

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Keiny Soares Rilho

**INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DE
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DE SÓTÃO PRÉ-
FABRICADO EM *LIGHT STEEL FRAMING***

Porto Alegre
novembro 2016

KEINY SOARES RILHO

**INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DE
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DE SÓTÃO PRÉ-
FABRICADO EM *LIGHT STEEL FRAMING***

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre
novembro 2016

KEINY SOARES RILHO

**INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DE
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DE SÓTÃO PRÉ-
FABRICADO EM *LIGHT STEEL FRAMING***

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2016

Prof. Ruy Alberto Cremonini
Dr. pela Universidade de São Paulo
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof^a. Cristiane Sardin Padilla de Oliveria (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Luís Carlos Bonin (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Edgar e Ana Helena,
que me ensinaram que o estudo e dedicação são as atitudes
mais importantes para alcançar objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Ruy Cremonini pela forma criteriosa que orientou a elaboração desse trabalho, pelo conhecimento transmitido e pela paciência.

Agradeço aos meus pais, Edgar e Ana Helena, que nunca mediram esforços para que eu tivesse disponível a melhor educação acadêmica e formação de caráter.

Aos meus irmãos, Andry e Ranny, parceiros e incentivadores na concretização desse e tantos outros desafios.

À minha companheira Marina, por estar ao meu lado para o que der e vier e compreender as madrugadas adentro que passei estudando para provas e elaborando o TCC.

Agradeço aos meus amigos e colegas de faculdade, Luiz Eduardo, Leonardo, Gustavo, que ao longo dos anos acadêmicos se consagraram amigos leais e essenciais para a conquista do objetivo de graduação.

Aos engenheiros Willians e Braian pelo apoio técnico e informações fornecidas para a elaboração do presente trabalho.

Aos demais professores da UFRGS que buscam cativar os estudantes e ensinar a arte da Engenharia Civil.

Se você conhece o seu inimigo e a si mesmo, não precisa
temer o resultado de uma centena de batalhas.

Sun Tzu

RESUMO

A indústria da construção, em especial o subsetor Edificações, é marcada por sistemas construtivos artesanais e rudimentares, porém em face da crescente demanda a indústria busca utilizar soluções industrializadas a fim de melhorar os índices de produtividade e assertividade na execução dos processos. O sistema construtivo conhecido como *Light Steel Framing* surge como uma alternativa que engloba fatores de industrialização e racionalização dos processos oferecendo vantagens competitivas sobre os sistemas convencionais de construção. A partir do estudo de caso realizado na cidade de Porto Alegre-RS foi analisado como se caracteriza a execução dos processos e quais os fatores logísticos que envolvem a utilização do *Light Steel Framing* aliado ao método de pré-fabricação. Além disso, foi apresentada a influência da adoção desse método construtivo nos canteiros de obras, na segurança do trabalho e na geração de resíduos.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Delineamento do trabalho..... | 18 |
| Figura 2 –Gestão da qualidade e padronização..... | 26 |
| Figura 3 – Estrutura básica de uma casa em LSF..... | 23 |
| Figura 4 – Parafuso cabeça lentilha e ponta broca..... | 37 |
| Figura 5 – Parafuso cabeça sextavada e ponta broca..... | 37 |
| Figura 6 – Painel típico em LSF sem revestimento..... | 39 |
| Figura 7 – Representação gráfica da fixação dos painéis na estrutura de concreto | 41 |
| Figura 8 – Estrutura da laje em LSF | 44 |
| Figura 9 – Posicionamento do sótão pré-fabricado no local de destinação..... | 42 |
| Figura 10 – Planta baixa do térreo da residência..... | 45 |
| Figura 11 – Planta baixa do segundo pavimento da residência..... | 45 |
| Figura 12 – Planta baixa do sótão da residência..... | 46 |
| Figura 13 – Desenho esquemático do painel de parede pré-fabricado..... | 50 |
| Figura 14 – Fluxo de produção dos painéis de parede na fábrica..... | 51 |
| Figura 15 – Palete estocado no canteiro contendo painéis pré-fabricados..... | 52 |
| Figura 16 – Cama de montagem sendo montada..... | 54 |
| Figura 17 – Paredes do sótão sendo montadas sobre a cama de montagem..... | 54 |
| Figura 18 – Paredes do sótão sendo montadas sobre a cama de montagem..... | 55 |
| Figura 19 – Aplicação de fita isolante de neoprene na base dos painéis de parede..... | 56 |
| Figura 20 – Desenho em 3D da montagem das paredes do sótão..... | 56 |
| Figura 21 – Ventilação na cumeeira..... | 58 |
| Figura 22 – Montagem da estrutura de cobertura do sótão pré-fabricado..... | 59 |
| Figura 23 – Instalação dos componentes de cobertura do sótão pré-fabricado..... | 60 |
| Figura 24 – Instalação de forro de PVC e limpeza final do revestimento externo..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Figura 25 – Sótão sem vedação lateral..... | 62 |
| Figura 26 – Sótão com vedação lateral..... | 62 |
| Figura 27 – Içamento do sótão..... | 63 |
| Figura 28 – Unidade com acabamentos finais no encontro do sótão com a estrutura convencional..... | 64 |
| Figura 29 - Histograma apresenta quantidade de sótão produzida por mês..... | 67 |
| Figura 30 – Figura aérea mostrando a demarcação do canteiro de obras e área de apoio | 68 |
| Figura 31 – Quadros sequenciais da montagem dos sótãos e movimentação da cama de montagem..... | 69 |
| Figura 32 – Imagem aérea das vias de acesso asfaltadas..... | 70 |
| Figura 33 – Instalação de telhas <i>Shingle</i> no nível do solo..... | 73 |
| Figura 34 – Operários instalando Siding Vinílico..... | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Índices de perdas na construção civil..... | 30 |
| Tabela 1 – Perfis de aço formados a frio com suas respectivas utilizações..... | 36 |
| Tabela 3 – Simulação do comparativo de previsão de prazo de execução de sótão pelo método convencional e pelo sistema pré-fabricado em LSF..... | 47 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPS - Poliestireno Expandido

LSF – Light Steel Framing

NBR - denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

NR – Norma Regulamentadora

OSB – Oriented Strand Board

PVC - Policloreto de Vinil

SINDUSCON/RS - Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Estado do Rio Grande do Sul

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

m – metro

mm – milímetro

cm - centímetro

m² - metro quadrado

R\$ – Real

MPa – mega Pascal

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 DIRETRIZES DA PESQUISA..... | 15 |
| 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA..... | 14 |
| 2.2 OBJETIVO DE PESQUISA..... | 15 |
| 2.2.1 Objetivo Primário..... | 15 |
| 2.2.2 Objetivo Secundário..... | 15 |
| 2.3 DELIMITAÇÕES..... | 16 |
| 2.4 LIMITAÇÕES..... | 16 |
| 2.5 DELINEAMENTO..... | 17 |
| 3 INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DE EDIFICAÇÕES..... | 19 |
| 3.1 INOVAÇÃO, TÉCNICA E TECNOLOGIA..... | 20 |
| 3.2 RACIONALIZAÇÃO DE PROCESSOS..... | 22 |
| 3.3 PRÉ-FABRICAÇÃO..... | 23 |
| 3.3.1 Objetivo Primário..... | 23 |
| 3.3.2 Padronização e Repetitividade..... | 25 |
| 3.3.3 Vantagens e Desvantagens da Pré-fabricação..... | 26 |
| 3.3.4 Influência no Canteiro de Obra..... | 28 |
| 3.3.5. Geração de Resíduos na Produção..... | 29 |
| 3.3.6. Segurança do Trabalho..... | 30 |
| 3.4 CONSIDERAÇÕES QUANTO À INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DE EDIFICAÇÕES..... | 31 |
| 4 LIGHT STEEL FRAMING: UMA ALTERNATIVA PARA A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL..... | 33 |
| 4.1 O QUE É LSF..... | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2 HISTÓRICO..... | 34 |
| 4.3 PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO..... | 35 |
| 4.4 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS..... | 38 |
| 4.4.1 Painéis de Parede..... | 38 |
| 4.4.2 Fundação e Fixação..... | 40 |
| 4.4.3 Painéis de Cobertura..... | 41 |
| 4.4.4 Laje..... | 42 |
| 5 ESTUDO DE CASO..... | 43 |
| 5.1 EMPRESAS ENVOLVIDAS..... | 43 |
| 5.2 OBJETO DE ESTUDO: SÓTÃO PRÉ-FABRICADO..... | 43 |
| 5.3 VANTAGENS ESPERADAS..... | 46 |
| 5.4 SEQUÊNCIA DE PRODUÇÃO..... | 48 |
| 5.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE PAREDE E MONTAGEM NA OBRA..... | 49 |
| 5.6 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE COBERTURA E MONTAGEM NA OBRA..... | 57 |
| 5.7 PREPARAÇÃO PARA IÇAMENTO E POSICIONAMENTO DO SÓTÃO..... | 61 |
| 5.8 PROCESSO DE IÇAMENTO E POSICIONAMENTO..... | 62 |
| 6 RESULTADOS E ANÁLISE | 65 |
| 6.1 CURVA DE APRENDIZAGEM DA PRODUÇÃO..... | 66 |
| 6.2 INFLUÊNCIA NO PLANEJAMENTO DO CANTEIRO DE OBRAS..... | 67 |
| 6.3 INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS..... | 71 |
| 6.4 INFLUÊNCIA NA SEGURANÇA DO TRABALHO..... | 72 |
| 6.5 COMPARATIVO DE EXECUÇÃO ENTRE O SÓTÃO PRÉ-FABRICADO E O MÉTODO CONVENCIONAL CONSTRUTIVO..... | 75 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 77 |

| | |
|---|-----------|
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 80 |
| APÊNDICE A..... | 83 |
| APENDICE B..... | 93 |

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais as organizações industriais enfrentam o desafio de fornecer produtos e serviços mais competitivos de acordo com as necessidades de um mercado de consumo em constante mudança. A busca pela excelência visando êxito econômico, baixos impactos ambientais e o atendimento aos requisitos de desempenho dos usuários, entre outros, é o norte para o surgimento de práticas inovadoras na indústria da construção civil de edificações. No entanto, de acordo com Formoso e Saurin (2003) a indústria da construção, em especial o subsetor Edificações, é frequentemente citada como exemplo de setor atrasado, com baixos índices de produtividade e elevado índice de desperdícios de recursos, apresentando, em geral, desempenho inferior à indústria de transformação.

Segundo Crasto (2005), o método construtivo convencional peca pela baixa produtividade e o excesso de desperdícios por ser um método artesanal. A inovação tecnológica apresenta opções a fim de aprimorar os métodos já existentes ou substituí-los por métodos que melhor servem ao mercado consumidor e produtivo.

A adoção de madeira para a construção de estruturas de telhado, assim como a utilização de alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos com revestimento de argamassa, como sistema de vedação vertical, pode ser enquadrada como método convencional de construção no Brasil, visto que o dicionário define convencional como: “*Adjetivo que caracteriza o que normalmente acontece; algo comum, usual, normal*”.

Na busca por alternativas que melhorassem o processo de construção, para atender a população em crescimento acelerado, surgiu nos Estados Unidos no século XX o sistema conhecido como *Light Steel Framing* (LSF). A tecnologia do LSF, mesmo que amplamente utilizada nos dias de hoje em países desenvolvidos como Estados Unidos, Austrália, Canadá e Japão, encontra no Brasil um mercado ainda resistente a sua utilização, em que apenas a fabricação dos perfis de aço laminados são normalizados pela ABNT através da NBR 15253:2014.

O *Light Steel Framing* é um sistema construtivo estruturado em perfis de aço galvanizado formado a frio, projetados para suportar as cargas da edificação e trabalhar em conjunto com outros subsistemas industrializados, de forma a garantir os requisitos de funcionamento da edificação (CRASTO, 2005). Esse sistema é considerado como um processo de construção a seco, pois não utiliza água na produção, e, assim como o sistema de vedação de *dry-wall*, utiliza placas prontas para revestimento interno e externo. Esse fator oferece vantagens de agilidade à obra.

Como um dos propósitos principais do LSF é a agilidade na produção, muitos trabalhos já foram feitos para estudar seu desempenho em relação à produtividade e à velocidade na construção, o que não será amplamente dissertado no presente trabalho, ainda que relevante. O escopo deste trabalho abrange as etapas do estudo de concepção do projeto e da execução de um projeto específico de LSF, logística do processo e também faz a comparação teórica com o método construtivo convencional. Com essa premissa, esse estudo tem o foco de analisar o caso da produção de um projeto fabricado em LSF em residências unifamiliares na cidade de Porto Alegre – Rio Grande do Sul.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

O desenvolvimento deste trabalho está baseado em pesquisa bibliográfica em conjunto com visitas de campo no empreendimento em fase de construção e na fábrica de pré-fabricação das peças no sistema em *Light Steel Framing*.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão deste trabalho é: como se caracteriza a utilização do sistema construtivo de pré-fabricação em *Light Steel Framing* e quais os fatores logísticos que envolvem a execução de obras de edificações que utilizam esse sistema?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão discriminados a seguir entre objetivos primários e objetivos secundários.

2.2.1 Objetivo primário

O objetivo principal desse trabalho é avaliar o uso do sistema de pré-fabricação em *Light Steel Framing* em construção de edificações unifamiliar, quanto à sua viabilidade e influência na logística de execução.

2.2.2 Objetivo secundário

Os objetivos secundários desse trabalho são:

- a) apresentar as etapas que constituem a execução dos processos na fábrica bem como no canteiro de obras;
- b) apresentar as alterações percebidas no planejamento e layout de canteiro de obra;
- c) apresentar vantagens e desvantagens do uso do sistema construtivo LSF em comparação com o método convencional;
- d) apresentar possíveis melhorias na concepção do projeto e na execução;

2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho possui as seguintes delimitações:

- a) o foco da investigação deteve-se no estudo de caso específico de sótãos pré-fabricados, tendo sido analisados os aspectos pertinentes à execução e à concepção do projeto.
- b) a coleta de informações com os profissionais envolvidos nos processos executados nos ambientes de fábrica e de canteiro de obras, localizados nas cidades de Novo Hamburgo-RS e Porto Alegre-RS, respectivamente.

2.4 LIMITAÇÕES

Este trabalho limita-se a coletar informações no empreendimento já em execução e acompanhar até a conclusão. Os dados recebidos referentes ao período anterior ao início do acompanhamento serão considerados íntegros.

As empresas envolvidas no empreendimento decidiram por não fornecer todas as informações do projeto, pois consideraram segredo industrial, o que veio a ser uma limitação para a apresentação das técnicas de execução do estudo de caso.

2.5 DELINEAMENTO

A pesquisa bibliográfica foi realizada desde o início do trabalho com o objetivo de adquirir conhecimento e informações pertinentes ao desenvolvimento do trabalho, e se mostrará presente sempre que necessária para contribuir com apresentação de dados obtidos ao longo das etapas seguintes.

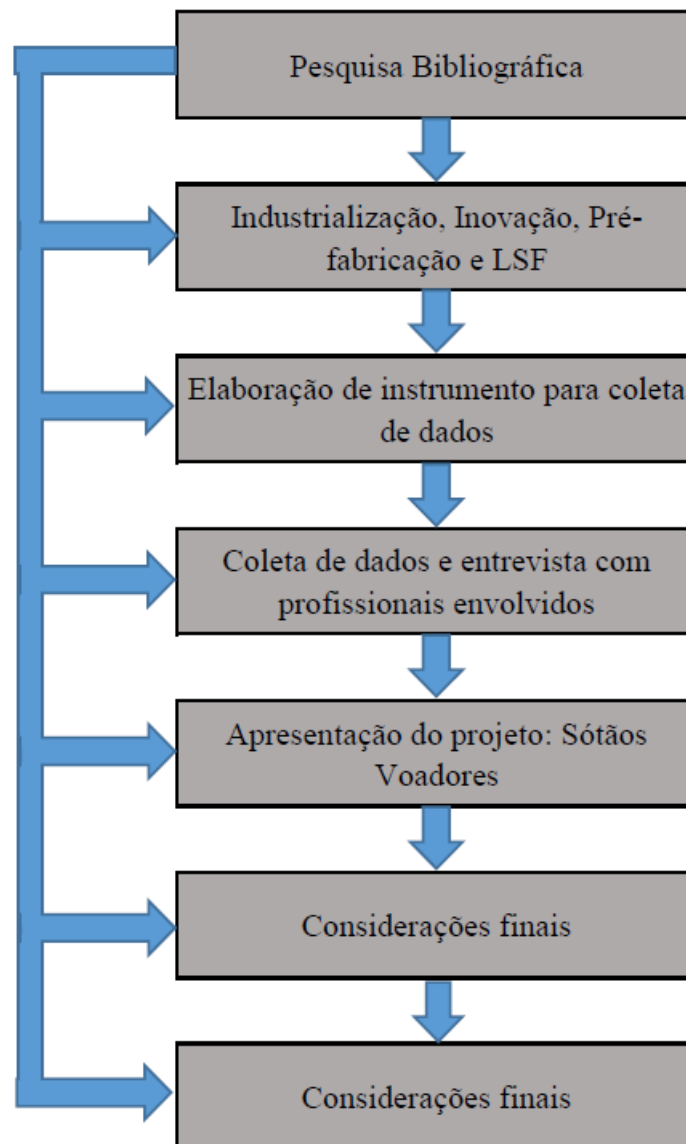
É apresentada uma revisão bibliográfica abordando o processo de industrialização na construção civil de edificações e os aspectos que abrangem a inovação no setor. Foi abordada a utilização do método de pré-fabricação como exemplo de industrialização e suas influências logísticas para execução da obra. Em seguida é apresentado e caracterizado o sistema construtivo em LSF.

Então foi iniciado o estudo de caso em questão. A fim de coletar as informações em campo do projeto e dos profissionais envolvidos, se viu necessário elaborar instrumentos de coleta de dados. Foram eles: questionários para entrevistas com perguntas específicas, mas não limitantes, deixando o entrevistado livre para comentários e perguntas não previstas; relatório fotográfico e acesso a projetos específicos.

Com informações organizadas foi possível então apresentar o projeto e suas peculiaridades. São apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização do processo produtivo escolhido. São, então, apresentadas as considerações finais dos objetivos alcançados na elaboração desde trabalho.

As etapas referidas no delineamento do trabalho estão apresentadas abaixo na Figura 1.

Figura 1 – Delineamento do trabalho



(fonte: elaborada pelo autor.)

3 INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DE EDIFICAÇÕES

As edificações e obras de engenharia civil influenciam direta e indiretamente toda sociedade. Essa influência pode ser relacionada às infraestruturas de transporte, barragens e hidrelétricas, construções de uso coletivo, habitações familiares, entre outros. A qualidade das construções habitacionais é um fator importante para os indivíduos que moram nelas, e as transformações na área civil da engenharia apresentam diversas tecnologias que podem ser aplicadas nos projetos de construções habitacionais, tais como alvenaria estrutural, estrutura de madeira, estrutura de concreto, *light steel framing*, *wood framing*, etc.

Existem dois grandes grupos em que podem ser classificados os sistemas produtivos de construções: os produzidos *in loco* (produzidas no próprio local de destinação final) e aqueles de montagem de componentes industrializados pré-fabricados em locais fora do local definitivo, existindo ainda os mais variados graus de combinação entre os tipos *in loco* e pré-fabricado que resultam em grande distinção de produtividade, desempenho e configuração de planejamento da construção.

Os processos produtivos mais usados atualmente, nas obras do Brasil, são de caráter artesanal, apresentando baixa produtividade e padrões de qualidade muito dispersos. Desta forma, segundo Calçada (2014) o estudo dos processos produtivos atuais da construção civil e as inovações que estão sendo criadas em torno destes são fundamentais para entender como alcançar níveis de produtividade, qualidade e redução de custos cada vez maiores e, por isso, são uma parcela importante em termos de investimento no setor.

Existem três fatores que combinados geram as características dos diversos sistemas produtivos e que resultam no produto final, que é a edificação. Os três fatores são:

- a) mão de obra;
- b) materiais;
- c) equipamentos.

O método construtivo convencional na construção civil é associado a operações que já estão fortemente consolidadas nas práticas dos profissionais da área através do tempo de utilização.

Podendo, ou não, ser a melhor alternativa, muitas vezes métodos convencionais são usados por se apresentarem como a alternativa mais disponível. Normalmente utilizando baixo investimento tecnológico em equipamento e materiais e executado de forma quase artesanal com a mão de obra disponível.

Segundo Calçada (2014):

A construção civil, assim como a maioria das indústrias, evoluiu bastante ao longo do tempo e hoje existem muitas técnicas construtivas que utilizam tecnologias de ponta aliada a uma boa gestão de recursos. Porém, ainda nos dias de hoje é possível encontrar muitas obras utilizando processos construtivos defasados, de produção altamente artesanal e improvisada.

As empresas atuantes na indústria da construção tendem a adotar uma gestão de produção mais direcionada para um modelo industrializado no sentido de buscar maior produtividade e qualidade para se manterem competitivas em um mercado em constante expansão, com diversos métodos produtivos, e com exigências cada vez maiores por parte dos clientes.

É fundamental buscar otimizar os processos, bem como procurar industrializar os processos de produção da construção civil. Quanto mais equipamentos e máquinas trabalham na construção, maior a precisão entre o planejamento e os resultados, em comparação com mão de obra humana, em razão de diversos fatores. A máquina dá mais precisão na produção a partir do momento que é programada, é mais fácil de controlar e acertar o prazo. Quanto mais industrializada é a produção mais controlada ela tende a ser¹.

3.1 INOVAÇÃO, TÉCNICA E TECNOLOGIA

A escolha dos elementos técnicos de projeto, os materiais, as técnicas construtivas, os sistemas e instalações, dependem de razões econômicas e das intenções que se tem com determinado projeto. As condições de escolha também dependem das circunstâncias geográficas e históricas

¹ Essa informação foi colhida em entrevista com Engenheiro Willians Amaral, realizada no canteiro de obra do empreendimento do estudo de caso. A entrevista completa está disposta no apêndice A.

específicas (ISOLDI, 2007). É possível confirmar essa afirmação com a observação dos mais variados estilos de construções tradicionais ao redor do mundo, em um tempo onde a tecnologia não era tão facilmente compartilhada por questões logísticas, ou nem mesmo registrada para ser repetida. Em busca de aperfeiçoar as construções, e intrinsecamente, os materiais e as técnicas construtivas, surgem novas alternativas ou inovações.

Para dar continuidade à contextualização da inserção de novas alternativas no âmbito da construção é necessária a definição dos termos técnica e tecnologia.

De acordo com Vargas (1994), *técnica* é uma habilidade humana de fabricar, construir e utilizar instrumentos. Mas não apenas uma habilidade, *técnica* vem então a compreender um conjunto de saberes de ordem prática, métodos de execução, procedimentos, ou regras, para executar os mais diversos projetos e alcançar os resultados pretendidos.

O conceito da palavra *tecnologia* sofreu alterações significativas ao longo do tempo devido às variações de atividades que foram exercidas pelo homem desde o século XVII, quando foi utilizado pela primeira vez na língua inglesa. A definição dada por Vargas (1994) diz que a *tecnologia* é o estudo ou atividade da utilização de teorias, métodos e processos científicos para a solução de problemas técnicos, relacionados com materiais e processos construtivos, fabricação de produtos industriais, organização do trabalho e cálculos de projeto de engenharia.

O principal agente responsável pela evolução tecnológica é o homem e sua capacidade criativa. A criação de novas técnicas, de máquinas automatizadas ou até mesmo a crítica e a busca por alternativas mais eficientes às já existentes vêm através do homem que está disposto a assumir riscos para explorar soluções inovadoras.

Inovação na indústria da construção pode-se dizer que é a introdução de produtos, processos, métodos, técnicas ou sistemas não existentes anteriormente ou com alguma característica nova e diferente da até então em vigor.

Segundo Pessanha (1987), a inserção de uma prática inovadora não necessariamente é a inserção de algo novo no velho. Uma prática inovadora está relacionada com ruptura, ou seja, é o rompimento com algo já anteriormente concebido que caracteriza a prática inovadora e assim dando espaço e motivação para a criação de novas tecnologias.

Os projetistas de arquitetura e engenharia tem à disposição diversas tecnologias e combinações delas para apoiar a tomada de decisão em busca de alcançar os objetivos em questão de design, rapidez construtiva, desempenhos térmico e acústico, sustentabilidade entre outros. Com base no histórico, verifica-se que a indústria da construção tende a ter cada vez mais alternativas graças à inovação tecnológica.

3.2 RACIONALIZAÇÃO DE PROCESSOS

A construção civil tem buscado industrializar seus processos, eliminando aspectos artesanais de produção. Para tal mudança é necessário a utilização de um raciocínio lógico e analítico que busque a melhor utilização dos recursos disponíveis aliado a implantação de novas tecnologias entrantes no mercado. O pioneiro na área de estudos para aumentar a produtividade e eficiência do trabalho nesta linha de raciocínio foi o americano Frederick Winslow Taylor (1856 - 1915), quando criou a Escola de Administração Científica e a denominação de *racionalização do trabalho* (SANTOS *et al*, 2011).

A organização dos estudos de racionalização do trabalho, idealizado por Taylor no século XIX, se baseava em análise científica e estudo detalhado de tempos, movimentos e outros aspectos da produção a fim de organizar o processo de forma sistemática com tempos cronometrados, ergonomia do operário, arranjo físico ideal do local de produção, redução do desperdício, etc.

Ao logo do tempo a racionalização vem passando por evoluções e na verdade o que houve foi o desenvolvimento e surgimento de novas tecnologias e ferramentas de suporte ao processo de racionalização, já que no contexto da indústria da construção civil nota-se o esforço para análise e melhoria dos processos produtivos em busca de produtividade aliado à qualidade (SANTOS *et al*, 2011).

A racionalização e a industrialização caminham juntas, e de acordo com Santos *et al* (2011) a aplicação de medidas racionalizadas aumenta o nível organizacional dos processos, o que é a base da industrialização.

Do ponto de vista da racionalização é possível calcular qual é o ritmo ótimo de fabricação para determinado sistema construtivo. E quando a tecnologia de pré-fabricação é introduzida no mercado

da construção civil, a industrialização do setor dá um importante salto em direção à evolução, em função de alguns fatores que são apresentados a seguir.

3.3 PRÉ-FABRICAÇÃO

Uma solução que surgiu como uma alternativa estratégica na industrialização da construção civil é a utilização de peças pré-fabricadas. É uma opção de projeto que quando devidamente empregada pode vencer barreiras impostas ao empreendimento, tais como construir em condições climáticas adversas, cronogramas apertados, redução de perdas por resíduos e controle de qualidade mais confiável (RODRIGUES, 2005).

O sistema de pré-fabricação consiste em segmentar a produção do projeto de edificações de maneira com que seja possível a produção de componentes de acordo com o projeto em locais externos ao canteiro de obra, ou em locais pré-definidos dentro do canteiro de obra, e posteriormente transportados e fixados no local adequado, concedendo à edificação as características de projeto. Inerente ao processo de pré-fabricação está o processo de transporte das peças pré-fabricadas até o destino final e o processo de montagem na obra.

3.3.1 Princípios Básicos de Projeto

De acordo com Sirtoli (2015) a pré-fabricação é um método industrial de construção em que elementos são produzidos em séries por métodos de produção em massa e são montados na obra mediante aparatos e dispositivos elevatórios.

É importante que na etapa de concepção do projeto os projetistas considerem as possibilidades, restrições e vantagens da utilização de pré-fabricados em seus detalhes de produção, transporte, montagem e tamanho dos lotes antes de completar o projeto, de modo que seja assegurado que todos os profissionais envolvidos possam vir a executar as etapas de produção com o máximo de eficiência.

Em respeito às formas e disposições construtivas alguns princípios básicos são citados por Koncz (1968, p.34), e que, apesar da data de publicação da bibliografia ser consideravelmente antiga, o conteúdo se conservou ao longo do tempo:

- a) o projeto deve ser subdividido no menor número possível de elementos, que serão considerados como peças pré-fabricadas. Geralmente as peças pré-fabricadas são compostas por um conjunto de componentes. De acordo com a NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) algumas definições são importantes:
 - componente: unidade integrante de determinado sistema da edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas (por exemplo, bloco de alvenaria, telha, folha de porta);
 - elemento: parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (por exemplo, parede de alvenaria de vedação, estrutura de cobertura);
 - sistema: maior parte funcional do edifício. É um conjunto de componentes e elementos destinados a atender uma macrofunção que o define (por exemplo, fundação, piso, instalação hidrossanitária);
- b) cada peça pré-fabricada deve contemplar o maior número possível de componentes diferente na sua concepção. Ou seja, agregar vários componentes em uma única peça. Esses componentes devem, sempre que possível, ser fabricados com os mesmos moldes (produção em série);
- c) as peças devem, se possível, ser projetadas para exercer mais de uma função na edificação (agregar a função estrutural e vedação por exemplo);
- d) as peças devem ser fabricadas mecanicamente, ou pelo menos com alto grau de mecanização;
- e) as peças devem corresponder a uma mesma categoria de peso e tamanho para otimizar a utilização dos aparatos elevatórios e de transporte;
- f) de um ponto geral as peças pré-fabricadas devem ter dimensões que comportem ser transportadas por caminhões dentro das rotas previstas;

De acordo com Sirtoli (2015, p.26) para obter um melhor projeto e execução para sistemas pré-fabricados, a mentalidade do sistema industrializado e pré-fabricado deve ser incorporada desde a concepção preliminar do projeto e não meramente adaptada de um método tradicional de sistema produzido in loco. O fato de que as peças pré-fabricadas são produzidas em locais diferentes da edificação em si impossibilita qualquer alteração ou improvisação no decorrer da execução que possa vir a influenciar encaixes e fixações, isso faz com que a etapa de projeto e planejamento seja de suma importância para o sucesso da construção.

3.3.2 Padronização e Repetitividade

A padronização visa submeter um processo produtivo a seguir um determinado método de produção normalizado. De acordo com Rodrigues (2005) os impactos percebidos pelas empresas que padronizam seus processos podem vir a ser o aumento da produtividade, a diminuição da variabilidade dos produtos, previsão de materiais e equipamentos necessários para a execução e, conseqüentemente, o aumento na qualidade final do produto.

A padronização é uma ferramenta gerencial fundamental para alcançar qualidade desejada. Para melhor entendimento da relação entre padronização e qualidade, cabe então definir a palavra qualidade:

- a) Baseado na manufaturabilidade e no atendimento de serviços, Crosby (1979) diz que qualidade significa conformidade aos requerimentos, ou seja, defeito zero.
- b) Feigenbaum (1983) faz a definição que qualidade é o grau na qual um produto é conforme seu desenho ou especificação projetada, ou seja, o compromisso com excelência;
- c) Taguchi (1986) vai um pouco mais além e fala que qualidade consiste em minimizar as perdas causadas pelo produto ao longo prazo não apenas ao cliente, mas à sociedade como um todo. Essa qualidade pode ser alcançada através do atingimento do alvo (objetivo) com menor variabilidade.

Documentos formais elaborados pelo setor de engenharia que especificam a maneira correta de executar a atividade, e de estocagem de materiais, são essenciais para alcançar produtos padronizados e garantir a repetitividade do processo produtivo.

A produção em larga escala de peças pré-fabricadas justifica a utilização de métodos de que garantam a padronização e a repetitividade em busca de alcançar bons resultados nos níveis de produtividade (RODRIGUES, 2005).

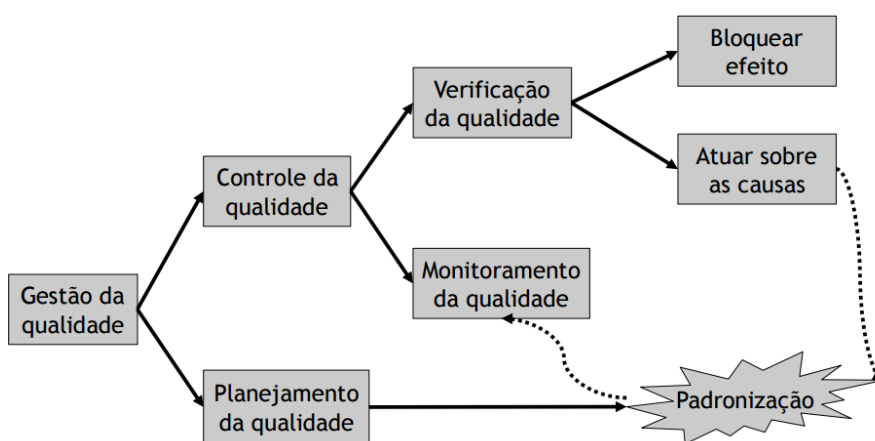
De acordo com Formoso (2016) as instruções de execução aliadas ao monitoramento contínuo da execução das operações, a fim de evitar falhas de execução, e por fim, uma postura atuante dos responsáveis pela verificação do produto final sobre as possíveis causas de não conformidades dos padrões, retroalimentam o banco de dados para a melhoria contínua do

processo de padronização, para então alcançar o nível máximo de capacidade de produção com qualidade.

A Figura 2 (FORMOSO, 2016) apresenta o delineamento de ações para alcançar bons resultados no que se refere à padronização de processos:

- a) planejamento da qualidade: a escolha dos processos controlados e criação documentos de instrução de execução;
- b) monitoramento da qualidade de execução: atuação contínua de profissionais responsáveis pelo cumprimento da instrução;
- c) atuação sobre as causas de produtos defeituosos: documentos que relatam não-conformidades e ações tomadas.

Figura 2 - Gestão da Qualidade e Padronização



(fonte: FORMOSO, 2016)

As obras de caráter repetitivo costumam se defrontar com um fenômeno denominado efeito de aprendizagem, o qual possibilita o aperfeiçoamento dos processos nas obras, por meio da continuidade e repetição. De acordo com Oliveira (2003), a contínua repetição faz com que o operário se adapte às condições de trabalho melhorando gradativamente a qualidade dos serviços e reduzindo a variabilidade do produto ao longo do tempo.

3.3.3 Vantagens e Desvantagens da Pré-fabricação

O emprego do sistema de pré-fabricação normalmente reflete em benefícios que abrangem uma série de fatores, que podem vir a ser observados de acordo com peculiaridades de cada projeto,

e que, de acordo com Rodrigues (2005) são listados a seguir e apresentam concordância com o mercado atual da construção civil:

- g) redução de custos de execução devido a maior produtividade dentro de instalações fabris em comparação àquela obtida no canteiro de obras, devido ao controle das perdas anteriormente citadas por movimentação e transporte e outros fatores;
- h) transferência dos trabalhadores do canteiro para fábrica, resultando na redução de fluxo de trabalhadores no canteiro, bem como, redução da infraestrutura do canteiro;
- i) maior precisão no cronograma de execução, tendo em vista que o trabalho é realizado em ambiente fechado, sem interferência das condições climáticas adversas;
- j) melhor qualidade na fabricação devido as condições de controle vantajosas na manufatura fabril;
- k) redução de exposição a riscos em termos de segurança do trabalho. No caso em que a produção das peças pré-fabricadas é executada na fábrica, em ambiente possivelmente planejado, ao nível do solo, para posteriormente ser posicionada, evitando trabalho em altura;
- l) menor geração de resíduos e sustentabilidade, por se tratar de um processo produtivo padronizado procura-se otimizar o uso de materiais e estocagem.

São várias as vantagens estratégicas da utilização de peças pré-fabricadas, no entanto a decisão da implementação desse método deve levar em conta algumas ressalvas que podem se apresentar como potenciais riscos ou até a impossibilidade de utilização de peças pré-fabricadas.

De acordo com Escóssia (2016) a coordenação de múltiplos locais de produção pode vir a ser um fator que prejudique o gerenciamento e o acompanhamento da produção pela falta de instrumento de comunicação eficientes. Vale ressaltar também a logística quando a estratégia de transporte da peça e posicionamento exija caminhões e guindaste de grande porte bem como a rota e a área de manobra e a interferência física com fiação de distribuição elétrica.

3.3.4 Influência no Canteiro de Obra

O planejamento de um canteiro de obras pode ser definido, de acordo com Formoso e Ino (2003), como o planejamento do *layout* e da logística de suas instalações provisórias, instalações de segurança e sistemas de movimentação e armazenamento de materiais. Planejar o canteiro de obras significa posicionar estrategicamente as áreas dentro do canteiro em função das atividades realizadas. Sabe-se que não existe uma regra pré-estabelecida que define o *layout* de canteiros de obras, as soluções variam de acordo com o contexto geral que engloba diversos aspectos, tais como características do terreno, método construtivo, quantidade de operários, entre outros. Além do mais, um canteiro de obra pode vir a alterar sua configuração no decorrer das etapas de execução da obra, de acordo com a necessidade apresentada.

Os principais objetivos do planejamento do canteiro de obras são citados a seguir, de acordo com Formoso e Ino (2003):

- a) aumento da eficiência produtiva: principalmente através da eliminação de atividades que não agregam valor, minimizando as distâncias entre materiais, equipamentos e local de utilização;
- b) melhora das condições de trabalho: disponibilizar ambiente organizado, com energia elétrica disponível de forma segura e com vias de pedestres claras e seguras evitando acidentes;
- c) aumento na transparência: facilita a visualização do fluxo das atividades da produção de forma sistêmica e, por consequência, a visualização de falhas. Utilização de identificação das áreas para comunicação com todos operários do canteiro.

A utilização do sistema de pré-fabricação influencia diretamente o planejamento do canteiro de obras. Essas influências podem acarretar em benefícios como a redução de fluxo trabalhadores e materiais no canteiro, dado à retirada dos processos que seriam executados no canteiro de obras e que são deslocados para a fábrica. O resultado dessa redução de fluxo pode ser a diminuição de áreas provisórias, aumento na transparência e limpeza do canteiro de obras devido a menor quantidade de materiais em estoque na obra e resíduos gerados na produção.

Apesar das vantagens que podem vir a ser observadas, é necessário o planejamento do canteiro levando-se em conta vias de acesso para os caminhões (de grande ou médio porte) transportando as peças pré-fabricadas, bem como planejamento de locais aonde serão posicionados os

guindastes de içamento para a locação das peças, evitando interferência com cabeamento elétrico ou outras interferências.

3.3.5 Influência na Geração de Resíduos da Produção

Todo canteiro de obra deve implementar um sistema de gestão de resíduos. O descarte de material é de responsabilidade do empreendimento. O sistema de gestão de resíduos deve estar nos moldes das resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente que estabelecem a responsabilidade de minimizar a geração de resíduos e a segregação de maneira adequada para fins de reutilização ou reciclagem, ou em último caso o descarte em locais específicos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE nº307 e CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE nº448).

O desperdício de materiais no setor da construção civil se mostra excessivo comparado com outros setores industriais, e figura em diversas pesquisas e debates profissionais. O conhecimento da situação vigente e a proposta de caminhos para melhorar o desempenho do setor quanto ao desperdício de materiais e sustentabilidade tornam-se indispensáveis no contexto atual de acirramento da competição entre as empresas e de crescentes exigências por parte dos consumidores de obras de edifícios (AGOPYAN et al., 2003, p. 226)

De acordo com Agopyan et al. os desperdícios que ocorrem dentro do canteiro de obras se separam em dois destinos, e são associados a duas fases do empreendimento:

- a) concepção do projeto: os desperdícios na fase de concepção do projeto podem ser o superdimensionamento de uma estrutura de concreto pela falta de conhecimento do projetista e conseqüentemente gerando um elevado consumo de concreto. Ou então a definição do traço da argamassa em obra levar um consumo desnecessariamente alto de cimento. Pela definição de Agopyan et al. os desperdícios nessa fase não geram entulho, mas sim a utilização desnecessária de material incorporado no produto;
- b) execução: existem várias fontes que ocasionam desperdício de material na fase de execução. Tijolos armazenados inadequadamente podem vir a quebrar, concreto transportado por equipamentos e trajetos inadequados pode cair pelo caminho, falhas de execução da alvenaria podem vir a ser corrigidas aumentando a espessura da argamassa de revestimento. Falha de sincronização e comunicação entre operários pode vir a apresentar o desperdício por endurecimento de gesso e argamassa. Nessa fase os desperdícios podem ser

separados em entulho que será descartado e material incorporado (sobre-espessura de revestimento, por exemplo).

Para fins de comparação de desperdício de material do sôtão pré-fabricado com processos convencionais foram usados dados da pesquisa de Agopyan et al. (2003). Essa pesquisa deu-se na fase de execução de mais de cem obras em todo o Brasil e foram focadas as perdas físicas de quantidade dos materiais tendo como referência (ou consumo representativo de perda nula) as prescrições de projeto. Para serviços com utilização de argamassa foi particularmente analisado o controle real de cimento utilizado para a mistura, enquanto que para os outros materiais foi analisado o volume de insumo consumido.

Tabela 1 – índices de perdas na construção civil

| Material | Média (%) | Mediana (%) | Mínimo (%) | Máximo (%) | n |
|--------------------------|-----------|-------------|------------|------------|----|
| Concreto usinado | 9 | 9 | 2 | 23 | 35 |
| Bloco cerâmico | 18 | 14 | 5 | 48 | 21 |
| Bloco de concreto | 10 | 11 | 3 | 20 | 9 |
| Tijolo cerâmico | 21 | 15 | 10 | 48 | 7 |
| Gesso | 45 | 30 | -14 | 120 | 3 |
| Cerâmica parede | 16 | 13 | -1 | 50 | 28 |
| Argamassa reves. Interno | 121 | 102 | 8 | 234 | 11 |
| Argamassa reves. Externo | 77 | 53 | -11 | 164 | 8 |
| Argamassa Contrapiso | 8 | 42 | 8 | 88 | 7 |
| Argamassa assentamento | 119 | - | - | - | 11 |

3.3.6 Influência na Segurança do Trabalho

A Segurança do Trabalho é parte integrante em um processo de produção e um dos objetivos permanentes de uma empresa (ROUSSELET, 1997). Tem por objetivo preservar a saúde e o bem-estar dos trabalhadores e de todos que possam ser influenciados pela atividade exercida.

São muitas as responsabilidades do gestor da obra quanto à segurança do trabalho em obra. De acordo com a Norma Regulamentadora 4 (NR 4) intitulada de Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (BRASIL, 2016), compete à gestão da obra fornecer ambiente de trabalho seguro e com condições saudáveis a todos de modo a reduzir ou até eliminar os riscos ali existentes à saúde do trabalhador.

A NR18 intitulada de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (BRASIL, 2015) estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de

organização, que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança para processos específicos da Indústria da Construção.

O item NR18.13 estabelece medidas de proteção contra quedas de altura (BRASIL, 2015) com aparatos rígidos de proteção que impeçam materiais, equipamentos ou pessoas de cair e ferir alguém.

O transporte vertical de materiais e movimentação de pessoas está disposto na NR18.14 (BRASIL, 2015) e dispõem requisitos para instalação, montagem, operação e manutenção de equipamentos. Consta que todo o processo de dimensionar, projetar e especificar treinamento técnico para operação e instalação dos equipamentos deve ser feito por profissional habilitado. Constam também detalhes quanto à obrigação de manutenção e registros oficiais.

Além do aumento da segurança em função da obrigatoriedade de obedecer às Normas Reguladoras, o investimento em segurança do trabalho pode trazer tantos outros benefícios, como os citados por Altmann (2005):

É muito difícil conseguir a qualidade em um processo ou produto sem um ambiente de trabalho em condições adequadas e que propicie o trabalhador a direcionar toda a sua potencialidade ao trabalho que está sendo executado. Segurança do Trabalho passa a ter importância fundamental para a consecução dos mais altos índices de qualidade e produtividade.

Dessa forma, a introdução de novas tecnologias na construção civil objetiva, além de ganhos já citados em produtividade, precisão nos prazos e controle de qualidade, oferecer também condições de trabalho e ambientais propícias para os trabalhadores. A inovação de métodos construtivos permite oferecer alternativas para substituir processos que oferecem risco à saúde do trabalhador por soluções mais seguras. Por exemplo, o trabalho executado em altura para a construção de um telhado em uma residência oferece riscos de quedas de pessoas, e materiais e equipamentos em pessoas. A substituição do método convencional para o método pré-fabricado pode vir a oferecer ambientes de fábrica mais controlados e mais seguros para a produção, ainda que levando-se em conta o processo de transporte e içamento com guindaste.

3.4 CONSIDERAÇÕES QUANTO À INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DE EDIFICAÇÕES

De modo geral a industrialização surge como uma consequência imediata da racionalização do trabalho e da mecanização das operações. Nota-se que no decorrer do tempo a indústria da construção civil procura substituir os processos artesanais por processos cada vez mais mecanizados a fim de atingir melhor índices de produtividade e qualidade final do produto. Essa postura faz com que as relações dos recursos de mão de obra, materiais e equipamentos sejam rearranjadas de forma a alcançar melhores resultados.

O sistema de pré-fabricação surge desse conceito de industrialização oferecendo vantagens em comparação com o método convencional de construção. Quando existe um planejamento detalhado o sistema de pré-fabricação pode vir a superar barreiras de condições climáticas adversas, cronograma apertados, redução de perdas por resíduos e controle de qualidade mais confiável devido a padronização e repetição em ambientes de fábrica controlados.

4 LIGHT STEEL FRAMING: UMA ALTERNATIVA PARA A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Diante do crescimento populacional e dos avanços tecnológicos no setor da construção civil no Brasil, o sistema construtivo chamado de *Light Steel Framing* (LSF) se apresenta como uma alternativa para alcançar objetivos como aumento de produtividade, aumento no desempenho térmico e acústico e redução de desperdício e oferecer construções que satisfaçam as exigências de qualidade ao público consumidor.

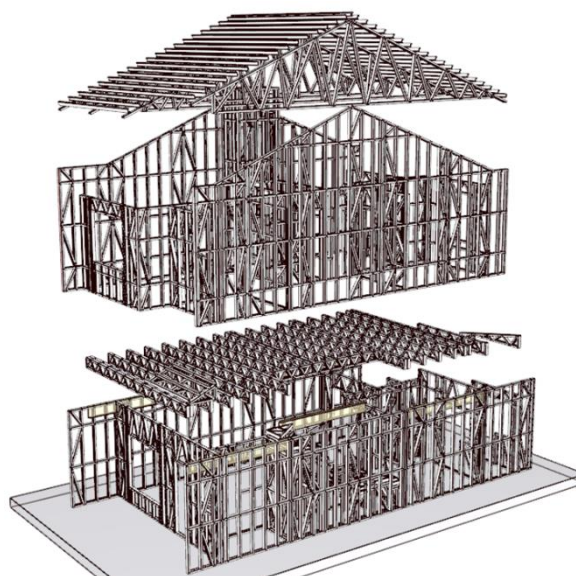
4.1 O QUE É O LSF

O LSF é um sistema construtivo de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado dimensionados para resistir às cargas solicitantes (CRASTO, 2005). Por ser um sistema industrializado que utiliza basicamente parafusos para o encaixe e fixação dos elementos, possibilita uma construção a seco com grande rapidez de execução. Apesar da principal característica do LSF ser a estrutura autoportante de perfis de aço galvanizado, o sistema não se resume apenas a isso. O sistema é composto por vários componentes que em conjunto formam sistemas de cobertura, revestimento interno e externo, isolamento, e instalações hidráulica e elétrica.

Dizer que o sistema construtivo de LSF é industrializado não é verdade. Pode-se dizer que é tão industrializado quanto tantas outras atividades do canteiro de obra, visto que as etapas de produção têm potencial de ser exercidas dentro do canteiro de obra, como estoque, corte e montagem. Mas no momento em que as etapas que convencionalmente seriam exercidas no canteiro de obras são deslocadas para o chão de fábrica (em alguma outra localidade externa ao canteiro de obras), em um processo de execução racionalizado, com maquinário e equipamento eficientes, é que começa o processo de industrialização.

A figura 3 mostra um esquema de uma estrutura básica dos perfis de aço galvanizado de uma residência unifamiliar em LSF.

Figura 3 – Estrutura básica de uma casa em LSF



(fonte: Fornecido pela empresa Beta)

4.2 HISTÓRICO

A origem do LSF remonta ao início do século XIX nos Estados Unidos e apresenta-se como uma subsequência ou aperfeiçoamento de uma técnica chamada *Wood Frame*. Naquela época os colonizadores criaram essa técnica para atender a necessidade de habitações devido ao crescimento da população, foi então necessário empregar métodos mais rápidos e produtivos na construção de habitações, utilizando os materiais disponíveis na região, no caso a madeira. Esse método consistia em uma estrutura composta de peças em madeira serrada de pequena seção transversal espaçadas a um intervalo regular de 400 ou 600 mm (CRASTO, 2005).

O crescimento da economia americana e a abundância na produção de aço no período pós 2ª Guerra possibilitou a evolução nos processos de fabricação de perfis formados a frio, e uso dos perfis de aço veio a substituir o dos perfis de madeira. Esta substituição é devido a maior resistência e eficiência estrutural do aço e a capacidade da estrutura de resistir a catástrofes naturais como terremotos e furacões.

Nos anos 1980, nos Estados Unidos, uma lei nacional foi instaurada impedindo que a indústria madeireira explorasse as florestas mais antigas e que tinham matéria prima de melhor qualidade para a produção do *Wood Frame*. Devido a isso houve um declínio da qualidade da madeira empregada na construção e em 1991 o custo da madeira utilizada subiu cerca de 80% em quatro

meses, fazendo com a utilização do aço se estabelecesse como melhor opção para a substituição do *Wood Frame* (YAMASHIRU, 2011).

No Japão foi evidenciado que, decorrente aos bombardeios durante a 2ª Guerra, a madeira usada na estrutura das casas havia sido um fator agravante na proliferação dos incêndios e na destruição das cidades. O governo japonês então decidiu, também apoiado na necessidade de proteger os recursos florestais, restringir o uso de madeira para a reconstrução de quase quatro milhões de casas e a tecnologia substituta foi o uso de perfis de aço. Desde então o Japão é um dos maiores países em conhecimento na área de construção em perfis leves de aço e o mercado é altamente desenvolvido (CRASTO, 2005).

O mercado brasileiro começou a importar a tecnologia do LSF nos anos 90, que ainda não é intensamente utilizada em comparação com países como Estados Unidos, Japão, Alemanha e Austrália. O Brasil ainda apresenta a tecnologia construtiva baseada principalmente no método convencional e não possui norma técnica aprovada para o sistema LSF apesar expansão do mercado. Os principais manuais de execução são provenientes de indústrias fornecedoras que viram a necessidade de padronização e estudo abrangente para melhor execução do sistema, e se mostram de excelente qualidade na orientação da concepção de projetos e execução.

4.3 PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO

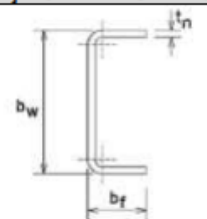
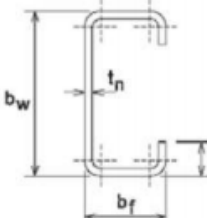
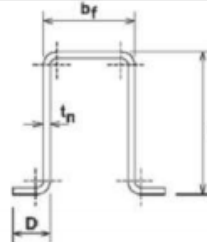
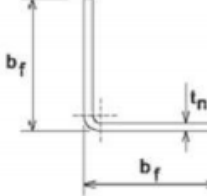
Os perfis de aço galvanizados são os componentes que integram o sistema estrutural de edificações construídas com o sistema LSF. Os perfis são obtidos através da perfilagem de bobinas de aço galvanizados em operações que acontecem na temperatura ambiente, portanto são denominados “formados a frio”. A produção de perfis e dimensionamento estrutural tem por base as normas brasileiras:

- a) NBR 14762: “Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”. Esta Norma, com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento, à temperatura ambiente, de perfis estruturais de aço, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, conectados por parafusos ou soldas e destinados a estruturas de edifícios. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010)

- b) NBR 6355: “Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização”. Esta Norma estabelece os requisitos exigíveis dos perfis estruturais de aço formados a frio, com seção transversal aberta. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012)
- c) NBR 15253: “Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais”. Esta Norma estabelece os requisitos gerais e métodos de ensaios para os perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados utilizados em edificações e destinados à execução de paredes com função estrutural, estruturas de entrepisos, estruturas de telhados e de fachadas das edificações (*Light Steel Framing*) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

A tabela 2 apresenta as seções transversais dos perfis utilizados e suas aplicações.

Tabela 2 – Perfis de aço formados a frio com suas respectivas

| SEÇÃO TRANSVERSAL | SÉRIE DESIGNAÇÃO | UTILIZAÇÃO |
|---|--|--|
|  | U simples U $b_w \times b_f \times t_n$ | Guia Ripa Bloqueador Sanefa |
|  | U enrijecido Ue $b_w \times b_f \times D \times t_n$ | Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga |
|  | Cartola Cr $b_w \times b_f \times D \times t_n$ | Ripa |
|  | Cantoneiras de abas iguais L $b_w \times b_f \times D \times t_n$ | Cantoneira |

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014)

As ligações dos perfis são feitas com parafusos autoatarraxantes ou autobrocantes, oferecendo agilidade na montagem da estrutura, visto que estes parafusos não necessitam perfuração prévia para serem fixados. Na montagem dos painéis, pisos e tesouras são usados parafusos de cabeça larga e baixa do tipo lentilha e ponta broca (Figura 4). Na ligação dos painéis e enrijecedores é usado o parafuso com cabeça sextavada e ponta de broca, também conhecido como parafuso estrutural (Figura 5).

Figura 4 – Parafuso cabeça lentilha e ponta broca



(fonte: SIXPAR, 2016)

Figura 5 – Parafuso cabeça sextavada e ponta broca



(fonte: SIXPAR, 2016)

4.4 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Existem, essencialmente, três métodos de construção utilizando o sistema *Light Steel Framing* que se diferenciam na sequência, logística e equipamentos utilizados, mantendo os mesmos materiais para a construção.

O método *Stick* consiste em executar todas as etapas da construção no canteiro de obras. De acordo com Crasto (2005) os perfis normalmente chegam na obra em tamanhos padrão e são cortados no canteiro de obras. Logo os painéis, lajes, colunas, contraventamento e cobertura são montados *in loco*. Essa técnica é usualmente usada quando a logística de pré-fabricação não é viável.

O método de Painéis consiste em transferir parte da produção para um local externo à obra, ou em local destinado para essa finalidade. O projeto é dividido em painéis estruturais e não estruturais, contraventamento, cobertura e laje e podem ser pré-fabricados. Componentes e elementos de acabamento podem ser aderidos previamente à montagem para diminuir o tempo de execução de montagem no canteiro de obras. Os painéis e subsistemas são conectados usando parafusos auto atarraxantes e autobrocantes.

Algumas das principais vantagens da construção pelo método de Painéis são comuns aos pontos citados no item 3.3.3 *Vantagens e desvantagens da pré-fabricação*, tais como: melhor controle da produção das peças, velocidade na construção, transferência de processos da obra para a fábrica, condições climáticas controladas. E desvantagens como necessitar de um ambiente apropriado para a confecção das peças pré-fabricadas e necessidade de guindaste para içamento e locação das peças.

O método Modular, segundo Crasto (2005) consiste de unidades completamente pré-fabricadas em local externo à obra. As unidades são entregues na obra com todos os acabamentos e instalações. Por se tratar de um sistema pré-fabricado, também compartilha das mesmas vantagens e desvantagens do método de Painéis, porém de forma mais acentuada ainda.

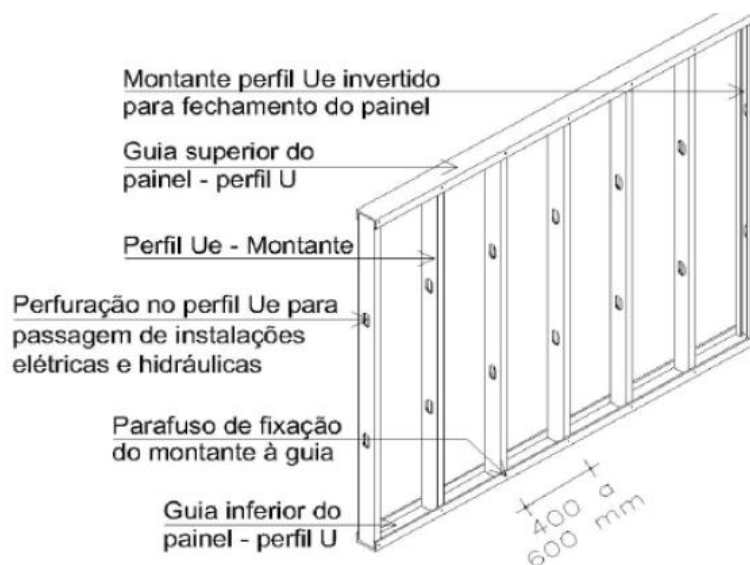
4.4.1 Painéis de parede

Os painéis estruturais de parede de LSF exercem a função de suportar as cargas da edificação e, quando em conjunto com outros elementos específicos, exercem função de vedação também. Podem ser tanto externos, no perímetro da edificação, quanto internos.

É importante distinguir os painéis estruturais em LSF de painéis de vedação conhecidos como *dry wall*. O *dry wall* compartilha da mesma intenção do sistema LSF, com perfis em aço galvanizado e componentes de fechamento vertical, para a construção racional a seco. Porém, a semelhança acaba nesse ponto, já que o LSF, como já foi definido anteriormente, é um sistema muito mais amplo, capaz de integrar todos os componentes necessários a construção de uma edificação, tendo como o fundamental a estrutura (CRASTO, 2005).

A estruturação dos painéis, mostrada na figura 6, é feita pelos perfis de aço galvanizado e dimensionados para resistir a cargas horizontais de vento e outros impactos, e cargas verticais originadas do peso próprio da estrutura e de componentes construtivos e da sobrecarga devido à utilização (pessoas, móveis, máquinas, etc). Portanto, a função dos painéis é absorver esses esforços e transmiti-los à fundação.

Figura 6 – Painel típico em LSF sem revestimento



(fonte: CRASTO, 2005, p. 42)

Existem diversos elementos que concebem a função de vedação nos painéis de parede. Placas cimentícias são aconselhadas para área molhadas, placas de gesso acartonado para áreas secas internas e diversas outras combinações de componentes.

4.4.2 Fundação e fixação

Os painéis estruturais de parede são fixados na estrutura de fundação, sendo usualmente é usado o sistema tipo radier ou sapata corrida. O radier é um tipo de fundação rasa que permite a distribuição das cargas provenientes da estrutura da casa e de cargas acidentais, direto para a superfície do solo, através de uma laje maciça de concreto armado. A sapata corrida é uma fundação contínua constituída por vigas de concreto que recebe a carga das paredes e apoia-se diretamente sobre o terreno.

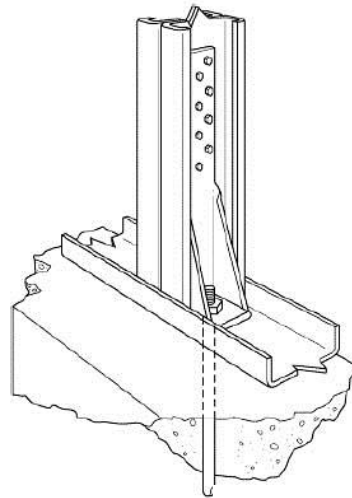
A fixação adequada dos painéis na estrutura de fundação garante estabilidade devido à pressão dos ventos a fim de evitar a movimentação de deslizamento ou tombamento.

A fixação dos painéis pode ser feita através de chumbadores mecânicos de aço, conhecidos popularmente como *parabolt*, ou com chumbadores químicos e barra roscada, diretamente no concreto. O *parabolt* é composto por um parafuso, uma camisa de expansão e uma porca, e quando instalado, oferece condições de fixação ideais em concreto (CRASSTO, 2005)

O chumbador é fixado a um determinado perfil de montante por uma cantoneira de aço, em formato de mão-francesa. A quantidade de pontos de fixação, as características do chumbador e profundidade de engastamento são dimensionadas segundo cálculo estrutural para garantir estabilidade do sótão. A figura 7 representa graficamente a fixação dos painéis na estrutura de concreto através de um chumbador.²

² Essa informação foi colhida em entrevista ao Engenheiro Brain, realizada na fábrica da empresa Beta. A entrevista completa está disposta no apêndice A.

Figura 7 – Representação gráfica da fixação dos painéis na estrutura de concreto



(fonte: fornecido pela empresa Beta)

4.4.3 Painéis de cobertura

A cobertura é a parte da construção designada para a proteção da edificação contra as intempéries e contribuir para o conforto térmico e acústico dos moradores. O sistema LSF possibilita a concepção de diversos desenhos de cobertura, podendo ter inclinação e cortes semelhantes ao telhado convencional de tesoura de madeira ou aço, ou até cobertura plana com laje impermeabilizada.

Segundo Crasto (2005), o telhado é composto de duas partes principais:

- a) cobertura: elementos com característica impermeabilizantes e resistente a ação do vento e intempéries, que devem ser fixados na armação.
- b) armação: é composto por elementos estruturais para dar sustentação a cobertura.

A cobertura deve ser projetada para que suporte, além do peso próprio e o peso dos elementos de cobertura, o peso do forro de revestimento interno, materiais de isolamento, força de arrancamento pela ação de ventos fortes, e outros equipamento que possam ser fixados na estrutura de armação do telhado (CRASTO, 2005)

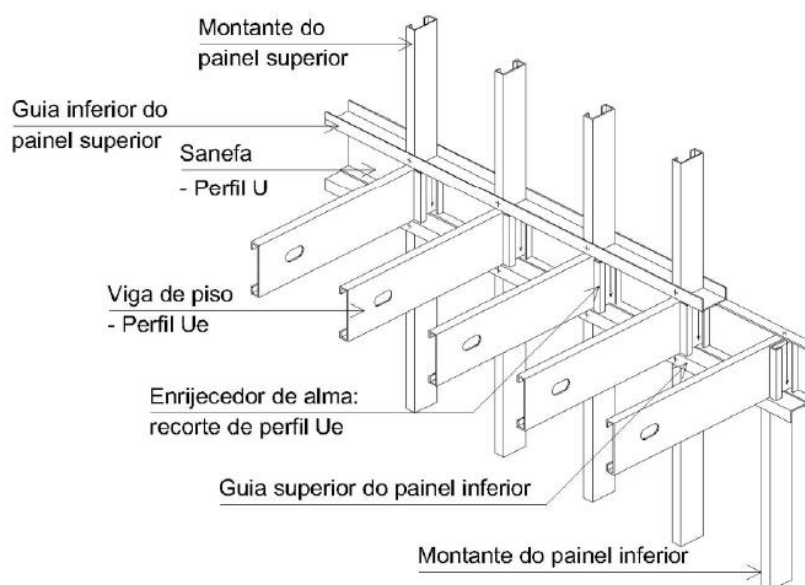
4.4.4 Laje

A laje (figura 8) é a estrutura do piso e emprega os mesmos princípios de fabricação dos painéis de parede. Os perfis de aço galvanizados são espaçados equidistantes de forma dimensionada para suportar as cargas solicitantes. Os perfis que constituem as vigas da laje transmitem as cargas diretamente para os painéis de parede, e esses para a fundação.

As lajes podem ser divididas em dois grupos:

- a) Laje úmida: é composta por uma chapa metálica ondulada aparafusadas na parte superior das vigas de piso, que serve como fôrma para o concreto.
- b) Laje seca: a utilização e placas para formar o contrapiso se diferem quando ao ambiente do interior da residência. Na área seca é comumente usada placas OSB, por apresentar leveza e facilidade na instalação. Porém em áreas molhadas (banheiro, cozinha, área de serviço) é recomendado a utilização de placas cimentícias (CRASTO, 2005, p. 78)

Figura 8 – Estrutura da Laje em LSF



(fonte: CRASTO, 2005, p. 71)

5 ESTUDO DE CASO

Inicialmente, para contextualizar a escolha do projeto em estudo, apresenta-se uma caracterização geral das duas empresas envolvidas no projeto. Em seguida, o projeto é descrito e situado dentro do empreendimento e apresentadas as vantagens esperadas, para então ser feita a análise do sistema produtivo.

5.1 EMPRESAS ENVOLVIDAS

O estudo de caso foi realizado no empreendimento da construtora e incorporadora Alfa. A empresa atua há 23 anos no mercado de construção e incorporação de alto padrão no estado do Rio Grande do Sul. Tem como política de qualidade a melhoria contínua dos processos construtivos, ambientais e gerenciais, buscando atingir maior qualidade do produto aliada à redução de custo.

A empresa Beta é a contratada responsável pela fabricação da estrutura de LSF. Especializada em tecnologia de construção a seco, estruturas metálicas e perfis formados a frio para construções dos tipos comerciais, industriais e residenciais. Trabalha com equipe de engenheiros, técnicos e operadores há mais de 25 anos em concepção de projetos de construções metálicas e LSF.

As informações para a elaboração do estudo de caso foram obtidas através de entrevistas com o engenheiro responsável pela construção do empreendimento e com o engenheiro responsável pelo projeto e execução do sistema em LSF. Apenas alguns projetos foram disponíveis para análise e estudo. Por se tratar de uma tecnologia inovadora as duas empresas envolvidas preferiram manter o conhecimento de algumas etapas de fabricação em segredo para estratégias competitivas mercadológicas.

5.2 OBJETO DE ESTUDO: SÓTÃO PRÉ-FABRICADO

O objeto em estudo situa-se na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Trata-se de um empreendimento imobiliário em fase de construção de 26.393 m² de área a ser construída, composto de 178 casas e ampla área de lazer condominial. Especificamente o objeto em estudo é o sótão pré-moldado em LSF que é produzido na fábrica da empresa Beta em Nova Hamburgo – RS. O projeto recebeu a nomenclatura de Sótãos Voadores para a apresentação do projeto em um concurso promovido pelo SINDUSCON-RS (Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Estado do Rio Grande do Sul) na categoria de Destaque Tecnológico, no qual foi segundo colocado.

A produção do sótão é dividida estrategicamente em várias peças, denominadas painéis, para otimização do transporte e montagem do sótão no canteiro de obras. O estoque dos painéis na obra é feito no nível do solo em frente ao local de montagem e destinação final de forma estratégica a evitar transporte excessivo. O sótão pré-fabricado é içado por um guindaste para ser fixado na laje de concreto sobre o segundo pavimento de estrutura de alvenaria portante de blocos de concreto.

O sótão engloba duas unidades unifamiliares, ou seja, o empreendimento contém um total de 89 sótãos. O empreendimento apresenta tipologia de duas, quatro e seis casas geminadas, logo a escolha por produzir o sótão em lote de duas casas buscou otimizar a logística de utilização dos equipamentos.

A figura 9 mostra a momento em que um sótão pré-fabricado é içado com o auxílio de um guindaste e posicionado no local de destinação final.

Figura 9 – Posicionamento do sótão pré-fabricado no local de destinação



(fonte: elaborado pelo autor)

A decisão de construir o empreendimento usando a tecnologia do LSF apenas nos sótãos pré-fabricados foi ao mesmo tempo inovadora e conservadora. O risco seria muito grande em assumir a responsabilidade de construir mais de 26.000m² com uma tecnologia na qual o corpo técnico da empresa não tem conhecimento adquirido³. Por essa razão apenas o sótão foi construído com essa tecnologia, não toda a edificação.

As figuras 10, 11 e 12 apresentam a planta baixa da residência.

Figura 10 – Planta baixa do térreo da residência



(fonte: fornecido pela empresa Alfa)

Figura 11 – Planta baixa do segundo pavimento da residência



(fonte: fornecido pela empresa Alfa)

³ Essa informação foi colhida em entrevista com Engenheiro Willians Amaral, realizada no canteiro de obra do empreendimento do estudo de caso. A entrevista completa está disposta no apêndice A.

Figura 12 – Planta baixa do sótão da residência



(fonte: fornecido pela empresa Alfa)

5.3 VANTAGENS ESPERADAS

A decisão de utilizar sistemas inovadores envolve correr riscos por estar agindo em uma zona de pouca experiência prática. Porém amparado pela premissa da política de qualidade de buscar melhoria contínua nos processos construtivos a empresa decidiu por executar o projeto dos sótãos voadores visando algumas vantagens:

- a) redução de prazo de execução. Devido a atrasos burocráticos de documentação com a prefeitura para iniciar a execução do empreendimento a gestão da obra viu a necessidade de buscar soluções para alcançar o prazo de entrega das residências para os moradores. A tabela 3 apresenta a simulação feita pelo engenheiro do empreendimento para auxiliar a tomada de decisão quando ao método construtivo que seria usado. A tabela 3 apresenta o comparativo de previsão de prazo de execução do sótão pelo método convencional e pelo sistema pré-fabricado em LSF indicando a previsão de uma redução de 30 dias por sótão. Os dados foram fornecidos pela empresa Alfa.
- b) mitigação dos riscos de execução. O sótão é a área de maior dificuldade de execução por ser trabalho em altura, cerca de 6 a 9 metros em relação do solo ao beiral e a cumeeira do telhado respectivamente. Esse tipo de serviço demanda uma atenção especial em questão de segurança do trabalho em altura e a logística de transporte vertical dos materiais. Alternativamente, ao construir o sótão pré-fabricado na fábrica e fazer a montagem no nível do solo na obra os riscos de acidente a que os trabalhadores são expostos diminuem.
- c) redução de custos na produção. A redução de custo relacionado às despesas indiretas também é um ponto vantajoso. De acordo com os dados fornecidos

Tabela 3 – simulação do comparativo de previsão de prazo de execução do sótão pelo método convencional e pelo sistema pré-fabricado em LSF

| Sistema Convencional | Tempo de execução |
|--|-------------------|
| Alvenaria do sótão | 5 dias |
| Revestimento argamassado | 4 dias |
| Estrutura do telhado/telhamento | 10 dias |
| Acabamento do telhado e funilaria | 5 dias |
| Textura e pintura externa | 5 dias |
| Montagem e desmontagem de andaime fachadeiro | 6 dias |
| Total de tempo de produção | 35 dias |

| Sistema Sótão Pré-fabricado | Tempo de execução |
|---------------------------------------|-------------------|
| Cama de montagem | 0,5 dia |
| Elevação de paredes pronta de fábrica | 1 dia |
| Fechamento de telhado e telhamento | 2 dias |
| Funilaria e acabamento | 0,5 dias |
| Içamento | 1 dia |
| Total de tempo de produção | 5 dias |

(fonte: fornecido pela empresa Alfa)

pela empresa Alfa para os planejamentos de execução pelo sistema convencional e pelo sistema dos sótãos pré-fabricados, foi percebida uma redução de 9 meses no tempo de obra. O custo de despesas indiretas como água, luz, infraestrutura de implantação, segurança e custo da equipe durante 9 meses é um valor significativamente alto, R\$ 300 mil por mês em média de custo fixo do canteiro de obras do empreendimento⁴. Em comparação com o sistema convencional de construção o custo direto de blocos, argamassa de assentamento, revestimento argamassado e pintura é semelhante ao LSF. O ganho mesmo é na redução das despesas indiretas.

- d) melhora na qualidade do produto. Já foi dito anteriormente que o processo de produção industrializado tende a apresentar maior nível de padronização nos produtos e consequentemente maior qualidade por ser fabricado em ambiente mais controlado contra intempéries climáticas e de logística de produção seriada e repetitiva.

⁴ Essa informação foi colhida em entrevista com Engenheiro Willians Amaral, realizada no canteiro de obra do empreendimento do estudo de caso. A entrevista completa está disposta no apêndice A.

- e) produção simultânea. Elaborar um projeto de produção para garantir o andamento conjunto da produção da estrutura de LSF na fábrica, concomitantemente com o desenvolvimento do empreendimento no canteiro de obras. Essa atitude visa deslocar cerca de 30 funcionários do canteiro de obra para a fábrica, obtendo vantagens como simplificar a gestão de documentação de recursos humanos, dimensionamento reduzido de área de apoio e instalações provisórias. Todos os funcionários de mão de obra de produção são da empresa Beta, seja na obra ou na fábrica. Em questão à execução da obra, empresa Alfa é composta pelo corpo técnico que faz as conferências e acompanhamento do serviço apenas.
- f) busca por sustentabilidade. O LSF por se tratar de um sistema racionalizado de produção a seco visa a utilização mínima de recursos e menor geração de resíduos além de ser executado sem a necessidade de água. Os perfis de aço galvanizados apresentam leveza e flexibilidade e sua perfilação, por ser formado a frio, garante menor energia no processo de produção em comparação com aços fundidos e colocados em moldes. Os elementos se analisados individualmente não se caracterizam como sustentáveis, no entanto a integração desses elementos em conjuntos por um sistema racionalizado de produção pode ser qualificada como busca de sustentabilidade em comparação com o método convencional.

5.4 SEQUÊNCIA DE PRODUÇÃO

O processo de produção do sótão pré-fabricado é dividido estrategicamente em dois grupos, que são os dois locais de produção: a fábrica e o canteiro de obras.

A sequência de produção segue o método de Painéis citado no item *4.4 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO*. Procurou-se segmentar o sótão em diversos painéis pré-fabricados e agregar o máximo possível de componentes aos painéis na fábrica, substituindo trabalhos que seriam feitos no canteiro de obras, para a fábrica.

A sequência de produção do sótão pré-fabricado começa na fábrica da empresa Beta com o recebimento dos insumos e componentes para dar início a fabricação dos painéis de parede e cobertura.

O transporte dos painéis é então feito de forma planejada entre a fábrica e o canteiro de obras destinando as peças certas para o local certo, conforme cronograma.

Após o recebimento na obra, os painéis são montados sobre uma superfície plana e regular (denominada cama de montagem), dando origem à estrutura do sótão. Após os painéis de parede e cobertura estarem montados, os componentes que garantem a estanqueidade à chuva são instalados na cobertura

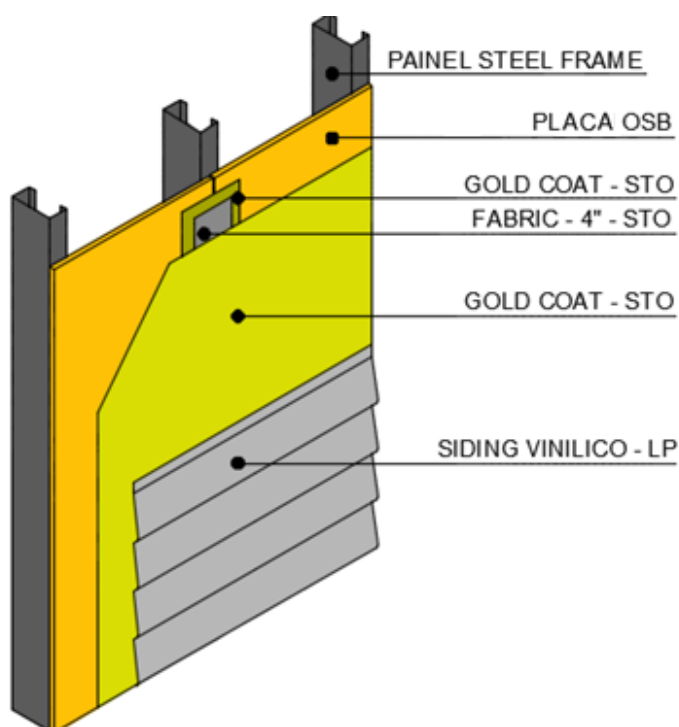
A locação do sótão é feita como auxílio de um guindaste rodoviário de grande porte. O sótão é içado e fixado com parabolts na laje de concreto, da mesma maneira que seria fixado na fundação.

É de suma importância que o sótão apresente terminalidade, ou seja, todas as etapas devidamente concluídas, para evitar que qualquer trabalho deva ser feito após a locação do sótão, com a necessidade montagem de andaime ou aquisição de plataforma elevatória para alcançar o local de trabalho.

5.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE PAREDE E MONTAGEM NA OBRA

Os painéis de parede utilizados nos sótãos pré-fabricados foram produzidos na fábrica da empresa Beta para então serem transportados para o canteiro de obras da empresa Alfa. A estratégia de produção e segmentação da estrutura do sótão em painéis objetiva simplificar e agilizar a montagem da estrutura no canteiro de obras, logo, quanto menor o número de peças para ser integrado na estrutura, melhor. No entanto a segmentação foi limitada pelo tamanho dos caminhões que transportam os painéis, não podendo ser muito grandes para a circulação adequada dentro das cidades de Nova Hamburgo e Porto Alegre. Visando diminuir as tarefas a serem executadas no canteiro de obra, os painéis são produzidos por completo, ou seja, com os revestimentos e tratamentos hidrofugantes. A figura 13 ilustra os elementos que compõem os painéis usados no projeto.

Figura 13 – Desenho esquemático do painel de parede pré-fabricado



(fonte: fornecido pela empresa Beta)

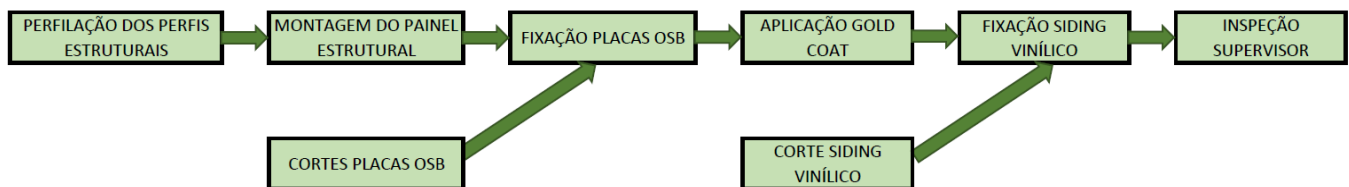
Os materiais que compõem os painéis pré-fabricados são listados a seguir:

- a) estrutura painel em *steel frame*: estrutura autoportante, constituído de aço galvanizado com resistência ao escoamento na tração entre 280 e 550 MPa. Distanciados padronizadamente a distâncias de 40 cm e 60 cm conforme projeto estrutural. Os perfis que constituem o painel são produzidos na fábrica da empresa Beta através do processo de perfilação de bobinas de chapas de aço, esse insumo importado. A máquina perfiladeira dispõe de matrizes que definem o dimensionamento do perfil necessário e que podem ser trocados conforme projeto. A produção é comandada via computador e os perfis são feitos sob medida, não havendo a geração de resíduos.
- b) placa OSB: nomenclatura originária da expressão inglesa *Oriented Strand Board*, em português Painel de Tiras de Madeira Orientadas. É um material derivado da madeira, composto por pequenas lascas de madeira orientadas em camadas cruzadas seguindo uma determinada direção e coladas com resina de alta resistência industrial, que lhe conferem resistência, rigidez e estabilidade. Para esse processo a empresa Beta comprou o insumo em grandes chapas de 244 mm x 144 mm x 10 mm e dimensionou o projeto padrão de cortes para a otimização da utilização das chapas, buscando minimizar a produção de sobras de corte. Com esse projeto de cortes foram então produzidas peças denominadas gabarito, cortadas precisamente por uma máquina a laser. Os gabaritos servem para padronizar as peças OSB que seriam cortadas na fábrica por um carpinteiro especializado na utilização de serra circular de bancada.

- c) *Gold Coat*: é uma membrana de alta aderência utilizada em sistemas construtivos a seco. É um líquido aplicado sobre as placas OSB para conferir tratamento de impermeabilização e proteção às placas, bem como produzir uma barreira ao ar e a umidade protegendo o interior da residência.
- d) Fabric 4'': é um tecido que tem largura de 10 cm e é encontrado em rolos para ser aplicado sobre uma demão de *Gold Coat* e ser coberto por outra demão. Tem a função de reforçar a camada de *Gold Coat* nas partes críticas de encaixe das placas OSB.
- e) *Siding* Vinílico: é o revestimento em PVC para uso externo que associado às placas OSB e ao *Gold Coat* oferece vedação contra as intempéries de chuvas combinado com vento. O *Siding* Vinílico é comercializado em grandes peças da cor branca que simulam o acabamento em madeira. São de fácil instalação por ser encaixáveis entre si e parafusadas nas placas OSB. Esse insumo é importado e apresenta pouca utilização no mercado nacional.
- f) Parafusos autobrocantes: para unir os perfis que compõem a estrutura, bem como fixar os elementos o método utilizado foi de parafusos autobrocantes, ou auto-perfurantes, galvanizados. Essa alternativa possibilita a montagem dos painéis de forma rápida, pois não necessita de pré furação para fixar o parafuso, a estrutura do parafuso já permite a perfuração e a devida ligação entre componentes.

A figura 14 apresenta o fluxo de produção dos painéis de parede na fábrica.

Figura 14 – Fluxo de produção dos painéis de parede na fábrica



(fonte: elaborado pelo autor)

A fabricação dos painéis se deu de forma seriada, em que cada equipe de profissionais era responsável por uma etapa da fabricação, se tornando, portanto, especialista na sua tarefa. Algumas tarefas eram possíveis de serem executadas simultaneamente, segregando a produção de forma que o caminho crítico fosse cumprido de maneira mais otimizada, como visto na figura 14 o exemplo de “cortes de placas OSB” e “corte Siding Vinílico”.

A empresa Beta é adepta do sistema de produção enxuta, fazendo com que sua cadeia produtiva tenha alguma característica como *just in time*, em que as peças são fabricadas na hora certa para a agregação nos painéis, evitando estoques desnecessários. A produção dos perfis era planejada,

fazendo com que para cada lote de produção a matriz de perfilação só era trocada uma única vez, ou seja, o projeto dimensiona dois diferentes perfis estruturais, que para serem fabricados necessitam bobinas diferentes e matrizes de perfilação diferentes. Para evitar o *set up* desnecessário eram produzidos todos os perfis de um modelo, para então fazer a troca necessária e produzir os perfis do outro modelo.

Todos os painéis produzidos de cada lote são embalados em conjunto sobre paletes para o transporte para a obra. E além de estarem em conjunto, cada painel recebe uma legenda de identificação na lateral de forma clara e visível para evitar que os montadores possam se confundir durante a montagem do sótão na obra.

A figura 15 apresenta um exemplo de palete disposto no canteiro de obra contendo os painéis de parede de forma organizada e identificada.

Figura 15 – Palete estocado no canteiro contendo painéis pré-fabricados



(fonte: elaborado pelo autor)

As etapas mais complexas do processo de produção dos painéis dos sótãos pré-fabricados são executadas na fábrica da empresa Beta, em um ambiente controlado e planejado para contribuir com fluidez da produção. A etapa de integração dos painéis, para dar forma ao sótão, é então realizada no canteiro de obra.

A estocagem dos painéis no canteiro de obra, assim como a fabricação dos painéis, é feita de forma planejada entre o canteiro de obras e a fábrica de acordo com o cronograma de execução visando o estoque mínimo sincronizando a produção na fábrica e a demanda de montagem e içamento no canteiro, esses últimos que podem ser prejudicados de acordo com condições climáticas desfavoráveis.

O recebimento e estocagem no canteiro de obra das peças pré-fabricas é de responsabilidade do corpo técnico da construtora Alfa. Existem procedimentos para o recebimento das peças para garantir a entrega da quantidade e qualidade ideal para a montagem do lote. A programação e planejamento da produção entre a fábrica com estocagem na obra devem ser de tal forma que o descarregamento e arrumação do palete contendo os painéis possa ser posicionado próximo ao local de montagem do sótão, de modo a evitar atividades que não agregam valor, movimentações desnecessárias e espera por reposição de peças não conformes. No canteiro de obra, a programação de entrega permite que o encarregado pelo recebimento possa organizar a área de descarga no local ideal.

A primeira etapa da produção do sótão no canteiro de obra foi a elaboração de uma superfície plana, regular, nivelada e resistente o suficiente para suportar o peso total do sótão. Essa superfície é denominada cama de montagem. Ela é uma estrutura temporária, posicionada exatamente em frente à estrutura convencional construída referente ao sótão pré-fabricado. A cama de montagem, apresentada nas figuras 16 e 17, foi estruturada por perfis de aço tipo I e coberta por placas OSB conferindo a área de trabalho ideal para a montagem do sótão. O nivelamento da cama de montagem foi feito através de quatro macacos mecânicos posicionados nos cantos da cama de montagem, que tem formato retangular, e apoiado a uma altura de 1m do solo sobre blocos de pedra grês (arenito). Por ser uma estrutura robusta o transporte da cama de montagem foi realizado com o auxílio de um guindaste auto propelido.

Figura 16 – Cama de montagem sendo montada



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17 – Paredes do sótão sendo montadas sobre a cama de montagem



(fonte: elaborado pelo autor)

A segunda etapa de execução no canteiro de obras foi o posicionamento e fixação dos painéis de parede. Nessa etapa o sótão começa a tomar sua forma final, e é imprescindível a supervisão da atividade por um profissional competente com entendimento do projeto para alocar cada painel na posição especificada. Apesar de cada painel ter uma legenda de identificação gravada na lateral, a falha de produção de trocar painéis ocasionaria em atrasos significativos no fluxo de produção.

O mesmo guindaste auto propelido que auxilia no transporte das camas de montagem, também auxilia no transporte e posicionamento por painéis de parede, conforme figura 18. Cerca de

quatro homens foram necessários nessa etapa, sendo um deles o operador do guindaste, e os outros três manipulando e orientando os painéis na posição adequada.

Figura 18 – Paredes do sótão sendo montadas sobre a cama de montagem



(fonte: elaborado pelo autor)

É importante, antes do início da montagem das paredes, haver um aferimento das dimensões da estrutura convencional que suportará o sótão com as dimensões do sótão. Apesar de o sótão ser pré-fabricado sob dimensões de projeto, existe a possibilidade de alterar em até 20mm as medidas de largura e comprimento totais para adequar o sótão à estrutura convencional, de forma a apresentar a estética de alinhamento ideais. Essa etapa de aferimento se viu necessária pela razão da tolerância de medidas de projeto na execução de paredes de alvenaria e lajes de concreto em obra, e que mesmo sob vigilância intensa de técnicos de conferência de serviço, as estruturas convencionais apresentam pequenas alterações de dimensões.

Nesse momento também acontece a instalação de fita isolante de neoprene na alma da guia inferior da parede (figura 19) que tem por objetivo a vedação do contato entre a base das paredes e a superfície de concreto em que o sótão será fixado.

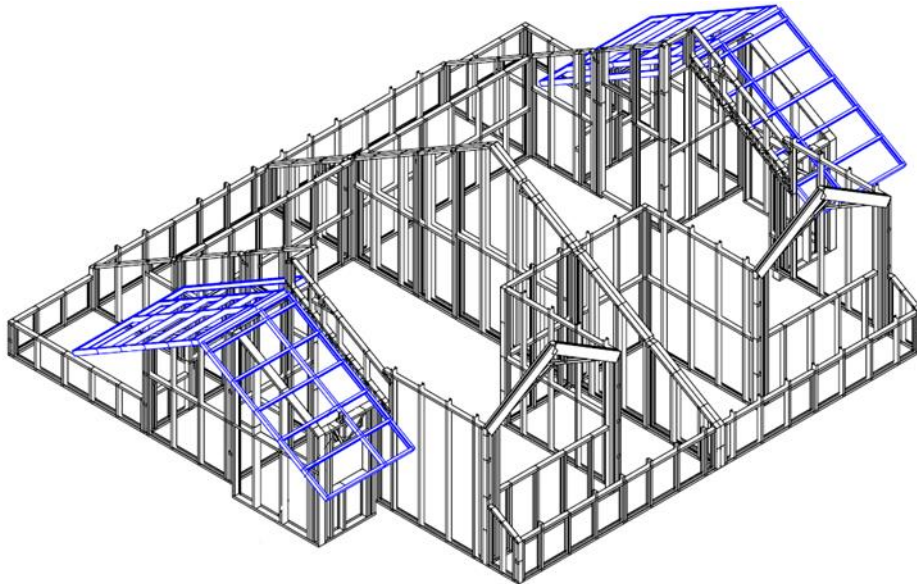
A figura 20 apresenta o desenho do posicionamento das paredes do sótão.

Figura 19 – Aplicação de fita isolante de neoprene na base dos painéis de parede



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 20 – Desenho em 3D da montagem das paredes do sótão



(fonte: fornecido pela empresa Alfa)

5.6 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE COBERTURA E MONTAGEM NA OBRA

A estrutura da cobertura do sótão mantém mentalidade de pré-fabricação semelhante aos painéis de parede. Procurou-se transferir o máximo de etapas de processos de fabricação para a fábrica da empresa Beta e então programar o transporte do lote completo para o canteiro de obra da empresa Alfa.

O projeto do sótão procurou estabelecer uma área útil para ser habitável e usufruída como sala de estar, ou uma suíte, portanto foi necessário dimensionar a armação com três vigas especiais e treliças planas, de perfis de aço galvanizado, para dar sustentação aos painéis produzidos na fábrica. Essa opção utiliza menor quantidade de aço do que a empregada em tesouras.

A estrutura dos painéis de cobertura foi produzida da mesma maneira que os painéis de parede, porém os revestimentos deles são diferenciados. Enquanto os painéis de parede podem ser feitos por completo na fábrica, como explicado anteriormente, os painéis de cobertura receberam o revestimento final apenas na obra, no momento em que todos os painéis estão fixados formando a estrutura completa do sótão. Mas não é apenas no fluxo de produção que os dois tipos de painéis se diferenciam, os componentes que os compõem também são um pouco diferentes:

- a) estrutura do painel em LSF: semelhante ao painel de parede, os perfis de steel frame trabalham em conjunto para proporcionar sustentação e rigidez à estrutura da cobertura e resistir aos esforços do vento.
- b) placa OSB: semelhante ao painel de parede, as placas OSB quando parafusadas na estrutura em steel frame, dão rigidez e estabilidade a estrutura e apresenta uma superfície adequada para a instalação dos componentes de cobertura.
- c) manta hidrofugante: tecido leve de base sintética que atua como barreira física resistente à entrada de água, e permitindo a transpiração de vapor de água do interior da casa para fora. A escolha de uma manta hidrofugante de boa qualidade e instalada adequadamente pode vir a aumentar o nível de conforto nos ambientes internos. A aplicação dela é feita por grampos metálicos diretamente sobre as placas OSB.
- d) telhas *Shingle*: a cobertura final do telhado é constituída de telhas *Shingle*, é composta por uma manta de fibra de vidro saturada em asfalto e grânulos cerâmicos. Essa telha oferece ótima estética e com grande durabilidade, resistindo a ventos e quebras. A instalação se dá através de pregos fixados em locais estratégicos do elemento diretamente sobre a manta hidrofugante e fixado na placa OSB.
- e) cumeeira ventilada: é um acessório para o sistema de cobertura em telha *Shingle* que instalado na cumeeira permite a ventilação e aumenta a durabilidade do

sistema, eliminando a umidade no ático e impedindo a condensação dessa umidade. Essa peça de PVC é fixada na estrutura por pregos e coberta pelas telhas single, portanto, não ficam aparentes. A figura 21 apresenta um desenho do fluxo de ventilação pela cumeeira.

Figura 21 – Ventilação na cumeeira



(fonte: fornecido pela empresa Beta)

- f) pregos de fixação: são pregos com cabeça chata e de maior diâmetro, que permitem uma maior área de superfície de contato, resultando numa fixação mais eficiente. A fixação dos pregos é feita através de grampeador pneumático para aumentar a produtividade na instalação dos elementos da cobertura.
- g) algeroz: chapas metálicas com o objetivo de vedação de águas pluviais em locais críticos de encontro de parede e telhado. É instalado anteriormente às telhas *Shingle*.

Os painéis de cobertura produzidos na fábrica, as vigas de reforço, as treliças e os componentes necessários para a execução do sistema de cobertura do sótão, são devidamente identificados e transportados para a obra no mesmo lote dos painéis de parede.

No canteiro de obras, os painéis de cobertura são posicionados conforme o projeto sobre as paredes do sótão com o auxílio do guindaste autopropelido. Os painéis são fixados entre si, nas paredes e nas três vigas de reforço estrutural por parafusos autobrocantes. A equipe que executa a montagem da estrutura de cobertura é a mesma que executa a montagem das paredes. Isso se dá pelo fato das tarefas serem muito semelhantes: os equipamentos utilizados coincidem e as habilidades necessárias no operário são as mesmas. A figura 22 mostra dois funcionários trabalhando na montagem da armação da cobertura com o auxílio do guindaste móvel.

A equipe responsável pela instalação dos elementos da cobertura foi composta por três operários equipados com grampeadores pneumáticos, também conhecidos como pistola de pregos, e facas para fazer cortes necessários na manta hidrofugante e nas telhas *Shingle*. É uma etapa que exige movimentos repetitivos por parte dos operários e de muito rápida execução,

mas que deve ser feita com muito cuidado por ser a etapa crucial na proteção de infiltração de água.

Figura 22 – Montagem da estrutura de cobertura do sótão pré-fabricado



(fonte: fornecido pela empresa Alfa)

Nesse momento, exatamente antes da instalação da manta hidrofugante e das telhas, é feita a instalação dos algerozes e acabamentos no beiral do telhado, com peças pré-fabricadas, por profissionais funileiros de empresa terceirizada.

A figura 23 mostra a velocidade do processo de execução da etapa de instalação dos componentes da cobertura. As fotos numeradas de um a seis, foram registradas em um intervalo de tempo de 5 horas.

Em paralelo à instalação da manta hidrofugante e das telhas *Shingle* foi feita a execução dos arremates finais, a fim de conferir terminalidade da montagem do sótão no nível do solo para então ser içado (figura 24). Os arremates finais englobam a instalação de forros de PVC externo, que já chegam na obra cortados sob medida junto com os painéis, e limpeza geral detalhada dos acabamentos externos do sótão.

No quadro 1 o operário dá início à instalação dos componentes de cobertura com a fixação da manta hidrofugante nos painéis. Em seguida, nos quadros 2, 3, 4, as telhas *Shingle* são pregadas sobre a manta hidrofugante de forma sequenciada, em que o avanço da instalação dos dois componentes é concomitante. No quadro 5 a cumeeira ventilada é instalada e coberta por telhas *Shingle*. Por fim, no quadro 6, esta face da cobertura está completa.

Figura 23 – Instalação dos componentes de cobertura do sótão pré-fabricado



(fonte: elaborado pela autor)

Figura 24 – Instalação de forro de PVC e limpeza final do revestimento externo



(fonte: elaborado pela autor)

5.7 PREPARAÇÃO PARA IÇAMENTO E POSICIONAMENTO DO SÓTÃO

Concluída a execução de montagem, antes de ser içado, o sótão passa por um rigoroso processo de verificação de qualidade. O responsável técnico da construtora Alfa inspeciona o sótão em diversos critérios como planicidade das paredes, esquadro dos ambientes, configuração do posicionamento dos elementos estruturais, entre outros, inclusive aspecto visual de acabamento. O controle de qualidade é muito importante porque garante as conformidades ao projeto e evita um possível retrabalho que, se notado posteriormente, demandaria esforços enormes para consertar, considerando que o sótão ainda se encontra no nível do solo e que a próxima etapa é o içamento. Esse procedimento é formalizado pela empresa Alfa em documentos que contém todos os critérios que devem ser conferidos e também tolerâncias para aceitação de critério em conformidade (o documento se encontra no apêndice B).

Anteriormente à etapa de içamento do sótão também deve ser feita uma análise quando à planicidade, regularidade e nivelamento da superfície de concreto em que o sótão será posicionado. Essa análise é importante visto que é comum as estruturas de concretos executadas *in loco* apresentarem pequenas falhas de execução. Com o auxílio de um equipamento de nível a laser o mesmo responsável técnico da empresa Alfa avalia os critérios da laje de concreto para a locação do sótão, e com um spray de tinta, faz as devidas marcações para reparos. Esses reparos são: o corte de barras de aço que por falha executiva ficaram amostra na laje de concreto e nivelamento da laje com auxílio lixadeira para concreto. Esse procedimento de análise da estrutura de concreto também é formalmente documentado pelo responsável técnica da empresa Alfa (documento em anexo no apêndice B).

Existem três tipologias de sótãos que diferem apenas no fechamento da parede lateral e que devem ser atentamente identificados para o devido posicionamento. O empreendimento oferece diferentes opções de casas geminadas. Na opção de seis casas geminadas o sótão pré-fabricado posicionado no meio não possui fechamento nas duas paredes laterais, pois essas paredes estarão em contato com os dois sótãos que serão posicionados nas duas laterais. Os sótãos que são posicionados nas extremidades dos conjuntos geminados possuem o acabamento vertical. A figura 25 mostra um exemplo de sótão sem o fechamento vertical na lateral para o encaixe de outro sótão, e a figura 26 mostra um sótão a ser posicionado na extremidade do conjunto, com o fechamento vertical.

Figura 25 – Sótão sem vedação lateral



(fonte: elaborado pela autor)

Figura 26 – Sótão com vedação lateral



(fonte: elaborado pela autor)

5.8 PROCESSO DE IÇAMENTO E POSICIONAMENTO

O processo de içamento do sótão é considerado a etapa mais ousada do projeto dos sótãos pré-fabricados. Nem a construtora Alfa, nem a empresa Beta tinham alguma experiência prática em atividades semelhantes. O sótão pré-fabricado completo pesa cerca de nove toneladas. Para equilibrar o sótão durante o içamento é utilizado um balancim de içamento com o intuito de

distribuir a força de tração do cabo do guindaste para vários pontos estratégicos da estrutura do sótão. O balancim de içamento pesa duas toneladas.

O conjunto de sótão e balancim de içamento, pesando cerca de onze toneladas, deve ser içado por um guindaste rodoviário de grande porte com capacidade de carga de 85 toneladas, alcance vertical de 64 metros e horizontal de 43 metros.

Com objetivo de manter o esquadro dos ambientes internos do sótão e não acontecer das paredes se torcerem durante o içamento e alterar as dimensões de projeto, é instalada uma peça provisória no nível do piso em cada ambiente do sótão com o objetivo de travar os possíveis movimentos. Essas lajes de travamento, feitas de perfis de aço galvanizado, são instaladas provisoriamente apenas antes do içamento, são retiradas após o posicionamento sobre a laje e reutilizadas em cada içamento. Na figura 27 é possível ver no momento do içamento o balancim de içamento que distribui a carga de peso do sótão em vários pontos estratégicos, e a lajes de travamento posicionadas na base do sótão.

Figura 27 – O momento do içamento



(fonte: elaborado pela autor)

O procedimento de içamento tem duração de aproximadamente quinze minutos, mas as atividades predecessoras como a manobra do guindaste rodoviário, instalação das lajes de travamento, questões de segurança de entorno da atividade, influenciavam de tal maneira que foi possível o içamento de no máximo cinco sótãos por dia.

O posicionamento do sótão na estrutura convencional é feito de maneira visual pelo profissional encarregado da operação, e auxiliado por cinco operários distribuídos na atividade de guiar o sótão na posição correta através de cordas amarradas nas laterais do sótão para orientar a rotação, o alinhamento entre a estrutura e controlar movimentação decorrente de ventos. O alinhamento entre a construção convencional e o sótão deve estar o mais preciso possível, no entanto existe uma moldura feita de EPS (sigla de Poliestireno Expandido, em inglês, popularmente conhecido como isopor) nesse encontro que oculta pequenas falhas de alinhamento (figura 28).

Figura 28 – Unidade com acabamentos finais no encontro do sótão com a estrutura convencional.



(fonte: elaborado pela autor)

6 RESULTADOS E ANÁLISE

O processo de execução do sótão pré-fabricado, considerando tanto na fábrica, quanto no canteiro de obra, representou um item de grande importância nas decisões estratégicas da construção do empreendimento. O custo de execução figurou como o quesito responsável por essa situação, visto que o projeto e execução de oitenta e nove unidades de sótãos pré-fabricados representou cerca de 11% do custo total da obra. Além do custo, o fator de logística de execução também foi muito importante, pelo fato de ter sido complexo, envolvendo várias atividades no fluxo de processo e determinante para alcançar os resultados esperados.

A logística de execução dos sótãos englobou os aspectos físicos de transporte e armazenagem dos componentes e elementos que compõem o objeto em estudo, e de outros materiais e equipamento que apoiaram durante todo o processo produtivo. E englobou principalmente aspectos gerenciais que garantem a execução com fluidez entre todas as etapas em conjunto.

A gestão da cadeia de suprimento do projeto de sótãos pré-fabricados se mostrou desafiadora para as duas empresas envolvidas por diversos fatores. Primeiro pelo fato da terceirização do serviço em que a construtora Alfa subcontratou o serviço para a empresa Beta para a execução dos sótãos. As empresas nunca haviam trabalhado juntas, o que gerou conflitos por parte de diferenciação de procedimentos padrão e controle de qualidade de execução simultânea em dois *lay outs* de produção em cidades diferentes, distantes 45 km.

Outro fato é que dois dos insumos principais utilizadas foram importadas, as bobinas de aço galvanizados da China e o Siding Vinílico do Chile, por razões de não serem encontrados fornecedores locais comprovadamente competentes para atender a alta demanda e por preços competitivos. A previsão de valorização do dólar no ano de 2015 e 2016 fez com que a empresa Alfa optasse por faturar todo o valor do insumo aço para a empresa Chinesa antecipadamente para evitar o aumento previsto de 12% no valor do insumo. A empresa de Siding Vinílico do Chile demonstrou, ao longo do projeto, ineficiência em atender os prazos de entrega, acarretando atraso no fluxo de produção.

A seguir são apresentados pontos importantes observados durante a execução do projeto de sótãos pré-fabricados.

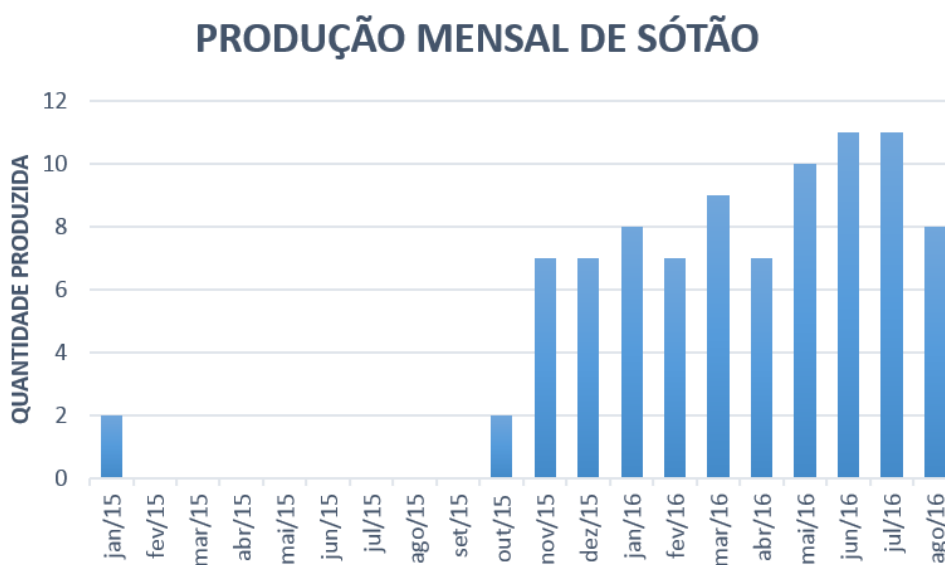
6.1 CURVA DE APRENDIZAGEM DA PRODUÇÃO

A logística, gestão e execução de processos produtivos inovadores apresentaram certa dificuldade inicial de aplicação. Normalmente, as tentativas iniciais geram informações que fazem os envolvidos se habituarem ao processo, ou então corrigir falhas, até que a produtividade estabeleça níveis estáveis.

A curva de aprendizagem considera maior eficiência e produtividade em função do tempo em que um operário, ou equipe, executa uma tarefa repetidamente e que adquirindo informações e experiência melhora a eficiência e produtividade. A curva de aprendizagem representa a dificuldade de aprender algo até alcançar níveis estáveis e constantes de produtividade.

A figura 29 apresenta o histograma com informações fornecidas pela construtora Alfa da quantidade de sótãos içados por mês. A figura apresenta do total de 89 içados até agosto de 2016.

Figura 29 – Histograma apresenta quantidade de sótão içados por mês



(fonte: elaborado pelo autor)

As duas primeiras unidades, produzidas em janeiro de 2015, serviram como protótipo, consideradas testes para a elaboração do planejamento e do produto si, procurando aprimorar componentes, conexões e apresentação estética.

O processo de produção começou em setembro/outubro de 2015, onde o corpo técnico dos encarregados de produção e os operários começaram a exercer as atividades tanto no canteiro, como na fábrica. Observa-se através da figura 29 que as equipes enfrentaram dificuldades e falta de familiaridade com o projeto, percebido para a execução dos lotes, tanto para o corpo técnico quanto para os operários, e então apenas duas unidades foram produzidas no mês de outubro de 2015.

Devido às informações e experiências adquiridas no mês de outubro/15 a produtividade aumentou nos meses seguintes, e assim progressivamente, até alcançar a capacidade máxima de produção do sistema no mês de junho/16, com onze sótãos içados.

Quando questionado se a produção fluiu conforme o planejado, o engenheiro responsável pelo empreendimento respondeu que a obra teve um atraso contratual de dois meses, mas que esse atraso foi devido à dificuldade das equipes de se habituarem à execução do sistema LSF. Esse período de aprendizagem não foi considerado uma perda pelo engenheiro responsável, por que foi um período de ajustes e aprimoramento do conhecimento das pessoas e do projeto em si. Alguns materiais, por exemplo, foram trocados para melhorar o acabamento do projeto nesse período. Esses dois meses já estavam previstos como aceitáveis, pelo engenheiro, devido ao caráter inovador do projeto.

6.2 INFLUÊNCIA NO PLANEJAMENTO DO CANTEIRO DE OBRAS

O canteiro de obra do empreendimento em estudo estava situado em um terreno amplo com grande espaço para estocagem e transporte de materiais. A figura 30 mostra uma imagem aérea do empreendimento e nota-se uma característica atípica de *layout* de canteiro. A área marcada em amarelo é um terreno de propriedade da construtora Alfa que servia de apoio estratégico. Era onde estavam localizados os galpões de estocagem, o escritório de engenharia, áreas de vivência (refeitório, vestiário, etc.) e outras instalações. A área marcada na figura 30 pelo perímetro em vermelho é o empreendimento em construção. Essa possibilidade garantiu a vantagem de que não houvesse conflitos entre a evolução da obra e as instalações.

Apesar de o projeto ter apresentado essa vantagem, de ter o canteiro de obras exclusivo para a execução, sem a interferência física das outras instalações, existe um ponto que alterou drasticamente o planejamento do canteiro em comparação com obras convencionais: a localização da área de montagem do sótão

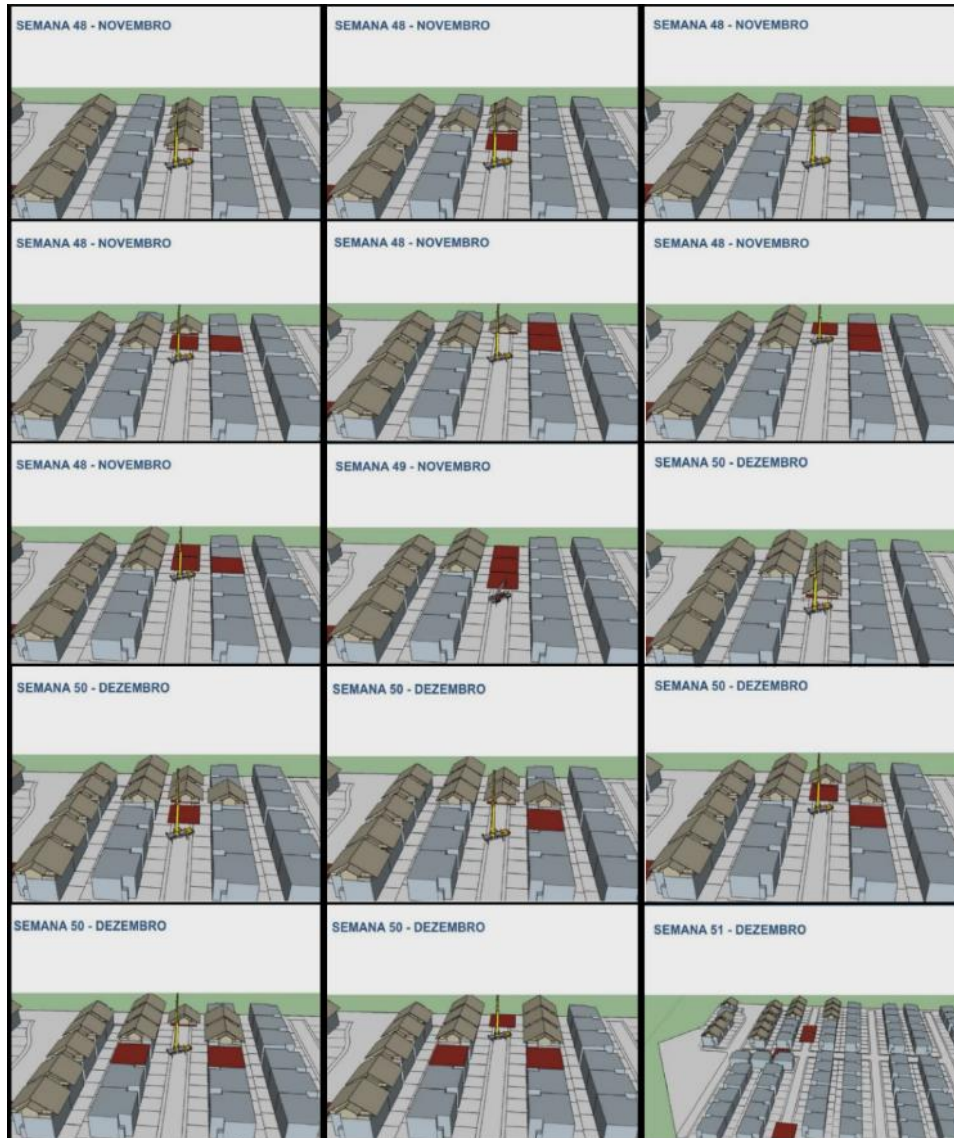
Figura 30 – Figura aérea que mostra a demarcação do canteiro de obras e a área de apoio



(fonte: foto aérea fornecida pela empresa Alfa e demarcações elaboradas pelo autor)

Estrategicamente o sótão foi montado o mais próximo possível do seu local de destinação final, sobre a cama de montagem de formato quadrada de lado igual a doze metros. Devido ao tamanho avantajado, o acesso de veículos ficava impossibilitado de acontecer, prejudicando descargas de materiais e acesso de máquinas, e a passagem de pedestre ficava bloqueada no momento do içamento. Esse desafio estratégico já havia sido identificado durante a etapa de concepção e planejamento do projeto do sótão. Foi então utilizada a ferramenta SkatchUp3D® para planejar a ordem de montagem dos sótãos com os objetivos de minimizar a interferência em outras tarefas dentro do canteiro de obras, e também otimizar a movimentação do guindaste de içamento e da cama de montagem. A figura 31 apresenta quadros sequenciais da montagem dos sótãos e da movimentação da cama de montagem.

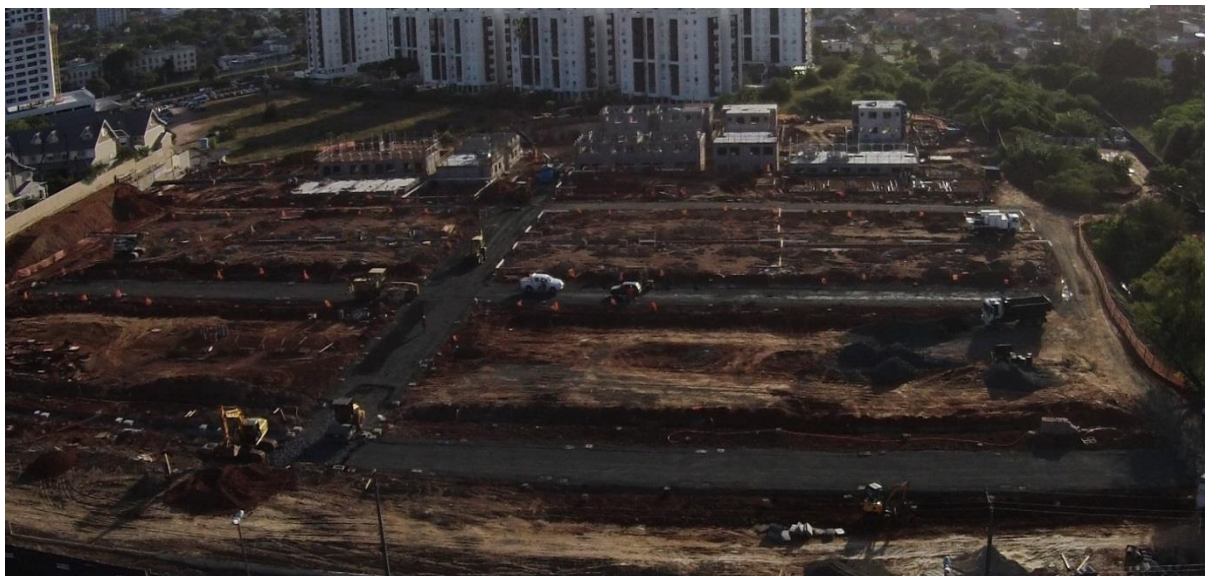
Figura 31 – Quadros sequenciais da montagem dos sôtãos e movimentação da cama de montagem



(fonte: imagens fornecidas pela empresa Alfa e manipuladas pelo autor)

Foi analisada também a influência no planejamento do canteiro de obras no que diz respeito às vias de acesso. O engenheiro responsável pelo empreendimento decidiu por asfaltar as vias de acessos do canteiro a fim de oferecer um ambiente seguro, limpo e regular para a circulação de caminhões e veículos pesados. Foi executada uma camada preliminar de asfalto para a etapa de execução da obra, e que foi posteriormente coberta com outra camada regularizadora para entregar o empreendimento para os clientes de forma a apresentar estética agradável. A figura 32 apresenta uma foto aérea aonde é possível ver as vias do empreendimento asfaltadas.

Figura 32 – Imagem aérea das vias de acesso asfaltadas.



(fonte: imagem fornecidas pela empresa Alfa)

Outro ponto importante a ser salientado na questão de planejamento do canteiro de obra é o sincronismo entre a quantidade produzida e o agendamento do guindaste de içamento. Como já mencionado, a quantidade máxima de sótãos içados por dia alcançou o valor de cinco em um dia ideal, e a contratação do guindaste de içamento previa dois ou três dias por mês que seria executado o içamento. O excesso de produção é considerado uma perda que prejudica o sistema produtivo, e acontece quando são produzidos mais itens do que existe demanda, neste caso, a demanda pelo içamento. Os sótãos que por ventura se enquadravam nessa questão, de produção excessiva, ficavam dispostos no local à espera da próxima data programada do guindaste. O fato de ter um sótão montado por dias além de atrapalhar a movimentação e transporte dentro do canteiro, utilizava uma cama de montagem que poderia estar sendo usada para produção de outro sótão.

O engenheiro da empresa Alfa também enfatizou que a obra já recebe da fábrica os painéis prontos e com revestimento, então, grosseiramente é possível afirmar que a maioria do efetivo envolvido na produção do sótão estava localizado no pavilhão da fábrica. Durante a execução dos sótãos eram necessários cerca de 13 funcionários presentes no canteiro de obras. Se o processo fosse feito pelo sistema convencional, em um mesmo ritmo de produção, o engenheiro

responsável pelo empreendimento estimou que seriam cerca de 50 pessoas necessárias⁵. Isso faz com que a área de apoio e instalações provisórias dimensionadas para aquele determinado número de pessoas reduzido. Bem como a gestão de acessibilidade e documentação dos funcionários. Estes são ganhos que não foram mensurados, mas têm claramente vantagens estratégicas.

6.3 INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A industrialização da construção civil tem como uma das premissas a racionalidade dos processos, otimizando a utilização dos insumos consumidos para a execução do projeto. Tendo isso em vista o processo de produção do sótão pré-fabricado procurou formas de reduzir o desperdício de materiais.

Uma medida em particular expõe a mentalidade de racionalização em que a produção dos sótãos pré-fabricados se inserem. Apesar dessa medida ter pouco impacto nos números de rendimento e produtividade, ela demonstra a preocupação do projeto em buscar soluções racionalizadas. É comum que na atividade de parafusar, na fábrica, os perfis de aço os parafusos autobrocantes caiam no chão por diversas razões. Ao caírem no chão durante o trabalho, os parafusos não eram coletados imediatamente, a fim de não interromper o fluxo produtivo, e sim todos os parafusos eram coletados ao final do expediente por um operário através de um ímã. Pode-se dizer, então, que teoricamente nenhum parafuso foi desperdiçado na produção dos painéis na fábrica. No entanto na atividade de montar o sótão na obra os parafusos que caíam eram descartados, pois se misturavam com a terra, ou lama, e eram perdidos.

Na fábrica, os perfis de aço eram perfilados por máquinas, como já mencionado, através de programas computacionais, apresentando perdas ínfimas. A placas de OSB eram cortadas através de gabaritos cortados a laser, através de um projeto de cortes, visando otimizar a utilização de cada placa. O engenheiro da empresa Beta comentou que em outras obras que

⁵ Essa informação foi colhida em entrevista com Engenheiro Willians Amaral, realizada no canteiro de obra do empreendimento do estudo de caso. A entrevista completa está disposta no apêndice A.

executam LSF no próprio canteiro de obras, pelo método *Stick*, existe uma perda de cerca de 30% das placas OSB, enquanto que o projeto dos sótãos pré-fabricados foi notado um descarte de apenas 7% de material da placa OSB.

Na obra, o único resíduo produzido foi oriundo das telhas Shingle. Alguns recortes eram necessários a fim de compatibilizar os encaixes das diferentes águas, resultando em desperdícios inevitáveis, visto que as peças de telha Shingle são padronizadas retangulares.

Foi possível analisar que o processo de produção do sótão resulta em muito pouco desperdício de material em comparado com os dados obtido por Agopyan et al (2003) para sistemas construtivos convencional. Além do custo do material em si, o desperdício causa efeitos como a necessidade da escolha de um local adequado para separação, desvio de mão de obra produtiva para executar tarefa de descarte e o custo de despachar quantidade desperdiçada, que apesar de não ser quantificada, fica mais evidente as necessidades de evitar o desperdício de material nas construções.

6.4 INFLUÊNCIA NA SEGURANÇA DO TRABALHO

Tendo feito uma breve apresentação das definições de medidas controle e prevenção de segurança apresentadas pelas normas reguladoras em vigências na indústria da construção no item 3.3.6 *Segurança do Trabalho* é possível avaliar as influências acerca da produção do sótão pré-fabricado.

Caso fosse necessário implementar anteparos rígidos para evitar quedas de pessoas ou materiais no nível do segundo pavimento, seriam necessários 42 m lineares de guarda-corpo por sótão, considerando o perímetro do sótão, resultando em 3.738m de guarda-corpo a ser montado para o empreendimento inteiro. Ao ter executado a montagem do sótão no nível do solo foi obtida a vantagem de economia no material usado, nos profissionais carpinteiros e redução de etapas no fluxograma do processo de produção. Além de ter evitado os riscos de acidentes impostos ao trabalho em altura como queda de funcionários ou materiais e equipamentos sobre algum pedestre.

A opção do projeto do sótão pré-fabricado excluiu a etapa de transporte vertical de materiais. No caso de execução pelo método convencional os materiais, como bloco e argamassa, deveriam ser transportados por cerca de seis metros por algum maquinário como modelo de guincho de pequeno porte, ou outra alternativa, que obrigaria a construtora a executar as definições propostas na NR18.14 (BRASIL, 2015) para transporte de materiais.

Quanto à produção do telhado e cobertura as vantagens foram compreendidas na logística de execução e não na redução de aparatos de segurança. O fato dos painéis de telhado serem pré-fabricados e simplesmente parafusados agilizou o processo, e encurtou o período de execução. A execução da instalação das telhas *Shingle* apresentou vantagem apenas na área mais baixa do beiral da cobertura, aonde os operários puderam trabalhar caminhando no nível do terreno, visto que a cumeeira está cerca de 4m de altura, e esta atividade requer medidas de proteção para trabalho em altura. Ao executar as partes mais altas da cobertura foi necessária a fixação de cabos de aço como guias para a fixação dos talabartes presos no cinto de segurança individual a cada operário conforme citado na NR18.18 (BRASIL, 2015), dimensionados pelo engenheiro projetista durante a fase de concepção do projeto do sótão.

Após o içamento do sótão, era necessário executar o arremate na cobertura devido aos pontos das ancoragens dos cabos ligados ao guindaste. Essa atividade era exercida por um funcionário apenas, que deveria prender cinto de proteção individual ao cabo guia preso à estrutura do sótão, para fixar as peças de telhas *Shingle* nos locais adequados. A figura 33 mostra um operário executando a etapa de instalação da cobertura em telhas *Shingle* no nível do solo.

Figura 33 – Instalação de telhas *Shingle* no nível do solo



(fonte: elaborado pelo autor)

O serviço de revestimento externo e forro de PVC foram a etapas do processo que as vantagens são mais evidenciadas. O revestimento pré-fabricado de Siding Vinílico e o forro de PVC eram cortados na fábrica de acordo com o projeto, e se possível já incorporados nos painéis na fábrica, ou então na obra eram instalados em local de fácil acesso com uma escada no máximo. Entretanto se o revestimento fosse executado no sítio *in loco* seria necessário a aquisição de plataformas elevatórias ou a montagem de andaimes fachadeiros no perímetro a ser executado, resultando em custo de aluguel das peças, montagem, desmontagem e perdas em questão de tempo de atividades adicionados ao fluxo do processo e que não agregariam valor ao produto. A figura 34 mostra dois operários executando a instalação do revestimento externo como auxílio de uma escada apenas, ao passo que para acessar o mesmo local em condições dadas pelo sistema convencional de construção deveria ser usado um andaime.

Figura 34 – Operários instalando Siding Vinílico



(fonte: elaborado pelo autor)

O projeto do sítio pré-fabricado buscou, ao reduzir a exposição de riscos e acidentes, uma forma de reduzir os custos e tempos do processo produtivo. O processo de produção do sítio pré-fabricado apresentou condições mais seguras de trabalho em comparação com o sistema convencional de construção ao transferir as atividades que seriam exercidas *in loco* para locais no nível do solo.

6.5 COMPARATIVO DE EXECUÇÃO ENTRE O SÓTÃO PRÉ-FABRICADO E O MÉTODO CONVENCIONAL CONSTRUTIVO

Como já foi citado, o método construtivo convencional, em geral, apresenta baixos índices de produtividade e elevados índices de desperdícios, enquanto o projeto dos sótãos pré-fabricados é um método de características industrializadas, de caráter racionalizado, que busca produtividade e controle de qualidade ao produzir grande parte do sótão na fábrica.

No que se refere às questões ambientais, a construção convencional causa considerável impacto ambiental para produção dos insumos, utilizados nos materiais, e na geração excessiva de resíduos pouco reaproveitáveis ou recicláveis, enquanto que o processo produtivo do LSF gera menos resíduos e potencialmente recicláveis e reaproveitáveis, se mostrando como uma solução aos impactos de excesso de resíduos da construção.

Um dos problemas enfrentado na execução dos sótãos pré-fabricados foi a falta de fornecedores locais. Alguns dos componentes do sótão foram adquiridos de fornecedores estrangeiros, o que resultou em problemas de comunicação e atrasos de entrega irremediáveis, dado que os engenheiros não tinham outra alternativa de aquisição de materiais da indústria local. No entanto é consideravelmente fácil contornar a situação de casos de atrasos de insumos para obras pelo método convencional, visto que areia, argamassa, madeira, blocos para alvenaria, podem ser facilmente encontrados em fornecedores locais.

A pré-fabricação viabiliza a produção em série de elementos, isto é, a execução de operações em padrões repetitivos de forma a produzir elementos idênticos. O ambiente de fábrica propicia condições ideais para a produção em série, em um local planejado, com equipamentos localizados estrategicamente de modo a garantir a fluidez da execução e protegido de condições climáticas adversas. Pelo método convencional é mais difícil a produção em série e produção de elementos idênticos, visto que o ambiente de canteiro de obras é menos controlado e planejado, logo as condições que englobam a execução de cada processo tendem a ser diferentes, como por exemplo, equipamentos disponíveis, acesso para trabalho e qualidade e disponibilidade dos materiais.

A execução do método convencional construtivo utiliza água para a argamassa de assentamento e para o revestimento argamassado. Ao passo que o sótão pré-fabricado não utiliza água em

nenhum dos seus processos, por isso considerado construção à seco. Isso garante uma execução mais limpa e facilidade no manuseio dos materiais.

Em questão do prazo de execução havia sido previsto a montagem e içamento dos 89 sôtãos em um prazo de nove meses, o que não veio a ocorrer, tendo sido necessário onze meses para a finalização dos sôtãos. Logo a redução de custos, prevista através dos custos fixos de implantação da obra, também não foi alcançada plenamente.

Houve uma perceptível mitigação de exposição ao risco de acidentes aos trabalhadores ao transferir as atividades de construção do sôtão para o nível do solo, tanto a produção na fábrica quanto a montagem na obra. No entanto a operação de içamento exige cuidados como restrição de acesso de pessoas não autorizadas na área de manobra do guindaste, e nem a operação do guindaste em ocasião de ventos fortes.

Apesar das vantagens apresentadas, a utilização de LSF encontra resistência de ser amplamente difundida por causa de clientes tradicionalistas que resistem em substituir as tecnologias já consolidadas e por causa do preço se mostrar superior. No entanto as principais obras que utilizam da tecnologia do LSF são clientes que têm urgência em começar a operar suas atividades (como exemplo de bancos, supermercados e comércio em geral), e empreendimentos caracterizados por construções repetitivas, aonde o ganho se dá pela velocidade de execução.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou, através da pesquisa bibliográfica, a compreensão dos fatores que envolvem os avanços tecnológicos e a industrialização na Construção Civil, e principalmente no subsetor de edificações. A busca por maior produtividade e a superação dos altos índices de desperdício evidenciados no setor direcionam o aperfeiçoamento dos sistemas construtivos, ou inserção de novos sistemas, para um caminho mais industrializado e racionalizado. A utilização do sistema de pré-fabricação surge nesse contexto oferecendo vantagens que podem vir a superar barreiras, tais como condições climáticas adversas, cronogramas apertados, redução de perdas por resíduos e controle de qualidade mais confiável devido a padronização e repetição em ambientes de fábrica controlados.

A utilização de pré-fabricação em *Light Steel Framing* se apresenta como alternativa nesse processo de industrialização e racionalização em busca de substituir os métodos convencionais mais artesanais, por ser um método à seco, de estrutura relativamente leve e que tem a possibilidade de ser pré-fabricado. Apesar do LSF já estar consolidado em países como Estados Unidos, Austrália, Canadá e Japão, no Brasil a sua utilização ainda não é intensa.

O Estudo de Caso abrangeu os conhecimentos compreendidos no referencial teórico de forma prática durante a execução do processo de produção dos sôtãos pré-fabricados, tanto na fábrica, quanto no canteiro de obras. Através das entrevistas formais com os engenheiros responsáveis das empresas Alfa e Beta (degravadas no apêndice A) e de entrevistas informais com os operários foi constatado que a inovação em sistemas construtivos deve ser cuidadosamente estudada e planejada, identificando pontos críticos que possam vir a prejudicar a produção, e assim controlar a situação, para aproveitar ao máximo todas as vantagens que o sistema pode oferecer.

Não é possível determinar uma regra para a escolha de qual sistema construtivo deve ser usado, pois cada projeto possui variantes e características próprias. Entretanto, de um modo geral, obras que apresentam caráter de repetição em grande volume, a utilização da pré-fabricação pode vir a oferecer melhora considerável na velocidade e qualidade de produção. Dado que

ambientes controlados de produção e repetição no trabalho propiciam condições para melhorar o índice de produtividade de acordo com a curva de aprendizagem.

Foi possível identificar a influência da utilização de pré-fabricação em questões logísticas do planejamento do canteiro de obras. Os processos são transferidos do canteiro de obras e passam a ser executados na fábrica, dessa forma, materiais, equipamentos e trabalhadores são deslocados também, conferindo ao canteiro de obras menos fluxo desses recursos, resultando em maior transparência e limpeza da obra. No entanto é necessária a análise de vias de acesso para o trânsito dos caminhões que transportam as peças pré-fabricadas bem como a disponibilidade de guindastes para içamento em locais sem interferências para o posicionamento das peças. Sob o ponto de vista de segurança do trabalho foi percebido alterações também. Ao transferir as atividades que seriam exercidas *in loco*, no sótão, para o nível do solo, tanto na fábrica quanto na obra, diversos aparatos de segurança e formalidades de documentação foram suprimidos, embora a operação de içamento tenha exigido atenção nessas questões de segurança.

Dada a importância da industrialização na Construção Civil é importante enfatizar que os conceitos da industrialização devem ser incorporados desde a concepção do projeto, para que as vantagens sejam maximizadas. Deve-se também existir uma comunicação eficaz entre todos os entes da cadeia produtiva a fim de alcançar os objetivos definidos em cronograma.

Uma melhoria que pode ser apontada no processo dos sótãos pré-fabricados é a escolha de fornecedores locais, quando disponíveis, evitando transtornos de transporte e facilitando a comunicação. Outra melhoria, apontada pelo engenheiro da empresa Alfa, é a designação de uma equipe de técnicos para supervisionar a produção na fábrica e a montagem na obra, simultaneamente. Houve casos no início da obra em que algumas peças vieram em desacordo com o projeto, o que gerou estresse e atraso. Mas foi apenas uma questão de alinhamento de informação entre a obra e a fábrica que demorou a se estabilizar e que poderia ter sido bem mais fácil de resolver com uma equipe de técnicos presentes na fábrica.

É possível afirmar que sistemas construtivos como pré-fabricados em *Light Steel Framing* são uma ligação para a evolução tecnológica na Indústria da Construção Civil. No entanto deve-se ter o entendimento de que, para alcançar os benefícios, são necessários controles rígidos de

execução dos processos e compatibilização de projeto e planejamento integrados de forma multidisciplinar.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V., SOUZA, U.E.L, PALIARI, J. C., ANDRADE, A.C., **Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra**. In: FORMOSO, C. T., INO, A. (Ed.) Inovação, Gestão da qualidade & produtividade e disseminação do conhecimento na construção habitacional. Coletânea Habitar- ANTAC. Porto Alegre, 2003.

ALTMANN, C., **A Segurança do Trabalho e Sua Previsão Orçamentária em Obras Civis: Estudo em Fachada de Edifício Residencial Multi-Familiar**. 2005. 151 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Escola de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762** – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** – Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355** – Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr18.htm#18.13._Medidas_de_proteção_cont_ ra_quedas_de_altura>. Acesso em: 20 outubro de 2016.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 4: Serviços Especializados em Engenharia e Segurança e em Medicina do Trabalho**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr4.htm>>. Acesso em: 20 outubro de 2016.

CALÇADA, P. A. B. **Estudo dos processos produtivos na construção civil objetivando ganho de produtividade e qualidade.** 2014. 90 f. Monografia (Graduação). POLI/ UFRJ/ Curso de Graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 448.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2012.

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

CROSBY, P. B. **Quality is free.** McGraw- Hill, New York, 1979. Dinamarca, 2004.

ESCÓSSIA, F. Logística Metálica. **Revista Técnica,** São Paulo, n. 229, abril. 2016.

FEINGENBAUM, A. V., **Total Quality Control.** McGraw-Hill, 1983.

FORMOSO, C. T. **Gestão e Controle de Qualidade.** Porto Alegre, NORIE/UFRGS, 2016.

FORMOSO, C. T., SAURIN, T. A. **Proposta de método para planejamento de canteiro de obras** In: FORMOSO, C. T., INO, A. (Ed.) Inovação, Gestão da qualidade & produtividade e disseminação do conhecimento na construção habitacional. Coletânea Habitare. Porto Alegre, 2003.

ISOLDI, R. A. **Tradição, Inovação e sustentabilidade.** 2007. 334 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, Porto Alegre, 2007.

KONCZ, T. **Manual de la Construcción Prefabricada.** Editorial Blume. Madrid, Barcelona, 1968.

OLIVEIRA, R. R., **Metodologia para melhoria da qualidade e produtividade em obras habitacionais de caráter repetitivo.** In: FORMOSO, C. T., INO, A. (Ed.) Inovação, Gestão

da qualidade & produtividade e disseminação do conhecimento na construção habitacional. Coletânea Habitare. Porto Alegre, 2003.

PESSANHA, J. A. M **Cultura como Ruptura: Tradição, contradição**. In. Borheim et al. Rio de Janeiro: Zahar Editor, 1987.

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produtos de obras repetitivas**. 2005. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFRGS. Porto Alegre, 2005.

ROUSSELET, E. S. **A Segurança na Obra - Manual de procedimentos para implantação e funcionamento de canteiro de obras na indústria da construção**. SECONCI-RIO, Rio de Janeiro, 1997. Disponível no website: <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/canteiro-sobes.pdf>> Acesso em 2 junho 2016.

SANTOS, G. T., SANTOS, A. L., BRITO, F. J. A., SALIM, P. H. A. D., **Metodologia de Racionalização de Processos: Um Estudo Sobre a Integração de Ferramentas de Melhoria**. XXXI ENGEPE, Belo Horizonte, MG, 2011.

SIRTOLI, A. S. C., **Industrialização da construção civil, Sistemas Pré-fabricados de Concreto e Suas Aplicações**. 2015. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) UFSM. Santa Maria, RS, 2015.

VARGAS, M (org) **História da Técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora Estadual Paulista, CEETESP, 1994.

YAMASHIRO, W. L. **Execuções de habitações populares com sistema construtivo Light Steel Frame**. 2011. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). UFSC. São Carlos, 2011.

APÊNDICE A – TRANSCRIÇÃO DAS ENTREVISTAS

Entrevista Engenheiro Responsável Construtora Alfa

1 -Qual foi a motivação de usar o sistema Light Steel Framing?

Os motivos principais que motivaram o uso do Light Steel Framing foram primeiramente a redução de prazo de execução seguido pela dificuldade de execução da estrutura do sótão.

O sótão da casa é a área de maior dificuldade de execução por ser trabalho em altura, de 6 a 8 metros de altura em relação a cumeeira e a ponta da casa. Questão de segurança do trabalho dificultaria a execução de alvenaria grauteada e a montagem *in loco* do telhado, seria necessário a montagem de andaime fachadeiro no perímetro de toda a casa.

Outra questão é o prazo, fazendo em LSF foi possível otimizar e reduzir o trabalho de 35 dias para 7 dias. O que se viu de extrema importância, visto que o atraso na aquisição da Licença de Implantação concedida pela prefeitura prejudicou o planejamento da obra.

A redução de custo e despesas indiretas também é um ponto importante. Economia de 9 meses de tempo de obras, quer dizer 9 meses a menos de despesas indiretas de água, luz, implantação, segurança e custo da equipe. O custo direto de bloco, argamassa, pintura e do reboco é semelhante ao LSF. O ganho mesmo é na redução das despesas indiretas

Quais foram as vantagens em comparação com o método convencional?

Se fosse para fazer um ranking seria: Primeiro item é a redução de prazo. Segundo item é a segurança. Terceiro item é a qualidade, já que fica mais fácil controlar trabalho na indústria, em um galpão de fábrica, do que no canteiro de obra aonde a logística é muito mais complicada e não é possível controlar as questões climáticas. E por consequência, sustentabilidade, não foi usado uma única gota de água para fazer 50m² de sótão.

A qualidade final do produto (sótão) é satisfatória?

A qualidade vista de um ponto de qualidade técnica, sim. No entanto o material de revestimento externo que foi usado não foi o ideal. O *Siding Vinílico* é um material importado do Chile e se mostra muito limitado para fazer acabamentos de cantos e encontros com outras peças. É tipo um forro de PVC.

Para projetos que apresentam muito cantos e cortes e estética exigente, o acabamento acaba ficando um pouco refém de um material limitado.

Foi notado que os gaúchos são muito críticos em relação ao acabamento. Para satisfazer os gaúchos a residência não basta funcionar, tem que ser bonita e não apresentar patologia. Em

outros locais, como por exemplos São Paulo, e no exterior como Estados Unidos, Chile e Colômbia (onde a tecnologia dos acabamentos do Wood Framing é semelhante ao LSF e já é conceituado), já é entendido que o acabamento é dessa maneira, e o sistema é funcional.

O Terra está sendo entregue com um padrão de qualidade “americanizado”, e deixa um pouco a desejar na mentalidade dos gaúchos.

Por que não foi optado por executar o empreendimento inteiro em LSF e não apenas o sótão?

O risco seria muito grande em assumir a responsabilidade de executar 26.000m² em um sistema construtivo inovador para o corpo técnico da empresa. Ainda não existe fornecedor de mão de obra capacitado, no estado, para esse volume de obra e que apresente confiabilidade. Alguns funcionários que executam a montagem do LSF precisam ser trazidos do exterior do país pois não há efetivo suficiente.

Quais as competências e habilidades necessárias para os operários de mão de obra direta da montagem? O que difere dos profissionais do sistema convencional de construção?

Por ser um processo mais industrializado o montador de LSF precisa de habilidade muito diferentes do que o pedreiro ou carpinteiro. Enquanto o montador trabalha com o suporte de máquinas de corte e um ambiente de fábrica com processos mais controlados, o pedreiro e carpinteiro trabalham praticamente de forma artesanal. Completamente diferente.

Por ser um sistema pré-fabricado o projeto do sótão não pode sofrer nenhum tipo de alteração no estilo de “improvisação”. Houve algum caso de interferência de projeto e execução?

Analisando os dois ambientes de fabricação é possível dizer que na fábrica não houve nenhuma interferência, o projeto foi executado precisamente. No entanto na obra houve um conflito do encaixe do sótão com a estrutura convencional de dois pisos de alvenaria estrutural e laje de concreto.

O contato entre as duas peças é camuflado ou suavizado por uma moldura de EPS que aceita uma tolerância de até 20mm. Em alguns casos essa tolerância se excedeu e apresentou uma estética pior, fazendo com que o fluxo de produção se alterasse para a aplicação de uma moldura diferenciada.

Comparado com o sistema convencional, o processo de produção em LSF é mais fácil de controlar?

Não é mais fácil de controlar por que a gente tem parte da produção em fábrica e parte da produção em obra. O corpo técnico da empresa está locado na obra, e não na fábrica. Então nesse contrato entre as empresas optou-se por fazer a visita em fábrica esporadicamente correndo o risco de algo sair do controle e delegando a função de controle da produção em fábrica à própria empreiteira contratada.

Para controle da obra o corpo técnico é muito mais treinado e capacitado para controlar o processo convencional do que o LSF. Houve uma curva de aprendizado aonde os técnicos envolvidos tiveram que aprender e se aprimorar na parte da qualidade e execução do LSF.

Assim como qualquer sistema inovador é necessária mais atenção e é preciso desprender uma força maior do que estar na zona de conforto do convencional.

Foi percebida alguma desvantagem na execução do projeto?

A obra toda não foi planejada para ser feita em LSF, então a montagem do sótão era feita bloqueando os acessos e deveria ser feita em um local que não atrapalhasse a logística de movimentação da obra. Então o grande problema enfrentado por esse projeto foi a logística do canteiro.

Houve ganhos em produtividade, prazo, segurança, qualidade e custo. Houve tanto ganho que as desvantagens se mostram irrisórias. Como ainda não foi completo um ciclo de obra em LSF (que é o período de obra acrescido de 5 anos de assistência técnica) não é possível medir a questão de todas as patologias do sistema que podem aparecer sob ação das intempéries.

O clima de Porto Alegre apresenta variação térmica em um único dia que chega a 20°C e isso mostra uma agressividade que pode vir a apresentar patologias que em localidades sem essa variação talvez não apresentasse. A variação térmica pode apresentar algumas situações como falta de conforto térmico, acústico e infiltrações de umidade.

Visto isso é notório que falta conhecer mais e amadurecer mais o aprendizado com o LSF.

O tamanho do lote de produção foi o ideal?

Foi sim. O empreendimento apresenta tipologia de duas, quatro e seis casas geminadas, logo foi optado por usar o lote de duas casas buscando otimizar o içamento e balancear o contraventamento.

A cada dupla de casas se usa apenas uma cama de montagem e apenas um movimento de guindaste. Reduzindo pela metade a movimentação e os custos.

Um lote de montagem de três casas seria inviável pois não se adequaria ao conjunto de duas ou quatro casas, e seria muito grande também.

A produtividade fluiu conforme o programado?

A obra teve um atraso contratual de dois meses. Esse atraso foi devido a dificuldade das equipes de se habituarem à execução do sistema LSF. Esse período de aprendizagem não é considerado uma perda, por que foi um período de ajustes e aprimoramento do conhecimento das pessoas e do projeto em si. Alguns materiais, por exemplo, foram trocados para melhorar o acabamento do projeto nesse período.

Em questão de custos, foi vantajosa a decisão de usar LSF?

Com certeza. Ajustando os valores com a inflação, dos valores orçados inicialmente em maíos de 2015 para hoje, houve uma redução de R\$ 2,1 milhões. O custo fixo do empreendimento é R\$ 300 mil, então calculando com o 9 meses de redução de obra o valor se mostra bem atrativo. Foi uma decisão que deu muito certo. A obra foi premiada pelo prêmio Sinduscon 2015 de Inovação com o projeto dos *Sótãos Voadores*.

O que tu pensas da inovação na construção civil?

Eu acho fundamental otimizar processos. Fundamental industrializar os canteiros de obras. Para tentar ganhar em prazo, qualidade e segurança, por que quanto menos pessoas, maior a produtividade. E quanto mais equipamentos maior a assertividade da produção em comparado com a mão de obra física humana em razão de uma série de fatores. A máquina dá mais precisão na produção a partir do momento que é programa, é mais fácil de controlar e acertar o prazo. Quanto mais industrializada é a produção mais controlada ela é.

O Empreendimento dividiu o processo de produção entre o canteiro de obras e o pavilhão da fábrica. Como foi essa experiência?

A obra já recebe da fábrica os painéis prontos e com revestimento. Então, grosseiramente é possível afirmar que mais de 50% do efetivo envolvido no produção do sótão está localizado no pavilhão da fábrica.

Durante a execução dos sótãos era necessário certa de 13 funcionários presente no canteiro de obras, se o processo fosse feito pelo sistema convencional seriam mais de 50 pessoas necessárias. Isso faz com que a área de apoio e instalações provisórias dimensionadas para

aquele determinado número de pessoas reduzido. Bem como a gestão de acessibilidade e documentação dos funcionários. Estes são ganhos que não foram mensurados.

A gestão do empreendimento optou por usar em máximo possível o conceito de produtividade em obra e pré-fabricados.

Os pergolados do jardim são de aço e fabricados fora da obra. São apenas posicionados e fixados com auxílio do caminhão munk.

As escadas das casas são de madeira e as peças chegam na obra cortadas e numeradas, para apenas serem parafusadas no vão previamente deixado.

A respeito da geração de resíduos, houve alguma diferença?

Por cause de parte do processo ser fabricado na fábrica, como o corte das madeira e placas OSB, cortes do siding vinílico de acabamento externo, a maior quantidade de resíduos já é descartada na fábrica mesmo. Além do processo de cortes ser otimizados por plantas de corte e executados por máquinas.

A maior, e quase única, parte de resíduo gerado por parte da produção do sótão é a telha single.

E dentro da tua curva de aprendizagem, como gestor, o que aprendeu e o que faria diferente?

Penso que seria muito proveitoso colocar uma equipe técnica na fábrica para acompanhar a produção. Houve casos no início da obra em que algumas peças vieram em desacordo com o projeto o que gerou estresse e atraso. Mas foi apenas uma questão de alinhamento de informação entre a obra e a fábrica que demorou a se estabilizar e que poderia ter sido bem mais fácil de resolver com uma equipe de técnicos presentes.

Entrevista com engenheiro responsável da empresa Beta.

Qual a tua atribuição na empresa Beta?

Engenheiro civil, Coordenador de projetos, coordenador de contratos, coordenador de PCP e atuo bastante no pós-venda do cliente. Desde o pedido até chegar ao cliente. Eu faço toda a gestão de contratos dentro da empresa.

Há quanto tempo tu trabalhas na produção fabril?

Eu trabalho já faz 8 anos na parte fabril especificamente. Na parte de produção, mas a 14 anos com projetos de estrutura de Metal pesado.

Quais são as principais matérias-primas utilizadas na peças pré-fabricadas?

80% dos materiais são produzidos na fábrica, o que não é produzido são as matérias primas que agente utiliza para fazer os painéis. Por exemplo: Placas OSB e bobinas de aço. O nosso produto principal é o Light Steel Framing. O aço em si não é laminado aqui, o aço é comprado das grades siderúrgicas, que é um procedimento normal. O aço em comprado em bobinas e passa pelo processo de perfilação na fábrica.

A empresa Beta monta os perfis na fábrica, parafusa eles, deixa pronto e depois instala a placa OSB. Faz-se uma aplicação da membrana hidrófuga.

No projeto dos sótãos foi usado uma tecnologia chamada Gold Coat: uma tinta usada em todo o painel para tratar a madeira da placa OSB. O Siding Vinílico é especificamente um produto americano, produzido no Chile e fazemos a aplicação e o corte na fábrica. Então as peças vão para a obra já cortadas.

As bobinas de aço são compradas, perfiladas e montadas em painéis na fábrica. É feito o corte das placas OSB, e o Siding vinílico e enviado à obra.

Os insumos comprados são o Siding vinílico, placa OSB e manta hidrófuga.

Como se deu o processo de concepção do projeto?

Foi feito 100% pela equipe. Eu só coordenei o trabalho. Eu tenho engenheiro calculista e um projetista. A equipe era 4 pessoas para a concepção do projeto. O projeto em si demorou mais ou menos 4 meses para ser executado. A empresa Beta teve, não somente que fazer o projeto da casa, mas também fazer todo o projeto de logística, projeto de içamento, projeto do balancin de içamento. E fazer todos os cálculos para analisar a viabilidade do içamento. Ai dentro do

projeto de içamento teve o projeto de steel framing, projeto de revestimento e projeto de siding vinílico, projeto de aplicação do Gold Coat, projeto de montagem e a logística de obra.

O projeto dos sótãos pré-fabricados foi um desafio?

Todos projetos são. O Steel Frame em si é um desafio, porque tu tens que fazer todas as obras mais rápidas, único diferencial dela é que ela é içada. É necessário içar sótão por sótão, ter planejamento de material, logística de obra, mas todas eu encaro como um desafio sempre.

Mas quais são as competências que um profissional precisa ter que são diferentes, com uma comparação dos profissionais diretos trabalhando no steel frame e obras convencionais, no projeto do sótão especificamente?

O profissional da fábrica é mais generalista, ele acaba conhecendo vários produtos e ele se torna especialista no que ele faz, então a garantia do processo porque ele está sempre fazendo a mesma coisa, sempre o mesmo corte, sempre o mesmo painel e aquilo se torna uma coisa seriada e pelo fato de se tornar uma coisa seriada é garantido mais qualidade do produto. Quando é executado na obra, é como se estivesse desenvolvendo um produto novo.

Quando é feito na fábrica, se segmenta a obra em painéis, e o operário já está acostumado com isso, em montar painéis, em cortar, então é possível treinar melhor as pessoas, consegue ter mais controle de qualidade, porque está vendo o dia-a-dia, cada painel que sai, a forma que sai, só se o projeto estiver errado para ter um problema na obra e na obra tu tem que estar em cima do detalhe, tem que estar ali dia-a-dia, então para nós a vantagem é: eu consigo dar um treinamento melhor, eu consigo ter uma qualidade melhor, eu consigo garantir uma precisão de resultados melhor nas peças e reduzir o custo, custo operacional vamos dizer assim né, porque além disso o operário trabalha na fábrica, está trabalhando com condições melhores, não está trabalhando direto no sol, por exemplo, o fato de estar montando o empreendimento sobre camas de montagem, o operário não tem que colocar andaime, não tem que montar lá em cima, segurança, ele não tem que estar direto com o talabarte esse tipo de coisa, então a gente consegue reduzir um pouco desse custo que pra nós é importante e pro funcionário também é importante, a gente da segurança pro funcionário e também a gente consegue ter essa qualidade do produto já produzido na fábrica, uma garantia.

E na questão de geração resíduos, quais os resultados obtidos?

Com certeza, vou te dar um exemplo, o corte OSB na média das obras costuma ter uma média de 30% de desperdício, o empreendimento conseguiu fazer com 7% na fábrica, porque fez o

estudo de corte do OSB tipo Nesting, verificamos quais são as chapas e aproveitamento e mandamos cortar a laser e usamos como gabarito e utilizamos o menor número de placas possíveis para aproveitamento das chapas. 7% é um número muito pequeno reaproveitamento, então se a gente fizesse isso na obra eu ia ter um custo operacional a mais 30% de custo de material.

Quais as etapas que foram divididas para produzir, como é que foi feita a fragmentação do projeto, dos painéis e da cobertura?

A gente dividiu nas seguintes partes: primeiro a produção do aço, a produção do aço em duas partes, a produção do aço das paredes e a produção do aço das coberturas e além disso, a produção é feita por espessura pra melhora do *set up*, então produzem todas as paredes de tal espessura, então produz de acordo com a espessura, então produz, agrega de tantas as paredes, porque toda vez que a gente vai trocar a espessura, tem que trocar a bobina, bobina demora *set up* tempo de produção e acaba perdendo tempo. Com isso o revestimento em si, o corte a gente começou antes, começou um tempo antes então eu comecei já fazendo revestimento do OSB, fazendo o corte, desenho do corte porque isso demora tempo. Tivemos que ter um estoque pra ser utilizado porque com a produção do steel frame rápida e o meu tempo de corte era muito maior, eu tinha que ter um estoque na frente pra conseguir consumir isso, então a gente dividiu em duas partes o aço, aço das coberturas, aço das paredes. Revestimento, o operário antes começou a produzir essa parte do OSB e no final de tudo era a aplicação do Gold Coat depois do Siding Vinílico, então a empresa tinha, por exemplo assim, dentro da fábrica pequenos estoques estratégicos de várias etapas, a gente tinha do aço, da cobertura, do revestimento e tinha de kit cortado de Siding Vinílico.

Quais etapas são feitas na obra, e quais etapas são feitas na fábrica?

A peças chegavam na obra e só montavam as paredes em um dia e meio, dois dias e começava a fazer a aplicação da telha Shingle e o forro. Fato importante é que o corte do forro era feito na fábrica, eram montados os kits do forro de PVC já cortados.

Qual é o gargalo da produção? Qual é a atividade mais difícil de gerenciar?

A entrega de material, e não a logística do nosso material, mas o material que a gente consome, o material que a gente utiliza. Os fornecedores que entregavam a matéria prima para a fabricação, descumpriram os prazos previstos. O Siding Vinílico era um material importado,

ele vinha do Chile, então eles não tinham esse material 100% estocado, então quando a gente solicitava o material as vezes demorava 30, 40, 60 dias para chegar. Então estávamos antes, muito, muito antes. Estávamos adiantados na produção porque não tínhamos confiabilidade nos fornecedores.

Tu apontarias alguma melhoria no processo como um todo?

Sim, depois que a gente vê de fora a gente sempre vê melhorias né, esquemas da cama montagens poderiam ter sido diferentes, por exemplo

Quais são as vantagens e as desvantagens de usar o LSF, nesse projeto dos sótãos?

Fazer o projeto dos sótãos com certeza diminuiu o tempo em 9 meses, tu ganhar em 9 meses de obra é redução de desmobilização, desmobilização em pessoa, desmobilização em equipamentos, desmobilização em contratação de n coisas que tu pode tá e entrega antecipada pro cliente. Então só a possibilidade de quando tu tem um produto comercial que tu possa entregar antes, está faturando antes, faturando em venda. Por exemplo se o projeto de um mercado de steel frame se eu entregar antes, o mercado está faturando antes, então eu já estou pagando o produto, então eu sou muito adepto, muito fã do produto e vou levar como uma coisa da minha vida assim. Porque no quesito rapidez, a construção está muito atrasada, é muito arcaica, usando tijolo, cimento, aquela coisa mais resistente, sendo que tem produtos, o steel frame é tão resistente quanto. A florida é o lugar aonde tem mais furacão no mundo e a única construção que é realmente resistente ao furacão é o steel frame, porque ele resiste a compressão e tração, o aço resiste a isso, e além de resistir a compressão e tração. Existem ensaios técnicos que o sistema Light Steel frame deve passar para ser aprovado, o revestimento do steel frame tem a resistir a uma barra de diâmetro de 30 milímetros a 240km/h e atingindo a parede. Então as pessoas não têm esse conhecimento do tamanho e da resistência por falta de informação. Por exemplo, existem ensaios de um saco de areia que é largado na parede para testar a integridade e resistência. Então essa cultura do frágil que, vai quebrar, muito do brasileiro fala isso porque não conhece o produto. Qual é a vantagem? Rapidez, agilidade, menos custo na fundação, porque reduz peso da estrutura, faz um radier que é muito mais fácil, muito mais leve e um custo muito menor e tu vai ter um conforto térmico acústico ideal na residência.

**APÊNDICE B – FICHA DE VERIFICAÇÃO DE QUALIDADE E
PADRONIZAÇÃO DE PROCESSO DA EMPRESA ALFA**

