pelo qual os processos inerentes ao empreendimento podem ser integrados, tendendo à diminuição do tempo de ciclo de desenvolvimento do produto e aumento da qualidade do mesmo com baixos custos.

Sob a ótica da *Lean Construction*, a ES muito contribui com o processo de projeto, pois o *Lean Design* instrui que há a necessidade do gerenciamento do fluxo de informações e, assim, quando equipes multidisciplinares atuam sob os conceitos da ES, os princípios do *Lean Design* podem ter maior eficácia, já que a ES promove a dinâmica das informações entre equipes multidisciplinares no ambiente de desenvolvimento do produto. No entanto, a ES, dado o atual estágio de desenvolvimento do subsetor de edificações na Construção Civil, revela várias dificuldades com relação à sua efetiva implantação para o desenvolvimento das etapas que formam o empreendimento.

O conceito geral da ES mostra que ela é uma estratégia de atuação que pode ser aplicada em várias etapas do empreendimento, além de ser utilizada somente entre as disciplinas de projeto, ou seja, a ES pode ser utilizada em praticamente todas as atividades que formam o ciclo de vida do empreendimento. Porém, quando o interesse principal é focar somente o projeto das atividades que serão desenvolvidas na obra, a ES passa a ser particularizada por um conceito muito semelhante, mas que propõem especificamente a integração entre o processo de projeto e o processo de produção, de maneira que este conceito é denominado PS.

O PS representaria a estratégia específica, e não geral (como a ES), para a coordenação integrada entre o processo de projeto e produção, o que já conceberia um grande ganho para a Construção Civil, dado seu atraso relativo ao gerenciamento de processos, quando comparada a outras indústrias mais avançadas.

No que diz respeito ao processo de projeto de sistemas pré-fabricados, como o *LSF*, a utilização conjunta do *Lean Design* com a ES e, conseqüentemente do PS, torna-se especialmente importante, visto que todas as atividades necessárias para a construção da edificação devem ser estudadas, projetadas e coordenadas durante o processo de projeto, visto que tais sistemas construtivos são incompatíveis com imprevistos no canteiro de obra. No caso do sistema *LSF*, as atividades desenvolvidas no canteiro de obras são essencialmente de montagem, o que justifica ainda mais o uso da ES no processo de projeto.

Assim, no sentido exclusivo de integração entre as atividades de construção e projeto, o PS engloba o conceito formal dos Projetos para Produção, de maneira que estes projetos representam as ferramentas para a aplicação dos conceitos da ES. Como será discutido no próximo capítulo, estes tipos de projeto mostram como as atividades devem ser desenvolvidas no canteiro de obras (aumento da construtibilidade) e, também podem ser particularizados para os chamados Projetos para Montagem, visando exclusivamente

atividades de montagem na obra, o que corrobora com os princípios por trás do sistema *LSF*.

5 PROJETOS PARA PRODUÇÃO

Como foi exposto, o *Lean Design* e a ES fazem com que o processo de projeto seja modelado para fins de facilitação da gestão do fluxo de informações inerentes entre as equipes multidisciplinares que atuam nas diversas etapas do empreendimento. Quando estas informações são específicas entre o processo de projeto e o processo de produção, entra em cena um tipo peculiar de projeto que, dada a sua conceituação, contempla as atividades que são necessárias para a construção da edificação e, dessa forma, algumas vantagens são notadas tanto na produção quanto na qualidade do produto final. Com origem na Indústria Automobilística, os Projetos para Produção passam a ganhar maior atenção por parte dos profissionais da Construção Civil e faz-se especialmente importante quando se trata de obras que utilizam sistemas construtivos pré-fabricados, como o *LSF*.

5.1 CONCEITOS GERAIS ACERCA DOS PROJETOS PARA PRODUÇÃO

Melhado e Fabrício (1998) destacam que os projetos na Construção Civil são pouco dirigidos para a construtibilidade do processo de construção das edificações, episódio que se agrava, e muito, quando se trata da produção de residências unifamiliares. Com isto, é fato que a adoção do conceito de construtibilidade na fase de projeto implica na necessidade por parte dos projetistas de considerarem as alusões construtivas neste processo, o que teoricamente resultaria em soluções projetuais que simplificariam o processo de construção (MELHADO; FABRÍCIO, 1998).

Assim, os mesmos autores notam a necessidade de se projetar a edificação juntamente com o seu processo de produção. A construtibilidade do projeto elaborado está intimamente ligada ao conceito de Projeto para Produção e, desta forma, antes de serem expostas as principais considerações por trás desta tipologia de projeto, faz-se necessária a explanação do que vem a ser o conceito de construtibilidade.

O termo construtibilidade origina-se na língua inglesa através das expressões “*buildability*” e “*constructability*”, sendo estas, expressões utilizadas por pesquisadores na Europa e América do Norte (NOVAES, 1996). Para melhor entendimento do conceito, Rodrigues (2005) define os termos de origem inglesa citados por Novaes (1996) da seguinte forma:

- a) **Buildability**: restringe o esforço pela melhoria da construtibilidade apenas ao projeto do produto. Apesar deste conceito estar voltado para o projeto, a produção também acaba se beneficiando, visto que os projetos tornam-se mais detalhados;
- b) **Constructability**: termo de maior magnitude conceitual que amplia o intento de utilização do esforço por melhorias da construtibilidade abrangendo mais áreas do ciclo de vida do empreendimento como produção, contratos e planejamento.

A palavra *buildability*, traduzida para o português como sendo edificabilidade, transmite o sentido de o projeto estar orientado para a concepção e desenvolvimento do produto, voltado para a simplificação das etapas construtivas, facilitando a coordenação das interfaces entre subsistemas (CAMPOS, 2002).

Rodrigues (2005) afirma que as ações voltadas para a construtibilidade, e que se tornam importantes neste estudo, associam-se ao termo *constructability*, pois segundo a autora, tais ações não estão restringidas apenas às informações contidas no projeto do produto, mas contemplam também o projeto dos processos de construção da edificação.

De acordo com o *The Construction Industry Institute* (CII, 1986), a construtibilidade é baseada em princípios que envolvem a integração entre as atividades desenvolvidas ao longo do empreendimento, principalmente entre projeto e operações executivas, de maneira que os máximos benefícios serão colhidos quando profissionais com larga experiência participarem das primeiras etapas do empreendimento.

Sabbatini (1989) destaca um importante aspecto da construtibilidade que contribui para a conceituação do termo. O autor expõe que o conceito preconiza pela total integração entre o projeto e a produção (formando um fluxo de informações entre tais etapas), priorizando as necessidades construtivas de maneira a racionalizar as decisões projetuais e, nas palavras do autor, “*obrigando a projetar a solução que considera realmente todos os parâmetros que importam*” (SABBATINI, 1989, p.88).

Sabbatini (1989, p. 133) admite a seguinte conotação para a construtibilidade: “*é a propriedade inerente ao projeto de um edifício, ou de uma sua parte, que exprime a aptidão que este edifício (ou sua parte) tem de ser construído*”. Em uma exemplificação bastante interessante desta contextualização, Sabbatini (1989, p.88) ilustra que:

Um edifício tem um grau superior de construtibilidade se, o seu projeto descer a um nível tal de detalhamento construtivo que, demonstre perfeitamente como ele deverá ser construído. Por outro lado, um edifício apresenta um grau inferior de construtibilidade quando, a simplicidade do seu projeto, traduzida pela precariedade de informações, obriga a que a quase totalidade das decisões sobre como construí-lo tenha de ser adotada pelos construtores, por aqueles que irão atuar diretamente na execução da obra.

Novaes (1996, p. 168), após análise das definições de vários autores e instituições, sugere que o conceito de construtibilidade “*está direcionado para questões como exeqüibilidade da construção, melhoria da produtividade, adequação das características e estrutura de projeto as condições e restrições da produção e do local da construção*”.

Griffith e Sidwell (1997) afirmam que o conceito de construtibilidade depende de uma série de fatores que englobam todo o ciclo de vida do empreendimento (das necessidades do cliente até o uso da edificação). Além disso, os conceitos e princípios da construtibilidade quando aplicados durante a fase de concepção, projeto, produção e uso podem tornar o processo de construção mais fácil de administrar, mais rápido e mais rentável (GRIFFITH; SIDWELL, 1997).

Peixoto (2000, p.21), de maneira bastante simplificada, entende que a construtibilidade pode ser entendida como sendo “... *o grau de facilidade com que algo pode ser construído*”. O autor também considera que a aplicação da construtibilidade contribui para o melhoramento do projeto, onde deverão ser consideradas, além da maneira de se executar os serviços, as fases de uso e manutenção do produto, objetivando a diminuição dos custos e a melhoria da qualidade da edificação.

De acordo com Heineck e Rodríguez (2002) a construtibilidade é conceituada como sendo o “*emprego adequado do conhecimento e da experiência técnica em vários níveis para racionalizar a execução dos empreendimentos, enfatizando a inter-relação entre as etapas de projeto e execução*”.

Em definição própria, Rodrigues (2005) lista uma série de características em relação à construtibilidade, sendo as principais:

É uma propriedade inerente ao projeto do produto e ao projeto do processo; pode ser incrementada tanto através de melhorias nas atividades de conversão quanto nas atividades de fluxo; a consideração dos requisitos de construtibilidade visa a atender principalmente às necessidades dos clientes internos do processo (agentes de produção), agregando valor para os mesmos.

Percebe-se, diante dos conceitos apresentados, que a construtibilidade relaciona-se diretamente com o processo de projeto e com as atividades de construção no canteiro de obras e, neste sentido, Fabrício (2002, p.202) afirma que os Projetos para Produção “... *têm um importante papel na construtibilidade das obras à medida que por meio deles se desenvolve precocemente as soluções construtivas, contribuindo para integrar os projetos do produto com o sistema de produção da empresa*”.

Assim, tendo em mente os moldes propostos pelo *Lean Design* e a necessidade de utilização da ES no processo de projeto, no contexto da união das atividades de projeto e produção, emerge uma particularidade do processo de projeto denominada projeto dos

processos que Juran (1992, p. 224) conceitua como sendo “a atividade de definição dos meios específicos a serem usados pelas forças operacionais para atingir as metas de qualidade do produto”, ou seja, os projetos devem conter informações a respeito de como determinada atividade deve ser realizada, e, de certa forma, a ideia transmitida nesta citação, representa o que pode ser considerado o embrião do conceito de Projetos para Produção.

Desta maneira, complementando o conceito de projeto do processo, o termo derivado, denominado Projetos para Produção (PP) pode ser entendido como sendo a caracterização da execução simultaneamente com o desenvolvimento do produto, permitindo um melhor entendimento de suas características e das sequências de produção, minimizando os possíveis erros e imprevistos que possam ocorrer no canteiro de obras (MELHADO; FABRÍCIO, 1998). Essencialmente os PP têm a sua origem na indústria seriada, na qual a enorme e acirrada concorrência e competitividade entre as empresas, obrigou-as a investir em melhorias em seu processo de produção visando, principalmente, a redução dos prazos de desenvolvimento e aumento da qualidade dos produtos (PEÑAS, 2003).

A indústria seriada desenvolveu de maneira competente e integrada tanto a tecnologia empregada nos produtos quanto as estratégias de projeto relacionado aos mesmos. Hoje, nestas indústrias, o processo de projeto é totalmente integrado à produção e a outros aspectos do ciclo de vida do produto como *marketing*, manutenção, sustentabilidade, etc. Além dos projetos dos produtos, os demais que oferecem suporte ao processo de produção nestas indústrias, passaram a receber duas denominações: *DFM* (*Design for Manufacture*) e *DFA* (*Design for Assembly*), respectivamente, Projeto para Manufatura e Projeto para Montagem.

Um breve histórico desses conceitos reporta ao início dos anos 60, quando as grandes indústrias de produtos seriados pregavam a ideia de que os seus projetistas deveriam conhecer a fundo os processos de produção da empresa para que criassem projetos eficientes e efetivos no sentido de se respeitar os limites de fabricação da empresa, no entanto, tais projetos eram essencialmente voltados para a criação de partes individuais do produto, sendo que pouco esforço intelectual era destinado aos processos de fabricação das peças e montagem do produto final (KUO; HUANG; ZHANG, 2001).

Assim, a partir dos anos 70, alguns pesquisadores conduziram uma série de estudos para o desenvolvimento de projetos que atendessem tanto os objetivos das características do produto quanto às restrições técnicas de fabricação dos mesmos, o que passou a caracterizar a simultaneidade de decisões entre projetos e produção, resultando, posteriormente, no *DFM* e no *DFA* (KUO; HUANG; ZHANG, 2001). É importante ressaltar que estas duas estratégias de projeto são características da indústria de produtos seriados,

mas que muito se assemelham com o conceito de PP que vem sendo adotado na Construção Civil, visto que o conceito por trás do *DFM*, *DFA* e dos PP é essencialmente o mesmo, ou seja, é a ação de se projetar tendo em mente o modo de se produzir (O'DRISCOLL, 2002).

Uma análise mais detalhada mostra que o *DFM*, assim como os PP, é um conjunto de métodos e ferramentas que suportam a ES e que podem ser encarados como uma estrutura de processos da mesma, bem como a reunião de ferramentas analíticas que proporcionam às equipes multidisciplinares as condições ideais de se projetar um produto que seja fabricado adequadamente (facilidade de produção). Já o *DFA* é uma especialidade do *DFM*, sendo um método baseado em ações de melhoria dos componentes do produto e do seu processo de montagem (KRUMENAUER; BATALHA, 2007).

Assim, para Kuo; Huang e Zhang (2001) a implementação de processos de projeto colaborativos, como o *DFM*, o *DFA* e os PP na Construção Civil, trás à empresa enormes benefícios que incluem a simplificação dos produtos, redução dos custos de produção, melhoria na qualidade e redução do tempo de entrada do produto no mercado.

Como já comentado, o conceito do *DFM* é bastante parecido com as considerações que especialistas em projeto na Construção Civil associam aos PP. O termo PP tem sido usualmente empregado na Construção Civil para indicar um tipo de projeto que representa um determinado elemento do processo de produção como vedações, revestimentos, fôrmas para estruturas de concreto armado, etc. (AQUINO, 2004).

No caso do sistema *LSF*, a ideia dos PP mostrada por Aquino (2004) pode ser extrapolada para toda a edificação, já que as obras baseadas no sistema industrializado são produzidas essencialmente por peças pré-fabricadas e, assim, cabe destacar o conceito proposto por Melhado (1994, p.196) que atentando ao fato da simultaneidade entre o produto e o processo, mostra que os PP são um:

conjunto de elementos de projeto elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção em obra, contendo as definições de: disposição e sequência das atividades de obra e frentes de serviço; uso de equipamentos; arranjo e evolução do canteiro; dentre outros itens vinculados às características e recursos próprios da empresa construtora.

Novaes (1997) considera que os PP “...têm por princípios básicos a organização do trabalho, o aumento da produtividade e o controle da qualidade” e na apreciação de Aquino e Melhado (2001) os PP constituem-se em:

ferramenta de integração entre o produto especificado e o processo de produção, servindo também de base para um bom planejamento. Além disso, deve servir como subsídio para a tomada de decisões antes mesmo que o processo de produção ocorra, atuando como elemento estratégico para promoção da racionalização construtiva e até mesmo da introdução de novas tecnologias nas empresas construtoras.

Segundo Romano (2003, p.60) os PP “... não visam conter caracterizações de produto, mas sim informações vinculadas ao processo, definindo previamente e em detalhe algumas das atividades que contribuem para a materialização da edificação”. Complementando o estudo de Aquino e Melhado (2001), Aquino (2004, p.43) faz uma detalhada consideração a respeito dos PP, afirmando que os mesmos representam uma estratégia no processo de projeto que está:

vinculado à produção de um dado elemento do edifício e que define como executá-lo, estabelecendo todos os aspectos relacionados à produção desse elemento no canteiro de obras desde a seleção dos materiais necessários até a determinação das frentes de serviço utilizadas. Esse projeto está ligado intrinsecamente ao projeto do produto do subsistema devendo ser realizado simultaneamente com ele, com o objetivo de melhorar a qualidade do produto final e aumentar a produtividade no canteiro. As decisões referentes a esse projeto são tomadas no nível tático da organização; ele é caracterizado pelo envolvimento de projetistas de diversas especialidades e gerentes de produção na sua formulação, na tentativa de aproximação entre o projeto do produto (que define o que fazer) da produção (definindo como fazer).

Analisando a caracterização proposta por Aquino (2004), percebe-se que a autora limita o raio de atuação dos PP para alguns subsistemas da edificação. Isso é justificado, pois grande parte dos trabalhos acadêmicos nacionais voltados ao estudo dos PP são direcionados para edificações compostas por sistemas construtivos mais tradicionais, cujas características de construção envolvem diversas atividades de conversão no canteiro de obras, o que acaba dificultando o desenvolvimento de projetos desse tipo para cada uma destas atividades (grande número de projetos seriam necessários). Neste sentido, considerando o sistema *LSF*, por ser caracterizado como um sistema construtivo com atividades de montagem, os conceitos que envolvem os PP podem ser potencializados e, inclusive, associados aos preceitos do *DFA* (favorece a diminuição do número de projetos – simplificação dos processos).

A Figura 58 ilustra possíveis aplicações dos PP em uma estrutura qualquer de concreto armado comparando-se com uma estrutura qualquer de *LSF*.

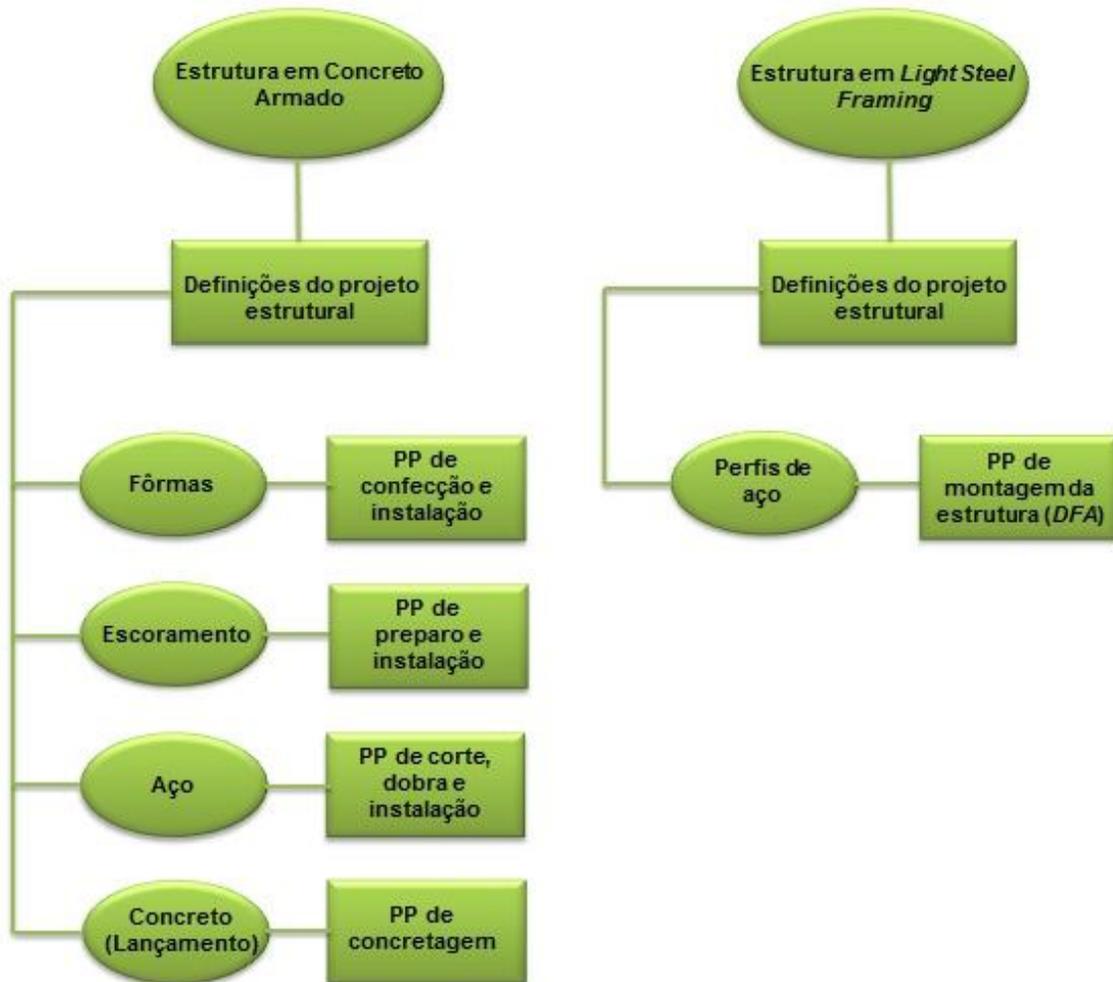


Figura 58: Comparação de possíveis aplicações dos PP entre uma estrutura qualquer de concreto armado e uma de LSF

Analisando a Figura 54, percebe-se que obras produzidas com sistemas construtivos e materiais mais tradicionais, como o concreto armado, demandam maior número de atividades e, conseqüentemente, maior número de projetos quando se compara, por exemplo, a um sistema industrializado como o LSF, sendo que isto gera maiores dificuldades dado que o tempo de desenvolvimento e produção se torna maior. Além de maior complexidade sob o ponto vista das atividades a serem executadas, os sistemas construtivos tradicionais exigem maior número de operários e, culturalmente, tal mão de obra não é especializada (a maior parte dela), o que contribui para o cerceamento da qualidade das obras na Construção Civil.

Pelo fato de haver reduzidas atividades de conversão de insumos em uma obra em LSF os PP podem facilmente incorporar o conceito do DFA e, dessa forma, aumentar a produtividade e a qualidade da obra, entre outras melhorias, visto que tais projetos passam

a determinar as atividades inerentes ao serviço em questão. Neste sentido, Fabrício (2008) sugere a elaboração de diretrizes que levem em consideração tanto as características do sistema de produção como a interface com os projetos do produto, para que os PP definam de maneira adequada a execução da obra.

No caso de habitações em *LSF*, a elaboração de diretrizes visando a execução da obra, proposta pelo autor, pode ser feita por meio do *DFA*, já que o sistema construtivo em questão é caracterizado por ser produzido por meio de atividades de montagem, o que justificaria o uso de tal projeto.

5.2 DESIGN FOR ASSEMBLY (PROJETO PARA MONTAGEM)

Os conceitos atuais de execução e gerenciamento de projetos na Construção Civil são totalmente incompatíveis com a utilização de sistemas construtivos pré-fabricados como o *LSF*. Como explanado no segundo capítulo deste trabalho, o sistema *LSF* promove no canteiro de obras o desenvolvimento de atividades de montagem, diferentemente de obras tradicionais, nas quais há a conversão do material, para que somente depois este material processado possa ser utilizado no produto. Assim, uma vez que a produção de habitações em *LSF* é caracterizada por montagens ao invés de conversões, convém afirmar que o processo de projeto destas habitações deve contemplar tais atividades.

Conforme demonstrado anteriormente, o *DFA* foi a maneira encontrada para que houvesse o projeto da montagem do produto, ou seja, que a produção fosse subsidiada com informações referentes as atividades desenvolvidas na linha de montagem. Obviamente, esta solução é amplamente conhecida e adotada na indústria de produtos seriados, como a Indústria Automobilística e, com o advento do *LSF* na Construção Civil, o *DFA* também passa a ter potencial de uso e desenvolvimento no âmbito das obras civis.

Scur (2009) demonstra que o *DFA* possui um desenvolvimento bastante recente, porém o autor garante que muitas empresas já utilizavam esta técnica de projeto desde os anos 60. No entanto, os primeiros trabalhos acadêmicos a abordarem o projeto como um processo capaz de interpretar as atividades específicas de montagem são de autoria de Boothroyd e Dewhurst durante o final dos anos 70 e início dos anos 80, com destaque para o trabalho intitulado *Design for Assembly*, destes autores (KUO; HUANG; ZHANG, 2001; SCUR, 2009; MOTTONEN *et al.*, 2009).

Segundo Tatikonda (1994) o *DFA* é um projeto sistemático que, a princípio, é utilizado para a produção de bens de consumo duráveis e promove a redução dos custos de produção, de maneira que isto é gerido por uma equipe de projeto e engenheiros que atuam na produção e, eventualmente, por outros profissionais que atuam em outros processos do

ciclo de vida do produto. O autor afirma ainda que em vários estudos realizados nas indústrias, o uso do DFA no processo de projeto aumentou consideravelmente a eficiência do processo de produção. Neste sentido, Tatikonda (1994) expõe que, durante a produção, alguns objetivos podem ser alcançados com o uso do *DFA*, como:

- a) Redução do custo de material;
- b) Redução das atividades de trabalho;
- c) Redução do tempo de ciclo de produção;
- d) Aumento da qualidade do produto.

De maneira semelhante a Tatikonda (1994), Kim (1997) avalia que o *DFA* é uma filosofia de projeto que é capaz de promover melhorias nas atividades de produção e aumento na qualidade do produto. Neste sentido, Stark (1998) afirma que as empresas que utilizam o *DFA* em seu processo de projeto garantem uma diminuição dos componentes, fornecedores, ferramentas, operações de montagem e o tempo associado a tais operações em até 85 %.

De acordo com Wu e O'Grady (1999), o *DFA* é uma abordagem eficaz, em relação ao processo de projeto, para o uso da ES, pois o principal objetivo deste tipo de projeto é envolver as operações de montagem e atividades de suporte relacionadas, sendo assim um importante aspecto da ES, pois para isso, o processo de projeto demanda pelo gerenciamento da troca de informações entre equipes e processos.

Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002) o *DFA* é uma ferramenta de projeto que visa a eficácia na análise da facilidade de montagem dos produtos por meio dos projetos, fornecendo resultados rápidos e simples. Os autores afirmam ainda que o *DFA* deve ser de fácil entendimento, assegurar a coerência e integralidade durante a montagem das peças, evitar e até mesmo eliminar avaliações subjetivas com relação às atividades de montagem, identificar áreas problemáticas durante a produção e sugerir soluções alternativas visando a simplificação do produto, reduzindo os custos de produção.

No entendimento de Salustri e Chan (2005) a principal consequência da aplicação do *DFA* é a simplificação das peças que compõem o produto, o que acaba reduzindo os custos de produção por meio da diminuição da quantidade de peças e equipamentos, porém, há um aumento da qualidade do produto. Os autores consideram também que devido a estas características, o *DFA* promove o aprimoramento das características físicas do produto.

De acordo com Amaral (2007), o uso do *DFA* durante o processo de projeto permite ao projetista o desenvolvimento de uma série de melhorias que podem interferir no projeto do produto, no sentido das suas características físicas, visando a facilitação do processo de montagem. O autor complementa este raciocínio, assegurando que o *DFA* é um método de

projeto voltado exclusivamente para a produção, que visa a redução do esforço de trabalho e o custo associado às atividades de montagem.

Para Lai e Gershenson (2008) a metodologia por trás do uso do *DFA* tem por finalidade a simplificação do processo de projeto por meio da redução do número de partes que compõem o produto, facilitando o seu manejo durante a produção. De acordo com os autores, a partir do momento em que há projetos voltados para as atividades de montagem, é possível, portanto, que o desenvolvimento destes projetos resultem na simplificação da produção por meio da otimização de peças, componentes e, por consequência, das atividades de montagem. Neste sentido, Khan (2008) afirma que o *DFA* proporciona o encurtamento do ciclo de produção, minimiza custos de desenvolvimento e garante uma transição segura, sem imprevistos, da fase de projeto para a fase de produção.

Analisando os conceitos apresentados, pode-se afirmar que o *DFA* é um método de projeto, que visa prever quais serão as atividades e ferramentas necessárias durante a produção de um objeto que utiliza peças pré-fabricadas, ou seja, utilizar o *DFA* durante o processo de projeto significa projetar a montagem do produto. Como consequência do seu uso, o processo de desenvolvimento do projeto cria possibilidades de evolução na forma do produto, visto que um dos objetivos do *DFA* é simplificar e reduzir as peças que serão utilizadas no produto.

Fundamentado nos preceitos da ES, o *DFA* é um tipo de Projeto para Produção e que, conceitualmente, é um desdobramento do *DFM*. Assim, para um efetivo sucesso no uso do *DFA*, é imprescindível que haja um fluxo de informações entre o processo de produção e o processo de projeto, pois além de possibilitar o uso dos PP, isto também permite a correção de falhas no produto que dificultam a produção, por meio do que a literatura convencionou denominar de “reprojeto”.

Conforme demonstrado, o uso do *DFA* restringe-se ao projeto de produtos pré-fabricados, ou seja, produtos que necessitam apenas de atividades de montagem para seu uso final. Obviamente, esses produtos são bastante comuns na indústria de produtos seriados e como um dos maiores exemplos de indústria que utiliza o *DFA*, pode-se citar a Indústria Automobilística.

No caso da Indústria da Construção Civil, o uso do *DFA* é bastante restrito, ou ainda, é praticamente inutilizado. Um dos grandes obstáculos para o uso deste método em construção relaciona-se com o baixo volume de produção de um determinado modelo de edificação. Sob o ponto de vista econômico, um maior investimento na fase de projeto (desenvolvimento do *DFA*) não seria justificado, pois não haveria garantia de retorno financeiro com a comercialização de apenas algumas poucas unidades.

Com o intuito de se buscar a excelência nos processos da Construção Civil, esta dissertação entende que o fato do baixo volume de produção de um tipo de edificação não

impede o desenvolvimento do processo de projeto, bem como a utilização de PP. Justificar a inutilização de PP para a construção de habitações unifamiliares devido ao baixo volume de produção significa impedir o avanço do conhecimento e da tecnologia, o que contribui para a obsolescência da Construção Civil.

Um segundo obstáculo ao uso do *DFA* na Construção Civil é o sistema construtivo utilizado. Conforme exposto, o *DFA* é voltado exclusivamente para a montagem de produtos, no entanto, na Construção Civil, os sistemas e subsistemas que formam as edificações nas obras tradicionais necessitam de materiais que usam processos de conversão para somente depois serem utilizados na composição da edificação. Assim, isso inviabilizaria o uso do *DFA*, pois outras atividades, que não são necessariamente de montagens, são necessárias para a produção do edifício.

No entanto, essa questão é solucionada quando a edificação é concebida com a utilização do *LSF*. Por meio da utilização de peças pré-fabricadas, a estrutura da edificação produzida em *LSF* não necessita de atividades de conversão no canteiro de obras, pois a única mão-de-obra necessária é a de montagem. Assim, o uso do *LSF* possibilita o emprego do *DFA* no processo de projeto.

Outra importante questão a ser ressaltada, trata-se do foco com que o *DFA* é utilizado na indústria. Por exemplo, na Indústria Automobilística, devido ao constante uso desta ferramenta e ao grande desenvolvimento do processo de projeto, os projetistas acabam utilizando o *DFA* para simplificar o produto que está sendo desenvolvido, com o objetivo de facilitar a produção reduzindo o custo e o tempo de montagem (operações de montagem são simplificadas). Isto se deve ao fato de que a Indústria Automobilística e as demais indústrias de produtos seriados já utilizam o *DFA* há tempo suficiente para que esta ferramenta se torne parte do processo de desenvolvimento durante a integração entre o projeto e as operações de montagem. As Figuras 59 e 60 ilustram tal raciocínio mostrando as mudanças que o uso contínuo do *DFA* pode promover.

Analisando as Figuras 59 e 60 sob a ótica da utilização do *DFA* pela indústria de produtos seriados, percebe-se que o projeto inicial da peça a ser utilizada definia o emprego de certo número de peças posicionadas de acordo com o projeto. No entanto, como exposto no parágrafo anterior, este tipo de indústria utiliza o conceito do *DFA* ao longo de todo o processo de projeto e, por consequência, o produto ou a peça que está sendo projetada passa por um constante procedimento de melhoramento, resultando na simplificação da peça, uma vez que os projetistas, que trabalham em conjunto com o processo de produção, visam a redução do número de peças que irão compor o produto, para que as operações de montagem sejam feitas no menor tempo e custo possíveis.

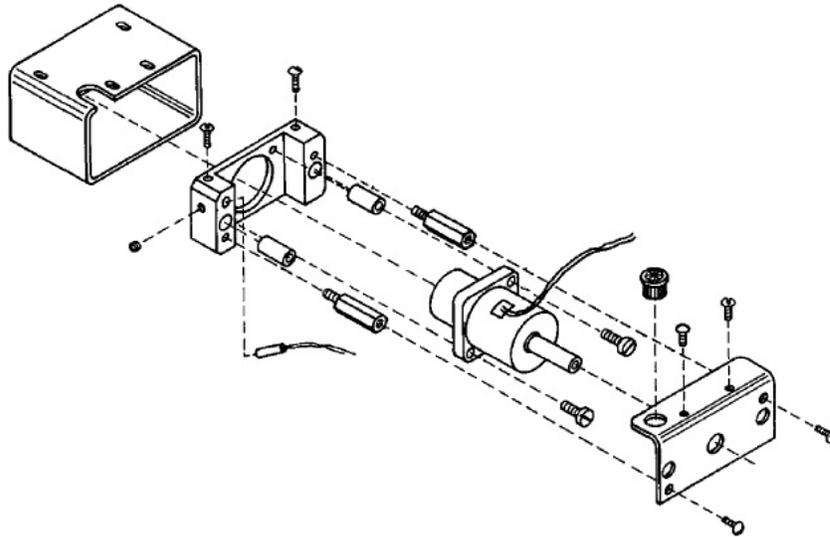


Figura 59: Projeto para a montagem de determinada peça, com todos os componentes necessários (Adaptado de BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 2002)

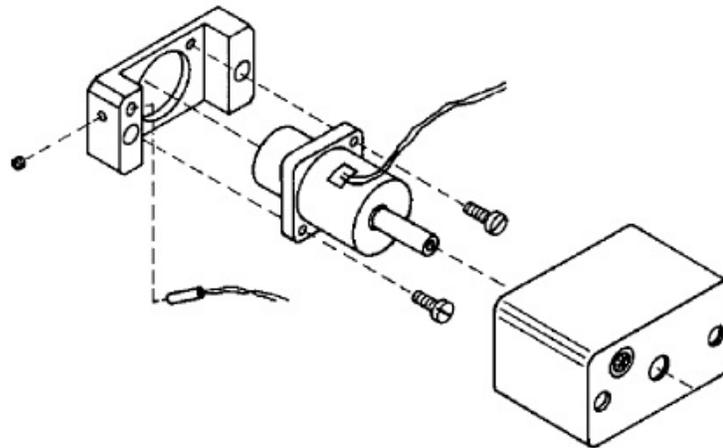


Figura 60: Mesma peça da figura anterior com as simplificações promovidas pelo uso do *DFA* ao longo do desenvolvimento do produto (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 2002)

A intenção principal deste trabalho é demonstrar que o *DFA* também pode ser utilizado na Construção Civil como um PP especializado nas operações de montagem necessárias à produção de edificações em *LSF*. No entanto, diferentemente do foco de utilização desta ferramenta na indústria de manufatura, o *DFA* na Construção Civil seria utilizado, inicialmente, apenas como um tipo específico de PP que contempla as atividades e ferramentas necessárias para a montagem da edificação em *LSF*.

Neste sentido, um projeto *DFA* para a Construção Civil deve contemplar um tipo específico de montagem que pode ser conceituada pelo termo “montagem manual”. De acordo com Salustri e Chan (2005) na montagem manual de produtos, as peças que os compõem são produzidas (montadas) manualmente e, geralmente, os operários responsáveis por tais atividades utilizam ferramentas manuais para auxílio. Dessa maneira, devido à falta de automação e robotização na Construção Civil, a montagem manual, no caso da utilização do sistema *LSF*, configura-se como o método de produção das edificações.

Assim, no que diz respeito à montagem manual, Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002) sugerem que algumas orientações devem ser seguidas para a elaboração do *DFA*. Os autores consideram que a montagem manual é composta de duas partes principais: manejo de peças e inserção e fixação das peças. Considerando o projeto para o manejo das peças, os autores consideram que certas diretrizes poderiam ser seguidas como:

- a) As peças projetadas devem possuir simetria em toda sua extensão, de maneira que se isto não for possível, o projetista deve projetá-las com o máximo de simetria possível;
- b) No caso da impossibilidade da simetria, as peças devem ser claramente assimétricas;
- c) Fornecer recursos para impedir a dificuldade de manuseio das peças no que diz respeito ao armazenamento das mesmas;
- d) Evitar o projeto de peças que se unam sem necessidade, que sejam escorregadias, muito flexíveis, muito grandes ou pequenas demais e que sejam perigosas para o operário.

Tais diretrizes sugeridas pelos autores podem ser mais bem aplicadas ao projeto da produção e do produto (neste caso da peça que irá compor o produto final) do que propriamente ao projeto das operações de montagem. Neste estudo, considera-se que as peças que compõem a edificação em *LSF* já foram projetadas e, portanto, o *DFA* deverá seguir as características da peça e do material em questão, com exceção de algumas peças específicas que podem sofrer alterações em sua forma visando à adequação para a arquitetura da edificação.

Finalmente, considerando a montagem manual sob o ponto de vista da inserção e fixação das peças, Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002) também sugerem algumas diretrizes para a elaboração do *DFA*, como:

- a) O projeto deve ser feito de modo que haja reduzida ou nenhuma resistência com relação à inserção das peças e, para isso, o projetista deve prever soluções técnicas para a

orientação do encaixe das peças, assim como a dimensão correta a fim de se evitar folgas e interferências;

- b) Padronização de peças, processos e métodos para a produção de qualquer modelo, resultando em menor custo final;
- c) Evitar orientações em projeto que determine que o operário segure as peças a fim de manter sua orientação durante a manipulação de um subconjunto ou durante a colocação de uma peça, de maneira que, se houver real necessidade de segurar a peça, então se deve projetar a fim de que a parte seja fixada o mais breve possível após sua inserção;
- d) Projetar de forma que a peça possa ser guiada para o seu posicionamento final, ou seja, para a fixação da peça, é recomendado que hajam gabaritos ou guias (furos, outras peças, etc.) que orientem o operário durante a montagem;
- e) O projetista deve escolher qual o melhor processo de fixação para a montagem com base em questões de ordem física e econômica, respeitando as limitações impostas pelo projeto. No caso da montagem manual, os métodos de fixação mais comuns são: por encaixe, por rebiteamento e por parafusos.

Diante destas diretrizes de projeto, Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002) afirmam que estas sugestões garantem que o projeto desenvolvido irá garantir que o produto seja montado de uma maneira mais fácil do que se o produto fosse desenvolvido com o processo de projeto tradicional.

Assim, considerando o sistema construtivo *LSF* como um promotor de operações de montagem no canteiro de obras e os conceitos relacionados ao *DFA* bem como os ideais de projeto apresentados ao longo da dissertação, esta trabalho considera que é possível elaborar projetos para a produção de residências em *LSF* visando a eficiência das atividades de montagem, focando em alguns padrões operacionais que são comuns para vários tipos de edificações, como será demonstrado no próximo capítulo.

5.3 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

Constantemente, nos canteiros de obras, há interrupções dos trabalhos devido à falta de informações nos projetos executivos. Normalmente, estes projetos são pouco dirigidos à construtibilidade das atividades que estão sendo executadas. Dessa forma, uma série de decisões, por conta desta falta de informação, são tomadas no momento da construção, o que gera desperdícios de tempo e material. Hoje há uma real necessidade de redução ou eliminação destes imprevistos que ocorrem no canteiro de obras por conta de falhas nos projetos, tendo em vista que o grande avanço tecnológico dos materiais, equipamentos e

ferramentas de desenvolvimento e projeto não combinam com práticas de produção “amadoras”.

Assim, no sentido do aumento do nível de construtibilidade nos projetos, a Construção Civil busca apoiar-se em práticas adotadas usualmente, por exemplo, na indústria de manufatura, associando os conceitos da ES ao processo de projeto e produção. Nesse sentido, o desenvolvimento dos PP promove melhorias em vários aspectos de um produto a partir de melhorias que ocorrem durante a produção deste objeto.

Conceitualmente, o desenvolvimento dos PP é contraditório com o que atualmente é praticado na Construção Civil em termos de processo de projeto. Esta ferramenta necessita que as diversas disciplinas de projeto e o processo de produção avancem de um modo paralelo à evolução de cada uma destas etapas, ou seja, práticas sequenciais são incompatíveis com deste tipo de projeto.

Apesar de não ser um tipo de projeto difundido entre os profissionais da Construção Civil, os PP representam um enorme potencial de aplicação dos conceitos do *Lean Design*, visto que necessita de intensa troca de informações entre processos e profissionais, ou seja, é uma premissa dos PP que o processo de desenvolvimento da edificação esteja inserido na esfera de conceitos da ES.

De certa forma, os PP podem ser desenvolvidos para aplicação em várias atividades de fabricação ou construção e, dessa forma, existem algumas particularidades desta ferramenta. Tais particularidades são especializações dos PP, que dependem do tipo de atividade que está sendo executada. Um tipo específico de PP, amplamente utilizado na indústria automobilística, por exemplo, é o *DFA*.

O conceito geral do *DFA* é contemplar informações, ainda no processo de projeto, que garantam que atividades de montagem, especificamente, sejam executadas da melhor maneira possível. Além de promover uma série benefícios às atividades de produção, o uso do *DFA* ao longo do desenvolvimento de peças e produtos promove a simplificação dos mesmos, aumento produtividade e diminuindo custos de fabricação. Neste sentido, o uso do *DFA* na Construção Civil encontra grande potencial de aplicação quando se trata do uso de sistemas construtivos pré-fabricados.

Neste sentido, em se tratando do uso do *LSF*, a aplicação do *DFA*, como ferramenta de projeto, é mais plausível, visto que tal sistema construtivo contempla a montagem de seus elementos. Além disso, a utilização do *DFA* para o *LSF* contribuiria para o aumento da construtibilidade dos projetos executivos tendo em vista a demonstração das sequências de serviço a partir desta ferramenta, entre outras informações relevantes para a realização dos serviços de construção.

6 ENTREVISTAS

Este capítulo trata da explanação das principais características das entrevistas realizadas, afim de que sejam expostos os dados coletados, com base nas questões propostas, e estes sejam comparados com as teorias mostradas neste estudo, e dessa forma, apontar boas qualidades e as deficiências de projeto e produção do sistema *LSF* no mercado.

6.1 QUESTÕES PROPOSTAS PARA AS ENTREVISTAS

Tendo em vista um roteiro para a coleta de dados nas entrevistas, foram elaboradas questões que permitiram o direcionamento do conteúdo das mesmas, como forma de contribuição com relação aos objetivos desta dissertação. Assim, foram elaboradas questões a respeito tanto do processo de projeto de edificações em *LSF*, quanto questões a respeito do processo de produção, visando, principalmente, o que é praticado entre os profissionais que atuam no mercado. As entrevistas foram realizadas com cinco profissionais que atuam em áreas distintas do ciclo de vida de obras que utilizam o *LSF*.

A primeira entrevista foi realizada com um profissional que atua na Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU). A segunda entrevista foi realizada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) com profissional responsável pela qualidade do material utilizado pelas construtoras nas residências construídas para a CDHU. A terceira entrevista foi realizada com profissional responsável pela gestão de uma obra da CDHU na cidade de Caraguatatuba, executada por uma construtora especializada em obras de *LSF* com sede na cidade de Curitiba. A quarta entrevista foi realizada com profissional de uma construtora, também especializada em *LSF*, com sede na cidade de São Paulo. E, por fim, a quinta entrevista foi realizada com profissional responsável pela área de projetos e execução de edificações em *LSF* em empresa sediada na cidade de Belo Horizonte.

Cabe destacar que, durante a segunda entrevista no IPT, a maioria das questões formuladas não pôde ser aplicada, dado que os objetivos da área de atuação deste instituto serem diferentes dos objetivos desta pesquisa, de maneira que a entrevista foi conduzida com o objetivo de esclarecer o papel do IPT frente ao *LSF*. Porém, conforme será demonstrado na caracterização desta entrevista, importantes dados foram coletados neste instituto, de forma que também contribuíram para o desenvolvimento da proposta deste trabalho.

Não serão apresentadas as respostas diretamente para cada pergunta, de forma que estas informações estão diluídas no próximo subcapítulo, juntamente com as características das entrevistas. Assim, logo após a exposição das questões, é iniciada a caracterização das entrevistas realizadas, juntamente com os dados coletados a partir dos questionários.

a) **Questões a respeito do processo de projeto:**

1 - Quais são os tipos de projeto que a empresa exige para as construções em *LSF*?

2 - De maneira geral, como estes projetos são desenvolvidos?

- a) À medida que cada profissional conclui sua tarefa, este passa a informação para o próximo profissional formando uma sequência de trabalho;
- b) Todos desenvolvem os projetos ao mesmo tempo e, no final, tudo é reunido e enviado para a obra;
- c) Todos desenvolvem os projetos ao mesmo tempo, porém os profissionais estão em contato permanente, havendo troca de informações entre as disciplinas de projeto e a produção, evitando falhas durante a obra.

3 - A empresa reconhece estratégias de projeto baseadas nos conceitos da Engenharia Simultânea?

- a) Sim;
- b) Não

4 - Se sim, de que maneira a empresa utiliza a Engenharia Simultânea no processo de projeto?

5 - Durante a construção, há falta de informações nos projetos?

- a) Sim;
- b) Não

6 - O que esta falta de informação prejudica (tanto na obra quanto no produto)?

7 - Quais informações deveriam constar nos projetos para evitar tais consequências negativas?

8 - São comuns os projetos *as-built* nas obras em *LSF*?

- a) Sim;
- b) Não

9 - A empresa reconhece a possibilidade de aplicação dos princípios da *Lean Construction* no processo de projeto?

- a) Sim;
- b) Não

10 - A empresa utiliza os Projetos para Produção?

- a) Sim;
- b) Não.

11 - Se sim, estes Projetos para Produção são voltados para quais atividades das construções em *LSF*?

b) **Questões a respeito do processo de produção:**

1 – Quais as atividades são desenvolvidas visando o planejamento da produção?

2 - A mão-de-obra para as construções em *LSF* é especializada?

- a) Sim;
- b) Não.

3 - Se sim, como é estruturada a equipe de obra?

4 - Quais as principais atividades de conversão de insumos que existem em uma obra de *LSF*?

5 - Quais as principais atividades de montagem que existem em uma obra de *LSF*?

6 - Para a construção de residências em *LSF*, o que seria mais importante, em termos de quantidade de informação, para a produção?

- a) Informações sobre a montagem dos componentes e elementos;
- b) Informações sobre ;
- c) Ambas.

7 - A empresa utiliza os conceitos da *Lean Construction* nas obras em *LSF*?

- a) Sim;
- b) Não.

8 - Se sim, como é feita a aplicação dos conceitos desta filosofia na obra?

9 - Na opinião da empresa, é mais fácil ou mais difícil aplicar os princípios da *Lean Construction* em obras de *LSF*? Por que?

6.2 CARACTERÍSTICAS E DADOS COLETADOS DAS ENTREVISTAS

6.2.1 PRIMEIRA ENTREVISTA: CDHU

A CDHU foi selecionada para a coleta de dados desta pesquisa, pois a Secretaria de Habitação do Estado de São Paulo possui, em andamento, um programa de construção de habitações populares voltadas para o atendimento de idosos sem amparo familiar e financeiro. O programa, concebido e gerenciado pela CDHU, é chamado de “Programa Vila Dignidade” e consiste na construção de pequenas vilas, em cidades do interior do estado de São Paulo, compostas por casas concebidas e produzidas com base no sistema construtivo *LSF*. Esta iniciativa do governo paulista já se encontra em execução e a primeira vila foi concluída na cidade de Avaré, sendo que outras estão em processo de construção, como na cidade de Araraquara e Caraguatatuba, ou estão em processo de aprovação da Secretaria de Habitação.

O profissional entrevistado é arquiteto, sendo responsável pela gerência e desenvolvimento do processo de projeto dos empreendimentos, a partir das exigências propostas pela CDHU quanto ao projeto das edificações em *LSF*.

O programa “Vila Dignidade”, como afirmado anteriormente, é uma iniciativa da Secretaria de Habitação do Estado de São Paulo em parceria com a Secretaria de

Assistência e Desenvolvimento Social, Secretaria da Cultura, Secretaria de Economia e Planejamento, Fundo de Solidariedade e Desenvolvimento Social e Cultural do Estado de São Paulo, além das parcerias com as prefeituras dos municípios que desejam receber o empreendimento.

Essencialmente, as vilas construídas terão no máximo 24 casas, todas construídas, como dito anteriormente, com o sistema construtivo *LSF*. As habitações da vila terão 39 m² de área útil com sala conjugada à cozinha, um dormitório, um banheiro, área de serviço e uma área externa reservada para práticas de jardinagem ou para horta. Nas casas também haverá itens de segurança e acessibilidade como barras de apoio, pias e aparelhos sanitários com altura adequada, portas e corredores mais largos, rampas e pisos antiderrapantes. A Figura 61 mostra a planta tipo das residências que compõem o programa.



Figura 61: Planta tipo das residências que formam a Vila Dignidade (cortesia CDHU)

Durante a entrevista, o profissional da CDHU informou que o projeto da unidade habitacional que compõe as vilas, foi concebido pela própria CDHU a partir do conceito de desenho universal com a colaboração de uma empresa do setor privado (projeto de arquitetura da residência, projeto elétrico, fundação etc.), de maneira que os detalhes

construtivos e os demais projetos executivos ficam a cargo da construtora responsável pela obra.

No que diz respeito à produção de edificações em *LSF*, o profissional considera que tal sistema construtivo é bastante receptivo com relação ao uso da *Lean Construction*, por ser um sistema pré-fabricado com reduzidos índices de desperdício e alta produtividade. Porém, ficou claro que essa questão é muito particular por parte de cada construtora, variando com o sistema de gestão de cada empresa.

Com relação à equipe de trabalho nas obras, o entrevistado alegou que se trata de uma mão de obra especializada. Porém, cada empresa construtora organiza-se de maneira muito particular com relação à equipe de produção (de certa forma há a presença constante da figura do “montador” no canteiro de obras). As particularidades estendem-se também para o processo de projeto.

Segundo o entrevistado, algumas empresas possuem soluções particulares de projeto com relação a algumas interfaces entre elementos do *LSF*, de maneira que tais soluções podem variar de acordo com a cultura de desenvolvimento do projeto de cada empresa. O profissional alegou também que várias empresas patentearam tais soluções. Também ficou claro que o uso de teorias e ferramentas como o *Lean Design* e a ES dependem e variam conforme a empresa de projeto, visto que isto não é um pré-requisito de trabalho exigido pela CDHU.

O profissional entrevistado também informou que a CDHU, com o intuito de garantir a qualidade da edificação, exige uma série de certificações e diretrizes para que uma empresa construtora possa produzir as habitações em *LSF*. O principal meio que a CDHU dispõe para maiores garantias de qualidade, fica por conta do Programa da Qualidade da Construção Habitacional do Estado de São Paulo (QUALIHAB).

Basicamente, o QUALIHAB foi criado com o intuito de garantir a qualidade das habitações de baixa renda produzidas pelo estado de São Paulo, de maneira que a CDHU, a partir de parcerias feitas com empresas atuantes no mercado, passa a ter garantias de que a empresa contratada e os produtos utilizados são da qualidade esperada pela CDHU.

Com as casas da “Vila Dignidade” não é diferente. Na entrevista, o profissional mostrou que todos os materiais, bem como os sistemas e subsistemas utilizados na edificação passam por testes rigorosos, alguns realizados pelo próprio IPT, de maneira que se forem identificadas falhas que comprometam a qualidade da edificação, a empresa em questão deverá adequar-se às condições necessárias. Com relação exclusivamente ao processo de projeto, o profissional afirmou que a CDHU possui algumas exigências mínimas para que a empresa possa executar as obras e que estão listadas a seguir (cedida pela CDHU):

- a) *Definição da quantidade de aço empregada. Independente da configuração estrutura, isto é, espessura de perfis, espaçamento entre montantes, quantidade de bloqueadores, fitas e perfis diagonais, os projetos devem apresentar o peso de aço por metro quadrado;*
- b) *Especificação dos perfis de aço, incluindo espessura e dimensões (perfis tipo montante, guias, fitas, cartola, perfil L, tesoura, bloqueadores etc.), bem como do tipo de revestimento de zinco ou alumínio-zinco. Observa-se que a Diretriz SINAT 003, especifica Z275 para atmosferas rurais e urbanas, e Z350 para atmosferas marinhas;*
- c) *Distância entre perfis – configuração estrutural dos quadros metálicos (espaçamento entre montantes, distância de fitas, bloqueadores, barras diagonais etc.);*
- d) *Detalhe de apoio do banzo inferior das tesouras, o qual deve coincidir com os perfis tipo montante dos quadros estruturais de paredes;*
- e) *Detalhe de fixação da guia inferior, incluindo especificação e distância de parafusos de alinhamento e chumbadores;*
- f) *Detalhe de fixação entre perfis e especificação de parafusos, bem como do revestimento de proteção contra corrosão dos parafusos;*
- g) *Detalhe de aberturas (portas e janelas), incluindo o posicionamento de montantes nas extremidades dos vãos e perfis de reforço na região de vergas e contra-vergas;*
- h) *Detalhes de reforços para fixação de peças suspensas, como armários e barras de apoio. Além dos detalhes é necessário especificar qual a carga máxima de serviço com o respectivo reforço. Item bastante importante nos empreendimentos das Vilas Dignidade;*
- i) *Detalhes de interface entre base de parede e piso externo/calçada;*
- j) *Detalhe de interface entre base de parede e piso interno sujeito a água de uso e lavagem;*
- k) *Detalhe da base de coluna/perfis que suportam projeção dos telhados;*
- l) *Detalhe dos tipos de fechamento internos e externos dos quadros estruturais metálicos, incluindo especificação das chapas de fechamento;*
- m) *Detalhe/modulação das chapas de fechamento interno e externo, observando que as juntas das chapas internas e externas não devem ser coincidentes;*
- n) *Detalhe das juntas entre chapas de fechamento interno e externo. Para as juntas entre chapas externas, recomenda-se também solicitar procedimento de execução;*
- o) *Detalhe de fixação de janelas e portas, com especificação de parafusos e barreiras isolantes, caso o material dos caixilhos seja metálico, com potencial eletromagnético diferente do perfil de aço zincado da parede, o que pode gerar problemas futuros de corrosão galvânica, exemplo: contato zinco-alumínio;*

p) *Plano de qualidade da obra, onde deve constar: procedimentos e critérios de recebimento de materiais; procedimentos e regras para armazenamento de materiais; procedimentos de execução e critérios e tolerâncias de aceitação de serviços.*

As exigências listadas tratam das informações que devem constar nos projetos executivos elaborados pelas empresas construtoras e englobam o sistema de paredes e coberturas das residências. No entanto, apesar de ser uma lista muito bem detalhada, nota-se que tais requisitos prezam pela característica de determinado produto ou serviço e não pelo modo como devem ser feitos, exemplo: nos projetos das construtoras exige-se o detalhe de fixação entre perfis. Mas como essa fixação deve ser executada? Quais as ferramentas que devem ser utilizadas? Qual a melhor sequência para a fixação?

A questão aqui é que muitas decisões executivas ficam a cargo da obra, quando já deveriam estar previstas no projeto, ainda mais quando se trata de sistemas pré-fabricados, de maneira que várias manifestações patológicas têm sido detectadas nas edificações em *LSF* justamente pela falta de informação.

6.2.2 SEGUNDA ENTREVISTA: IPT

A entrevista no IPT foi realizada, pois tal instituição realiza ensaios e inspeções em obras para o programa “Vila Dignidade” da CDHU. O IPT está vinculado com a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo e desenvolve trabalhos em diversas áreas como pesquisa e desenvolvimento, educação, serviços tecnológicos e inovação.

De maneira geral, pelo fato da instituição lidar basicamente com ensaios de qualidade dos materiais e soluções utilizados no *LSF*, muitas das questões propostas não puderam ser respondidas. Assim, os dados coletados mais relevantes para esta dissertação são elucidados a seguir.

A profissional entrevistada é engenheira civil, sendo a responsável por diversos ensaios realizados nesta instituição que avaliam inúmeras características dos materiais e componentes utilizados no *LSF*. A profissional também participa da fiscalização de obras, como a da CDHU, verificando o uso adequado dos materiais avaliados no instituto.

Assim, na entrevista realizada, observou-se que de maneira geral o sistema *LSF*, no Brasil, ainda não é um sistema construtivo com técnicas de projeto, produção e materiais totalmente compreendidos e dominados.

Notou-se, durante a entrevista, que as manifestações patológicas nas habitações inspecionadas são originadas principalmente devido ao processo de projeto atualmente

praticado pelas empresas, ser incompatível com o *LSF*, ou seja, o projeto sendo falho resulta que o uso do material e o desempenho final deste uso serão inadequados também.

No que diz respeito aos tipos de projetos utilizados nas obras, a profissional, por estar mais envolvida com a qualidade dos materiais e soluções utilizados no *LSF*, reconhecia, diretamente, o uso das exigências propostas pela CDHU (listadas acima), alegando que os detalhes construtivos dos projetos estruturais são os mais utilizados para a montagem da estrutura.

Assim, com relação aos Projetos para Produção, a profissional alegou desconhecimento do uso de tal conceito ao processo de projeto nas empresas construtoras, assim como para o uso dos conceitos da *Lean Construction* na produção e no projeto.

A profissional do IPT relevou o fato de que no Brasil, não existe uma norma específica para o sistema construtivo *LSF* (apesar de estarem em vigor normas para os PFF visando tanto a estrutura quanto a vedação), o que dificulta o desenvolvimento de projetos e a qualidade da habitação e dos materiais envolvidos. No entanto, a profissional destacou a existência de um esforço conjunto do Ministério das Cidades, do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) e do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) que resultou em um estudo de diretrizes voltadas especificamente para o sistema *LSF*.

A Diretriz SINAT n° 003 “Sistemas Construtivos Estruturados em Perfis Leves de Aço Conformados a Frio, com Fechamentos em Chapas Delgadas” fornece diversas informações com relação ao desempenho confiado às edificações em *LSF*. Tais informações visam os vários aspectos de uma edificação como, estanqueidade, desempenho estrutural, resistência ao fogo, desempenho térmico e acústico etc., de maneira que estas informações deveriam ser utilizadas no projeto.

Obviamente, a Diretriz SINAT n° 003 representa um ganho para o sistema *LSF* no Brasil. Porém este documento que, essencialmente foca o desempenho dos sistemas e subsistemas da edificação, não aborda questões a respeito do processo de projeto do *LSF* e, conforme a profissional do IPT confirmou, o canteiro de obras e a qualidade da edificação ficam bastante comprometidos em função das falhas no processo de projeto. Tais falhas, essencialmente, estão relacionadas a dois fatores principais: a adoção das práticas projetuais tradicionais para o sistema *LSF* e o desconhecimento do sistema construtivo por parte de alguns profissionais.

6.2.3 TERCEIRA ENTREVISTA: EMPRESA A

A adoção das práticas tradicionais de projeto aplicadas ao *LSF* pôde ser confirmada na visita ao canteiro de obras na cidade de Caraguatatuba no litoral do Estado de São

Paulo. Esta obra é uma das que estão incluídas no programa “Vila Dignidade” da CDHU, sendo caracterizada pela construção de vinte habitações baseadas no sistema *LSF* e que, arquitetonicamente, segue a disposição apresentada na Figura 57.

A empresa responsável pelo canteiro de obras é especializada em produtos em *LSF* sendo que sua sede localiza-se na cidade de Curitiba-PR. A construtora desenvolve e adapta diversas soluções de projeto e execução do *LSF*, de maneira que também elabora todos os projetos de engenharia do produto, além da decoração e personalização dos espaços. Cabe destacar que a empresa atua em praticamente todas as etapas da construção, oferecendo assessoria ao cliente desde a compra do terreno até a documentação final para uso da edificação.

Quanto ao profissional entrevistado, o mesmo é técnico em edificações e atua exclusivamente no canteiro de obras, sendo o responsável pela administração do mesmo, organizando as equipes de produção e o uso dos materiais de acordo com o cronograma proposto para a obra.

Assim, nesta obra foram analisados os projetos utilizados para a construção das casas, bem como entrevistas com os profissionais residentes. Ao se analisar os projetos comprovou-se que, com relação ao tipo e as ferramentas utilizadas, as informações contidas eram as mesmas que um projeto voltado para a construção de uma edificação com sistemas construtivos tradicionais, apresenta ou deveria apresentar.

Todas as informações, desde os textos impressos até pranchas com informações gráficas, foram acondicionadas na forma de um papel A4 e agrupadas por meio de encadernação com o uso de espiral de plástico, o que facilita a manipulação no canteiro de obras.

Apesar de o projeto analisado ser muito bem detalhado, não havia informações com relação ao modo como cada serviço deveria ser executado (Projetos para Produção). As informações eram formadas apenas pelo cálculo estrutural, a descrição de algumas ferramentas que seriam utilizadas e as informações gráficas das plantas que continham: a arquitetura da edificação, a implantação do empreendimento, detalhes construtivos como os exigidos pela CDHU e os detalhes dos painéis de *LSF* em elevação.

Na análise, especificamente nos detalhes construtivos, não foi evidenciada a presença de qualquer tipo de informação que utilizasse ferramentas como os PP ou o *DFA*. Estes detalhes construtivos também não indicavam qual a ferramenta correta a ser utilizada em cada atividade e muito menos a melhor e mais correta sequência de montagem.

Isto foi comprovado no caso dos painéis. Por exemplo, cada um deles é identificado em uma prancha que contém a vista em planta da edificação e, neste desenho, cada painel é simulado por meio da representação de seus montantes (posicionados de acordo com o cálculo estrutural) e, assim, cada um deles é identificado por letra ou número ou ainda, uma

combinação dos dois. Após esta identificação em planta, cada painel é detalhado em vista elevada.

Porém, neste detalhamento, não foi observado qualquer tipo de informação que contemplasse diretrizes a respeito de quais atividades seriam necessárias para a produção destes painéis bem como a sequência de serviços correta. Segundo o profissional responsável pelo canteiro de obras, as atividades necessárias e a sequência de produção ficam a cargo da decisão dos operários montadores.

Também foi comprovada a falta de interação entre projetistas, principalmente entre profissionais responsáveis pelos sistemas hidráulicos, elétricos, estrutural e vedação. Esta afirmação foi comprovada quando foram observadas diversas adaptações, como mostram as Figuras 62, 63 e 64, feitas pelos operários do canteiro de obras com relação à passagem de tubulações hidráulicas e eletrodutos nos perfis de aço dos painéis do *LSF* e com relação a aberturas nos painéis de gesso acartonado para as caixas de passagem. O problema destas adaptações é que nenhuma delas foi prevista nos projetos, ou seja, foram feitas a partir da apreciação dos responsáveis pela obra, sem as informações necessárias para tanto.



Figura 62: Cortes executados na alma do perfil de aço para a passagem de tubulação hidráulica, sem previsão por parte do projeto estrutural



Figura 63: Cortes executados na alma do perfil de aço para a passagem de tubulação elétrica, sem previsão por parte do projeto estrutural

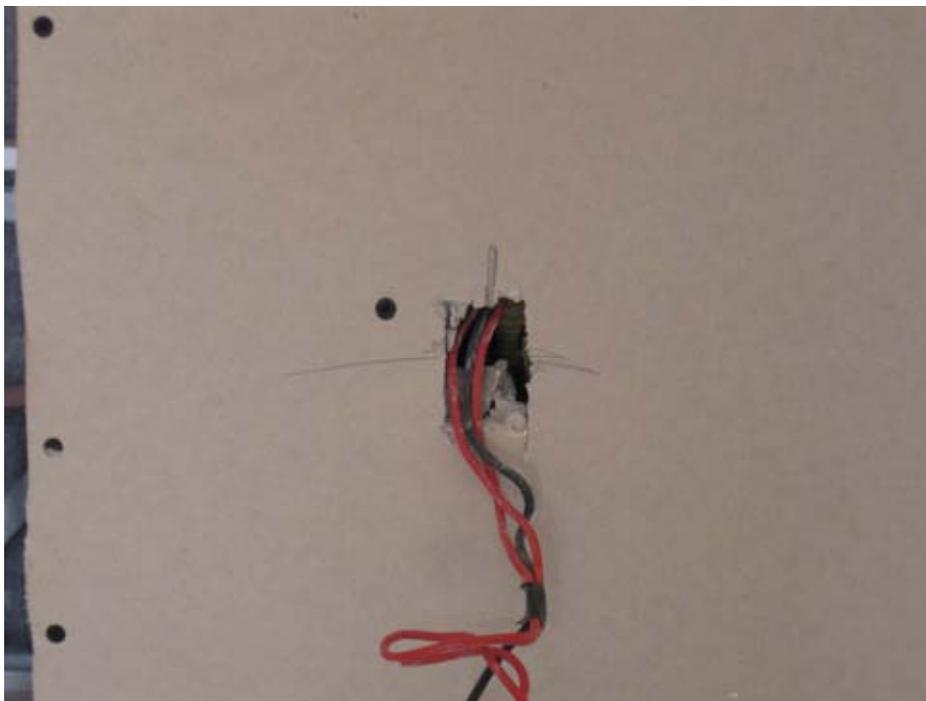


Figura 64: Cortes executados no painel de gesso acartonado para abertura da caixa de passagem após a fixação

Cabe destacar também que, como mostra a Figura 60, não foi identificado qualquer tipo de projeto que contemplasse o sistema de vedação das edificações, de maneira que isso gera mais desperdícios e, conseqüentemente, aumento do tempo de produção. Além da falta de um projeto de vedações, também se verificou uma significativa falta de interação do projeto estrutural com as condições em que a produção seria desenvolvida. Como exemplo, é citada a Figura 65 que ilustra o fato da utilização placas cimentícias (que não são estruturais) para a sustentação do reservatório de água das edificações. Nota-se nesta figura o empenamento das placas que, além de tudo, foram cortadas para sua fixação. Segundo o profissional entrevistado, o principal motivo do empenamento deu-se pela constante umidade presente no local.

O interessante de se destacar aqui é que soluções imediatistas são tomadas durante a produção (que utiliza um sistema pré-fabricado) devido a negligência dos projetos, de maneira que, muitas vezes, tais soluções não são adequadas.



Figura 65: Utilização de placas cimentícias para a sustentação de reservatório de água (detalhe para o empenamento das placas)

No que diz respeito ao planejamento e controle da obra, notou-se apenas que os profissionais da produção utilizavam um cronograma, tradicional sob o ponto de vista do que

é usualmente praticado, baseado conceito de redes *PERT/CPM*, além de haver um relativo domínio sobre o processo de compras de materiais na própria obra.

Com relação às condições de produção da obra, notou-se que não havia o uso de qualquer tipo de ferramenta ou princípio relacionado à *Lean Construction* aplicada à produção. Cabe destacar também que a logística de material e mão de obra era prejudicada pela falta de um projeto do canteiro de obras. Isto foi comprovado ao notar-se a maneira como o estoque de materiais estava armazenado, o desperdício de materiais pelo chão da obra e a falta de uma logística de transporte das estruturas montadas até o seu local de fixação. Por se tratar de um sistema que permite a montagem de seus componentes no próprio canteiro de obras, as condições apresentadas na obra não são adequadas frente aos benefícios que o sistema *LSF* pode trazer à produção.

De maneira geral, as principais atividades observadas no canteiro de obras referem-se à montagem da estrutura das casas, de maneira que os únicos materiais ou componentes que passavam por um processo de transformação de sua forma ou essência eram voltados para elementos como o radier ou componentes como as placas de vedação.

6.2.4 QUARTA ENTREVISTA: EMPRESA B

A quarta entrevista foi realizada na sede de uma construtora sediada na cidade de São Paulo-SP. A empresa é especializada no uso do *LSF* e possui larga experiência com o sistema construtivo, de maneira que atua na produção de diversos tipos de edificações que abrange desde habitações unifamiliares até grandes galpões industriais, em obras realizadas em diversos estados brasileiros.

Atuando há mais de trinta anos no setor da Construção Civil, a construtora, frente à forte concorrência, optou por investir em sistemas construtivos inovadores no país e, assim, a empresa desenvolve soluções de execução do *LSF*, visando a maior produtividade das obras e diminuição de desperdícios com desempenho favorável.

Quanto ao profissional entrevistado, o mesmo é arquiteto e atua em diversas etapas do empreendimento, principalmente no que diz respeito à compatibilização entre projetos e administração do canteiro de obras.

Assim, deu-se início à entrevista baseando-se no roteiro de questões proposto. Com relação ao processo de projeto das edificações o profissional afirmou que, atualmente, há grandes falhas nas obras justamente por haver erros nos projetos desenvolvidos e por equívocos durante a interpretação dos mesmos justificados pela falta de comunicação entre os profissionais.

O entrevistado alegou que hoje no Brasil, dificilmente as empresas construtoras preocupam-se em elaborar projetos que vislumbrem a integração entre processos como os

Projetos para Produção. O profissional mostrou que hoje, o processo de projeto do *LSF* parte, inicialmente, de uma arquitetura básica que, obviamente, obedece a uma coordenação modular e, a partir disso, o cálculo estrutural é elaborado. Cabe destacar aqui que, segundo o profissional, os projetos elaborados para o *LSF* são iguais aos elaborados para uma obra tradicional, sendo digno de nota que uma parte bastante delicada do sistema, que é o sistema de vedação com placas, não é projetada.

Assim, com o cálculo estrutural concluído, são gerados detalhes construtivos das estruturas como os painéis, lajes e coberturas e, dessa forma, de acordo com o profissional, estes são os detalhes e informações utilizadas no canteiro de obras. Porém, este tipo de projeto não é voltado para a produção da edificação, ou seja, ele é uma etapa do processo de projeto essencial para o produto, mas que não é conclusivo para a produção.

Na entrevista, ficou claro que atualmente não são desenvolvidos projetos que elucidem a sequência de montagem do *LSF* (local de início, qual o primeiro sistema a ser montado, onde e como montar este sistema etc.) bem como as ferramentas e atividades necessárias para tanto, de forma que o modo de execução fica totalmente a cargo da experiência do operário montador, tal qual nas construções residenciais convencionais.

Foi comprovado também que a compatibilização dos projetos é feita pela própria construtora, visto que não há fluxo de informações entre projetistas, exemplo: o profissional mostrou que o projeto de instalações prediais é executado por um profissional da área, da mesma forma como é executado para uma obra convencional, de forma que este projeto não é compatibilizado com a estrutura ou vice-versa, ou seja, não há utilização da *ES* ou *Lean Design* no processo de projeto.

O profissional afirmou que devido às condições que os projetos são desenvolvidos no *LSF*, o canteiro de obras acaba por não aproveitar os benefícios da pré-fabricação deste sistema, ou seja, a produção acaba assumindo as características de obras tradicionais, pois surgem falhas, desperdícios, imprevistos e maior número de atividades de conversão e fluxo. Assim, durante a entrevista o profissional deixou claro que hoje, ainda não há uma integração entre profissionais que atuam no projeto do *LSF* e, destes, com os profissionais da produção.

Tendo em vista estes fatos, o profissional alegou que não é utilizado qualquer tipo de conceito ou princípio da *Lean Construction* explicitamente, apesar do entrevistado reconhecer o fato de que o *LSF* é um sistema construtivo mais susceptível à prática de tal filosofia frente à obras com sistemas tradicionais.

Como exemplo das falhas que ocorrem no canteiro de obras, o profissional citou a execução das edificações do programa “Vila Dignidade” da CDHU (elucidado anteriormente), na qual há uma grande dificuldade de beneficiamento técnico da produção em série com um sistema pré-fabricado, visto que os projetos adotados não contemplam

padrões tanto de execução quanto de materiais, o que torna o *LSF* menos competitivo no mercado.

O profissional também notou que hoje há problemas de informação de projeto com a fabricação dos materiais considerados. Foi afirmado que, principalmente com a utilização das placas cimentícias, as informações que teoricamente estariam em um projeto de vedação (no caso de possível elaboração) poderiam não conferir com as condições do material no canteiro de obras, visto que, atualmente, segundo o entrevistado, este material ainda possui algumas falhas em seu processo de fabricação, apresentando deformações em sua forma, como o empenamento das placas, que apesar de serem poucas, representa uma enorme desvantagem para o *LSF* no sentido da relação entre o projeto e a produção.

6.2.5 QUINTA ENTREVISTA: EMPRESA C

A quinta entrevista foi concretizada em uma empresa especializada no desenvolvimento e comercialização do sistema *LSF*. Sediada na cidade de Belo Horizonte-MG, a empresa executa desde o detalhamento da estrutura (exceto o cálculo estrutural) de edificações em *LSF* até a comercialização de alguns de seus componentes, principalmente os perfis de aço. A empresa, fundada no início dos anos 90, atua exclusivamente com o conceito de construção “a seco”.

Quanto ao profissional entrevistado, o mesmo é arquiteto e atua na área de projeto e desenvolvimento das edificações em *LSF*, visando o projeto de cada componente da obra. O profissional também atua no meio acadêmico, contribuindo com diversos artigos publicados voltados para o conhecimento do *LSF*.

Com grande número de obras executadas em *LSF*, a empresa conta com larga experiência de seus profissionais no que diz respeito às soluções de projeto e produção. Particularmente, esta empresa possui em sua sede duas máquinas que são responsáveis pela produção dos perfis de aço utilizados no *LSF*. Os perfis produzidos, que são específicos para cada projeto, são fabricados a partir de bobinas de aço armazenadas em um galpão da própria empresa, como mostra a Figura 66. Cabe ressaltar que a produção dos perfis nestas máquinas, para cada obra em particular, está intimamente relacionada com o processo de projeto adotado pela empresa, como será discutido adiante.



Figura 66: Bobinas de aço utilizadas para a fabricação de perfis do LSF

Uma vez alimentada pelas bobinas de aço, a máquina passa a produzir os perfis de acordo com as especificações do projeto. Como mostram as Figuras 67, 68 e 69, o aço vindo da bobina é puxado pelos mecanismos da máquina e convertido no perfil desejado, contendo todos os furos e dobras necessários. O produto final é conferido por funcionários na própria esteira do equipamento, com relação às suas medidas e condicionantes do projeto.

No que diz respeito à construção das edificações em *LSF*, o profissional afirmou que toda a mão de obra que compõe a equipe de trabalho é especializada, ou seja, exige-se que o operário tenha conhecimento com relação à produção e funcionamento do *LSF*, e, portanto, deve ser treinado. Tendo em vista o processo de produção, o profissional confirmou o fato de o *LSF* ser um sistema construtivo que se adapta melhor à filosofia da *Lean Construction* dada a sua pré-fabricação.

As principais atividades do canteiro de obras, segundo o profissional entrevistado, resumem-se à montagem de todos os elementos que compõem a edificação, de maneira que transformações de natureza morfológica ou substancial só ocorrem para a adequação das placas de vedação e preparo do material das fundações.



Figura 67: Máquina utilizada para converter o aço das bobinas nos perfis do LSF



Figura 68: Máquina de maior porte sendo alimentada pela bobina de aço



Figura 69: Operários verificando a qualidade dos perfis fabricados

Com relação ao processo de projeto do *LSF*, a empresa possui uma maneira de trabalho bastante específica, dado que ela própria produz os perfis com as máquinas. De maneira geral, o profissional responsável pela empresa afirmou que o projeto é iniciado com uma arquitetura da edificação voltada para o sistema construtivo, e a partir desta arquitetura, os demais projetos são desenvolvidos.

Especificamente para o projeto dos painéis, a empresa utiliza um *software* com interface gráfica que foi desenvolvido especialmente para atuar em conjunto com os dois equipamentos. A partir dos dados fornecidos pela arquitetura e pelo projeto estrutural, tal *software* gera o detalhamento das peças que irão compor os painéis, de maneira que cada peça é identificada por um código que também será visualizada no próprio perfil já fabricado, como demonstra a Figura 70. A identificação dos perfis tanto no projeto quanto no próprio produto contribui para a redução de incertezas durante a montagem dos painéis.

No processo de projeto da edificação em *LSF* como um todo, o profissional entrevistado afirmou que a empresa não utiliza o conceito de Projeto para Produção, de maneira que o detalhamento fica por conta dos desenhos de cada painel em elevação, com a identificação de cada peça feita pelo *software*, conforme explicado anteriormente.



Figura 70: Perfil com identificação originada pela máquina em consonância com o projeto

Nesse sentido, o profissional declarou que durante a obra surgem dúvidas por parte dos operários com relação a certos detalhes de montagem, principalmente na interface entre sistemas e subsistemas. Assim, o entrevistado sugeriu que uma melhoria no processo de projeto com relação à sequência de montagem dos sistemas da edificação, e maior detalhamento destas atividades contribuiriam para a uma melhor eficiência do canteiro de obras.

Nas obras executadas pela empresa, geralmente, são utilizados apenas o projeto estrutural dos painéis e cobertura (com a identificação dos perfis citada) e o projeto de arquitetura. Com relação às instalações prediais, o profissional afirmou que não é sempre que é executado um projeto desta disciplina, sendo que a execução, normalmente, fica a cargo das decisões assumidas no canteiro de obras. Com relação à vedação dos painéis e cobertura, o profissional declarou que também não é realizado o projeto de vedações contendo a paginação das placas. Foi constatado que, com relação à vedação, é feito um projeto básico que é utilizado apenas para a determinação do quantitativo de materiais para a elaboração de orçamentos.

O profissional também afirmou que durante o desenvolvimento do projeto da edificação, não é comum a interação entre projetistas, ou seja, o processo de projeto das edificações é feito da maneira tradicional, de forma sequencial. Como exemplo disso, o profissional alegou que o projeto estrutural é feito sem a participação das informações dos projetos de instalações prediais, uma vez que o projetista das instalações tem que lidar com

as informações já consolidadas do projeto estrutural. Em vista disso, foi alegado que os projetos do tipo *as-built*, apesar de não serem muito comuns no *LSF*, tiveram de ser executados visando a documentação de possíveis mudanças que ocorrem durante a construção.

Ficou claro também que a empresa não utiliza conceitos gerenciais do processo de projeto como a *ES* e o *Lean Design*, apesar do profissional reconhecer a necessidade e o potencial de aplicação no *LSF*.

6.3 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

De acordo com os dados coletados nas entrevistas, comprovou-se que o sistema *LSF* possui um grande potencial, sob o ponto de vista técnico e econômico, na Indústria da Construção Civil brasileira. Nesse sentido, o sistema começa a ganhar maior atenção do mercado imobiliário frente aos sistemas construtivos mais tradicionais como a alvenaria estrutural.

Foi constatado que o sistema é alvo de dúvidas e críticas com relação a sua durabilidade e segurança frente às obras convencionais. No entanto, é fato que tais dúvidas e críticas originam-se pelo desconhecimento do mercado consumidor aliado a cultura de construção que existe no Brasil.

Um segundo problema enfrentado pelo *LSF* no Brasil, comprovado nas entrevistas, é a falta de produtos voltados especificamente para o sistema, apesar de algumas fábricas de grande porte passar a destinar parte de seu potencial de produção para a fabricação de produtos de uso exclusivo do *LSF*. Atualmente, a maior escassez de material refere-se às esquadrias, visto que a oferta do mercado necessita de algumas adaptações que variam de acordo com o tipo da edificação.

Com relação à produção das edificações em *LSF*, ficou comprovado que a mão-de-obra é especializada (ao menos os operários responsáveis pela montagem da estrutura) e altamente dependente de seu conhecimento técnico e experiência prática para a execução dos serviços e eventuais decisões a serem tomadas no canteiro de obras. O tempo de conclusão da produção é relativamente rápido com relação às obras tradicionais, por exemplo, toda a montagem da estrutura de uma edificação de *LSF* de 100,00 m² pode ser concluída em um prazo de 10 dias, segundo dados fornecidos pelos entrevistados.

A alta produtividade das edificações em *LSF* é potencializada pela pré-fabricação de seus componentes, de forma que as atividades desenvolvidas pelos operários no canteiro de obras são, em grande parte, de montagem, visto que atividades paralelas de

conversão são bastante reduzidas, limitadas apenas por algumas ações de adequação de peças, como cortes nas placas de vedação.

Ainda com relação à produção, nenhuma das empresas e profissionais entrevistados aplicam ou já aplicaram os princípios da *Lean Construction*, diretamente e conscientemente, na produção das edificações, apesar de todos reconhecerem o real potencial de aplicação desta teoria em obras executadas com o *LSF* frente às obras convencionais.

Com relação aos projetos desenvolvidos para o *LSF*, estes seguem as práticas usuais adotadas nas obras convencionais, ou seja, há uma sequência hierárquica de serviços que se inicia com a arquitetura da edificação. De acordo com entrevistados, durante esta sequência de desenvolvimento, os projetistas dificilmente trocam informações entre si e entre os profissionais do canteiro de obras, de forma que a compatibilidade entre sistemas e subsistemas da edificação fica a cargo da empresa construtora.

Isto revela que as empresas, atualmente, não utilizam a ES como ferramenta de desenvolvimento de seus produtos, seja por desconhecimento ou por comodidade em relação ao que é tradicionalmente praticado. Por este mesmo motivo, as empresas não utilizam o conceito da *Lean Construction* no processo de desenvolvimento das edificações, de forma que os princípios do *Lean Design* e seu potencial de aplicação junto ao *LSF* são subestimados.

Nesse sentido, também foi constatado que as empresas e profissionais entrevistados não desenvolvem nenhum tipo de Projeto para Produção, apesar de conhecerem o conceito geral deste tipo de projeto. Pode-se dizer que as obras em *LSF* hoje no Brasil são produzidas com projetos básicos que, de certa forma, são um pouco mais detalhados do que os utilizados para obras convencionais. Estes projetos são compostos, essencialmente, pelo projeto de arquitetura e pelo projeto estrutural.

Estes projetos contêm duas informações muito importantes para o *LSF*, ou seja, a disposição dos painéis e a composição dos mesmos, bem como a disposição e composição de outros elementos. Porém, estes projetos não são suficientes para suprir a demanda por informação das atividades do processo de produção, pois como foi explicitado nos dados coletados, usualmente surgem muitas dúvidas por parte dos operários no canteiro de obras.

Ficou esclarecido também que há o interesse, por parte das empresas, pelo desenvolvimento de projetos que contemplem informações de produção como sequências de montagem, ferramentas e materiais utilizados etc., a fim de se evitar a execução de projetos *as built*.

Dessa forma, considerando o que atualmente é feito no mercado com relação ao processo de projeto de produtos em *LSF*, considerando os interesses dos profissionais e empresas e baseando-se nas teorias envolvidas na revisão bibliográfica, este trabalho

propõe o estabelecimento de diretrizes para a elaboração de Projetos para Produção que contam com informações a respeito do modo como tais projetos devem ser apresentados e com informações a respeito das sequências padrões de montagem, ferramentas básicas e materiais essenciais para a construção de uma residência em *LSF*.

7 DIRETRIZES E DETALHES DE PROJETO PARA MONTAGEM DE RESIDÊNCIAS EM *LIGHT STEEL FRAMING*

Este capítulo consiste na elaboração da proposta desta dissertação, visando o atendimento dos objetivos principais e específicos descritos. O capítulo se inicia com a apresentação de diretrizes gerais a respeito da estrutura de apresentação dos Projetos para Produção e, em seguida, são desenvolvidas diretrizes específicas a respeito das sequências de montagem que deverão constar em tais projetos, ferramentas essenciais e materiais básicos a serem especificados em projeto. Juntamente com as diretrizes específicas, são apresentadas pranchas com informações gráficas que abordam a montagem dos elementos padrões do *LSF*.

7.1 CONTEÚDO PARA A ELABORAÇÃO DOS PROJETOS PARA PRODUÇÃO

Diante dos dados coletados com as entrevistas e visitas, listam-se diretrizes que representam informações padronizadas a respeito das atividades de construção, materiais e ferramentas necessárias que deverão constar nos Projetos para Produção de habitações unifamiliares em *LSF*, que visam a eliminação ou a redução das manifestações patológicas, dificuldades de projeto ou construção e maior interação entre equipes de projeto e produção.

Cabe destacar que todas as diretrizes específicas propostas foram baseadas nos dados coletados nas entrevistas realizadas, observações nas visitas em obras e nas informações da revisão bibliográfica, em especial nos trabalhos de Tanigutti e Barros (1998), Crasto (2005), Freitas e Crasto (2006) e informações técnicas de fabricantes de materiais voltados para o *LSF*.

Considera-se, no conteúdo sugerido, que tais informações representam um avanço em relação ao que hoje é praticado ao se projetar residências em *LSF*. Porém, como foi demonstrado na revisão bibliográfica, o sucesso do conteúdo listado, necessita de interações entre as equipes multidisciplinares de projeto e, destas, com a equipe de produção e, nesse sentido, é conveniente que o processo de projeto seja abordado sob o ponto de vista do *Lean Design*, uma vez que o ambiente de desenvolvimento dos projetos deverá ser modelado pelos conceitos da ES.

Assim, parte-se do princípio de que todas as interferências e interfaces entre sistemas e subsistemas estarão previstas nos projetos desenvolvidos anteriormente aos Projetos para Produção, ou seja, deve haver a compatibilização entre as disciplinas.

Obviamente, as soluções para os sistemas da edificação em *LSF* podem apresentar diversas composições e necessidades, que variam de acordo com seus requisitos. Porém há um padrão de serviço que se repete nas edificações e que pode ser sistematizado nos Projetos para Produção.

É importante destacar que a ideia proposta nestas diretrizes é a de mostrar o uso do conceito de Projetos para Produção voltados para a montagem de alguns dos principais elementos que compõem uma edificação em *LSF*. Assim, foram mostrados a montagem de painéis e algumas de suas particularidades, montagem da estrutura de piso, montagem do sistema de vedação, montagem da estrutura da cobertura e suas particularidades, montagem de escadas, fixação de placas encontro de painéis e outras atividades que visam a montagem de elementos da edificação. Assim, não foram mostradas as interfaces dos elementos do *LSF* com outros subsistemas construtivos, como as instalações prediais.

Outra importante questão a ser esclarecida é a de que em determinado momento as diretrizes propostas podem ser entendidas como um procedimento de produção ao invés de diretrizes de projeto voltadas para a produção. De certa forma os Projetos para Produção passam a ser encarados como procedimentos a partir do momento em que a empresa que os utiliza segue padrões de produção em todos os seus empreendimentos (ou mesmo quando o empreendimento é caracterizado como sendo de larga escala), e assim, tais projetos podem ser encarados como meios para se obter um procedimento de qualidade interno da empresa. No entanto, especificamente neste trabalho, as diretrizes propostas são abordadas como sendo, especificamente, informações características de Projetos para Produção, voltados para as atividades de montagem no canteiro de obras, de maneira que seu uso como procedimento irá variar de acordo com os empreendimentos, ou seja, únicos ou em larga escala.

Assim, listam-se abaixo diretrizes gerais, com o intuito de se estabelecer pré-requisitos que subsidiem a elaboração dos Projetos para Produção e, especificamente, de montagem de edificações residenciais em *LSF*. Após as diretrizes gerais, são listadas diretrizes específicas a respeito das atividades de produção que podem ser utilizadas para a elaboração dos Projetos para Montagem de vários sistemas da edificação, no sentido de se estabelecer um padrão de sequência de atividades, materiais e ferramentas necessárias.

7.1.1 DIRETRIZES GERAIS PARA ESTRUTURAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS

As diretrizes gerais listadas abaixo tratam basicamente da forma de apresentação das informações que constarão nos Projetos para Produção. São diretrizes que podem ser aplicadas para o desenvolvimento de todos estes projetos, com o objetivo de proporcionar

maior controle sobre a produção e clareza na disposição das informações a partir da criação de padrões de apresentação. Dessa maneira seguem abaixo as diretrizes gerais:

a) Para o início do desenvolvimento dos Projetos para Produção e para Montagem, é imprescindível que estes sigam rigorosamente as informações geradas por cada disciplina de projeto, obedecendo aos tipos de perfis que serão utilizados, as dimensões, os materiais utilizados e a disposição dos elementos e componentes;

b) Com relação aos aspectos físicos gerais dos Projetos para Produção, é conveniente que se utilizem pranchas com papéis no formato A3 (se as dimensões da estrutura em questão assim permitirem) e, se possível, papel no formato A4, para que os profissionais do canteiro de obras tenham facilidade na consulta e manejo dos projetos;

c) Tendo em vista a utilização de pranchas em formatos A4 e A3, os Projetos para Produção devem ser organizados em um Caderno de Montagem organizados por um índice. As pranchas e as informações textuais deverão ser impressas no sentido “paisagem”;

d) No Caderno de Montagem, as pranchas em papel A3 deverão ser dobradas de maneira que se igualem ao tamanho do papel A4, com a impressão no sentido “paisagem”;

e) Com relação ao índice do Caderno de Montagem, sugere-se que este seja organizado a partir de um conteúdo estruturado em:

- listagem geral de materiais necessários e seus respectivos quantitativos;
- listagem geral de ferramentas necessárias;
- equipamentos de proteção individual necessários;
- planta de identificação dos painéis;
- diretrizes e detalhes gráficos para a montagem de cada sistema da edificação;

f) Considerando a planta de identificação dos painéis, esta deverá ser estruturada da seguinte forma:

- Desenho com a disposição final de fixação dos painéis (estruturais e de vedação);

- Nesta planta, cada painel deverá ser identificado por um símbolo estruturado pela combinação de um retângulo com um triângulo;
- Neste símbolo deverá ser informado, no retângulo, se o painel é estrutural ou de vedação e o tipo de vedação que deverá receber. No triângulo deverá ser informado o número do painel;
- A palavra estrutural para se adequar ao símbolo, deverá ser abreviada para “Est.”. E a palavra vedação, pelo mesmo motivo, deverá ser abreviada para “Ved.”
- As palavras que identificam o tipo de vedação também serão abreviadas e estar entre parênteses, como se segue: *OSB – (OSB)*; Gesso Acartonado – (GA); Placa Cimentícia – (PC);
- Os números de identificação deverão ser contínuos e crescentes no sentido horário.

g) Em cada representação gráfica dos Projetos para Produção e para Montagem (em cada prancha) deverão conter:

- desenhos, de preferência em três dimensões, sendo que serão, obrigatoriamente, em três dimensões quando forem Projetos para Montagem, que deverão ser desenvolvidos, no mínimo, na escala 1:50. Os desenhos deverão representar, da maneira mais fiel possível, as peças que serão utilizadas para a composição da estrutura em questão, de maneira que fique claro ao profissional do canteiro de obras a posição final de instalação;
- carimbo de informações contendo:
 - título do projeto que deve ser relativo à estrutura que está sendo representada;
 - legenda para a decodificação de códigos que deverão ser utilizados para a identificação das peças;
 - lista de ferramentas exclusivas para a produção da estrutura em questão;
 - lista de parafusos que serão utilizados bem como a quantidade total prevista de uso de cada um, ou outro material necessário para a fixação de peças;
 - quantidade de operários necessários para a atividade proposta, bem como a especialidade de cada um;

- tempo previsto para a conclusão da produção da estrutura representada na prancha, fornecendo o dia e o horário de início e conclusão do serviço;
 - o local de produção da estrutura (dependendo do layout do canteiro de obras);
 - o meio de transporte do elemento até seu local de fixação.
- desenhos em vista explodida, no caso dos Projetos para Montagem, de maneira que a perspectiva adotada permita a visualização de todos os componentes da estrutura e da sequência de montagem. Estes desenhos deverão ser estruturados da seguinte forma:
- cada peça que compõe a estrutura em questão deve ser representada, de maneira que tais peças estejam dispostas para indicarem tanto a sequência de montagem quanto a posição correta de fixação;
 - como o desenho é feito em vista explodida, a posição correta de fixação deve ser mostrada por uma linha tracejada que deverá ligar as peças que devem ser conectadas;
 - nas extremidades das linhas tracejadas, devem ser colocadas letras minúsculas do alfabeto, com o intuito de eliminar possíveis dúvidas a respeito de quais peças devem estar conectadas entre si, facilitando o encaixe;
 - ao longo das linhas tracejadas deverão constar qual o tipo de parafuso que deve ser utilizado para tal conexão e quantidade necessária para isso. Sugere-se a adoção de letras minúsculas do alfabeto grego (α , β etc.) para a identificação de cada tipo de parafuso no desenho, precedida dos números que correspondem a quantidade utilizada em cada fixação;
 - cada peça que compõe o elemento estrutural deverá ser nomeada e sugere-se o seguinte código:

Xy C – n (Z), onde:

Xy – Abreviação para a classificação do tipo da peça (guia, montante etc.);

C – Sequência de utilização da peça dentro de sua classificação;

n – Ordem de montagem (1,2,3,...,n);

(Z) – Tipo da seção do perfil ou material que compõe a peça.

- Juntamente com o desenho em vista explodida, deverá estar representado o desenho da estrutura concluída, se possível, na mesma direção da perspectiva adotada para as sequências de montagem. Neste desenho deverão constar as principais distâncias entre componentes;
- No caso de elementos que se repetem, identicamente, por várias vezes na edificação e as atividades de montagem são exatamente as mesmas (como as tesouras), deve-se indicar no desenho a quantidade de vezes que a montagem deverá se repetir;
- Eventualmente pode ser necessário que elementos, nas condições em que se inserem as tesouras, por exemplo, sofram modificações em virtude da arquitetura da cobertura. Assim, no carimbo do desenho deverá ser indicado o tipo de tesoura que está sendo montada atribuindo letras maiúsculas do alfabeto.

h) Cada prancha deverá ser antecedida ou precedida de informações textuais (diretrizes específicas) que deverão interpretar o desenho, fornecendo:

- a sequência de produção por meio das atividades que devem ser executadas;
- ferramentas necessárias para cada atividade e;
- como cada componente deverá ser fixado para que a estrutura seja formada;

i) No caso da montagem das tesouras (se assim o for) deverá ser indicado na prancha, o número de vezes que esta montagem deverá se repetir, estando, obviamente, em consonância com o cálculo estrutural;

7.1.2 DIRETRIZES ESPECÍFICAS E DETALHES GRÁFICOS

As diretrizes específicas listadas abaixo tratam de padrões relacionados às atividades de construção de residências unifamiliares em *LSF*, especialmente as atividades de montagem dos principais elementos da edificação. Sugere-se que tais diretrizes devam compor os Projetos para Produção como complementação das informações dispostas nos detalhes gráficos. Cabe destacar que os detalhes gráficos que serão demonstrados não estão em escala, e representam exemplos de utilização de uma parte das diretrizes gerais propostas para a apresentação dos desenhos, e que mostram a montagem dos principais elementos que compõem uma habitação unifamiliar em *LSF*. Dessa maneira seguem abaixo as diretrizes específicas e detalhes gráficos:

7.1.2.1 Mesa de montagem e fundação tipo radier

1.1 - Com relação à mesa de montagem, esta pode ser fabricada com dimensões que podem variar no comprimento e na largura. Porém, tendo em vista as dimensões dos componentes de uma edificação residencial de até dois pavimentos, a mesa poderá ser fabricada com 3m de largura por 6m de comprimento em madeira compensada. Nesta mesa deverão ser colocadas guias de madeira, ortogonais entre si, de maneira que seja formado um retângulo que consiga atender às dimensões de todos os painéis e demais estruturas necessárias para a obra.

1.2 – O radier é uma estrutura a parte do *LSF* por ser em concreto armado e suas medidas, detalhes construtivos e quantitativo de materiais devem seguir rigorosamente o projeto estrutural do mesmo. De maneira geral é necessário que o radier seja executado com, no mínimo, 15,00 cm de espessura, sendo que todos os nichos necessários para a passagem de tubulações das instalações prediais sejam previstos antes da concretagem. Há a necessidade também de a superfície do radier ser o mais plana possível para a fixação das guias. Para isso podem ser empregadas desempenadeiras mecânicas ou outras ferramentas que permitam a exsudação do concreto.

7.1.2.2 Locação das guias inferiores dos painéis no radier

2.1 – A locação das guias inferiores dos painéis (estruturais e de vedação) deverá seguir rigorosamente as distâncias previstas no projeto arquitetônico;

2.2 – A locação deverá ser demarcada no radier de duas formas plausíveis, a primeira maneira segue as seguintes orientações:

2.2.1 – Com o auxílio de uma trena comum, tira-se uma medida com relação à borda do radier. Esta medida representa o distanciamento da edificação com relação à borda do radier, de forma que esta distância pode ser marcada com um lápis ou giz;

2.2.2 – Com esta primeira medida de referência devem ser traçadas duas linhas paralelas que representam a largura de uma das guias inferiores (gabarito para posterior fixação das mesmas), visto que esta primeira guia pode ser qualquer uma que compõem a edificação, porém o ideal é que se inicie por um dos cantos do edifício. Estas linhas devem ser traçadas com o auxílio de giz de linha que demarcarão o comprimento de cada guia e, conseqüentemente, as demais medidas podem ser demarcadas;

2.3 – A segunda maneira segue as seguintes orientações:

2.3.1 – Coloca-se uma régua metálica na borda do radier. Com um medidor de distância a laser também posicionado na borda do radier, afasta-se a régua gradativamente até que o aparelho eletrônico indique o distanciamento (com três casas decimais) necessário da guia inferior com relação à borda do radier;

2.3.2 – Estando a régua na posição desejada, posiciona-se o nível a laser no local em que se encontra a régua, de maneira que o feixe de luz emitido irá demarcar o posicionamento da guia. Como tal aparelho emite feixes perpendiculares, deve-se verificar a ortogonalidade do feixe que irá demarcar as guias posicionando-se o medidor de ângulos digital na borda do radier, onde estará um dos feixes emitidos pelo nível a laser e que servirá de referência para o medidor de ângulos;

2.3.3 – Uma vez verificadas as medidas e a perpendicularidade, deve-se demarcar o gabarito das guias inferiores com a utilização do giz de linha que deverá marcar, em definitivo, a reta determinada pelo feixe de laser do nível;

2.3.4 – Repetem-se estas mesmas atividades para as demais guias, porém a referência de perpendicularidade será sempre a guia anterior e não mais a borda do radier.

2.4 – Para estas atividades devem ser utilizados no mínimo dois operários.

7.1.2.3 Montagem de painéis estruturais

3.1 - De maneira geral, a montagem deve ser iniciada com a colocação da guia inferior na mesa de montagem e, logo após, deve ser fixada a primeira montante, para que a ortogonalidade da estrutura seja garantida;

3.2 - Para garantir a ortogonalidade entre a primeira montante e a guia inferior, deve ser utilizado um medidor de ângulos digital para verificação do ângulo;

3.2.1 – Um dos montantes fixado em uma das extremidades da guia deverá ser parafusado em simetria com o montante ao seu lado. Portanto, um dos montantes de uma das extremidades, deve ser posicionado de maneira contrária aos demais, de maneira que a primeira peça pode ser tanto a que será fixada de maneira contrária quanto a que será fixada na mesma sequência dos montantes internos;

3.3 - Para garantir a distância entre montantes com precisão de até 3 casas decimais, deve ser empregada um medidor de distâncias a laser, a ser utilizada durante a fixação de cada montante;

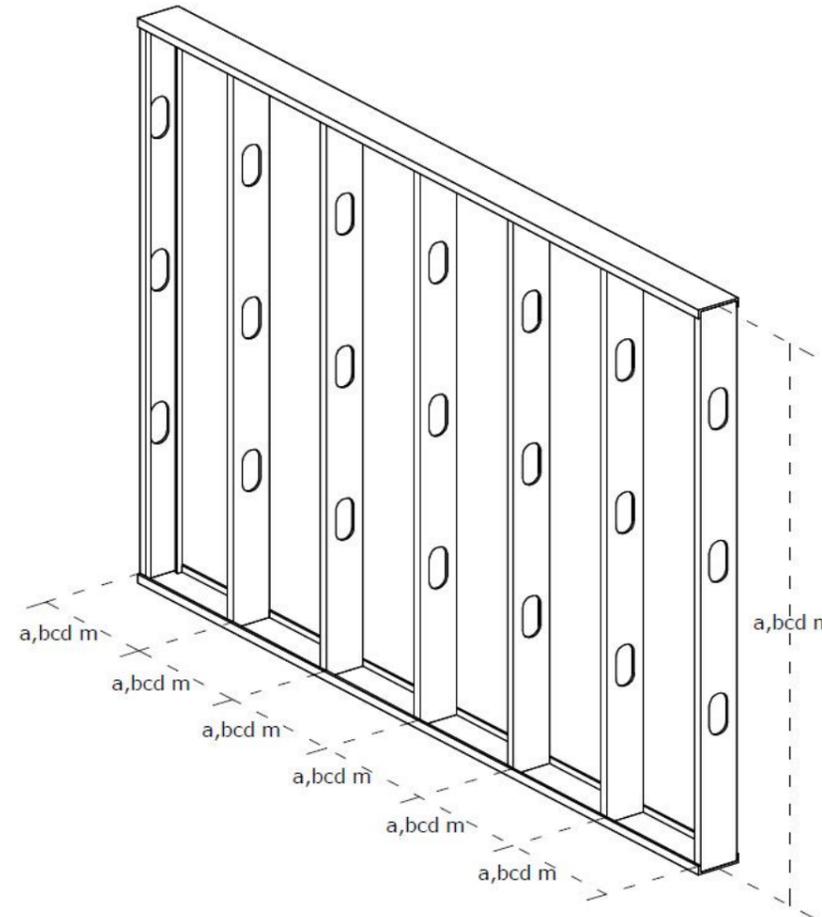
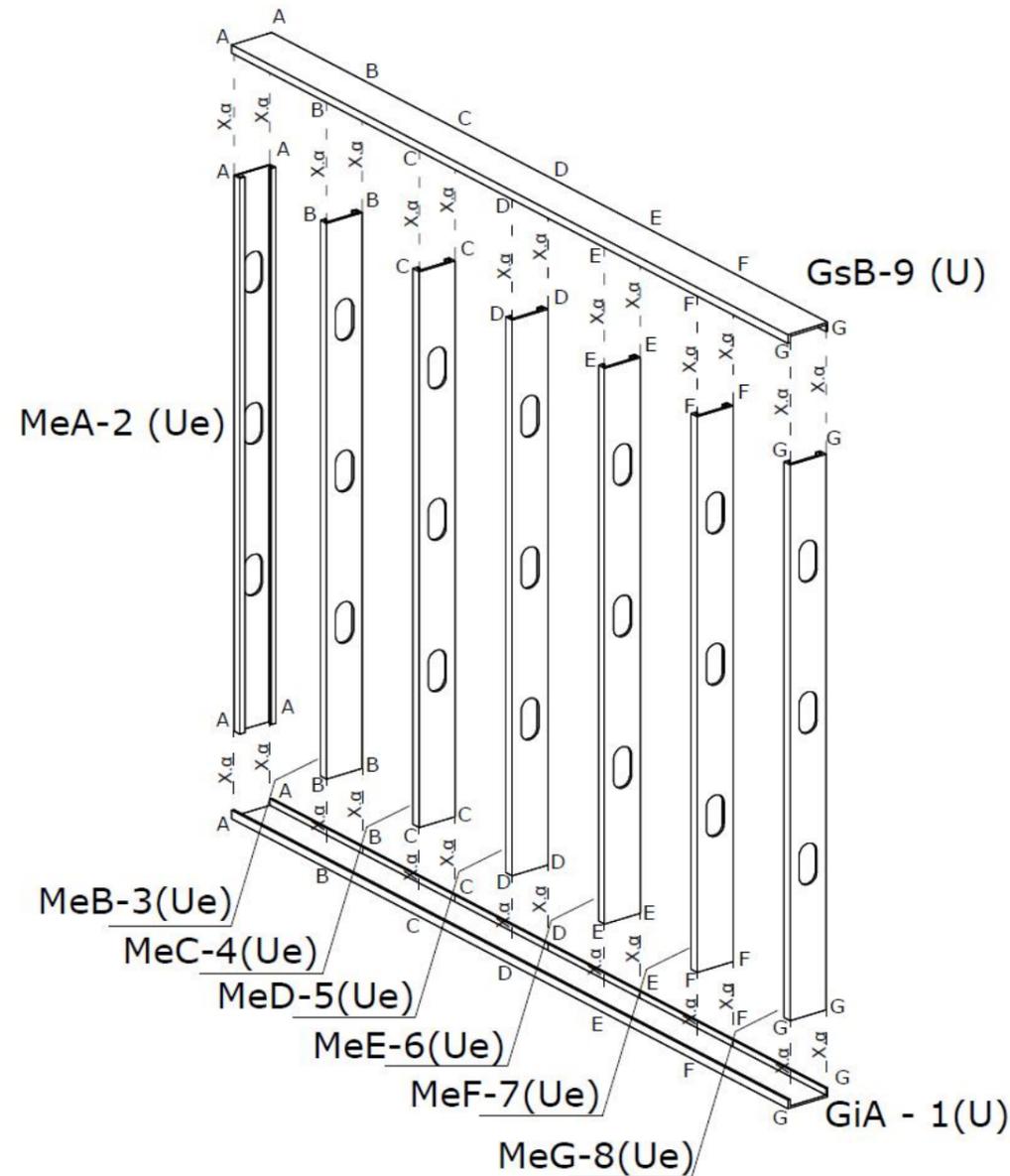
3.4 – Os montantes devem ser fixados sucessivamente, em quantidade de acordo com o projeto estrutural, até o final do painel (final da guia inferior). Após a colocação do último montante, deverá ser fixada a guia superior;

3.5 – Concluída a montagem, é interessante que seja fixado, temporariamente até a instalação da estrutura no radier, um perfil Ue na diagonal do painel para garantir a rigidez da estrutura e o esquadro do mesmo durante seu transporte;

3.6 – Para a fixação dos montantes nas guias inferior e superior devem ser utilizados parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça lenticular e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

3.7 – Eventualmente, pode ser necessária a utilização de fitas metálicas para contraventamento do painel, sendo que estas também podem ser fixadas com parafusos do tipo cabeça lenticular e ponta broca. A composição e o posicionamento do contraventamento estarão previstos no projeto estrutural.

A sequência de montagem deste tipo de elemento está ilustrada na Figura 71.



Montagem do Painel Estrutural nºX s/ Esquadria

Legenda:

Sequência em sua classificação
 Classificação da peça $[Xy \ C-1 \ (U)]$ - Tipo de Perfil
 Ordem de montagem

- Gi - Guia Inferior
- Gs - Guia Superior
- Me - Montante Estrutural

Ferramentas Necessárias:

- Parafusadeira Elétrica
- Medidor de Ângulo Digital
- Trena Eletrônica

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Lente e Ponta Broca (α)
 Quantidade total: Y parafusos

Operários:

Montador Ajudante
 Quantidade: X Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Horas
 Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
 Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Mesa de montagem

Transporte:

Manual, com no mínimo dois operários

Informações da empresa

Figura 71: Montagem de um painel convencional em LSF

7.1.2.4 Montagem de painéis estruturais com esquadrias

4.1 – O início da montagem dessa estrutura segue as diretrizes **3.1, 3.2, 3.3 e 3.4**;

4.2 – Após a fixação do montante imediatamente anterior à abertura para a esquadria deve ser colocada uma ombreira (mesmo perfil das montantes) que terá a altura de fixação da verga superior (no caso de uma janela) da esquadria;

4.3 – Se a esquadria em questão for uma janela, logo após a colocação da ombreira na montante anterior à abertura deve ser fixada, junto à guia inferior, um montante de composição, que deverá ter a altura do peitoril para tal caixilho. A quantidade de montantes de composição é determinada pela largura do caixilho e pela modulação adotada para o *LSF*;

4.4 – Ainda no caso de uma janela, após a colocação do montante de composição deve ser fixada a guia de abertura inferior;

4.4.1 – Há várias configurações para a composição e forma das guias de abertura no sistema *LSF*, de forma que tais peças deverão ser montadas antes de sua instalação no painel;

4.5 – Após a colocação da guia de abertura inferior deverá ser fixado junto à ombreira, a guia de abertura superior que, visando reduzir a diversificação de peças, deverá possuir a mesma forma adotada para a guia de abertura inferior;

4.6 – No mesmo eixo em que se encontra o montante de composição que forma o peitoril da janela (montante de composição inferior), logo acima da guia de abertura superior será fixada a montante de composição superior, cuja altura deverá garantir o apoio para a verga;

4.7 – Com o montante de composição superior instalada deverá ser fixada a verga junto à ombreira;

4.7.1 – Assim como as guias de abertura, as vergas também possuem diversas configuração e composições que podem ser utilizadas no *LSF*, de forma que,

independente do tipo escolhido, esta peça deverá ser montada antes de sua instalação no painel;

4.8 – Após a fixação da verga deverá ser instalada a segunda ombreira que delimitará a abertura da esquadria e possibilitará a continuação da fixação das montantes estruturais;

4.9 – Imediatamente após a fixação da segunda ombreira na verga, guias de abertura e guia inferior, deverá ser instalado o próximo montante estrutural e assim sucessivamente até o final do painel;

4.10 – Após a colocação do último montante deverá ser fixada a guia superior;

4.11 - Para a fixação dos montantes nas guias inferior e superior, fixação de guias de abertura, montantes de composição e vergas devem ser utilizados parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça lenticilha e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

4.12 - Eventualmente, pode ser necessária a utilização de fitas metálicas para contraventamento do painel. Estas também podem ser colocadas com parafusos do tipo cabeça lenticilha e ponta broca;

4.13 – Caso a esquadria em questão seja uma porta, as diretrizes **4.3, 4.4, 4.5 e 4.6** devem ser desconsideradas, além do que, a guia inferior, na região da abertura da porta, deverá ser serrada com uma serra elétrica.

A sequência de montagem deste tipo de elemento está ilustrada na Figura 72.

Montagem de Painel Estrutural nºX c/Esquadria

Legenda:

Sequência em sua classificação
 Classificação da peça $\{Xy\} C-1 (U)$ Tipo de Perfil
 Ordem de montagem

- Gi - Guia Inferior
- Gs - Guia Superior
- Me - Montante Estrutural
- Om - Ombreira
- Ga - Guia de Abertura
- Mc - Montante de Composição
- Pc - Perfil de Composição

Ferramentas Necessárias:

- Parafusadeira Elétrica
- Medidor de Ângulo Digital
- Trena Eletrônica

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Lentilha e Ponta Broca (α)
 Quantidade total: Y parafusos

Operários:

Montador Ajudante
 Quantidade: X Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Dias
 Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
 Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Mesa de montagem

Transporte:

Manual, com no mínimo dois operários

Informações da empresa

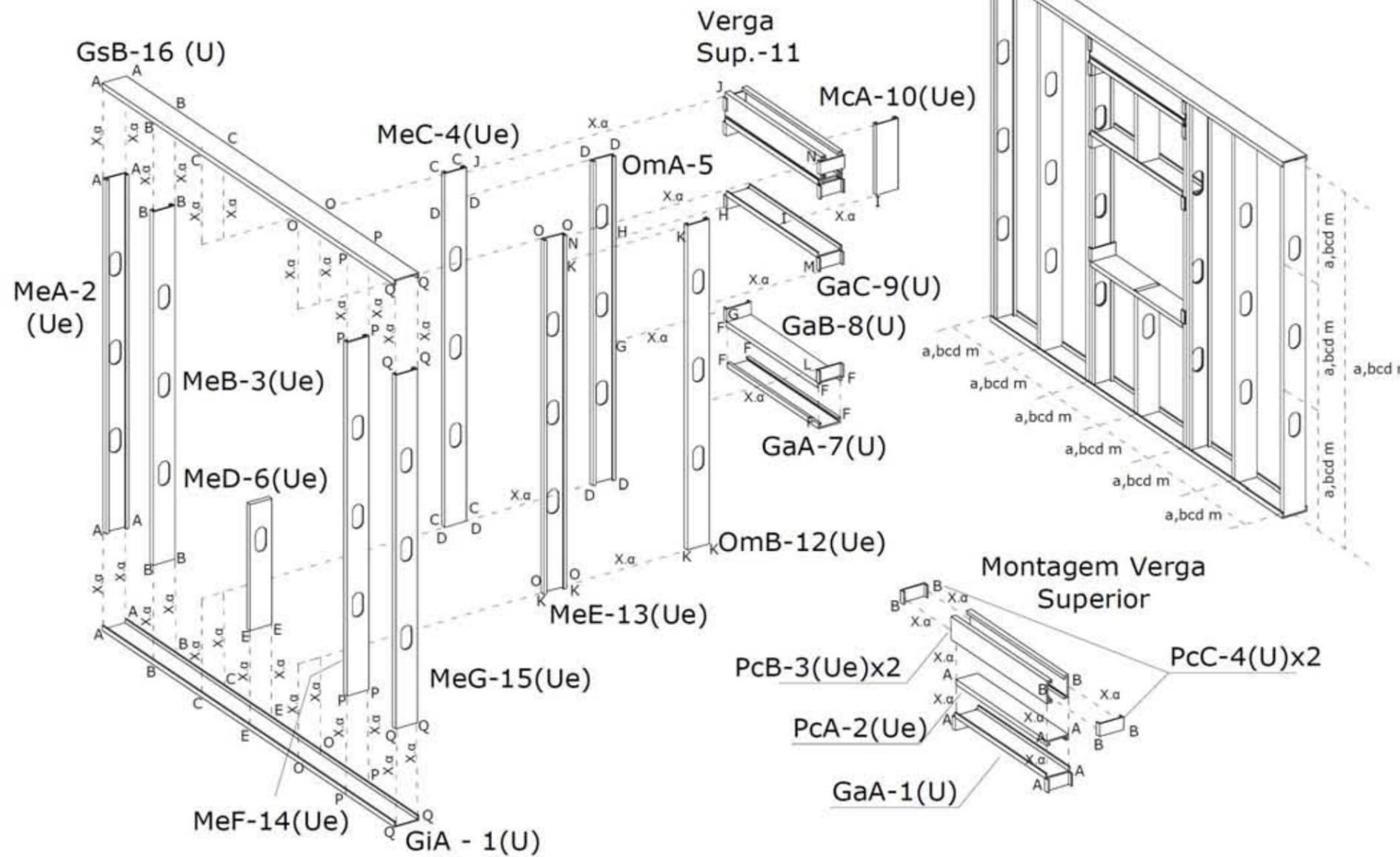


Figura 72: Montagem de um painel estrutural em LSF com esquadria

7.1.2.5 Montagem de painéis para vedação

5.1 – A montagem dos painéis de vedação segue as diretrizes **3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7.**

7.1.2.6 Montagem de painéis de vedação com esquadrias

6.1 - O início da montagem dessa estrutura segue as diretrizes **3.1, 3.2, 3.3 e 3.4;**

6.2 - Após a fixação do montante imediatamente anterior à abertura para a esquadria, se a esquadria em questão for uma janela, deve ser fixada, junto à guia inferior, um montante de composição, que deverá ter a altura do peitoril para tal caixilho. A quantidade de montantes de composição é determinada pela largura do caixilho e pela modulação adotada para o *LSF*;

6.3 - Ainda no caso de uma janela, após a colocação do montante de composição deve ser fixada a guia de abertura inferior;

6.3.1 – Há várias configurações para a composição e forma das guias de abertura no sistema *LSF*, de forma que tais peças deverão ser montadas antes de sua instalação no painel;

6.4 - Após a colocação da guia de abertura inferior deverá ser fixado junto ao último montante fixado, a guia de abertura superior que, visando reduzir a diversificação de peças, deverá possuir a mesma forma adotada para a guia de abertura inferior;

6.5 - No mesmo eixo em que se encontra o montante de composição que forma o peitoril da janela (montante de composição inferior), e logo acima da guia de abertura superior será fixada o montante de composição superior;

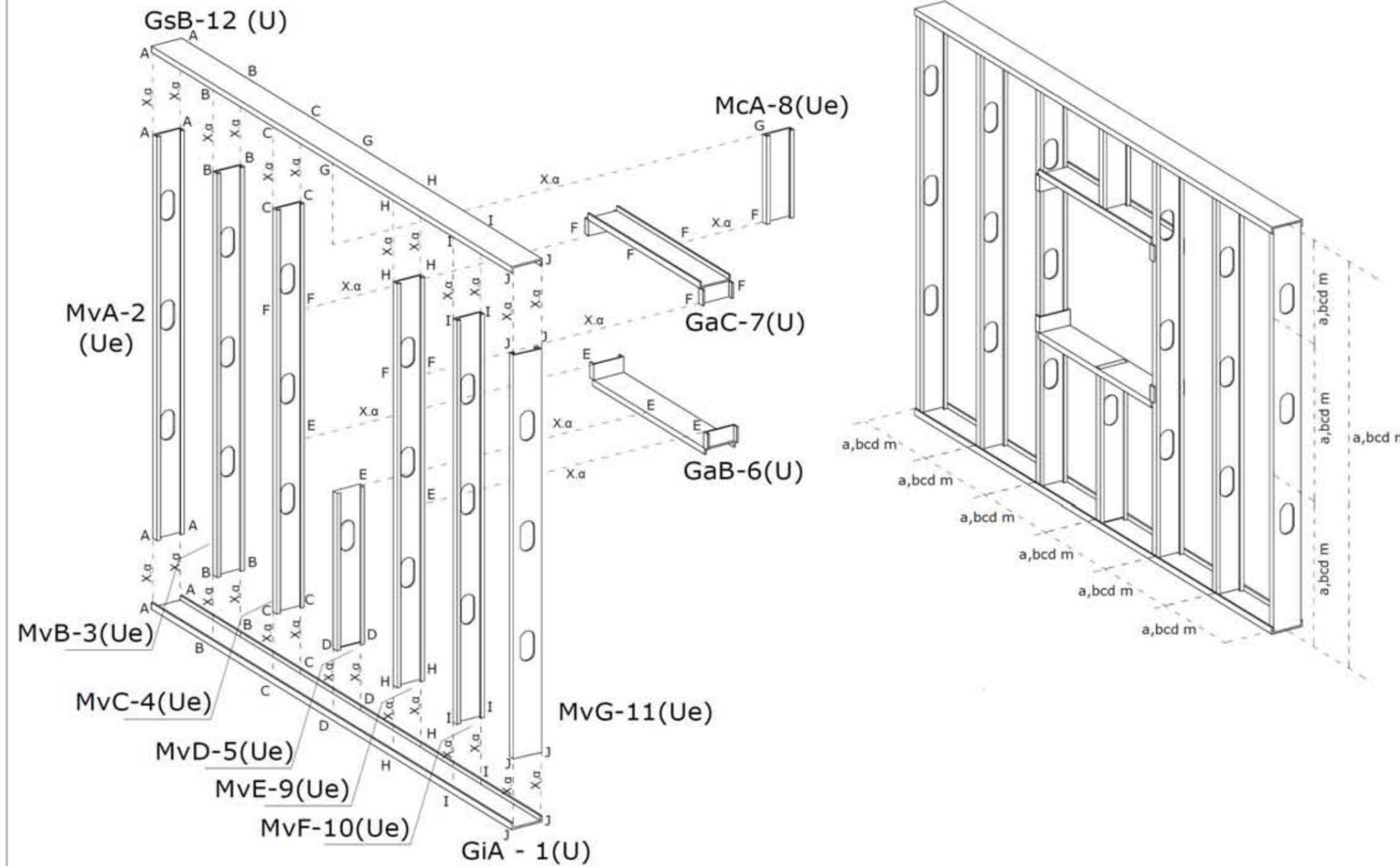
6.6 - Imediatamente após a fixação da guia de abertura superior, deverá ser instalado o próximo montante estrutural e assim sucessivamente até o final do painel;

6.7 - Após a colocação do último montante deverá ser fixada a guia superior;

6.8 - Para a fixação dos montantes nas guias inferior e superior, fixação de guias de abertura e montantes de composição devem ser utilizados parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça lenticilha e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

6.9 – Caso a esquadria em questão seja uma porta, as diretrizes **6.2** e **6.3** devem ser desconsideradas.

A sequência de montagem deste tipo de elemento está ilustrada na Figura 73.



Montagem do Painel Não-Estrutural nºX c/ Esquadria	
Legenda:	
Sequência em sua classificação	
Classificação da peça	Xy C-1 (U) Tipo de Perfil Ordem de montagem
Gi - Guia Inferior	
Gs - Guia Superior	
Mv - Montante Vedação	
Ga - Guia de Abertura	
Mc - Montante de Composição	
Ferramentas Necessárias:	
Parafusadeira Elétrica Medidor de Ângulo Digital Trena Eletrônica	
Parafusos Necessários:	
Parafuso Cabeça Lentilha e Ponta Broca (α) Quantidade total: Y parafusos	
Operários:	
Montador	Ajudante
Quantidade: X	Quantidade: Y
Tempo para Produção:	
X Horas	
Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa	
Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa	
Local de Montagem:	
Mesa de montagem	
Transporte:	
Manual, com no mínimo dois operários	
Informações da empresa	

Figura 73: Montagem de um painel de vedação em LSF com esquadria

7.1.2.7 Fixação dos painéis no radier

7.1 – Para a fixação dos painéis da edificação na fundação é obrigatório que as diretrizes do item **7.1.2.2** tenham sido executadas além de, obviamente, estarem montados todos os painéis;

7.2 – Todos os painéis podem ser transportados manualmente por meio de dois ou mais operários. Ao se levantar o painel para transporte, ambos deverão posicionar uma das mãos embaixo da guia inferior, de maneira que a outra mão fique posicionada acima da cabeça, na apoiada na montante lateral do painel;

7.3 – Todas as guias inferiores dos painéis estruturais e de vedação deverão receber uma fita de material isolante, usualmente de neoprene, na área que estará em contato com o radier, a ser fixada por meio de fita adesiva junto à alma da guia;

7.4 – O início da instalação dos painéis pode ser iniciada com a escolha e colocação de um painel externo que esteja posicionado em um canto da edificação. A partir das linhas de locação no radier, o painel de canto é posicionado e, para garantir o esquadro, é conveniente escorar a estrutura com perfis U ou Ue provisórios. Depois disso deve ser feita a ancoragem provisória com o uso de finca-pino acionado à pólvora, com o cuidado de se verificar que tal ancoragem não coincida com a definitiva;

7.5 – A seguir é selecionado o painel externo ortogonal ao que foi instalado provisoriamente e este é posicionado nas linhas de locação do radier. A seguir são colocados os escoramentos provisórios e a ancoragem provisória, com as mesmas recomendações da diretriz **7.3**;

7.6 – Na sequência são posicionados os demais painéis externos, com as mesmas recomendações descritas na diretriz **7.3**, ou seja, o contorno externo da edificação é executado antes dos painéis internos;

7.8 – Alguns painéis internos podem ser posicionados a fim de fornecerem maior rigidez e apoio para os painéis externos;

7.9 – Após o posicionamento provisório dos painéis, é obrigatória a verificação da ortogonalidade dos mesmos com o radier e a checagem das distâncias entre painéis que formam os ambientes da edificação a partir do projeto de arquitetura. Para isso são utilizados um esquadro digital e uma trena eletrônica;

7.10 – Após as verificações pertinentes é executada a ancoragem definitiva dos painéis nos pontos pré-determinados na guia inferior pelo projeto estrutural. A ancoragem definitiva pode ser feita por meio de barra roscada inserindo adesivo epóxi nos pontos onde a barra será introduzida ao radier.

7.1.2.8 Fixação entre painéis

8.1 – Para esta atividade, é necessário que a locação das guias inferiores no radier esteja concluída, de acordo com as diretrizes do item **7.1.2.2**;

8.2 – No caso do encontro de dois painéis de canto, a fixação deve ser feita da seguinte forma:

8.2.1 – Em um dos painéis (naquele em que a guia inferior avança para o fechamento do canto) deverão ser fixadas duas montantes de encontro, de perfil Ue, no sentido transversal. Estes dois montantes deverão estar posicionados com as abas de enrijecimento opostas entre si;

8.2.2 – O montante de encontro posicionada no lado de fora do painel, deverá ser fixado no montante que compõe o painel propriamente dito (primeira ou última) pela lateral (mesa), além de ser parafusada com a guia inferior também;

8.2.3 – O montante de encontro, posicionada no lado de dentro do painel, que também está fixada na guia inferior, deverá ser fixada em duas montantes:

8.2.3.1 – O montante de encontro interno deve ser fixado na alma da montante que forma o painel ortogonal ao elemento em que estão posicionadas os montantes de encontro;

8.2.3.2 – Este mesmo montante deverá ser fixado no montante do painel que a abriga, parafusando-o pela sua lateral (mesa);

8.2.4 – A guia superior do painel que se conecta com a montante de encontro interna, deverá ser mais longa do que sua guia inferior no valor de 75,00 mm. Esta aba deverá ser sobreposta à guia superior do painel que abriga as montantes de encontro;

8.3 – No caso do encontro de dois painéis formando um “T”, a fixação deve ser feita da seguinte forma:

8.3.1 – O painel principal que irá receber o painel secundário perpendicular a ele deve ser contínuo (guia inferior e superior);

8.3.2 – No ponto onde irá ser fixado o painel ortogonal, na guia inferior do painel principal, deverão estar fixados três montantes de perfil Ue. O primeiro montante faz parte da composição do painel. O segundo montante, perpendicular em relação ao primeiro, serve para fixação do painel secundário e o terceiro montante continua como a composição do restante do painel principal;

8.3.3 – O montante de fixação deve ser parafusado em três pontos:

8.3.3.1 – A primeira fixação deve ser realizada entre almas, ou seja, entre a alma do montante de fixação e a alma do montante lateral que forma o painel secundário;

8.3.3.2 – O segundo e o terceiro ponto localizam-se nas mesas do montante de fixação e devem ser parafusados nas almas dos montantes que compõem o painel principal;

8.4 – No caso do encontro de três painéis, devem-se seguir os mesmos procedimentos das diretrizes **8.3.1**, **8.3.2** e **8.3.3** e suas derivadas **8.3.3.1** e **8.3.3.2**, tendo em mente que haverá o aumento de um montante de fixação para a conexão do segundo painel ortogonal ao principal;

8.5 – Nos três casos possíveis de encontros, o esquadro e as distâncias deverão ser verificados com um medidor de ângulos digital e com um medidor de distâncias a laser;

8.6 – Para todas as fixações devem ser utilizados os parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça lenticilha e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica.

Os detalhes e montagens dos três tipos de encontro estão ilustrados na Figura 74.

Encontro de Painéis

Legenda:

Sequência em sua classificação
 Classificação da peça $[Xy \ C-1 \ (U)]$ Material
 Ordem de montagem

Mn - Montante de Encontro

Ferramentas Necessárias:

Parafusadeira Elétrica
 Medidor de Ângulo Digital
 Trena Eletrônica

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Lentilha e Ponta Broca (α)
 Quantidade total: Y parafusos

Operários:

Montador Ajudante
 Quantidade: X Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Horas
 Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
 Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

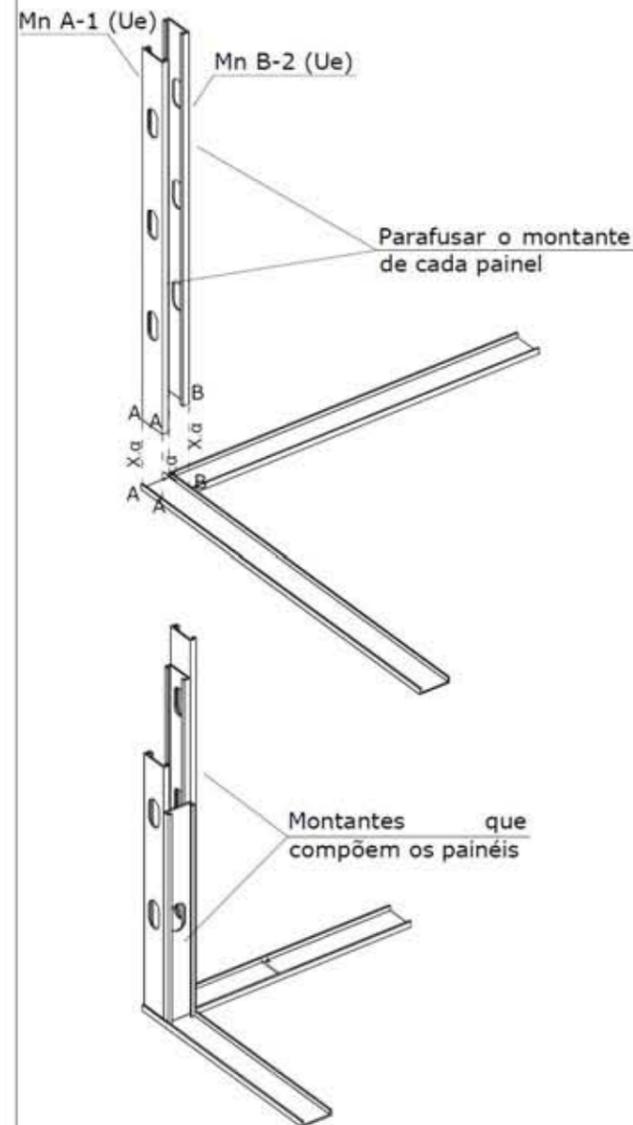
Na própria edificação

Transporte:

Manual, com um ou dois operários

Informações da empresa

Encontro de Painéis de Canto



Encontro de Painéis em "T"

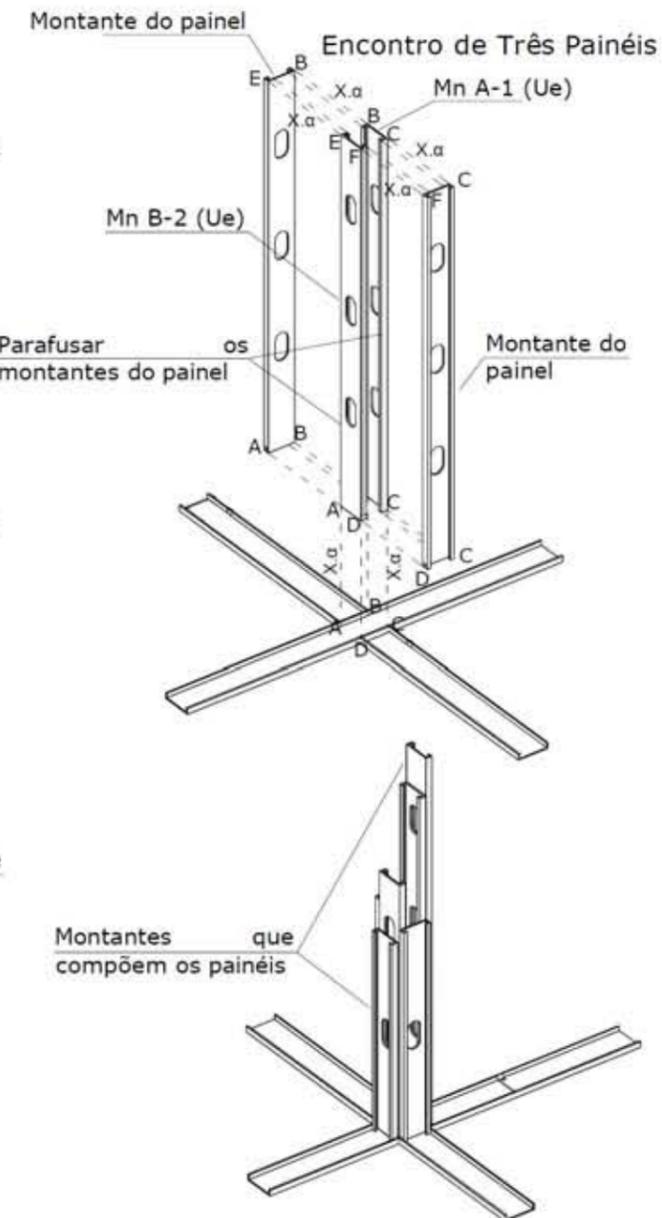
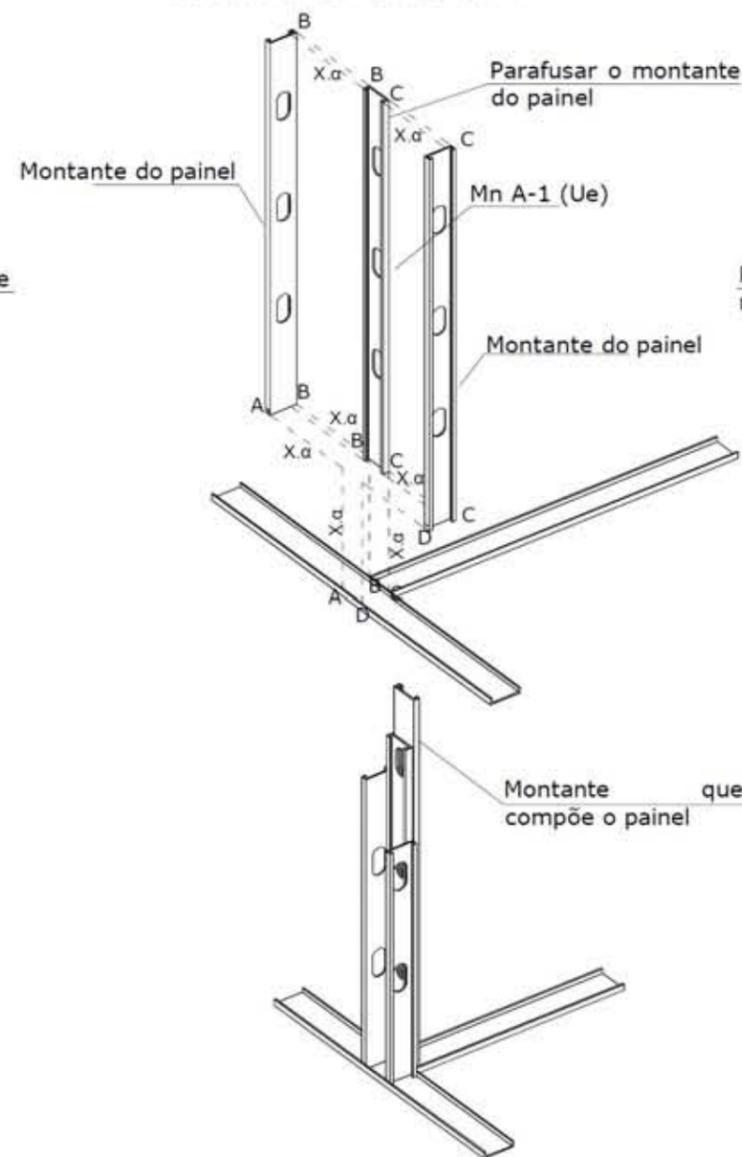


Figura 74: Montagem do encontro de painéis

7.1.2.9 Montagem da escada

9.1 – Para escadas montadas com o método da viga caixa inclinada, a montagem deverá seguir as seguintes diretrizes:

9.1.1 - As atividades devem ser executadas na mesa de montagem;

9.1.2 – A primeira peça a ser montada refere-se à viga caixa que servirá de apoio para os diferentes níveis da escada:

9.1.2.1 - Inicialmente, coloca-se o perfil U inferior da viga caixa sobre a mesa apoiada sobre a ripa de madeira que contorna tal mesa;

9.1.2.2 – Em seguida são fixados os dois perfis Ue que também compõem a viga caixa;

9.1.2.3 – O esquadro de ambos os perfis deve ser verificado por meio do medidor de ângulos digital;

9.1.2.4 – A seguir é parafusado o perfil U superior da viga caixa;

9.1.3 – Estando a viga tipo caixa pronta, é necessário que um perfil U (guia) seja dobrado, afim de que os vários níveis da escada seja alcançado:

9.1.3.1 – Em um perfil do tipo U devem-se marcar as medidas, com um medidor de distâncias a laser, do piso e do espelho da escada. Para a marcação pode ser utilizado canetas do tipo “pincel atômico”, de maneira que o traço de marcação pode ser feito com o auxílio de uma régua;

9.1.3.2 – A seguir, com as medidas marcadas, devem ser feitos dois cortes, para cada marcação, nas mesas do perfil U, com o intuito de permitir a dobragem. Este corte pode ser feito com uma serra elétrica;

9.1.3.3 – Com o cortes nas mesas, a guia deve ser dobrada manualmente no local demarcado pelo pincel. Para facilitar a dobra,

um operário deve apoiar um perfil (U ou Ue) no local da dobra, assim, o segundo operário realiza um trabalho deslocando a ponta que estava segurando até que esta parte fique à 90° do ponto inicial;

9.1.3.4 – Esta atividade deve ser repetida para as demais marcações, de maneira que o esquadro das dobras deve ser verificado por meio de um medidor de ângulos digital;

9.1.4 – Com as dobras completadas, a guia deve ser fixada nas vigas tipo caixa;

9.1.5 - Para a fixação dos perfis que compõem a viga tipo caixa e fixação da guia dobrada, devem ser utilizados os parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

9.3 - Para escadas montadas com o método do painel escalonado, a montagem deverá seguir as seguintes diretrizes:

9.3.1 – As atividades devem ser executadas na mesa de montagem;

9.3.2 – Inicialmente, coloca-se a guia inferior sobre a mesa apoiada sobre a ripa de madeira que contorna tal mesa;

9.3.3 – Os montantes (de alturas diferentes) devem ser fixados na guia inferior, iniciando pelo montante de menor altura;

9.3.3.1 – A distância entre os montantes deverá ser verificada por meio do uso de um medidor de distância a laser;

9.3.3.2 – O esquadro entre os montantes e a guia inferior deverá ser averiguado através de um medidor de ângulos eletrônico;

9.3.4 – Uma vez parafusadas os montantes, deve-se fixar as guias superiores:

9.3.4.1 – As guias superiores são fixadas entre dois montantes de mesma altura, de maneira que cada nível da escada terá uma guia superior apoiada sobre as duas montantes que formam tal nível;

9.3.4.2 – O nível de cada guia superior deverá ser verificado com um medidor de ângulos digital, tendo como referência as montantes já instaladas;

9.3.5 – Concluída a montagem do painel escalonado, é necessário que sejam montados os painéis para o piso:

9.3.5.1 – Estes painéis também devem ser montados sobre a mesa de montagem e os serviços devem ser iniciados com o posicionamento do perfil Ue em um dos cantos da mesa;

9.3.5.2 – Uma vez posicionado, o perfil U deve ser fixado, de maneira que o esquadro entre as duas peças deverá ser verificado com o uso do medidor de ângulos digital;

9.3.5.3 – A terceira peça a ser parafusada é representada pelo segundo perfil Ue, este também deve ser fixado no perfil U e o esquadro verificado com a mesma ferramenta descrita;

9.3.5.4 – A última peça a ser fixada é o segundo perfil U;

9.3.6 – Estando os painéis escalonados e os painéis de piso concluídos, estes últimos devem ser parafusados sobre as guias superiores dos painéis escalonados;

9.3.7 – Para a fixação dos montantes na guia inferior, fixações entre montantes, guias superiores e painéis de piso, devem ser utilizados os parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

9.3 - Para escadas montadas com o método do painel com inclinação, a montagem deverá seguir as seguintes diretrizes:

9.3.1 – Deve-se seguir a diretriz **9.2** e suas derivadas, considerando que a guia superior, neste caso, é um perfil do tipo U inteiro, que será fixado com a inclinação necessária para a escada;

9.3.1.1 – A inclinação da escada, neste caso, é determinada pelo corte efetuado na parte superior das montantes que estará em contato com a guia superior, garantindo-lhe a inclinação necessária;

9.3.2 – No caso dos desníveis que formam os pisos e espelhos da escada, estes devem ser obtidos com a diretriz **9.1.3** e suas derivadas;

9.3.3 – A seguir a guia dobrada deve ser parafusada no painel inclinado;

9.3.4 - Para a fixação dos montantes na guia inferior, fixações entre montantes guias superiores e painéis de piso devem ser utilizados os parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

9.3.5 – A escada, quando concluída na mesa de montagem pode ser transportada manualmente até o seu local de fixação final. Para isso, quatro operários devem ser posicionados em cada canto inferior da estrutura, assim, os operários devem erguê-la com uma ou duas mãos e transporta-la até o local.

Na Figura 75 está ilustrada a montagem da escada a partir de painéis escalonados.

Montagem da Escada Tipo Painel Escalonado

Legenda:

Sequência em sua classificação
 Classificação da peça $Xy \begin{matrix} \lceil \\ \text{C-1} \\ \lfloor \end{matrix} (U)$ Tipo de Perfil
 Ordem de montagem

- Ms - Montante Escalonada
- Gi - Guia Inferior
- Gs - Guia Superior
- Pp - Perfil do Painel para Piso
- Gp - Guia do Painel para Piso

Ferramentas Necessárias:

- Parafusadeira Elétrica
- Medidor de Ângulo Digital
- Trena Eletrônica

Parafusos Necessários:

- Parafuso Cabeça Sextavada e Ponta Broca (β)
- Quantidade total: Y parafusos

Operários:

- | | |
|---------------|---------------|
| Montador | Ajudante |
| Quantidade: X | Quantidade: Y |

Tempo para Produção:

- X Horas
 Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
 Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Mesa de montagem

Transporte:

Manual com, no mínimo, dois operários

Informações da empresa

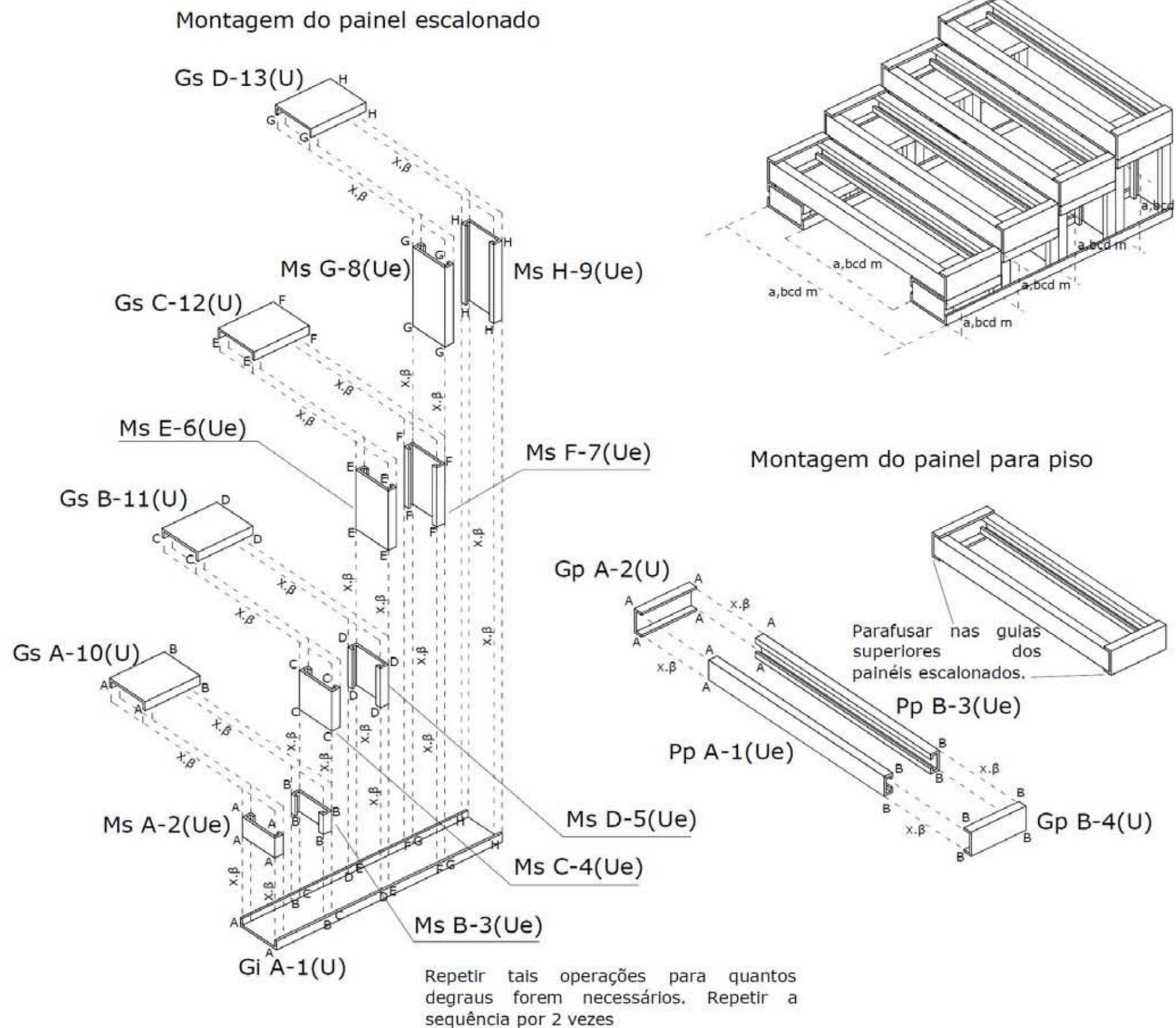


Figura 75: Montagem de escada com painel escalonado

7.1.2.10 Montagem da laje para piso

10.1 – Para o início da montagem da laje, todos os painéis inferiores da edificação deverão estar concluídos e instalados em seus devidos lugares;

10.2 – De maneira geral a montagem da estrutura da laje deve ser iniciada com a fixação das sanefas sobre as guias superiores dos painéis inferiores, sendo que todas as peças necessárias podem ser transportadas manualmente pelos operários;

10.3 – Para garantir a ortogonalidade entre a sanefa e a guia superior, deve ser utilizado um medidor de ângulos digital para verificação;

10.4 – Após a fixação e verificação das sanefas deverão ser instaladas as vigas de piso;

10.4.1 – Obrigatoriamente, as vigas de piso serão fixadas somente após a conclusão da instalação das sanefas, de maneira que as vigas de piso da laje de um cômodo residencial convencional, de forma retangular, deverão ser fixadas em duas sanefas que estarão posicionadas em lados opostos. As bordas dos lados ortogonais a estas sanefas poderão ser compostas por vigas tipo caixa, se assim o projeto estrutural solicitar;

10.4.2 – As vigas tipo caixa admitem várias composições, como demonstrado no capítulo 2, que podem ser utilizadas no *LSF*, de forma que, independente do tipo escolhido, esta peça deverá ser montada antes de sua fixação nas sanefas;

10.5 - Para garantir a distância entre as vigas de piso com precisão de até 3 casas decimais, deve ser empregada um trena digital a ser utilizada durante a fixação de cada viga;

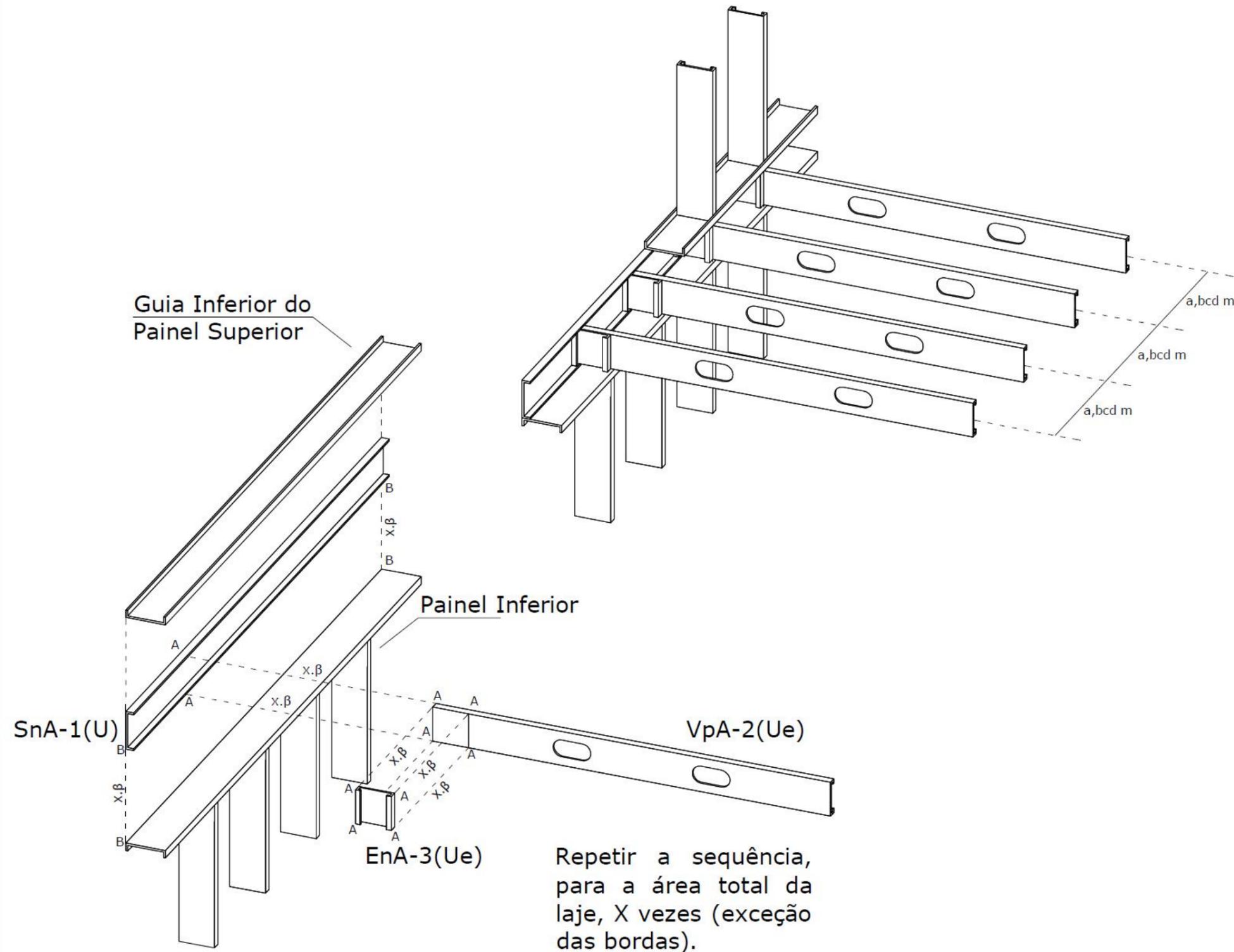
10.6 – Após a fixação e verificação do esquadro das vigas de piso, deverão ser parafusados os enrijecedores de alma em cada encontro sanefa-viga de piso;

10.7 - Para a fixação das sanefas nas guias superiores dos painéis, das vigas de piso nas sanefas e dos enrijecedores de alma nas vigas de piso devem ser utilizados os parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

10.8 – Eventualmente, pode ser necessária a utilização de algum tipo de contraventamento horizontal na laje que deverá obedecer as solicitações do projeto estrutural.

A sequência de montagem deste tipo de elemento está ilustrada na Figura 76.

Montagem da Laje de Piso



Legenda:

Sequência em sua classificação

Classificação da peça $[Xy \overset{\perp}{C-1} (U)]$ Tipo de Perfil

Ordem de montagem

- Sn - Sanefa
- Vp - Viga de Piso
- En - Enrijecedor de Alma

Ferramentas Necessárias:

- Parafusadeira Elétrica
- Medidor de Ângulo Digital
- Trena Eletrônica
- Escada

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Sextavada e Ponta Broca (β)

Quantidade total: Y parafusos

Operários:

Montador	Ajudante
Quantidade: X	Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Horas

Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Na própria edificação

Transporte:

Manual, cada viga de piso deve ser erguida e apoiada entre as sanefas para posterior fixação

Informações da empresa

Figura 76: Montagem da laje convencional em LSF

7.1.2.11 Montagem da laje para piso com desnível

11.1 – A montagem de lajes com desníveis segue exatamente as diretrizes do item **7.1.2.10**. A única diferença é que as vigas que irão compor o desnível possuem altura diferente das demais vigas de piso;

11.2 – No ponto de transição entre vigas de altura diferente, ambas devem ser fixadas com parafusos colocados em sua alma;

11.2.1 – No ponto exato onde é necessário o desnível, as vigas de piso deixam de ter uma determinada altura e passam a ter outra de menor dimensão, de maneira que a primeira viga de menor altura é fixada na última viga de maior altura, sendo que isto se repete para a última viga de menor altura (fim do desnível), a qual será parafusada junto à primeira viga de maior altura.

7.1.2.12 Montagem da laje com balanço

12.1 – Lajes em balanço, com as suas vigas na mesma direção das vigas de piso, diferem das lajes tradicionais apenas no comprimento dos perfis que irão formar tal balanço. Assim, a montagem deve seguir todas as diretrizes do item **7.1.2.10**, obedecendo à sequência de instalação das vigas de piso que consta no projeto estrutural, com as seguintes ressalvas:

12.1.1 – Em contraposição à diretriz **10.4.1**, nas regiões onde se encontram os balanços, as primeiras peças a serem fixadas são as vigas de piso e após isto, são parafusadas as sanefas e os enrijecedores de alma;

12.1.1.1 – Após a fixação da viga de piso imediatamente anterior ao balanço, devem ser fixadas, nas guias superiores dos painéis inferiores, as vigas de piso que irão compor o balanço;

12.1.1.2 – Devido à ausência da sanefa sobre a guia superior, as vigas em balanço poderão ser conectadas às tais peças por meio de cantoneiras, ou parafusadas em pontos localizados em sua mesa que ficará em contato com a guia;

12.1.1.3 – Após a fixação das vigas em balanço e a verificação de espaçamento com o medidor de distância a laser, deve ser fixada a sanefa. Tal fixação pode ser feita em pontos localizados na mesa das vigas em balanço;

12.1.1.4 – Finalizada a instalação da sanefa, a próxima atividade é a fixação dos enrijecedores de alma, que podem ser parafusados em pontos localizados em sua alma;

12.1.2 – Não se deve exceder um balanço maior do que metade do comprimento estabelecido para as vigas de piso que se estendem entre apoios;

12.2 – Para lajes em balanço com direção diferente das vigas de piso a montagem deve ser feita da seguinte forma:

12.2.1 – A viga imediatamente anterior ao balanço com direção oposta ao vigamento da laje pode ser do tipo caixa. Nela serão fixadas as vigas que irão compor o balanço;

12.2.1.1 – A fixação pode ser feita com perfis cantoneira parafusados na alma, tanto da viga tipo caixa quanto nas vigas em balanço;

12.2.1.2 – A fixação das vigas em balanço na guia superior do painel inferior também pode ser feito com perfis cantoneira parafusados na alma;

12.2.1.3 – Após a verificação de espaçamentos com o medidor de distância a laser e fixação das vigas, deve ser fixada a sanefa, parafusada sobre as mesas das vigas em balanço;

12.2.1.4 – Uma vez concluída a fixação da sanefa, deve ser dada continuidade à colocação das vigas que constituem a laje (que estão em direção oposta ao balanço). Estas também podem ser fixadas por perfis cantoneira parafusados em sua alma;

12.3– Para lajes em balanço com níveis diferentes, a montagem deve ser feita da seguinte forma:

12.3.1 – Deve-se ter em mente as condições do item 7.1.2.10, de maneira que a execução deverá seguir as mesmas diretrizes dos itens 11.1 ou 11.2, com a seguinte ressalva:

12.3.1.1 – As vigas de altura inferior devem transpassar as sanefas que estão sobre as guias superiores. Este corte deve ser feito na alma das sanefas e pode ser executado com o uso de uma serra elétrica;

12.4 - Para todas as fixações descritas, devem ser utilizados os parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica.

7.1.2.13 Montagem da cobertura estruturada com caibros

13.1 – A montagem de coberturas com caibros é iniciada com a composição da cumeeira na mesa de montagem, de acordo com as dimensões da arquitetura e do projeto estrutural;

13.1.1 – Há várias configurações para a composição e forma das cumeeiras para o sistema *LSF*, como foi demonstrado o capítulo 2, de forma que tais peças deverão ser montadas antes de sua conexão com os caibros;

13.1.2 – Para a configuração A, demonstrada na prancha P6, basta que um perfil Ue (estrutural) seja fixado em um perfil U também estrutural;

13.1.3 – Para a configuração B, demonstrada na prancha P6, é necessário que dois perfis Ue (estruturais) sejam fixados, em posição vertical, a um perfil U (estrutural) em posição horizontal. Esta composição deverá receber um perfil U, também estrutural, em posição horizontal a ser fixado por cima dos dois perfis Ue;

13.2 – Uma vez montada a cumeeira, esta deve ser transportada até o local de fixação na edificação onde, normalmente, é apoiada sobre oitões;

13.2.1 – Os oitões devem ser fixados sobre os painéis estruturais que são paralelos à seção transversal da cumeeira;

13.2.2 – A cumeeira pode ser fixada no oitão por meio do uso de chapas (com características que atendam esforços estruturais). Duas chapas são parafusadas nos dois lados da cumeeira, de forma que tal peça deverá promover a ligação entre a cumeeira e o montante que forma o oitão;

13.3 – Estando a cumeeira apoiada sobre os oitões, os caibros devem ser conectados à esta estrutura por meio de cantoneiras;

13.3.1 – Apoia-se uma extremidade do caibro (oposta à cumeeira) no painel da edificação, em seguida posiciona-se a segunda extremidade da peça na cumeeira e então fixa-se a cantoneira;

13.4 - Para garantir a angulação solicitada pelo projeto de arquitetura, para cada caibro, deve ser utilizado um esquadro digital para verificação do ângulo;

13.5 – A sequência de montagem segue para todos os demais caibros, conforme as diretrizes **13.3** e **13.3.1**;

13.6 – A distância entre os caibros deve estar de acordo com o projeto estrutural e deve ser aferida por trena eletrônica com uma precisão de três casas decimais;

13.7 - Para a fixação dos caibros nas cumeeiras por meio das cantoneiras e a fixação das peças que compõem a cumeeira devem ser utilizados parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

13.8 - Eventualmente, pode ser necessária a utilização de fitas metálicas ou perfis para contraventamento da estrutura, sendo que estas também podem ser fixadas com parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca. A composição e o posicionamento do contraventamento estarão previstos no projeto estrutural.

7.1.2.14 Fixação da cobertura estruturada com caibros nos painéis:

14.1 – Após a fixação da cumeeira nos oitões e a conexão dos caibros à cumeeira, é necessário que estes sejam fixados ao respectivo painel estrutural que servirá de apoio da cobertura. A fixação deve ser iniciada colocando-se um enrijecedor de alma (perfil Ue) na face de cada caibro, próximo à guia superior do painel;

14.2 – Após a fixação do enrijecedor de alma, devem ser conectados os perfis cantoneira, de maneira que esta peça conecte o enrijecedor de alma com a guia superior do painel;

14.3 - Para a fixação dos enrijecedores de alma e dos perfis cantoneira devem ser utilizados parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica.

Na Figura 77 está ilustrada tanto a sequência de montagem dos caibros quanto a fixação dos mesmos nos painéis.

Montagem da Cobertura com Caibros

Legenda:

Sequência em sua classificação
 Classificação da peça $\left[\begin{matrix} X & Y \\ C-1 & (U) \end{matrix} \right]$ Tipo de Perfil
 Ordem de montagem

Pm - Perfil de Cumeeira
 Cb - Caibro
 Ct - Cantoneira
 En - Enrijecedor de Alma

Ferramentas Necessárias:

Parafusadeira Elétrica
 Medidor de Ângulo Digital
 Trena Eletrônica
 Escada

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Sextavada e Ponta Broca (β)
 Quantidade total: Y parafusos

Operários:

Montador Ajudante
 Quantidade: X Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Horas
 Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
 Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Cumeeira deve ser montada na mesa de montagem e os caibros devem ser fixados na própria edificação

Transporte:

Todos os componentes podem ser transportados e erguidos manualmente

Informações da empresa

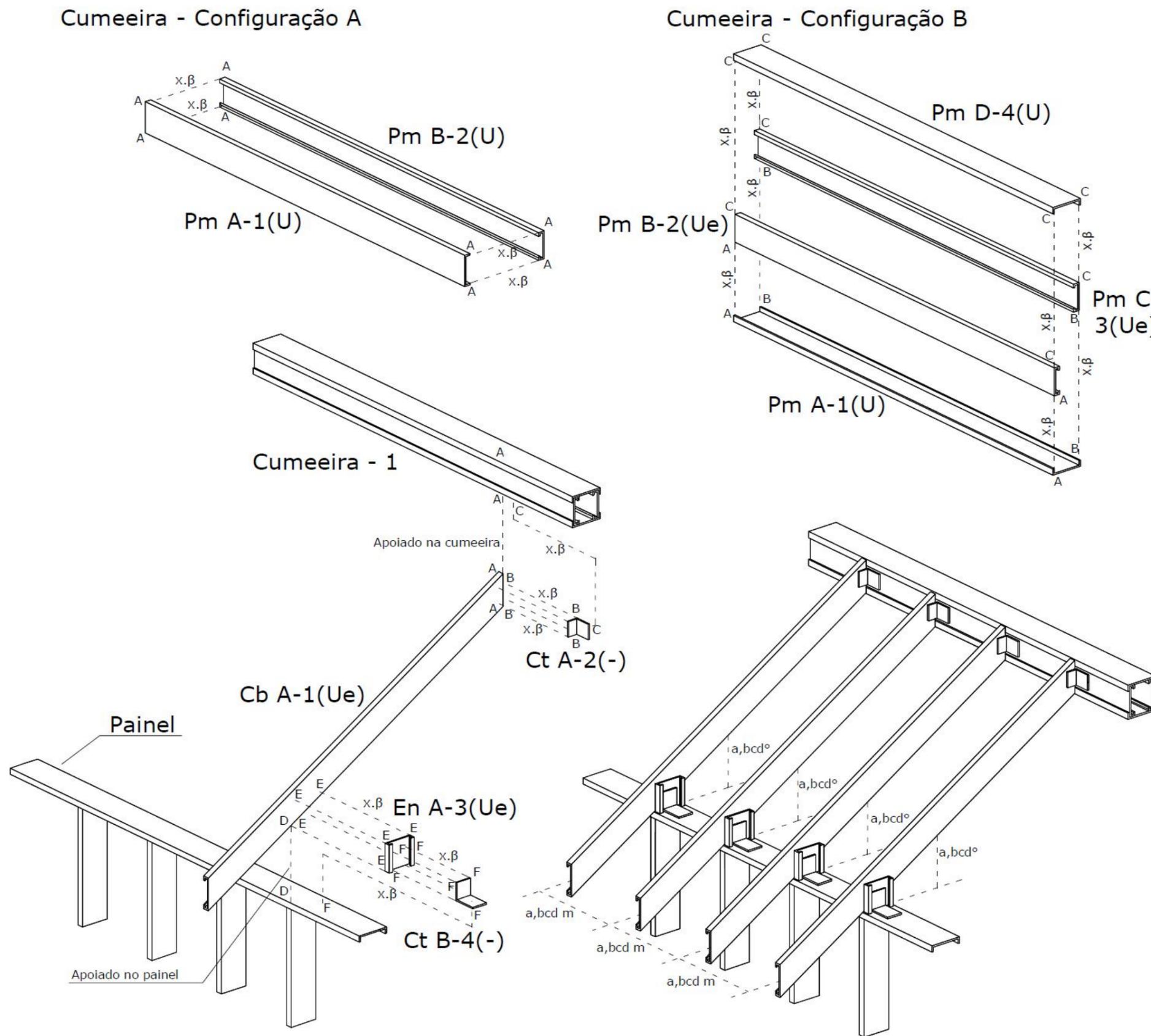


Figura 77: Montagem e fixação de cobertura estruturada com caibros

7.1.2.15 Montagem da cobertura estruturada com tesouras:

15.1 – Na mesa de montagem devem ser fixadas duas ripas de madeira de maneira que formem um ângulo entre si no valor especificado para a inclinação da cobertura no projeto arquitetônico. Essas duas ripas devem ser posicionadas na forma de um triângulo isósceles para que os banzos superiores da tesoura sejam gabaritados logo abaixo delas;

15.2 – O ângulo entre os gabaritos de madeira deve ser verificado por meio de um esquadro digital;

15.3 – Com o ângulo verificado, os dois perfis que compõem os banzos superiores devem ser posicionados sob as duas ripas de madeiras e encaixados entre si;

15.4 – Na sequência deve ser fixado o banzo inferior da treliça;

15.5 – Após a conexão do banzo inferior deve ser colocado o pendural, fixando-o, primeiramente, na junção dos dois banzos superiores e, posteriormente, no banzo inferior;

15.6 – Com o uso da trena eletrônica deve ser conferida a posição de fixação das montantes intermediárias e, uma vez aferidas as distâncias com precisão de três casas decimais, tais montantes devem ser conectadas aos banzos superiores e ao banzo inferior;

15.7 – Na sequência serão fixadas as diagonais. O ângulo determinado pelo projeto estrutural das diagonais deverão ser aferidos pelo esquadro digital;

15.8 - Para a fixação dos banzos superiores, pendural, montantes, diagonais e banzo inferior, devem ser utilizados parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica.

A sequência de montagem deste tipo de elemento está ilustrada na Figura 78.

Montagem da Tesoura Tipo X

Legenda:

Sequência em sua classificação
 Classificação da peça $[Xy \ C-1 \ (U)]$ Tipo de Perfil
 Ordem de montagem

Bs - Banzo Superior
 Bi - Banzo Inferior
 Pe - Pendural
 Mi - Montante Intermediária
 Di - Diagonal

Ferramentas Necessárias:

Parafusadeira Elétrica
 Medidor de Ângulo Digital
 Trena Eletrônica

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Sextavada e Ponta Broca (β)
 Quantidade total: Y parafusos

Operários:

Montador Ajudante
 Quantidade: X Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Horas
 Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
 Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Mesa de montagem

Transporte:

Manual com, no mínimo, dois operários

Informações da empresa

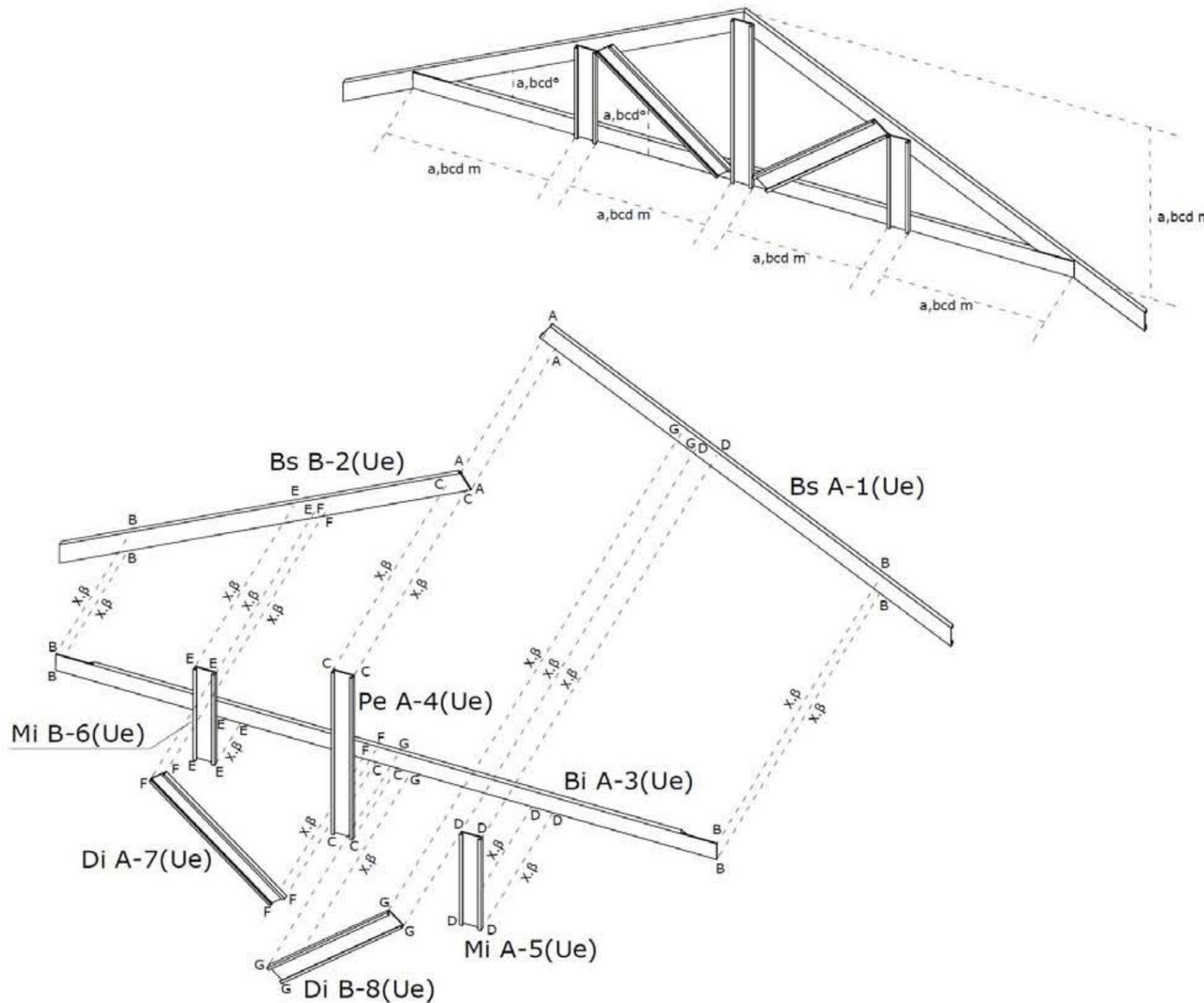


Figura 78: Montagem de cobertura estruturada com tesoura

7.1.2.16 Fixação da cobertura estruturada com tesouras no painel

16.1 – Para a fixação das tesouras nos painéis é recomendado que a montagem de todas as tesouras necessárias esteja concluída. Assim, estas estruturas devem ser transportadas até o seu local de fixação e içadas até a elevação necessária;

16.1.1 – O içamento pode ser realizado por um sistema de polias e cordas, onde a tesoura deve ser erguida em certos pontos (como a junção dos banzos superiores e pendural) onde não haja risco de tombamento. Ou ainda, a estrutura pode ser erguida manualmente por operários até a elevação desejada com o auxílio de andaimes ou dispositivos que garantam a segurança do operário e o alcance da altura necessária para fixação das tesouras;

16.1.2 – Uma prática usual durante o transporte das tesouras em seu local de fixação é içar todas as estruturas que serão utilizadas ao mesmo tempo, para posterior distribuição sobre os painéis. A distribuição das tesouras deve ser verificada com um medidor de distâncias a laser e o esquadro de cada elemento em relação aos painéis deve ser averiguado com o medidor de ângulos digital;

16.1.3 – Após a distribuição das tesouras, pode-se fixar um perfil Ue de travamento ao longo de todas as tesouras, visando maior rigidez ao conjunto. Este perfil é parafusado ao longo de sua alma nos montantes das tesouras;

16.2 – Estando as tesouras apoiadas sobre os painéis, estas devem ser fixadas sobre eles. Para isso deve ser fixado um enrijecedor de alma (perfil Ue) na face de cada banzo superior, próximo à guia superior do painel;

16.3 - Após a fixação do enrijecedor de alma, devem ser conectados os perfis cantoneira, de maneira que esta peça conecte o enrijecedor de alma com a guia superior do painel;

16.4 - Para a fixação dos enrijecedores de alma e dos perfis cantoneira devem ser utilizados parafusos que estarão discriminados no cálculo estrutural. Porém, normalmente são utilizados parafusos do tipo cabeça sextavada e ponta broca que devem ser instalados por meio de uma parafusadeira elétrica;

16.5 – A fixação das demais tesouras é feita da mesma forma, de maneira que a distância entre cada estrutura deve estar de acordo com as medidas do cálculo estrutural e deve ser aferida por trena eletrônica com precisão de três casas decimais.

Na Figura 79 está ilustrada a fixação das tesouras nos painéis.

Tesoura A-1

Fixar todas as tesouras ao longo da alma do perfil

Pt A-4(Ue)

En A-2(Ue)

Ct A-3(-)

Apoiado no painel

Painel

Repetir estas atividades para o painel do lado oposto e para as demais tesouras do tipo A.

a,bcd m

a,bcd m

a,bcd m

Fixação das Tesouras nos Painéis

Legenda:

Sequência em sua classificação

Classificação da peça $[Xy \overset{\text{C-1}}{\text{C}} (U)]$ Tipo de Perfil
Ordem de montagem

Pt - Perfil de Travamento
Ct - Cantoneira
En - Enrijecedor de Alma

Ferramentas Necessárias:

Parafusadeira Elétrica Polias
Medidor de Ângulo Digital Cordas
Trena Eletrônica
Escada

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Sextavada e Ponta Broca (β)
Quantidade total: Y parafusos

Operários:

Montador Ajudante
Quantidade: X Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Horas

Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Na própria edificação

Transporte:

As tesouras devem ser içadas por polias

Informações da empresa

Figura 79: Fixação de tesouras nos painéis

7.1.2.17 Vedação de painéis com placas de gesso acartonado

17.1 – Antes da instalação das placas de gesso, algumas diretrizes gerais, mas que são específicas para essa etapa, devem ser obedecidas;

17.1.1 - A utilização das placas de gesso acartonado requer que todo fechamento externo esteja concluído, bem como as lajes de piso e telhado;

17.1.2 – Todos os ambientes que utilizam as placas de gesso acartonado devem estar protegidos da umidade e, todas as atividades da obra que, por ventura, utilizem água devem estar concluídas;

17.1.3 – As instalações prediais devem estar concluídas;

17.1.4 - As placas a serem utilizadas na edificação devem seguir a paginação prevista no projeto de vedação;

17.1.5 - O transporte das placas pode ser feito manualmente até o local de fixação;

17.1.6 – Todas as placas devem possuir a altura do pé direito da edificação subtraindo-se 10,00mm desse valor. Esta folga deve ser obtida com relação ao piso em questão;

17.1.7 – As juntas entre as placas posicionadas em uma face de determinado painel devem ser desencontradas (amarradas) e não devem coincidir com as juntas das placas posicionadas do outro lado deste mesmo painel. Isto deverá estar previsto no projeto de vedação;

17.2 – No caso da placa necessitar de abertura para esquadrias ou instalações prediais, estas devem ser feitas antes de sua fixação;

17.2.1 – Com o auxílio de uma trena comum e um medidor de ângulos digital, as distâncias das aberturas com relação às bordas das placas devem ser marcadas com um lápis. Com esta referência, os vértices ortogonais das

aberturas devem ser traçadas com a utilização do medidor de ângulos digital e, feito isso, tais vértices são interligados com o auxílio de uma régua metálica;

17.2.2 – Com o contorno das aberturas determinados, os nichos podem ser cortados com um simples estilete ou, mais recomendado, com a utilização de uma serra elétrica portátil apropriada. Também é comum a utilização de serra copo para furos circulares;

17.3 – Estando as placas no local de fixação, estas devem ser posicionadas manualmente contra as montantes do painel e encostando-as no teto

17.4 – As juntas das placas em uma face do painel devem coincidir com as montantes do mesmo. Isto é garantido pelo projeto de vedação em consonância com o projeto estrutural;

17.5 – Com a utilização da parafusadeira elétrica, os parafusos, que neste caso são os parafusos cabeça trombeta e ponta broca, devem ser fixados nas placas com espaçamento mínimo de 25,00 cm a 1,00 cm da borda da placa;

17.5.1 – O local de colocação dos parafusos nas placas pode ser pré-determinado antes da fixação das mesmas. Para isso, em cada placa devem ser traçadas, com um lápis, retas a 1,00 cm das bordas das placas (retas paralelas à borda e na direção da maior dimensão da placa) e, entre tais retas e as bordas, devem ser marcados os pontos de colocação dos parafusos com o auxílio de uma trena comum;

17.5 – Uma vez que todas as placas foram fixadas nos painéis, é necessário que seja feito o tratamento das juntas entre as mesmas. Primeiramente utiliza-se massa de rejunte que deverá ser aplicado por meio de uma espátula metálica, de maneira que o eixo da junta fique destacado (para isso basta retirar o excesso de massa de rejunte com a espátula). Além disso, a massa de rejunte deverá cobrir 7,00 cm de cada lado da junta. Esta largura pode ser demarcada com o auxílio de um lápis e uma régua comum;

17.6 – Com a junta demarcada sob a massa ainda úmida coloca-se a fita de papel microperfurado em toda a extensão da junta, de maneira que a fita fique aderida à massa. Para isso, deve-se pressionar a fita com a espátula;

17.7 – Assim que o conjunto secar deve-se aplicar outra camada da mesma massa, de maneira que esta segunda camada ultrapasse os 7,00 cm da primeira demão;

17.8 – Após a secagem, o resultado final pode ser lixado.

Na Figura 80 está demonstrada a sequência de fixação das placas de gesso acartonado nos painéis.

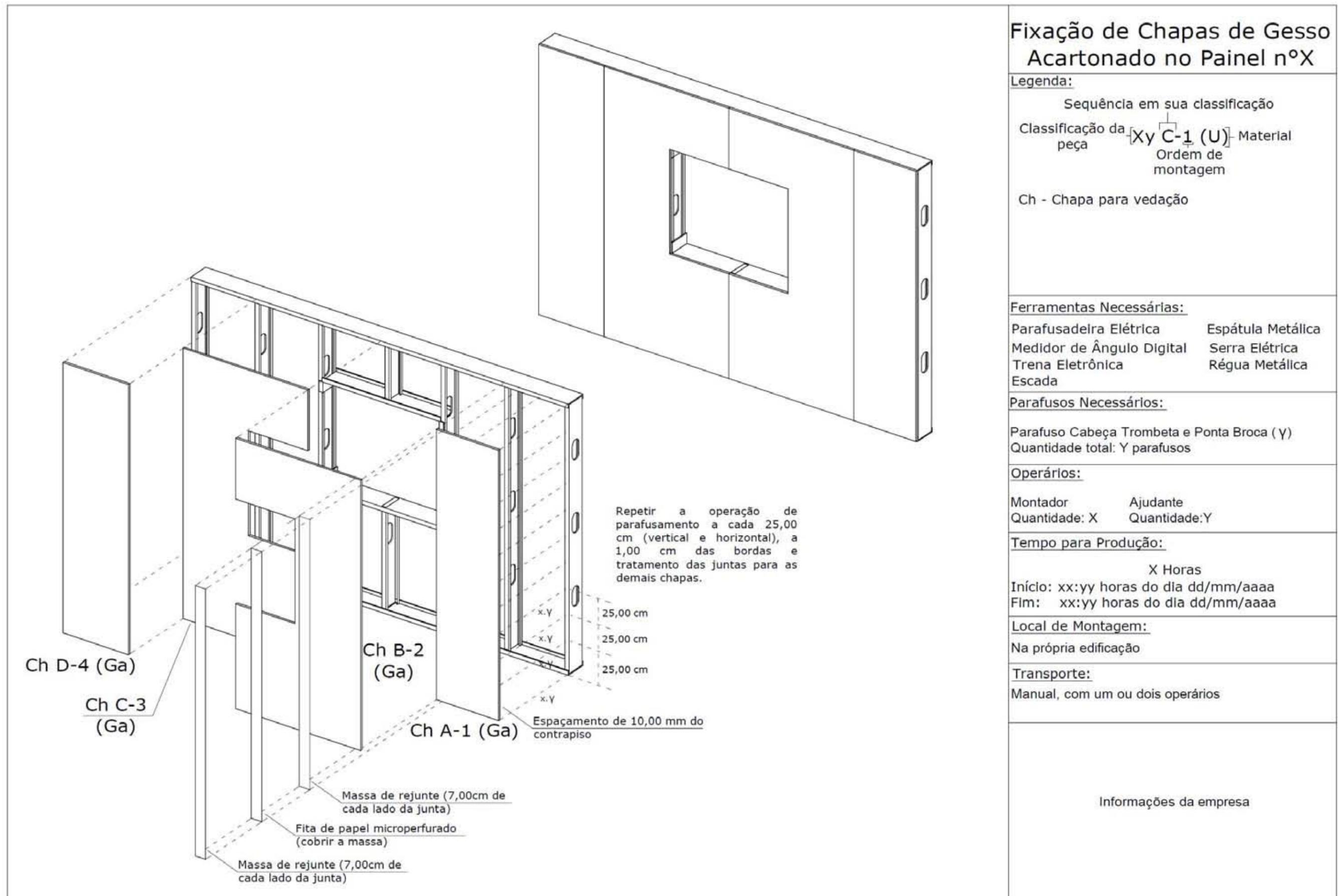


Figura 80: Montagem da vedação com placas de gesso acartonado em painel

7.1.2.18 Vedação de painéis com placas cimentícias

18.1 – Antes da instalação das placas cimentícias, algumas diretrizes gerais, mas que são específicas para essa etapa, devem ser obedecidas;

18.1.1 - A utilização das placas cimentícias requer que as lajes de piso estejam concluídas;

18.1.2 – As instalações prediais devem estar concluídas;

18.1.3 - As placas a serem utilizadas na edificação devem seguir a paginação prevista no projeto de vedação;

18.1.4 - O transporte das placas pode ser feito manualmente até o local de fixação;

18.1.5 – Deve ser prevista uma folga de 10,00 mm entre a placa cimentícia e o contrapiso;

18.1.6 – As juntas entre as placas posicionadas em uma face de determinado painel devem ser desencontradas (amarradas) e não devem coincidir com as juntas das placas posicionadas do outro lado deste mesmo painel. Isto deverá estar previsto no projeto de vedação;

18.1.7 – A fixação das placas deve ser iniciada no centro do painel e avançar para as extremidades e de cima para baixo. Porém, com a existência da paginação da vedação, a fixação pode ser iniciada em qualquer ponto do painel;

18.1.8 – As placas podem ser fixadas tanto na posição horizontal quanto na posição vertical, dependendo do projeto de vedação;

18.1.9 – Em áreas úmidas, é necessário que antes da manipulação das placas, seja aplicado duas demãos de selante impermeabilizante (com a placa seca) em toda a superfície e bordas por meio de pincel, rolo e, se possível, com spray;

18.2 – No caso da placa necessitar de abertura para esquadrias ou instalações prediais, estas devem ser feitas antes de sua fixação;

18.2.1 – Com o auxílio de uma trena comum e de um medidor de ângulos digital, as distâncias das aberturas com relação às bordas das placas devem ser marcadas com um lápis. Com esta referência, os vértices ortogonais das aberturas devem ser traçados com a utilização do medidor de ângulos digital e, feito isso, tais vértices são interligados com o auxílio de uma régua metálica;

18.2.2 – Com o contorno das aberturas determinados, os nichos podem ser cortados com o uso de uma serra mármore com disco diamantado. Também é comum a utilização de serra copo para furos circulares;

18.3 - Estando as placas no local de fixação, estas devem ser posicionadas manualmente contra as montantes do painel;

18.4 – As juntas das placas em uma face do painel devem coincidir com os montantes do mesmo. Isto é garantido pelo projeto de vedação em consonância com o projeto estrutural;

18.4.2 – A distância mínima entre juntas deverá respeitar o limite de 3,00 mm;

18.4.3 – No caso de haver aberturas para esquadrias, as juntas entre não devem coincidir com o alinhamento;

18.5 - Com a utilização da parafusadeira elétrica, os parafusos, que neste caso são os parafusos cabeça trombeta e ponta broca com asas, devem ser fixados nas placas com espaçamento mínimo de 20,00 cm a 1,50 cm da borda da placa;

18.5.1 – O local de colocação dos parafusos nas placas pode ser pré-determinado antes da fixação das mesmas. Para isso, em cada placa devem ser traçadas, com um lápis, retas a 1,50 cm das bordas das placas (contorno interno à placa) e, entre tais retas e as bordas, devem ser marcados os pontos de colocação dos parafusos com o auxílio de uma trena comum;

18.5.2 – Os pontos de parafusamento na área delimitada pelos 1,50 cm devem respeitar um distanciamento de 20,00 cm na direção vertical referente à

posição de fixação das placas. O distanciamento horizontal irá depender da modulação adotada no projeto estrutural, já que a fixação é executada na montante;

18.6 – Uma vez fixadas, é necessário que seja feito o tratamento das juntas;

18.6.1 – No encontro das duas faces das placas que formam a junta, deve ser aplicado duas demãos de selante impermeabilizante (mesmo em áreas secas), podendo ser utilizados pincéis, rolos ou spray;

18.6.2 – Após a secagem da impermeabilização é necessário que seja aplicado um fundo preparador para placa cimentícia a base de elastômeros. Antes de ser aplicado, recomenda-se que a área ao redor da junta seja limpa com um pano. Este material pode ser aplicado com pincel;

18.6.3 – Com a secagem do fundo preparador, aplica-se uma massa para tratamento de juntas de placa cimentícia a base de resina por meio de uma espátula;

18.6.4 – Esta massa deverá ser aplicada por mais uma vez, após a secagem da primeira demão e, antes que ocorra a secagem desta segunda camada, é necessário aplicar manualmente um material denominado tela álcali-resistente de fibra de vidro, ao longo de toda a extensão da junta;

18.6.5 – Finalmente, sobre a tela deve ser aplicada uma camada de massa de acabamento com uma espátula.

7.1.2.19 Vedação de painéis com placas OSB

19.1 – Antes da instalação das placas OSB, algumas diretrizes gerais, mas que são específicas para essa etapa, devem ser obedecidas;

19.1.1 - A utilização das placas OSB requer que as lajes de piso estejam concluídas. No caso de uma edificação de dois pavimentos, a fixação dos painéis superiores e da estrutura da cobertura também deverão estar concluídas;

19.1.2 – As instalações prediais devem estar concluídas;

19.1.3 - As placas a serem utilizadas na edificação devem seguir a paginação prevista no projeto de vedação e sua espessura deve ser especificada no projeto estrutural;

19.1.4 - O transporte das placas pode ser feito manualmente até o local de fixação, bem como o posicionamento das placas sobre as montantes;

19.1.5 – Deve ser prevista uma folga mínima de 10,00 mm entre a placa OSB e o contrapiso;

19.1.6 – As juntas entre as placas posicionadas em uma face de determinado painel devem ser desencontradas (amarradas). Isto deverá estar previsto no projeto de vedação;

19.1.7 – A fixação das placas OSB pode ser iniciada pelas bordas dos painéis. Porém, com a existência da paginação da vedação, a fixação das placas pode ser iniciada em qualquer ponto do painel;

19.1.8 – As placas podem ser fixadas tanto na posição horizontal quanto na posição vertical, dependendo do projeto de vedação;

19.1.9 – Em áreas úmidas (como o fechamento externo), é necessário que antes da manipulação das placas, seja aplicado duas demãos de selante impermeabilizante (com a placa seca) em toda a superfície e bordas por meio de pincel, rolo e, se possível, com *spray*;

19.2 – No caso da placa necessitar de abertura para esquadrias ou instalações prediais, estas devem ser feitas antes de sua fixação;

19.2.1 – Com o auxílio de uma trena comum e de um medidor de ângulos digital, as distâncias das aberturas com relação às bordas das placas devem ser marcadas com um lápis. Com esta referência, os vértices ortogonais das aberturas devem ser traçados com a utilização do esquadro digital e, feito isso, tais vértices são interligados com o auxílio de uma régua metálica;

19.2.2 – Com o contorno das aberturas determinados, os nichos podem ser cortados com o uso de uma serra de wídia ou disco diamantado (não é recomendado o uso de serras fita);

19.3 - Estando as placas no local de fixação, estas devem ser posicionadas manualmente contra as montantes do painel. O esquadro das placas deve ser verificado antes do parafusamento da mesma com o uso do medidor de ângulos digital;

19.4 – As juntas das placas em uma face do painel devem coincidir com os montantes do mesmo. Isto é garantido pelo projeto de vedação em consonância com o projeto estrutural;

19.4.2 – A distância mínima entre juntas deverá respeitar o limite mínimo de 3,00 mm;

19.4.3 – No caso de haver aberturas para esquadrias, as juntas entre não devem coincidir com o alinhamento ;

19.5 - Com a utilização da parafusadeira elétrica, os parafusos, que neste caso são os parafusos cabeça trombeta e ponta broca com asas, devem ser fixados nas placas com espaçamento mínimo de 15,00 cm a 1,00 cm da borda da placa;

19.5.1 – O local de colocação dos parafusos nas placas pode ser pré-determinado antes da fixação das mesmas. Para isso, em cada placa devem ser traçadas, com um lápis, retas a 1,00 cm das bordas das placas (contorno interno à placa) e, entre tais retas e as bordas, devem ser marcados os pontos de colocação dos parafusos com o auxílio de uma trena comum;

19.5.2 – Os pontos de parafusamento na área delimitada pelo 1,00 cm devem respeitar um distanciamento de 15,00 cm na direção vertical referente à posição de fixação das placas. O distanciamento horizontal irá depender da modulação adotada no projeto estrutural, já que a fixação é executada na montante;

19.6 – Imediatamente após a fixação das placas do lado externo da edificação, deve ser colocada uma manta estanque contra umidade e vento agindo contra a placa:

19.6.1 – A membrana de polietileno deve ser fixada com grampos galvanizados diretamente sobre as placas *OSB* com um espaçamento mínimo de 40,00 cm. Para o grampeamento deve ser utilizado um grampeador para madeira;

19.6.2 – Nas juntas entre duas ou mais faixas da membrana, estas devem ser justapostas com no mínimo 15,00 cm e um máximo de 30,00 cm de sobreposição.

7.1.2.20 Fixação de placas *OSB* nas lajes

20.1 – Antes da instalação das placas *OSB*, algumas diretrizes gerais, mas que são específicas para essa etapa, devem ser obedecidas:

20.1.1 – As placas *OSB* devem ser fixadas nas vigas de piso sempre no sentido transversal à estas;

20.1.2 – Todos os painéis estruturais e de vedação;

20.1.3 – As instalações prediais devem estar concluídas;

20.1.4 - As placas a serem utilizadas na edificação devem seguir a paginação prevista no projeto de vedação e sua espessura deve ser especificada no projeto estrutural;

20.1.5 - O transporte das placas pode ser feito manualmente até o local de fixação, bem como o posicionamento das placas sobre as montantes;

20.1.6 – As juntas entre as placas posicionadas em uma face de determinado piso devem ser desencontradas (amarradas). Isto deverá estar previsto no projeto de vedação;

20.1.7 – A fixação das placas *OSB* pode ser iniciada pelas bordas dos pisos. Porém, com a existência da paginação da vedação, a fixação das placas pode ser iniciada em qualquer ponto do painel;

20.1.9 – Quando o local do piso for em ambientes molháveis, as placas *OSB* devem ser impermeabilizadas. Esta impermeabilização, em especial, deve ser

executada com cimento polimérico ou emulsão asfáltica. Sobre esta impermeabilização deve ser colocada uma tela metálica eletrosoldada para que possa ser assentado o revestimento cerâmico;

20.2 - Estando as placas no local de fixação, estas devem ser posicionadas manualmente contra as vigas de piso da laje;

20.2.1 – Para a movimentação dos operários sobre as vigas de piso, devem ser colocadas placas de madeira, que podem ser de *OSB*, desde que sejam destinadas apenas para esse fim. Tais placas devem ser movimentadas conforme as placas destinadas ao piso são fixadas nas lajes;

20.3 – As juntas das placas na laje devem coincidir com as vigas de piso. Isto é garantido pelo projeto de vedação em consonância com o projeto estrutural;

20.3.2 – A distância mínima entre juntas deverá respeitar o limite mínimo de 3,00 mm;

20.4 – Para a fixação das placas *OSB* nas vigas de piso deve-se obedecer à diretriz **19.5** e suas derivadas, **19.5.1** e **19.5.2**.

7.1.2.21 Fixação de placas *OSB* na cobertura

21.1 – Para a instalação das placas *OSB* na cobertura, é necessário que toda a estrutura (tesouras ou caibros) esteja concluída;

21.2 – A disposição e a dimensão das placas deve obedecer à paginação do projeto de vedações;

21.3 – As placas *OSB* devem ser fixadas com parafusos cabeça trombeta e ponta broca com asas por meio de uma parafusadeira elétrica:

21.3.1 – Os parafusos devem manter uma distância de 10,00 mm das bordas das placas;

21.3.2 – Cada parafuso deverá ser instalado à uma distância mínima de 15,00 cm em toda a borda da cobertura, de forma que nos apoios internos, esta distância deverá ser de 30,00 cm.

7.1.2.22 Fixação de telhas *shingle*

22.1 – Inicialmente as placas *OSB* devem ser revestidas com feltro asfáltico cobrindo toda a área que irá receber as telhas:

22.1.1 – O feltro asfáltico deve ser desenrolado manualmente por cima das placas *OSB* e fixado com grampos galvanizados utilizando, para isso, um grampeador para madeira;

22.1.2 – Os grampos devem estar espaçados entre si com uma distância de 40,00cm e a 5,00 cm da borda do feltro;

22.1.3 – Nas juntas que surgirão entre as faixas que irão cobrir a área necessária, deve-se sobrepor tais faixas com uma justaposição mínima de 20,00cm nas juntas verticais e 10,00 nas juntas horizontais;

22.2 – Após a fixação do feltro asfáltico, a colocação das telhas *shingle* pode ser iniciada:

22.2.1 – As telhas podem ser transportadas manualmente e devem começar a ser fixadas no beiral da cobertura pela chamada telha de início:

22.2.1.1 – A telha de início é obtida cortando-se cerca de 1/6 de uma peça (normalmente as telhas *shingle* são comercializadas com três abas, dessa forma, 1/6 representaria o corte de metade de uma das abas da extremidade);

22.2.1.2 – Após isso, as abas (três abas) desta mesma peça devem ser removidas;

22.2.1.3 – Com o resultado destes cortes, a peça restante deve ser fixada sobre a placa *OSB* e sobre o feltro, de maneira que 1,00 cm

desta telha deve ficar para fora da borda. Estes procedimentos devem ser repetidos para toda a extensão das coberturas;

22.2.1.4 – Para a fixação das telhas de início podem ser utilizados uma linha de três pregos colocados a 2/3 da parte superior da faixa;

22.2.1.5 – Uma vez fixadas as telhas de início, a próxima etapa consiste em fixar a primeira linha de telhas. Estas podem começar a serem instaladas tanto da esquerda para direita quanto da direita para a esquerda de cada plano da cobertura. Esta primeira linha deve ser iniciada com uma telha inteira (com as três abas) que deve ser fixada com o mesmo alinhamento das telhas de início (bordas e beirais);

22.2.1.6 – As telhas da primeira linha podem ser pregadas em quatro pontos localizados acima da curvatura que separam as abas;

22.2.1.7 – Na primeira telha da segunda linha deve ser feito um corte, de maneira que metade da aba que ficará na borda da cobertura, deixará de fazer parte da peça;

22.2.1.8 – Assim, a primeira telha da segunda linha pode ser fixada, de maneira que esta deverá sobrepor a telha da primeira linha (avançar aproximadamente até a metade da primeira linha de telhas). Os pregos para fixação da segunda linha de telhas também podem estar localizados acima da curvatura que separam as abas;

22.2.1.9 – A segunda telha da segunda linha deve ser fixada por inteira, sem qualquer corte, e assim sucessivamente, sempre recobrando as telhas da primeira linha;

22.2.1.10 – Para a primeira telha (localizada na borda) da terceira linha, deve ser retirada uma aba por completo (o que resulta em uma peça com duas abas);

22.2.1.11 - Assim, a primeira telha da terceira linha pode ser fixada, de maneira que esta deverá sobrepor a telha da segunda linha (avançar aproximadamente até a metade da segunda linha de telhas). Os pregos

para fixação da terceira linha de telhas também podem estar localizados acima da curvatura que separam as abas;

22.2.1.12 – A segunda e as demais telhas da terceira linha devem ser fixadas por inteiro, sem qualquer corte, sempre recobrimdo as telhas da segunda linha;

22.2.1.13 - Para a primeira telha (localizada na borda) da quarta linha, deve ser retirada uma aba e meia (o que resulta em uma peça com uma aba e meia);

22.2.1.14 - Assim, a primeira telha da quarta linha pode ser fixada, de maneira que esta deverá sobrepor a telha da terceira linha (avançar aproximadamente até a metade da terceira linha de telhas). Os pregos para fixação da terceira linha de telhas também podem estar localizados acima da curvatura que separam as abas;

22.2.1.15 - A segunda e as demais telhas da quarta linha devem ser fixadas por inteiro, sem qualquer corte, sempre recobrimdo as telhas da terceira linha;

22.2.1.16 - Para a primeira telha (localizada na borda) da quinta linha, devem ser retiradas duas abas (o que resulta em uma peça com uma aba);

22.2.1.17 - Assim, a primeira telha da quinta linha pode ser fixada, de maneira que esta deverá sobrepor a telha da quarta linha (avançar aproximadamente até a metade da quarta linha de telhas). Os pregos para fixação da terceira linha de telhas também podem estar localizados acima da curvatura que separam as abas;

22.2.1.18 - A segunda e as demais telhas da quinta linha devem ser fixadas por inteiro, sem qualquer corte, sempre recobrimdo as telhas da quarta linha;

22.2.1.16 - Para a primeira telha (localizada na borda) da sexta linha, devem ser retiradas duas abas e meia (o que resulta em uma peça com meia aba);

22.2.1.17 - Assim, a primeira telha da sexta linha pode ser fixada, de maneira que esta deverá sobrepor a telha da quinta linha (avançar aproximadamente até a metade da quinta linha de telhas). Os pregos para fixação da terceira linha de telhas também podem estar localizados acima da curvatura que separam as abas;

22.2.1.18 - A segunda e as demais telhas da sexta linha devem ser fixadas por inteiro, sem qualquer corte, sempre recobrimo as telhas da quinta linha;

22.2.1.19 – A primeira telha da sétima linha deve ser inteira (com as três abas);

22.2.1.20 - Assim, a primeira telha da sétima linha pode ser fixada, de maneira que esta deverá sobrepor a telha da sexta linha (avançar aproximadamente até a metade da sexta linha de telhas). Os pregos para fixação da terceira linha de telhas também podem estar localizados acima da curvatura que separam as abas;

22.2.1.21 - A segunda e as demais telhas da sétima linha também são inteiras, sem qualquer corte, sempre recobrimo as telhas da sexta linha;

22.2.1.22 – As atividades de corte das primeiras telhas das linhas subsequentes seguem o mesmo procedimento iniciado com a primeira linha de telhas;

22.2.2 – Para a cumeeira da cobertura, as peças que formam tal componente devem ser convertidas no próprio canteiro de obras, visto que são preparadas a partir das próprias telhas *shingle*:

22.2.2.1 – A conversão das telhas *shingle* em cumeeiras é feita por meio de cortes na peça completa (com as três abas). Tais cortes devem

ser demarcados nas telhas por meio de um pincel atômico e uma régua e efetuados com estilete;

22.2.2.2 – A primeira marcação deve ser feita em uma das extremidades da peça na parte retangular, acima das abas. Este corte consiste em um triângulo retângulo com a hipotenusa voltada para o lado de dentro da telha, com uma altura recomendada de 2,50 cm. Este mesmo corte deve ser repetido para a outra extremidade da telha;

22.2.2.3 – A segunda marcação deve ser feita entre as abas, porém também está localizada na parte retangular da telha. Este corte consiste em um triângulo isósceles, com base (voltada para a borda superior da telha) recomendada de 5,00 cm. Este mesmo corte deve ser repetido para o segundo espaçamento entre abas;

22.2.2.4 – Uma vez realizados os cortes, cada segmento resultante da telha deve ser separado com um estilete, o que irá resultar em três peças que irão compor a cumeeira;

22.2.2.5 – Cada uma destas peças deve ser instalada no topo da cobertura, centralizando-as e sobrepondo-as, de maneira que 12,50 cm de cada peça devem ficar expostas ao meio. A parte que ficará exposta, corresponde ao que inicialmente era a aba da *shingle* (peça inteira);

22.2.2.6 – Assim, cada duas peças sobrepostas, deverão ser fixadas com dois pregos (um de cada lado da cobertura). Este prego deve ser colocado a 14,50 cm da extremidade esquerda da peça que está sendo encoberta;

22.2.2 – Para a fixação destas faixas nos beirais são utilizados pregos de tamanho 18,00 x 25,00 mm e um martelo;

22.2.3 – Podem ser utilizados quatro pregos em cada faixa da telha de início espaçados igualmente.

A sequência de montagem e fixação das telhas *shingle* está ilustrada na Figura 81.

Produção das Cumeeiras

25,00mm 50,00mm Cortes

Separar

Uma cumeeira

Centralizar no topo

Área sobreposta - 180,00 mm

Pontos de pregos (um de cada lado)

Fixação de Placas OSB e Telhas Shingle na Cobertura

Legenda:

Sequência em sua classificação

Classificação da peça: $Xy \begin{matrix} | \\ C-1 \\ | \\ (U) \end{matrix}$ Material

Ordem de montagem

Sh - Telhas shingle
Po - Placa OSB
Fa - Feltro asfáltico
Ti - Telha de início

Ferramentas Necessárias:

Parafusadeira Elétrica Trena Eletrônica
Medidor de Ângulo Digital
Régua Metálica
Escada

Parafusos Necessários:

Parafuso Cabeça Trombeta e Ponta Broca (γ)
Quantidade total: Y parafusos
Prego 18,00 x 25,00 mm (δ)
Quantidade total: Y pregos

Operários:

Montador Ajudante
Quantidade: X Quantidade: Y

Tempo para Produção:

X Horas

Início: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa
Fim: xx:yy horas do dia dd/mm/aaaa

Local de Montagem:

Na própria edificação

Transporte:

Manual, com dois operários

Informações da empresa

Sh G-7 (Shingle)
Sh F-6 (Shingle)
Sh E-5 (Shingle)
Sh D-4 (Shingle)
Sh C-3 (Shingle)
Sh B-2 (Shingle)
Sh A-1 (Shingle)
Ti A-1 (Shingle)

Po B-2 (OSB)

Po C-3 (OSB)

Po A-1 (OSB)

Fa A-1 (Feltro)

Parafusos na borda das placas devem estar distantes 10,00 mm da borda e distantes 15,00 cm entre si.

Parafusos no interior da cobertura devem estar distantes 10,00 mm da borda e distantes 30,00 cm entre si.

Pontos de pregos nas shingle

Pontos de pregos nas telhas de início

A sequência de montagem continua para as demais placas.

Figura 81: Montagem de vedação da cobertura com telhas shingle

7.1.2.23 Fixação de telhas cerâmicas ou de concreto:

23.1 – Para o uso de telhas cerâmicas ou de concreto é necessário que toda a estrutura da cobertura esteja concluída (tesouras ou caibros);

23.2 – O processo de instalação das telhas deve ser iniciado com a fixação de placas *OSB* sobre a estrutura. Este procedimento deve obedecer às diretrizes do item **7.1.2.21** e à diretriz **22.1** e suas derivadas **22.1.1**, **22.1.2** e **22.1.3**;

23.2.1 - Sobre o feltro asfáltico nas placas *OSB*, devem ser instaladas as terças, que são compostas por perfis do tipo cartola “Cr”, fixados perpendicularmente à direção dos banzos superiores das tesouras ou aos caibros. Os perfis cartola podem ser transportados manualmente pelos operários e devem ser fixados por meio de parafusos do tipo autobrocante por meio da parafusadeira elétrica;

23.2.2 – A distância entre cada terça deve ser verificada pelo operário por meio de um medidor de distância a laser, tendo como base o projeto da estrutura;

23.2.2 – Sobre as terças deverão ser fixadas as ripas, cujo distanciamento também deve ser verificado pelo operário com o uso de um medidor de distância a laser. Estas são formadas por perfis do tipo U ou Cr e devem ser instaladas perpendicularmente às terças. Tais peças também podem ser transportadas manualmente e deverão ser fixadas com parafusos estruturais por meio da parafusadeira elétrica;

23.2.3 – Após estas atividades, as telhas podem ser instaladas.

7.1.2.24 Fixação de esquadrias nos painéis

24.1 – Para a fixação das esquadrias, os painéis deverão estar com seus componentes de vedação instalados e com a abertura necessária para as esquadrias;

24.2 – A esquadria deve ser transportada manualmente pelo operário até o local de fixação. Assim, a instalação pode ser iniciada:

24.2.1 –Primeiramente o operário deve verificar o esquadro do vão em questão por meio do medidor de ângulos eletrônico e checar as dimensões do mesmo por meio do medidor de distância a laser;

24.2.2 – Feito isso, o operário deve limpar toda a superfície de contato da esquadria e dos perfis metálicos, de maneira que fiquem isentos de poeira ou outras partículas que possam prejudicar a fixação;

24.2.3 – O próximo passo é executar a fixação mecânica da esquadria com parafusos e buchas nos pontos indicados pelo fabricante do produto;

24.2.4 – Com a utilização de luvas, o operário deve aplicar, inicialmente, a espuma de poliuretano monocomponente nos cantos inferiores da esquadria. A partir desse ponto o operário deve fazer todo o perímetro (na câmara) da esquadria, preenchendo-o com a espuma;

24.2.4.1 – Após a aplicação da espuma deve ser feita uma verificação em todo o perímetro a fim de se evitar falhas na aplicação, como frestas e insuficiência do material;

24.2.4.2 – Caso haja alguma destas falhas, a correção deverá ser feita com a própria espuma;

24.2.5 – Após as verificações e possíveis correções dois operários devem encaixar a esquadria no espaço destinada a ela no painel e, assim, deve-se aguardar o tempo de cura da espuma que deve ser confirmada com as informações do fabricante;

24.2.5.1 – Após a cura, deve-se retirar o excesso de espuma (caso haja) cortando-a com um estilete;

24.2.5.2 – Por último deve ser instalado um arremate externo para proteção da espuma de poliuretano contra raios UV.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação relacionou o sistema *LSF* com seu potencial de uso, frente a conceitos e ferramentas inseridas no contexto de execução e gerenciamento do processo de projeto. Na esfera conceitual, esta relação partiu do fato de que o *LSF* é um sistema construtivo pré-fabricado e, assim, pode alcançar maior eficácia no uso de princípios, como os da *Lean Construction*, que presam pela redução de ciclos de desenvolvimento, produção e redução de desperdícios.

Neste sentido, foram abordadas importantes teorias como o *Lean Design* e a Engenharia Simultânea e ferramentas práticas, como os Projetos para Produção. Por ser um sistema que utiliza componentes pré-fabricados, foi sugerido que os Projetos para Produção poderiam ser particularizados para uma ferramenta mais específica, denominada *Design for Assembly*.

A partir disso, foram elaboradas diretrizes com relação à estrutura de apresentação dos projetos, bem como o conteúdo dos mesmos. Além disso, foram elaboradas diretrizes específicas a respeito das atividades de montagem dos elementos formados pelos componentes pré-fabricados e alguns desenhos, que representam a sequência de montagem das principais estruturas de uma residência unifamiliar em *LSF*. Assim, estas atividades contribuem para o entendimento do *LSF* no Brasil, uma vez que este sistema construtivo não é comum nos canteiros de obras do país e é considerado, entre os profissionais e usuários, uma inovação tecnológica.

Um dos maiores obstáculos que o *LSF* encontra no Brasil é a cultura de construção e consumo que existe no país. Usualmente, a construção de habitações unifamiliares no país é desenvolvida com baixíssimos índices de controle da produção por parte dos profissionais graduados que, por muitas vezes, trabalham apenas com projetos de arquitetura para a construção da edificação. Casos mais graves podem ser exemplificados com a autoconstrução, na qual o proprietário, por sua conta, produz a sua habitação sem qualquer acompanhamento ou conhecimento técnico. Além disso, o consumidor brasileiro tem uma forte tendência de preferir edificações que utilizam o concreto e tijolos cerâmicos, fruto da colonização e imigração que ocorreu no país.

Tais características do mercado de construção residencial no país são incompatíveis com a ideia por trás do *LSF*. Sendo um sistema pré-fabricado, o *LSF* exige um alto controle da produção (por profissionais que conhecem o sistema) além de, naturalmente, necessitar de vários projetos que, normalmente, não são desenvolvidos em obras unifamiliares convencionais como: projetos de vedação, projeto estrutural, entre outros. Além disso, o uso do *LSF* promove a integração de profissionais que atuam em praticamente todas as fases

do ciclo de vida da edificação. Tal integração muito contribui, por exemplo, com o desenvolvimento dos projetos.

Apesar das características de consumo no país, o sistema *LSF* encontra no Brasil todas as condições necessárias para o seu sucesso. No meio acadêmico, há um aumento gradativo dos trabalhos nacionais publicados a respeito do sistema, ou ainda a respeito dos materiais utilizados por ele. Na cadeia produtiva, o *LSF* também encontra uma base sólida no Brasil, ao menos em relação à produção de aço, que é uma das maiores do mundo. No entanto, é fato que os produtos destinados ao *LSF* ainda estão em processo de desenvolvimento no país, como, por exemplo, as placas cimentícias e esquadrias. Porém grandes empresas fabricantes de materiais para a Construção Civil abriram linhas de produção exclusivas para produtos destinados ao *LSF*.

Com relação ao potencial de sucesso do sistema no país, uma importante questão a ser levantada é a relação entre o déficit habitacional brasileiro (na ordem de milhões de residências) e a produção de habitações em *LSF*. Tal déficit incentiva os profissionais do subsetor de edificações a buscarem soluções para a modernização das construções visando rapidez e o incremento da qualidade do produto. A necessidade de construção de mais de 5 milhões de residências, apresenta características produtivas e projetuais semelhante às da indústria de produtos seriados, ou seja, produção em larga escala. Assim, a construção de um grande número de habitações promove o emprego de uma tecnologia industrializada, como o *LSF*, que terá seu alto potencial de racionalização efetivamente utilizado a partir do momento em que a Construção Civil realmente despertar para a inevitável necessidade de modernização de seus processos.

Sob o ponto de vista da engenharia o *LSF*, em teoria, é superior, em diversos aspectos, a sistemas construtivos tradicionais como a Alvenaria Estrutural. Isto pode ser justificado, pois a pré-fabricação do *LSF* promove maior eficácia na aplicação de teorias de gerenciamento como a *Lean Construction*, dado que há uma significativa redução de atividades de fluxo. A mesma vantagem é observada no desenvolvimento dos projetos, sob a ótica da integração de disciplinas.

Certamente uma melhor eficácia da *Lean Construction* só é possível porque o sistema *LSF* permite tal feito. De certa forma, a prática da mentalidade enxuta em obras convencionais é dificultada quando comparada a sistemas construtivos pré-fabricados. Isso é explicado, pois, em sistemas construtivos tradicionais, há uma grande quantidade de atividades que transformam a essência dos materiais, de maneira que para cada uma dessas atividades surgem as três atividades de fluxo. Sendo a montagem a essência do canteiro de obras do *LSF*, o resultado é que as atividades de fluxo são significativamente reduzidas e até mesmo eliminadas.

Associando este raciocínio com o processo de projeto, pode-se citar a afirmação de Fabrício (2008) que, em termos gerais, considera que a adoção de sistemas inovadores na Construção Civil associados a novas estratégias de projeto, podem representar mudanças profundas e de grande repercussão no processo produtivo da edificação.

Neste sentido, pode-se dizer que há uma premissa projetual no *LSF* baseada na necessidade de práticas de desenvolvimento paralelas entre as equipes responsáveis pelas diferentes disciplinas de projeto. Apesar de ser uma prática necessária e recomendada, ficou claro neste estudo que isto não é exercido pelos profissionais que trabalham com o *LSF*. No atual estágio de conhecimento aplicado aos projetos deste sistema nas empresas, nota-se que os profissionais insistem em práticas sequenciais, e na omissão de alguns projetos que são essenciais para o sucesso do *LSF*.

Como foi demonstrado neste estudo, o conceito de projeto vai muito além do que simplesmente desenvolver as características físicas dos produtos. Conceitualmente, os projetos também são responsáveis pela definição da maneira como um produto deverá ser originado. Porém, a grande maioria dos projetos na Construção Civil é desenvolvida quase que exclusivamente para a definição do produto, sendo que suas características de produção (ferramentas, técnicas, operários, tempo de produção etc.) são simplesmente esquecidas.

Para que esta integração entre disciplinas e processos seja efetivamente implantada é necessário que a mentalidade de trabalho dominante na Construção Civil sofra mudanças. Um processo de integração durante o desenvolvimento dos projetos necessita que a gestão de tais atividades seja moldada para tanto e, neste sentido, o *Lean Design* colabora para as mudanças das práticas de trabalho.

Porém, sendo o *Lean Design* um conceito, torna-se necessária a aplicação de determinadas estratégias ou ferramentas que possibilitem a concretização de seus objetivos. Neste sentido, pesquisadores sugerem que os projetos sejam elaborados com a utilização da ES. Seu uso é a garantia de retorno de resultados confiáveis durante o desenvolvimento dos projetos, visto que a ES promove a integração necessária entre os profissionais e disciplinas de projeto e a produção, evitando que erros e imprevistos, como os demonstrados nesta dissertação, venham a ocorrer durante a construção das edificações.

Assim, tendo em mente tais conceitos e ferramentas, sugeriu-se que a produção de edificações em *LSF* deveria ser desenvolvida tendo como base os Projetos para Produção. Mais do que isso, aproveitou-se o fato do *LSF* ser pré-fabricado para que tais tipos de projeto fossem particularizados pelo conceito do *DFA* como ferramenta de projeto e desenvolvimento.

Desta maneira foram propostas diretrizes gerais para a apresentação dos projetos voltados exclusivamente para a montagem dos elementos e determinados componentes que formam as edificações em *LSF*. Além das diretrizes gerais foram propostas diretrizes específicas que organizam algumas práticas e ferramentas que são básicas para a montagem da edificação.

As diretrizes propostas visam promover a integração entre os profissionais que participam nas diversas etapas do ciclo de vida da edificação em *LSF*, além de agenciar melhores práticas, tanto projetuais quanto produtivas, para este sistema construtivo no Brasil, além de sugerir a adoção de ferramentas de projeto pouco conhecidas na Construção Civil.

Possuindo um enorme potencial de desempenho na produção, o *LSF* começa a ganhar atenção do mercado nacional, dos pesquisadores e de todos aqueles que buscam a racionalização da construção. Sendo um sistema amplamente aceito e utilizado em países desenvolvidos, sua essência de produção, de características extremamente práticas, exige que todo o processo de construção seja determinado durante o processo de projeto que, por sua vez, está condicionado pelo rompimento com as práticas tradicionais na Construção Civil.

Esta dissertação, essencialmente, mostrou a possibilidade de uso do conceito de Projeto para Produção voltado essencialmente para a montagem dos elementos de uma edificação residencial. No entanto há diversas outras lacunas no conhecimento a respeito do *LSF* e de seus processos relacionados que podem e devem ser estudadas, como por exemplo:

- Aplicação dos princípios da *Lean Construction* em obras de *LSF*;
- Interface com subsistemas prediais;
- O uso de softwares *BIM* para o desenvolvimento de produtos em *LSF*;
- Propostas para o desenvolvimento de esquadrias e técnicas de fixação;
- Produtividade do canteiro de obras em *LSF*;
- Análise estrutural de estruturas em *LSF* para edificações de grande porte;
- Sustentabilidade de edificações em *LSF* frente a outros sistemas construtivos;
- Métodos para o planejamento e controle das atividades de produção.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, Hassan S. **Concurrent engineering for global manufacturing.** International Journal of Production Economics. 60-61. p.251-260. 1999.

AMARAL, Alexandre Teixeira do. **O uso do método DFA (Design for Assembly) em projeto de produtos objetivando a melhoria ergonômica na montagem.** 2007. Dissertação (Mestrado). São Carlos. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. 2007.

ANTAKI, Marc; SCHIFFAUEROVA, Andrea; THOMSON, Vince. **The performance of technical information transfer in new product development.** Concurrent Engineering: Research and Applications Journal. V.18. n.4. 2010. SAGE Publications. 2010.

AQUINO, Janayna Patrícia Rezende de; MELHADO, Silvio Burrattino. **Perspectivas da utilização generalizada de projetos para produção na construção de edifícios.** Brasil - São Carlos, SC. 2001. 6p. Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, São Carlos, 2001. Artigo técnico.

AQUINO, Janayna Patrícia Rezende de; MELHADO, Silvio Burrattino. **Proposição de Diretrizes para Utilização de Projetos para Produção na Construção de Edifícios – Um Estudo de Caso.** Brasil - Porto Alegre, RS. 2002. 6p. 2º Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2., 2002, Porto Alegre. Artigo técnico.

AQUINO, Janayna Patrícia Rezende de. **Análise do desenvolvimento e da utilização de projetos para produção de vedações verticais na construção de edifícios.** 2004. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico para painéis reticulados em edificações: requisitos gerais.** NBR 15253. Rio de Janeiro . 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placa plana cimentícia sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio.** NBR 15498. Rio de Janeiro . 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Coordenação modular para edificações.** NBR 15873. Rio de Janeiro . 2010.

ASSUMPÇÃO, José Francisco Pontes; FUGAZZA, Antônio Emílio Clemente. **Coordenação de projetos de edifícios: um sistema para programação e controle do fluxo de atividades do processo de projetos.** In: Workshop nacional: gestão do processo de projeto na construção civil. 2001. São Carlos. EESC-USP. 2001.

AUSTIN, Simon A.; THORPE, Anthony; ROOT, David; THOMSON, Derek; HAMMOND, Jamie. **Integrated collaborative design**. Journal of engineering, design and technology. V.5.No.1. p.7-22. 2007.

BALLARD, Glenn; KOSKELA, Lauri. **On the agenda of design management research**. Proc., 6th Annual Conf., Int. Group for Lean Construction, International Group for Lean Construction. 1998.

BATEMAN, Bruce W. **Light gauge steel verses conventional wood framing in residential construction**. Journal of construction education. Vol. 2. N. 2. p. 99-108. 1997.

BECK, Carmem Lúcia Colomé; GONZALES, Rosa Maria Bracini; LEOPARDI, Maria Tereza. **Detalhamento da metodologia**. In: LEOPARDI, Maria Tereza. Metodologia de pesquisa na saúde. 2 Edição. Florianópolis. UFSC – Pós-graduação em enfermagem. 290 p. 2002.

BLACUD, Nicolas A.; BOGUS, Susan M.; DIEKMANN, James E.; MOLENAAR, Keith R. **Sensivity of construction activities under design uncertainty**. Journal of Construction Engineering and Management. V.135. n. 3. p. 199-206. 2009.

BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston. **Product design for manufacture and assembly**. New York. USA. Taylor & Francis Group. 2nd. Ed. 2002.

BRASILIT. **BrasiPlac: placa cimentícia impermeabilizada**. Catálogo técnico. Disponível em:< <http://www.brasilit.com.br>>. Acesso em Outubro de 2010.

BORTOLETTO JÚNIOR, Geraldo; GARCIA, José Nivaldo. **Propriedades de resistência à flexão estática de painéis OSB e compensados**. Revista Árvore. V.28. n.4. p.563-570. 2004.

BOSCH. **Ferramentas elétricas para profissionais**. Disponível em < <http://www.bosch.com.br/br/ferramentas-profissionais/produtos/parafusadeira>>. Acesso em Maio de 2011.

BRAGA, Alexandre Gasparini; TAVARES, José Pio; GUEDES, Leila Cristina Nunes; PEREIRA, Marcelo José; BARCELOS, Roselmira Barros; PINHEIRO, Silvana Mansur Wendling. **Gestão na construção civil pública: sistemas construtivos – aplicação de gesso acartonado na construção**. Artigo técnico. 25f. Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.

BURSTRAND, Helena. **Light gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing**. Swedish Institute of Steel Construction – SBI. 12 p.Stockholm. Sweden. 1998.

CAIXA ECÔNOMICA FEDERAL. **Sistema Construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços galvanizados (steel framing): requisitos e condições mínimas para financiamento pela CAIXA**. CEF. 2003.

CAMPOS, Maria Helena Arranhado Carrasco. **A construtibilidade em projetos de edifícios para o ensino superior público em Portugal**. 2002. Dissertação (Mestrado). Universidade do Minho. Portugal. 2002.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo de detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo. Editora Pini. V.2. 2009.

CHANG, Kuang-Hua; SILVA, Javier; BRYANT, Ira. **Concurrent design and manufacturing for mechanical systems**. Concurrent engineering: research and applications. V.7.n.4. p.290-308. 1999.

CII-The Construction Industry Institute. **Constructability: a primer**. Publication 3-1. Austin. The University of Texas. USA. 1986.

CISER.**Produtos**. Disponível em <<http://www.ciser.com.br/produtos/impressos.asp>>. Acesso em Abril de 2011.

CONSULSTEEL. **Steel framing: manual de procedimento**. Disponível em: <<http://www.consulsteel.com>>. Acesso em Maio de 2010.

CORRÊA, Cássia Villani. **A aplicação da engenharia simultânea na dinâmica de elaboração e implantação de projetos para produção de alvenaria de vedação na construção civil**. 2006. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: LSF**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2005.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo. Ziguarte editora. 5ª edição. 2006.

DÓRIA, Luís Eduardo Santos. **Projeto de estruturas de fundação em concreto do tipo radier**. 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação de engenharia civil – Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2007.

FABRÍCIO, Márcio Minto. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. Orientação de Silvio Burrattino Melhado. 2002. Tese (doutorado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP, 2002.

FABRÍCIO, Márcio Minto. **Industrialização das construções: uma abordagem contemporânea**. 2008. Texto (Livre-Docência). Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Carlos. 2008.

FABRÍCIO, Márcio Minto; BAÍA, Josaphat Lopes; MELHADO, Silvio Burrattino. **Estudo do fluxo de projetos : cooperação seqüencial X colaboração simultânea**. Brasil - Recife, PE. 1999. 10p., il. In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho, 1º, Recife, 1999. Artigo técnico.

FABRÍCIO, Márcio Minto; MELHADO, Silvio Burratino. **Projeto simultâneo e a qualidade na construção de edifícios**. Seminário Internacional NUTAU 98- Arquitetura e urbanismo: tecnologias para o século 21. São Paulo. FAU-USP.1998.

FABRÍCIO, Márcio Minto; MELHADO, Silvio Burratino. **Por um processo de projeto simultâneo**. Brasil - Porto Alegre, RS. 2002. 5 p. Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2., 2002, Porto Alegre. Artigo Técnico.

FARAH, Marta Ferreira Santos. **Processo de trabalho na construção habitacional: tradição e mudança**. São Paulo. Editora Annablume. Primeira Edição. 1996.

FERNANDES, Luciane Alves; GOMES, José Mário Matsumura. **Relatórios de pesquisa nas ciências sociais: características e modalidades de investigação**. ConTexto. Porto Alegre. v.3. n.4. 23 p. 2003.

FIESS, Julio Ricardo F.; OLIVEIRA, Luciana Alves; BIANCHI, Alessandra C.; THOMAZ, Ércio. **Causas da ocorrência de manifestações patológicas em conjuntos habitacionais do estado de São Paulo**. Brasil – São Paulo – SP. 2004. 6p. Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 2004. São Paulo; Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004. São Paulo.

FISCHER. **Pólvora-sistema de fixação**. Catálogo técnico. Disponível em: <<http://www.fischerbrasil.com.br>>. Acesso em Junho de 2010.

FRANCO, Luiz Sérgio. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. Brasil - São Paulo, SP. 1992. 319p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 1992.

FRECHETTE, L. A. **Building smarter with alternative materials**. 1999. Disponível em: <<http://www.build-smarter.com>>. Acesso em Maio 2010.

FREIRE, Javier; ALARCÓN, Luis F. **Achieving lean design process: improvement methodology**. Journal of Construction Engineering and Management. May-June. 2002.

FREITAS, Arlene M. Sarmanho; CRASTO, Renata C. Moraes. **Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).

GALLE, Per. **Design rationalization and the logic of design: a case study**. Design Studies. p.253-275. 1996.

GALLE, Per. **Candidate worldviews for design theory**. Design Studeis. V.29. n.3. p. 267-303. 2008.

GIUDICE, F.; BALLISTERI, F.; RISITANO, G. **A concurrent design method based on DFMA-FEA integrated approach**. Concurrent Engineering: Research and Applications Journal. V.17. n.3. 2009. SAGE Publications. 2009.

GOMES, Adriano Pinto. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em LSF**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2007.

GRIFFITH, A.; SIDWELL, A.C. **Development of constructability concepts, principles and practices**. Journal of engineering, construction and architectural management. p.295-310.1997.

GUNASEKARAN, A.; LOVE, P.E.D. **Concurrent engineering: a multi-disciplinary approach for construction**. Logistics Information Management. V.11.No.5. p.295-300. MCB University Press. 1998.

HEINECK, Luiz Fernando Mahlmann; RODRÍGUEZ, Marco Antônio Arancibia. **A Construtibilidade no Processo de Projeto de Edificações**. Brasil – Porto Alegre, RS. 2002. 5p. Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. 2º, 2002, Porto Alegre. Artigo Técnico.

HOFFMAN, Dennis R. **An overview of concurrent engineering**. Reliability and Maintainability. Proceedings. Annual p.19-22.1998.

HÖÖK, Matilda; STEHN, Lars. **Lean principles in industrialized housing production: the need for a cultural change**. Lean Construction Journal. 14p. 2008.

JOSEPHSON, Per-Erik; HAMMARLUND, Yngve. **The causes and costs of defects in construction: a study of seven building projects**. Automation in Construction Journal. n.8. 1999. p.681-687.

JØRGENSEN, Bo. **Integrating lean design and lean construction: processes and methods**. 2006. The Technical University of Denmark – DTU. The Department of Civil Engineering – BYG-DTU. Denmark. 2006.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade de produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.

KHAN, Zulki. **Design for assembly**. Assembly Automation Journal. V.28. n 3. p.200-206. 2008.

KIM, Gerard Jounghyun. **Case-based design for assembly**. Journal of Computer-Aided Design. V. 29. n. 7. p.497-506. 1997.

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, EUA, CIFE, Agosto 1992. Technical Report No 72.

KOSKELA, Lauri. **Lean production in construction**. In: Lean Construction. ALARCON, Luis (Ed.). Rotterdam: A.A. Balkema. 1997.

KOSKELA, Lauri. **Lean Construction**. In. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: qualidade no processo construtivo, 7., 1998, Florianópolis: UFSC/ANTAC, 1998. V. 1, p. 3-10.

KOSKELA, Lauri.; BALLARD, Glenn.; TANHUNPÄÄ, Veli-Pekka. **Towards lean design management**. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 5., 1997, Gold Coast. Proceedings... Gold Coast: IGLC, 1997. p. 1-12.

KOSKELA, Lauri.; HUOVILA, Pekka. **On Foundations of Concurrent Engineering**. 1997.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Espoo, 2000. Technical Research Centre of Finland. VTT Publications. n.408. 296 p. 2000.

KOSKELA, Lauri. **Foundations of concurrent engineering**. In: Concurrent engineering in construction projects – Chimay Anumba; John Kamara e Anne-Françoise Cutting Decelle (Ed.). Taylor and Francis. 2007.

KOSKELA, Lauri; HUOVILA, Pekka; LEINONEN, Jarkko. **Design Management in Building Construction: From Theory to Practice**. Journal of Construction Research, v. 3, n. 1. World Scientific Publishing Company, Finland, 2002.

KUO, Tsai-C.; HUANG, Samuel H.; ZHANG, Hong-C. **Design for manufacture and design for “X”: concepts, applications and perspectives**. Computers and industrial engineering. N.41.p.241-260. 2001.

KRÜGER, Paulo Gustavo. von. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. 162p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2000.

KRUGLIANSKAS, Isak. **Engenharia simultânea: organização e implantação em empresas brasileiras**. Revista de Administração. São Paulo. V.28. n. 4. p.104-110. 1993.

KRUMENAUER, Fábio Zuchetto; BATALHA, Gilmar Ferreira. **Engenharia simultânea e projeto orientado para a manufaturabilidade e montagem de portas automotivas**. POLI-USP. São Paulo. 2007. Artigo Técnico.

LAI, X.; GERSHENSON, J.K. **Representation os similarity and dependency for assembly modularity**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technolohy. V.37. n. 7/8. p.803-827. 2008.

LEOPARDI, Maria Tereza. **Metodologia de pesquisa na saúde**. 2 Edição. Florianópolis. UFSC – Pós-graduação em enfermagem. 290 p. 2002.

LIMA, André Luiz de Alcântara. **Construção de edificações em módulos pré-fabricados em LSF – Light Steel Framing: Ensaio Projetual**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2008.

LPBRASIL. **Catálogo técnico placas estruturais para construções CES**. LP building products. Disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br>>. Acesso em Outubro de 2010.

LPBRASIL. **Manual CES - Construção Energética Sustentável**. LP building products. Disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br>>. Acesso em Junho de 2011.

MAIOLA, Carlos Henrique; MALITE, Maximiliano. **Ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio**. Caderno de engenharia de estruturas – Escola de engenharia de São Carlos. São Carlos. V.9. n.40. p.133-162. 2007.

McGINTY, Tim. **Projeto e processo de projeto**. In:SNYDER, J.C.;CATANESE,A J.,coor. Introdução à Arquitetura. Rio de Janeiro, Campus, 1984.

MELHADO, Silvio Burratino. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. São Paulo. 1994. 294p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

MELHADO, Silvio. Burratino.; FABRICIO, Márcio Minto. **Projeto da produção e projeto para produção: discussão e síntese de conceitos** In. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: qualidade no processo construtivo, 7., 1998, Florianópolis: UFSC/ANTAC, 1998. v. 2, p. 731-37.

MELHADO, Silvio Burratino; EVETTE, Thérèse; HENRY, Eric; FABRÍCIO, Márcio Minto; SEGNINI Jr., Francisco; LAUTIER, François. **Uma perspectiva comparativa da gestão de projetos de edificações no Brasil e na França**. Gestão e Tecnologia de Projetos. V.1.No.1. 22p. 2006.

MIKALDO JR., Jorge; SCHEER, Sérgio. **Compatibilização de projetos ou engenharia simultânea: qual a melhor solução?**. Gestão e tecnologia de projetos. V.3. n1.p.79-99. 2008.

MIRON, Luciana Inês Gomes. **Arquitetura centrada no usuário: gestão de requisitos no processo de projeto**. In: Qualidade no projeto de edifícios - Márcio Minto Fabrício e Sheila Walbe Ornstein (organizadores). São Carlos. Rima Editora. ANTAC. 2010.

MOTTONEN, Matti; HARKONEN, Janne; BELT, Pekka; HAAPASALO, Harri. **Managerial view on design for manufacturing**. Industrial Management and Data Systems Journal. V.109. n.6. p.859-872. 2009.

NASFA. **The North American Steel Framing Alliance**. Disponível em: <www.steel framing.org/sfa_aboutsteel framing>. Acesso em Abril de 2010.

NOBLE, James S. **Economic design in concurrent engineering**. In: PARSAEI, Hamid R.; SULLIVAN, William G. Concurrent Engineering: contemporary issues and modern design tools. London. Chapman & Hall. 1993.

NOVAES, Celso Carlos. **Diretrizes para a garantia da qualidade de projeto na produção de edifícios habitacionais**.1996. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, USP, 1996.

NOVAES, Celso Carlos. **Um enfoque diferenciado para o projeto de edificações: projetos para produção.** XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção ENEGEP. 1997. Gramado.

NOVAES, Celso Carlos. **A modernização do setor da construção de edifícios e a melhoria da qualidade do projeto.** Brasil - Florianópolis, SC. 1998. v.2 p. 169-176. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7º, Florianópolis, 1998b.

NOVAES, Celso Carlos. **Ações para controle e garantia da qualidade de projetos na construção de edifícios.** Brasil - São Carlos, SC. 2001. 5p. Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, São Carlos, 2001.

O'DRISCOLL, Martin. **Design for manufacture.** Journal of Materials Processing Technology. N.122. p.318-321. 2002.

OLIVEIRA, Edgar Peixoto de. **Diretrizes para o processo de projeto de edifícios hospitalares.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2010.

OLIVETO, Fulvio E. **Concurrent engineering: evolution and application.** National Aerospace and Electronics Conference. NAECON. 2000.

PARSAEI, Hamid R.; SULLIVAN, William G. **Concurrent Engineering: contemporary issues and modern design tools.** Preface. London. Chapman & Hall. 1993

PEIXOTO, Fábio de Melo. **Sistemas hidráulicos prediais: proposta de diretrizes para a racionalização do seu processo produtivo.** 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

PEÑA, Monserrat Dueñas. **Método para a elaboração de projetos para produção de vedações verticais em alvenaria.** Orientação de Luiz Sérgio Franco. 2003. Dissertação – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP, 2003.

PRASAD, Biren. **Concurrent engineering fundamentals: integrated product and process organization.** Primeira edição. V.1. EUA. Prentice Hall. 1996.

PRINS, Matthijs; KRUIJNE, Koen. **The management of design process integration and design integration.** In: Proceedings of the joint CIB W096 Architectural Management and CIB TG49 Architectural Engineering Conference held in conjunction with the 8th Brazilian Workshop on Building Design Management. São Paulo. 2008.

RANKY, Paul G. **Concurrent engineering and enterprise modeling.** Assembly Automation. V.14. n.3. p. 14-21. 1994.

RODRIGUES, Francisco Carlos. **Steel framing: engenharia.** 2006. IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia. CBCA - Centro Brasileiro de Construção em Aço. Rio de Janeiro. 2006.

RODRÍGUEZ, Marco Antônio Arancibia. **Coordenação técnica de projetos: caracterização e subsídios para sua aplicação na gestão do processo de projeto de edificações**. 2005. 186p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.

RODRIGUES, Marilucy Butinholi. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ROMANO, Fabiane Vieira. **Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações**. 2003. 381f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

ROSSO, Teodoro. **Racionalização Construtiva**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Primeira Edição 1980. Reimpressão 1990. São Paulo, 1990.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SALUSTRI, Filippo A.; CHAN, V. **Design for assembly**. Disponível em: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>. Acesso em Fevereiro de 2011.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Hernández; LUCIO, Pilar Baptista. **Metodologia de pesquisa**. 3ª Edição. São Paulo. Editora McGraw-Hill. 2006.

SANTIAGO, Alexandre Kokke. **O uso do sistema LSF associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2008.

SANTIAGO, Alexandre Kokke; ARAÚJO, Ernani Carlos de. **Sistema LSF como fechamento externo vertical industrializado**. 2008. Brasil – São Paulo. Congresso latino-americano da construção metálica. 2008.

SCUR, Álvaro Roberto. **Aplicação do design for assembly (DFA) no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional**. 2009. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 2009.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. Segunda Edição. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.

SILVA, Fernando Benigno da. **Steel frame**. Técnica. 147. Editora Pini. São Paulo 2010.

SILVA, Margarete Maria de Araújo; SABBATINI, Fernando Henrique. **Conteúdo e padrão de apresentação dos projetos para a produção de alvenarias de vedações racionalizadas**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2007. 62 p.

SINAT 003. **Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (sistemas leves tipo “light steel framing”)**. Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Habitação. Programa Nacional da Qualidade e Produtividade do Habitat. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. Brasília. 2010.

SONG, Lingguang; MOHAMED, Yasser; ABOURIZK, Simaan M. **Early contractor involvement in design and its impact on construction schedule performance**. Journal of Management in Engineering. V. 25. n.1. p. 12-20. 2009.

SOUZA, Roberto; ABIKO, Alex K. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo. 1997.

SOUZA, Ubiraci E. Lemes de. **Projeto e Implantação do Canteiro**. Segunda Edição. São Paulo: O Nome da Rosa Editora, 2002. Coleção Primeiros Passos da Qualidade no Canteiro de Obras.

STARRETT. **Ferramentas e acessórios para trabalhos externos**. Disponível em <<http://www.starrett.com.br/produtos/produtos.asp?cat=5&linha=97&linhanome=Giz-de-Linha>>. Acesso em Maio de 2011.

STARK, John. **A few words about DFA and DFM**. John Stark Associates. 1998. Disponível em <<http://www.johnstark.com/fwdfx.html>> . Acesso em Fevereiro de 2011.

STEHN, Lars; BERGSTÖM, Max. **Integrated design and production of multi-storey timber frame houses – production effects caused by customer-oriented design**. International Journal of Production Economics. N. 77. p. 259-269. 2002.

TANIGUTI, Eliana Kimie; BARROS, Mercia Maria Bottura. **Vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado: método construtivo**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

TATIKONDA, Mohan V. **Design for assembly: a critical methodology for product reengineering and new product development**. Production and Inventory Management Journal. 1994.

TERNI, Antonio Wanderley; SANTIAGO, Alexandre Kokke; PIANHERI, José. **Steel frame-fundações**. Artigo Técnico. Revista Técnica n.135. Editora Pini. São Paulo. 2008.

TILLEY, Paul A. **Lean design management - a new paradigma for managing the design and documentation process to improve quality?** Proceedings IGLC-13. p.283-295. Sydney – Australia. 2005.

TOOKEY, J.E.; BOWEN, P.A.; HARDCASTLE, C.; MURRAY, M.D. **Concurrent engineering: a comparison between the aerospace and construction industries.** Journal of Engineering, Design and Technology. V3. No.1. p.44-55. CAPE Peninsula University of Technology. 2005.

TZORTZOPOULOS, Patrícia. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras de pequeno porte** . 1999, Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

VEDACIT. **Manual técnico Vedacit-Otto Baumgart**. Disponível em <<http://www.vedacit.com.br>>. Acesso em Junho de 2010.

VELJKOVIC, Milan; JOHANSSON, Bernt. **LSF for residential buildings**. Thin-walled structures. N.44. p.1272-1279. 2006.

VISSER, Willemien. **Design: one, but in different forms**. Design Studies. V.30.n 3. P. 187-223. 2009.

VIVAN, André Luiz ; PALIARI, José Carlos ; NOVAES, Celso Carlos . **Vantagem produtiva do sistema light steel framing: da construção enxuta à racionalização construtiva**. In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010. Canela-RS. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

WAINWRIGHT, Charles. **Design: a missing link in manufacturing strategy**. World Class Design to Manufacture. V2. N.3. p.25-32. 1995.

WU, Tong; O'GRADY, Peter. **A concurrent engineering approach to design for assembly**. Concurrent Engineering: Research and Applications Journal. V.7. n.3. 1999. SAGE Publications. 1999.