

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

Carolina Vasconcelos Ellwanger

**IMPACTOS DE LIGAÇÕES ENTRE ESTRUTURAS
METÁLICAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO E NA
MONTAGEM DAS OBRAS**

Porto Alegre
Novembro 2018

CAROLINA VASCONCELOS ELLWANGER

**IMPACTOS DE LIGAÇÕES ENTRE ESTRUTURAS
METÁLICAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO E NA
MONTAGEM DAS OBRAS**

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 Engenheira Civil

Orientadora: Daniela Dietz Viana

Porto Alegre
Novembro 2018

CAROLINA VASCONCELOS ELLWANGER

**IMPACTOS DE LIGAÇÕES ENTRE ESTRUTURAS
METÁLICAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO E NA
MONTAGEM DAS OBRAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela banca examinadora.

Porto Alegre, novembro de 2018.

Profa. Daniela Dietz Viana
Dra. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Daniela Dietz Viana (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Carlos Torres Formoso (UFRGS)
Ph.D. pela University of Salford, Grã Bretanha

Profa. Lucila Sommer (UFRGS)
Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aos meus pais, por me ensinarem e me
inspirarem a sonhar.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pais, irmãos, cunhados e sobrinhos, por todos os valores que enraizaram em mim, por me incentivarem a trilhar o meu caminho e por serem o meu porto seguro em qualquer circunstância.

À minha orientadora, Daniela Dietz Viana, por todo suporte no desenvolvimento desse trabalho, pela paciência, pela grande dedicação e por todo conhecimento repassado ao longo do processo.

Ao meu namorado, Giovani, pelo apoio, companheirismo e compreensão nos momentos mais difíceis, assim como por toda ajuda nas revisões.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelas oportunidades de conhecimento e de crescimento durante os anos de graduação e a todos os amigos que tive a sorte de fazer nesse curso.

Ao Centro dos Estudantes Universitários de Engenharia, pela transformação pessoal e profissional em mim, por ter me dado a oportunidade de trabalhar ao lado de pessoas tão incríveis e de ajudar a mudar a vida de tantas outras.

À Brunel University London e ao CNPq pela oportunidade de estudar no exterior, de ampliar os meus conhecimentos e de me tornar uma pessoa melhor e, principalmente, a 5 meninas com as quais pude compartilhar cada parte dessa experiência.

À empresa que trabalho e a cada pessoa que me auxiliou na execução desse trabalho, por toda a ajuda e disposição.

A todas as pessoas que contribuíram para minha formação ao longo da vida, familiares, amigos e professores, por todos ensinamentos e experiências que me trouxeram até aqui.

A Deus, por todos os privilégios que tive e por todas as bênçãos ao longo do meu caminho.

One must always be prepared for riotous and
endless waves of transformation.

Elisabeth Gilbert

RESUMO

Cenários de crise na construção civil tornam ainda mais importante a busca por alternativas que permitam empresas trabalhar com maior eficiência, reduzindo custos e atividades que não agregam valor, sem deixar de atender a demanda do seu cliente. Enquanto a industrialização do setor é vista como um dos caminhos para atingir tal objetivo, a complexidade que esse sistema traz para o processo construtivo exige a aplicação de conceitos da produção enxuta em toda a cadeia produtiva. Segundo a literatura, grandes resultados podem ser atingidos a partir dessa aplicação ainda na fase de *design* de projetos. Estudos com conceitos de *design*, como *design-for-assembly* e modularidade mostram as vantagens obtidas através de projetos desenvolvidos com foco na sua montagem, que buscam a padronização de seus elementos e a redução de partes. Por isso, esse trabalho busca entender como ligações entre estruturas metálicas, responsáveis por um grande consumo de tempo e esforços em obra, podem impactar no processo produtivo dos empreendimentos, a partir da análise de duas obras de uma empresa especializada do setor com conexões que seguem os princípios desses conceitos de *design*. Os dois estudos de caso foram realizados enquanto ocorria simultaneamente a fase de projeto e de montagem e serviram como base para o entendimento de que a utilização das ligações com maior nível de modularidade se mostra vantajosa em obras com grandes desafios com o prazo de montagem, independente da complexidade para sua produção. O estudo ainda propõe algumas melhorias para a cadeia produtiva da empresa.

Palavras-chave: sistemas pré-fabricados, estrutura metálica, *design-for-assembly*, modularidade.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Talas de Ligação em conexões pilar-pilar..... | 34 |
| Figura 2 - Dupla Cantoneira de Alma em conexões pilar-viga..... | 35 |
| Figura 3 - Dupla Cantoneira de Assento em conexões pilar-viga..... | 35 |
| Figura 4 - Chapa de topo e chapa corte soldadas em pilar..... | 36 |
| Figura 5 - Chapa de topo e chapa corte soldado em viga | 36 |
| Figura 6 - Diagrama geral de delineamento da pesquisa | 40 |
| Figura 7 - Modelo 3D do empreendimento (Estudo de Caso I)..... | 43 |
| Figura 8 - Divisão de etapas do empreendimento (Estudo de Caso I)..... | 44 |
| Figura 9 - Ligação típica pilar-pilar (Estudo de Caso I) | 45 |
| Figura 10 - Ligação típica pilar-viga com chapa de corte (Estudo de Caso I)..... | 45 |
| Figura 11 - Ligação típica pilar-viga com chapa de topo (Estudo de Caso I)..... | 46 |
| Figura 12 - Ligação típica viga-viga com chapa de corte (Estudo de Caso I) | 46 |
| Figura 13 - Ligação típica viga-viga com chapa de topo (Estudo de Caso I)..... | 46 |
| Figura 14 - Modelo 3D do empreendimento (Estudo de Caso II) | 47 |
| Figura 15 - Divisão de etapas do empreendimento (Estudo de Caso II)..... | 48 |
| Figura 16 - Ligação típica pilar-pilar com chapa de topo (Estudo de Caso II)..... | 49 |
| Figura 17 - Ligação típica pilar-viga com chapa de corte (Estudo de Caso II) | 49 |
| Figura 18 - Ligação típica pilar-viga com chapa de topo (Estudo de Caso II) | 50 |
| Figura 19 - Ligação típica viga-viga com chapa de corte (Estudo de Caso II)..... | 50 |
| Figura 20 - Ligação típica viga-viga com chapa de topo (Estudo de Caso II)..... | 50 |
| Figura 21 - Principais etapas do processo produtivo. | 53 |
| Figura 22 – Diferenças no processo de produção das miscelâneas e dos acessórios..... | 56 |
| Figura 23 – Miscelâneas separadas para carregamento. | 57 |
| Figura 24 – Acessórios separados por peça a ser soldada..... | 57 |
| Figura 25 – Linha de Produção das Peças..... | 58 |
| Figura 26 – Carga montada com embalagens garantindo espaçamento entre peças. | 59 |
| Figura 27 – Diferenças no processo de montagem das miscelâneas e dos acessórios..... | 60 |
| Figura 28 – Divisão de Prédios – Estudo de Caso I..... | 61 |
| Figura 29 – Peça Hiper Complexa pré-pintura – Estudo de Caso I. | 63 |
| Figura 30 – Resumo de cargas por etapa e sub etapa – Estudo de Caso I. | 65 |
| Figura 31 – Divisão de Prédios – Estudo de Caso II. | 68 |
| Figura 32 – Ligação pilar-pilar com tala devido à restrição geométrica– Estudo de Caso II. . | 69 |

| | |
|--|----|
| Figura 33 – Ligação pilar-viga com cantoneira devido à restrição geométrica – Estudo de Caso II..... | 69 |
| Figura 34 – Resumo de cargas por etapa e sub etapa – Estudo de Caso II..... | 72 |
| Figura 35 – Cantoneiras – Estudo de Caso II. | 73 |
| Figura 36 – Diagrama de utilização das ligações. | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Fontes de Evidência | 42 |
| Tabela 2 - Dados de fabricação – Estudo de Caso I..... | 64 |
| Tabela 3 - Dados de fabricação – Estudo de Caso II | 70 |

LISTA DE SIGLAS

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

ETO – *Engineer-to-order*

DFA – *Design-for-assembly*

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 CONTEXTO..... | 19 |
| 1.2 MOTIVAÇÃO..... | 21 |
| 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA | 22 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 25 |
| 2.1 CONCEITOS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO | 25 |
| 2.2 PRÁTICAS DE DESIGN | 27 |
| 2.2.1 Design for Assembly | 27 |
| 2.2.2 Modularidade | 30 |
| 2.3 CONEXÕES ENTRE ESTRUTURAS METÁLICAS | 33 |
| 3 MÉTODO DE PESQUISA | 39 |
| 3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA | 39 |
| 3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA | 40 |
| 3.2 FONTES DE EVIDÊNCIA | 41 |
| 3.3 ESTUDOS DE CASO | 43 |
| 3.4.1 Estudo de Caso I | 43 |
| 3.4.2 Estudo de Caso II | 47 |
| 4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA | 53 |
| 4.1 PROCESSO PRODUTIVO | 53 |
| 4.2 PRODUÇÃO DAS LIGAÇÕES METÁLICAS..... | 54 |
| 4.2.1 Projeto | 54 |
| 4.2.2 Fábrica | 56 |
| 4.2.3 Logística | 58 |
| 4.2.4 Montagem | 59 |
| 4.3 ESTUDO DE CASO I | 61 |
| 4.4 ESTUDO DE CASO II..... | 67 |
| 4.5 DISCUSSÃO FINAL | 73 |
| 5 CONCLUSÃO | 79 |
| REFERÊNCIAS | 83 |

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o contexto no qual este trabalho está inserido. Em seguida são apresentados a motivação para a execução do trabalho e os objetivos propostos.

1.1 CONTEXTO

Diversos estudos (KOSKELA, 1992; BALLARD; HOWELL, 1998; HIROTA; FORMOSO, 2000; CONTE, 2001) buscam compreender a implementação dos conceitos e das práticas da produção enxuta na construção civil visando atingir maior eficiência e qualidade no setor. Um dos principais pontos da adaptação das técnicas da produção enxuta, conhecida como sistema *Lean* de produção, é a consideração da complexidade e a natureza dinâmica da construção de obras, aprendendo a gerenciar as incertezas quando se trabalha com produtos únicos e em organizações temporárias (BALLARD; HOWELL, 1998).

Entre os principais benefícios da aplicação dos princípios da produção enxuta no setor estão: o aumento da produtividade, a melhora da qualidade do produto e a redução de prazos e de custos (LESSING, 2006). Para atingir esses resultados, Lessing (2006) apresenta alguns dos princípios fundamentais da teoria, como a eliminação do desperdício, que pode ser encontrado nos processos em forma de estoque, trabalho inacabado ou transporte, e a melhoria contínua, que visa a constante evolução dos processos.

Associado à produção enxuta, para a modernização do setor da construção, uma das estratégias tem sido a industrialização, principalmente a partir da transferência de processos executados em canteiros de obra para plantas industriais (KOSKELA, 1992). Segundo Ballard e Howell (1998), essa transferência simplifica os canteiros, aumenta a mecanização do processo, aumentando a eficiência e o controle sobre o mesmo, e possibilita alcançar um maior controle sobre a qualidade dos produtos.

Em empresas de pré-fabricados com um sistema de produção classificado como *engineer-to-order* (ETO), o pedido do cliente acontece ainda na fase de desenvolvimento do projeto. Nesse cenário, o cliente desempenha um papel central no processo, considerando que todas as

atividades são conduzidas pela demanda dele, o que torna o processo ainda mais complexo (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Outra característica do sistema ETO é que o pedido do cliente também determina o *lead time* do projeto, ou seja, o tempo entre o momento em que o pedido é realizado e o momento em que o produto é entregue (BERTRAND, MUSTSLAG, 1993). Segundo Little *et al.* (2000), é necessário um planejamento integrado entre os ambientes caracterizados pelo sistema ETO para garantir a aderência nos prazos e evitar os atrasos na entrega dos produtos. Considerando que os focos no processo de modernização da construção têm sido a qualidade, a eficiência e os prazos do cliente, este controle no planejamento entre etapas do processo, descrito pelo autor, se torna relevante por evitar que atividades que podem demorar mais tempo, como a fase de projeto, não atrasem o cronograma do empreendimento. E, ainda, não prejudiquem o prazo planejado para outros setores, como a montagem, causando impacto em tempo e custos.

No processo construtivo de uma empresa de pré-fabricados, o setor de montagem é o setor mais a jusante da cadeia de suprimentos, sendo esse o setor responsável por realizar a entrega do produto montado ao cliente final. Por muitas vezes esse setor é prejudicado por precisar absorver os problemas gerados por outros setores em relação aos prazos e custos afim de que o projeto ainda traga resultados positivos à empresa. Esse cenário torna imprescindível a troca de informações entre os setores da empresa e a visão do processo de montagem ainda na fase de projetos.

Uma das ações para reduzir as singularidades na construção civil, está na adoção de boas práticas ainda na fase de design do produto, como o conceito da modularidade (BALLARD; HOWELL, 1998). Segundo Ulrich (1994), essa prática do design se baseia na divisão do produto em componentes independentes, permitindo, assim, a padronização e a variedade dos produtos. Uma das principais vantagens da modularidade está na redução dos custos de produção, devido à padronização de componentes, resultando em atividades de produção mais especializadas (ULRICH, 1994). Ainda segundo o autor, a performance técnica de um produto sempre pode ser melhorada se for aumentado o seu grau de modularidade. Sendo esse conceito, portanto, um fator determinante para melhorar a facilidade da montagem dos produtos.

No setor de pré-fabricados, o custo extra envolvido na utilização de um sistema industrializado deveria ser compensado pela maior facilidade na montagem do empreendimento, por ser esse um processo consideravelmente mais ágil que a construção convencional. Porém, isso nem

sempre é visto na prática. As empresas ainda enfrentam dificuldades de atingir o desempenho em obra esperado devido à grande complexidade de todo o processo, especialmente do setor de montagem dos projetos. Analisar onde as atividades de valor agregado são melhor conduzidas (LESSING, 2006) e projetar os componentes para que sejam montados de maneira simples e padronizada (CROWLEY, 1998) são algumas das maneiras de atingir o objetivo.

1.2 MOTIVAÇÃO

Este trabalho foi realizado em uma empresa de sistemas pré-fabricados metálicos, que oferece soluções completas para obras, incluindo projeto, fabricação e montagem em canteiro de obra. A empresa, aqui denominada como Empresa X, apresenta um sistema de produção classificado como Engineer-to-order (ETO), onde o ponto de desacoplamento, neste caso, o pedido do cliente, acontece na fase de concepção do produto (GOSLING; NAIM, 2009).

Ainda segundo Gosling e Naim (2009), esse tipo de sistema gera um ambiente de maior complexidade, devido à exigência de um elevado grau de customização ao produto. Nesse contexto, para atender às necessidades de cada cliente e executar empreendimentos de diversos segmentos e com características únicas, a Empresa X utiliza de seu conjunto de produtos padronizados, entre eles os sistemas de iluminação e ventilação, telhas, calhas e elementos estruturais, incluindo as ligações típicas.

A Empresa X já tem um histórico de participações em pesquisas em parceria com o Núcleo Orientado para Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Desde 2011, trabalhos foram realizados buscando a aplicação de conceitos e princípios da produção enxuta nos setores de planejamento, engenharia, logística e montagem da empresa.

Em reunião realizada com o gestor de contratos de obras internacionais da empresa, foram levantados alguns tópicos referentes aos problemas enfrentados pelo setor de montagem. O problema escolhido para ser abordado neste trabalho foi o impacto que as ligações entre as estruturas metálicas têm para o setor de montagem das obras. A empresa utilizava como padrão as ligações com talas e cantoneiras para projetos de prédios de múltiplos andares. Essas conexões são executadas com chapas soltas enviadas para a obra. Entretanto, este padrão resulta em uma maior quantidade de peças por ligação, o que aumenta a complexidade de logística em obra para envio e separação das peças no canteiro. Em obras internacionais, esse problema se

torna ainda maior em casos de perda e extravio das chapas de ligação, devido ao tempo e custo elevado para envio de novas peças.

Em recentes projetos, por solicitação do setor de montagem das obras internacionais, foram projetadas ligações com chapas soldadas de fábrica para conexão entre as estruturas, visando eliminar os problemas previamente citados. Essas ligações são denominadas de chapa corte e chapa de topo e já eram utilizadas, com menor complexidade, para projetos de galpões. Porém, mesmo sendo adotada, em 2018, como padrão para empreendimento de múltiplos andares, essa mudança na solução de conexões não teve uma avaliação concreta dos seus benefícios para o setor de montagem, bem como para a empresa como um todo. Por fazer parte do quadro de funcionários desta empresa, a autora buscou iniciar esta avaliação dos impactos.

Em uma análise geral da Empresa X, é possível identificar que cada setor planeja e executa suas atividades visando atingir suas metas individuais de produção. Além disso, mesmo sendo a empresa líder no seu setor, ela ainda enfrenta dificuldades para entregar a eficiência construtiva esperada por seus clientes. Com isso, se faz necessário alinhar de uma melhor forma os processos entre as áreas da empresa, garantindo que se tenha uma visão completa sobre a montagem dos projetos nos setores a montante na cadeia de suprimentos e identificando os produtos que podem auxiliar do atingimento da produtividade esperada no setor.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho tem como objetivo principal analisar os impactos gerados pelas ligações entre estruturas metálicas no processo produtivo e na montagem de obras de uma empresa de sistemas pré-fabricados.

Como objetivos secundários deste trabalho, pode-se listar:

- a) Analisar as diferenças de processo na utilização das ligações chapa de topo e chapa de corte, chapas soldadas em fábrica, como conexões entre as estruturas metálicas de edificações de múltiplos andares em relação a utilização da tala e cantoneira, chapas soltas, que previamente foram as mais utilizadas pela Empresa X;

- b) Analisar as diferenças de processo para obras nacionais e de exportação da Empresa X;
- c) Entender os impactos que o trabalho com os dois tipos de ligações, chapas soldadas e chapas soltas, tem para outros setores da empresa, como Engenharia e Logística;
- d) Identificar pontos de melhoria no processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta uma breve revisão dos conceitos que serão aplicados no trabalho. Está dividido em três tópicos: o primeiro referente aos conceitos de gestão da produção e a aplicação deles na construção civil, o segundo referente a conceitos de *design practices* e o terceiro referente as opções de ligações entre estruturas metálicas que são oferecidas pelo mercado.

2.1 CONCEITOS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO

Segundo Dos Reis *et al.* (2017), os cenários de crise são favoráveis à busca pela redução das falhas na gestão dos processos pelas empresas, tendo como objetivo o aumento da capacidade competitiva e o aumento da produtividade. Assim como a padronização dos componentes, a industrialização do setor e a utilização de modularização são consideradas como uma direção para o progresso da Construção Civil (KOSKELA, 1992), a implantação da filosofia Lean também tem sido uma estratégia para o setor, especialmente para superar momentos de instabilidade econômica (DOS REIS *et al.*, 2017).

O setor da Construção Civil ainda apresenta diversos problemas com a ineficiência dos projetos, como o desperdício de insumos e de força de trabalho, os atrasos constantes em cronogramas e a falta de uma organização elaborada para o melhor fluxo de materiais, de atividades e de processos dentro do canteiro de obras (CORREA, 2018). Nesse sentido, a adoção da *Lean Construction* (construção enxuta), visa eliminar ou reduzir consideravelmente essas limitações do setor (DOS REIS *et al.*, 2017).

É importante ressaltar a necessidade de aplicar aos processos de construção civil os princípios da Produção Lean a partir do pressuposto básico de que a construção é um tipo especial de produção com suas próprias peculiaridades (LESSING, 2006). Projetos únicos e organizações temporárias muitas vezes impedem a obtenção de fluxos tão eficientes quanto os da manufatura. Porém, a aplicação apropriada dos princípios gerais da produção enxuta de controle e melhoria do fluxo ainda deve gerar como resultado as melhorias esperadas (CROWLEY, 1998).

A principal diferença entre a filosofia gerencial tradicional da construção civil e a construção enxuta é conceitual (FORMOSO, 2002). No modelo tradicional da construção, a produção é definida como um conjunto de atividades de conversão, que transformam insumos (*inputs*) em

produtos (*outputs*), sendo analisadas apenas as atividades que agregam valor ao processo (KOSKELA, 1992). Na construção enxuta, o processo é visto como um fluxo de materiais e de mão de obra e como um processo de geração de valor, que leva em consideração todos os acontecimentos durante o processo, desde seleção da matéria-prima até o produto final (KOSKELA, 2000). Dessa forma, assim como na produção enxuta, o desperdício passa a ser entendido na construção como toda a atividade que consome recursos e que gera custos, porém que não agrega valor ao produto final (SARCINELLI, 2008 *apud* DOS REIS, *et al.*, 2017). Conforme definido por Koskela (1992), essa mudança traz a consideração das atividades que não agregam valor, como transporte, estoque e inspeção, como parte do processo, permitindo uma análise completa das atividades que restringem o desempenho do sistema, propiciando o atingimento de melhorias substanciais.

Com base no trabalho de Koskela (1992), Formoso (2002) apresenta alguns dos princípios da Construção Enxuta, podendo ser destacados: o aumento do valor do produto, através da consideração das necessidades dos clientes internos e externos; a redução do tempo de ciclo, através da identificação e eliminação de tempos improdutíveis das atividades que não agregam valor, visando a redução dos desperdícios e uma entrega mais rápida aos clientes internos e externos; e a simplificação do produto, através da redução do número de partes e de passos no processo. Ainda, pode ser considerado um dos princípios a introdução do conceito da melhoria contínua, através da busca pelo aperfeiçoamento do processo, disponibilizando ações corretivas e preventivas (CORREA, 2018).

Por outro lado, Crowley (1998) afirma que o ponto chave para a produção na construção civil não está no fluxo contínuo, mas na consistente e completa permutabilidade dos componentes, bem como na simplicidade da ligação entre eles. Segundo o autor, esse deve ser o ponto de partida para o setor. Apesar da construção industrializada de pré-fabricados estar no centro da transição para a construção enxuta, Crowley (1998) ainda reforça que para atingir os ganhos esperados em um projeto, além da aplicação dos princípios *Lean*, os conhecimentos de fabricação e montagem devem ser utilizados para auxiliar as atividades de projeto a montante da cadeia.

Estudos realizados sobre a aplicação da mentalidade enxuta na construção civil apresentam diversas vantagens alcançadas, como o aumento da produtividade, a redução no tempo de execução das atividades, a redução dos desperdícios no canteiro de obras e o aumento da

satisfação dos clientes finais, entre outros (DOS REIS *et al.*, 2017). Isso comprova que a eliminação de todos os tipos de desperdícios enquanto maximizam-se a eficiência e, conseqüentemente, o valor do projeto estão entre os principais benefícios da *Lean Construction* (PINCH, 2005 apud DOS REIS *et al.*, 2017).

A Construção Enxuta envolve um conjunto de princípios que são todos interligados e devem ser aplicados de forma integrada na gestão do processo na tentativa de alcançar os resultados esperados (MACHADO; HEINECK, 2001 *apud* DOS REIS *et al.*, 2017). O sucesso na execução das obras com a mentalidade enxuta depende fundamentalmente do grau de aprofundamento do planejamento, através da adoção das técnicas construtivas mais produtivas desde as etapas de concepção do projeto, que devem priorizar a análise da obra de uma forma global (CORREA, 2018).

2.2 PRÁTICAS DE DESIGN

Esta seção foi dividida em duas subseções para apresentar de forma completa duas práticas de design a serem utilizadas no projeto de produtos, sendo primeiro apresentado o conceito de *design for assembly* e, posteriormente, o conceito de modularidade.

2.2.1 Design for Assembly

O conceito de *Lean Production*, ou o conceito de *Lean Construction*, na prática, trata com maior ênfase a eficiência e os custos após o produto chegar no chão de fábrica ou no canteiro de obra, tendo um foco menor no impacto que pode ser gerado pelo processo de design. Para obter um maior resultado, os esforços para redução e corte de custos precisam ser levados para a fase de projeto, permitindo que uma metodologia quantitativa, considerando os custos, dite qual o processo mais eficiente para fabricação e montagem (DEWHURST, 2010).

A baixa prioridade dada ao projeto no planejamento de um produto pode ser atribuída ao fato que a maior parcela dos custos do produto está atrelada ao processo de construção do mesmo (BIBBY, 2003). Estudos baseados nos métodos tradicionais de projeto indicam que o custo direto consumido pela fase de projeto é de aproximadamente um décimo do orçamento de um produto manufaturado (O'DRISCOLL, 2002). Em contraste, em torno de 70% do custo do produto é determinado durante essa fase (DEWHURST, 2010).

Um desempenho insatisfatório pelo processo de design gera um impacto negativo significativo no desempenho das atividades posteriores da cadeia de suprimentos, bem como no desempenho do produto acabado. Com isso, a causa da maioria dos atrasos e dos defeitos durante a construção do projeto podem ser atribuídos a falhas no projeto (JOSEPHSON, 1996; BEDC, 1987 *apud* BIBBY, 2003).

O design do produto pode ser considerado tanto como um processo de desenvolvimento de um componente, ou sistema, quanto um processo para atender as necessidades de um cliente, e esse processo normalmente é apenas baseado na consideração de funcionalidade do produto (KUO *et al.* 2001), sem existir a preocupação dos custos específicos gerados a partir das decisões de projeto (DEWHURST, 2010). A partir do fim da década de 70, Boothroyd e Dewhurst (1983; 1987 *apud* KUO *et al.*, 2001) conduziram uma série de estudos no conceito de *design-for-assembly* (DFA), traduzido como projetar para a montagem, sendo esse um processo em que se considera todas as restrições de montagem desde o início da fase de projeto. Os autores Wu e O'Grady (1999 *apud* KALYUN; WODAJO, 2012) definem o objetivo do DFA como obter um projeto que garanta que a montagem ocorra de forma eficiente e econômica, sendo levadas em conta todas as atividades de suporte relacionadas e todas as operações necessárias para a montagem ainda durante o processo de projeto.

Ao longo da montagem de um produto, como as estruturas metálicas, dois dos principais fatores que influenciam o custo desse processo são: o número total de partes e a facilidade de manuseio e fixação dessas partes. Para reduzir o custo da montagem é necessário ou evitar completamente algumas operações ou, pelo menos, simplificá-las. (KUO *et al.*, 2001).

Boothroyd e Dewhurst (1987 *apud* KUO *et al.*, 2001) definem que, através de critérios básicos de DFA, a existência de cada componente separadamente deve ser questionada e deve ser exigido que o projetista forneça as razões pelas quais o mesmo não pode ser eliminado ou combinado com outros. Kuo *et al.* (2001) ainda afirmam que, mesmo após todos os estudos sobre esse conceito de design, o guia básico para DFA continua sendo o mesmo. O foco da prática está em reduzir o número de partes, de movimentos e possíveis direções de montagem, de conexões e de variações de design, garantindo, assim, a facilidade na fase de montagem.

A simplificação do design com redução do número de partes resulta em uma grande economia de custo devido a diversos fatores, como: a menor quantidade de material sendo utilizado, a maior facilidade de montagem e o maior controle de estoque, sem comprometer a qualidade do

produto final. Além disso, outra característica do DFA é padronização, focando em utilizar partes e materiais em comum. Essa padronização de partes também padroniza as operações de manuseio e de montagem, tornando esse processo mais eficaz em decorrência do mais fácil aprendizado por parte do operador. (KALYUN; WODAJO, 2012).

Os autores Kalyun e Wodajo (2012) ainda descrevem como foco do conceito DFA a redução dos movimentos ou dos esforços manuais que não agregam valor durante o manuseio e montagem das peças. Isso se torna crucial para economizar tempo durante a fase de montagem. Por fim, ainda é citada a atenção necessária em projetar conexões eficientes. As conexões de forma separada possuem um baixo valor funcional e a execução do processo de conexão consome tempo, além de ser um processo difícil de automatizar, reforçando a necessidade da utilização de DFA para reduzir a complexidade da montagem.

O conceito de *design-for-assembly*, segundo Kuo *et al.* (2001), é baseado na premissa que o mais baixo custo de montagem pode ser atingido se o produto for projetado visando o mais apropriado sistema de montagem. O autor ainda cita que a implementação do DFA resulta em grandes benefícios que incluem a simplificação do produto, a redução dos custos de montagem, o aumento da qualidade e da confiabilidade do produto e a redução do tempo de mercado.

Outro efeito benéfico resultante do uso desse método está em as equipes de projeto realmente entenderem o custo do produto antes da produção do mesmo, através do conhecimento dos materiais, maquinário e tempo necessários para a execução. A compreensão dos custos antes da fabricação permite que a equipe tome as decisões de projeto entendendo o quanto podem influenciar nos custos finais do produto (DEWHURST, 2010).

Ainda, um dos principais benefícios do DFA está em reduzir os trabalhos de construção do campo. Ao remover as atividades do canteiro e colocá-las em um ambiente de fábrica resulta-se em um significativo impacto na qualidade do produto e na segurança dos colaboradores (DAVIES, 2013).

O processo de projeto de um produto tem um impacto mais significativo no custo do que qualquer intervenção que possa ser feita para melhorar a eficiência da fabricação ou da montagem após o produto entrar para a produção. A análise de DFA pode orientar os esforços de redução de custos no início da fase de projetos, de modo que a filosofia *Lean* possa ser implantada desde a concepção do produto (DEWHURST, 2010).

2.2.2 Modularidade

A modularidade de um produto também é declarada como uma meta das boas práticas de design de projeto, porém ainda não foi tão cuidadosamente estudada quanto *design-for-assembly* e outras práticas (ULRICH, 1994). O conceito baseia-se na ideia de decompor um sistema em subsistemas funcionalmente independentes, minimizando, assim, sua interdependência. (BALDWIN; CLARK, 2000). Ainda, é focado na ideia de dividir um produto em partes gerenciáveis, chamados de módulos, que usam uma forma padrão de interação entre si (GERSHENSON *et al.*, 2003).

Ulrich (1994) afirma que essa independência entre os módulos é justamente o que permite a permutabilidade e a padronização. Ou seja, permite que uma empresa padronize componentes e crie variedade de produtos.

A permutabilidade obtida através da modularidade é vista na habilidade de criar uma grande variedade de produtos finais construídos a partir de um conjunto muito menor de componentes diferentes. Ainda, a modularidade aumenta a facilidade com que um produto pode ser alterado ou que seus componentes podem ser melhorados (ULRICH, 1994).

A padronização permite que a produção de parte do produto seja feita em volume a partir de módulos padrão, alcançando a customização de produto através da combinação ou alteração desses módulos (DURAY, 2000), o que torna essencial, também, a padronização da interface dos componentes (LESSING, 2006). Além disso, essa característica permite que os custos com o desenvolvimento do produto sejam amortizados através do grande número de unidades produzidas, permitindo o desenvolvimento de tecnologias para fabricação dos produtos visando uma produção de maior volume e com maior eficiência (ULRICH, 1994). Portanto, os módulos padrão que serão utilizados no produto personalizado podem ser fabricados utilizando técnicas de produção de alto volume. Ulrich (1994) ainda declara que essa característica aproveita o aumento da confiabilidade e a melhora no desempenho que geralmente ocorrem em um componente padrão de alto volume. Como apontado por Duray (2000), o fato dos módulos serem padronizados é o que permite que os produtos finais, mesmo sendo customizados, atinjam o baixo custo e a qualidade consistente associados à produção repetitiva. Porém, ainda existem poucos métodos sendo utilizados para decidir o quanto de padronização é considerado um nível ótimo.

A adoção da modularidade como um conceito de design de produto ainda traz uma variedade de benefícios que podem ser avaliados em relação a diversos fatores como as economias obtidas durante projeto e produção dos produtos, a capacidade de resposta do cliente, ou, ainda, a organização e operação dos sistemas de projeto e produção (ULRICH, 1994). Além dos benefícios já mencionados em relação a padronização e permutabilidade, ainda podem ser listados: simplificação do processo de design, diminuição do prazo de entrega de projetos e simplificação no processo de manutenção e substituição de módulos (GERSHENSON *et al.* 2003). Ainda, se realizada adequadamente, é esperado que a modularização acelere a inovação de produtos, através da inovação de módulos, dentro do componente, e inovação modular, pela mistura e combinação de módulos (BALDWIN; CLARK, 2000).

Outra característica apresentada pelos pesquisadores está em não utilizarmos esse conceito para classificar produtos como modulares ou não. Para Ulrich (1994), a modularidade é uma propriedade relativa, ou seja, os produtos podem exibir mais ou menos modularidade no seu design. O autor ainda define que a modularidade é dependente de duas características do design: a similaridade entre a arquitetura física e funcional do produto e a minimização de interações incidentais entre os componentes físicos. Com isso, o design se torna mais modular conforme a descrição funcional é espelhada pela arquitetura física e conforme as interações incidentais são eliminadas. He e Kusiak (1996), conforme citado por Gershenson *et al.* (2003), definem a modularidade como uma estratégia para organizar produtos complexos e processar produtos de forma eficiente. Os autores ainda afirmam que um sistema modular consistiria em módulos projetados independentemente, mas que funcionam como um todo integrado. Considerando essas características, Ulrich (1994, p. 222) define:

Um projeto completamente modular incorpora uma correspondência um-para-um entre cada elemento funcional do projeto e um único componente físico, no qual cada interação entre os componentes é crítica para a função do sistema.

Ainda há discussão na literatura quanto à composição dos módulos. Enquanto a ideia mais aceita é de que os módulos devem ser compostos conforme a estrutura funcional do produto, Lehtonen *et al.* (2003) sinalizam que muitos produtos modulares que apresentaram sucesso são separados conforme sua estrutura de montagem. Porém, considerando produtos personalizados, em que atender às necessidades e requisitos do cliente é a prioridade, normalmente exigem uma estrutura modular baseada na função, sendo baseada na montagem somente quando esta se assemelhar à estrutura funcional (LEHTONEN *et al.*; 2003).

Estruturas modulares são apontadas como particularmente benéficas quando os sistemas se tornam tão grandes e com numerosas interdependências entre os seus elementos que os esforços de design integrado se tornam quase impossíveis (PARNAS, 1972; SIMON, 1962 *apud* EHIRAJ; LEVINTHAL, 2004). A utilização da modularidade é considerada uma forma útil de gerenciar a complexidade de sistemas. Porém, Fleming e Sorenson (2001 *apud* EHIRAJ; LEVINTHAL, 2004) alertam que os produtos que apresentam as inovações mais úteis são aqueles com níveis intermediários de modularidade.

Considerando os sistemas de estruturas de aço, eles são considerados mais modulares quando compreendem um conjunto mais padronizado de componentes e uma interface mais padronizada entre os componentes (ULRICH, 1994). Isso pode ser alcançado no projeto do sistema estrutural ou definindo lotes de produção ou de montagem que são repetitivos (VIANA *et al.*, 2017). Outra característica importante observada em componentes com uma alta padronização é o gerenciamento das tolerâncias. Conforme estudo realizado por Viana *et al.* (2017), o controle rígido das tolerâncias resulta em uma redução das incertezas do projeto, além de ser um fator determinante para a redução do número de etapas no processo de montagem, o que gera um impacto positivo através do aumento da produtividade e da redução do tempo de ciclo.

Enquanto os problemas decorrentes da produção no canteiro de obras podem ser reduzidos com a utilização de produtos pré-fabricados, os problemas que surgem da utilização de produtos customizados, característicos de empresas com sistemas ETO, podem ser atenuados com o uso de produtos pré-engenheirados e modularizados (SEGERSTEDT; OLOFSSON, 2010 *apud* VIANA *et al.*, 2017). Porém, como Lehtonen *et al.* (2003) afirmam, a modularidade do produto não pode ser considerada como uma estratégia isolada para o desenvolvimento de produtos, já que gera grandes exigências para processos, incluindo alta comunicação interna e competência de pessoal. Por isso, os autores sugerem que os benefícios da modularização devem ser considerados para todo o sistema de produção.

O processo de industrialização do setor da construção civil, com foco no aumento da eficiência e no controle da qualidade, exige a disposição de um maior tempo para a fase de projeto dos produtos que o sistema tradicional. Isso possibilita uma redução no tempo necessário para montagem e para trabalhos suplementares (JÜRISOO; STAAF, 2006). Conceitos como Design-

for-assembly e modularidade são classificadas como boas práticas de design necessárias para atingir tais objetivos.

2.3 CONEXÕES ENTRE ESTRUTURAS METÁLICAS

Adotando a perspectiva da modularidade do produto, segundo Viana *et al.* (2017), a estrutura de aço de um edifício pode ser pensada, não como um projeto integral, mas como uma conexão de um módulo de viga para um módulo de coluna. Jürisoo e Staaf (2006) definem essas conexões estruturais como a zona de ligação entre duas ou mais partes de um edifício. Nas construções metálicas, as conexões são partes importantes quando se trata de tempo e custo de montagem.

Durante o projeto de uma conexão frequentemente é necessário um compromisso entre várias demandas e requisitos. Por exemplo, a conexão deve ser capaz de suportar todas as ações sujeitas a ela, se encaixar adequadamente em seu ambiente, além de ser durável e de baixo custo (JÜRISOO; STAAF, 2006).

Segundo Jürisoo e Staaf (2006), a conexão deve ser capaz de transferir as ações de projeto, sendo capaz de resistir a forças de tensão, compressão, cisalhamento ou momento fletor, ou ainda uma combinação de duas ou mais dessas forças. Além disso, as conexões devem ser fortes o suficiente para evitar um colapso progressivo da edificação, mesmo que um elemento falhe. Sendo, ainda, necessário executar essa finalidade durante sua vida útil, garantindo a característica de durabilidade da conexão. Por fim, um dos fatores mais importantes da construção industrializada diz respeito às tolerâncias de projeto. Algum nível de tolerância se torna necessária para fazer com que as conexões se encaixem com os demais elementos construtivos, garantindo tolerâncias compatíveis entre os mesmos. Se a peça não for fabricada com precisão, pode não ser possível executar a conexão como pretendido.

A NBR 8800/08, Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, determina que as ligações metálicas consistam de elementos de ligação, como enrijecedores, chapas de ligação e cantoneiras, e meios de ligação, como soldas, parafusos e pinos. A partir desses elementos e meios, as ligações metálicas podem ser executadas de formas diferentes para ligações pilar-viga: totalmente soldada, com chapa de topo, com chapa de corte, com dupla cantoneira e com cantoneiras de alma e de assento. Para as ligações pilar-pilar ou viga-viga podem ainda ser utilizadas as talas (chapas) de ligação.

Na fase de cálculo da estrutura metálica é avaliada a rigidez das ligações, determinando, assim, se deve ser utilizada uma ligação rígida, semirrígida ou flexível. A ligação rígida exige a consideração dos efeitos combinados de todos os esforços solicitantes de cálculo, sendo necessário impedir a rotação relativa das partes, utilizando opções como ligações com chapa de topo ou com talas. Por outro lado, a ligação flexível exige que a peça tenha sua rotação em torno do seu eixo longitudinal seja impedida, podendo ser utilizada a opção de ligação com dupla cantoneira, por exemplo, ou chapa de corte. Nas Figuras 1 a 5 é possível verificar exemplos de algumas das ligações previamente citadas.



Figura 1 - Talas de Ligação em conexões pilar-pilar

(fonte: fornecido pela Empresa X)

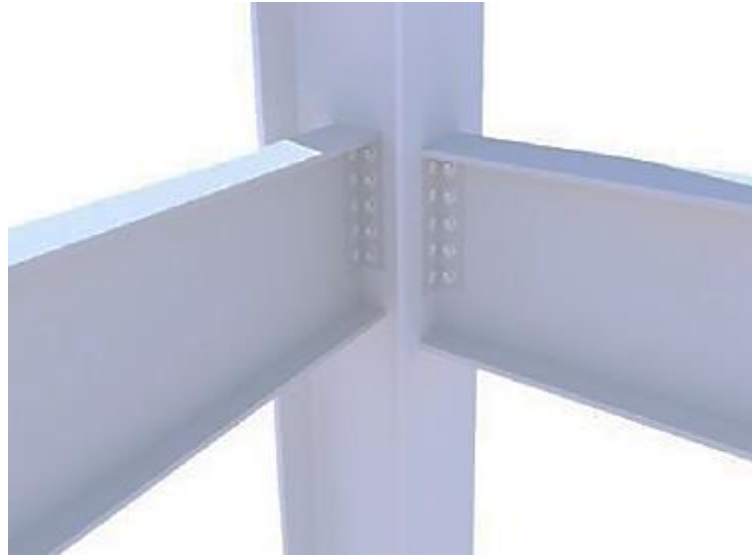


Figura 2 - Dupla Cantoneira de Alma em conexões pilar-viga

(fonte: fornecido pela Empresa X)

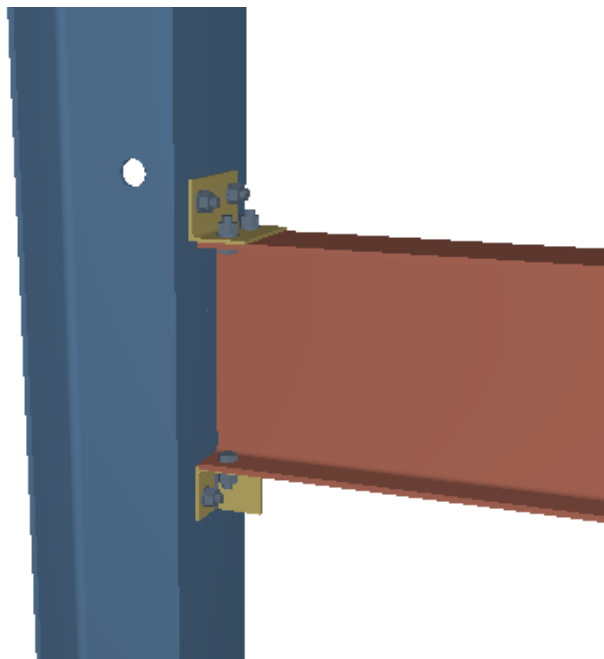


Figura 3 - Dupla Cantoneira de Assento em conexões pilar-viga

(fonte: fornecido pela Empresa X)

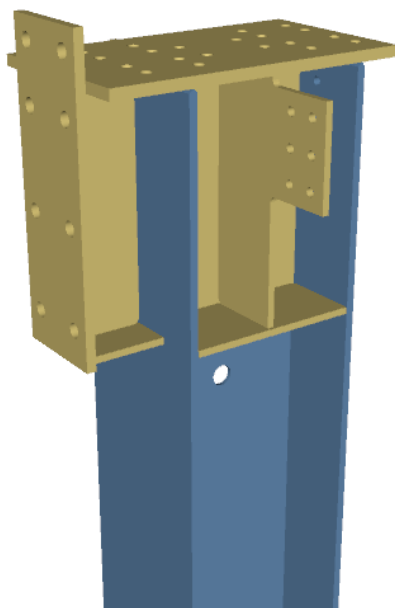


Figura 4 - Chapa de topo e chapa corte soldadas em pilar

(fonte: fornecido pela Empresa X)

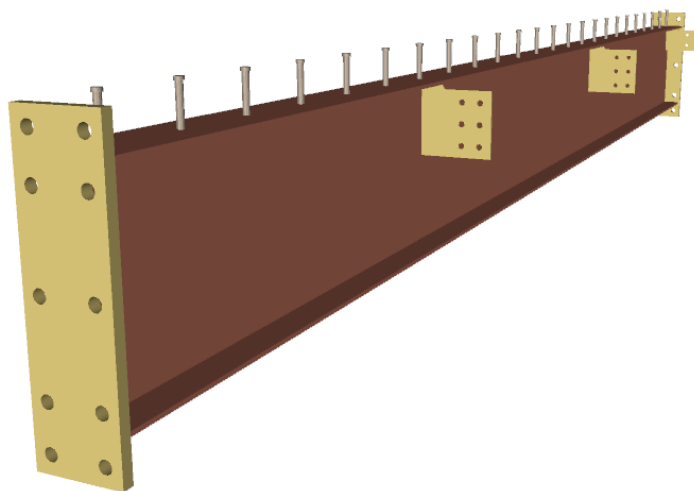


Figura 5 - Chapa de topo e chapa corte soldado em viga

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Nas estruturas metálicas, a partir do desenvolvimento de um sistema de conexão pilar-viga modular, foi fundada a empresa americana ConXtech. Visando a comercialização desse produto, a estratégia comercial da empresa evoluiu para o fornecimento de estruturas metálicas customizadas (VIANA *et al.*, 2017). A ConXtech desenvolveu uma abordagem sistemática para projetar utilizando as vantagens de componentes estruturais padronizados, produzindo um sistema estrutural simplificado que, simultaneamente, atende aos critérios estruturais necessários (JJENG, 2011 *apud* KALYUN; WODAJÓ, 2012).

Para reduzir a complexidade da construção, a ConXtech adotou algumas estratégias relacionadas à modularidade de produto e de processo. São utilizados componentes com dimensões previamente definidas, desacoplando problemas de projeto, além de existir uma redução no número de peças e de etapas no processo de montagem e uma redução de incertezas devido ao controle das tolerâncias (VIANA *et al.*, 2017). Ainda segundo Viana *et al.* (2017), a estratégia principal da empresa está na definição de um sistema estrutural com componentes padronizados, estabelecendo um número de restrições de design. Essas restrições, enquanto são responsáveis pela alta produtividade atingida, podem fazer o sistema parecer inferior em comparação com sistemas tradicionais de estrutura, devido à menor flexibilidade em termos de dimensões.

Entre os benefícios do sistema modular utilizado pela empresa ConXtech, Kalyun e Wodajo (2012) citam: a redução do tempo e custo de montagem devido à simplicidade e à precisão dos métodos de conexão; a eliminação da necessidade de soldagem em campo; a redução dos riscos associados à montagem local; a redução do desperdício e das emissões de carbono devido à tecnologia utilizada na produção.

O estudo feito por Viana *et al.* (2017) mostra que a produtividade dos projetos da ConXtech é muito maior do que de métodos convencionais de estruturas metálicas, porém os custos são quase os mesmos, devido ao alto custo de fabricação do sistema. Enquanto é possível obter um maior controle sobre os recursos e sobre o lead time do processo de montagem, a utilização desse sistema modular pode resultar em um superdimensionamento de componentes estruturais, visando se adequar nas opções disponíveis de conexões.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve o desenvolvimento do processo de pesquisa em todas as suas etapas, bem como o método de pesquisa utilizado neste trabalho. Inicialmente, é apresentada a estratégia de pesquisa adotada, seguido do delineamento de pesquisa. Por fim, são apresentadas as técnicas utilizadas na coleta e análise dos dados dos estudos de caso desenvolvidos.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Este trabalho surgiu do interesse de entender o processo da definição sobre qual ligação entre estruturas metálicas deve ser utilizada para um determinado projeto feito pela empresa, buscando respostas para como a decisão é tomada e os motivos que levam a ela, e da necessidade de mensuração das consequências que essa decisão acarreta. Para isso, decidiu-se adotar como estratégia de pesquisa o estudo de caso. Essa é uma das estratégias de pesquisa utilizadas nas ciências sociais e sua escolha é definida a partir de três condições: qual o tipo de pergunta da pesquisa, quanto controle o pesquisador tem sobre o evento e se a pesquisa será focada em acontecimentos atuais ou passados (YIN, 2009).

Yin (2009) define que pesquisas que tem como perguntas “como” e “por que” são pesquisas mais explicativas e tendem a usar experimentos, estudos de caso ou histórias como estratégia. O autor ainda explica que, entre esses métodos, o estudo de caso é preferido ao examinar eventos contemporâneos, mas quando os comportamentos relevantes ao evento não podem ser manipulados, podendo, além de explicativa, ser uma estratégia exploratória e descritiva.

Uma característica única do estudo de caso é a sua necessidade de lidar com uma variedade completa de evidências, como documentos, observações e entrevistas, incluindo evidências quantitativas e qualitativas. Isso torna o estudo de caso uma estratégia abrangente de pesquisa, não representando apenas uma amostra, mas tendo como objetivo expandir e generalizar teorias de forma analítica (YIN, 2009), compreendendo os fenômenos em sua totalidade.

A essência de um estudo de caso está em buscar esclarecer uma decisão no por que ela foi tomada, como ela foi implementada, e quais foram os resultados (SCHRAMM, 1971). Para Yin (2009), é uma investigação empírica de um evento contemporâneo inserido em um contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o evento e o contexto não estão claramente definidos. Em outras palavras, um estudo de caso é utilizado quando se busca abranger as

condições de contexto do problema – considerando-se que estas são extremamente pertinentes ao fenômeno em estudo (YIN, 2009).

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa está apresentado na Figura 6, sendo o seu conteúdo dividido em quatro etapas:

- a) Revisão Bibliográfica;
- b) Fase de Compreensão;
- c) Fase de Desenvolvimento;
- d) Fase de Análise e Reflexão.

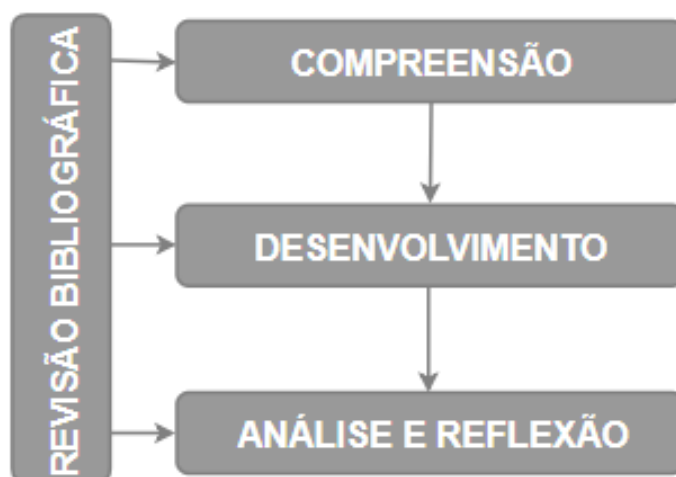


Figura 6 - Diagrama geral de delineamento da pesquisa

(fonte: elaborada pela autora)

A revisão bibliográfica, primeira etapa do trabalho, foi desenvolvida ao longo de todo o trabalho, com o objetivo de obter a fundamentação teórica necessária para o embasamento do estudo. Através da pesquisa em materiais como teses, artigos e livros técnico, buscou-se compreender temas como: a aplicação dos conceitos de gestão de produção focados para a construção civil, de *design for assembly* e de modularidade.

A etapa de compreensão teve como principal objetivo entender o contexto que a Empresa X se encontra, a fim de melhor analisar as dificuldades que ainda enfrenta em seu processo. Além disso, buscou-se compreender o fluxo de informações entre os setores da empresa e o

relacionamento entre o setor de montagem com os demais setores. Ainda, essa fase teve como finalidade a definição das ligações entre estruturas metálicas que seriam analisadas, bem como as obras que seriam utilizadas no trabalho. Os critérios de seleção dos projetos para definição dos estudos de caso foram: obras de estruturas de múltiplos andares, no mercado nacional e internacional da Empresa X e com possibilidade de realizar medições durante a execução da produção e da montagem.

A etapa de desenvolvimento consistiu na fase de levantamento e análise dos dados dos estudos de caso. Foram feitas entrevistas nos setores de Engenharia, de Fabricação, de Logística e de Montagem da Empresa X, a fim de compreender o processo de execução das ligações para cada setor, mapeando o tempo de produção de cada uma, e os impactos que essas peças podem causar nos custos e nos prazos do setor. Para cada obra definida como estudo de caso foram feitas análises de registros de processo e resultados dos setores. Além disso, foram realizadas medições em relação ao tempo para içamento de uma peça e a produtividade das equipes de montagem. Essa fase ainda consiste na compilação de todas as informações obtidas.

Por fim, segue a etapa de análise e reflexão, onde foi realizada uma análise de forma estruturada dos dados levantados a fim de compreender qual das soluções apresenta melhores resultados para a Empresa X de acordo com as características do projeto. Isso foi feito a partir da avaliação conjunta dos dados, identificando as perdas e ganhos de cada setor na execução de cada ligação. Foram, também, avaliados os impactos gerados por eventuais mudanças no processo. Finalmente, foram apresentados os problemas identificados no processo e os pontos de melhoria.

3.2 FONTES DE EVIDÊNCIA

Neste trabalho, serão utilizadas cinco diferentes fontes de evidência, apresentados em resumo na Tabela 1:

- Entrevistas: Foram realizadas entrevistas abertas e semi-estruturadas, com duração aproximada de 1 hora cada, com gerentes e coordenadores dos principais setores da empresa, ao longo da fase de Desenvolvimento do estudo, com a finalidade de compreender os processos de concepção, de fabricação, de transporte e de montagem das conexões metálicas. Além disso, as entrevistas buscaram obter as percepções pessoais dos funcionários sobre o funcionamento do processo e as dificuldades ou vantagem percebidas por eles.

- **Análise de Documento:** Os documentos da Empresa X foram utilizados visando a compreensão do processo, bem como na obtenção de informações acerca das obras avaliadas. Foram avaliados projetos, contratos e relatórios de obra durante as fases de Compreensão e de Desenvolvimento da pesquisa.
- **Observações Diretas:** Durante a fase de Desenvolvimento do trabalho, foram realizadas vistas à fábrica da Empresa X visando compreender o processo nos setores, a partir da participação da pesquisadora como observadora.
- **Observação Participante:** Também durante a fase de Desenvolvimento do trabalho, foram realizadas vistas às obras da Empresa X visando compreender o processo nos setores, a partir da coleta de dados.
- **Registro fotográfico:** Feito o registro fotográfico da fábrica e das obras, a fim de auxiliar no entendimento do processo.

Tabela 1 – Fontes de Evidência

| Fonte de Evidência | | Caso 1 | Caso 2 | Objetivo | Observação |
|-------------------------|---|---------|---------|----------|--|
| Entrevistas | Engenharia | 2x | 1x | 1 e 2 | Realizada uma entrevista principal com as equipes no início do desenvolvimento e entrevistas menores ao longo do trabalho. |
| | Fábrica | 1x | 1x | 1 e 2 | |
| | Logística | 1x | 2x | 1 e 2 | |
| | Montagem | 2x | 2x | 1 e 2 | |
| | Apontamentos de produção | 1x | 1x | 2 | |
| Análise de Documento | Relatório de produção | Diário | Semanal | 2 | Realizada durante o período de produção do projeto. |
| | Análise de embarque | Diário | Semanal | 2 | Realizada durante o período de envio de material para a obra. |
| | Relatórios de obra | Semanal | Semanal | 2 | Realizada durante o período de montagem do projeto. |
| | Documentos gerais da obra | 1x | 1x | 2 | |
| Observação Direta | Acompanhamento da produção e de embarques | 2x | 2x | 1 | Realizada durante as visitas à fábrica. |
| Observação Participante | Reunião de Obras | Semanal | Semanal | 2 | Realizada durante o período de produção do projeto. |
| Registro Fotográfico | Da fábrica | 2x | 2x | 1 e 2 | Realizado durante as visitas à fábrica. |
| | Das obras | Diário | Semanal | 1 e 2 | Realizado durante o período de montagem do projeto. |

- *Objetivo 1: Entender o processo interno e a influência das ligações entre estruturas metálicas;
- *Objetivo 2: Obter informações sobre os setores e dados dos estudos de caso.

(fonte: elaborado pela autora)

3.3 ESTUDOS DE CASO

Neste trabalho foram realizados dois estudos de caso avaliados neste trabalho, descritos a seguir.

3.4.1 Estudo de Caso I

O empreendimento estudado, abaixo na Figura 7, trata-se de uma ampliação de um terminal de passageiros com 49.878 m² de área construída. A estrutura do prédio é metálica e compreende os pilares, vigas, escadas e estrutura de cobertura, com exceção das telhas, incluindo, também, tubos metálicos para realização do fechamento lateral. Além disso, o empreendimento utilizou o sistema de steel deck para execução das lajes.

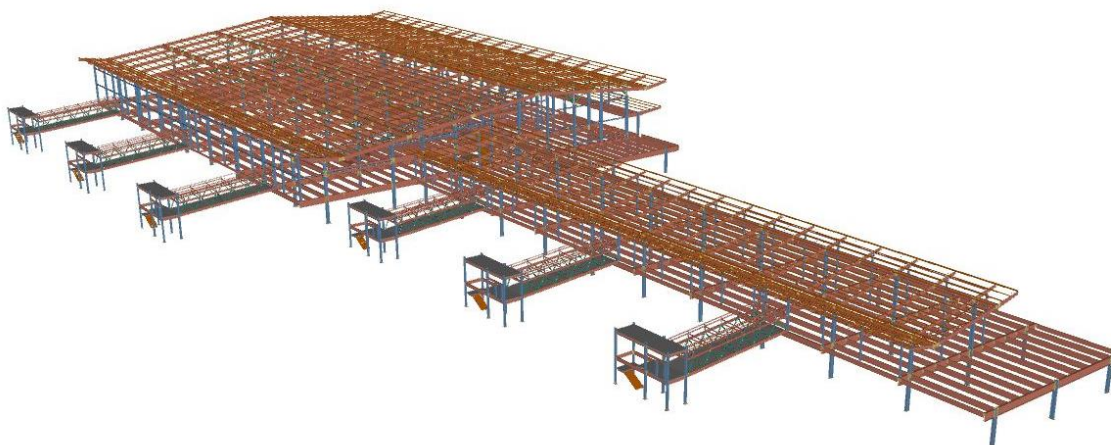


Figura 7 - Modelo 3D do empreendimento (Estudo de Caso I)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

A Empresa X foi a responsável pelos projetos da obra, tanto de fabricação quanto de montagem, pela fabricação, pelo envio dos materiais até o canteiro, e pela montagem da estrutura, sendo essa executada por uma empresa terceirizada. A obra foi dividida em 28 etapas, seguindo a sequência de montagem, com cada etapa compreendendo entre 1 e 2 eixos do prédio. Na Figura 8 é possível identificar a separação das etapas do prédio principal. A definição do estudo de

caso ocorreu enquanto o projeto estava simultaneamente na etapa de projeto e de montagem, o que ocorreu a partir do mês de Junho de 2018.

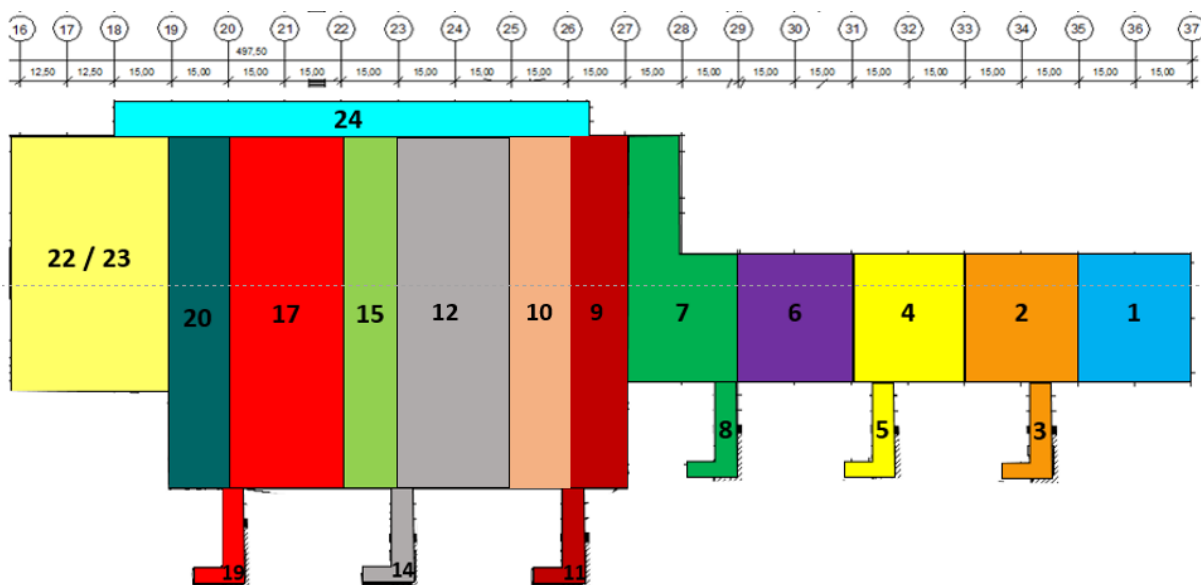


Figura 8 - Divisão de etapas do empreendimento (Estudo de Caso I)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Na fase de detalhamento da obra foi definida a utilização das chapas de topo e chapas de corte como conexões entre as peças metálicas. As Figuras 9 a 13 apresentam as ligações típicas da obra para encontros de pilar com pilar, de pilar com viga e de viga com viga, com os dois modelos de chapa.

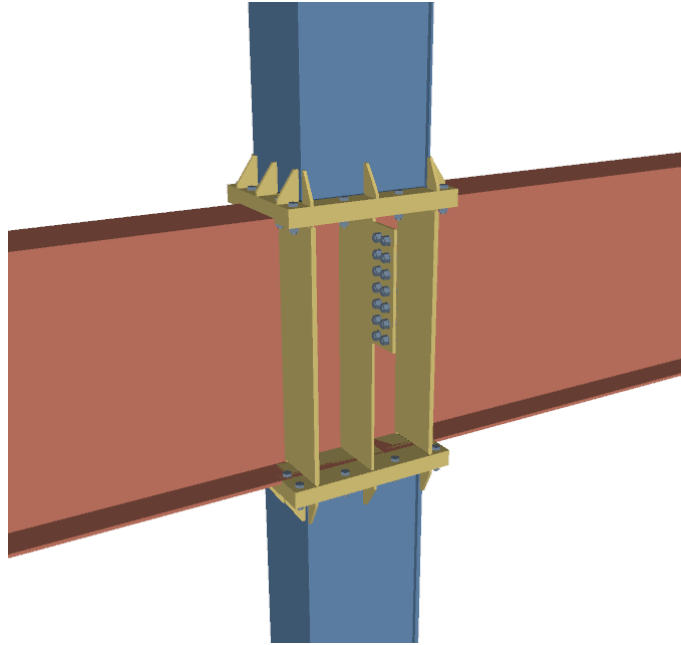


Figura 9 - Ligação típica pilar-pilar (Estudo de Caso I)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

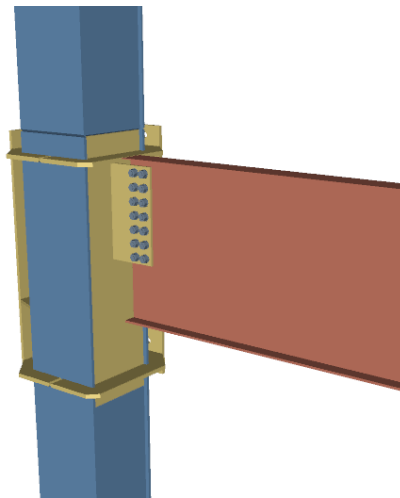


Figura 10 - Ligação típica pilar-viga com chapa de corte (Estudo de Caso I)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

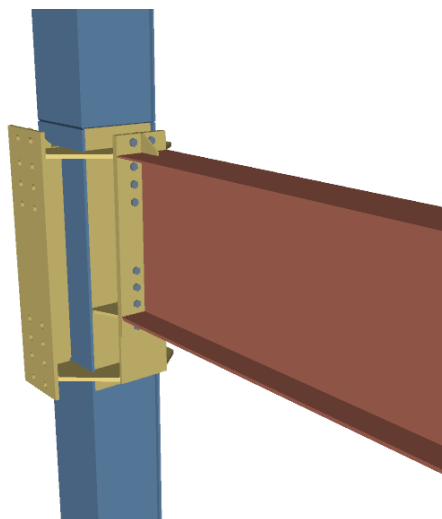


Figura 11 - Ligação típica pilar-viga com chapa de topo (Estudo de Caso I)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

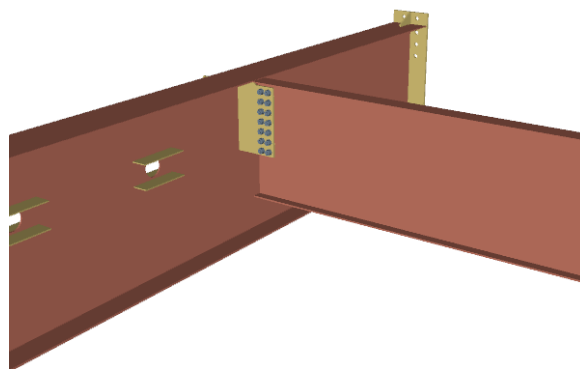


Figura 12 - Ligação típica viga-viga com chapa de corte (Estudo de Caso I)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

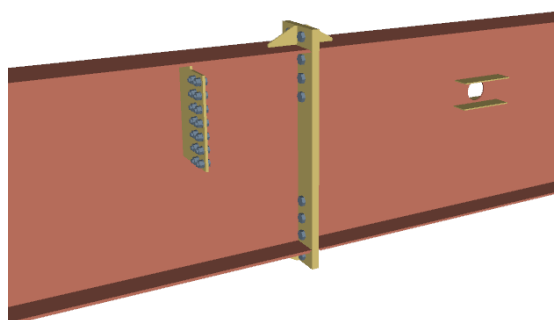


Figura 13 - Ligação típica viga-viga com chapa de topo (Estudo de Caso I)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Durante o estudo, foram realizadas visitas na fábrica, a fim de acompanhar e entender o processo de fabricação das peças, principalmente o processo de furação e corte das chapas para conexão e de soldagem delas nas peças. As informações foram levantadas a partir da análise de documentos, de observações diretas e de registros fotográficos. Além disso, foram realizadas reuniões informais com responsáveis pelo projeto no setor da engenharia para entendimento das características do projeto e os documentos referentes aos embarques da obra foram analisados. Por fim, as medições em obra foram realizadas durante a fase de montagem, a partir de observações participativas, o que, junto das entrevistas com os responsáveis, ocorreu durante o mês de Setembro de 2018.

3.4.2 Estudo de Caso II

O empreendimento avaliado, apresentado na Figura 14, é um complexo hoteleiro, localizado fora do Brasil, com 39.262 m² de área construída e constituído de 8 prédios, cada um com 8 andares. Toda a estrutura dos prédios é metálica e compreende os pilares, vigas, contraventos e escadas. Como o Estudo de Caso I, este empreendimento também utilizou o sistema de steel deck para execução das lajes, porém não inclui as estruturas de cobertura.



Figura 14 - Modelo 3D do empreendimento (Estudo de Caso II)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

A Empresa X foi a responsável pelos projetos da obra, tanto de fabricação quanto de montagem, pela fabricação, pela logística de envio dos materiais até o país específico e pela supervisão da

montagem em obra. A execução da montagem foi de responsabilidade de uma empresa local, sem experiência previa de montagem de estrutura metálica, porém com grande oportunidade de evolução do conhecimento devido a curva de aprendizagem, por se tratar de uma obra longa.

Cada um dos prédios foi dividido em 3 etapas, seguindo a sequência de montagem, com cada etapa compreendendo 2 ou 3 andares do prédio e finalizando na emenda dos pilares. A Figura 15 apresenta esta separação, com uma cor por etapa da obra. A definição deste estudo de caso ocorreu já após o início da montagem da obra, porém enquanto ainda existiam diversas etapas em fase de engenharia e de fabricação.

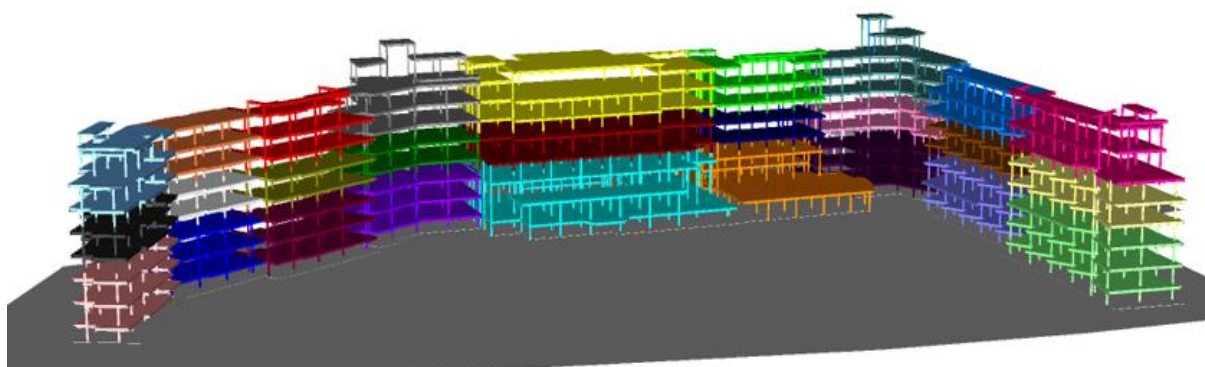


Figura 15 - Divisão de etapas do empreendimento (Estudo de Caso II)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Na fase de detalhamento da obra foi definida a utilização das chapas de topo e chapas de corte como conexões entre as peças metálicas. As Figuras 16 a 20 apresentam as ligações típicas da obra para encontros de pilar com pilar, de pilar com viga e de viga com viga, com os dois modelos de chapa.

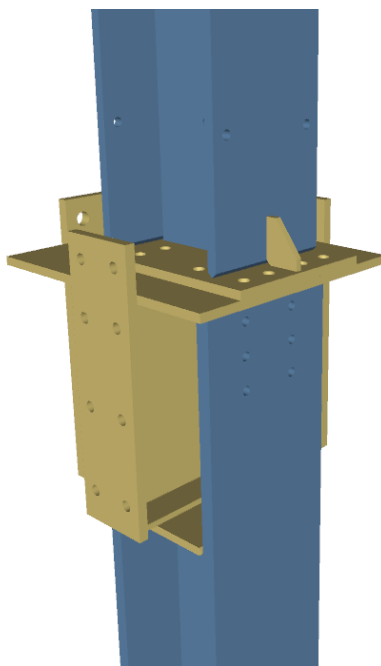


Figura 16 - Ligação típica pilar-pilar com chapa de topo (Estudo de Caso II)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

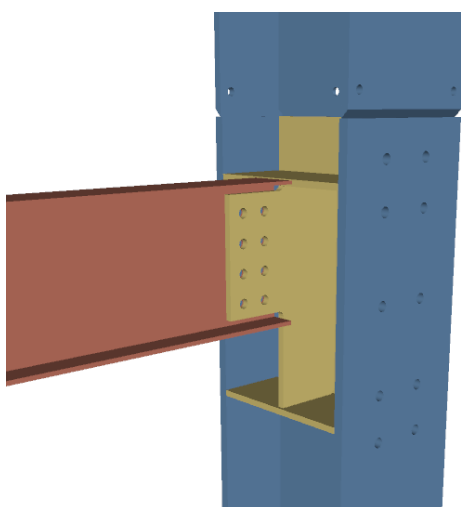


Figura 17 - Ligação típica pilar-viga com chapa de corte (Estudo de Caso II)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

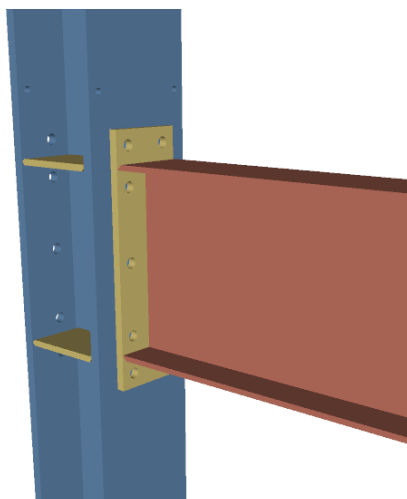


Figura 18 - Ligação típica pilar-viga com chapa de topo (Estudo de Caso II)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

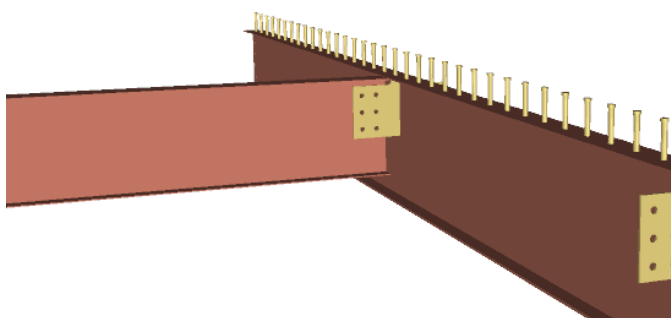


Figura 19 - Ligação típica viga-viga com chapa de corte (Estudo de Caso II)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

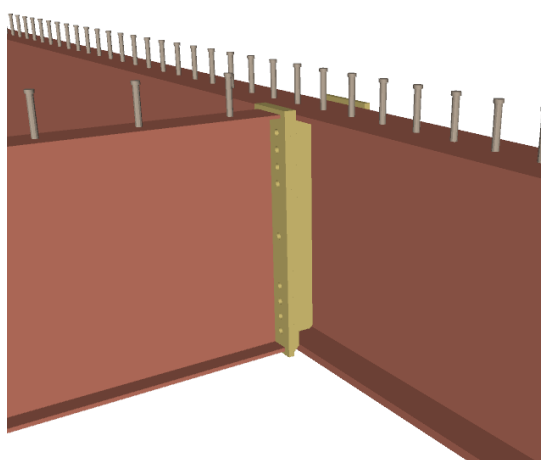


Figura 20 - Ligação típica viga-viga com chapa de topo (Estudo de Caso II)

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Durante o estudo, foram realizadas visitas na fábrica, a fim de acompanhar e entender o processo de fabricação das peças, principalmente o processo de soldagem das chapas nas peças e de carregamento das peças. As informações foram levantadas a partir da análise de documentos, de observações diretas e de registros fotográficos. Além disso, foram realizadas reuniões informais com responsáveis pelo projeto no setor da engenharia para entendimento das características do projeto. Por fim, as medições foram realizadas durante a fase de montagem, durante o mês de Setembro de 2018.

4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Nesse capítulo são apresentadas as informações base do processo produtivo da empresa e as informações relativas ao desenvolvimento das ligações metálicas. Ainda são apresentados os dados levantados em cada um dos estudos de caso avaliados.

4.1 PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo de um projeto na Empresa X pode ser dividido em cinco unidades organizacionais diferentes: Comercial, Projeto, Fabricação, Logística e Montagem. A Figura 21 apresenta uma visão geral dessas unidades e das interações entre cada uma durante o processo.

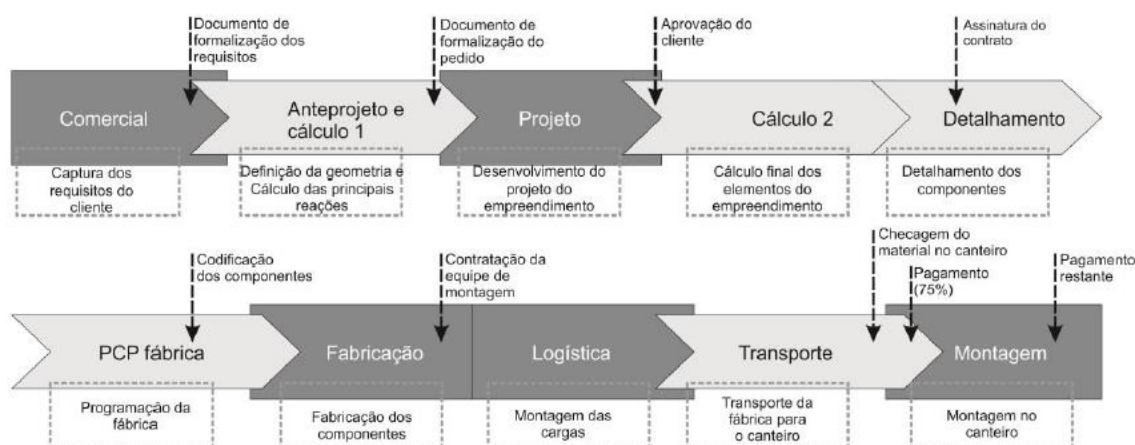


Figura 21 - Principais etapas do processo produtivo.

(fonte: BORTOLINI, 2015)

Bortolini (2015) descreve o processo iniciando na captura de clientes pelo setor Comercial da empresa. A partir da obtenção dos documentos de formalização dos requisitos de um projeto, a equipe de orçamento desenvolve, além do cálculo estimado do custo do projeto, o projeto básico, onde é definida uma solução técnica preliminar do empreendimento. Além disso, são repassadas pelo setor as cargas da estrutura metálica nas fundações para o cliente, o qual é responsável pela execução da terraplanagem e das fundações para a montagem. Nessa fase ainda, a equipe de planejamento realiza a definição de um plano de longo prazo inicial para o empreendimento, determinando os prazos de conclusão de cada unidade do processo. Por fim, essa etapa também é marcada pela aprovação do anteprojeto pelo cliente.

Durante a fase seguinte do processo ocorre a definição final do projeto e o cálculo final da estrutura, resultando na verificação do peso total dos elementos do projeto. Em paralelo, a equipe de planejamento realiza o cronograma detalhado da obra, com as datas fim das unidades do processo para cada etapa e sub etapa do projeto. Essa divisão da obra em etapas e sub etapas de montagem é realizado pelo setor de planejamento da Empresa X, com o propósito de reduzir o tamanho dos lotes de produção, facilitando o fluxo contínuo das peças e a identificação dos componentes. Além disso, o setor realiza a programação as sub etapas conforme a fábrica em que serão produzidas, Fábrica 2, 3 ou 4, com base no produto, nas limitações dimensionais e de capacidade produtiva de cada fábrica e na distância delas para as obras. Posteriormente, consta a fase de detalhamento dos componentes do projeto, sendo necessário, antes do fim da etapa, ter acontecido a assinatura do contrato e o pagamento inicial do empreendimento, visando cobrir os custos de projeto do mesmo (BORTOLINI, 2015).

Conforme descrito por Bortolini (2015), o projeto detalhado é enviado ao setor de planejamento e controle da produção da fábrica em etapas, que realiza a programação de trabalho de cada equipe das fábricas. Após o processo de fabricação dos componentes de um projeto, as peças são direcionadas ao pátio da fábrica já em cargas prontas para que o setor de logística possa realizar a expedição do material. Esse setor é responsável por organizar as cargas nos caminhões e acompanhar o processo de transporte até a chegada em obra, onde o material é descarregado e conferido pela equipe de montagem. Por fim, última etapa do processo é responsável pela montagem da estrutura metálica, normalmente através de uma equipe terceirizada, e pela entrega do empreendimento finalizado ao cliente.

4.2 PRODUÇÃO DAS LIGAÇÕES METÁLICAS

4.2.1 Projeto

Quando avaliado o processo produtivo da Empresa X, considerando o desenvolvimento das conexões entre estruturas metálicas, é possível perceber uma mudança, a partir de 2016, no padrão utilizado para edifícios de múltiplos andares. As ligações padrão deixaram de ser as cantoneiras e as talas, consideradas como o modelo tradicional pelas normativas de estruturas metálicas, para se tornarem as chapas de corte e de topo, apresentadas na seção 2.3. Isso aconteceu por dois motivos: um novo projeto e um novo *mindset* na empresa. O primeiro foi

um empreendimento, no setor da exportação, em que o cliente enviou o projeto básico e o cálculo estrutural finalizados para a Empresa X, sendo necessário que esta realizasse apenas o detalhamento, fabricação e montagem. Esse foi o primeiro contato que a empresa teve com outros tipos de conexões para empreendimentos de múltiplos andares e foi quando passou a ver nelas uma possibilidade melhoria no seu processo. O segundo motivo foi a crise do setor da construção, que possibilitou que a empresa identificasse e realizasse mudanças em seu processo produtivo que em outro momento teriam tido uma menor aceitação, como a alteração de um padrão que gera mais trabalhos para a sua fábrica e reduz os trabalhos de equipes terceirizadas em campo.

No antigo cenário, os softwares utilizados para lançamento e cálculo das estruturas, bem como as planilhas utilizadas para as verificações de cálculo, eram padronizados com cantoneiras e talas. Com isso, a maior restrição para execução do cálculo e do detalhamento das ligações soldadas em fábrica está nas ferramentas disponíveis para desenvolvimento do trabalho. A implantação de ferramentas de modelagem de estruturas metálicas para fabricação, como o software SDS/2, através da aquisição de novas licenças, difundiram novas alternativas de ligações na empresa, o que exigiu da equipe o trabalho de criação de novas planilhas de verificação. Essas ações geram um impacto direto no tempo necessário para cálculo dessas ligações, reduzindo de 15 para 2 dias o período de verificação de uma obra. Ou seja, ter as ferramentas adequadas para desenvolvimento do projeto é essencial, também, para atendimento ao cronograma de engenharia.

Ainda, nesse setor, existe um contato direto com os setores da fábrica e de montagem da empresa para que sejam identificadas e discutidas as restrições de projeto previamente, a fim de encontrar a melhor maneira para eliminá-las. A solicitação do tipo de ligação para as estruturas dificilmente é realizada pelo cliente, normalmente ela é definida pela Empresa X, de acordo com as características de cada obra e com as necessidades de cada setor. Diversas restrições exclusivas da etapa de projeto podem eliminar alguma opção de conexão, como alguma interferência com o projeto arquitetônico ou um limite de esforços em fundações já executadas. Ainda, obras caracterizadas por grandes esforços nas estruturas metálicas e em locais com a necessidade de consideração de sismo no cálculo estrutural, caso de algumas obras no setor de exportação, exigem um detalhamento considerado especial, com isso são determinadas as cantoneiras e as talas como conexão, devido a norma para dimensionamento

de estruturas metálicas não deixar claro a possibilidade de utilização das chapas de topo e de corte.

4.2.2 Fábrica

Atualmente, na Empresa X, o processo de fabricação das ligações pode seguir dois caminhos: a linha de produção das miscelâneas, onde são produzidas as cantoneiras e talas, ou seja, as chapas que serão enviadas soltas para obra, ou a linha de produção dos acessórios, onde são produzidas as chapas de corte e de topo, as chapas que serão soldadas em fábrica. A diferença no processo pode ser identificada através do fluxograma da Figura 22.

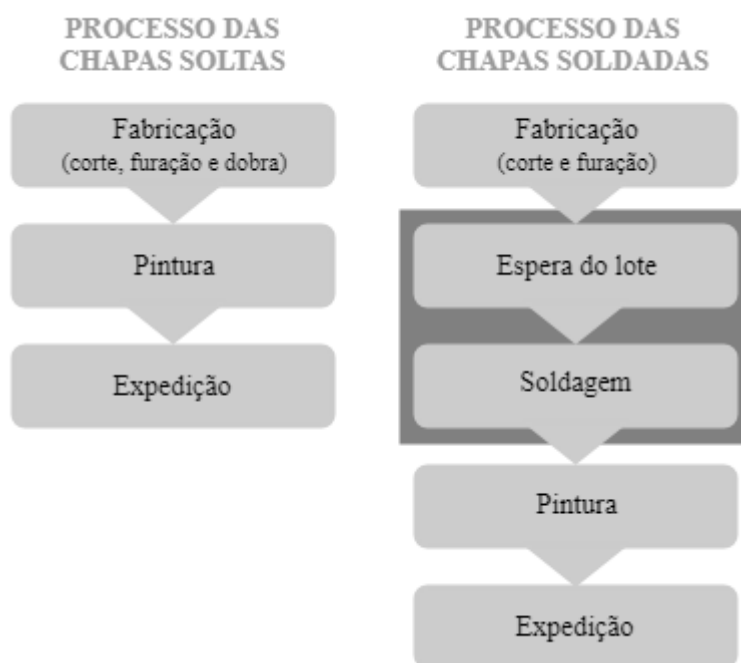


Figura 22 – Diferenças no processo de produção das miscelâneas e dos acessórios.

(fonte: elaborado pela autora)

Na linha de miscelâneas (chapas soltas), ao concluir a fabricação, as peças são enviadas para a linha final de pintura, quando necessário, e então são separadas e alocadas nas caixas em que serão enviadas para a obra, conforme Figura 23. Na linha de acessórios, as peças são separadas em carinhos com a identificação da etapa que fazem parte para seguirem até o processo de solda, conforme Figura 24.



Figura 23 – Miscelâneas separadas para carregamento.

(fonte: fornecido pela Empresa X)



Figura 24 – Acessórios separados por peça a ser soldada.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Na sequência do processo, os acessórios são alocados em cima da peça para entrar na linha da solda, onde os acessórios são soldados conforme especificações dos projetos de fabricação. Essa etapa é separada em 4 estações: posicionamento dos acessórios, duas estações de soldagem, uma em cada lado da peça, e limpeza da peça. Uma peça sem acessórios, classificada como Super Simples, precisa de 28 minutos para atravessar a linha de produção da solda, 7 minutos por estação, devido a necessidade de soldar os primeiros 20 mm do contato entre alma e mesas. Por outro lado, as peças com acessórios podem chegar a até 480 minutos na linha, dependendo da sua classificação e, conseqüentemente, da quantidade de acessórios. Finalizando, as peças com acessórios são enviadas para a linha de pintura, se necessário, e alocadas nas cargas, conforme apresentado na Figura 25.

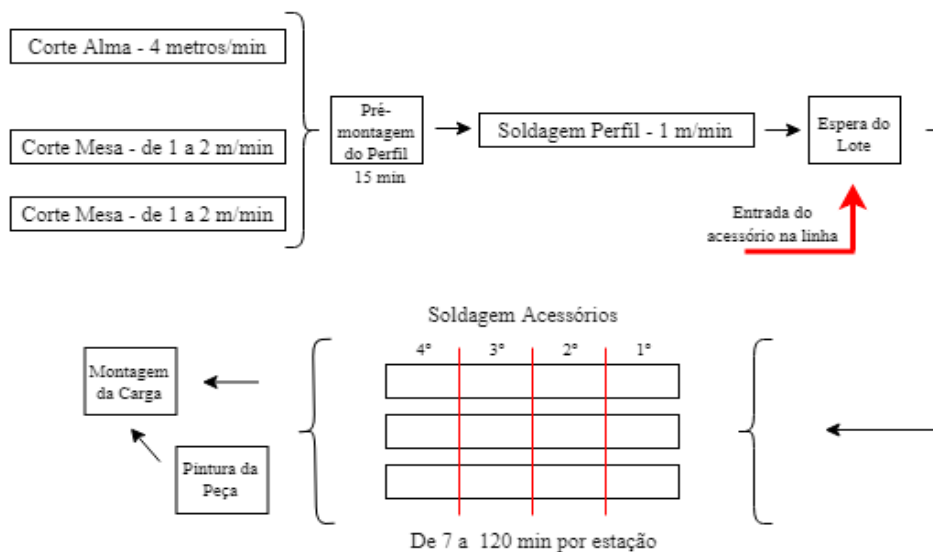


Figura 25 – Linha de Produção das Peças

(fonte: elaborado pela Autora)

Os projetos de galpões da Empresa X já utilizavam as chapas de topo como ligação padrão, seguindo, para a fabricação, o processo da linha de acessórios previamente descrito. Por isso, a implantação de chapas soldadas nos empreendimentos de múltiplos andares não gerou a necessidade de um novo processo de fabricação. Porém, gerou um aumento na quantidade de peças a serem produzidas pela linha de acessórios e um aumento no tempo da peça na linha de soldagem, devido a maior complexidade das peças produzidas. Por outro lado, a quantidade de chapas produzidas pela linha para serem soldadas nas peças normalmente é menor do que se essas chapas fossem enviadas soltas para a obra para fazer a mesma ligação. Nesse processo, devido aos tempos de espera do lote inconstantes, ainda existe dificuldade para avaliação do real impacto que a soldagem dos acessórios tem para o *lead time* de um lote.

4.2.3 Logística

A montagem das cargas é realizada já na saída das peças da linha de pintura na fábrica e, para peças com acessórios, visa a redução dos impactos devido a geometria diferenciadas dos elementos. Para obras de exportação, essas cargas são montadas considerando as dimensões do container utilizado, normalmente com 2,60 metros de altura, 2,40 metros de largura e 12 metros de comprimento, aproximadamente. Para as obras nacionais, a flexibilidade das dimensões é maior, por se utilizar caminhões em vez de cargas fechadas, podendo aumentar ainda mais com a utilização de carretas extensivas.

Em obras com pintura especial, em que é necessário um cuidado maior para evitar danos nas peças, ou, ainda, em obras em que a descarga do material no canteiro é feita utilizando gancho ou corda, é necessária a utilização de madeira para garantir o espaçamento entre as peças, conforme apresentado na Figura 26. Esse madeiramento, chamado na empresa de embalagem, tem um custo específico de acordo com o seu tamanho. Com isso, para cargas com peças Super Simples, utiliza-se o madeiramento mínimo, obtendo o maior aproveitamento possível na altura da carga com o menor custo de embalagens. Enquanto, para cargas com peças com chapas soldadas, como as chapas de corte e de topo, o espaçamento necessário é maior, aumentando também o custo de embalagens. Por fim, as chapas soldadas em fábrica dificultam o encaixe das peças nas cargas, podendo gerar impacto no aproveitamento do peso disponível para envio de material.



Figura 26 – Carga montada com embalagens garantindo espaçamento entre peças.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

4.2.4 Montagem

A última etapa do processo produtivo fica a cargo do setor de montagem, tendo alocado, normalmente, em campo um supervisor de montagem para acompanhar os serviços de uma montadora terceirizada. O desempenho dessa fase é muito dependente da experiência dessa equipe. Enquanto nas obras nacionais a Empresa X tem montadores parceiros com histórico de montagem em diversas obras, nas obras do setor exportação pode-se trabalhar inclusive com

montadores que nunca executaram uma obra de estruturas metálica. Essa grande variação na experiência dos montadores aumenta as dificuldades encontradas em obra e as incertezas para execução do empreendimento.

A meta de produtividade, apesar de ter uma faixa de parâmetro, é relativa a cada obra. Ela pode variar conforme: tamanho da equipe, quantidade de equipamentos, acesso ao local do içamento, peso das peças, tipo de ligações entre as peças, entre outros. Muitas vezes, devido às características de obras de estruturas metálicas, onde uma das principais vantagens está na velocidade de montagem, essa produtividade é definida visando cumprir o prazo do cliente.

Em obra, utilizando cantoneiras e talas, chapas enviadas soltas para o canteiro, é necessário prever atividades específicas para localização dessas peças, que, por não serem padronizadas, exigem uma atenção maior para identificação em projeto do elemento correto, e pré-montagem das mesmas em cada peça, antes do seu içamento. Com a utilização das chapas de corte e de topo, chapas soldadas nas peças ainda na fábrica, essas atividades são eliminadas do canteiro de obra, sendo transferidas para o ambiente controlado da fábrica. As diferenças entre o processo de montagem com miscelâneas e com acessórios é apresentado na Figura 27.

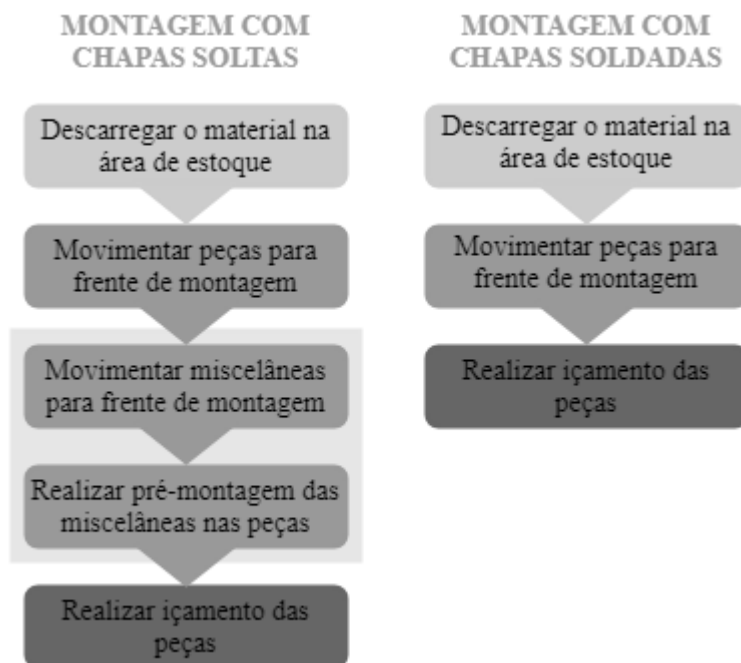


Figura 27 – Diferenças no processo de montagem das miscelâneas e dos acessórios.

(fonte: elaborada pela autora)

4.3 ESTUDO DE CASO I

A obra do estudo de caso I é caracterizada, principalmente, por um prazo desafiador. Por esse motivo, o cliente responsável pelo projeto, denominado de Cliente A, buscava por uma solução estrutural que permitisse a construção do empreendimento de forma rápida e eficiente. Além do prazo de execução, a finalidade da construção também foi um fator determinante para a escolha das estruturas metálicas como solução estrutural. Por se tratar de um novo terminal de passageiros, o cliente buscava uma solução que permitisse a maior utilização do espaço com um menor número de obstáculos possíveis. Dessa forma, a solução de estabilização com pórticos metálicos foi selecionada.

O empreendimento foi previamente dividido, pelo Cliente A, em 3 prédios denominados: PIER, TPS e MOP, de acordo com a sua finalidade, conforme apresentado na Figura 28. Devido a diversas indefinições de projeto nos prédios TPS e MOP, decidiu-se, em conjunto com o cliente, por iniciar a sequência de etapas pelo final do prédio PIER. Isso foi determinante para a definição da sequência a ser seguida pela equipe de detalhamento, de fabricação e de montagem do projeto. Por fim, a divisão das etapas do empreendimento e a elaboração do cronograma de cada setor visando atender as datas de início e fim de montagem do Cliente A foram realizadas em conjunto pelas equipes de planejamento e de gestão de obras.

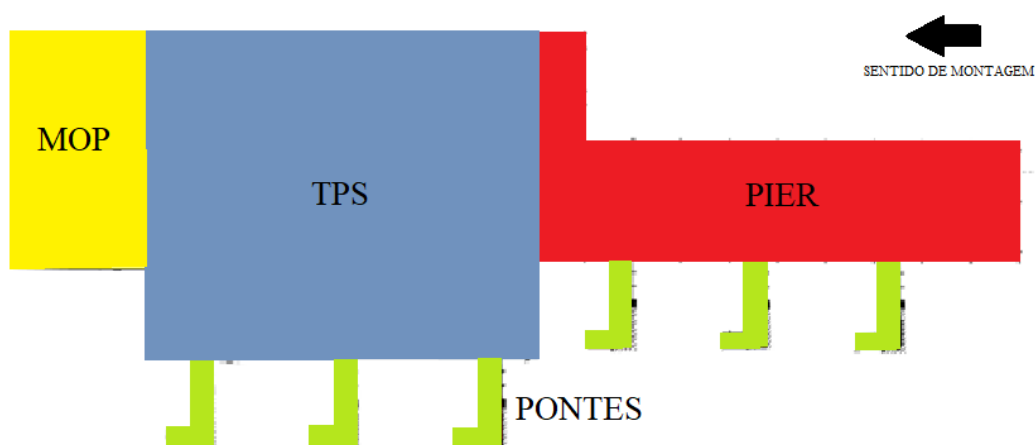


Figura 28 – Divisão de Prédios – Estudo de Caso I.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

A divisão de etapas se mostrou inadequada nos prédios TPS e MOP conforme foram feitas as definições de projeto. Com isso, foi necessária a realização de alguns ajustes, solicitados pelo

setor de engenharia, com o intuito de que a divisão da obra feita pela Empresa X representasse de uma forma correta o empreendimento. No fim, o prédio PIER contava com 8 etapas, cada uma com apenas uma sub etapa de estrutura e uma sub etapa de steel deck; o prédio TPS contava com 9 etapas, cada uma com três sub etapas de estrutura, representando a separação da etapa em três quadrantes diferentes, de forma a reduzir o lote de produção e ainda seguir a sequência de montagem, e uma sub etapa de steel deck; e o prédio MOP contava com 1 etapa, com três sub etapas de estrutura, cada uma representando um intervalo de eixo do prédio, e 1 sub etapa de steel deck.

Ainda, ao longo do processo, as definições tardias de projeto por parte do cliente resultaram em um atraso nas liberações de engenharia, de acordo com o cronograma inicial. Nesse contexto, foram feitos ajustes no cronograma da obra, após reuniões entre os setores, visando ajustar as datas de engenharia, fábrica e logística da melhor forma, considerando as limitações de cada setor, e garantir a entrega da obra nas datas acordadas com o Cliente A. Essas ações adiaram as datas de início da montagem de algumas etapas, tornando o desafio com o prazo para finalização ainda maior.

O sistema de estabilização utilizado na obra resultou em conexões mais complexas entre as estruturas metálicas, devido à necessidade de ligações engastadas nas conexões pilar-viga causada pelas forças de momento fletor, o que contribuiu, também, para o elevado número de chapas soldadas nas peças. A equipe responsável pela fase de cálculo, modelagem e detalhamento do projeto da obra foi composta por ex-funcionários da Empresa X, selecionados para o projeto, já que o setor de engenharia da empresa estava trabalhando em sua capacidade máxima quando o projeto iniciou. Portanto, este foi o primeiro projeto deles utilizando ligações soldadas de fábrica como padrão na empresa, apesar de já serem familiarizados com a opção devido a eventual utilização em outros projetos.

O Estudo de Caso I se mostra diferenciado quanto à etapa de Projeto dentro da Empresa X por possuir uma equipe contratada para o projeto, sem envolvimento com outras obras da empresa. A dedicação exclusiva auxiliou na capacidade de entrega do setor de forma aderida ao cronograma, que não foi atrapalhada pela solução de ligações metálicas selecionada. Porém, as definições tardias de projeto por parte do Cliente A forçaram a contratação de uma equipe terceirizada para trabalhar em paralelo nessa fase do processo no prédio TPS, sendo a responsável pela modelagem e detalhamento de algumas etapas da obra. Ambas equipes, tanto

interna quanto terceirizada, tinham à disposição as ferramentas necessárias para modelagem e para cálculo, o que também contribuiu para o bom desempenho da área no projeto.

As sub etapas de estrutura da obra são compostas por peças da estrutura principal, secundária e cobertura, incluindo peças com e sem pintura, compondo a estrutura completa de um quadrante da obra. Algumas das peças com pintura (Figura 29), devido a sua dimensão acima do padrão causada pelas ligações metálicas com chapas soldadas, eram enviadas, após produção, para pintura em outra fábrica da empresa. Em média, as sub etapas eram compostas por 65 peças totalizando em 80 toneladas, por eixo da obra. Segundo o cronograma do projeto, para todas as sub etapas de estrutura, foram programados em média 22 dias para a conclusão da fase de fabricação. Esse tempo se apresenta maior do que o tempo necessário para produção das peças em sequência devido ao fato da Empresa X atender vários projetos simultaneamente. Com isso, as peças do Estudo de Caso I compartilhavam espaço de fábrica com peças de outros projetos.



Figura 29 – Peça Hiper Complexa pré-pintura – Estudo de Caso I.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Para o Estudo de Caso I, foram analisadas todas as peças produzidas pela Empresa X até o mês de setembro de 2018. A partir da sua classificação de complexidade, foram levantadas a quantidade de peças, sua relação com a quantidade total, o tempo médio e o tempo total para produção. Na Tabela 2, é possível verificar o resultado dessa análise. Considerando o efetivo da equipe de soldagem da Fábrica 2, onde as peças foram produzidas, são programados diariamente 10.000 minutos de solda distribuídos em peças de obras diferentes. Com isso,

considerando somente o Estudo de Caso I e as peças produzidas até setembro, foram utilizados 23 dias de trabalho da equipe de soldagem da fábrica apenas para soldagem dos acessórios nas peças.

Tabela 2 - Dados de fabricação – Estudo de Caso I

| Classificação | Acessórios | Quantidade | % | Tempo Médio (min) | Tempo Total (min) |
|----------------|------------|------------|-----|-------------------|-------------------|
| Supersimples | 0 | 389 | 25% | 28 | 10.892 |
| Simples | 0 - 5 | 244 | 16% | 60 | 14.760 |
| Média | 5 - 10 | 237 | 15% | 84 | 19.908 |
| Complexa | 10 - 20 | 77 | 5% | 171 | 13.200 |
| Hiper complexa | > 20 | 606 | 39% | 276 | 167.365 |
| | | 1.553 | | | 226.125 |

(fonte: elaborado pela autora)

O impacto gerado pelas ligações metálicas pode ser evidenciado pela quantidade de peças com maior complexidade. Nesse projeto, apenas 25% das peças são classificadas como supersimples. Porém, caso a obra tivesse sido projetada apenas com ligações com chapas soltas, essa seria a classificação de 100% das peças. Nesse cenário, com a totalidade das peças classificadas como supersimples, o tempo para soldagem da peça reduziria 80%, aproximadamente, saindo de 23 para menos de 5 dias de soldagem de acessórios. O processo de soldagem de acessórios foi o que sofreu um maior impacto negativo nesse projeto, com o aumento significativo no tempo para produção, devido à complexidade das peças.

Seguindo o processo, a logística dessa obra sofreu diversos impactos devido aos desafios do curto prazo. Devido à alta demanda da montagem, a logística foi forçada a entregar as peças já fabricadas, mesmo que essa quantidade não fosse suficiente para garantir um bom aproveitamento das carretas e mesmo que a sub etapa não estivesse finalizada. Por esse motivo, principalmente em etapas do prédio TPS, o material foi enviado sem um sequenciamento claro das peças, com peças de até cinco etapas misturadas em uma carreta e com sub etapas incompletas. Além disso, o tempo maior para pintura das peças de cobertura, causado pelas ligações e consequente envio para outra fábrica, resultou, muitas vezes, no envio de apenas essas peças em uma carga. Esse resultado pode ser evidenciado na Análise de Embarque realizada pela Empresa X.

Esse acompanhamento da empresa avalia as toneladas em cada carga enviada para a obra, em ordem crescente de data de envio, verificando de forma separada as etapas e as sub etapas que

a compõe. Conforme pode ser visto na Figura 30, que apresenta uma parte deste acompanhamento, o material da etapa 15 começa a ser enviado no mesmo período que o material da etapa 12 está sendo enviado e somente é finalizada depois que materiais da etapa 17 chegaram em obra. Além disso, quando analisada a obra inteira, é possível perceber que mais de 20% da obra teve envio de materiais de etapas diferentes na mesma carga. A Figura 30 também evidencia que peças da sub etapa 30A, referente primeiro quadrante de cada etapa do prédio TPS, tiveram a sua entrega finalizada junto com peças da sub etapa 32A, referente ao último quadrante, o que confirma a falta de sequenciamento das etapas no processo de embarque, assim como a mistura de etapas na montagem das cargas.

| CARGA | ETAPAS | | | | SUB ETAPAS | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|------|-------|
| | 12 | 15 | 17 | 20 | 30A | 31A | 32A | 36A | 80B |
| | 273,7 | 125,2 | 329,7 | 103,3 | 714,0 | 359,3 | 303,9 | 95,9 | 262,8 |
| 10680 | 18,3 | - | - | - | - | - | - | - | 18,4 |
| 10681 | 16,4 | - | - | - | - | - | - | - | 20,5 |
| 10732 | 13,9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10698 | 16,9 | - | - | - | - | - | - | - | 0,6 |
| 10722 | 7,0 | - | - | - | 7,0 | - | 10,3 | - | - |
| 10743 | 25,8 | - | - | - | 25,8 | - | - | - | - |
| 10813 | 15,5 | - | - | - | - | 15,5 | - | - | - |
| 10814 | 12,0 | - | - | - | - | - | 12,0 | - | - |
| 10815 | 25,9 | - | - | - | - | 16,3 | 9,6 | - | - |
| 11073 | - | 0,1 | - | - | - | 0,1 | - | - | - |
| 10894 | - | 14,0 | - | - | 14,0 | - | - | - | - |
| 10900 | 3,3 | - | 5,0 | - | - | - | - | - | 4,6 |
| 10908 | - | - | 27,7 | - | 27,7 | - | - | - | - |
| 10931 | 5,7 | - | - | - | - | 3,8 | - | - | - |
| 10961 | 6,5 | - | - | - | - | - | 6,5 | - | - |
| 11049 | - | 0,9 | - | - | 1,4 | - | - | - | - |
| 10929 | - | 10,1 | - | - | 2,0 | - | 10,1 | - | - |
| 11011 | - | 21,7 | - | - | - | - | - | 21,7 | - |
| 11034 | 2,9 | - | - | - | - | - | 2,9 | - | - |
| 11050 | - | 8,2 | - | - | 6,2 | - | 2,0 | - | - |
| 11152 | - | 6,2 | - | - | 2,0 | 1,9 | 2,3 | - | - |
| 11058 | - | 28,3 | - | - | 5,4 | 13,3 | 10,4 | - | - |
| 11125 | 0,2 | 16,6 | - | - | 11,1 | 0,8 | 6,8 | - | 1,2 |
| 11132 | - | - | 23,3 | - | 17,1 | 0,5 | 3,4 | - | 2,3 |
| 10909 | - | - | 20,3 | - | 20,3 | - | - | - | - |
| 11118 | - | - | 21,1 | - | 18,7 | - | 2,4 | - | - |
| 11127 | - | - | 16,6 | - | - | 16,6 | - | - | - |
| 11128 | - | - | 19,4 | - | - | 19,4 | - | - | - |
| 11066 | - | 1,2 | 19,8 | - | 4,1 | 0,6 | 16,4 | - | 0,0 |
| 11067 | - | - | 19,8 | - | - | 0,0 | 19,8 | - | - |
| 11068 | - | - | 1,4 | - | - | - | 1,4 | - | - |

Figura 30 – Resumo de cargas por etapa e sub etapa – Estudo de Caso I.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Diante disso, o projeto apresenta um aproveitamento médio de carretas de 14 toneladas. Esse valor é baixo quando comparado ao resultado de outras obras do mercado nacional da empresa, já que, ainda na fase de orçamento, baseado no histórico de envios desse grupo de materiais pela empresa, foi previsto um aproveitamento de 17,6 toneladas. Além dos custos envolvidos no transporte de peças para pintura em outra fábrica, a empresa poderia ter reduzido seu custo com o transporte para a obra se as peças produzidas tivessem seguido a sequência de montagem e se tivessem uma complexidade menor. Isso resultaria em um menor tempo de fábrica, facilitando o envio de sub etapas completas dentro do prazo, além de facilitar o encaixe de peças na carreta.

Na última etapa do processo produtivo, os impactos com o prazo curto da obra aparentam ser maiores. Devido aos atrasos acumulados do processo, a equipe de montagem trabalhou, durante a maior parte do tempo, sem peças suficientes para uma sequência de montagem. Esse fator dificultou a análise de produtividade das equipes, já que, por diversos momentos, a montagem era pausada por falta de material.

Para o prédio TPS foram considerados, durante o planejamento inicial, 15 dias para execução de cada intervalo de eixos, prevendo uma média de montagem de 15 peças por dia. Com os atrasos ocorridos no projeto, e conseqüente redução do prazo para montagem, ao ter todas as peças em obra, o foco da equipe era realizar a etapa de forma mais eficiente possível, sendo essencial que toda atividade que não agregasse valor fosse eliminada do canteiro. Utilizando as ligações modulares, quando a obra possuía as peças suficientes para uma sequência, foi possível realizar, em média, o içamento de 23 peças por equipamento em um dia. Esse resultado garantiu a empresa a entrega da obra no prazo final estipulado com o cliente.

Ainda, no Estudo de Caso I, o tempo para içamento foi, em média, de 15 minutos por peça. Em outras obras da empresa, utilizando ligações com cantoneiras, esse mesmo tempo é de 30 minutos. Esse valor dobra com as ligações com chapas soltas na obra devido à realização das atividades de pré-montagem e de logística das miscelâneas, além da maior complexidade no processo de fixação da peça pela falta de padronização de movimentos. Desse modo, com o prazo reduzido e com um tempo maior necessário para içamento de uma peça, é evidente que a utilização de chapas soltas nesse projeto teria causado atrasos na entrega das etapas ao Cliente A.

4.4 ESTUDO DE CASO II

O cliente responsável pelo projeto do Estudo de Caso II, denominado de Cliente B, visava, principalmente, uma solução estrutural que permitisse uma construção rápida e eficiente. Quando entrou no setor Comercial da empresa, o projeto já estava bastante definido, em relação ao projeto arquitetônico e carregamentos adicionais na estrutura, inclusive a execução das fundações da obra já estava em andamento. Isso gerou algumas limitações na fase de projeto, tanto no peso da estrutura, quanto no seu dimensionamento, devido a possíveis interferências com a arquitetura. Por esse motivo, a solução de estabilização clássica com contraventamento (enrijecedores) foi selecionada. Esse sistema de estabilização reduz as cargas nos pilares, o que reduz, também, a complexidade das peças.

Na fase de divisão de etapas do empreendimento, optou-se por dividir cada prédio, denominados no projeto como Segmento, em três etapas semelhantes entre si, em conjunto com o Cliente B, visando reduzir o tamanho dos lotes de trabalho e atender às datas do plano de longo prazo da obra, conforme apresentado na Figura 31. Entretanto, a sequência a ser seguida pelas equipes de detalhamento e de fabricação foi definida a partir das prioridades do cliente para montagem, com a prioridade mais alta nos segmentos centrais (3, 4 e 5). Por fim, a elaboração do cronograma de cada setor foi realizada pelas equipes de planejamento e de gestão de obras, visando atender as datas de montagem do Cliente B.

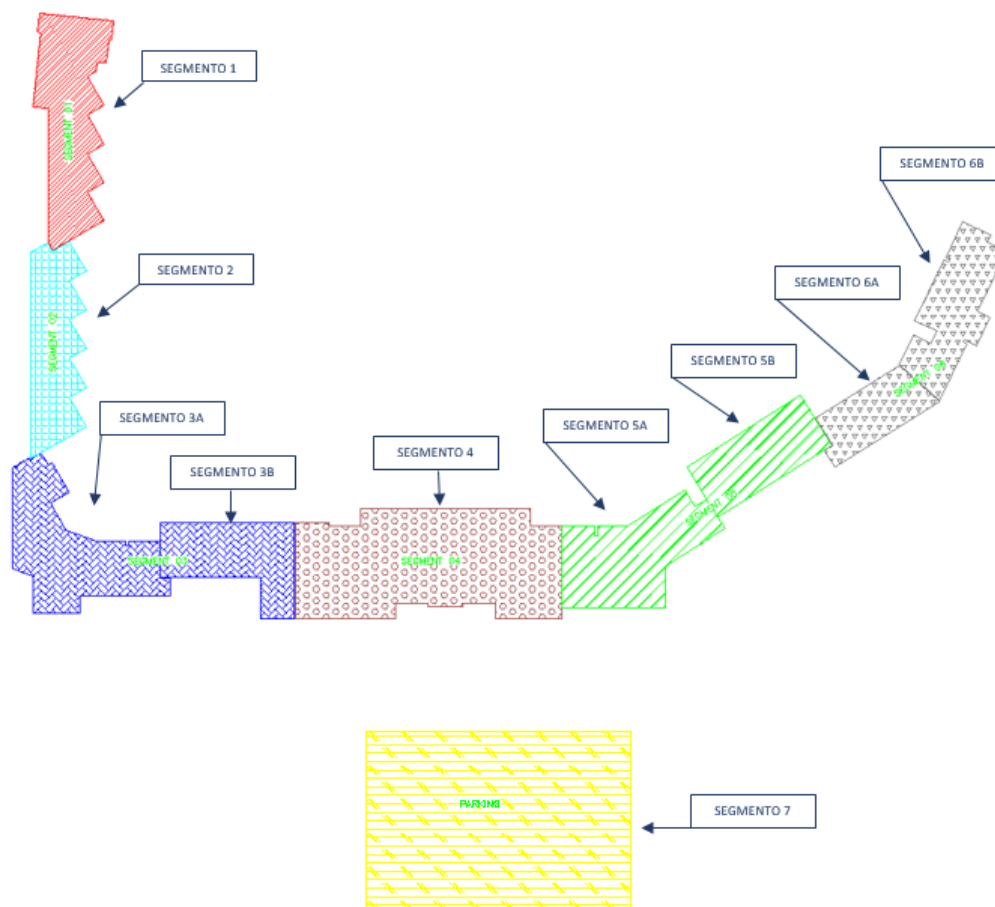


Figura 31 – Divisão de Prédios – Estudo de Caso II.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

As sub etapas da obra são separadas em três tipos: (i) de pilares; (ii) de vigas, contraventos e miscelâneas; e (iii) de escadas, sendo todas as peças com pintura. O peso e a quantidade de peças variam bastante nas etapas devido à falta de repetitividade do projeto, causado, principalmente, pelas grandes diferenças de tamanho e disposição dos prédios.

Ao contrário do primeiro estudo, esse empreendimento não tinha como forte característica os desafios de curto prazo. Ele foi, desde o início, programado com um cronograma longo de montagem, o que facilitou o planejamento dos processos dentro da Empresa X. A fabricação das peças iniciou ainda no final de 2017 e até setembro de 2018 menos de 70% da obra havia sido embarcada. Por esse motivo, a empresa conseguiu ter uma maior flexibilidade com o projeto.

A equipe de projeto selecionada para obra, tanto para cálculo quanto para modelagem e detalhamento, havia trabalhado no primeiro projeto da Empresa X com ligações de chapa de

corte e chapa de topo, ou seja, já eram familiarizados com a solução estrutural e com as ferramentas necessárias para desenvolvimento dela. O sistema de estabilização escolhido, além de reduzir a complexidade das peças, pela não existência de forças de momento fletor, ainda possibilitou uma maior flexibilidade no detalhamento. Por outro lado, as restrições arquitetônicas do projeto forçaram a utilização de talas em alguns pilares (Figura 32) e cantoneira na estrutura de fechamento lateral (Figura 33).



Figura 32 – Ligação pilar-pilar com tala devido à restrição geométrica– Estudo de Caso II.

(fonte: fornecido pela Empresa X)



Figura 33 – Ligação pilar-viga com cantoneira devido à restrição geométrica – Estudo de Caso II.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Segundo a equipe responsável pelo setor de Projeto, as ligações escolhidas não causaram impacto no tempo para execução dessa etapa do processo, porém reduziram o peso da obra. Tanto pela redução na quantidade de chapas e parafusos para conexão, quanto pela redução dos comprimentos de pilares, já que a emenda de pilar pode ocorrer na altura da laje, ao invés de acima dela. Ainda, a utilização das chapas soldadas em fábrica resulta em um encurtamento de pilar causado apenas pelo peso da peça, enquanto para ligação com tala o encurtamento ocorre em função da tolerância de 3 milímetros presentes em cada furo.

Para o Estudo de Caso II, também foram analisadas todas as peças produzidas pela Empresa X até o mês de setembro de 2018. Na Tabela 3, é possível verificar o resultado da análise a partir da classificação de complexidade das peças. Nesse projeto, menos de 5% das peças possuíam acima de 10 acessórios.

Tabela 3 - Dados de fabricação – Estudo de Caso II

| Classificação | Acessórios | Quantidade | % | Tempo Médio (min) | Tempo Total (min) |
|----------------|------------|------------|-----|-------------------|-------------------|
| Super simples | 0 | 685 | 37% | 28 | 19.271 |
| Simple | 0 - 5 | 886 | 48% | 60 | 52.914 |
| Média | 5 - 10 | 207 | 11% | 86 | 17.883 |
| Complexa | 10 - 20 | 48 | 3% | 171 | 8.230 |
| Hiper complexa | > 20 | 15 | 1% | 290 | 4.350 |
| | | 1.841 | | | 102.648 |

(fonte: elaborado pela autora)

O impacto gerado pelas ligações metálicas no Estudo de Caso II é menor, principalmente como resultado do seu sistema de estabilização. Caso a obra fosse projetada para utilização de cantoneiras e talas em todas as suas ligações, ou seja, com 100% das peças classificadas como supersimples, o tempo para soldagem das peças reduziria em 50%, aproximadamente, saindo de 10 para 5 dias de soldagem de acessórios, considerando os 10.000 minutos de solda programados por dia para a equipe da fábrica.

O maior desafio da equipe de logística dessa obra foi a reserva com antecedência de espaço em navio. Essa reserva deveria ser suficiente para o envio de etapas completas para obra, porém sem excessos, devido aos custos atrelados a não utilização das reservas. Por esse motivo, foi necessário, ao longo do projeto, um contato direto entre as áreas de logística e de planejamento e controle da produção.

A Análise de Embarque da obra, com toneladas por carga, é apresentada na Figura 34. Conforme pode ser visto, os embarques buscavam seguir a política de etapa completa da empresa e o sequenciamento de montagem planejado, além de minimizar a mistura de etapas dentro de uma carga. Nos embarques de números 2, 3, 4 e 5, apenas uma carga possuía material de duas etapas diferentes. Quando analisada a obra inteira, esse fato ocorreu em menos de 10% dos envios de material, sendo ainda parte dos casos no envio de steel deck, onde o peso de uma etapa não é suficiente para o preenchimento de um container. Dessa forma, a cada chegada de material na obra era possível seguir o sequenciamento de montagem da etapa.

| CARGAS | | ETAPAS | | | | | | SUB ETAPAS | | | | | | | | |
|--------------|------|--------|------|------|----|------|------|------------|------|------|------|-----|-----------------|-----------------|------|-----|
| | | 20 | 30 | 33 | 41 | 50 | 53 | 30A | 31A | 32A | 33A | 34A | 35 ^a | 39 ^a | 80B | |
| 2nd Shipment | 8775 | - | - | 18,9 | - | - | - | 18,2 | - | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 8776 | - | - | 19,4 | - | - | - | 18,7 | - | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 8777 | - | - | 21,1 | - | - | - | 20,4 | - | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 8827 | - | - | 12,4 | - | - | - | - | - | - | 11,7 | 0,7 | - | - | - | |
| | 8834 | - | - | 14,0 | - | - | - | - | - | 12,8 | 0,5 | 0,7 | - | - | - | |
| | 8879 | - | - | 20,2 | - | - | - | - | - | 15,3 | 1,9 | 0,7 | - | - | 2,3 | |
| | 8906 | - | - | 13,9 | - | - | - | - | 13,2 | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 8918 | - | - | 15,9 | - | - | - | - | - | 15,2 | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 8941 | - | - | 18,8 | - | - | - | - | - | 0,1 | 17,7 | - | 0,7 | - | - | 0,2 |
| | 8962 | - | - | 18,2 | - | - | - | 3,7 | 10,4 | 1,2 | - | 0,7 | - | - | 2,2 | |
| | 9035 | - | - | 12,8 | - | - | - | - | - | - | - | 0,8 | - | - | 12,0 | |
| | 8968 | - | - | 9,6 | - | - | - | - | - | - | - | 0,8 | - | - | 8,8 | |
| 3rd Shipment | 9054 | 11,4 | - | - | - | - | - | - | 10,7 | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 9055 | 13,3 | - | - | - | - | - | - | - | 12,3 | 0,3 | 0,7 | - | - | - | |
| | 9099 | 12,2 | - | - | - | - | - | - | - | 4,5 | 7,0 | 0,7 | - | - | - | |
| | 9110 | 16,4 | - | - | - | - | - | 9,6 | - | - | 6,1 | 0,7 | - | - | - | |
| | 9120 | 18,4 | - | - | - | - | - | 14,1 | 3,6 | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 9083 | 12,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 12,5 | |
| | 9159 | 16,7 | - | - | - | 0,7 | - | 11,4 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | - | 2,0 | 2,6 | |
| | 9122 | - | - | - | - | 13,9 | - | - | 13,2 | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 9123 | - | - | - | - | 12,8 | - | - | 1,6 | 10,4 | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 9124 | - | - | - | - | 15,0 | - | - | - | 5,3 | 9,0 | 0,7 | - | - | - | |
| | 9134 | - | - | - | - | 23,2 | - | 19,7 | 2,8 | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 9150 | - | - | - | - | 18,5 | - | 9,2 | - | 2,0 | 6,5 | 0,7 | - | - | - | |
| | 9121 | - | - | - | - | 18,7 | - | 18,0 | - | - | - | 0,7 | - | - | - | |
| | 9178 | - | - | - | - | 13,9 | - | 2,8 | 1,4 | 1,0 | - | 0,7 | 3,2 | - | 4,7 | |
| | 9084 | - | - | - | - | 15,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 15,5 | |
| 4th Shipment | 9167 | - | 22,0 | - | - | - | - | 17,7 | - | 3,5 | - | 0,8 | - | - | - | |
| | 9181 | - | 22,4 | - | - | - | - | 21,6 | - | - | - | 0,8 | - | - | - | |
| | 9183 | - | 11,2 | - | - | - | - | - | - | 10,4 | - | 0,8 | - | - | - | |
| | 9184 | - | 14,8 | - | - | - | - | - | - | - | 14,0 | 0,8 | - | - | - | |
| | 9247 | - | 20,4 | - | - | - | - | 10,5 | - | - | 9,2 | 0,8 | - | - | - | |
| | 9292 | - | 10,6 | - | - | - | - | - | 8,5 | 1,2 | 0,2 | 0,8 | - | - | - | |
| | 9301 | - | 17,6 | - | - | - | - | - | 15,4 | - | - | 0,8 | 1,4 | - | - | |
| | 9311 | - | 13,1 | - | - | - | - | - | 0,1 | 6,9 | 0,1 | 0,8 | 5,2 | - | - | |
| | 9444 | - | 21,8 | - | - | - | - | 12,1 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,8 | - | 3,0 | 5,5 | |
| | 9692 | - | - | - | - | - | 6,1 | - | 3,7 | 1,6 | 0,1 | 0,8 | - | - | - | |
| | 9748 | - | - | - | - | - | 11,8 | - | 11,0 | - | - | 0,8 | - | - | - | |
| | 9761 | - | - | - | - | - | 19,3 | 14,5 | 4,0 | - | - | 0,8 | - | - | - | |
| | 9763 | - | - | - | - | - | 19,7 | 10,5 | 8,4 | - | - | 0,8 | - | - | - | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|
| 5th Shipment | 9791 | - | - | - | 18,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9793 | - | - | - | 23,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9824 | - | - | - | 17,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9846 | - | - | - | 15,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9847 | - | - | - | 14,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9848 | - | - | - | 13,6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9854 | - | - | - | 7,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9858 | - | - | - | 17,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9860 | - | - | - | 16,6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9863 | - | - | - | 12,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 9864 | - | - | - | 11,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | 17,4 | - | - | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 22,7 | - | - | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | - | - | - | 16,2 | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | - | - | 15,0 | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | - | 14,0 | - | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | - | 12,0 | 0,8 | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | - | 0,7 | 5,6 | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | - | 8,2 | 8,1 | - | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 11,1 | 1,9 | 1,0 | 1,8 | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | - | - | - | 11,9 | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 0,7 | 0,8 | 0,1 | 1,6 | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7,2 | |

Figura 34 – Resumo de cargas por etapa e sub etapa – Estudo de Caso II.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Este projeto apresenta um aproveitamento médio de container de 15,6 toneladas. O peso permitido por container nas dimensões utilizadas pela empresa leva em consideração o peso permitido para tráfego nas rodovias do Brasil e do país do empreendimento, porém, baseada no seu histórico de obras, a Empresa X prevê, na fase de orçamento, um aproveitamento de 18 toneladas para esse tipo de estrutura. O baixo aproveitamento causado pela utilização das ligações e pela dificuldade de encaixe das peças resultou em um aumento de 15% na quantidade de containers na obra, refletindo em um aumento de 15% nos custos logísticos.

A montagem da obra foi realizada por uma empresa terceirizada, sem experiência prévia com estruturas metálicas, contratada pelo Cliente B e com supervisão de montagem realizada pela Empresa X. Considerando se tratar de uma obra de exportação da empresa, com foco no envio de etapas completas, é possível verificar que a equipe, com a chegada de material em obra, possuía peças para sequenciamento de montagem. O problema enfrentado, em vista dos atrasos de navios, foi na realocação das equipes de montagem da estrutura nos intervalos entre a finalização de montagem de uma etapa e a chegada de novas cargas.

Por não se tratar de uma obra onde o prazo era considerado como problema, o maior impacto da utilização das chapas de corte e de topo está na logística do canteiro. Como a obra possuía ligações com cantoneiras e talas, foi possível identificar alguns problemas envolvidos nessa solução, conforme apresentado na Figura 35. Enquanto uma das cantoneiras possui a marcação de identificação 3BM237H, a outra teve a sua tipologia apagada pela pintura. Isso resulta em retrabalho em campo devido à necessidade de medir as dimensões da peça e identificar nos projetos qual marca é a correta.



Figura 35 – Cantoneiras – Estudo de Caso II.

(fonte: fornecido pela Empresa X)

Além dos problemas com marcação, o envio de chapas soltas para obra invariavelmente resulta no seu extravio ao longo do processo produtivo, sendo necessário enviar mais ou, dependendo da situação, fabricar em obra. Este projeto, até setembro de 2018, teve um número baixo de peças com erros de fabricação, apenas 0,7%, onde 20% desses erros foram de chapas de corte soldadas na posição errada. Os outros 80% foram erros que acontecem independente do sistema de ligações metálicas, como erros de furação de peças.

A equipe de montagem em média chega a realizar o içamento de 18 peças por dia com a utilização das ligações de chapa de topo e de corte. Enquanto isso, em obras de exportação, também com equipes inexperientes e com utilização de cantoneiras, esse número chegava a 12 peças por dia. Desse modo, é possível perceber que a utilização das ligações soldadas de fábrica não só resultou em uma construção mais rápida e eficiente, como também ajudou da imagem da empresa e das estruturas metálicas para o Cliente B. Isso se deve a todos os problemas logísticos evitados com a eliminação de chapas soltas, principalmente relacionados a possíveis custos extras, considerando uma obra situada há mais de 30 dias das fábricas.

4.5 DISCUSSÃO FINAL

As ligações entre estruturas metálicas soldadas em fábrica denominadas de chapa de corte e chapa de topo foram implementadas na Empresa X, principalmente, por dois motivos: a logística das peças dentro do canteiro e o tempo para execução da montagem das peças. O

primeiro tem relação direta com a redução da quantidade de peças em obra e com a transferência de trabalhos para o ambiente controlado da fábrica. O segundo visa aumentar a produtividade das equipes de montagem, otimizando os trabalhos no canteiro e reduzindo o número de funcionários necessários.

Essa alteração gerou impactos em outras áreas da empresa, exigindo uma reformulação do setor de engenharia, aumentando o trabalho realizado pelas linhas de solda da fábrica e tornando mais complexo o encaixe das peças em carga. Porém, apesar dos pontos negativos apresentados em algumas fases do processo, os benefícios da mudança, principalmente para atingir a eficiência esperada das construções de estruturas metálicas, são claros. Isso é um reflexo da mudança de pensamento da empresa quanto a necessidade de otimizar os processos e apresenta uma evolução na discussão de padronização dos produtos da empresa.

Nesse contexto, ainda podem ser avaliadas as diferenças de ritmo de produção dentro da fábrica e dos canteiros de obra, gerando o entendimento do gargalo no processo de execução de um projeto. No setor de montagem temos a nítida visão do aumento de produtividade, sendo este um resultado da redução de partes, da redução de atividades no canteiro e da padronização da ligação entre estruturas. No mercado de exportação, a produção da montagem chega a ser de 2 peças por hora com uma equipe sem experiência, o que mostra um aumento de quase 50% no ritmo de produção quando comparado com outras obras da área que utilizaram chapas soltas como conexão.

Por outro lado, em obras com uma variação grande nos tipos de peças, diversos fatores dificultam a análise do ritmo de produção da fábrica. Os apontamentos de produção consideram o tempo de atravessamento do produto em cada linha de produção e o tempo total para a produção, sendo este o somatório de todas as linhas, sem avaliar o tempo de atravessamento de uma peça até a sua finalização. As atividades ocorrendo de forma simultânea e o tempo de espera não padronizado de peças antes de entrar em alguma linha impedem a avaliação correta do ritmo. Ainda, essa análise é dependente da complexidade das peças. Em um dia hipotético com produção exclusiva de peças de baixa complexidade, considerando inexistentes os tempos de ociosidade, as linhas de soldagem podem produzir até 200 peças em 8 horas de trabalho, porém em um dia com produção exclusiva de peças de alta complexidade, esse número baixa para a faixa de 30. Com isso, independentemente da complexidade, é possível perceber que o

ritmo de produção em fábrica das estruturas metálicas ainda é superior ao da montagem nas obras, dependendo da quantidade de equipes trabalhando na obra.

O primeiro estudo de caso discute a necessidade de uma montagem eficiente das peças em obra devido a curtos prazos característicos do projeto. Apesar do sistema de estabilização do projeto tenha exigido peças com alta complexidade, o que poderia influenciar para a escolha de cantoneiras e talas como ligações, reduzindo de forma significativa o tempo de fábrica, os prazos curtos e os atrasos de cronograma desde a aprovação de projeto tornaram imprescindíveis a utilização de ligações soldadas de fábrica.

Neste empreendimento foi possível perceber que, mesmo o projeto da obra sendo voltado para a montagem, não houve a correta priorização de peças durante a fabricação visando um sequenciamento das peças em obra. Por esse motivo, mais de 20% das cargas enviadas para a obra continham peças de mais de uma etapa e a obra chegou a receber peças de 5 etapas diferentes simultaneamente, o que atrasou os serviços de montagem, diminuindo o prazo para finalização de cada etapa e entrega para o Cliente A e mascarando os efeitos positivos totais que as ligações soldadas em fábrica poderiam trazer para a montagem.

O Estudo de Caso II traz a necessidade da utilização das ligações soldadas em fábrica visando uma forma mais eficiente de realizar a montagem, uma redução dos trabalhos em canteiro de obra e uma redução dos riscos envolvidos no envio de grande quantidade de peças para o exterior, mesmo em casos com maior prazo de montagem. Nessa situação, as estruturas metálicas atingem um resultado positivo, tendo a eficiência e produtividade esperada dessa solução construtiva.

Uma grande diferença entre os estudos de caso é justamente o planejamento prévio dos envios de material para obra. O Estudo de Caso I, o material foi enviado para obra conforme a fabricação era finalizada, com isso as etapas não foram enviadas de forma completa, nem em um sequenciamento para montagem, o que gerou, também, um aproveitamento de carga 21% menor do que previsto. Já no Estudo de Caso II, obra do setor de exportação, existia um cronograma para envio do material completo de cada etapa conforme a necessidade do Cliente B, devido a exigência de realizar a reserva com antecedência com a empresa de transporte marítimo. Nesse caso, a redução no aproveitamento das cargas foi de 13%, em relação a previsão. No primeiro estudo, esse problema trouxe dificuldade para a avaliação da produtividade em obra e dos completos benefícios da utilização de ligações com chapas

soldadas, enquanto no segundo possibilitou resultados positivos de uma equipe sem experiência com estruturas metálicas. Conforme apresentado, a logística de um projeto tem influência direta no desempenho da equipe de montagem, principalmente em relação aos prazos para execução do serviço.

A partir dos resultados obtidos das análises foi possível verificar o impacto que a complexidade das peças tem no resultado para fabricação do material, bem como a influência do desafio com prazo do projeto enfrentado pelo setor de montagem. Com isso, o diagrama na Figura 36 apresenta o tipo de ligação entre estruturas metálicas indicado para uma obra de acordo com as variáveis analisadas. Dessa forma, foi considerada como alta complexidade uma obra com 100% das suas peças com mais de 10 acessórios, ou seja, peças classificadas com Complexas e Hiper complexas, e como baixa complexidade uma obra com 100% das peças com menos de 5 acessórios, as peças Supersimples e Simples. Por fim, o nível de flexibilidade do prazo para montagem foi avaliado de acordo com outras obras da Empresa X.

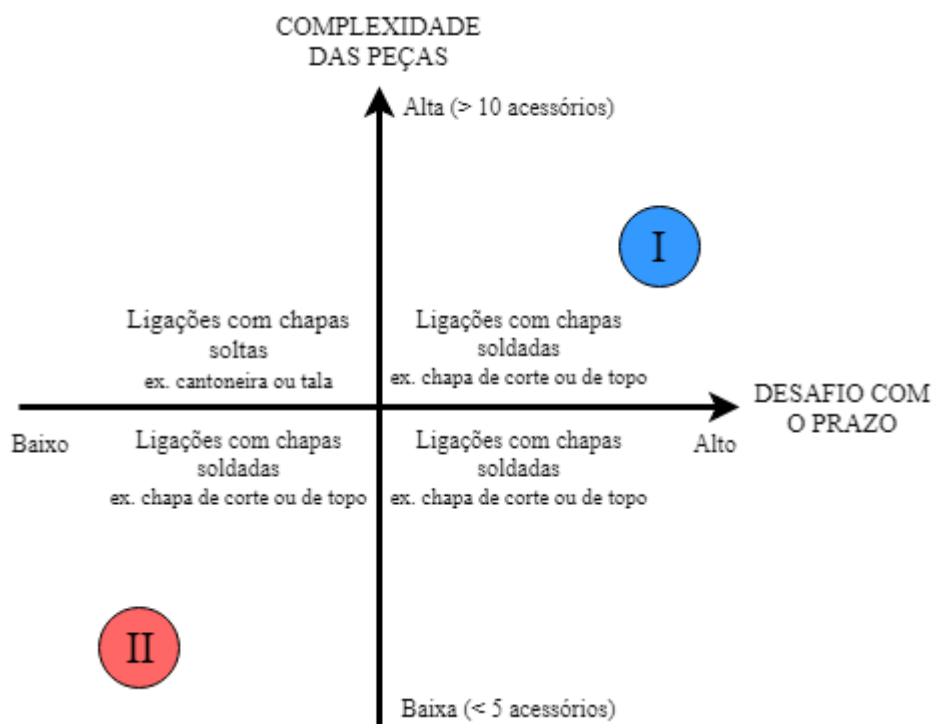


Figura 36 – Diagrama de utilização das ligações.

(fonte: elaborado pela autora)

Ainda, apesar da utilização de ligações soldadas de fábrica ter trazido benefícios para a Empresa X, como o aumento da eficiência do setor de montagem, a redução dos custos de montagem e o aumento da satisfação do cliente, existem oportunidades de melhoria no processo. A principal

delas está na melhoria do *design de produtos* buscando por maneiras de atingir um maior nível de padronização das peças de um projeto, reduzindo as dificuldades na fabricação delas. Além disso, através dos estudos de caso, é perceptível os efeitos que o planejamento de cargas, visando sequenciamento de montagem, ainda tem na produtividade do setor de montagem e no resultado final da obra.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho surgiu do interesse de entender o processo da definição sobre qual ligação entre estruturas metálicas deve ser utilizada, bem como sintetizar as consequências que essa decisão acarreta para a Empresa X. A partir de dois estudos de caso e da profunda avaliação do processo da empresa foi possível obter as conclusões apresentadas nessa seção.

As ligações, de forma separada, possuem baixo valor funcional, porém o processo de conexão é um dos que mais consome tempo na montagem (KALYUN; WODAJÓ, 2012). Por isso, este é considerado um dos pontos de partida para a construção civil incorporar os princípios da produção enxuta: a simplificação da ligação entre componentes. Assim, para atingir os ganhos esperados em um projeto, os conhecimentos de fabricação e montagem dos produtos devem ser utilizados para auxiliar as atividades de projeto a montante da cadeia (CROWLEY, 1998).

É importante destacar como a transição para utilização de ligações com chapas soldadas em fábrica é o reflexo de uma busca por maior eficiência da empresa e um aumento da sua capacidade competitiva, características do cenário atual da construção civil (DOS REIS *et al.*, 2017). Através de um produto desenvolvido para atender necessidades do setor de montagem, foi possível obter diversos benefícios para a Empresa X. Entre eles podem ser destacados:

- a) Maior eficácia no processo de montagem das obras devido à padronização no procedimento de conexão das estruturas e na eliminação de tempos improdutivos das atividades que não agregam valor;
- b) Simplificação do produto final e da logística de canteiro devido à redução do número de partes;
- c) Redução do custo de montagem, resultado de um sistema mais apropriado de execução;
- d) Aumento da satisfação do cliente final.

Porém, apesar dos resultados, a aplicação dos conceitos de modularidade e o desenvolvimento de projetos focados no desempenho global das obras podem trazer maiores benefícios à empresa. O aumento no nível de modularidade dos produtos, com uma interface mais padronizada entre componentes (ULRICH, 1994), traz a discussão sobre o nível de

padronização ideal nas peças de um projeto visando obter melhores resultados nos setores de fabricação e montagem. Ainda, associada a aplicação direta dos conceitos de DFA, levando em conta todas as atividades necessárias para a montagem ainda durante o processo de projeto (WU; O'GRADY, 1999 *apud* KALYUN; WODAJÓ, 2012), deve ser incluída a discussão prévia sobre os impactos em outros setores da empresa, visando encontrar uma maneira de reduzir suas dificuldades.

O objetivo principal deste trabalho foi “analisar os impactos gerados pelas ligações entre estruturas metálicas no processo produtivo e na montagem de obras”. Para esse fim, foi necessário desdobrar este em outros quatro objetivos secundários.

O primeiro objetivo secundário tratou do entendimento das variações no processo produtivo e de montagem a partir da utilização das chapas soldadas em fábrica e das chapas soltas como conexão entre as estruturas metálicas de edificações de múltiplos andares. Esses são os dois processos mais relevantes para a decisão das conexões entre estruturas. Enquanto para um a mudança traz benefícios, para a outra ela traz prejuízos. O importante nessa questão é o entendimento, de acordo com as características de cada projeto, de qual setor é prioritário para que a empresa entregue o melhor resultado para o seu cliente. Dependendo o projeto, o aumento de trabalho para a fábrica pode ser maior do que a redução de trabalho da montagem, porém, ainda assim, o ritmo de produção da fábrica pode continuar sendo superior. Ou seja, esse fator não deve ser analisado de forma isolada. O sucesso na execução das obras com a mentalidade enxuta é obtido através da adoção das técnicas construtivas mais produtivas desde as etapas de concepção do projeto, que devem priorizar a análise da obra de uma forma global (CORREA, 2018). Porém, apesar das ligações com chapas soldadas serem uma evolução para o setor de montagem, fica clara a necessidade de um maior desenvolvimento do seu modo produtivo, visando a redução dos impactos negativos na fábrica.

A partir dos estudos de caso, foi possível identificar alguns pontos chave no processo de escolha do tipo de conexão a ser utilizado: a complexidade das peças a serem produzidas e o desafio com prazo para entrega da obra enfrentado pela empresa. O primeiro tem relação direta com o tempo necessário para produção das peças em fábrica, enquanto o segundo reflete a necessidade de uma alta eficiência do setor de montagem. Apesar das opções de ligações estudadas terem ambas pontos positivos e negativos para os setores da Empresa X, a avaliação em conjunto das

características das peças da obra e do tempo disponível para execução do projeto fornece uma definição adequada para o tipo de ligação.

O segundo objetivo secundário foi “analisar as diferenças de processo para obras nacionais e de exportação da Empresa X”. Como visto nos estudos de caso, duas das maiores diferenças estão no planejamento de envio de material para a obra e na produtividade do canteiro. Em obras de exportação, devido a necessidade de reservar previamente espaço para envio de cargas, existe um planejamento mais detalhado e rigoroso para o envio das peças, garantindo o envio de etapas completas e minimizando a mistura de etapas em uma carga. Por outro lado, nessas obras, normalmente equipes terceirizadas de montagem não possuem muita experiência com estruturas metálicas, o que reflete numa menor produtividade da obra. Nesse ponto, a utilização das ligações com chapas soldadas se apresenta como um benefício, tanto pelo aumento de produtividade, quanto pela redução da quantidade de peças enviadas para a obra.

O terceiro objetivo secundário foi analisar os impactos dos dois tipos de ligações tem para outros setores da empresa. Como apresentado nos estudos de caso, para o setor de Engenharia poucas são as diferenças no processo de desenvolvimento de um projeto conforme a escolha das ligações. Porém, a mudança que ocorreu na Empresa X na ligação padrão entre as estruturas metálicas de edificações de múltiplos andares trouxe impactos negativos para o setor, como na necessidade de estruturação do setor, através da aquisição e criação de ferramentas adequadas. Para o setor da Logística os impactos são maiores. Com a utilização das chapas soldadas em fábrica, o setor tem uma maior dificuldade para a montagem das cargas, o que reflete na redução do aproveitamento de carretas e containers.

O último objetivo secundário trata da análise de pontos de melhoria no processo. Após a análise dos casos, dois principais pontos foram determinados: planejamento de cargas, a partir da elaboração de um plano de cargas de forma prévia ao processo de logística, com o objetivo de seguir o sequenciamento de montagem da obra e evitar o envio de etapas incompletas ou de mistura de etapas numa mesma carga, e design de produto, buscando uma maior padronização de peças dentro de um projeto, o que possibilita uma otimização dos serviços de produção das peças, reduzindo os tempos de fábrica.

Ainda, é importante ressaltar a falta de padrão nas unidades de medida das informações dos setores. Enquanto o planejamento e controle de produção é feito a partir do número de peças, seu resultado é medido em peso, e enquanto o planejamento de montagem é feito por peça ou

metro quadrado, dependendo do tipo de obra, normalmente seu resultado é medido em etapa completa. Essas diferentes formas de acompanhamento e medição de resultados dificultam a avaliação do processo e, por muitas vezes, atrapalham o correto fluxo dele, por ter cada setor focado em um objetivo diferente.

A partir das conclusões apresentadas, surgiram algumas oportunidades para a realização de estudos futuros em relação ao desenvolvimento de ligações entre as estruturas metálicas de edificações de múltiplos andares:

- a) Avaliar o tempo de atravessamento das peças em fábrica;
- b) Quantificar os custos envolvidos no processo de cada setor e o retorno financeiro dessa alteração de padrão das ligações;
- c) Aplicar conceitos como *desing-for-manufacture* buscando uma melhoria no processo fabril das ligações com chapa soldada;
- d) Validar a utilização das soluções de ligações em outras empresas de estruturas metálicas;

REFERÊNCIAS

- APPLETON, E.; GARSIDE, J. A. A team-based design for assembly methodology. *Assembly Automation*, v. 20, n. 2, p. 162-170, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800. Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Segunda edição, 2008.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. *Design rules: The power of modularity*. MIT press, 2000.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. What kind of production is construction? *Proc. 6 th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Construction*. p. 13-15, 1998.
- BERTRAND, J. W. M.; MUNTSLAG, D. R. Production control in engineer-to-order firms. *International Journal of Production Economics*, v. 30, p. 3-22, 1993.
- BIBBY, L. *Improving design management techniques in construction*. Tese de Doutorado, 2003.
- BORTOLINI, R. *Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo ETO com o uso de BIM 4D*. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil: UFRGS. Porto Alegre, 2015.
- CHANG, G. A.; PETERSON, W. R. Using design for assembly methodology to improve product development and design learning at MSU. In: *American Society for Engineering Education*. American Society for Engineering Education, 2012.
- CHEN, W.; ROSEN, D.; ALLEN, J. K.; MISTREE, F. Modularity and the independence of functional requirements in designing complex systems. *Concurrent Product Design*, v. 74, p. 31-38, 1994.
- CONTE, A. S. I.; GRANSBERG, D. *Lean construction: From theory to practice*. *AACE International Transactions*, p. 10.1, 2001.
- CORREIA, João Victor Freitas Barros. *Contextualização dos princípios da construção enxuta: aplicação da filosofia enxuta do Sistema Toyota de Produção na indústria da construção civil em exemplos práticos*. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT*, v. 4, n. 3, p. 29, 2018.
- CROWLEY, Andrew. *Construction as a manufacturing process: Lessons from the automotive industry*. *Computers & Structures*, v. 67, n. 5, p. 389-400, 1998.
- DAVIES, G. *The future of DfMA is the future of construction*. *Engineering Excellence Journal*. United Kingdom: Laing O'Rourke, 2013.
- DEWHURST, N. P. *DFMA the product, then lean the process*. *Proceedings of the International Forum on Design for Manufacture and Assembly*, p. 15-16, 2010.

DOS REIS, C. C. C.; MORO, M. F.; DE ALMEIDA FLORES, S.; WEISE, A. D. Construção enxuta, proposta de diagnóstico e análise do canteiro de obras. *Revista da FAE*, v. 20, n. 1, p. 42-58, 2017.

DURAY, R.; WARD, P. T.; MILLIGAN, G. W.; BERRY, W. L. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. *Journal of Operations Management*, v. 18, n. 6, p. 605-625, 2000.

ETHIRAJ, S. K.; LEVINTHAL, D. Modularity and innovation in complex systems. *Management science*, v. 50, n. 2, p. 159-173, 2004.

FORMOSO, C. T. Lean construction princípios básicos e exemplos. *Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obras*, São Paulo, v. 15, p. 50-58, 2002.

GERSHENSON, J. K.; PRASAD, G. J.; ZHANG, Y. Product modularity: definitions and benefits. *Journal of Engineering design*, v. 14, n. 3, p. 295-313, 2003.

GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics*, v. 122, n. 2, p. 741-754, 2009.

HIROTA, E. H.; FORMOSO, C. T. O processo de aprendizagem na transferência dos conceitos e princípios da produção enxuta para a construção. *Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC*, v. 7, 2000.

HOWELL, G.; BALLARD, G. Implementing lean construction: understanding and action. *Proc. 6 th Ann. Conf. Intl. Group for Lean Construction*, 1998.

JÜRISOO, E.; STAAF, R. Connection Design for Easy Assembly On-Site. Tese de Doutorado. Master's thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2006.

KALYUN, M.; WODAJO, T. Application of a Design Method for Manufacture and Assembly, Flexible Assembly Methods and their Evaluation for the Construction of Bridges. 2012.

KOSKELA, L. An exploration towards a production theory and its application to construction. *VTT Technical Research Centre of Finland*, 2000.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. *CIFE Technical Report*, n. 72: Center for Integrated Facility Engineering, Salford, 1992.

KUO, T. C.; HUANG, S. H.; ZHANG, H. C. Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. *Computers & industrial engineering*, v. 41, n. 3, p. 241-260, 2001.

LEAN INSTITUTE BRASIL (LIB). *Léxico Lean. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean*. Tradução de Lean Institute Brasil. São Paulo, 2003.

LEHTONEN, T.; JUUTI, T.; PULKKINEN, A.; RIITAHUHTA, A. Dynamic modularisation-a challenge for design process and product architecture. In: *DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design*, Stockholm. 2003.

LESSING, J. Industrialised house-building. Concept and Processes, 2006.

LITTLE, D.; ROLLINS, R.; PECK, M.; PORTER, J. K. Integrated planning and scheduling in the engineer-to-order sector. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 13, n. 6, p. 545-554, 2000.

LOREZON, I. A. Discussão sobre a medição de desempenho na lean Construction. *Simpósio de Engenharia de Produção SIMPEP*, v. 13, 2006.

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. *Procedia CIRP*, v. 17, p. 457-462, 2014.

O'DRISCOLL, Martin. Design for manufacture. *Journal of materials processing technology*, v. 122, n. 2-3, p. 318-321, 2002.

SCHRAMM, W. Notes on Case Studies of Instructional Media Projects. Stanford University, California Institute for Communication Research, 1971.

ULRICH, K. Fundamentals of product modularity. In: *Management of Design*. Springer, Dordrecht, p. 219-231, 1994.

VIANA, D. D.; TOMMELEIN, I. D.; FORMOSO, C. T. Using Modularity to Reduce Complexity of Industrialized Building Systems for Mass Customization. *Energies*, v. 10, n. 10, p. 1622, 2017.

YIN, R. K. Case study research: Design and methods (applied social research methods). London and Singapore: Sage, 2009.