



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

BRUNA FERREIRA MILAGRES

***PARÂMETROS DE MONTAGEM DE EDIFICAÇÃO EM
LIGHT STEEL FRAMING – ESTUDO DE CASO***

OURO BRANCO-MG
DEZEMBRO-2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

BRUNA FERREIRA MILAGRES

***PARÂMETROS DE MONTAGEM DE EDIFICAÇÃO EM
LIGHT STEEL FRAMING – ESTUDO DE CASO***

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à
Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Civil,
da Universidade Federal de São
João Del-Rei, *Campus* Alto
Paraopeba, como requisito parcial
para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof.^a Dra. Carmem
Miranda Lage

OURO BRANCO-MG
DEZEMBRO-2022

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB) e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Milagres, Bruna.

Parâmetros de montagem de edificação em *light steel framing* – estudo de caso. / Bruna Ferreira Milagres; orientadora Carmem Miranda Lage. — Ouro Branco, MG, 2022.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Engenharia Civil) – Universidade Federal de São João Del-Rei, 2022

1. Aço 2. Construção civil 3. *Light steel framing* 4. Centro de Saúde I. Milagres, Bruna

BRUNA FERREIRA MILAGRES

***PARÂMETROS DE MONTAGEM DE EDIFICAÇÃO
EM LIGHT STEEL FRAMING – ESTUDO DE CASO***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ / ____ / _____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr^a. Carmem Miranda Lage – UFSJ

Prof. Dr. Adriano Pinto Gomes – IFMG 0 O.P.

Prof^a. Dr^a. Ana Amélia Oliveira Mazon - UFSJ

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte - UFSJ

RESUMO

A Engenharia é uma das mais antigas áreas de conhecimento da humanidade, que surgiu justamente para se atentar às necessidades humanas. Pensando na atualidade, novos métodos construtivos surgem para atender às demandas por redução da geração de resíduos, sustentabilidade e economia. Em específico, este trabalho trata da relevância do *Light Steel Framing* (LSF), que possui como principal característica o desenvolvimento de projetos de forma ágil e com menos desperdícios, na Parceria Público Privada (PPP) de Atenção Primária à Saúde que envolve a construção de 50 centros de saúde. Analisa-se a eficiência do LSF nas construções destas unidades de saúde, salientando os pontos positivos e negativos que ocorreram ao longo do processo de execução do projeto. Para isso, realiza-se uma revisão de literatura com os principais conceitos atrelados ao tema. No estudo de caso, são detalhadas as etapas do processo construtivo realizadas *off-site* (método de montagem por painéis), recebimento do aço, pré-montagem e envio dos painéis. Por fim, tem-se como resultado os principais ganhos do emprego do método com estruturação de fábrica. O método *off-site* se deu a partir da PPP Escolas, que utilizou o método *stick*, onde os painéis são montados na própria obra, esse método não foi tão eficaz, uma vez que o espaço é o principal limitador. A fábrica proveu um ganho muito grande na rapidez da execução dos painéis, por disponibilizar espaço suficiente para estocar os painéis, ou seja, a produção não precisa ser atrelada a demanda das obras. Proporcionou também uma melhoria na qualidade da montagem dos painéis, sendo implantado uma verificação mais cautelosa desde a chegada dos perfis até a montagem dos painéis.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
1. INTRODUÇÃO	7
1.1 – Objetivo	9
1.2 – Método adotado.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 – Estruturas Pré-Fabricadas: <i>Off-site</i> e Construção Modular.....	10
2.3 – O <i>light steel framing</i>	11
2.4 – Vantagens do sistema <i>light steel framing</i>	12
2.4.1 – Vantagens econômicas.....	12
2.4.2 – Vantagens no prazo de execução.....	13
2.4.3 – Vantagens quanto a geração de resíduos.....	14
2.4.4 – Principais Limitadores.....	15
3. ESTUDO DE CASO.....	16
3.1 – A parceria Público-Privada	16
3.2 – As Características do Projetos	20
3.3 – Quantitativos de LSF.....	23
3.4 – Estrutura e Operação de Fábrica	24
3.4.1 – Industrialização e recebimento do aço e componentes.....	26
3.4.2 – Pré-montagem de painéis	30
3.4.3 – Controle de estoque.....	37
3.4.4 – Logística de envios	38
3.4.4.1 – Tipologia 2 (T2)	41
3.4.4.2 – Tipologia 3 (T3)	42
3.4.4.3 – Qualidade, saúde, segurança no trabalho e meio ambiente	43
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
6. BIBLIOGRAFIA.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alvenaria em bloco cerâmico com baixo padrão de qualidade.....	8
Figura 2 - Fixação de painéis LSF, Centro de Saúde Túnel de Ibirité	11
Figura 3 - Construção de Centros de Saúde em LSF	12
Figura 4 - Custo de Materiais x Custo de Mão de Obra	13
Figura 5 - Marcos e prazos contratuais da PPP Saúde BH.....	18
Figura 6 - Localização e status das Unidades de Saúde.....	19
Figura 7- Sondagem do terreno de Campo Alegre sendo executada.....	20
Figura 8 - Centro de Saúde T2 (Aarão Reis).....	21
Figura 9 - Centro de Saúde T3 (Ventosa)	21
Figura 10 - Acabamento interno dos consultórios	22
Figura 11 - Fachada aerada em porcelanato	22
Figura 12 - Sistema de reuso de água pluvial.....	23
Figura 13 - Projetos em BIM para T2.....	23
Figura 14 - Projeto do galpão destinado a pré-montagem	25
Figura 15 -Área destinada à pré-montagem.....	26
Figura 16 - Recebimento das bobinas e industrialização dos <i>slitters</i>	26
Figura 17 -Perfil etiquetado, conforme painel e unidade.	27
Figura 18 - Frete de perfis organizados em pallets.	27
Figura 19 - Descarga do aço com auxílio de empilhadeira.....	28
Figura 20 - Quantidade de componentes e respectivos consumos por tipologia	29
Figura 21 - Componentes recebidos e estocados na fábrica	29
Figura 22 - Componentes recebidos e estocados na fábrica	30
Figura 23 - Pré-montagem em bancada e transporte de painéis para estoque	31
Figura 24 - Produção mensal em quilos relacionada com efetivo médio	33
Figura 25 - Treliça com dimensões menores	34
Figura 26 - Treliça com dimensão maior	34
Figura 27 - Exemplo de projetos de montagem de painel de cobertura	35
Figura 28-Exemplo de projetos de montagem de painel de parede	36
Figura 29-Exemplo de projetos de montagem de painel superior	36
Figura 30 - Índices de lotação do estoque	37
Figura 31 - Estoque de painéis de cobertura e treliças	37
Figura 32-Estoque de painéis de parede	38

Figura 33 - Estoque de componentes	38
Figura 34 -Cavalete para transporte de painéis de parede.	39
Figura 35 -Transporte de painéis de parede	39
Figura 36 - Transporte de coberturas.....	40
Figura 37 - Exemplo de romaneio de transporte de painéis	41
Figura 38 - Setorização dos painéis da T2 para logística de transporte	42
Figura 39 - Setorização dos painéis da T3 para logística de transporte.	43
Figura 40 - Ficha de verificação de serviço: verificação de perfil	44
Figura 41 - Ficha de verificação de serviço: verificação de pré-montagem	44
Figura 42 - Composições para os cenários in loco e <i>off-site</i>	46
Figura 43 - Histograma de mão de obra geral e por unidade de saúde.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantitativo LSF por tipologia.....	24
--	----

1. INTRODUÇÃO

Ainda que não seja muito utilizado no Brasil, o *light steel framing* (LSF), como um sistema de construção pré-fabricados de alta tecnologia, é uma opção cada vez mais utilizada no mercado da construção civil. Os construtores optam pelo sistema principalmente pelo controle de qualidade, versatilidade e flexibilidade, além da velocidade de execução, podendo viabilizar a tecnologia se comparado à fechamentos em alvenaria convencional, alvenaria em blocos de concreto ou estruturas de concreto armado. O uso de componentes industrializados e pré-fabricados implica na redução significativa das perdas de materiais, do custo de gestão dos resíduos sólidos, do consumo de água e do número de serviços realizados *in loco*.

Este trabalho trata da relevância do LSF, que possui como principal característica o desenvolvimento de projetos de forma ágil e com menos desperdícios, na Parceria Público-Privada (PPP) de Atenção à Saúde que envolve a construção de 50 Centros de Saúde na cidade de Belo Horizonte, MG. Analisa-se a eficiência do LSF nas construções destas unidades de saúde, salientando os pontos positivos e negativos que ocorrem ao longo do processo de execução do projeto e montagem da estrutura.

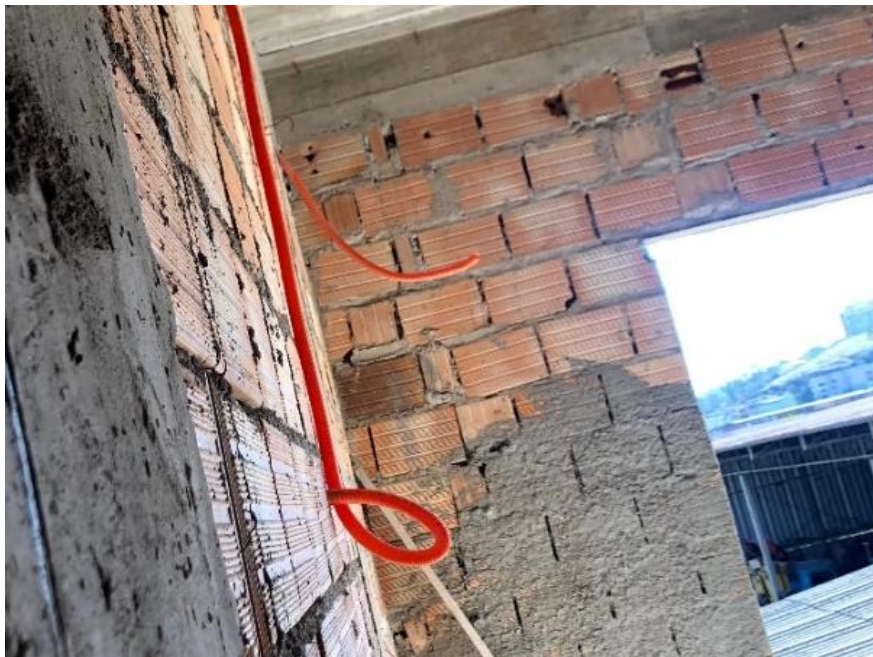
A construção civil no país ainda é predominantemente artesanal, caracterizada pela baixa produtividade e principalmente pelo grande desperdício. Com o crescimento populacional a construção civil busca criar sistemas mais eficientes, aumentando a produtividade e diminuindo o desperdício (SANTIAGO; FREITAS; CASTRO, 2012).

A sinalização do mercado para que a situação dos desperdícios precisa mudar é a melhor forma de industrializar e racionalizar os processos, para o uso de novas técnicas. Ainda que o Brasil seja um dos maiores produtores de aço mundial, o emprego deste material é muito pequeno nas edificações, comparado ao potencial industrial brasileiro (HASS; MARTINS, 2011).

No Brasil, existem diversas formas construtivas utilizadas, das mais sofisticadas, utilizadas onde o poder aquisitivo é maior, e as mais baratas, onde o poder aquisitivo é menor (BARDINI, 2019). Das mais variadas técnicas de

construção, a mais utilizada no Brasil passou a ser a alvenaria. O método consiste em juntar unidades (sejam elas tijolos, pedras ou blocos) com uma argamassa cimentícia. Construções realizadas com este tipo de técnica não demandam de mão de obra qualificada e recorrentemente tem baixo padrão de qualidade (Figura 1), geram um alto índice de desperdício de materiais e necessitam de maior tempo de execução (DAVID; BARDINI, 2019).

Figura 1 - Alvenaria em bloco cerâmico com baixo padrão de qualidade



Fonte: Autor (2022).

De acordo com David e Bardini (2019), em países como Estados Unidos e Alemanha, a indústria da construção aprimorou sistemas mais industrializados, devido às suas vantagens, como rapidez na conclusão da obra, maior qualidade final dos materiais, disponibilidade de mão de obra especializada para realização de serviço e um canteiro de obras mais organizado e limpo.

Portanto, analisando o fato de que o Brasil possui grande déficit habitacional, além dos altíssimos níveis de desperdício nas construções, constata-se a necessidade de implementação de novos modelos e métodos construtivos. Para este estudo de caso, o *light steel framing* será apresentado como um desses novos métodos que pode ser alternativa para alguns dos obstáculos da indústria da construção nacional.

1.1 – Objetivo

1.1.1 Objetivo geral

Este estudo de caso tem como objetivo evidenciar as vantagens e desvantagens das técnicas da pré-montagem industrializada do *light steel framing* em uma parceria público-privada para construção de Unidades de Saúde de Belo Horizonte.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Revisão bibliográfica para conceituar o sistema de construção *light steel framing* e suas modalidades de aplicação, comparando-a com os sistemas de construção mais utilizados no Brasil. Conceituar as parcerias público-privadas e seus desdobramentos para contextualizar e parametrizar as informações obtidas *in loco*;
- Estudo de caso de todos os parâmetros técnicos que envolvem a pré-montagem de Unidades de Saúde em *light steel framing*, no município de Belo Horizonte, por meio de uma parceria público-privada;
- Análise das principais vantagens e desvantagens na implementação do *light steel framing* no referido projeto, além dos facilitadores e dificultadores da implementação de um sistema industrializado na construção.

1.2 – Método adotado

O trabalho em questão se trata de uma revisão bibliográfica e um estudo de caso. É abordada a construção de centros de saúde em *light steel framing*, mostrando as vantagens do método.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Estruturas Pré-Fabricadas: *Off-site* e Construção Modular

Denomina-se método *off-site*, os conceitos de otimização da construção e redução dos desperdícios (*Lean Construction*). O *off-site* refere-se à produção de componentes da construção civil por meio de elementos fabricados fora do canteiro de obra, diferentemente dos modelos tradicionais (como alvenaria em blocos cerâmicos, por exemplo, que têm a maior parte dos processos realizados *in loco*) (RODRIGUES, FERREIRA JUNIOR, 2021).

O *off-site* tem vantagens como:

- Melhor organização da obra;
- Redução de tempo de construção;
- Redução de desperdício de materiais;
- Alto controle dos níveis de qualidade.

As construções modulares são, então, um dos modelos de construção *off-site*, que consiste em fabricar componentes que são desde a estrutura até o acabamento, deixando para ser executado no canteiro de obra apenas o que não é possível ou vantajoso (Figura 2) (RODRIGUES, FERREIRA JUNIOR, 2021).

Figura 2 - Fixação de painéis LSF, Centro de Saúde Túnel de Ibirité



Fonte: Autor (2022).

2.3 – O *light steel framing*

Segundo Freitas e Crasto (2012), o *light steel framing* (LSF) é um sistema de construção de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado, que recebem uma camada de proteção contra a corrosão. O termo *light steel framing*, pode ser traduzido do inglês como “estrutura leve de aço” (“*steel*” =aço e o “*framing*” =estrutura, construção”).

Os perfis de aço galvanizados são fixados de maneira a criar painéis estruturais que são parafusados e espaçados regularmente entre si de acordo com os projetos, variando entre 400mm e 600mm. De acordo com a Figura 3, é possível notar a organização e limpeza do canteiro de obra.

Figura 3 - Construção de Centros de Saúde em LSF



Fonte: Autor (2022).

O *light steel framing* é um sistema de construção seco, permitindo a minimização do uso de água na montagem do sistema. A água empregada em uma obra em sistemas construtivos seco é limitada à fundação, possíveis muros de contenção e ao assentamento de revestimentos cerâmicos (CAMPOS, 2014).

2.4 – Vantagens do sistema *light steel framing*

O *light steel framing* é um sistema tecnológico, suas peças são precisamente furadas e dimensionadas, tem alto rendimento, não precisando de tantos ajustes em campo. A utilização do aço e de outros materiais recicláveis o torna um sistema mais sustentável.

2.4.1 – Vantagens econômicas

O sistema LSF possui vantagens econômicas porque todo o processo é simplificado, a montagem necessita de mão de obra qualificada,

mas seus componentes são de fácil entendimento para montagem e transporte. Devido à sua leveza, o custo da base de trabalho é reduzido.

Pela facilidade de montagem, como o método de montagem denominado “Método Stick”, que utiliza o canteiro de obras como linha de montagem de toda a estrutura. Pode-se visualizar na Figura 4 que o custo de mão de obra num sistema convencional é igual a 36,09%. Valor relativamente superior se comparado aos 29,65% de custo de mão de obra no sistema LSF. Por outro lado, o custo de materiais do LSF é 70,35%, 6,44% maior ao do sistema convencional com 63,91% (SOUZA, 2014).

Figura 4 - Custo de Materiais x Custo de Mão de Obra



Fonte: Vinicius Camini (2019).

2.4.2 – Vantagens no prazo de execução

Uma das principais vantagens de facilitar o uso do sistema é a significativa diminuição do tempo de execução do trabalho. A entrega antecipada pode ter benefícios adicionais devido ao tempo de retorno sobre o capital investido. Devido principalmente ao preço de aço, as estruturas LSF são, geralmente mais caras do que as estruturas tradicionais, razão pela qual o prazo de execução se torna uma das principais vantagens, tomando a solução construtiva economicamente viável e competitiva. Esse corte no tempo da obra das construções que utilizam o sistema LSF, estão relacionados aos métodos

de montagem. GATTI (2016), cita-se quatro dos principais métodos de montagem das estruturas em LSF:

- **Método Stick:** Os perfis são cortados e montados em obra sem a necessidade de sistemas pré-fabricados, o que torna o transporte dos componentes e a ligação entre os elementos mais fácil e adaptável o ambiente;
- **Método por painéis:** Painéis, lajes, tesouras e fechamentos são pré-fabricados, reduzindo o tempo de execução da construção, garantindo rigoroso controle de qualidade, reduzindo a carga de trabalho *in loco* e melhorando a precisão de execução dos sistemas prediais;
- **Construção modular:** A estrutura completa já é produzida fora do local e todos os acabamentos internos como cerâmica, metais, sistemas hidráulicos e elétricos são entregues instalados;

2.4.3 – Vantagens quanto a geração de resíduos

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define resíduos na construção civil (BRASIL, 2002):

“Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

A construção civil é responsável por cerca de metade do dióxido de carbono emitido para a atmosfera e pela maior parte (quase 50%) da geração mundial de resíduos sólidos. Estima-se que a indústria gere entre 2 e 3 bilhões de toneladas de resíduos em todo o mundo a cada ano.

O desperdício de materiais em novas construções advém de especificação insuficiente dos materiais, projetos de construção malfeitos e falta de bom planejamento (JUNIOR, 2013). Métodos construtivos em LSF, industrializados e pré-fabricados podem contribuir de forma importante para

reduzir a geração de resíduos da construção (MASS, 2016), já que existe racionalização do uso de materiais desde o plano de corte do aço até sua montagem final. Por ser uma construção a seco, elimina resíduos derivados de concretos e argamassa.

2.4.4 – Principais Limitadores

O LSF permite um trabalho mais rápido, limpo e organizado, mas requer um plano robusto de obras, para manter todas as etapas conforme planejamento, evitando atraso. Infelizmente, no Brasil, o nível de detalhamento de projetos na construção civil é baixo. Os projetos raramente são bem elaborados, causando muitos defeitos durante a construção (CAMPOS, 2014).

Painéis mal fabricados ou mal vedados tornam a estrutura passível à infestação de insetos, que tendem a se reproduzir em espaços mal preenchidos pelo isolamento. Além disso, a necessidade de reforço previsto em projeto para fixação de móveis ou objetos nas paredes pode limitar utilização na pós ocupação (CHAN, FONTANINI, 2017).

A questão cultural afeta diretamente o sistema construtivo LSF. No Brasil é comumente implantada a alvenaria convencional, que tomou espaço e até os tempos atuais ainda levanta questionamentos sobre qual o melhor sistema. O número de pavimentos permitidos no LSF também é muito discutido e utilizado como argumento sobre a eficiência do sistema em construções maiores.

3. ESTUDO DE CASO

À frente das vantagens do emprego do sistema *light steel framing* em dano aos métodos comumente empregados no Brasil, estuda-se, nos próximos tópicos, o uso do LSF na construção de unidades de saúde na cidade de Belo Horizonte, com ênfase na pré-montagem.

As informações apontadas a seguir advêm de uma série de dados e arquivos cedidos pela *Odebrecht Engenharia e Construção S.A. (OEC)*, com única finalidade a de fomentar a produção acadêmica. Várias considerações foram feitas após acompanhamento rotineiro das atividades realizadas na empresa, permitindo o levantamento de informações.

3.1 – A parceria Público-Privada

Uma parceria público-privada (PPP) pode ser entendida como um vínculo entre o poder público e a iniciativa privada, tendo o objetivo de implementar, total ou parcialmente, obras de interesse da população.

Antes de descrever a PPP Saúde BH (Parceria Público Privada de Atenção Primária à Saúde em Belo Horizonte), parceria na qual se dá a construção de Unidades de Saúde em Belo Horizonte, é necessário conhecer a PPP Escolas. Entre os anos de 2013 e 2015, por meio da PPP Escolas foram construídas 51 unidades tipo de ensino em Belo Horizonte, sendo 46 Unidades de Ensino Infantil (UMEI) e 5 Escolas Municipais de Ensino Fundamentais (EMEF).

A *Odebrecht Engenharia e Construção S.A.* foi a responsável pelas construções, e adotou o LSF na construção das UMEIs, com montagem total da estrutura in loco. A utilização do método reduziu o tempo de construção em 1/3 do que era previsto para execução em alvenaria. Além disso, o custo das obras foi abaixo do previsto. Os principais desafios encontrados foram: *déficit*

de mão de obra qualificada, desafios logísticos relacionados a alta quantidade de obras em execução simultânea e tamanho reduzido dos terrenos para estruturação da montagem dos painéis. Atualmente os centros educacionais atendem cerca de 25 mil alunos por ano.

A prefeitura de Belo Horizonte publicou o Edital e Concessão nº 008/2011, na modalidade concorrência, em regime da PPP, modalidade de concessão administrativa, para a prestação de serviços não assistenciais de apoio e infraestrutura à operação da Rede de Atenção Primária à Saúde do Município de Belo Horizonte, precedida de obras de reconstrução e construção de novas unidades, em que:

- a) A SPE Saúde Primária Bh S.A. foi declarada vencedora da licitação promovida pela PBH para implantar o objetivo da referida Parceria Público-Privada, e por isso, celebrou em 18/02/2016 com o Poder Concedente o respectivo Contrato de Concessão Administrativa;
- b) A PBH e SPE Saúde Primária Bh S.A., firmaram em 29 de março de 2019 o primeiro termo aditivo ao contrato de concessão, para adequação do Escopo do Contrato;
- c) A SPE Saúde Primária Bh S.A. contratou a Odebrecht Engenharia e Construção Internacional S.A. para a realização dos serviços de engenharia, fornecimento e construção necessários às obras de construção das 40 unidades de saúde, em conformidade com os termos aditivos do contrato de concessão e o primeiro aditivo ao contrato de concessão através de contrato na modalidade empreitada por preço global e prazo determinado (EPC);
- d) A SPE Saúde Primária Bh S.A. contratou a Odebrecht Engenharia e Construção Internacional S.A. para a realização dos serviços de engenharia, fornecimento e construção necessários às obras de construção das 10 unidades adicionais de Saúde, e conformidade com os termos do contrato de concessão e o segundo aditivo ao contrato de

concessão através de contrato na modalidade empreitada por preço global e prazo determinado (EPC).

Os principais prazos e informações do contrato estão sintetizados na Figura 5 (data base de 20 de junho de 2022). Com estes condicionantes (sobretudo os prazos) e com o conhecimento obtido na PPP Escolas, a OEC decidiu empregar o LSF com pré-montagem off-site para construção das 50 unidades de saúde.

Figura 5 - Marcos e prazos contratuais da PPP Saúde BH

DESCRIÇÃO	MARCOS CONTRATUAIS	NÚMERO DE C.S. QUE DEVEM SER ENTREGUES EM CADA FASE
Data-base	junho de 2018	
Contrato de concessão	18/02/2016	
Primeiro aditivo ao contrato de concessão	29/05/2019	
Segundo aditivo ao contrato de concessão	08/04/2022	
Início da fase I	04/04/2019	
Término da fase I	9 meses a partir da ordem de serviço da fase I	Uma unidade
Início da fase II	09/04/2020	
Término da fase II	39 meses a partir da ordem de serviço da fase II	39 unidades, em três lotes de 13 unidades
Início da fase III	18/05/2022	
Término da fase III	15 meses a partir da ordem de serviço da fase III	10 unidades, em dois lotes de duas unidades e dois lotes de 3 unidades
Início da vigência do contrato	04/04/2019	
Conclusão da vigência do contrato	60 meses a partir da ordem de serviço da fase III	
Preço global	R\$ 268.954.325,39	

Fonte: Dados aferidos *in loco*, adaptado pelo autor (2022).

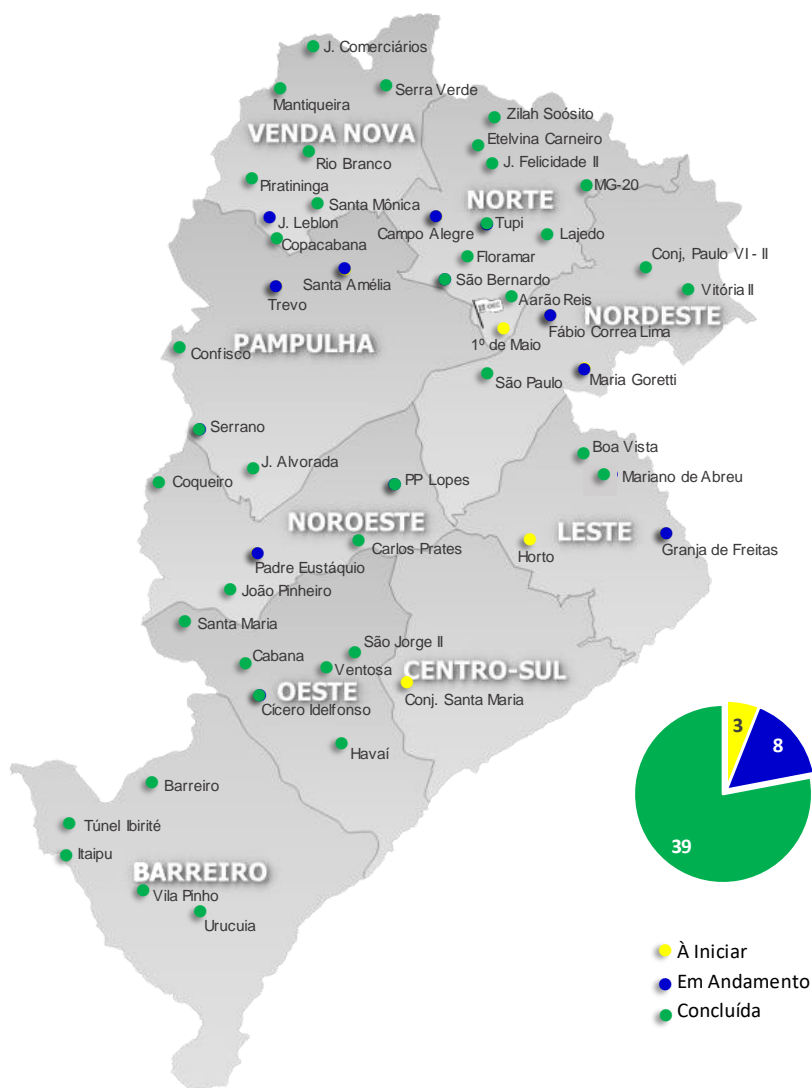
De forma simplificada, OEC justifica a escolha do método construtivo e da montagem off-site pelos seguintes motivos: arquitetura padronizada

(reutilização de projetos), facilidade na manutenção predial ao longo da concessão, racionalização do processo construtivo, redução do prazo de entrega das unidades, baixo índice de consumo de mão de obra, canteiro limpo, seco e organizado.

Na Figura 6, estão demarcadas as posições das unidades de saúde pelas regiões do Município de Belo Horizonte, bem como o status de cada obra (data base de 20 de junho de 2022) (As 40 unidades do primeiro aditivo foram finalizadas, tendo agora apenas as 10 unidades firmadas no segundo aditivo em andamento).

Figura 6 - Localização e status das Unidades de Saúde

MAPA DE POSICIONAMENTO DE OBRAS



Fonte: Dados aferidos in loco, adaptado pelo autor (2022).

3.2 – As Características do Projetos

Para as 50 unidades, foram realizados projetos arquitetônicos para duas tipologias, uma de dois pavimentos (T2), Figura 8, empregada em 44 unidades e uma em três pavimentos T3, Figura 9, empregada em seis unidades – desenvolvida em terrenos que não comportariam a T2.

Inicialmente é feita a sondagem do terreno para verificação do solo (Figura 7). Após a sondagem é executado o radier, tecnologia utilizada para todos os centros de saúde. Sua escolha foi devido a levada estrutural.

O radier é um tipo de fundação rasa que se assemelha a uma laje, abrangendo toda a área da construção. Eles são lajes de concreto armado em contato direto com o terreno, recebendo as cargas oriundas da estrutura. A escolha do método foi devido a leveza da estrutura.

Figura 7- Sondagem do terreno de Campo Alegre sendo executada



Fonte: Acervo do autor (2022).

Figura 8 - Centro de Saúde T2 (Aarão Reis)



Fonte: Acervo do autor (2022).

Figura 9 - Centro de Saúde T3 (Ventosa)



Fonte: Acervo do autor (2022).

Os centros de saúde possuem 18 consultórios, todos com banheiro, instalações totalmente acessíveis, enfermagem, consultório odontológico, recepção para consultas e recepção para vacinas, instalações para equipe zoonoses, salas administrativas, vestiários e convívio de funcionários.

Das principais características de projeto, listam-se: paredes internas revestidas com placas de laminado melamínico e piso vinílico com rodapés arredondados, que facilitam a limpeza e desinfecção, além de bancadas e pias em granito (Figura 10). As esquadrias são em vidro e alumínio anodizado, cobertas por *brises soleil* para incidência solar adequada e a fachada é aerada

em porcelanato (Figura 11), o que garante forte identidade visual. Existe aquecimento solar de água, lanternim para iluminação e ventilação natural e sistema para reuso de água pluvial (Figura 12).

Figura 10 - Acabamento interno dos consultórios



Fonte: Acervo do autor (2022).

Figura 11 - Fachada aerada em porcelanato



Fonte: Acervo do autor (2022).

Figura 12 - Sistema de reuso de água pluvial



Fonte: Acervo do autor (2022).

Todos os projetos foram modelados em BIM para levantamento de quantidades precisas e adaptações facilitadas, caso necessário (Figura 13).

Figura 13 - Projetos em BIM para T2



Fonte: Acervo do autor (2022).

3.3 – Quantitativos de LSF

No que se refere ao LSF, as unidades T2 são compostas por 430 painéis e as unidades T3 por 456 painéis, totalizando 26.904,80kg e

27.379,92kg de aço, respectivamente. As quantidades de painéis agrupados por tipo bem como os pesos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantitativo LSF por tipologia

TIPO DE PAINEL	TIPOLOGIA 2 PAVIMENTOS		TIPOLOGIA 3 PAVIMENTOS	
	QUANTIDADE TOTAL (UN)	PESO (kg)	QUANTIDADE TOTAL (UN)	PESO
PRIMEIRO PAVIMENTO	81	6.788,42	70	5.704,56
SEGUNDO PAVIMENTO	117	7.673,06	80	5.427,26
TERCEIRO PAVIMENTO	0	0,00	99	5.894,85
QUARTO PAVIMENTO	0	0,00	6	284,57
CAVALETE L1	10	977,51	0	0,00
CAVALETE L2	11	706,29	0	0,00
SUPERIOR	36	1.081,13	32	683,71
TRELIÇA	46	1.220,16	0	0,00
LAJE 1	55	4.770,40	46	3.376,67
LAJE 2	0	0,00	45	3.574,55
COBERTURA	53	3.552,15	37	2.301,52
ESCADA	18	68,79	41	132,24
SHAFT	3	66,89	0	0,00
TOTAL	430	26.904,80	456	27.379,93

Fonte: Dados aferidos in loco, tabela elaborada pelo autor (2022).

3.4 – Estrutura e Operação de Fábrica

Estruturada no final de 2019 e tendo a operação iniciada no ano 2020, a fábrica para pré-montagem *off-site* de painéis surge com o objetivo de melhorar os resultados obtidos pela OEC durante a execução do escopo de construção da PPP Escolas. Entraves como o tamanho dos terrenos e sua exposição ao tempo para a montagem de painéis, distribuição de materiais pela cidade e grande número de obras em andamento simultaneamente, por exemplo, foram eliminados na PPP Saúde BH.

O objetivo da fábrica é o de centralizar quatro processos fundamentais:

- a) O recebimento após aquisição do aço;
- b) A pré-montagem de painéis;
- c) O estoque de painéis;

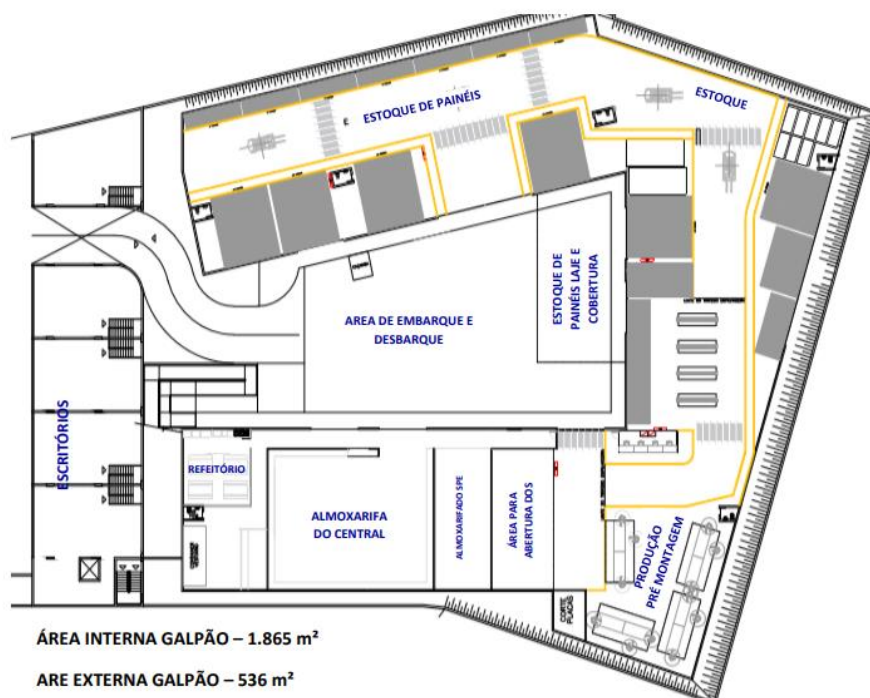
d) O transporte de painéis e componentes.

Os processos supracitados serão descritos e aprofundados ao longo dos próximos tópicos.

Para este objetivo, foi utilizado um galpão localizado na Avenida Cristiano Machado, 8956, bairro Minaslândia (marcado com uma bandeira branca no mapa de Belo Horizonte, visto na Figura 6).

O galpão fica setorizado para viabilizar todos os quatro processos principais, conforme a Figura 14. Na Figura 15, tem-se a área destinada à pré-montagem, com bancadas de serviço.

Figura 14 - Projeto do galpão destinado a pré-montagem



Fonte: Autor (2022).

Figura 15 -Área destinada à pré-montagem

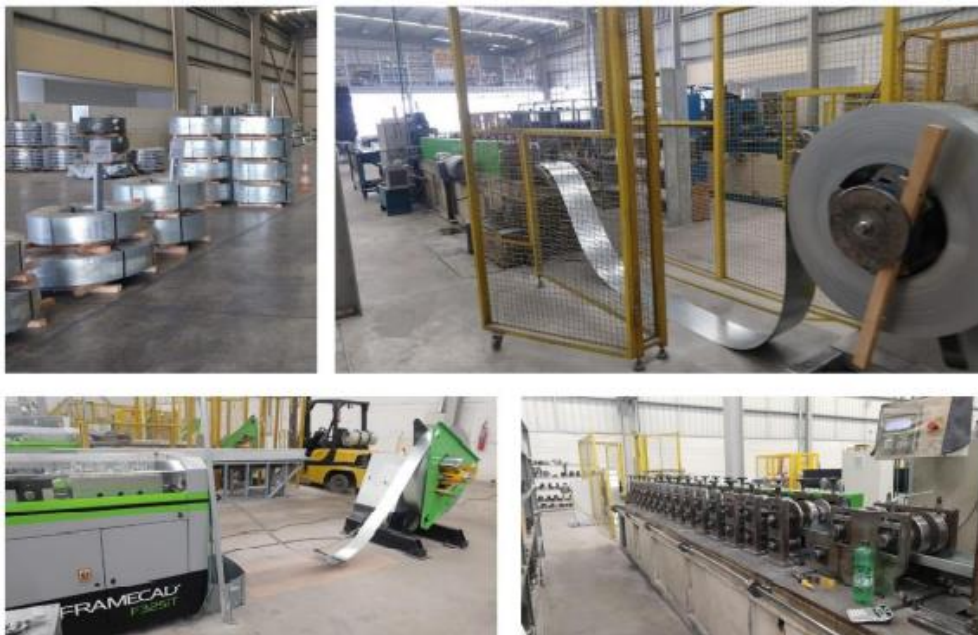


Fonte: Acervo do autor (2022).

3.4.1 – Industrialização e recebimento do aço e componentes

O processo é iniciado pela industrialização do aço. O setor de subcontratos da OEC é responsável pela aquisição das bobinas de aço (em formato *slitters*). Essas bobinas são encaminhadas para uma empresa especializada, que transformam os *slitters* nos perfis de acordo com os projetos de LSF (Figura 16). Os perfis industrializados deixam a empresa com dimensões e dobras precisas, de modo tal que apenas a montagem será realizada na fábrica OEC.

Figura 16 - Recebimento das bobinas e industrialização dos *slitters*



Fonte: Acervo do autor (2022).

Toda rastreabilidade do aço, bem como os ensaios necessários (resistência, qualidade de produção, qualidade de galvanização etc.) são realizados pelo setor de qualidade da própria OEC. Para garantia da rastreabilidade, todos os perfis são nomeados e etiquetados antes de serem transportados, conforme Figura 17. Cada uma das peças tem posição de montagem específica, e só poderá ser utilizada em determinado painel.

Figura 17 -Perfil etiquetado, conforme painel e unidade.



Fonte: Acervo do autor (2022).

Seguindo o cronograma definido, o beneficiamento do aço e entrega dos perfis ocorre em datas precisas. No geral, a empresa parceira leva 7 dias para a industrialização referente à uma unidade. No fim do processo, os perfis são encaminhados para a Fábrica de forma extremamente organizada (Figura 18), referenciados de acordo com sua unidade de saúde, acompanhados de um romaneio, de entrega que a identifica a posição de cada perfil em cada pallet.

Figura 18 - Frete de perfis organizados em pallets.



Fonte: Acervo do autor (2022).

Ao chegar na fábrica, os perfis de aço são descarregados por meio de uma empilhadeira com capacidade de carga de 4,5 toneladas (Figura 19). A mesma máquina é utilizada em todos os outros processos do escopo da fábrica, como carga, descarga, movimentação interna e adequação de estoque.

Figura 19 - Descarga do aço com auxílio de empilhadeira



Fonte: Acervo do autor (2022).

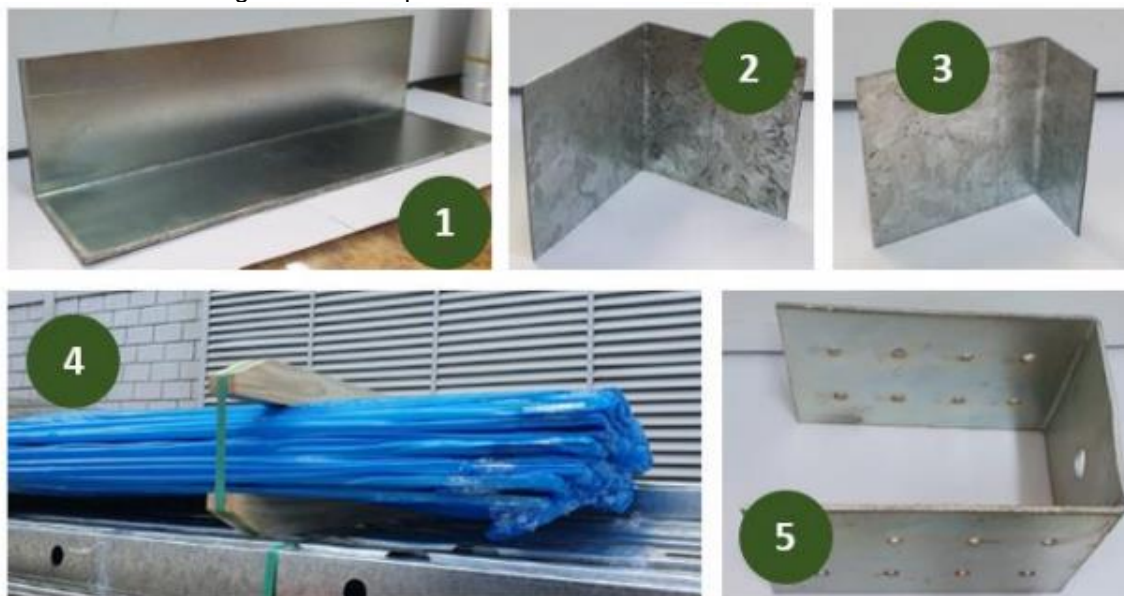
Cada unidade de saúde é entregue em 3 fretes, incluindo os componentes que serão utilizados na pré-montagem ou montagem final. A Figura 20 contém a relação de componentes por quantidade consumida para cada tipologia (T2 ou T3), na qual estão referenciados os componentes apresentados na Figura 21 e Figura 22.

Figura 20 - Quantidade de componentes e respectivos consumos por tipologia

LOCAL DE CONSUMO	COMPONENTE	UND	REF.	QTDE CONSUMIDA		UTILIZAÇÃO
				T02	T03	
IN LOCO	CARTOLA BEIRAL E COBERTURA	kg	7	435,47	378,86	MONTAGEM DA COBERTURA
IN LOCO	CANALETA DE FACHADA	und	9	500	500	FIXAÇÃO DA FACHADA AERADA
IN LOCO	CANTONEIRA DE ESQUADRIA	und	3	48	40	FIXAÇÃO DAS ESQUADRIAS NA FACHADA
IN LOCO	JUNTA VISÍVEL	und	4	647	640	SUPORTE PARA PLACAS DE PORCELANATO
IN LOCO	MONTANTE 70 X 0,50 X 3000 MM (DRYWALL)	und		40	0	SHAFTS, DIVISÓRIAS E ACABAMENTOS INTERNOS
IN LOCO	GUIA 70 X 0,50 X 3000 MM (DRYWALL)	und		9	0	SHAFTS, DIVISÓRIAS E ACABAMENTOS INTERNOS
IN LOCO	MONTANTE 48 X 0,50 X 3000 MM (DRYWALL)	und		250	200	SHAFTS, DIVISÓRIAS E ACABAMENTOS INTERNOS
IN LOCO	GUIA 48 X 0,50 X 3000 MM (DRYWALL)	und		52	45	SHAFTS, DIVISÓRIAS E ACABAMENTOS INTERNOS
IN LOCO	MONTANTE 90 X 0,50 X 3000 MM (DRYWALL)	und		0	35	SHAFTS, DIVISÓRIAS E ACABAMENTOS INTERNOS
IN LOCO	GUIA 90 X 0,50 X 3000 MM (DRYWALL)	und		0	8	SHAFTS, DIVISÓRIAS E ACABAMENTOS INTERNOS
IN LOCO	FITA DE CONTRAVENTAMENTO 40 X 0,80	kg		135,29	150,00	CONTRAVENTAMENTO DOS PAINÉIS
IN LOCO	FITA DE CONTRAVENTAMENTO 85 X 0,95	kg		177,42	180,00	CONTRAVENTAMENTO DOS PAINÉIS
IN LOCO	REFORÇO DO SUPORTE DE ANCORAGEM	und	5	24	25	FIXAÇÃO DOS PAINÉIS COM LAJES
IN LOCO	CHAPA 2.25MM - PLANO - 1800X400MM	und		0	8	REFORÇO DA CAIXA DE ESCADAS
IN LOCO	CHAPA 2.25MM - PLANO - 2500X400MM	und		0	12	REFORÇO DA CAIXA DE ESCADAS
FÁBRICA	CANTONEIRA CT1 (FECHADA)	und		12	8	PRÉ-MONTAGEM DE COBERTURA
FÁBRICA	CANTONEIRA CT2 (ABERTA)	und		36	15	PRÉ-MONTAGEM DE COBERTURA
IN LOCO	CANTONEIRA CT3	und	1	2	0	REFORÇO DA LAJE TRELIÇADA
IN LOCO	CANTONEIRA CT4	und	2	214	214	MONTAGEM DO RIPAMENTO (COBERTURA)
IN LOCO	BERÇO CT3	und		0	6	REFORÇO ESTRUTURAL
FÁBRICA / IN LOCO	CHAPAS DE GUSSET 150 X 150 MM	und		70	70	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS DE PAREDE
FÁBRICA / IN LOCO	CHAPAS DE GUSSET 150 X 300 MM	und		1.514	1.665	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS DE PAREDE
FÁBRICA	ENRUJECADOR E01	und		220	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS DE LAJE E COBERTURA
FÁBRICA	ENRUJECADOR E02	und		1.116	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS DE LAJE E COBERTURA
FÁBRICA	ENRUJECADOR ERJ1	und		0	220	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS DE LAJE E COBERTURA
FÁBRICA	ENRUJECADOR ERJ2	und		0	1.060	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS DE LAJE E COBERTURA
FÁBRICA	ENRUJECADOR ERJ3	und		0	910	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS DE LAJE E COBERTURA
FÁBRICA	SUPORTE DE ANCORAGEM	und	6	185	296	FIXAÇÃO DOS PAINÉIS COM; RADIER, LAJES E COBERTURAS
FÁBRICA	PARAFUSO SEXTAVADO	und		38.000	50.000	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS
FÁBRICA	PARAFUSO FLANGEADO	und		77.000	100.000	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS
FÁBRICA	CHAPA FQ 3.75MM - PLANO - 650X1470MM	und	8	2	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA FQ 3.75MM - PLANO - 430X1610MM	und		2	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA FQ 3.75MM - PLANO - 430X2107MM	und		2	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA FQ 3.75MM - PLANO - 580X1794MM	und		2	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA FQ 3.75MM - PLANO - 350X675MM	und	8	2	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA FQ 3.75MM - PLANO - 350X1200MM	und		10	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA FQ 3.75MM - PLANO - 350X797MM	und	8	2	0	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA 3.75MM - PLANO - 2100X580MM	und		0	2	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA 3.75MM - PLANO - 1540X350MM	und		0	2	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA 3.75MM - PLANO - 1650X350MM	und		0	2	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
FÁBRICA	CHAPA 3.75MM - PLANO - 2540X350MM	und		0	2	PRÉ-MONTAGEM DE PAINÉIS (REFORÇO ESPECÍFICO)
IN LOCO	CANTONEIRA DE MÃO FRANCESA	und		50	50	AUXILIAR - UTILIZADO APENAS NA MONTAGEM
IN LOCO	MÃOS FRANCESAS	und		50	50	AUXILIAR - UTILIZADO APENAS NA MONTAGEM

Fonte: Acervo do autor (2022).

Figura 21 - Componentes recebidos e estocados na fábrica



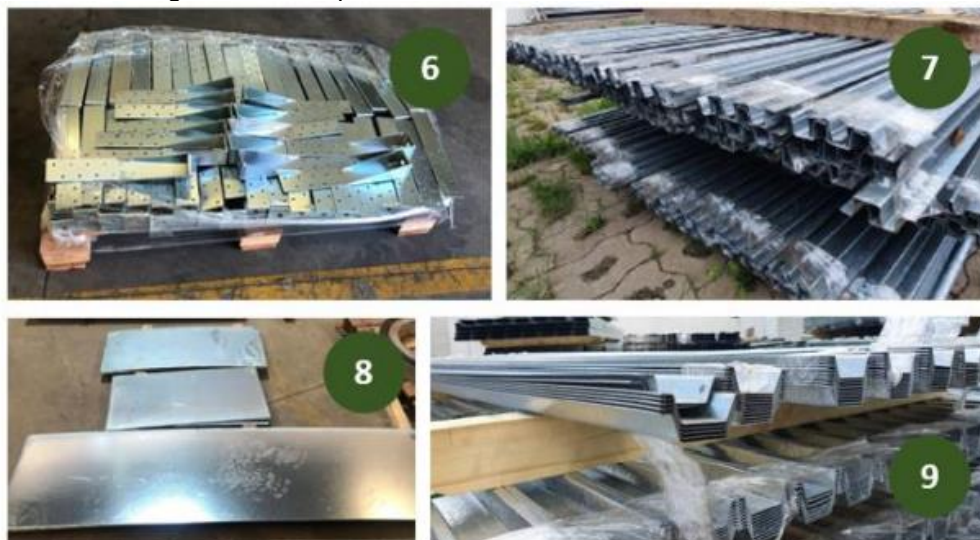
Fonte: Acervo do autor (2022).

Os componentes acima são utilizados nos seguintes casos?

- 1: CT3, utilizado nas treliças;
- 2: CT4, utilizado nas dobradiças das portas;

- 3: cantoneira de esquadria, utilizado nas esquadrias;
- 4: junta visível, utilizado na execução da fachada;
- 5: Reforço em U do suporte de ancoragem, utilizado na ancoragem dos painéis do 2º pavimento nas lajes;

Figura 22 - Componentes recebidos e estocados na fábrica



Fonte: Acervo do autor (2022).

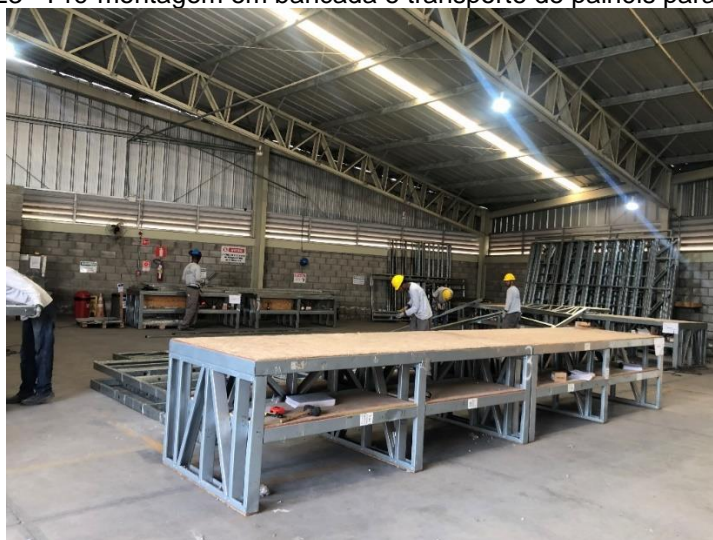
- 6: suporte de ancoragem, utilizado para fazer ancoragem dos painéis;
- 7: perfis cartola, utilizados nas coberturas e beirais;
- 8: chapas integrais, utilizados nas treliças e em alguns painéis;
- 9: canaleta de fachada, utilizada na execução da fachada, em conjunto com a junta visível.

3.4.2 – Pré-montagem de painéis

Após o recebimento, os perfis aguardam no pátio até início da pré-montagem. A escolha do pallet e dos painéis que serão montados não segue um padrão para todas as unidades de saúde: ela é realizada conforme a disponibilidade de estoque e demanda dos canteiros. Após o estudo prévio que define quais painéis entrarão em pré-montagem primeiro, ocorre a abertura dos pallets e organização dos perfis. Ainda que todas as peças venham identificadas (e que, dentro dos pallets, os painéis estejam separados por pacotes) sempre é realizado um procedimento de separação e conferência, evitando montagens não conformes.

A pré-montagem propriamente dita é realizada em bancadas. Cada uma é composta por um montador e um ou dois auxiliares, e conta com cadernos com todos os projetos de montagem. Esta é uma das grandes vantagens da montagem *off-site*: as bancadas proporcionam postura adequada e trabalho protegido de intempéries. Dois auxiliares (das bancadas que possuem três integrantes) realizam um trabalho alternado de pré-montagem e transporte dos painéis para o estoque (Figura 23).

Figura 23 - Pré-montagem em bancada e transporte de painéis para estoque



Fonte: Acervo do autor (2022).

Nos próprios projetos estão especificados os componentes que entraram na montagem do painel, o número de parafusos necessários, bem como o tipo de parafuso (sextavado ponta broca ou flangeado ponta broca).

Para os painéis de parede, os furos para ligação entre as peças já vêm de fábrica, posicionados em um *dimple* (abaulamento) que permite união precisa dos perfis, com facilidade. Todos os montadores e auxiliares utilizam parafusadeiras à bateria, evitando passagem de cabos elétricos na área de trabalho.

A produtividade da fábrica está diretamente relacionada a dois fatores: número de bancadas em funcionamento e ao tipo de painel que está em montagem.

Em relação ao primeiro fator, existe variação do número de bancadas devido a constante variação do efetivo: em situações em que o

estoque de painéis atinge altos índices (estoque será abordado no próximo tópico), parte da mão de obra é realocada para a montagem nos canteiros, o que aumenta o número de frentes de envio de painéis, reduzindo o estoque e elevando a produção novamente. Na Figura 24 é evidenciada a variação da produção mensal associada com a variação do efetivo. Esta oscilação tem relação com a liberação dos terrenos para início das obras, que envolve diversos fatores externos. Nesse ponto, a fábrica se torna extremamente vantajosa, pois o atraso dos terrenos não induz à atrasos de fornecimento de painéis. Com a montagem in loco, o início da produção do LSF depende da liberação de todas as frentes que a antecedem (Observa-se que entre dezembro e maio de 2021 a produção foi zero. Nesse período já haviam sido pré-montados os 40 primeiros centros de saúde, e houve um período de paralização da produção até assinatura do termo aditivo. O efetivo mantido foi utilizado apenas para envio dos painéis).

Figura 24 - Produção mensal em quilos relacionada com efetivo médio.

MÊS	ANO	PESO (kg)		NÚMERO DE CS's PRODUZIDOS (UN)		QUANTIDADE MÉDIA DE FUNCIONÁRIOS POR DIA
		TOTAL	1.084.921,20	TOTAL	40,18	
Maio	2020	20.901,25		0,78		15,60
Junho	2020	47.256,00		1,76		11,46
Julho	2020	37.912,06		1,41		12,02
Agosto	2020	52.458,22		1,95		11,74
Setembro	2020	66.900,53		2,49		12,48
Outubro	2020	68.259,06		2,54		12,74
Novembro	2020	74.992,23		2,79		13,99
Dezembro	2020	42.090,60		1,56		7,85
Janeiro	2021	70.266,19		2,61		13,11
Fevereiro	2021	66.650,96		2,48		12,44
Março	2021	77.031,32		2,86		14,37
Abril	2021	69.637,83		2,59		12,99
Maio	2021	83.696,85		3,08		15,62
Junho	2021	64.377,19		2,39		14,00
Julho	2021	53.393,02		1,96		13,26
Agosto	2021	49.112,88		1,80		13,54
Setembro	2021	54.175,50		1,96		12,31
Outubro	2021	33.108,44		1,22		8,77
Novembro	2021	20.938,93		0,76		5,62
Dezembro	2021	0,00		0,00		2,22
Janeiro	2022	0,00		0,00		2,15
Fevereiro	2022	0,00		0,00		0,83
Março	2022	0,00		0,00		0,85
Abril	2022	0,00		0,00		0,69
Maio	2022	0,00		0,00		0,38
Junho	2022	31.762,14		1,18		6,81

Fonte: Acervo do autor (2022).

O segundo fator, o tipo de painéis, está relacionado à complexidade da pré-montagem. Por este motivo, todos os índices e acompanhamento da produção são dados em quilos (kg). O número de painéis finalizados em um dia não reflete a produtividade dada a grande variação de peso entre eles:

enquanto algumas treliças pesam 1,68 kg (Figura 25), alguns painéis chegam a pesar 189,91 kg (Figura 26).

Para produtividade de pré-montagem, pode-se agrupar os painéis nas seguintes categorias:

a) Painéis de parede (incluem primeiro, segundo, terceiro e quarto pavimento, cavaletes L1 e L2 – mais bem descritos no item Logística de Envios – e *shafts*), menor tempo de montagem: 05 dias para a tipologia 03 e 07 dias para tipologia 02.

b) Treliças (incluem treliças e painéis superiores), menor tempo de montagem: 02 dias, considerando apenas tipologia 02;

c) Lajes (incluem os painéis de laje 1 e 2 e os de escada), menor tempo de montagem: 03 dias, para a tipologia 02 e 03 dias para a tipologia 03;

d) Cobertura (incluem os painéis de cobertura propriamente ditos), menor tempo de montagem: 01 dia, para ambas as tipologias.

Figura 25 - Treliça com dimensões menores



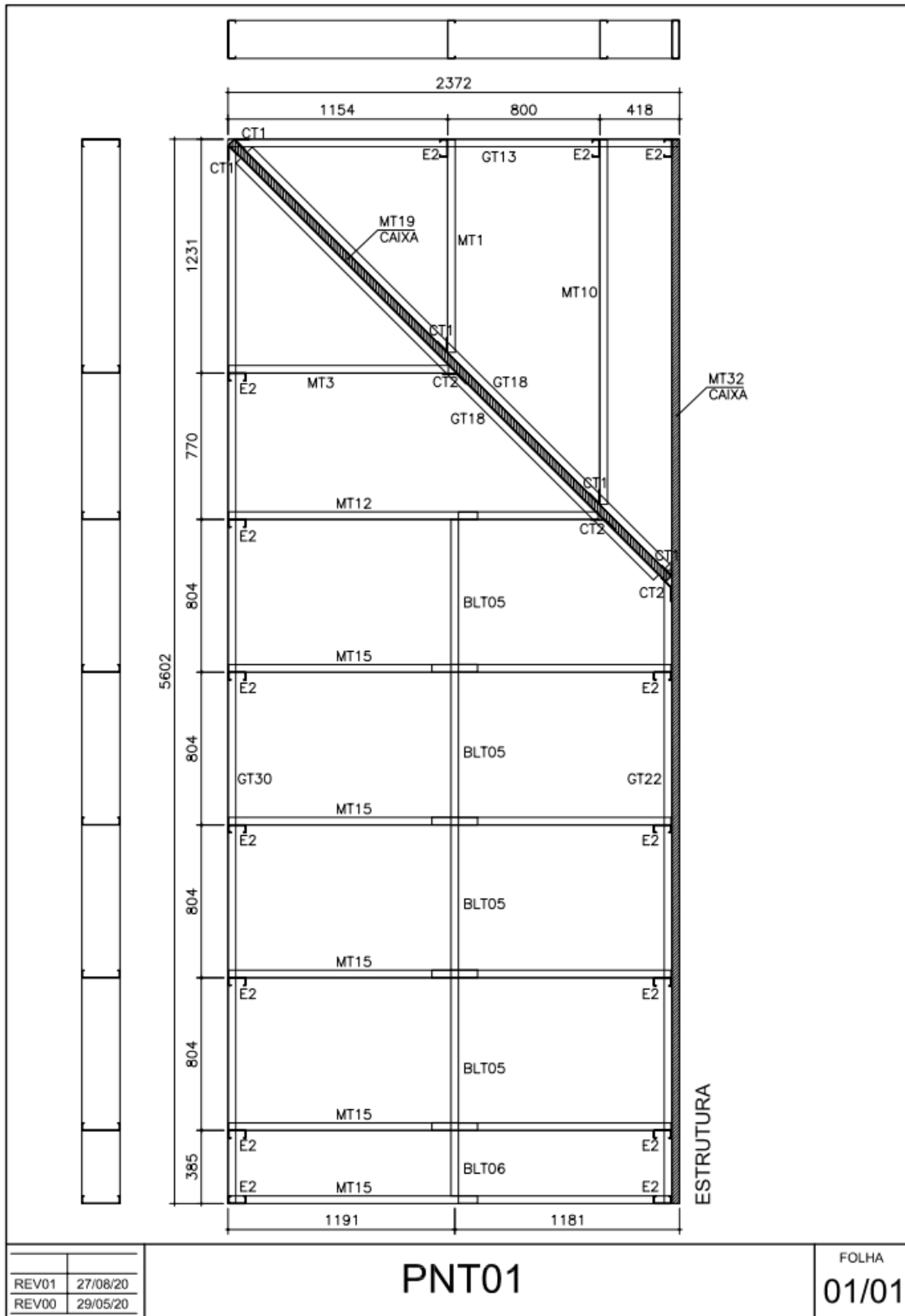
Figura 26 - Treliça com dimensão maior



Fonte: Acervo do autor (2022).

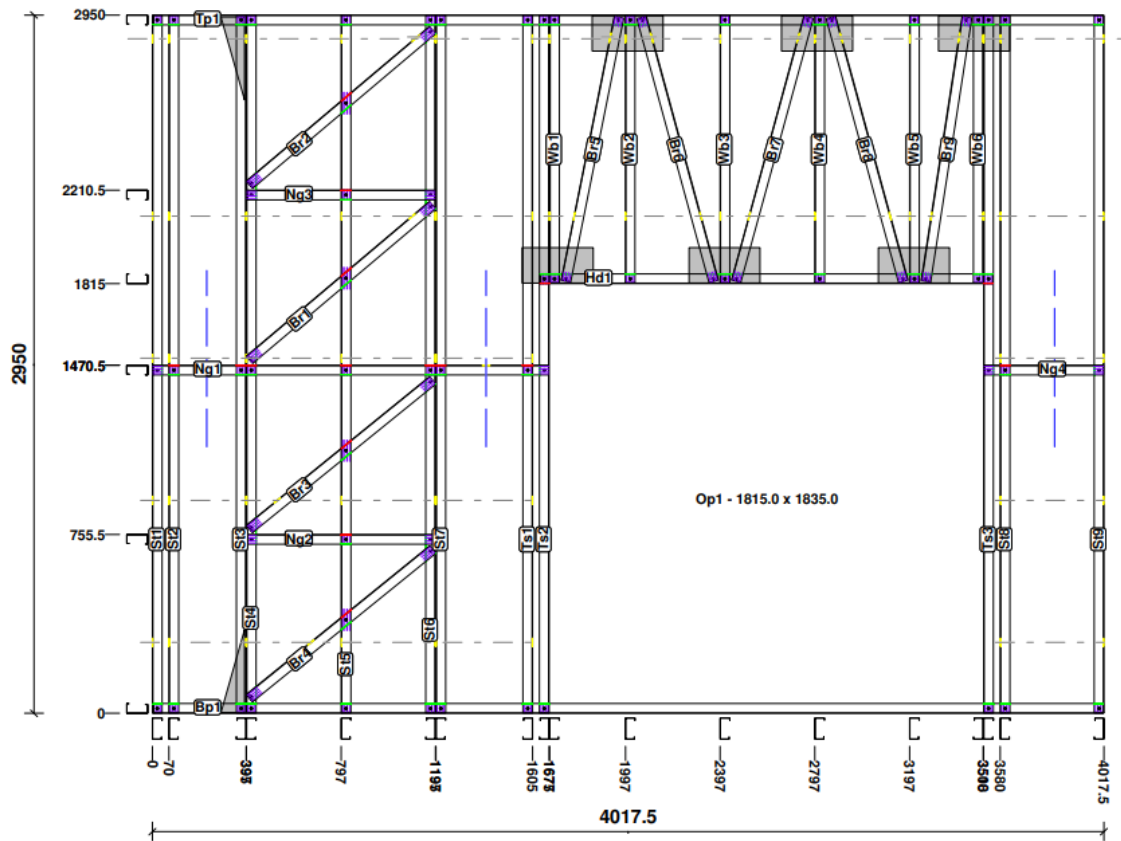
Na Figura 27, exemplifica-se, um painel de cobertura (PNT-01), na Figura 28, mostra um painel de parede do primeiro pavimento (PN1007), com peças na diagonal e chapas de gusset e na Figura 29, um painel superior (PN-SUP1011), com peças na diagonal, peças unidas e chapas de gusset.

Figura 27 - Exemplo de projetos de montagem de painel de cobertura



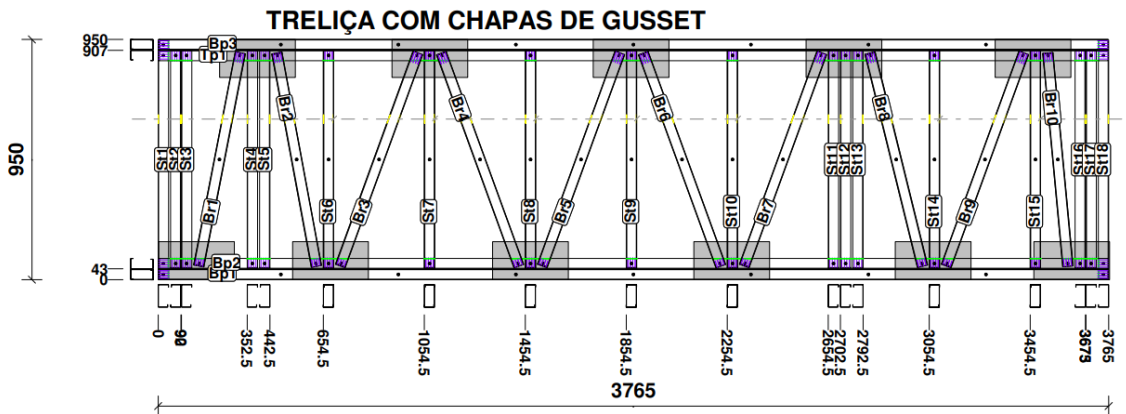
Fonte: Autor (2022).

Figura 28-Exemplo de projetos de montagem de painel de parede



Fonte: Autor (2022).

Figura 29-Exemplo de projetos de montagem de painel superior



Fonte: Autor (2022).

3.4.3 – Controle de estoque

À medida que são pré-montados, os painéis são transportados manualmente pela fábrica até a posição de estoque. A maior parte dos painéis pode ser transportada por dois auxiliares. Os painéis mais pesados são transportados por três ou quatro auxiliares.

A capacidade de estoque da área reservada para esta função no galpão é controlada por meio dos índices de lotação, em número de unidades de saúde (Figura 30). O valor ideal de estoque (entre 1,0 e 1,5 unidades de saúde) é aquele que mantém em segurança o abastecimento dos canteiros, o espaço para manobra de caminhões e empilhadeira, e em caso de necessidade de incremento da produção, possibilita aumento do estoque.

Figura 30 - Índices de lotação do estoque

LEGENDA: VALOR DE REFERÊNCIA PARA O ESTOQUE	0,5 < ESTOQUE INSUFICIENTE	0,5 ≤ ESTOQUE < 1,0 OK	1,0 ≤ ESTOQUE < 1,5 IDEAL	1,5 ≤ ESTOQUE < 2,0 CRÍTICO	ESTOQUE ≥ 2,0 MUITO CRÍTICO
---	-------------------------------	---------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Fonte: Autor (2022).

Os painéis são armazenados de diferentes maneiras, dependendo do tipo. As lajes, coberturas, escadas e treliças são empilhadas horizontalmente (Figura 31) sobre pontaletes de madeira, em pilhas de até 16 painéis de altura, enquanto os painéis de parede são colocados na vertical (Figura 32), em um leve ângulo em relação às paredes, também apoiados em pontaletes, presos por correntes.

Figura 31 - Estoque de painéis de cobertura e treliças



Fonte: Autor (2022).

Figura 32-Estoque de painéis de parede



Fonte: Autor (2022).

Os componentes são estocados em pallets devidamente sinalizados (Figura 33).

Figura 33 - Estoque de componentes



Fonte: Fonte: Autor (2022).

3.4.4 – Logística de envios

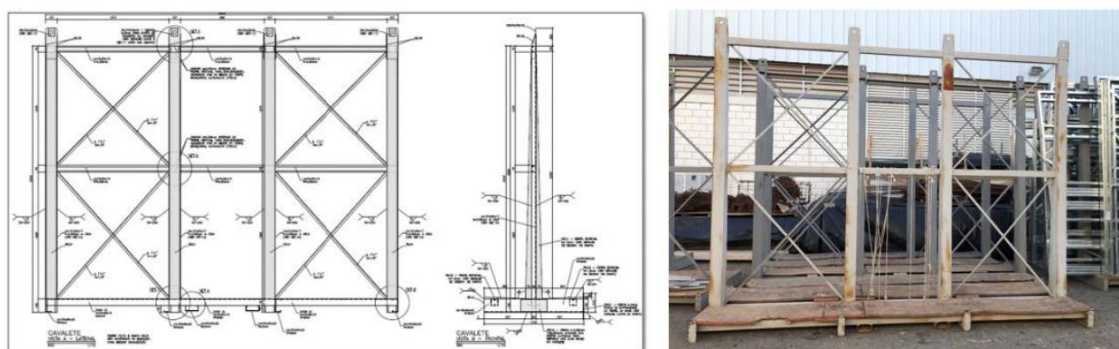
A logística de envios é definida de forma única para cada obra, se adequando ao espaço disponível para estoque no canteiro e posição do portão para acesso do caminhão (os painéis que compõem a parte oposta ao portão

de acesso são enviados primeiro, para que a montagem não obstrua o recebimento dos próximos painéis).

De forma geral, pode-se dizer que as obras recebem entre 30 e 35 fretes, incluindo os painéis e componentes. Esses envios são realizados em caminhões de ¾ e caminhão Munck (apenas para treliças da tipologia 02). Os caminhões são carregados pela empilhadeira na fábrica.

Painéis de parede são enviados verticalmente, em cavaletes projetados para este fim (Figura 34), com capacidade para 10 painéis (cinco de cada lado do eixo central), amarrados individualmente para transporte. Painéis adicionais podem ser amarrados ao cavalete, elevando a capacidade do caminhão para até 25 painéis por frete (Figura 35).

Figura 34 -Cavalete para transporte de painéis de parede.



Fonte: Informações aferidas in loco (2022).

Figura 35 -Transporte de painéis de parede



Fonte: Autor (2022).

A fábrica conta com 20 cavaletes, sendo que cinco permanecem sempre vazios para rotatividade no envio de painéis, enquanto nos outros 15, são acondicionados painéis que já permanecem em estoque prontos para envio. Já os painéis de laje, cobertura e treliças são enviados horizontalmente, em fretes de até oito painéis para não superar os limites de carga estabelecidos por lei (Figura 36).


Figura 36 - Transporte de coberturas



Fonte: Autor (2022).

Para todos os fretes, é enviado um romaneio de transporte, com o peso da carga e nome de todos os painéis, especificando quais estão no cavalete e quais estão amarrados nele, para o caso dos painéis de parede. Todos os componentes também são designados no romaneio (Figura 37).

Figura 37 - Exemplo de romaneio de transporte de painéis

	ROMANEIO DE PAINÉIS				ROMANEIO Nº	
					24A	
					DATA	
				15/09/2022		

CENTRO DE SAÚDE MARIA GORETTI

PAINÉIS NO CAVALETE						
ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	PESO UNITÁRIO (KG)	QUANTIDADE (UN)	CONFERÊNCIA EXPEDIÇÃO	CONFERÊNCIA RECEBIMENTO	OBSERVAÇÕES
1	PN2070	57,32	1	ok		
2	PN2025	88,56	1	ok		
3	PN2055	57,32	1	ok		
4	PN2027	76,32	1	ok		
5	PN2064	56,56	1	ok		
6	PN2022	83,71	1	ok		
7	PN2034	80,32	1	ok		
8	PN2026	54,98	1	ok		
9	PN2046	62,95	1	ok		
PESO TOTAL DO CAVALETE (KG):		618,05				

PAINÉIS EXTRAS						
ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	PESO UNITÁRIO (KG)	QUANTIDADE (UN)	CONFERÊNCIA EXPEDIÇÃO	CONFERÊNCIA RECEBIMENTO	OBSERVAÇÕES
11	RPANEL2001	34,64	1	ok		
12	RPANEL2002	28,17	1	ok		
13	RPANEL2003	28,34	1	ok		
15	RPANEL2004	26,04	1	ok		
PESO TOTAL PAINÉIS EXTRAS (KG):		117,19				
PESO TOTAL (KG):		735,24				

Responsável pela Conferência no Recebimento: _____	RG/CPF: _____	Data: ___/___/2022
--	---------------	--------------------

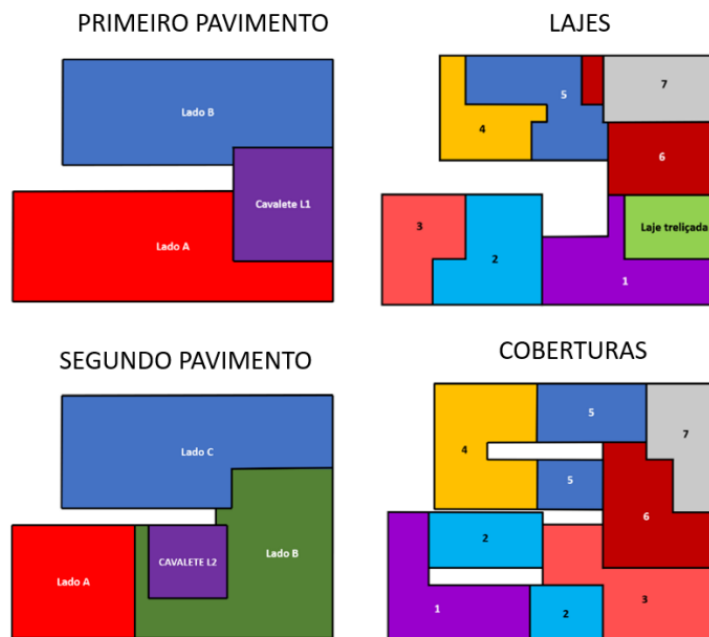
Fonte: Informações aferidas in loco (2022).

As particularidades relacionadas aos fretes de cada tipologia serão brevemente descritas nos subtópicos que seguem.

3.4.4.1 – Tipologia 2 (T2)

Para as unidades T2, foi realizada uma setorização do projeto para que cada canteiro defina a ordem de envios dos fretes (Figura 38). O primeiro pavimento foi dividido em três regiões (lados A, B e cavalete L1). As treliças são enviadas em único frete, e são enviadas apenas quando existe um caminhão muck para posicioná-las no lugar correto. As lajes e coberturas foram divididas em sete fretes, facilitando a separação na hora do envio. O segundo pavimento em quatro regiões (lados A, B, C e cavalete L2). Ao longo dos fretes, exceto lajes e coberturas, os componentes usados in loco são enviados gradativamente.

Figura 38 - Setorização dos painéis da T2 para logística de transporte

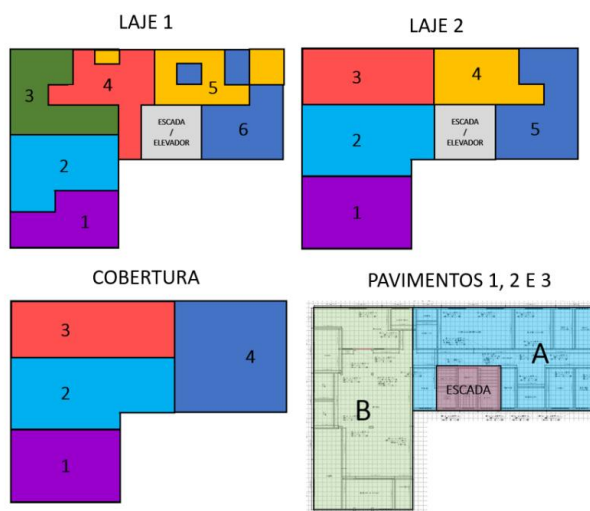


Fonte: Informações aferidas in loco (2022).

3.4.4.2 – Tipologia 3 (T3)

A mesma lógica se aplica às unidades de tipologia 3 (Figura 39). O primeiro, segundo e terceiro pavimento foram divididos em três regiões (lados A, B e escada), as lajes de número 1 foram divididas em seis fretes, as lajes de número 2 foram divididas em cinco fretes, e por fim, as coberturas foram divididas em quatro fretes. Ao longo dos fretes, exceto lajes e coberturas, os componentes usados in loco foram enviados gradativamente.

Figura 39 - Setorização dos painéis da T3 para logística de transporte.



Fonte: Informações aferidas in loco (2022).

3.4.4.3 – Qualidade, saúde, segurança no trabalho e meio ambiente

Desde o recebimento do aço até seu envio, todos os processos são realizados conforme procedimentos de Qualidade e de Saúde, Segurança do Trabalho e Meio Ambiente (SSTMA), que objetivam garantir não somente a entrega do produto no mais alto padrão de execução, como também a integridade física e saúde dos integrantes.

Para garantia da qualidade, são feitas, para todas as unidades, verificações de serviço. Para o escopo da fábrica, são realizadas verificações quanto ao aço, que garantem a conformidade e qualidade do beneficiamento (como ângulo dos perfis, posição dos furos – *dimples*, dimensões, espessura da chapa). A verificação é feita por amostragem relativa ao número de peças recebidas na fábrica, por frete, conforme Figura 40.

Figura 40 - Ficha de verificação de serviço: verificação de perfil

OEC		FVS – VERIFICAÇÃO DE PERFIL										FOR-PRO-005 - FVS 05							
												Rev.: 03							
												Página: 1 de 2							
Unidade: 6A	FVS aberta em: 04/11/2022	FVS fechada em: 04/11/2022	FVS número: 264																
Lote: 26A	Número do Romaneio: 18-A	Tamanho do lote: 3900	Quantidade de amostras: 5																
TOLERÂNCIA		Tabela 4		Tabela 4		Tabela 4		Tabela 4		Tabela 4		Tabela 4		Tabela 4		Tabela 4			
MÉTODO		Trena		Trena / Paquímetro		Paquímetro		Micrômetro		Paquímetro		Goniômetro		Visual		Paquímetro			
PERFIS VERIFICADOS		C	NC	N/A	C	NC	N/A	C	NC	N/A	C	NC	N/A	C	NC	N/A	C	NC	N/A
J52 (PN1014)					X			X			X			X			X		
BP2 (PN1014)		X									X			X			X		
BP1 (PN1014)		X			X			X			X			X			X		
J52 (PN1009)		X			X			X			X			X			X		
J54 (PN1009)		X			X			X			X			X			X		

Legenda: C = Conforme; NC = Não Conforme; NA = Não Aplicável

Ocorrências				
Painéis	Descrição	Ação	Aprovado após Reinspeção	
			Data	Visto

Res. pela verificação		Qualidade		Responsável pela Aprovação	
Nome:	Bruna Ferreira Meloque	Nome:		Nome:	
Assinatura:	Bruna Ferreira Meloque	Assinatura:		Assinatura:	

Fonte: Informações aferidas in loco (2022).

Em relação aos painéis, é feita uma verificação de pré-montagem por amostragem (10% dos painéis produzidos por unidade). São verificadas as dimensões do painel, padrão de montagem, se todos os componentes foram instalados, esquadro, tal qual Figura 41.

Figura 41 - Ficha de verificação de serviço: verificação de pré-montagem

OEC		FVS – PRÉ-MONTAGEM DE LIGHT STEEL FRAMING – PARTE 1										FVS 07.A				
												Rev.: 02				
												Página: 1 de 2				
Unidade: 4A	FVS aberta em: 10/08/2022	FVS fechada em: / /														
Número Sequencial da FVS (Preenchimento por conta da Qualidade): 1																
TOLERÂNCIA		Dimensões do painel			Posicionamento/ Espaço perfil/ seção			Parafusos estrutura (quantidade e tipo)			Chapa de Gusset / Chapa Integral / Bloqueador / Enrijecedor			Esquadro do painel		
MÉTODO		TRENA			TRENA			Conforme Projeto			Conforme Projeto			TRENA		
PAINÉIS		C	NC	N/A	C	NC	N/A	C	NC	N/A	C	NC	N/A	C	NC	N/A
PN1082		X			X			X			X			X		
PN1071		X			X			X			X			X		
PN1075		X			X			X			X			X		
PN1050		X			X			X					X	X		
PN1074		X			X			X					X			X
PN1058		X			X			X			X			X		
PN1065		X			X			X			X			X		
PN1068		X			X			X			X			X		
PN1056		X			X			X					X	X		X

Legenda: C = Conforme; NC = Não Conforme; NA = Não Aplicável
Deverá ser realizada a verificação de 10% do total de painéis que compõem um Centro de Saúde.

Ocorrências				
Painéis	Descrição	Ação	Aprovado após Reinspeção	
			Data	Visto

Res. pela verificação		Qualidade		Eng. Produção	
Nome:		Nome:		Nome:	
Assinatura:		Assinatura:		Assinatura:	

Fonte: Informações aferidas in loco (2022).

A equipe de SSTMA realiza vistorias periódicas, realiza treinamentos com a equipe, garante que todos estejam usando os equipamentos de proteção individual e coletivos, organiza e controla a geração de resíduos, sua venda e reciclagem, além de coletar dados referente às emissões de poluentes dos caminhões e empilhadeira.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A consolidação da fábrica para método de montagem *off-site* por painéis permitiu potencializar as vantagens do LSF bem como mitigar suas desvantagens, se comparado aos índices de desempenho que a construtora obteve durante a PPP Escolas (consideração realizada com base em informações aferidas *in loco*). Diante das principais vantagens do LSF, pode-se destacar o que foi obtido com a implantação da fábrica:

- a) Vantagens econômicas: enquanto mais industrializado é o contexto de utilização do LSF, maiores os ganhos econômicos diante de outros métodos construtivos. Comparando o método *Stick* (montagem *in loco*) adotado na PPP Escolas (cenário 2 da Figura 42) com o método por painéis (*off-site*) adotado na PPP Saúde BH (cenário 1 da Figura 42), observa-se uma redução significativa no custo. Houve uma diferença de 3.998.992,37 no cenário 1 em relação ao cenário 2, mesmo no cenário 1 existindo um custo a mais que é a fábrica (onde os painéis são pré-montados).

Figura 42 - Composições para os cenários *in loco* e *off-site*

RELATÓRIO DE COMPOSIÇÕES UNITÁRIAS						CENÁRIO 01 - OBRA FABRICADA		CENÁRIO 02 - OBRA CONVENCIONAL		
TIPO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	U.	FIP	C.UNIT	C.TOTA	QTD	C.TOTAL	QTD	C.TOTAL
	98000040	FABRICA LIGHT STEEL FRAME	MÉS			208,761.80		3,379,979.73		0.00
MÃO DE OBRA	61406322	OPERADOR EMPILHADORA	MÉS	1.000000	5,431.80	5,431.80	15.00	81,476.93	-	0.00
MÃO DE OBRA	61406323	AUXILIAR ADMINISTRATIVO	MÉS	1.000000	4,401.60	4,401.60	15.00	66,024.00	-	0.00
MATERIAIS	22001035	EMPILHADORA ELÉTRICA 1 TONELADA	UN	1.000000	14,125.00	14,125.00	15.00	211,875.00	-	0.00
MATERIAIS	22001120	COMBUSTIVEL EMPILHADORA (GUP)	VB	1.010000	2,250.00	2,272.50	1.00	2,272.50	-	0.00
SUBEMPREENHEIROS	3100410	ENCARREGADO - LIGHT STEEL FRAME	MÉS	1.000000	12,043.00	12,043.00	15.00	180,645.00	-	0.00
SUBEMPREENHEIROS	3100420	MONTADOR - LIGHT STEEL FRAME	MÉS	1.000000	5,512.40	5,512.40	142.00	782,760.80	-	0.00
SUBEMPREENHEIROS	3100430	AJUDANTES - LIGHT STEEL FRAME	MÉS	1.000000	4,410.00	4,410.00	156.00	687,960.00	-	0.00
SUBEMPREENHEIROS	1206544	BOMBEIRO	MÉS	1.000000	5,090.50	5,090.50	1.00	5,090.50	-	0.00
EQUIPAMENTOS	3000127	LOCAÇÃO DE CAÇAMBA ESTACIONÁRIA	UN	1.000000	275.00	275.00	105.00	28,875.00	-	0.00
EQUIPAMENTOS	3100070	LOCAÇÃO DE CAMINHÃO 3/4	MÉS	1.000000	9,000.00	9,000.00	30.00	270,000.00	-	0.00
EQUIPAMENTOS	800018	CAMINHÃO MUNCK C/ OPERADOR	MÉS	1.000000	18,000.00	18,000.00	30.00	540,000.00	-	0.00
EQUIPAMENTOS	800020	EMPILHADORA 4,5 TON	MÉS	1.000000	5,200.00	5,200.00	15.00	78,000.00	-	0.00
GASTOS GERAIS	4000003	LOCAÇÃO DE GALPÃO	MÉS	1.000000	23,000.00	23,000.00	15.00	345,000.00	-	0.00
GASTOS GERAIS	4000003	REFORMA FABRICA	VB	1.000000	100,000.00	100,000.00	1.00	100,000.00	-	0.00
	63000010	CUSTO LIGHT STEEL FRAME OBRA	VB			21,965.40		6,611,662.20		10,848,618.30
SUBEMPREENHEIROS	3100410	ENCARREGADO - LIGHT STEEL FRAME	MÉS	1.000000	12,043.00	12,043.00	117.00	1,409,031.00	156.00	1,878,708.00
SUBEMPREENHEIROS	3100420	MONTADOR - LIGHT STEEL FRAME	MÉS	1.000000	5,512.40	5,512.40	663.00	3,654,721.20	1,092.00	6,019,540.80
SUBEMPREENHEIROS	3100430	AJUDANTES - LIGHT STEEL FRAME	MÉS	1.000000	4,410.00	4,410.00	351.00	1,547,910.00	624.00	2,751,840.00
SUBEMPREENHEIROS	1206544	BOMBEIRO	MÉS	1.000000	5,090.50	5,090.50	-	0.00	39.00	198,529.50
	63000010	63000010 CUSTO INDIRETO FRENTE DE SERVIÇO	VB			15,744.00		4,912,128.00		5,526,144.00
MÃO DE OBRA	1803969	SUPERVISOR DE OBRAS	MÉS	1.000000	9,990.00	9,990.00	312.00	3,116,880.00	351.00	3,506,490.00
MÃO DE OBRA	1651744	AUXILIAR ADMINISTRATIVO	MÉS	1.000000	3,774.00	3,774.00	312.00	1,177,488.00	351.00	1,324,674.00
MÃO DE OBRA	1609014	ESTAGIÁRIO DE PRODUÇÃO	MÉS	1.000000	1,980.00	1,980.00	312.00	617,760.00	351.00	694,980.00
	63000010	63000011 GANHO CUSTO INDIRETO CANTEIRO CENTE	VB			1,264,000.00		2,528,000.00		0.00
MÃO DE OBRA		CANTEIRO CENTRAL	MÉS	1.000000	1,264,000.00	1,264,000.00	- 2.00	- 2,528,000.00	-	0.00

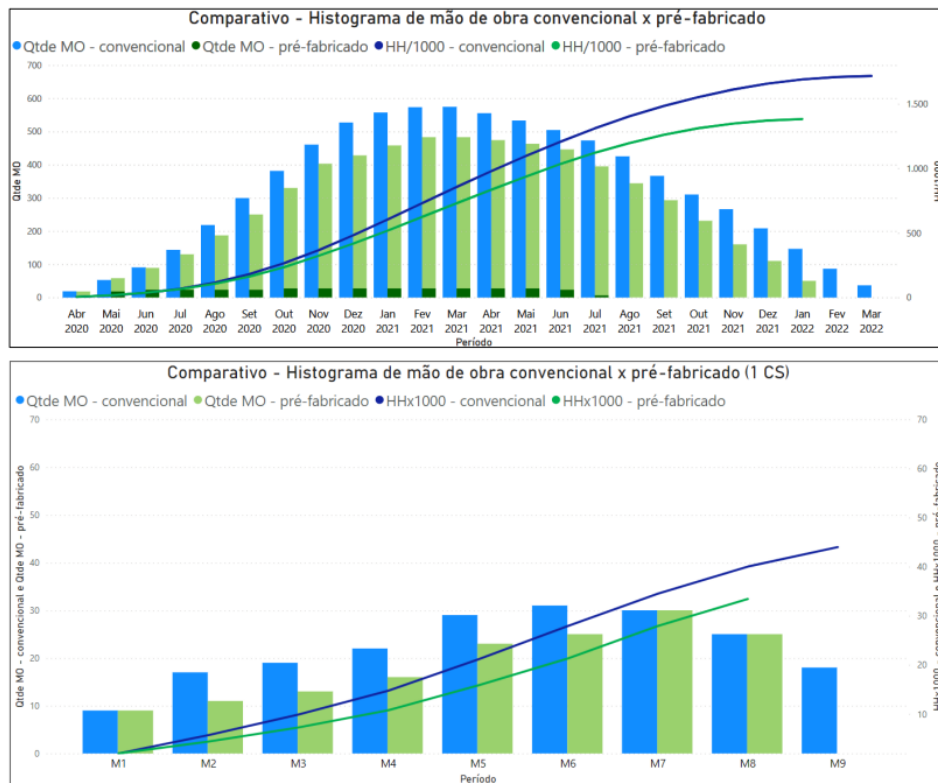
Fonte: Informações aferidas *in loco* (2022).

- b) Incremento da produtividade: com produtividade média de 69 kg por montador por hora, atingida nos meses entre maio e setembro de 2020,

foi possível atingir a produção de uma unidade de saúde em 9 dias. Para a montagem final *in loco*, foram gastos 22 dias para montagem da estrutura (três dias para o primeiro pavimento, quatro dias para os painéis de laje e cinco dias para o plaqueamento, três dias para o segundo pavimento e sete dias para montagem completa da cobertura). Com isso, tem-se um período de aproximadamente um mês para toda montagem estrutural da obra.

- c) Redução do efetivo: O sistema *Light Steel Framing* por si só já proporciona uma redução considerável de efetivo em obra quando comparado a outras metodologias mais convencionais. Implementando-se a pré-fabricação dos painéis diminui-se, assim, ainda mais o efetivo. Como podemos ver nos histogramas (Figura 43), além de reduzir em 1 mês o prazo executivo de cada Centro de Saúde. Partindo para uma análise macro do projeto (levando em consideração que os gráficos abaixo não consideram o aditivo de 10 unidades firmado posteriormente), ocorre redução de 2 meses no prazo executivo do contrato.

Figura 43 - Histograma de mão de obra geral e por unidade de saúde



Fonte: Informações aferidas in loco (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fábrica de pré-montagem das construções em LSF proporcionou a concentração das atividades em um só local, não suscetível às intempéries, protegendo os materiais armazenados e garantido conforto aos trabalhadores e a não paralização das atividades durante os períodos chuvosos. A padronização das atividades permitiu ganho de produtividade e melhor acompanhamento das atividades. Com o uso de uma empilhadeira na fábrica para o descarregamento de materiais, em especial o aço utilizado na montagem, a atividade apresenta um risco consideravelmente menor, visto que a quantidade de funcionários envolvidos na atividade é reduzida. Além da desvantagem do número de trabalhadores, a descarga manual apresenta riscos ergonômicos. A distribuição de materiais de uma fábrica localizada em Belo Horizonte facilitou o recebimento do aço bem como sua distribuição para os canteiros. Por fim, observa-se um resultado muito positivo na aplicação da pré-montagem do LSF no contrato estudado, os quais não teriam o mesmo sucesso sem emprego do método. Todos os benefícios do sistema foram explorados, maior precisão de execução, melhor qualidade e durabilidade, manutenção facilitada, maior precisão no orçamento, menor consumo de mão de obra, menor desperdício de material e, principalmente, uma redução surpreendente no tempo de obra.

6. BIBLIOGRAFIA

BARDINI, JOÃO HENRIQUE SOARES; DAVID, ERICKSON DE OLIVEIRA. Investigação dos sistemas construtivos racionais de maior emprego nos países desenvolvidos quanto a seu emprego no Brasil. Tubarão, 2019.

CAMINI, VINICIUS, 2019. Comparativo de custos dos sistemas Light Steel Frame e convencional para uma habitação unifamiliar, 2019. Disponível em: Acesso: 30 de outubro de 2022.

CAMPOS, PATRÍCIA FARRIELO DE. Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAUUSP. São Paulo, 2014

CHAN, D.; FONTANINI, P. Análise do uso do sistema light steel frame na construção civil. In: anais do workshop de tecnologia de processos e sistemas construtivos, 2017, Campinas. Disponível em: Acesso em: 30 outubro 2022.

FREITAS, Arlene Maria S., CRASTO, Renata Cristina M. Construções de Light Steel Frame. Revista Técnica, São Paulo, nº 112, julho. 2006.

GATTI, WAGNER. Método Construtivo Steel Frame, Sustentabilidade e Economia na Construção Civil. Engenharia Civil. Caçador, 2016. Disponível em: Acesso em: 30 de outubro de 2022.

HASS, DELEINE CHRISTINA GESSI; MARTINS, LOUISE FLORIANO. Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo steel frame como método construtivo para habitações sociais. (Monografia). 2011.

JUNIOR, JOEL V. BAPTISTA; ROMANEL, CELSO. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. Curitiba: Revista Brasileira de Gestão Urbana, 2013. Disponível em: Acesso em: 30 de outubro de 2022.

RODRIGUES, H. F.; FERREIRA JUNIOR, E. L. Construção Offsite: Um estudo sobre o Método Modular de Construção. Goiânia, 2021.

SANTIAGO, ALEXANDRE KOKKE; FREITAS, ARLENE MARIA SARMANHO; CASTRO, RENATA CRISTINA MORAES. Manual de construção em aço Steel Framing: Arquitetura. 2. ed. 2012.

SOUZA, EDUARDO LUCIANO DE. Construção Civil e tecnologia: estudo do sistema construtivo Light Steel Framing. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: Acesso em 30 de outubro de 2022.