



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

SHANDY ALEXANDRA MORASSI FRANCISCO

**GESTÃO DO PROCESSO DE LOGÍSTICA E MONTAGEM DE
EDIFICAÇÕES INDUSTRIALIZADAS MODULARES**

Londrina
2018

SHANDY ALEXANDRA MORASSI FRANCISCO

**GESTÃO DO PROCESSO DE LOGÍSTICA E MONTAGEM DE
EDIFICAÇÕES INDUSTRIALIZADAS MODULARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Altibano Ortenzi Jr.

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Francisco, Shandy Alexandra Morassi .

Gestão do processo de logística e montagem de edificações industrializadas modulares / Shandy Alexandra Morassi Francisco. - Londrina, 2018.
146 f. : il.

Orientador: Altibano Ortenzi Junior.

Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento Integrado de Produto - Tese. 2. Ciclo de Vida de Produto - Tese. 3. Edificação industrializada - Tese. 4. Logística - Tese. I. Ortenzi Junior, Altibano. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

SHANDY ALEXANDRA MORASSI FRANCISCO

**GESTÃO DO PROCESSO DE LOGÍSTICA E MONTAGEM DE
EDIFICAÇÕES INDUSTRIALIZADAS MODULARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Altibano Ortenzi Jr.
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Membro ext.: Prof. Dr. José Ângelo Ferreira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR - Londrina

Membro: Prof^a. Dr^a. Ercilia H. Hirota
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 19 de outubro de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e orientação.

Ao meu orientador prof Altibano Ortenzi pelo empenho e dedicação.

Às equipes ZEMCH-UEL e GETin pela parceria no desenvolvimento do projeto e todo o auxílio nesse trabalho.

Aos professores José Ângelo Ferreira e Ercília H. Hirota pela contribuição para a melhoria da pesquisa.

Ao meu amado marido Nilton pela parceria e ajuda incansáveis e aos meus filhos Sofia e Thomas pela compreensão.

Aos familiares e amigos por todo apoio e orações.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa pesquisa.

RESUMO

No Desenvolvimento Integrado de Produto - IPD, o processo considera cada fase como ciclos de vida. Desses, um importante ciclo é o da logística e outro o de montagem. Nesse contexto, este trabalho propôs diretrizes para logística e montagem de edificações industrializadas modulares. Foram estabelecidos os métodos e processos mais adequados, incluindo uso de ferramentas que melhor se adaptassem aos processos de concepção, criação e produção de um sistema focado na qualidade e na sustentabilidade, mas que proveesse a máxima flexibilidade a seus usuários finais. Desta forma, optou-se por utilizar os processos baseados no IPD, assim como os métodos de análise e de criação que atendessem aos requisitos iniciais do projeto. Dentre esses, destacam-se o processo de Engenharia Concorrente – CE, o Projeto Direcionado à eXcelência – DfX e o Ciclo de Vida de Produto – PLC. A razão para a escolha desses métodos e processos foi o fato de que através das ferramentas descritas, é possível desenvolver continuamente e iterativamente todos os subsistemas simultaneamente, permitindo mudanças e reavaliações em tempo real com *feedback* de todo o processo e de todos os membros do time de desenvolvimento. Isso reduz a perda de informações e possibilita atingir níveis de qualidade do produto que outros processos não permitem. O desenvolvimento da pesquisa ocorreu de forma interativa com o projeto global do grupo GETin – UEL denominado FlexHouse, e a partir dos dados de entrada fornecidos pelo grupo, coleta de dados, referência bibliográfica e consultas às normas e legislação. Em seguida, foram realizados os estudos iterativos de cenários possíveis de logística e montagem – LoM, considerando as diretrizes do desenvolvimento, do ciclo de vida do produto, normativas e legais. A definição do cenário de LoM resultou na elaboração do Plano de LoM, ou PLoM, do qual constam o detalhamento das atividades e tarefas de LoM e juntamente com a Modelo Dinâmico de Descarregamento e Montagem – MDDM geraram as Instruções Específicas de Trabalho – IET's. Estas discretizam os procedimentos necessários para a execução de atividades e tarefas, considerando ferramentas e equipamentos necessários, mão de obra e sequenciamento da montagem. A partir do PLoM da FlexHouse, foi possível extrair as diretrizes que compõem o protocolo de planejamento de LoM de edificações industrializadas modulares, objetivo da presente pesquisa.

Palavras-chave: IPD. PLC. DfRu. Edificação industrializada. Logística.

ABSTRACT

During the Integrated Product Development – IPD, the process considers every stage as life cycles. Of these, an important cycle is the logistics and other assembly. In this context, this work established guidelines for the logistics and assembly of industrialized modular buildings. It sought to establish the most suitable methods and processes, as well as the tools that best adapt to the processes of design, creation and production of a system focused on quality and sustainability, but that provides maximum flexibility to your end users. So, it was decided to use the IPD-based processes, as well as methods of analysis and creation which complied with the requirements of the initial project. Among these include the Concurrent Engineering – EC process, the Design for eXcellence – DfX and Product Life-Cycle – PLC. The reason for the choice of these methods and processes was in the fact that through the tools described, it is possible to develop continues iteratively and all subsystems simultaneously, allowing for changes and new evaluations in real time with feedback from the entire process and all the members of the development team. This reduces the loss of information and makes it possible to achieve product quality levels that other processes do not allow. The research was carried out in an interactive way with the global project of the group GETin – UEL denominated FlexHouse, and based on the input data provided by the group, data collection, reference bibliographies and consultations to norms and legislation. Then, it was carried out the iterative studies of possible scenarios of logistics and assembly - LoA, taking into account the guidelines of development, product life cycle, normative and legal. The definition of the LoA scenario resulted in the elaboration of the LoA Plan, or LoAP, which includes the detailed activities and tasks of LoA and together with the Dynamic Model of Unloading and Assembly – DMUA generated the Specific Work Instructions – SWI's. These discretized procedures necessary for the execution of activities and tasks, considered the tools and equipment required, labor and assembling sequence. From FlexHouse's LoAP, it was possible to extract the guidelines that make up the load planning protocol for modular industrial buildings, the objective of the present research.

Keywords: *IPD. PLC. DfRu. Industrialized building. Logistics.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxo de trabalho do IPD.....	16
Figura 2 – Planta Layout – Área: 76,62 m ²	17
Figura 3 - Linha do tempo de métodos e técnicas em desenvolvimento de produtos	22
Figura 4 – Envolvimento entre alguns dos DfXs.....	30
Figura 5 – Principais características do IPD.....	33
Figura 6 – Processo de gestão logística	38
Figura 7 – Proporção entre custos de processos de logística	40
Figura 8 – Flutuabilidade da equipe de LoM no decorrer da pesquisa	47
Figura 9 – Delineamento do método de pesquisa	48
Figura 10 – Placa alveolar tipo radier pré-fabricada modular de concreto armado ...	52
Figura 11 – Perspectiva explodida da estrutura do painel.....	53
Figura 12 – Par de painéis com conectores	53
Figura 13 – Janela projetante em alumínio e vidro fixada na estrutura do painel	54
Figura 14 – Conector <i>Plug'n Use</i> de instalações hidrossanitárias.....	55
Figura 15 – Painel com tomada e conector <i>Plug'n Use</i> de instalações elétricas.....	55
Figura 16 – Módulo externo da cobertura	56
Figura 17 – Capa de fixação superior entre os módulos de cobertura	57
Figura 18 – Corte esquemático do núcleo central sobre o módulo de cobertura	58
Figura 19 – Especificações técnicas do guindaste articulado modelo HB150 E2	60
Figura 20 – Diagrama de cargas do guindaste articulado modelo HB150 E2	61
Figura 21 – Exemplo de <i>QR-Code</i> e da codificação gerada para uma peça	64
Figura 22 – Raio de alcance do braço do <i>munck</i> na opção inicial de montagem.....	70
Figura 23 – Raio de alcance do <i>munck</i> na opção 1 de montagem proposta.....	72
Figura 24 – Raio de alcance do <i>munck</i> na opção 2 de montagem proposta.....	74
Figura 25 – Esquema de taludes entre terrenos	96
Figura 26 – Fluxograma para elaboração do PLoM	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Time de desenvolvimento de produto biênio 2017/2018	15
Tabela 2 – Estrutura do ciclo de vida do produto	37
Tabela 3 – Distribuição da matriz de transportes de carga por modal	40
Tabela 4 – Dimensões e peso de louças e metais	59
Tabela 5 – Quantitativo de radier	75
Tabela 6 – Quantitativo das canaletas	76
Tabela 7 – Quantitativo de painéis	77
Tabela 8 – Quantitativo do rodete	80
Tabela 9 – Quantitativo de louças e metais.....	80
Tabela 10 – Conjuntos de radier	82
Tabela 11 – Embalagens das canaletas	82
Tabela 12 – Embalagens dos painéis	83
Tabela 13 – Embalagens de rodete	84
Tabela 14 – Dimensões e peso de louças e metais	85
Tabela 15 – Codificação.....	86
Tabela 16 – Composição das cargas de transporte	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AET	Autorização Especial de Trânsito
CAD	<i>Computer Aided Design</i> – Desenho assistido por computador
CE	<i>Concurrent Engineering</i> – Engenharia Concorrente ou Simultânea
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DfA	<i>Design for Assembly</i> – Projeto direcionado à Montagem
DfD	<i>Design for Disassembly</i> – Projeto direcionado à Desmontagem
DfE	<i>Design for Environment</i> – Projeto direcionado ao Meio Ambiente
DfM	<i>Design for Manufacturing</i> – Projeto direcionado à Fabricação
DfRe	<i>Design for Recycling</i> – Projeto direcionado à Reciclagem
DfRu	<i>Design for Reuse</i> – Projeto direcionado à reutilização
DfX	<i>Design for Excellence</i> – Projeto direcionado à Excelência
DP	Desenvolvimento de produto
ELoM	Equipe de logística e montagem
EPS	<i>Expanded PolyStyrene</i> – Poliestireno expandido
ERP	<i>Enterprise resources planning</i> – Planejamento de recursos empresariais
ETM	Equipamento para transporte e montagem
FIFO	<i>First in, first out</i> – primeiro a entrar, primeiro a sair
GB	<i>Gigabyte</i>
GETin	Grupo de estudos em tecnologia e inovação
GPS	<i>Global Positioning System</i> – Sistema de posicionamento global
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i> – Unidade de processamento gráfico

IC	Indústria da Construção
IET	Instrução Específica de Trabalho
IPD	<i>Integrated Product Development</i> – Desenvolvimento Integrado de Produto
IPD-T	<i>Integrated Product Development Team</i> – Time de Desenvolvimento Integrado de Produto
JIT	<i>Just-in-time</i>
LIFO	<i>Last in, first out</i> – último a entrar, primeiro a sair
LoM	Logística e montagem
MDDM	Modelo Dinâmico de Descarregamento e Montagem
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i> – Aglomerado de Média Densidade
MS	<i>Microsoft</i>
PDM	<i>Product Data Management</i> – Gerenciamento de dados do produto
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PLC	Product Life-Cycle –Ciclo de Vida de Produtos
PLM	<i>Product Life-cycle Management</i> – Gestão de Ciclo de vida de Produtos
PLoM	Processo de Logística e Montagem
QR-Code	<i>Quickly Response Code</i> – Código de resposta rápida
RAM	<i>Random Access Memory</i> – Memória de acesso aleatório
UEL	Universidade Estadual de Londrina
ZEMCH	<i>Zero Energy Mass Custom Home</i> – Habitação com Zero consumo de Energia e Customização em Massa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Desenvolvimento do Projeto	15
1.2	Objetivo Geral	18
1.3	Objetivos Específicos	18
1.4	Justificativa	18
1.5	Contribuição	19
1.6	Estrutura do trabalho	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	Desenvolvimento de Produto	21
2.1.1	<i>DfX</i>	23
2.1.2	<i>CE</i>	31
2.1.3	<i>IPD (IPDM)</i>	32
2.1.4	<i>PLC e PLM</i>	34
2.2	Logística	37
2.2.1	<i>Logística de embalagem</i>	38
2.2.2	<i>Logística de transporte</i>	40
2.2.3	<i>Logística de montagem</i>	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1	Materiais	45
3.2	Método	46
3.2.1	<i>Processamento de dados</i>	48
3.2.2	<i>Análise de cenários</i>	49
3.2.3	<i>Discussões e ponderações</i>	49
3.2.4	<i>Iterações</i>	50
4	PLANEJAMENTO DE LOGÍSTICA E MONTAGEM	51
4.1	Pré Planejamento: Dados de Entrada	51
4.1.1	<i>Composição e caracterização da FlexHouse</i>	51
4.1.2	<i>Legislação e normas pertinentes</i>	59

4.1.3	<i>Dados de fornecedores</i>	60
4.1.4	<i>Estudo de viabilidade do terreno e entorno</i>	62
4.2	Planejamento: Elaboração do PLoM	63
4.2.1	<i>Posição geográfica e rotas</i>	68
4.2.2	<i>Quantificação</i>	75
4.2.3	<i>Embalagens de transporte</i>	81
4.2.4	<i>Codificação</i>	86
4.2.5	<i>Carregamento e cargas</i>	87
4.2.6	<i>Descarregamento</i>	91
4.2.7	<i>Sequência de montagem</i>	92
4.2.8	<i>Dimensionamento das equipes</i>	104
4.2.9	<i>Verificação</i>	104
4.2.10	<i>Redefinição</i>	105
4.3	Pós Planejamento: Execução do PLoM	105
5	PROTOCOLO DE PLANEJAMENTO DE LOM	106
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	110
7	REFERÊNCIAS	112
	APÊNDICE A – PLANOS DE CARREGAMENTO	119
	APÊNDICE B – MODELO DINÂMICO DE DESCARREGAMENTO E MONTAGEM – MDDM	123
	APÊNDICE C – MODELO DE IET – EXEMPLO FUNDAÇÃO	141
	APÊNDICE D – GRÁFICO DE GANTT	143

1 INTRODUÇÃO

O aumento do crescimento da população, a intensa urbanização e a rápida expansão econômica acompanhados da Revolução Industrial geraram grande pressão sobre o setor da construção civil para a melhoria de seu desempenho, mas que não foi investigada seriamente até o século XX. A industrialização da produção em fábrica centralizada na construção civil foi definida na Europa e Estados Unidos durante os anos 1920 e 1930, mas um progresso substancial percebeu-se somente após o fim da Segunda Guerra Mundial (SULLIVAN, 1980 , p. 1).

Os sistemas industrializados na Europa partiram da melhoria dos métodos tradicionais, passando pela escolha dos melhores sistemas e exclusão dos que não eram competitivos, até a introdução de métodos científicos para diminuição dos custos (FULLER, 1975 apud (FRANCO, 1992).

Segundo Franco (1992), motivada pelo crescente déficit habitacional no Brasil, a construção de grandes conjuntos habitacionais no final dos anos 70 e início dos anos 80 pela primeira vez marca a utilização em massa de sistemas construtivos inovadores. Ao mesmo tempo, procurou alternativas para aumentar a produtividade na Indústria da Construção – IC, até então dominada por técnicas e materiais artesanais, sem acompanhar a evolução dos outros setores da indústria. Porém, o objetivo era reduzir tempo e custo, muitas vezes em prejuízo de características como conforto e durabilidade (FRANCO, 1992).

Inicialmente, esses sistemas construtivos foram importados e consistiam-se na pré-fabricação fechada, que se baseia na massificação da produção de elementos e componentes que são característicos de um projeto, reduzindo custo e aumentando a produtividade, sem a necessidade de definição prévia de todos os problemas metodológicos (FARAH, 1992; FRANCO, 1992). Porém, muitos desses sistemas já se mostravam obsoletos nos países de origem e causaram diversos problemas de ordem gerencial e de qualidade (FRANCO, 1992).

Em paralelo, foram sendo desenvolvidos outros sistemas construtivos, porém sem embasamento científico, o que ocasionou inúmeros problemas de patologias das

construções, além de criar imagem negativa para os sistemas construtivos não convencionais (JOHN, 1990; FRANCO, 1992).

Na Europa e nos Estados Unidos, passou-se a adotar a industrialização de ciclo aberto, onde os componentes da construção são industrializados e coordenados como um todo (FRANCO, 1992).

No Fórum Econômico Mundial de 2002 (ENVIRONMENTAL, 2002) foi declarado que “o desenvolvimento sustentável procura a melhoria da qualidade de vida de todos os habitantes do mundo sem aumentar o uso de recursos naturais além da capacidade da Terra”. Posto isto, é necessário repensar o estilo de vida do homem e os sistemas produtivos, de forma a consumir os recursos disponíveis de forma racional, possibilitando sua renovação e de forma a não os esgotar.

Algumas iniciativas importantes que buscam gerar produtos que possuam melhor desempenho energético e produção sustentável têm avançado na busca por soluções mais sustentáveis (ZEMCH, 2017).

A madeira e seus derivados são os materiais que menos consomem energia durante seu ciclo de vida de extração e beneficiamento, quando comparados com o aço ou o concreto (ANEJO, 2014). Disso se deduz que são candidatos viáveis para uso em construção civil. Além disso, possui maior eficiência energética que o concreto e derivados usados em construção civil (GUO *et al.*, 2017).

Os princípios de Projeto Direcionado à Excelência (*Design for eXcellence – DfX*), *Concurrent Engineering – CE* (Engenharia Concorrente ou Simultânea), Desenvolvimento Integrado de Produto (Integrated Product Development – IPD), Ciclo de Vida do Produto (*Product Life-Cycle – PLC*) e Gestão de Ciclo de Vida do Produto (Product Life-cycle Management – PLM) surgiram após 1980, quando foi implantada mundialmente a série de normas ISO 9000, publicada inicialmente pelo Instituição Britânica de Normas (BSI – *British Standards Institution*) em 1979 como BS 5750 e posteriormente adotada como norma mundial pela ISO (*International Standardization Organization*) (BSI, 2018). Essas, por sua vez, derivaram da norma militar americana MIL Q-9858 de 1959 (US, 1959), de onde se originou por questões militares e aeroespaciais, a exigência por projetos e produtos de alta qualidade e confiabilidade. Contudo, anteriormente, no setor de construção naval tais requisitos já eram aplicados desde o século XIX, pelas denominadas Sociedades Classificadoras navais, as quais

já possuíam força normativa com suas normas para aquele setor dos principais países europeus, como a norueguesa Det Norske Veritas – DNV, de 1864, a alemã convenção Germanischer Lloyd – GL, de 1868, que passaram a colaborar entre si a partir de 1868 (DNV-GL, 2018) ou a italiana RINA, de 1861 (RINA, 2018).

Dos princípios mencionados anteriormente, a maioria não é aplicada efetivamente na indústria da construção civil – IC no Brasil e iniciativas que buscam melhoria no processo e no produto estão associadas a outras teorias e princípios. São encontrados na literatura alguns exemplos como: Sistema Toyota de Produção – STP, *Lean Construction* (Construção Enxuta) e *Building Information Modeling* – BIM (Modelagem da Informação da Construção) e essa correlação é bem delineada por (ALMEIDA; PICCHI, 2018).

Diferente dos princípios de desenvolvimento de produto que datam de época recente, a logística e o gerenciamento da cadeia de suprimentos não são ideais novas. Da construção das pirâmides ao combate à fome na África, os princípios que sustentam o efetivo fluxo de materiais e informações para atenderem às exigências dos clientes foram pouco alterados. Ao longo da história da humanidade, as guerras foram ganhas e perdidas através de forças e capacidades logísticas - ou a falta delas. No entanto, é estranho que apenas no passado recente as organizações empresariais tenham reconhecido o impacto vital que a gestão logística pode ter na obtenção de vantagem competitiva. Em parte, essa falta de reconhecimento deriva do nível relativamente baixo de compreensão dos benefícios da logística integrada. (CHRISTOPHER, 2016 , p. 1-2).

Na revisão da literatura não foram encontradas referências que sustentassem a aplicação dos princípios de DfX, EC, IPD e PLC em processos que ainda sejam artesanais ou não mecanizados, industrialmente falando. Consequentemente, que não sejam produzidos em um ambiente fabril, com os controles de qualidade inerentes e, posteriormente os componentes e subsistemas produzidos sejam montados no local solicitado pelos clientes.

1.1 Desenvolvimento do Projeto

Esta pesquisa está inserida em um dos projetos do Grupo de Estudos em Tecnologia e Inovação – GETin na Universidade Estadual de Londrina – UEL, denominado FlexHouse ou edificação flexível, proposto a partir de trabalhos anteriores desenvolvidos pelo ZEMCH Network-UEL (*Zero Energy Mass Customization Home Network – Rede Habitação com Zero consumo de Energia e Customização em Massa*). Esse projeto teve início no primeiro semestre de 2016 por meio da formação de equipes multidisciplinares para desenvolver de forma integrada uma edificação habitacional a partir dos princípios de CE, DfX, IPD e PLC.

A Tabela 1 apresenta o resumo da composição das equipes que têm atuado desde o início do projeto, subdivididos por categoria.

Tabela 1 – Time de desenvolvimento de produto biênio 2017/2018

	ZEMCH	GETin	TOTAL
Docentes	8	3	11
Doutorandos	-	1	1
Mestrandos	4	4	8
Graduandos	7	7	14
Colaborador externo	2	1	3
TOTAL	21	16	37

Fonte: ZEMCH-UEL/GETin, 2018

Neste projeto, o princípio de Engenharia Concorrente (CE) foi aplicado como meio para atingir o Desenvolvimento Integrado do Produto (IPD), ou seja, a partir dos conceitos de execução paralela de atividades do projeto foi possível discretizar as atividades afins daquelas singulares. Assim, a partir dos grupos de atividades encontradas foi possível estabelecer os grupos de trabalho com as aptidões para cada uma delas.

Conforme os princípios de desenvolvimento avançam ao longo do tempo em termos de: projeto, produção, custos, recursos, tecnologia embarcada, ciclo de vida e disposição final, as fases se desenvolveram sob a forma espiral. Portanto, esse formato evolutivo do projeto se constitui do Ciclo de Vida do Produto (PLC) e Gestão do Ciclo de Vida do Produto (PLM), cuja ferramenta operacional é o projeto direcionado à excelência (DfX).

O projeto FlexHouse é composto pelo time de desenvolvimento integrado de produto (Integrated Product Development Team – IPD-T) que se compõe de um líder

e a respectiva equipe responsável por cada grande atividade, dentro das quais são distribuídas funções e competências. A Figura 1 ilustra esta composição e evolução.

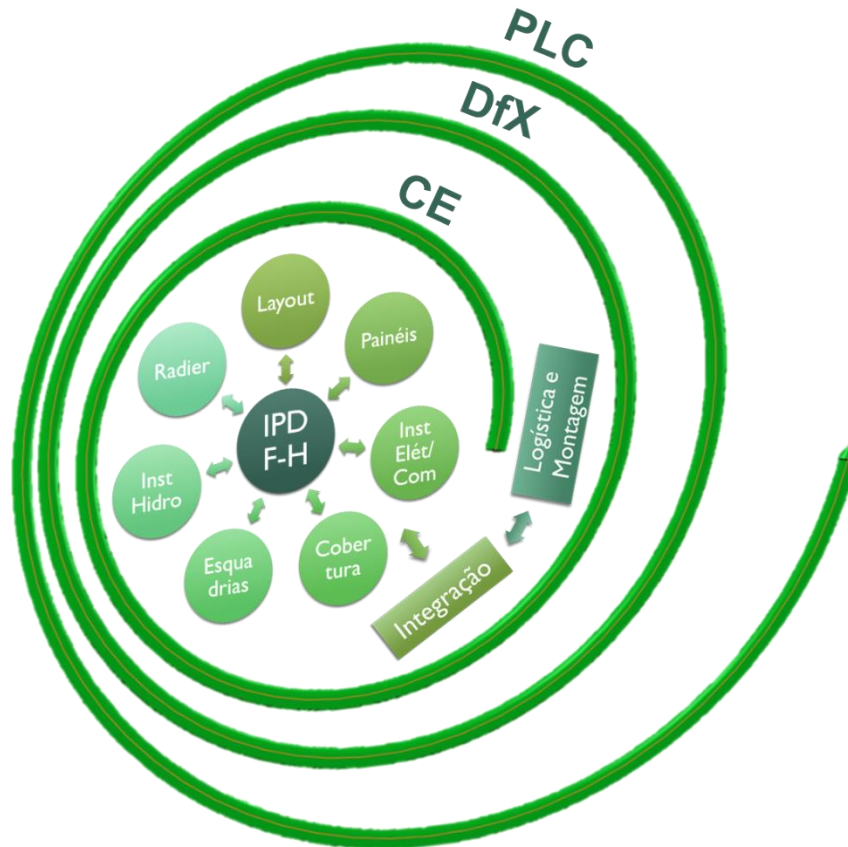


Figura 1 – Fluxo de trabalho do IPD
Fonte: ZEMCH-UEL/GETin, 2018

A equipe de integração trabalhou juntamente com cada equipe no desenvolvimento das formas de encaixe dos componentes para a construção do sistema como um todo.

A equipe de logística e montagem – ELoM elaborou o planejamento do carregamento na fábrica, transporte, descarregamento no local e montagem da edificação, por meio do IPD, fazendo a gestão de todo o seu ciclo de vida. Esta pesquisa compreende o que está sendo desenvolvido pela ELoM.

Dentre as opções de layout desenvolvidas no projeto, para esta pesquisa foi escolhido o projeto apresentado na Figura 2. A edificação compõe-se de três quartos, sendo um deles suíte, mais um banheiro social, sala de jantar conjugada com sala de estar, cozinha e área de serviço, com área construída total de 76,62 m².



Figura 2 – Planta Layout – Área: 76,62 m²
 Fonte: ZEMCH-UEL/GETin, 2017

Apesar da produção em fábrica também estar sendo desenvolvida no projeto, não é mencionada nessa pesquisa por não gerar informações de entrada para a mesma, uma vez que aqui foram estudadas as possibilidades de montagem e as interferências associadas entre logística e o processo propriamente dito. Assim, em relação à fábrica foi imposta a forma de embalagem dos componentes e a ordem de carregamento dos mesmos, os quais refletem no processo de descarregamento e montagem.

Para tanto, o produto foi desenvolvido de tal forma que possibilite montagem, desmontagem, reconversão e reutilização, com enfoque, além do IPD, no Projeto Direcionado à Reutilização (*Design for Reuse – DfRu*) como ferramentas para integrar qualidade e desempenho, sem aumento significativo do custo de produção.

Pensando no produto em todo o seu ciclo de vida, desde a concepção até o fim de sua vida útil, seguem algumas definições relacionadas à sustentabilidade consideradas no seu desenvolvimento pelo grupo de pesquisa:

- Concepção: pensada para que o produto tenha desempenho estrutural, construtivo e energético conforme prescrito em norma (ABNT, 2013) e que os componentes possam ser reutilizados ou reconvertidos após a vida útil do sistema;
- Materiais: selecionados visando sustentabilidade;

- Modularidade: permite a flexibilidade de montagem, reversibilidade e possibilidade de reutilização ou reconversão;
- Fabricação e montagem industrializadas e modulares: pensando em um processo eficiente, visando otimizar gastos com energia, geração mínima de resíduos e redução do desperdício de tempo e de material.

1.2 Objetivo Geral

Propor um protocolo para o planejamento de logística e montagem de edificações industrializadas modulares.

1.3 Objetivos Específicos

- a) Elaboração do plano logístico de transporte e montagem para uma unidade do sistema industrializado desenvolvido;
- b) Criação dos protocolos com sequências de carregamento, descarregamento e movimentação dos componentes;
- c) Verificar e definir as sequências e instruções de montagem de cada subsistema integrados ao transporte, de forma a garantir a sincronização adequada entre descarregamento, manuseio, estoque e montagem do sistema considerado, de acordo com os itens anteriores;
- d) Proposição de procedimentos para controle e verificação do processo de logística e montagem.

1.4 Justificativa

Sendo a construção civil o tipo de indústria mais artesanal, com muitas perdas e baixa qualidade, é imperativo que se desenvolva um sistema industrializado que minimize esses problemas.

Atualmente a indústria utiliza como princípio de desenvolvimento de produtos voltado para a sustentabilidade, o IPD associado ao PLC. Esses princípios envolvem:

- Integração entre projeto e produção dos subsistemas ou componentes.

- Desenvolvimento e integração entre subsistemas e componentes para formar o conjunto produto.
- Elaboração dos procedimentos de gestão de produção do objeto.
- Análises de viabilidade técnico-econômica.
- Interação entre todas as etapas anteriores em tempo real e de forma iterativa e conjunta.
- Planejamento logístico e tecnológico da montagem do produto e do acompanhamento e verificação de funcionamento ao longo da vida útil.
- Estabelecimento de protocolos de monitoramento e ciclos de manutenções preventivas para garantir atender ou superar a vida útil do produto produzido.

Produto no contexto presente deve ser entendido como todos os componentes industrializados que são agregados e montados para produzir edificações industrializadas.

Na configuração atual de negócios e empresas da IC, vários itens descritos anteriormente não são encontrados, assim essa falta foi identificada como lacuna de pesquisa a ser investigada.

1.5 Contribuição

A principal contribuição foi a criação de um protocolo de planejamento para logística e montagem de edificação industrializada modular, concretizado a partir do Plano de Logística e Montagem – PLoM da FlexHouse, que por sua vez detalhou as atividades e tarefas envolvidas na logística e montagem dessa edificação.

1.6 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi organizado da seguinte forma:

Capítulo 1: É delineado um panorama geral da situação em que a pesquisa está inserida, além de justificativa, objetivos e contribuição esperada.

Capítulo 2: A partir da revisão da literatura, são explicitados conceitos que norteiam a pesquisa, como desenvolvimento de produto e logística.

Capítulo 3: São relacionados os recursos empregados na pesquisa, assim como o método para seu desenvolvimento.

Capítulo 4: É apresentado o processo de desenvolvimento do planejamento de logística e montagem.

Capítulo 5: São apresentados os resultados obtidos na pesquisa, o protocolo de planejamento de logística e montagem.

Capítulo 6: São expostas as conclusões obtidas a partir do estudo feito e sugestões para futuros trabalhos.

Apêndice A: Planos de carregamento.

Apêndice B: Modelo Dinâmico de Descarregamento e Montagem – MDDM

Apêndice C: Modelo de IET – Exemplo Fundação.

Apêndice D: Gráfico de Gantt.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Desenvolvimento de Produto

Desenvolver produtos consiste em definir especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção para que se possa produzi-lo, considerando necessidades do mercado e possibilidades e restrições tecnológicas, além de estratégias competitivas e de produto da empresa. Envolve ainda atividades de acompanhamento do produto após o lançamento para eventuais mudanças nessas especificações caso necessário, planejar a descontinuidade do produto no mercado e incorporar, no processo de desenvolvimento, as lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto (AMARAL *et al.*, 2006).

As técnicas empregadas no Processo de Desenvolvimento de Produtos – PDP devem ser ajustadas dependendo do porte do produto. Técnicas utilizadas em pequenos projetos seriam inadequadas para o desenvolvimento de um produto mais complexo, de maior orçamento e tamanho de equipe, enquanto que as empregadas em um grande projeto seriam desajeitadas e burocráticas para um produto mais simples (MATTOS; GUIMARÃES, 2013).

Conforme os mesmos autores, a concepção tradicional do PDP tem como fundamento a especialização funcional como meio de obter eficiência nos processos organizacionais, porém, tem como características a percepção departamentalizada, em que cada grupo concentra-se em sua parcela de trabalho causando visão fragmentada e problemas de comunicação, muitas vezes repetindo os mesmos erros de projetos; e o trabalho sequencial, em que cada etapa é concluída antes do início da próxima, que pode gerar agitação e desperdício, pois muitas vezes as decisões são adiadas, fundamentadas em conhecimentos e percepções parciais e até mesmo obsoletas.

O PDP que inicialmente era uma atividade centrada no trabalho individual, normalmente focada em origem única da área de conhecimento, passa mais tarde a ser organizada a partir dos esforços de profissionais de várias áreas com trabalho articulado e colaborativo (CUNHA, 2008). Esse autor demonstra claramente o momento de surgimento do IPD.

Na Figura 3 (CUNHA, 2008 , p. 73) são apresentas algumas técnicas e métodos de desenvolvimento do produto conforme foram surgindo no decorrer do tempo, historicamente a partir da Revolução Industrial. É explicado ainda que a criação dessas técnicas veio a acentuar-se na segunda metade do século XX, sendo que a maioria não apresentava vinculação entre si. O momento e continuidade de aplicação dessas técnicas pode variar de acordo com a situação do projeto.

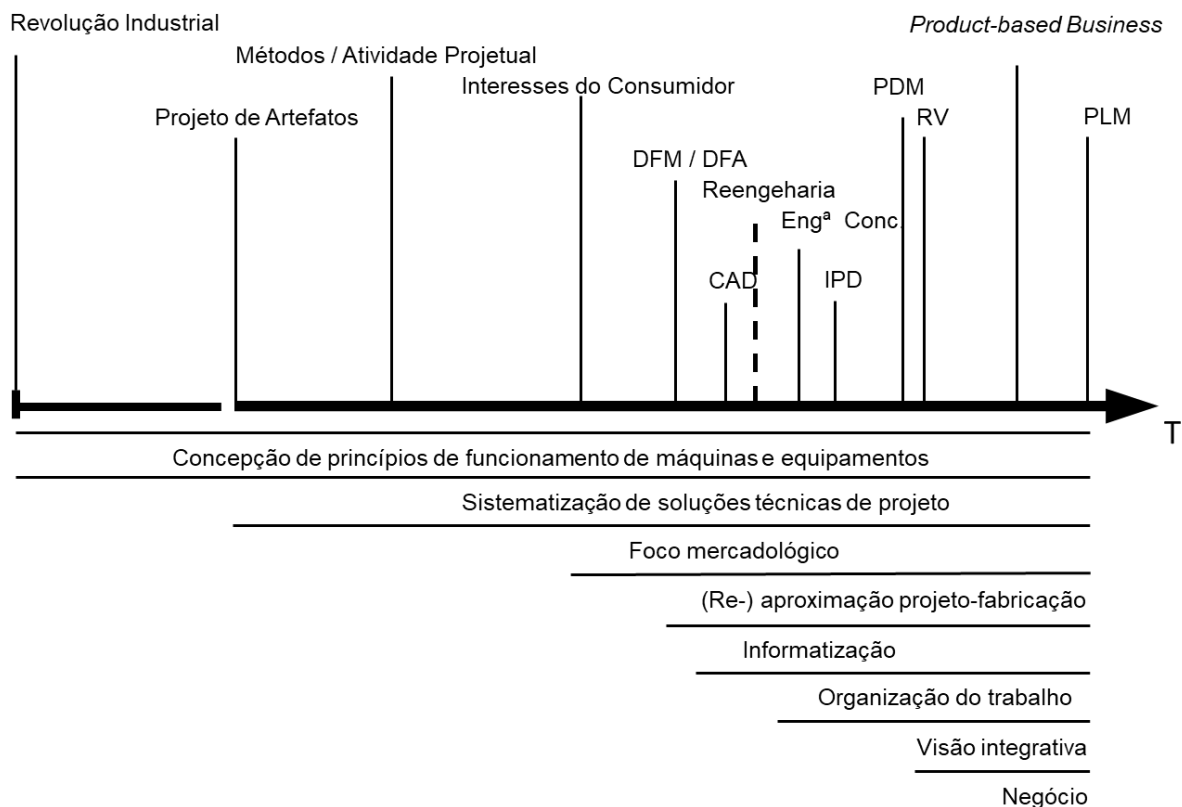


Figura 3 - Linha do tempo de métodos e técnicas em desenvolvimento de produtos
Fonte: Cunha (2008)

Esses novos métodos e ferramentas possibilitam redução de custos, melhoria da qualidade, redução de prazo de desenvolvimento e aumento da flexibilidade e confiabilidade, além de propiciar aprendizado da equipe, redução do custo de oportunidade e transformação da cultura organizacional da empresa (MATTOS; GUIMARÃES, 2013).

Diversos autores propuseram maneiras formais de descrever a atividade projetual, com fases típicas durante seu processo de execução. Algumas áreas do conhecimento escolheram um ou outro como referência preferencial, conforme as características do tipo de produto (CUNHA, 2008).

Para o presente trabalho, foi empregada a descrição a seguir para as fases do ciclo de vida do produto para produtos técnicos (BRACKE *et al.*, 2017 , p. 464-465):

- 1) Fase de Concepção
 - a. Definição das características do produto
 - b. Desenvolvimento do conceito do produto
- 2) Fase de Desenvolvimento
 - a. Estágios de construção (níveis diferentes de prototipagem e finalização da construção)
 - b. Preparação para a manufatura
- 3) Fase de Produção
 - a. Início da produção
 - b. Produção
- 4) Fase de Venda / Uso
 - a. Venda de produtos no comércio
 - b. Fase de uso e observação do produto

O presente trabalho retrata a fase de concepção e desenvolvimento, em que a pesquisa se encontra, porém, levando em consideração todas essas fases do ciclo de vida, inclusive o uso e o fim da vida útil, possibilitando reconversão e reutilização de partes do produto. Nesse contexto é necessário o conhecimento e aplicação de outros princípios, abordagens e métodos que permitam realizar de forma eficiente a gestão integrada de projeto e produção, incluindo o monitoramento ou controle do ciclo de vida de um determinado produto.

Para a realização deste trabalho foi necessária a aplicação de algumas dessas ferramentas, para permitir que todo o processo de desenvolvimento ocorresse dentro dos princípios que serão discutidos a seguir, isto é, o DFX, a CE, o IPD, o PLC e o PLM.

2.1.1 DfX

O Projeto direcionado à eXcelência (*Design for eXelence – DfX*) foca em um número limitado de elementos vitais por vez: montagem, desmontagem; manufatura, reciclagem; reutilização, sustentabilidade, entre outros. Isso permite que os recursos avaliados possam ser melhor aproveitados. "X" em DfX é composto de duas partes: processos de ciclo de vida e medida de desempenho (capacidade) (HUANG, 1996).

A ferramenta DfX (Idem, 1996, p. 5):

- Reúne e apresenta fatos sobre produtos e processos.
- Esclarece e analisa as relações entre produtos e processos.
- Mede o desempenho.
- Destaca os pontos fortes e fracos e compara as alternativas.
- Diagnostica porque uma área é forte ou fraca.
- Fornece propostas de redesenho sobre como um projeto pode ser melhorado.
- Prevê os efeitos hipotéticos.
- Realiza melhorias.
- Permite que a iteração ocorra.

O DfX pode ser utilizado para atingir as metas competitivas desejadas que são vitais para o sucesso da empresa. Essas metas podem incluir aspectos que permitem a eficácia em relação ao custo, entrega, serviço, ambiente, qualidade e experiência do usuário, entre outros (LEHTO *et al.*, 2011).

Na área de tecnologia, por exemplo, a alta complexidade dos produtos e a forte queda dos preços forçam as empresas a um processo contínuo de simplificação e melhoria de sua eficiência (Idem, 2011).

A técnica DfX pode englobar todo o ciclo de vida do produto, desde o momento embrionário do surgimento da ideia até o seu descarte / reaproveitamento ao término do seu uso (SANCHES; FABRICIO, 2008).

O termo “X” refere-se à excelência global e pode ser desmembrado para algum escopo específico de projeto, como por exemplo (HUANG, 1996; GUY; SHELL; ESHERICK, 2006; CAMPIOLI; LAVAGNA, 2007; SANCHES; FABRICIO, 2008):

- *Design for Manufacturing* – DfM (Projeto direcionado à Fabricação)
- *Design for Assembly* – DfA (Projeto direcionado à Montagem)
- *Design for Disassembly* – DfD (Projeto direcionado à Desmontagem)
- *Design for Reuse* – DfRu (Projeto direcionado à Reutilização)
- *Design for Recycling* – DfRe (Projeto direcionado à Reciclagem)
- *Design for Environment* – DfE (Projeto direcionado ao Meio Ambiente)
- *Design for Storage and Distribution* – DfSD (Projeto direcionado ao Armazenamento e Distribuição)

Nos últimos anos aumentou rapidamente a discussão a respeito de sustentabilidade na IC. Projetistas têm papel fundamental para ajudar no desenvolvimento de projetos sustentáveis em termos de impactos ambientais, sociais e econômicos, preocupando-se, por exemplo, em como as decisões de concepção podem influenciar sobre a geração de resíduos de construção e como este pode ser reduzido por meio do desenvolvimento de projeto (LANGDON, 2009).

Para o desenvolvimento de produto proposto, o Grupo GETin adotou como focos a montagem (DfA), a desmontagem (DfD), o reuso (DfRu) e o meio ambiente (DfE). Para essa pesquisa foi introduzido ainda o armazenamento e a distribuição (DfSD).

DfA: foca no processo de montagem, que faz parte do ciclo de vida de produção. Considera de 5 a 9 fatores primários relacionados ao produto, incluindo simetria da peça, tamanho, peso, ajustes, orientação, características da forma, etc. Considera de 5 a 9 fatores primários relacionados ao processo de montagem, como inserção, manuseio, fixação, orientação, ferramentas e equipamentos especiais, etc. Uma análise criteriosa dessas questões e seus relacionamentos resulta em melhores decisões de projeto com relação à facilidade de montagem. Ao mesmo tempo, uma atmosfera de cooperação de trabalho em equipe é criada, assim a eficiência de montagem é melhorada. (HUANG, 1996).

Outro benefício DfA é que concentra a atenção no produto completo (ou subconjunto) como um todo e, em seguida, promove as ideias de redução de peças, peças padronizadas e modularização de produtos. Desta forma, atua como balizador para o DfM. O DFA desempenha, assim, um papel integrador, pois uma estratégia DfM baseada totalmente em projeto direcionado ao processo corre o risco de se tornar muito orientada a peças (LEANNEY, 1996).

DfD: é usado como estratégia de projeto do ciclo de vida do produto com o intuito de reduzir o uso de recursos materiais e de energia. O produto é desenvolvido pensando de forma a facilitar a desmontagem e como suas partes componentes para a construção serão reutilizadas ou recicladas (HANFT; KROLL, 1996; CAMPIOLI; LAVAGNA, 2007). O DfD é componente chave de qualquer estrutura de DfE (HANFT; KROLL, 1996).

Hanft e Kroll (1996) apresentam um método de aplicação do DfD centrado em um gráfico de avaliação de desmontagem, onde cada atividade de desmontagem é

avaliada separadamente em diferentes aspectos, de forma sequencial durante o processo de desmontagem.

Kobayashi, Horiuchi e Higashi (2015) apresentam um método para desenvolvimento de projeto otimizado de layout de componentes e métodos de fixação para desmontagem com menor custo e trabalho, de modo a favorecer a reutilização e a reciclagem.

O layout dos componentes que compõem o produto é decidido mais ou menos durante a fase de projeto conceitual, de modo que a decisão durante essa fase de desenvolvimento do produto tem um grande impacto na sua desmontagem. Portanto, para obter o layout desmontável, o layout do componente precisa ser projetado ou otimizado, avaliando a desmontagem durante a fase de projeto conceitual (KOBAYASHI; HORIUCHI; HIGASHI, 2015).

Os métodos de fixação são outro fator que afeta a desmontagem de um produto. Além disso, a dificuldade de remover fixadores é afetada pelo espaço de trabalho ao redor dos fixadores e a quantidade do espaço de trabalho depende do layout do componente e da sequência de desmontagem. Sendo assim, para projetar produtos mais desmontáveis, é necessário projetar ou otimizar simultaneamente os métodos de layout de componentes, sequência de desmontagem e fixação (Idem, 2015).

O produto objeto da presente pesquisa, apesar do termo edificação, é um produto industrial constituído por um bem durável, com características e propriedades que desconstroem o conceito corrente de edificar ou construir, uma vez que todos os subsistemas passam por linhas de produção em massa, montagens industriais com uso massivo de tecnologia e alto nível tecnológico, precisão dimensional e automação dos processos de fabricação.

DfRu: o produto é desenvolvido com o intuito de reuso de suas partes. No âmbito da gestão de resíduos, reutilizar é a medida que menos emprega energia, por não necessitar de transformação (ALMEIDA; BORSATO; LIE UGAYA, 2017), motivo pelo qual é o foco da presente pesquisa. Reduzir o consumo é a forma mais eficiente de diminuir o desperdício. Uma vez que medidas eficazes de redução da geração de resíduos estão implementadas, considera-se reutilizar, recuperar, reciclar ou, afinal, dispor dos resíduos de forma adequada (LANGDON, 2009; GO *et al.*, 2012).

A reutilização diminui a geração de resíduos e a redução de resíduos é importante para a sustentabilidade pelas seguintes razões (SUSTAINABLE-JERSEY, 2018 , p. 2):

- Reduz a necessidade de aterro e incineração.
- Previne a poluição causada pela fabricação de produtos a partir de materiais virgens.
- Economiza energia.
- Diminui as emissões de gases de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas globais.
- Conserva recursos naturais como madeira, água e minerais.
- Protege e expande as tarefas de fabricação e aumenta a competitividade das indústrias.
- Ajuda a sustentar o meio ambiente para as gerações futuras.

Economia também pode ser gerada pela reutilização. Isso ocorre porque um novo pedido para um novo objeto não será necessário, o que economiza tempo e dinheiro (GO *et al.*, 2012).

A recuperação e reutilização do produto reduzem os efeitos prejudiciais ao ambiente da disposição de resíduos, da extração de matérias-primas e do transporte e distribuição. Além disso, as empresas podem recuperar o valor dos produtos em fim de vida reutilizando componentes, reciclando materiais ou recuperando energia através da incineração (KLEINDORFER; SINGHAL; VAN WASSENHOVE, 2005).

Reutilização é definida por Go et al. (2012) como os itens descartados que são usados novamente para sua finalidade original. Li, Zhang e Lin (2009) expõem que a maior parte dos trabalhos publicados se concentram na reutilização de componentes no mesmo tipo de produto.

No caso de produtos de tecnologia, que apresentam ciclo de vida curto no mercado, ou seja, rápida obsolescência, a reutilização de componentes no mesmo produto é limitada, tem pouco valor para os consumidores no momento em que o componente é reutilizado. Entretanto, pesquisas em design modular, partes comuns e tomada de decisão no desenvolvimento do projeto do produto, como em Troussier *et al.* (1999) e Kimura *et al.* (2001), tornaram possível componentes de um produto serem reutilizados em diferentes tipos de produtos (LI; ZHANG; LIN, 2009).

A reutilização de componentes em produtos diferentes exige esforços colaborativos de todos os envolvidos no estágio de projeto do produto ou componente para planejar de forma simultânea e proativa o ciclo de vida estendido de um componente e determinar de forma colaborativa seus parâmetros de projeto. Dessa forma, consideram-se: custo de material, de logística, de produção reversa, qualidade, impacto ambiental e demais requisitos pré-estabelecidos (Idem, 2009). Nesse contexto, os autores propõem métodos de modelagem de decisão para projeto de produto para reutilização e a estrutura de projeto de produto colaborativo baseada em negociação para reutilização de componentes em produtos diferentes, visando encontrar o ponto ideal dentre as opções possíveis, que maximiza uma função objetiva com base nas utilidades individuais de todos os projetistas.

A reutilização pode ocorrer no mesmo local do uso do produto, como apresentado na presente pesquisa, em que os painéis são reversíveis de forma que podem ser reutilizados em configurações diferentes da inicial. Entretanto, pode também implicar que o produto seja deslocado ou mesmo retorne ao fabricante, sendo necessário o emprego da logística reversa para gerenciar esse deslocamento.

Para possibilitar a reutilização, um certo nível de desmontagem de cada componente é necessário para que partes dos produtos que chegaram ao final de sua vida útil possam ser facilmente desmembradas (GO *et al.*, 2012).

As melhorias no processo de desmontagem dos produtos podem ser alcançadas em dois níveis: na fase de projeto, fazendo escolhas que favoreçam a facilidade de desmontagem do sistema de construção (projeto para desmontagem) e planejando a melhor e mais otimizada sequência de desmontagem (planejamento de sequenciamento de desmontagem). Conseqüentemente, encontrar uma sequência de desmontagem ideal é importante para aumentar a capacidade de reutilização do produto (GO *et al.*, 2012).

DfE: aborda as preocupações ambientais em todas as etapas do desenvolvimento do produto - produção, transporte, consumo, manutenção e reparo, recuperação e descarte. O objetivo da DfE é minimizar o impacto ambiental dos produtos desde a sua produção até a disposição final do produto ou suas partes. As empresas podem alcançar vantagens competitivas realizando ações proativas em DfE. Por exemplo, os produtos projetados com consciência

ambiental têm menos carga ambiental, menor consumo de energia, menores custos de ciclo de vida, menores custos para cumprir a legislação ambiental, pensamento inovador, melhor imagem social, etc. (VAN HEMEL; KELDMANN, 1996; FIKSEL, 2009).

DfSD: aborda os conceitos de projeto de produto para o armazenamento e recuperação para distribuição de forma eficaz. As funções de projeto do produto e de fabricação aparentam estar distantes das funções de armazenamento, recuperação e distribuição em termos do ciclo de vida do produto. No entanto, eles têm um impacto significativo na capacidade de armazenamento e recuperação de produtos para distribuição em termos dos custos atribuíveis à infraestrutura de armazenamento, bem como às atividades de manuseio de materiais. Como os produtos costumam ser empacotados como unidades de distribuição, os parâmetros de projeto do produto influenciam os aspectos do projeto da unidade. Por isso, ainda no desenvolvimento do projeto do produto devem-se considerar aspectos de armazenamento e recuperação, de modo a encontrar soluções mais econômicas e reduzir os custos do ciclo de vida do produto (GOPALAKRISHNAN *et al.*, 1996).

O projetista do produto deve receber ferramentas que possibilite avaliar a capacidade de armazenamento e recuperação efetiva ou, pelo menos, as ferramentas que funcionam como um mecanismo de diálogo entre a função de projeto do produto e a função de projeto de armazenamento (Idem, 1996). Deve estar em condições de alterar o projeto do produto e observar seus efeitos nos aspectos de armazenamento e recuperação. Dessa maneira, o mesmo pode tentar, de maneira iterativa, melhorar o projeto do produto e aprimorando as características de armazenamento e recuperação do produto, reduzindo assim os custos do ciclo de vida desse e aumentando a vantagem competitiva da organização (Idem, 1996). Conforme todo o processo de desenvolvimento do produto é otimizado, é reduzida também a necessidade de recursos, impactando de forma positiva no meio ambiente.

A Figura 4 ilustra, a partir das relações entre os DfXs apresentados por Huang (1996), o entrelaçamento dos princípios empregados na pesquisa, na interpretação do GETin (2018). Assim, o DfRu assimila outros DfXs, como o DfM, DfA, DfD, pois o

produto e seus componentes ou submontagens, para que sejam reutilizados, devem ser desenvolvidos estudando o processo de produção, montagem, desmontagem.

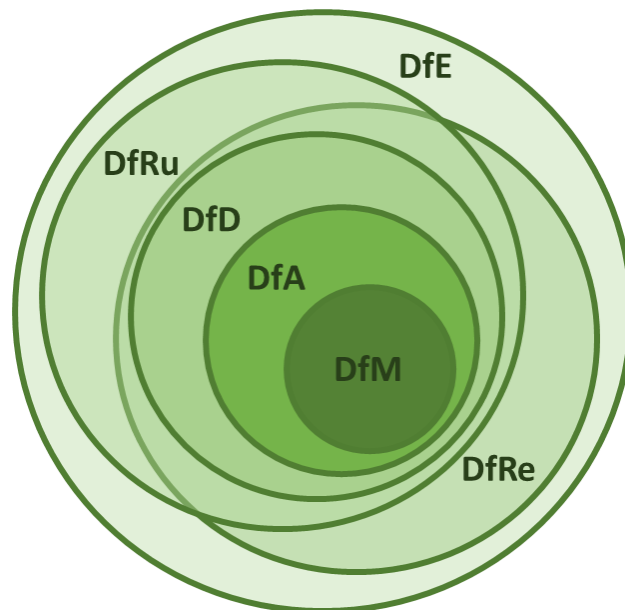


Figura 4 – Envolvimento entre alguns dos DfXs
Fonte: GETin (2018) ilustrado e adaptado de Huang (1996)

Em um ambiente com mudanças organizacionais e aquisições, as empresas podem ser forçadas a se concentrar em questões críticas e voltar ao básico. Por exemplo, para garantir as metas competitivas desejadas, uma empresa pode ser forçada a se concentrar apenas em certos aspectos, como a fabricação, em detrimento de todo o ciclo de vida do produto. Aspectos do ciclo de vida só podem ser considerados após os aspectos de fabricação serem estáveis o suficiente (LEHTO *et al.*, 2011).

Huang (1996) orienta o início da implantação por um dos DfXs, como o DfA, e a partir deste desenvolver um modelo DfX genérico, que aceleraria o desenvolvimento de ferramentas DfX específicas. Isso pode ser explicado pelo efeito do fator de curva de aprendizado, porque diferentes ferramentas DfX compartilham construções semelhantes, que podem ser reutilizadas. Um modelo DfX genérico pode fornecer uma plataforma para integrar uma ferramenta DfX com outros sistemas de suporte à decisão usados no desenvolvimento de produtos, para facilitar o fluxo de dados e escolhas entre eles.

Todos os conceitos são métodos para aplicação dos preceitos das séries de normas ISO 9000, 14000 e 26000, que tratam dos princípios que norteiam a qualidade total de produtos, serviços, ambiente e responsabilidade social por parte dos agentes

envolvidos em processos que associem fornecedor-cliente, produto-consumidor ou produto-ambiente (ABNT-ISO, 2010a; b; 2015a; d; b; c; ISO, 2016; HOYLE, 2017).

Pelo que se expos anteriormente, o DfX é um princípio para atingir um ou mais objetivos relacionados à qualidade e confiabilidade de um produto, assim como para atender requisitos e exigências do mercado consumidor.

Segundo Huang (1996), DfX é uma das abordagens mais eficazes para implementar a Engenharia Concorrente (CE).

Com a introdução e aplicação gradativa das ferramentas DfXs, mais questões relacionadas ao ciclo de vida e outros fatores são levados em consideração. Melhores decisões globais são tomadas sem perder o foco e a visão necessários. Além disso, um ambiente de CE para desenvolvimento de produtos é criado de forma incremental e aprimorado dinamicamente (HUANG, 1996). Assim, a CE congrega como uma envoltória de forma concomitante, as diversas equipes envolvidas no processo de desenvolvimento integrado de um produto, como será abordado.

2.1.2 CE

A Engenharia Concorrente ou Engenharia Simultânea (*Concurrent Engineering* – CE) tornou-se a metodologia de organização do trabalho dominante na área de desenvolvimento de produto nos anos 80, focando na redução do distanciamento entre projeto e fabricação e introduzindo o trabalho interfuncional na área técnica, realizado dentro do conceito de paralelismo temporal na execução das tarefas. Assim, o desenvolvimento da produção pode ter seu tempo de execução reduzido, já que problemas de produção podem ser sanados pelo fato do projeto do produto contemplar mais adequadamente as questões de produção desde o início do ciclo de desenvolvimento (CUNHA, 2008).

Os objetivos da CE incluem melhoria da qualidade, redução de custos, diminuição do tempo de ciclo, aumento da flexibilidade, da produtividade e da eficiência. Tais objetivos podem ser alcançados por meio da cooperação das equipes de trabalho multidisciplinares interagindo no desenvolvimento do projeto do produto, dos processos e dos sistemas, desde a concepção, passando pela produção até o fim da vida útil de um produto qualquer (HUANG, 1996). (BISGAARD, 1992; DAS, 1999)

Segundo a literatura (LI, 2007) o processo tradicional de desenvolvimento de produtos, foi substituído na transição entre séculos XX e XXI, pela CE e o IPD, que se

consolidaram com pesquisas realizadas por autores como Bisgaard (1992) associando métodos de qualidade à estatística de erros no projeto de produtos ou Das (1999) com otimização concorrente no desempenho multiresponsivo de produtos.

A CE pode ser entendida como uma metodologia de integração dos princípios DfX com os métodos e tecnologias de produção, assim como a gestão de produção. Conseqüentemente, essa associação pode ser vista como o IPD ou IPDM, como será discutido.

2.1.3 IPD (IPDM)

O Desenvolvimento Integrado de Produto (*Integrated Product Development – IPD*) ou IPDM (*Integrated Product Development Management*) se impôs progressivamente nos anos 90, devido à alta complexidade de criação de novos produtos sob o ponto de vista mercadológico e a pressão do mercado por inovação, diminuindo os prazos de desenvolvimento de produtos (CUNHA, 2008).

O IPD surgiu devido à redução substancial entre o tempo de concepção, desenvolvimento e produção de um produto qualquer numa era de mercado globalizado. Assim, o lançamento de um produto e sua assimilação pelo mercado se tornou acelerada nas últimas décadas. Conseqüentemente, novas exigências surgiram e exigiram a melhoria contínua nos produtos, com incorporação de novos recursos e menores preços (RAINEY, 2005). Esses requisitos exigiram a redução dos ciclos de vida dos produtos e serviços, ocorrendo com isso maior fragmentação dos mercados e o fornecimento de produtos que atendessem às necessidades mais específicas de cada mercado. O desenvolvimento do Boeing 767 é um dos primeiros exemplos desse processo (Idem, 2005)

O IPD é uma evolução da CE, principalmente em relação ao trabalho em equipe, porém, sua proposta consiste em uma extensão da aplicação desse conceito a todas as áreas envolvidas no desenvolvimento de produtos, não somente as engenharias (CUNHA, 2008). Assim, no IPD o processo de concepção, projeto, análise comercial e financeira, projeto executivo e fabricação de um produto é feito de forma integrada, por equipe composta por membros de todas as fases envolvidas no processo (projeto, marketing, financeiro, produção e operação, vendas, atendimento a clientes). Suas principais características são relacionadas na Figura 5.

DP inserido na estratégia geral da empresa, visto como fundamental para competitividade e é preocupação da alta administração.

Desenvolvimento do produto (DP) visto como processo.

Uso de projetos plataforma e modularizados para criar grande variedade de produtos, atendendo diferentes segmentos com baixo investimento.

Simultaneidade e superposição de informações e de atividades.

Projetos conduzidos por times de desenvolvimento multifuncionais, favorecendo a comunicação e o trabalho em grupo.

Fornecedores são envolvidos desde o início do desenvolvimento e há mais facilidade de fazer alianças estratégicas para o projeto.

Projetos são submetidos à revisão e avaliação técnica e de custos constante, bem como de seu alinhamento com as estratégias de marketing e de produto.

Profissionais generalistas, com promoção na carreira tanto vertical quanto horizontal e mobilidade de pessoal internamente para áreas externas. Seleção e treinamento, além da especialidade e da competência técnica, reforçam outros atributos, como capacidade de trabalhar em grupo.

Estímulo à participação das áreas envolvidas em todas as fases de desenvolvimento, em especial no início, para que haja consenso sobre os parâmetros básicos dos projetos, evitando divergências posteriores, para que o projeto possa transcorrer de forma mais fluida.

Figura 5 – Principais características do IPD
Fonte: Adaptado de Amaral *et al* (2006)

O IPD é considerado subconjunto do sistema de gerenciamento estratégico das empresas, pois o objetivo principal da aplicação desse processo é promover uma vantagem competitiva, sucesso a longo prazo e estabilidade em relação aos fornecedores, consumidores e ao mercado através do desenvolvimento e comercialização de produtos que atendam os interesses diversos (RAINEY, 2005).

Os princípios e processo envolvidos no conjunto de atividades de concepção, desenvolvimento, comercialização e manutenção de bens de consumo, cresceu aceleradamente nos últimos dez anos. Essa aceleração ocorreu simultaneamente ao salto tecnológico da indústria da computação, que por sua vez, possibilitou o surgimento de plataformas multiusuários de uso em tempo real e simultâneo, o que permitiu a associação dos princípios de CE e IPD ao PLM como ferramenta de integração (MESSAADIA; BELKADI; EYNARD, 2012; HASSANNEZHAD;

CLARKSON, 2017). Como visto, a partir da aplicação dos princípios DfX, utilizando a CE para integrar com o PDP, tem-se o IPD.

Ao se integrar os princípios anteriores aos critérios e requisitos das normas internacionais de qualidade (ABNT-ISO, 2015b; c; HOYLE, 2017) e os requisitos mínimos exigidos pela sociedade como padrões aceitáveis de desempenho e confiabilidade de um produto qualquer, a integração atinge sua forma mais completa. A gestão dessa integração é conhecida como Gestão de ciclo de Vida do Produto (*Product Life-cycle Management* – PLM), a qual evoluiu a partir do conceito de Ciclo de Vida de Produto – (*Product Life-Cycle* – PLC).

2.1.4 PLC e PLM

PLC é uma estratégia de visão sistêmica empresarial em relação ao lançamento, produção, decaimento e retirada de um dado produto do mercado. Esse conceito, assimilado da biologia, destaca principalmente os ciclos de crescimento de seres vivos diversos (TELLIS; CRAWFORD, 1981), do reino vegetal desde a década de 1930 de forma consistente (REDAELLI; CIFERRI, 1939) e animal, ainda anteriores, mas que também se tornaram estudos sistemáticos desde a década de 1920 (BARNES, 1934).

A partir da década de 1950, o conceito foi apropriado pelos economistas e cientistas sociais dos Estados Unidos do pós-2ª guerra, em relação às estratégias organizacionais das grandes corporações daquele país como forma de atender consumidores que se tornavam cada vez mais exigentes. Nesse período, ascenderam ao mercado as novas tecnologias como TV, máquinas automáticas de venda, as quais impuseram novos padrões de consumo, e paralelamente, fez emergir grandes designers e executivos (LEVITT, 1958).

A ideia de ciclo de vida do produto foi introduzida em 1950 por Joel Dean em seu artigo intitulado *Product Life-Cycle Research: A Literature Review*, publicado no periódico *Harvard Business Review* (RINK; SWAN, 1979), que foi publicado novamente em 1976 (DEAN, 1976).

Polli e Cook (1969) foram os primeiros a realizar uma validação e sistematização do conceito PLC e descrevem:

O conceito de ciclo de vida de produto tem sido amplamente discutido ao longo da última década, mas não foi sistematicamente testado como um modelo de comportamento de venda. (...) Mas muitos autores usaram o ciclo de vida de produto como uma base para a recomendação do conteúdo de

programas de marketing para diferentes estágios de ciclo de vida (POLLI; COOK, 1969 , p. 385).

Nota-se que inicialmente o ciclo de vida de produto foi diferentemente assimilado por diferentes pesquisadores, e que ao longo do tempo, com a evolução dos modernos meios de produção e gestão de negócios transformou-se de uma estratégia de marketing, para uma solução de marketing. Essa mudança foi necessária para atender a crescente exigência por qualidade, da parte de consumidores, no mundo todo (COX, 1967). Isso fica mais claro no documento produzido pela NASA (1975), onde constam uma série de protocolos e ferramentas matemáticas para se calcular os diferentes níveis de requisitos das metas estabelecidas por aquela agência americana, em relação ao valor ao longo do tempo para um produto, sua depreciação e como o fator de escala de produção interfere no ciclo de vida desse.

No mesmo documento afirma-se:

A determinação do ciclo de vida de um projeto não é óbvia. Existem alguns projetos como estradas, pontes ou barragens que possuem uma vida muito longa. Num ambiente tecnologicamente dinâmico, o período de vida operacional de um projeto pode ser seriamente afetado pela obsolescência (NASA, 1975 , p. 135).

Do exposto, nota-se a complexidade de se abordar o ciclo de vida de um produto, especialmente de forma integrada e conjugando as inúmeras implicações que o seu desenvolvimento pode acarretar. Com a evolução contínua da teoria surgiu então o conceito de Gestão do Ciclo de Vida de Produto – PLCM (FIKSEL, 2009), ou simplesmente PLM (*Product Life-cycle Management*), como é conhecida internacionalmente.

A dificuldade em implantar o PLM estava na impossibilidade do acompanhamento em tempo real, das alterações que ocorriam nos projetos de uma empresa com mais de uma sede industrial. Com o desenvolvimento da tecnologia para estabelecer as correlações entre as diferentes implicações, surgiram ferramentas destinadas ao gerenciamento da informação, como o Gerenciamento de Dados do Produto (*Product Data Management – PDM*) e o PLM, interligado a sistemas de gestão empresarial como o Planejamento de Recursos Empresariais (*Enterprise Resources Planning – ERP*) (CUNHA, 2008).

Em decorrência da evolução desses sistemas, vêm sendo criadas soluções corporativas complexas e sofisticadas que permitem navegar no conjunto das atividades envolvidas no IPD com grande variedade de dados e documentos. Ao

mesmo tempo, a comunicação entre os times de desenvolvimento é hoje em tempo real e integradas com as ferramentas de trabalho, como ferramentas CAD 3D, gerenciadores de documentos e sistemas de gestão de projetos (AMARAL *et al.*, 2006).

PLM é o processo de gerenciamento de todo o ciclo de vida de um produto a partir da concepção da ideia, descrição conceitual, análise de negócios, projeto informativo, projeto e produção e solução da arquitetura e da implementação técnica, para a entrada bem-sucedida no mercado, distribuição, serviço, manutenção e melhoria do produto, fim da vida útil e disposição final (SAAKSVUORI; IMMONEN, 2008; GECEVSKA *et al.*, 2010; STARK, 2011).

O gerenciamento do ciclo de vida do produto engloba uma série de processos e serviços necessários para desenvolver, fabricar, distribuir e dar suporte ao produto, o que requer a coordenação de um conjunto complexo de recursos da cadeia de suprimentos (FIKSEL, 2009). O objetivo do PLM é aumentar a receita, reduzir custos, maximizar o valor do portfólio dos produtos atuais e futuros para clientes e acionistas (STARK, 2011).

O PLM possui diversas categorias ou classes, que podem se restringir a um ou mais ciclos que envolvem esse processo.

A partir da revisão da literatura, QURESHI, GERICKE e BLESSING (2014) realizaram um levantamento das etapas do ciclo de vida do produto, conforme proposto por essas publicações. Comparando os modelos estudados, identificaram um conjunto comum de estágios e sub estágios, conforme apresentado na Tabela 2, destacando a importância da interdisciplinaridade no desenvolvimento do produto em todo seu ciclo de vida.

Tabela 2 – Estrutura do ciclo de vida do produto

Estágios	Subestágios
Estabelecimento da necessidade	Análise de mercado e projeção
	Identificação de necessidade
	Gerenciamento de projetos
	Especificação de requisitos
Projeto	Conceitual
	Projeto de execução
	Projeto de detalhamento
	Desenvolvimento de sistemas de produção
Implementação e realização	Fabricação
	Montagem
	Integração de Sistemas
	Aquisição
Uso / Suporte	Vendas e distribuição
	Instalação
	Operação
	Serviço e manutenção
Fim da vida	Retirada / Descarte / Encerramento

Fonte: Adaptado de (QURESHI; GERICKE; BLESSING, 2014 , p. 227)

O PLM pode ser utilizado em vários cenários de integração, segundo o volume a ser produzido, complexidade dos meios de produção, utilidade, abrangência e funcionalidade do produto final, do ciclo de vida global do produto e da capacidade da cadeia logística e de suprimentos associadas à produção e comercialização desse (FIKSEL, 2009). Um desses cenários é a integração da logística e da montagem ao IPD, para produtos que devam ser montados após a entrega ao consumidor.

2.2 Logística

O Council of Supply Chain Management Professionals define gestão logística como:

parte do processo da cadeia de suprimentos que planeja, implanta e controla o eficiente e efetivo fluxo de envio, recebimento e estocagem de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo, visando atender os requisitos dos consumidores. (VITASEK, 2013 , p. 117)

Para Christopher (2016), a missão da gestão logística é planejar e coordenar todas as atividades necessárias para alcançar os níveis desejados de serviço e qualidade entregues ao menor custo possível. A logística deve, portanto, ser vista como o elo entre o mercado e a base de fornecimento. O escopo da logística abrange a organização, desde o gerenciamento das matérias-primas até a entrega do produto acabado.

A Figura 6 ilustra esse conceito total de sistemas.

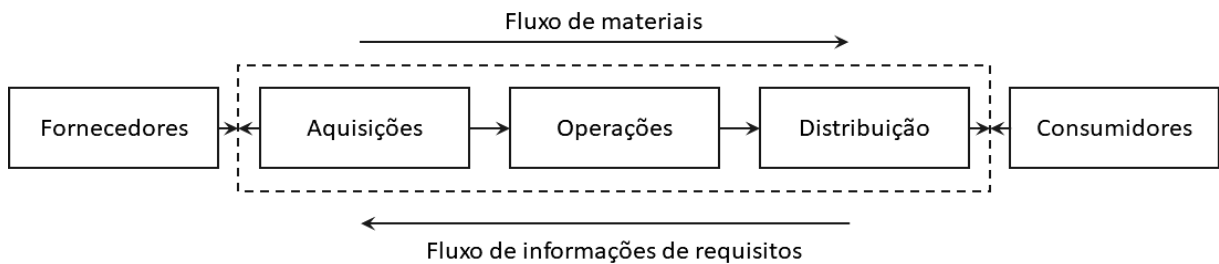


Figura 6 – Processo de gestão logística
Fonte: Christopher (2016)

Conforme Stock, Greis e Kasarda (1998, p. 38, grifo do autor), além da logística como atividade funcional relacionada a tarefas como transporte, armazenamento, estoque e gerenciamento de materiais, um novo conceito também deve ser considerado, o do “ambiente logístico”. Mudanças nos recursos de logística, tecnologias e técnicas de gerenciamento permitiram que a logística se tornasse um mecanismo primário para integrar e coordenar atividades entre os estágios de toda uma cadeia de suprimentos.

Neste trabalho, foram abordadas três vertentes da logística. A primeira é a logística para embalar os pacotes ou grupos de objetos que deverão ser transportados. A segunda é a logística de transporte, que trata das variáveis relativas ao trajeto fábrica-destino. A última é a logística de montagem, a qual diz respeito ao desempacotamento ou descarregamento dos objetos e sua respectiva montagem, até a finalização.

2.2.1 Logística de embalagem

No contexto da logística do empacotamento, com o advento das normas ISO 9000 (ISO, 2016) e ISO 14000 (ABNT-ISO, 2015a), as empresas que se adequaram às metas normativas tiveram grande transformação interna departamental, ao aplicarem os preceitos referentes à qualidade do produto pós-venda, a qual já entra em validade no instante que esses saem de fábrica (GARCÍA-ARCA; GARRIDO; PRADO-PRADO, 2016). Adicionalmente, GARCIA-ARCA *et al.* (2016) apontaram que empresas em que as normas já eram aplicadas, possuem melhor e maior estratégia organizacional para evitar perdas decorrentes do processo de embalagem do que aquelas que ainda não adotaram as normas.

Segundo Gurgel (1995), a embalagem apresenta funções:

- *Tecnológica*: proteção mecânica, física e química.
- *Mercadológica*: relacionada com vendas, principalmente a embalagem de comercialização, exerce importante função de comunicação do conceito mercadológico.
- *Econômica*: o custo da embalagem deverá ser objeto de muita atenção, pois muitas vezes custa mais que o manufaturado.

O mesmo autor indica que para a definição da embalagem adequada existem ainda outros aspectos ainda a ser considerados:

- *Finalidade*: produto a ser embalado.
- *Proteção*: instrumentos delicados devem estar contidos em embalagens absorvedoras de choques. O trajeto de transporte também deve ser estudado para analisar a possibilidade de evitar pontos com solicitações excessivas à carga transportada.
- *Aparência/conceito*: alguns produtos exigem embalagens sofisticadas e caras.

O percentual de perdas de produtos na movimentação e no armazenamento, reduz-se com a adoção de embalagem mais dispendiosa e tecnicamente sofisticada. Apesar do custo mais elevado, a compensação se dá pela redução do custo das perdas. Após um certo nível, o percentual de perdas se estabiliza, porque esta perda residual ocorre por causas diferentes do desenho da embalagem (GURGEL, 1995).

É possível também que, por meio de desenvolvimento tecnológico do produto, pontos frágeis sejam reforçados para resistirem às solicitações de transporte, ao invés de aumentar o custo da embalagem. Ou ainda o desenvolvimento de novas tecnologias para melhor aproveitamento dos materiais de embalagem sem acréscimo de custo (Idem, 1995)

Uma melhor compreensão da complexidade da logística de embalagens e fornecimento de novas embalagens, conceitos e soluções que facilitam o manuseio mais tranquilo em toda a cadeia de suprimentos são exigidos. Para desenvolver tais conceitos, é necessário introduzir ferramentas, métodos e técnicas numa fase inicial do processo de desenvolvimento de produtos que asseguram a consideração de

questões logísticas de embalagem ao longo de toda a cadeia de suprimentos (GURGEL, 1995; SAGHIR, 2004; KLEVÅS, 2006).

2.2.2 Logística de transporte

Tseng, Yue e Taylor (2005) mostram a importância dos vários processos que envolvem a logística, especialmente em relação ao papel relevante que ocupa o transporte, com praticamente 30% entre os demais processos que se constituem a logística, como nota-se na Figura 7.

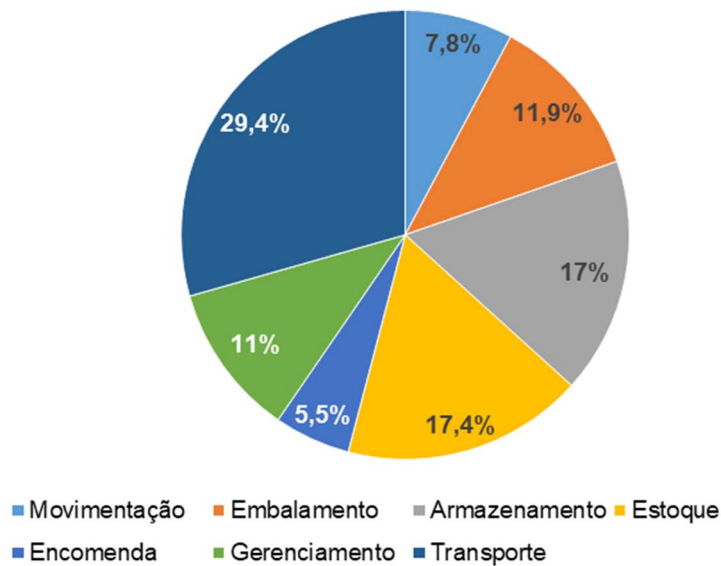


Figura 7 – Proporção entre custos de processos de logística
Fonte: Adaptado de Chang, 1998 *apud* Tseng, Yue, Taylor (2005)

No Brasil, a matriz de transportes, de acordo com a CNT (2018), se distribui conforme a Tabela 3:

Tabela 3 – Distribuição da matriz de transportes de carga por modal

MODAL	MILHÕES (TKU) ¹	PARTICIPAÇÃO (%)
Rodoviário	485.625	61,1
Ferroviário	164.809	20,7
Aquaviário	108.000	13,6
Dutoviário	33.300	4,2
Aéreo	3.169	0,4
Total	794.903	100,0

Fonte: CNT (2018)

Para a adequada interpretação da tabela anterior, é necessário esclarecer que os modais ferroviário, aquaviário e dutoviário não são responsáveis pelo transporte de

¹ TKU: toneladas por quilômetro útil.

bens de consumo, portanto a matriz acima se reduz a 99,6% para o modal rodoviário e 0,4% para o aeroviário. Ainda que isso não esteja explicitado pela literatura consultada (COLAVITE; KONISHI, 2015; CNT, 2018).

Em relação à logística de transportes, associa-se ainda as questões referentes aos custos energético-ambientais desse. Neste caso, o Brasil tem por característica a predominância do modal rodoviário para quaisquer distâncias, sendo que o aeroviário toma uma pequena parcela no caso de grandes distâncias e para os estados com rodovias muitas vezes em condições precárias, seja pela geometria, pela sinalização ou pelas condições do asfalto (Idem, 2015; Idem, 2018)

Segundo Bustamante (1999) *apud* Colavite e Konishi (2015), o setor rodoviário caracteriza-se pela flexibilidade operacional com reduzidas restrições de acessibilidade. Sendo assim, o modal rodoviário foi definido como a opção de transporte e é necessário conhecer a logística do modal e as possibilidades para a sequência: embalar-carregar-transportar-descarregar-estocar-desembalar-montar.

Dada a importância da associação entre volume e peso a ser transportado e o transporte, Crainic *et al.* (2014) desenvolveram um modelo estocástico para planejar o transporte a partir das incertezas relacionadas à variabilidade que se apresentam em relação às caixas para embalagem dos variados tipos de produtos.

Os autores associaram diferentes volumes dentro dos padrões $c + l + h$ em que: c = comprimento, l = largura e h = altura da caixa. Consideraram ainda três categorias: pequena, média e grande e finalmente os preços para cada tipologia, os quais variam segundo a soma das dimensões e o peso.

Atualmente existem ferramentas computacionais específicas para o planejamento logístico, como o *Cube-IQ* (MAGIC-LOGIC, 2016), que aplicam a teoria logística de forma integrada entre embalagem, carregamento e dois princípios muito utilizados são:

FIFO (*First in, first out*) é o termo de armazenamento que significa que os primeiros itens acondicionados são os primeiros utilizados. Na contabilidade, esse item está associado à avaliação do estoque, de modo que as compras mais recentes sejam refletidas no estoque contábil. Embora geralmente considerada uma noção contábil, o uso de FIFO é comum quando os produtos podem ter um prazo de validade (TOOMEY, 2000; VITASEK, 2013).

LIFO (*Last in, first out*) é um método contábil de avaliação de estoque que pressupõe que as mercadorias mais recentes adquiridas durante um determinado período contábil também são as primeiras mercadorias utilizadas (Idem, 2000; Idem, 2013)

Em ambos os casos, não há necessariamente relação com o movimento físico real de itens específicos, mas para a presente pesquisa, os termos serão empregados em relação à ordem de acondicionamento dos pacotes embalados no equipamento de transporte e descarga no local de montagem.

No caso do objeto desta pesquisa, tais associações são de extrema importância para se determinar qual deve ser o pacote unitário, quantas unidades deve conter e a ordem de carregamento e descarregamento. Além disso, uma característica inerente ao sistema, que o diferencial de outros, é o fato de ser um dos requisitos, a existência de um equipamento de carga, descarga e movimentação junto ao equipamento transportador, para que esse auxilie a montagem no destino, como se verá nos resultados.

2.2.3 *Logística de montagem*

Interrupções nos processos de montagem são frequentemente causadas por processos logísticos insuficientes (MÜNZBERG *et al.*, 2012). Portanto, como na embalagem e no transporte, deve-se planejar a montagem do produto estudando a logística desse processo: a acomodação temporária das partes do produto, equipamentos e formas de movimentação dessas partes, equipamentos empregados para montagem e o sequenciamento de montagem, para que aconteça de forma harmônica, sem ou com o mínimo conflito entre as movimentações.

Para Münzberg *et al.* (2012), um modelo baseado na descrição das operações logísticas em um processo de montagem é um pré-requisito fundamental para tornar controlável a complexidade predominante. Sendo assim os autores apresentam uma abordagem para modelagem de processos logísticos em áreas de montagem, que visa apoiar a organização econômica e o controle logístico desses processos.

A abordagem de monitoramento logístico mapeia a entrada de subcomponentes, a conclusão dos subcomponentes necessários para a montagem, o início da montagem e a saída dos componentes montados. Com isso, os principais dados logísticos básicos, desde o fornecimento da área de montagem até o processamento

das ordens de montagem correspondentes, são coletados, visualizados adequadamente e disponibilizados para análise. No âmbito daquela pesquisa, a metodologia foi aplicada em uma demonstração de software que auxiliaria os usuários a analisar a área de montagem e os correspondentes processos de fornecimento (Idem, 2012)

Para Zhou e Peng (2017), é necessário que se tenha um sistema de distribuição de materiais flexível e confiável, para instalar e manter o suprimento de peças em tempo hábil, em especial quando grande quantidade e diversidade de peças precisam ser transportadas, como em sistemas baseados em princípios *just-in-time* (JIT).

Os autores apresentam estudo que investiga o problema de distribuição logística interna para linhas de montagem automotiva com princípios de JIT. Um modelo de distribuição JIT ponto-a-ponto foi formulado para especificar a estação de destino e a quantidade de peças dentro de cada entrega para minimizar o estoque máximo ponderado em todas as estações e ciclos de produção e mostrou-se efetivo (ZHOU; PENG, 2017).

Em espaços limitados de passagem compartilhada, a movimentação dos equipamentos empregados para o transporte e montagem deve ser bem planejada e controlada para evitar possível colisão de veículos. Contudo, ainda existe a possibilidade de algum material precisar de operação extra antes de sua expedição. Por exemplo, alguns materiais podem precisar de embalagem antes de sua distribuição para reduzir o tráfego no chão de fábrica e melhorar a utilização de recursos de transporte na distribuição de material, o que também pode influenciar a estratégia de distribuição de material (WANG *et al.*, 2014).

A embalagem de componentes pode ter muita influência no volume de transporte e no nível de trabalho em andamento no local das linhas de montagem. Portanto, para um planejamento sistemático da logística de suprimento do chão-de-fábrica, é necessário realizar uma investigação integrada para fazer uma consideração holística sobre a estratégia de expedição de veículos e o modo de embalagem e entrega de componentes para elaboração do projeto do sistema de distribuição de produção (Idem, 2014).

Wang *et al.* (2014), a partir do estudo do sistema de distribuição de material da linha de montagem de uma importante fábrica na China, introduzem uma estratégia

dinâmica de expedição. No método proposto, o material necessário para o sistema de distribuição logística é adequadamente classificado e embalado, e a estratégia de expedição dinâmica é usada para decidir a atividade dos veículos para distribuir o material necessário.

Um método baseado em simulação é introduzido para construir um modelo para o estudo do sistema de linhas de montagem estocásticas². Além disso, um método de otimização é apresentado para encontrar a configuração realística para a simulação que fornece a solução quase ótima do modelo proposto para a linha de montagem atual. Os resultados indicam que a estratégia de expedição proposta atende à fábrica atual e fornece uma base importante para o projeto do sistema de logística da oficina (WANG *et al.*, 2014).

Para o produto empregado nessa pesquisa, as peças chegam ao local de montagem embalados previamente em fábrica, segundo as etapas de montagem definidas, e são posicionados como indicado no Modelo Dinâmico de Descarregamento e Montagem – MDDM, conforme apresentado posteriormente.

² Aleatórias (AULETE, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção deste trabalho, foi realizada a investigação teórico-analítica computacional, para a partir das partes, subconjuntos e conjuntos criados pelo grupo de desenvolvimento, fosse possível realizar a simulação dos cenários dos ciclos de vida de LoM do produto aqui proposto.

A seguir são descritos os recursos empregados na pesquisa, assim como o método delineado para o alcance dos objetivos.

3.1 Materiais

Os materiais empregados para o desenvolvimento da presente pesquisa foram:

- a) Ferramenta computacional de modelagem parasólida, simulação de posicionamentos e fixação dos subsistemas e montagem do sistema: *SolidWorks®* (DASSAULT, 2017);
- b) Ferramenta computacional CAD (*Computer Aided Design* – Desenho Auxiliado por computador) para estudos do produto e disposição da montagem: *AutoCAD®* (AUTODESK, 2017);
- c) Ferramenta computacional de apresentação de slides empregada para a elaboração da animação da montagem da edificação: *PowerPoint*, integrante do pacote *MS Office®* (MICROSOFT, 2015a);
- d) Ferramenta computacional de gestão da produção para a fase de montagem: *MS Project®* (MICROSOFT, 2015b);
- e) Ferramentas computacionais de planilha eletrônica e de editor de texto para emissão de planilhas e relatórios: *Excel* e *Word*, integrantes do pacote *MS Office®* (MICROSOFT, 2015a);
- f) Ferramentas computacionais para elaboração de transporte e plano de carregamento: *Cube-IQ* (MAGIC LOGIC, 2016) e *CubeMaster* (LOGEN, 2018);
- g) Estação de trabalho com processador Xeon® 3600 MHz, 2 placas gráficas interligadas para processamento via GPU e 32 GB de memória RAM;

- h) Relatórios parciais do desenvolvimento dos subsistemas pelo time de desenvolvimento integrado de produto;
- i) Dados de fornecedores obtidos por meio de visita, ligações telefônicas e pesquisa na internet.

3.2 Método

Conforme ilustrado na Figura 1 apresentada na introdução, a FlexHouse foi criada pelo IPD-T, que é composto por equipes responsáveis por cada grande atividade. O desenvolvimento do produto acontece de maneira incremental em todos seus subsistemas, conforme evolui seu nível de detalhamento a partir das análises e tomadas de decisão, o que é feito de forma integrada entre as equipes. A evolução incremental acontece também no uso de métodos e ferramentas de desenvolvimento de produto, partindo da CE, indo para o DfX e alcançando o PLC.

Por se tratar de um sistema totalmente industrializado, o planejamento de fabricação até a colocação do produto em uso foi desenvolvido conjuntamente com o produto propriamente dito, com a participação da pesquisadora na equipe de desenvolvimento acompanhando o processo de projeto. Entretanto, este trabalho se ateve a propor a gestão de logística e montagem – LoM sob forma de estudo de caso, isto é, a partir da criação de cenários necessários e admissíveis para que o sistema fosse entregue e montado de forma sincronizada e contínua desde o carregamento em fábrica, até a entrega das chaves ao cliente final. Sua elaboração foi possível após a conclusão dos ciclos de projeto e produção, os quais englobaram todos os aspectos desde à concepção até a idealização dos componentes.

A equipe de logística e montagem – ELoM desenvolveu suas atividades integrada às demais equipes, sempre focados no IPD. A pesquisa foi iniciada em agosto de 2016 e foi desenvolvida por meio reuniões semanais de aproximadamente duas horas, em que a equipe interagiu com outras, mas não necessariamente com o time inteiro. Mensalmente foram realizadas reuniões de integração com todo o time para definir/redefinir metas e objetivos específicos do projeto, ao mesmo tempo em que foram coletados dados para avançar na pesquisa. A figura 8 indica a flutuabilidade da ELoM no decorrer do desenvolvimento da pesquisa, que foi finalizada em outubro de 2018.

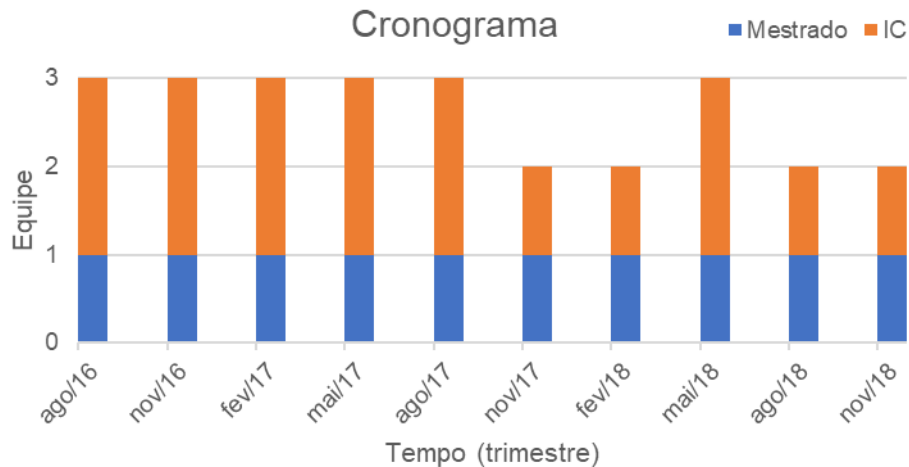


Figura 8 – Flutuabilidade da equipe de LoM no decorrer da pesquisa
Fonte: Autora

Devida à interação entre o desenvolvimento do produto e as restrições técnicas surgidas durante o processo de LoM, houveram iterações durante a escolha dos cenários e equipamentos possíveis. Assim, o método tornou-se mais complexo que os métodos com linearidade de ações. Foi preciso então detalhar o Plano de Logística e Montagem – PLoM, que por sua vez, foi criado a partir do planejamento de logística e montagem, o qual é composto por protocolos que orientam, informam e eventualmente determinam como proceder com as etapas envolvidas.

Os dados de entrada alimentaram todo o desenvolvimento do planejamento de LoM, que a partir do seu processamento foram criados e analisados os cenários possíveis em discussões e ponderações do IPD-T. Em consequência disso, ocorreram iterações e tomadas de decisões entre a ELoM e as demais equipes envolvidas, que retroalimentaram o desenvolvimento do produto, voltando a prover o desenvolvimento do planejamento de LoM e do Plano de Logística e Montagem – PLoM da FlexHouse, descrito no capítulo 4. A extração das diretrizes de planejamento resultou no protocolo de planejamento de LoM, apresentado no capítulo 5.

A Figura 9 mostra de forma simplificada o delineamento do método de pesquisa, indicando os itens do trabalho onde o detalhamento de cada etapa é apresentado.

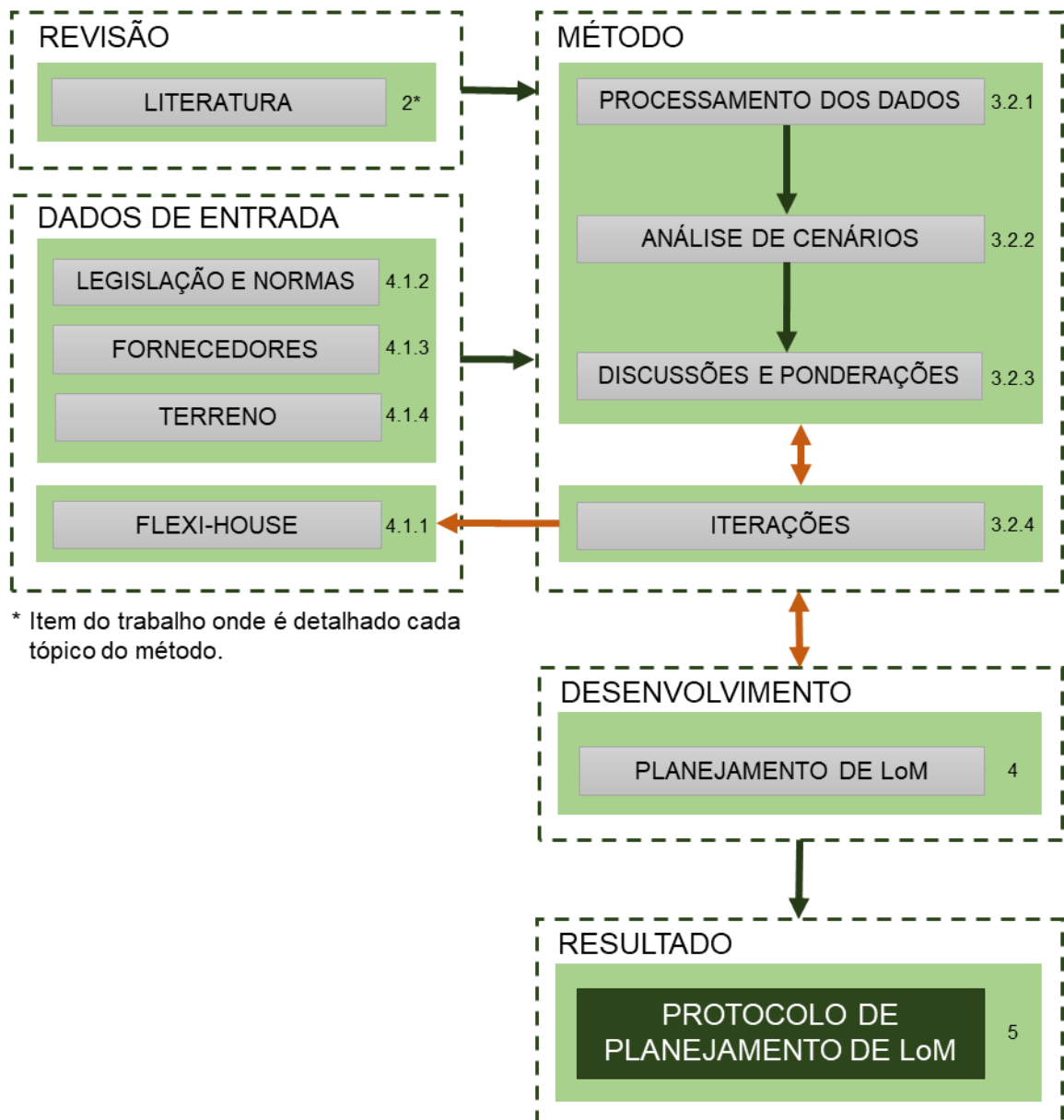


Figura 9 – Delineamento do método de pesquisa
Fonte: Autora

Os quatro passos do método para o desenvolvimento da pesquisa são ilustrados com o exemplo da escolha do equipamento para transporte e montagem – ETM do produto.

3.2.1 Processamento de dados

O processamento de dados para a pesquisa foi realizado pela ELoM durante as reuniões do projeto. Cada equipe designada para desenvolver um subsistema apresentava os avanços ocorridos entre a reunião anterior e posterior, para convalidar

junto às demais, todo o processo de desenvolvimento integrado – IPD, para o sistema proposto.

A principal função da ELoM nestas reuniões foi coletar dados para avaliar os impactos das alterações e novas proposições feitas no PLoM. Além dos dados obtidos referentes ao produto, a ELoM coletou ao longo da pesquisa, custos de transporte, equipamentos, legislação e normas, informações cadastrais sobre loteamentos, detalhes técnico-operacionais das vias de tráfego e demais detalhes específicos concernentes às normas municipais. Tais dados foram compilados em planilhas e editores de texto dos quais foram emitidos documentos e relatórios que subsidiaram o desenvolvimento da pesquisa.

Para a escolha do ETM foram coletados e processados dados de legislação e normas viárias, fornecedores dos equipamentos, indicando dimensões e capacidade de carga e custos. Assim, realizaram-se buscas através de pesquisa na internet, contatos telefônicos, reuniões presenciais, envio de e-mails para vários revendedores e fabricantes.

3.2.2 Análise de cenários

A partir dos dados processados, eram discutidos possíveis cenários para cada reunião de desenvolvimento do sistema (projeto) concluída e analisado qual seria a melhor opção dentro dos condicionantes considerados para a pesquisa. No caso, os cenários de carregamento, transporte, descarregamento e montagem.

Foram estudadas as alternativas para o transporte e a montagem com o mesmo equipamento, ou com a utilização de equipamentos diferentes para uma mesma montagem, visando analisar operacional e economicamente as opções.

3.2.3 Discussões e ponderações

Com a análise dos cenários possíveis, foram realizadas as discussões e ponderações, que interferiam em todas as decisões nucleares das equipes do IPD, fazendo com que o projeto se desenvolvesse conforme ilustrado na Figura 1, sendo intrínseca a essas a curva de aprendizado, descrita pela espiral.

Uma das ponderações feitas em relação ao ETM foi sobre a necessidade desse possuir incorporado o mecanismo de guindaste articulado para manipular a carga no destino de montagem.

3.2.4 *Iterações*

As iterações eram as retroalimentações do processo do IPD, em que a cada reunião eram tomadas decisões, as quais poderiam ser reanalisadas e modificadas caso necessário, ou serem convalidadas pelo time (IPD-T).

Como exemplificado pela escolha do ETM, ao longo das discussões dos tópicos anteriores, eram realizadas iterações entre todas as informações apresentadas e processadas para verificar o impacto global dessas agindo simultaneamente no IPD, obtendo o ETM que apresentou melhor desempenho, considerando as variáveis discutidas ao longo das reuniões do IPD. Dessa forma, nota-se que o IPD extrapola os limites internos de desenvolvimento de um produto qualquer de uma empresa, para considerar todas as variáveis e agentes envolvidos nesse processo.

Diante do que foi descrito nos subitens 3.2.1 a 3.2.4, pode-se entender que para o desenvolvimento do sistema, as equipes executavam os quatro itens descritos, através da iteração global do IPD e PLC, simultaneamente (CE), dos quais aqui foi mostrado somente uma das realizadas pela ELoM.

O conjunto de ações realizadas nos subitens anteriores está detalhado a partir do Capítulo 5.

4 PLANEJAMENTO DE LOGÍSTICA E MONTAGEM

A seguir é apresentado o processo de elaboração do planejamento de logística e montagem que resultou no Plano de Logística e Montagem – PLoM.

4.1 Pré Planejamento: Dados de Entrada

A seguir são descritos e caracterizados resumidamente os dados de entrada que embasaram o desenvolvimento do estudo desta dissertação.

4.1.1 *Composição e caracterização da FlexHouse*

A FlexHouse, seus subsistemas, materiais e componentes definem as características que influenciaram no desenvolvimento do planejamento de logística e montagem – LoM.

A principal finalidade da caracterização dos subsistemas e componentes foi obter as propriedades geométricas e mássicas desses, para poder elaborar o plano de logística de empacotamento e transporte, assim como o ordenamento do carregamento em função da sequência de montagem do sistema.

O produto em estudo é composto pelos subsistemas de fundação, painéis, esquadrias, instalações elétrica, de comunicação e hidrossanitária e cobertura, além de componentes auxiliares, conforme descritos a seguir.

O subsistema de fundação (Figura 10) é composto por placas modulares de concreto armado. Esse por sua vez é o subsistema crítico em termos de peso, para fins de transporte e manuseio.

A modularização foi pensada para que o peso fosse reduzido e agilizasse o processo de montagem, enquanto seu peso e suas dimensões foram ponderados considerando a capacidade de carga de equipamentos de transporte e montagem disponíveis no mercado. Suas dimensões são 1812 mm X 1812 mm X 162 mm e o peso de cada placa é 620 Kg.

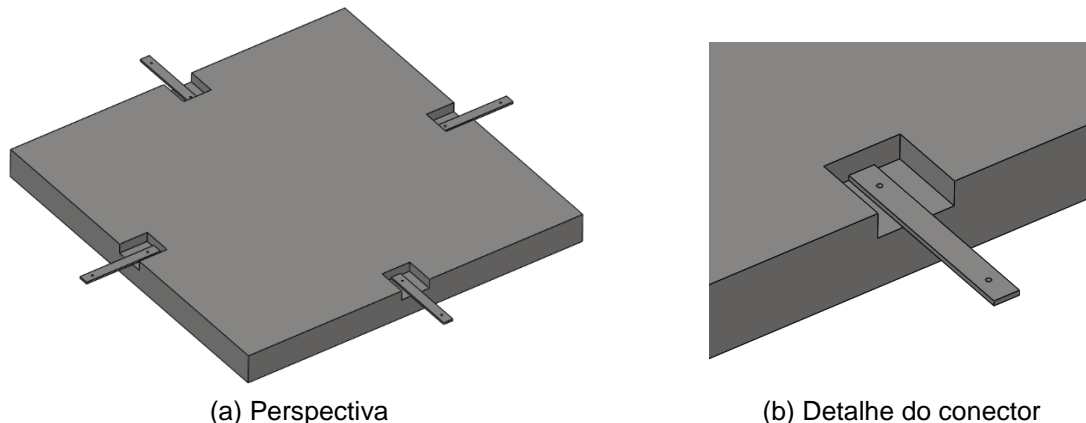


Figura 10 – Placa alveolar tipo radier pré-fabricada modular de concreto armado
Fonte: GETin (2018)

Todas as placas vêm de fábrica com o revestimento, já inserido em suas laterais uma lâmina adesivada de policloropeno (neoprene), para absorver e distribuir as tensões entre elas, com espessura de 1,5 mm, resultando em junta de dilatação de 3 mm.

As placas pré-fabricadas possuem pontos de ligação para a montagem e permitem unir novos módulos de placas conforme a necessidade de ampliação ou reconversão do layout original. Essa ligação é feita por conector de aço galvanizado parafusado em quatro pontos em furos rebaixados, centralizado em cada lado da placa, deixados no momento da concretagem em fábrica.

As canaletas são perfis em U fabricados com polímero reforçado com fibra de vidro. Essas possuem largura de 129 mm externamente e 123 mm internamente, abas de 50 mm de altura e espessura de 3 mm. As mesmas possuem comprimentos variáveis de acordo com especificações de projeto, com peso linear de 1,14 Kg/m.

Lâminas de EVA (*ethylene vinyl acetate* – acetato-vinilo de etileno) com largura de 122 mm e comprimento que coincide com o comprimento das canaletas, espessura é de 5 mm e peso de 0,0244 kg/m servem para garantir a acomodação dos painéis dentro das canaletas.

Os painéis de vedação internos e externos são modulares e autoportantes, produzidos em *woodframe*. Esses foram desenvolvidos pelo grupo para que permitissem a montagem, desmontagem e reconversão, segundo os princípios DFRu. Esses saem de fábrica com todas as instalações necessárias, como hidrossanitárias, elétricas, comunicações e esquadrias.

As dimensões consideradas para o dimensionamento da embalagem são 920,8 mm X 2752,4 mm X 122,4 mm. O peso máximo de cada painel, já considerando subsistemas de instalações e embalagem, é de 45 kg.

A Figura 11 apresenta esquematicamente a montagem de um painel cego.

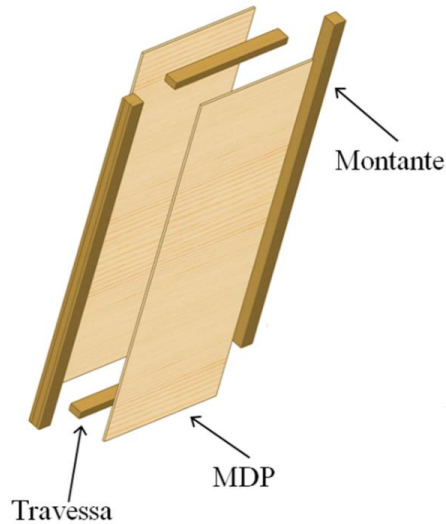


Figura 11 – Perspectiva explodida da estrutura do painel
Fonte: GETin, 2017

Os conectores dos painéis são em chapa dobrada em aço inox e esses foram desenvolvidos para permitir encaixe e desencaixe rápidos, como mostrados esquematicamente na Figura 12.

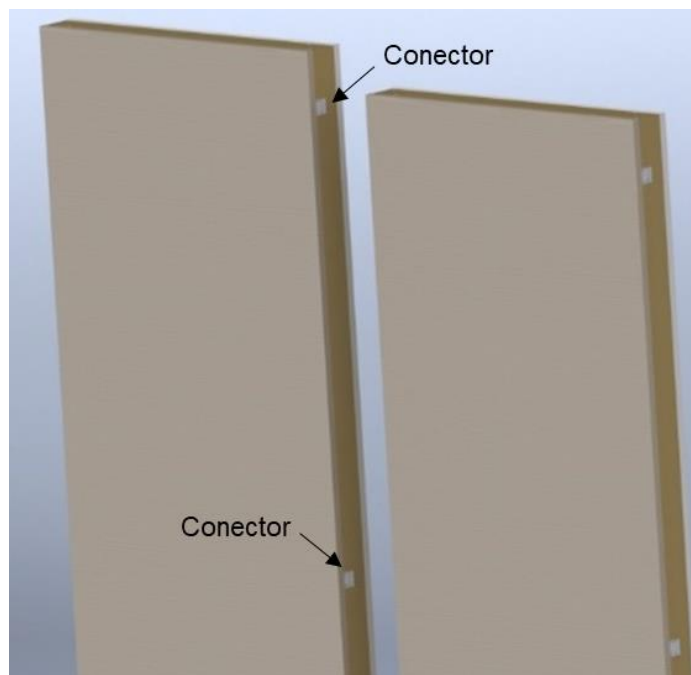


Figura 12 – Par de painéis com conectores
Fonte: GETin, 2018

O subsistema de esquadrias compreende janelas e portas. As janelas são em alumínio e vidro, com uma folha projetante, conforme mostra a Figura 13.



Figura 13 – Janela projetante em alumínio e vidro fixada na estrutura do painel
Fonte: GETin, 2017

As portas seguem o mesmo princípio das janelas, sendo que o marco é incorporado aos montantes dos painéis.

Os painéis de janelas ou portas possuem as mesmas dimensões e peso dos painéis cegos descritos anteriormente, para efeito de cálculo de logística de transporte.

O subsistema de instalações é embutido nos painéis ainda em fábrica e é conectado por dispositivos *Plug'n Use* (conecte e use) desenvolvidos pelo grupo de pesquisa, que permitem acoplamento e desacoplamento sem a necessidade de contido manual durante o processo de montagem (Figuras 14 e 15). Os painéis de instalações possuem as mesmas dimensões e peso dos painéis cegos descritos anteriormente, para efeito de cálculo de logística de transporte, isto é, 45 Kg.

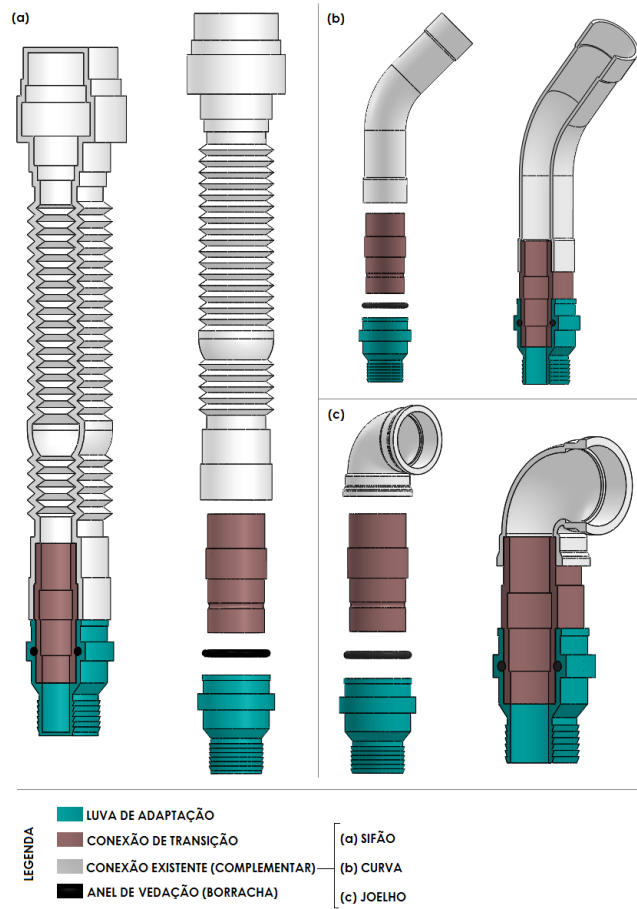


Figura 14 – Conector *Plug'n Use* de instalações hidrossanitárias
Fonte: GETin, 2018

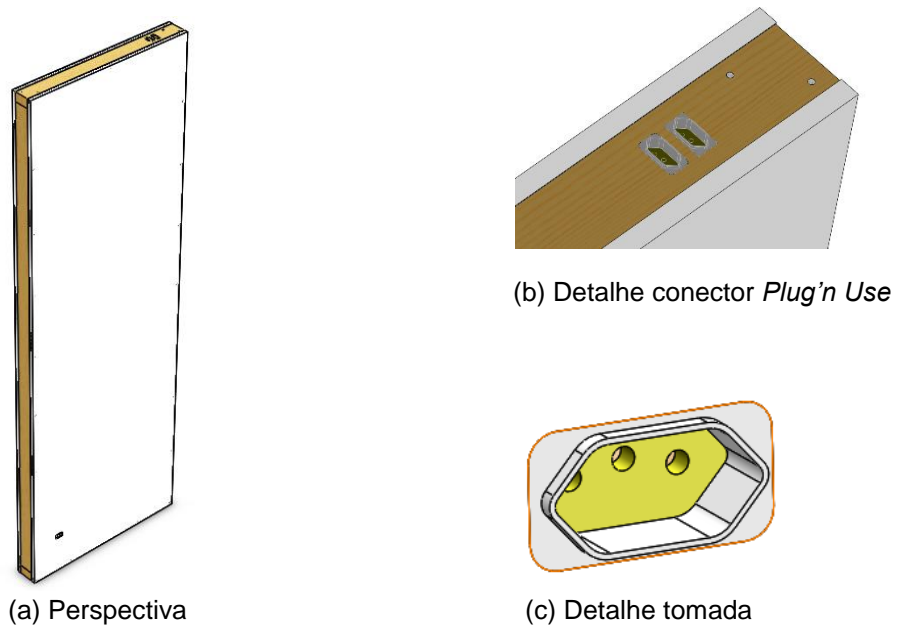


Figura 15 – Painel com tomada e conector *Plug'n Use* de instalações elétricas
Fonte: GETin, 2018

Os espaçadores servem para criar espaço de manutenção das conexões das instalações entre o painel e a cobertura. Além disso, possibilita a desmontagem posterior do painel para reparo, troca ou reconversão, conforme demanda. Esses apresentam vãos internos que permitem a passagem das instalações para serem conectadas dos painéis à cobertura. Suas dimensões e seu peso são respectivamente: 920,8 mm X 100 mm X 122,4 mm e 1,5 Kg.

O subsistema de cobertura é composto por módulos e vem pronto de fábrica, contendo em seu interior todas as instalações necessárias para se conectar aos painéis.

Os módulos são fabricados com lâminas externas de polímero reforçado com fibra de vidro, cujas cavidades internas são preenchidas com espuma rígida de poliuretano de células fechadas, para conferir estabilidade termo acústica.

Para o estudo realizado nesta pesquisa foram utilizados módulos com duas dimensões diferentes, sendo que o módulo maior possui dimensão e peso bruto de 2769,5 X 6021,5 mm X 650 mm e 550 Kg, respectivamente. Enquanto o módulo menor possui dimensão e peso bruto de 2500 X 6021,5 mm X 650 mm e 500 Kg.

A Figura 16 mostra um dos módulos, no qual é possível notar também o caimento e as calhas incorporadas ao mesmo.

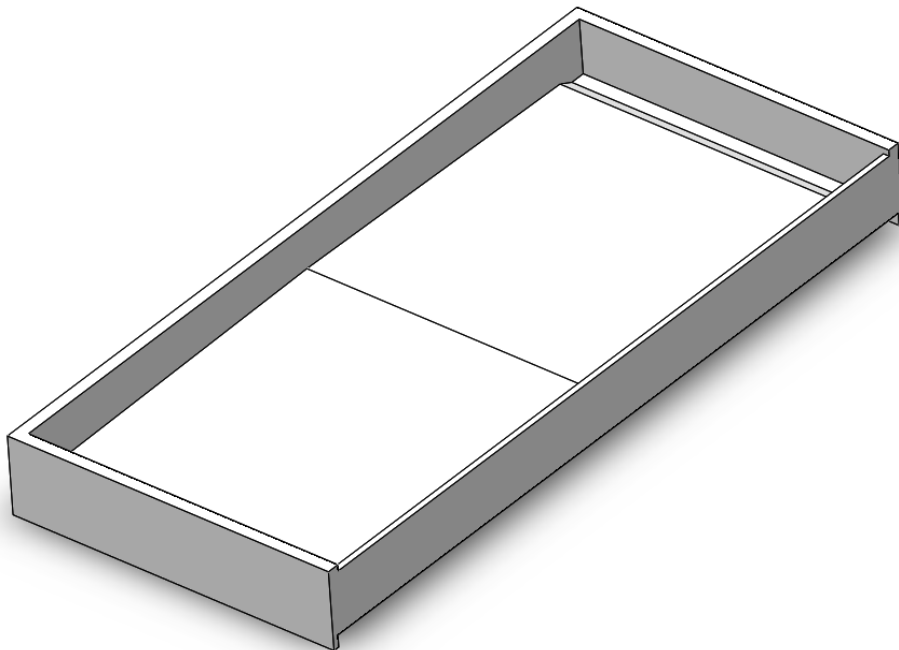


Figura 16 – Módulo externo da cobertura
Fonte: GETin, 2018

Capas de fixação superior servem para imobilizar e vedar as ligações entre os módulos de cobertura. Essas são produzidas em polímero reforçado com fibra de vidro (Figura 17) e possuem dimensões de: 6029 mm de comprimento, 107 mm de largura e 75 mm de altura ao longo do comprimento interno e 3,5 mm de espessura de parede. Nas abas transversais, entre a junção dos painéis possuem: 300 mm de comprimento, 107 mm de largura e 125 mm de altura, também com 3,5 mm de espessura de parede. O peso é de 10,3 Kg por peça. O detalhamento das dimensões acima serve para determinar o tipo de embalagem e a proteção contra impactos.



Figura 17 – Capa de fixação superior entre os módulos de cobertura
Fonte: GETin, 2018

O rodateto é um perfil em L composto por polímero reforçado com fibra de vidro, os quais possuem as seguintes medidas: abas iguais com largura de 150 mm e espessura de 2,5 mm. O comprimento de cada perfil de rodateto é variável, dependendo do tamanho da parede interna no ambiente e disposição dos painéis. O peso é de 1,28 Kg/m.

O núcleo central se constitui de uma estrutura de casca nervurada produzida em polímero reforçado com fibra de vidro. Comporta internamente o reservatório de água fria com capacidade para 1500 l e o reservatório de água quente (boiler) com capacidade de 600 l, além das instalações hidráulicas e elétricas para alimentação dos equipamentos. Sua geometria foi projetada para acomodar os painéis de aquecimento solar sobre suporte externamente. Podem ser produzidos com a inclinação adequada à longitude e latitude da localização da edificação.

Para efeito de logística de transporte foi considerado um volume em L com 2390 mm de altura X 813 mm de largura na torre do reservatório, 2338 mm de largura X 477 mm de altura na base de suporte das placas solares. Todo o volume tem 2200 mm de comprimento. O peso total do núcleo central, considerando instalações e placas solares é 250 Kg.

A Figura 18 apresenta um corte esquemático do componente.

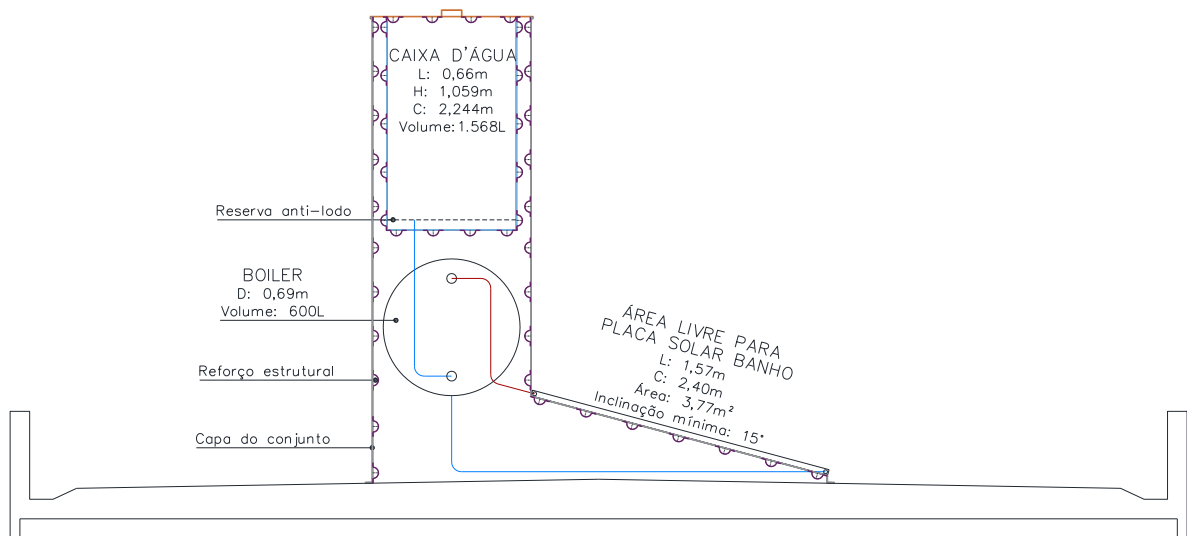


Figura 18 – Corte esquemático do núcleo central sobre o módulo de cobertura
Fonte: GETin, 2018

O núcleo fotovoltaico se constitui do grupo de painéis solares fotovoltaicos dimensionado para a tipologia de edificação estudada. Suas dimensões são variáveis de acordo com carga estabelecida em projeto e alteram-se conforme a quantidade de painéis. No caso desta pesquisa, foi dimensionado um painel de 250Wp, com dimensões referenciais de 1640 mm X 992 mm X 50 mm e peso de 25 kg, considerando estrutura de suporte e embalagem do fornecedor.

A Tabela 4 a seguir indica dimensões e pesos referenciais das louças e metais sanitários considerando embalagem do fornecedor. Porém, somente para efeito de cálculo de composição das cargas, podendo ser substituídos se necessário conforme disponibilidade no mercado.

Tabela 4 – Dimensões e peso de louças e metais

PEÇA	DIMENSÕES (HxLxC) (mm)	PESO (Kg)
Bacia para caixa acoplada	397 x 385 x 635	17,82
Caixa acoplada	380 x 385 x 157	13,50
Lavatório suspenso	195 x 470 x 385	11,22
Coluna para lavatório	680 x 182 x 175	10,36
Lavatório suspenso acessível	190 x 600 x 415	17,46
Coluna suspensa para lavatório	680 x 140 x 290	7,70
Tanque 48 l	600 x 480 x 600	15,13
Pia para cozinha	200 x 545 x 1605	22,62
Chuveiro com tubo de parede	126 x 177 x 126	0,595
Misturador de mesa para lavatório	190 x 270 x 60	1,30
Misturador de mesa para cozinha	152 x 200 x 218	1,20
Torneira para tanque e jardim	120 x 60 x 105	0,29
Torneira para máquina de lavar	120 x 90 x 185	0,525
Acabamento para registro	60 x 60 x 65	0,09
Grelha em inox para ralo	5 x 100 x 100	0,060
Barra de apoio fixa lateral em inox	251 x 219 x 805	3,545
Barra de apoio horizontal 80 cm	80 x 100 x 884	0,704
Barra de apoio horizontal 65 cm	75 x 675 x 106	2,33
Barra de apoio vertical 70 cm	79 x 98 x 781	0,589
Cadeira de banho	115 X 568 X 433	20,43

Fonte: Telhanorte, 2018

4.1.2 Legislação e normas pertinentes

Para o planejamento de LoM foram consultadas e consideradas legislação e normas relacionadas.

Em relação ao transporte para veículos, no Brasil, conforme resolução nº 210/06 do CONTRAN (BRASIL, 2006a), os limites máximos são: 2,60 m de largura, 4,40 m de altura e comprimento de 14,0 m para veículos não articulados, 18,60 m para caminhão semirreboque e 19,60 m para reboque.

O peso bruto total – PBT depende do tipo e do comprimento do veículo, variando de 29 toneladas para veículo não articulado; 45 toneladas para veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semirreboque, e comprimento total inferior a 16 m; 45 toneladas para veículos com duas unidades, do tipo caminhão e reboque, e comprimento inferior a 17,50 m.

Para dimensões e pesos maiores que os indicados, é necessário Autorização Especial de Trânsito – AET, conforme resolução nº 211/06 do CONTRAN e alterações (BRASIL, 2006b).

A altura livre das vias e do acesso ao local também pode ser limitada pela presença de fiações. Conforme especificado na NBR 15688 (ABNT, 2012), em ruas e avenidas, a altura mínima de fiação de comunicação e cabos aterrados é de 5 m em

sua flecha mínima e de cabos de baixa tensão é de 5,5 m. Já nos locais de uso restrito a veículos, como o acesso ao terreno, de 4,5 m de altura de fiação de comunicação, cabos aterrados e cabos de baixa tensão em sua flecha mínima.

4.1.3 Dados de fornecedores

Dados de fornecedores, obtidos a partir de pesquisa de mercado em relação a ferramentas e equipamentos, foram utilizados durante o desenvolvimento do planejamento de LoM.

Para o descarregamento e montagem do sistema, foi selecionado o guindaste articulado tipo *munck* da marca Hyva modelo HB150 E2, com braço máximo de alavanca de 14,32 m e capacidade de carga de 610 Kg (Figura 19). Conforme pode ser observado no diagrama de cargas na Figura 20, quanto maior a altura, menor a carga suportada e quanto menor a distância, maior a carga de suporte. Sendo assim, para distância em torno de 12 m e altura de movimentação de 5 m, a capacidade de carga é em torno de 885 Kg, atendendo à carga máxima e distância necessários mencionados em estudo no item 1 do PLoM, no capítulo 5.

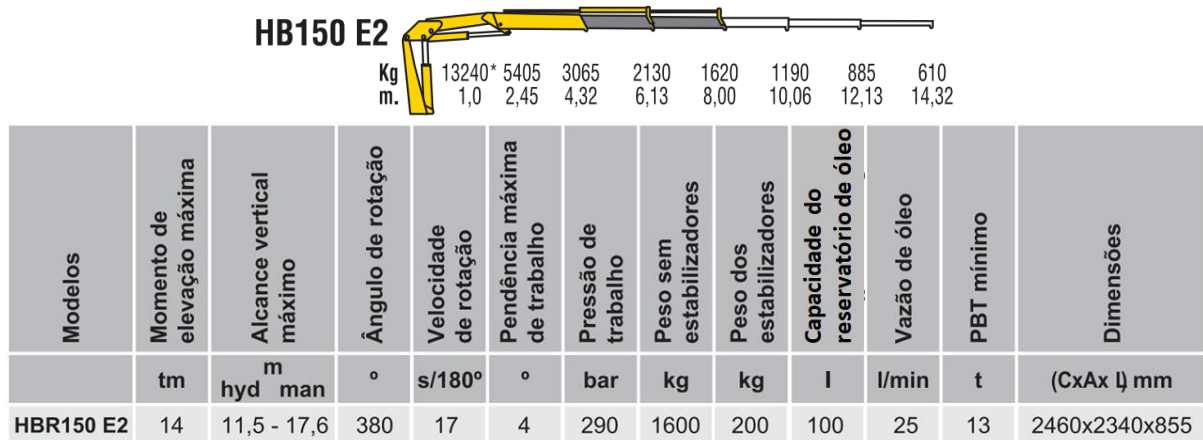


Figura 19 – Especificações técnicas do guindaste articulado modelo HB150 E2

Fonte: Hyva. Acesso em 05/07/2018 (HYVA)

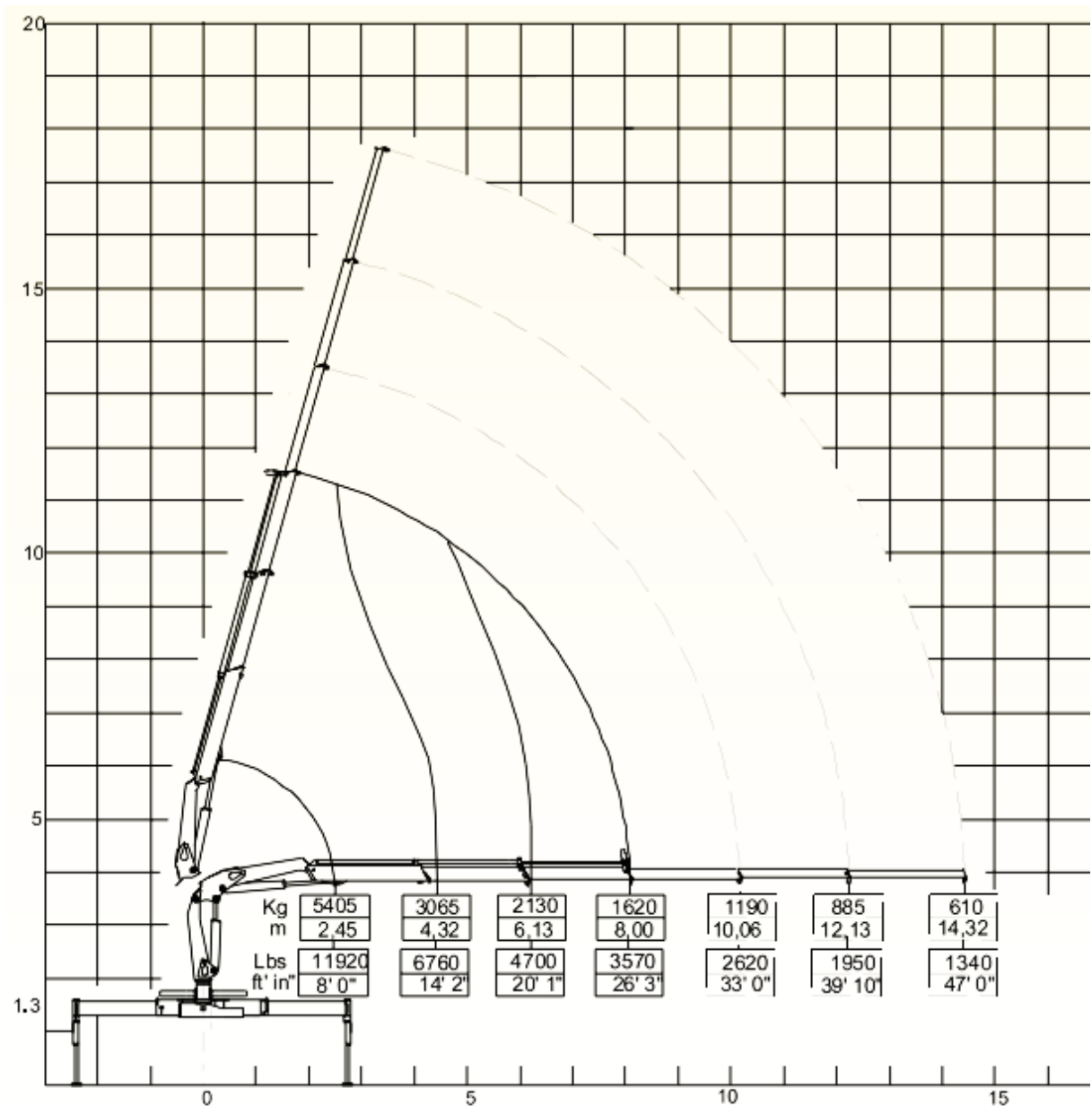


Figura 20 – Diagrama de cargas do guindaste articulado modelo HB150 E2
Fonte: Hyva, 2010

Para a instalação do guindaste articulado tipo *munck*, foi empregado o veículo da marca Mercedes-Benz, modelo Accelo 1316 6x2 Plataforma 44 (4400 mm de distância entre eixos dianteiros) CE (cabine estendida), com PBT legal de 13 toneladas (MERCEDEZ-BENZ, 2017a).

As dimensões do caminhão são de 2184 mm de largura e 8800 mm de comprimento. As dimensões internas da carroceria para carga seca são de 2100 mm de largura, 5900 mm de comprimento (considerando espaço de montagem do *munck*) e 460 mm de altura (proteção lateral). A altura da base da carroceria é em torno de

1200 mm, restando altura livre de 3200 mm, já que a altura total máxima deve ser de 4400 mm, conforme legislação. A carga útil máxima para transporte, já descontando o peso da carroceria e do guindaste, é de 6000 Kg.

Para o transporte do sistema ao local de montagem foi definido o uso do veículo tipo *truck* da marca Mercedes-Benz, modelo Atego 2430 6x2 Plataforma 48 (distância entre eixos dianteiros de 4800 mm) CE (cabide estendida), com PBT legal de 23 toneladas (MERCEDEZ-BENZ, 2017). As dimensões do caminhão são de 2486 mm de largura e 9842 mm de comprimento. As dimensões internas da carroceria para carga seca são de 2400 mm de largura, 8800 mm de comprimento (carroceria estendida em 1000 mm) e 460 mm de altura (proteção lateral), altura livre de 3200 mm e a carga útil máxima para transporte, já descontando o peso da carroceria, é de 15120 Kg.

4.1.4 *Estudo de viabilidade do terreno e entorno*

Antes do início do desenvolvimento do PLoM é necessário verificar a viabilidade técnica e econômica do terreno, por meio de identificação e análise dos itens que seguem:

- a) Restrições de acesso ao local, como posteamento e fiações, valetas e drenagem pluvial, largura e declividade das vias, qualidade, tipo e limite de carga da pavimentação;
- b) Adequação da fundação do sistema ao tipo de solo local;
- c) Declividade do terreno e necessidades do sistema para implantação da edificação;
- d) Tempo de execução dos trabalhos preliminares no terreno;
- e) Disponibilidade de energia, água e esgoto, forma de solicitação e prazo para ligação pelas concessionárias.

Tanto o trajeto quanto o acesso ao local devem ser verificados e aferidos em relação ao atendimento à norma quanto à altura de fiações, conforme especificado em 3.2.

É importante que esse limite seja avaliado também para o posicionamento do equipamento durante o processo de descarregamento e montagem, podendo condicioná-lo.

No estudo proposto, a posição do caminhão durante a montagem é interna ao lote lateral, fora da região de passagem de cabeamento. Entretanto, não se exclui essa análise no local, quando especificado o terreno e seu entorno.

Para a verificação da adequação da fundação ao tipo de solo é feita sua caracterização por meio de sondagem a percussão (SPT – Standard Penetration Test), conforme NBR 6484 (ABNT, 2001).

Para a implantação do layout escolhido foi adotado um terreno hipotético de 9,00 X 20,00 m, e declividade de até 11 % no sentido da via. Esse perfil foi definido pelo time de IPD em função de outras pesquisas concluídas ou em andamento, para possibilitar uma edificação com recuos em todos os lados do lote. Contudo, não existem restrições quanto à aplicação em outras tipologias de terreno, desde que avaliadas as condições de declividade das vias, fator que pode impedir o posicionamento de guindaste articulado acoplado ao veículo de carga (*munck*).

Caso o terreno seja considerado viável ao tipo de fundação em relação a resistência e declividade, são elaborados, segundo normas pertinentes, os projetos de terraplanagem, que define a posição do platô e as compensações do terreno; e de fundação, que determina a preparação e resistência mínima de base.

Essas informações, assim como as demais levantadas nas alíneas de “a” a “e” elencadas anteriormente, devem ser analisadas e ponderadas para a determinação da viabilidade do terreno.

4.2 Planejamento: Elaboração do PLoM

O planejamento de LoM contempla todas as fases necessárias para gerir os fluxos da mão de obra, dos equipamentos e ferramentas, assim como gerir a logística desde a origem na fábrica, até a finalização e retirada do ferramental e material utilizado, resultando no Plano de Logística e Montagem – PLoM.

Durante o processo de coleta de dados, após a caracterização dos componentes e subsistemas conforme descrito em 4.1.1, verificou-se que deveria ser prevista a criação de um sistema inequívoco de identificação dos itens descritos anteriormente, para que durante todo processo de empacotamento, manuseio, transporte e montagem permitisse a todos os agentes envolvidos conferir e assegurar que todos

os pacotes correspondentes a uma unidade estivessem completos e fossem fornecidos no local de montagem sem divergências ou erros.

Após estudos e buscas por soluções como códigos de barra, etiquetagem e numeração, verificou-se que o método de codificação mais eficiente e com maior flexibilidade de aplicações seria do tipo *QR-Code – Quick Response Code*, ou código de resposta rápida.

Essa solução foi adotada por ser também a que melhor se adapta a leitores de celulares, *tablets* e outros equipamentos portáteis que operem em conjunto com telefonia e que podem transmitir em tempo real tais informações. Desse modo, havendo alguma discrepância entre objeto transportado e o que constaria do conhecimento de transporte, seria possível verificar e corrigir imediatamente o problema.

O *QR-Code* pode ser estampado, impresso em papel, impresso diretamente na pintura da peça, ou através de selos. Esses podem conter vasta quantidade de informações que podem indicar desde o lote de produção com data e hora, até o veículo transportador e operadores encarregados da montagem

A Figura 21 (a) exemplifica um desses códigos e (b) mostra a lista com as informações que aparecem na tela do *smart phone*, *tablet* ou leitor específico de tais códigos, para esclarecer dúvidas durante o transporte e montagem.



(a)

FLEXHOUSE-HB
 Estoque: Z01 A03
 K01 15.052018 PC-0001
 LD-LN01-001
 C001-42.75KG
 N.PU F-GFRP
 HIS-NULL
 EL-NULL
 TRANSP. TNT
 RM. ENG. SHANDY A. MORASSI

(b)

Figura 21 – Exemplo de *QR-Code* e da codificação gerada para uma peça
 Fonte: GETin, 2018

No exemplo da figura anterior, são indicados o nome do produto, a zona (Z01) e a área física no armazém de estocagem (A03), o conjunto (Kit de edificação) ao qual se refere a peça fabricada (K01) na data de 15/05/2018, a numeração sequencial da quantidade produzida da peça referida, no caso PC = painel cego e 0001 o número sequencial na linha de produção. Em seguida são fornecidos dados sobre a

montagem, em que LD, LN01 e 001, são respectivamente o lado de início da montagem com referencial do fundo para a frente do lote, a linha de painéis considerada e o código de montagem do painel o qual pode diferir completamente do código de produção e do código do kit. Na sequência, o código C0001 indica a cor do acabamento superficial e em seguida o peso em kg.

Os códigos N.PU e F-GFRP referem-se ao tipo de material do núcleo e o tipo de material das faces da peça produzida, enquanto os códigos HIS e EL, se referem às instalações hidráulicas e elétricas que neste exemplo possuem o termo NULL, que identifica não existirem na peça em questão. As duas últimas linhas indicam quem transportará ou transportou a peça com aquele *QR-Code* e o nome do responsável pela montagem.

Outra vantagem que esse tipo de codificação traz é que, pela concepção do produto, ele pode ser vendido em módulos de montagem posterior, nas lojas de materiais de construção ou revendas específicas do sistema. Portanto, o cliente que possua o sistema, terá também as opções de alterações possíveis em seu projeto, com os respectivos *QR-Codes* que o mesmo deveria adquirir. Assim, basta ler os códigos em seu manual de manutenção e modificação da edificação e compará-los com os correspondentes nos pontos de venda. Em seguida, um consultor verifica os detalhes para a execução das modificações conforme a escolha do módulo do cliente.

Como pressuposto para conduzir esta pesquisa, previu-se que a empresa fornecedora ou uma montadora por ela indicada execute a montagem do sistema. Para isso, o PLoM é a ferramenta que define os detalhes concernentes à logística e à montagem em geral, e especificamente para o layout selecionado para realizar este trabalho.

O tempo de espera da carga para iniciar a montagem deve ser o menor possível, enquanto a quantidade de viagens deve ser a mínima possível. Finalmente, o pacote sequencial de montagem deve ser tal que permita o contraventamento provisório da estrutura, até que o módulo de cobertura consolide o módulo global de montagem, para assim dar sequência no módulo subsequente.

Antes do início do desenvolvimento do processo propriamente dito, são caracterizadas as vias das rotas de acesso dos locais de origem (fábricas) ao local de destino (montagem), o tipo de terreno onde pode ser implantado o produto, além da

descrição do sistema que será montado, seus subsistemas, componentes e inter-relações. Valendo-se dos princípios de IPD, as decisões tomadas durante o planejamento de LoM interferiram também nas definições do produto, que sofreu alterações para se adequar às novas situações, conforme indicado na Figura 9 do método.

O time de IPD determinou que a execução da montagem ocorresse dentro de um raio de 150 km de malha viária capaz de receber o equipamento de transporte a ser definido pela logística. Esse valor foi arbitrado considerando os levantamentos das rodovias a partir do município de Londrina – PR. Entretanto, esse valor pode ser alterado em função da qualidade da malha viária, dos custos com pedágios e tempo médio de viagem.

Foram pressupostos alguns requisitos relativos à montagem:

- O primeiro veículo e o guindaste devem estar prontos para iniciar a montagem a partir das 8:00 horas, dando continuidade até a conclusão de um ou dois módulos completos, incluindo a cobertura, para evitar problemas de contraventamento provisórios, ou eventualidades com temporais e outros distúrbios climáticos;
- O restante dos componentes deve estar no local antes do início dos trabalhos do segundo dia de montagem;
- Pode ser previsto trabalho noturno desde que existam condições apropriadas para implantar iluminação artificial suficiente para tal;
- Em qualquer hipótese, a montagem não pode passar das 22:00 horas.

Para a elaboração do Plano de Logística e Montagem – PLoM, foi desenvolvido o planejamento de LoM, que resultou em uma sequência de procedimentos lógicos e estruturados, que por sua vez detalha as atividades e tarefas envolvidas nos dois processos. Essa sequência foi gerada iterativamente ao longo de todo o IPD.

O protocolo desenvolvido a partir da extração das diretrizes do PLoM da FlexHouse, de forma generalizada, permite a criação dos procedimentos acima para qualquer processo de IPD. Particularmente para esta pesquisa, o mesmo foi planejado para atender os requisitos iniciais do objeto de estudo. Neste caso, ele previu eventualidades de natureza operacional ou de causas naturais que afetassem os fluxos de LoM.

As decisões são deliberadas tanto pela empresa produtora do sistema, como pela empresa montadora, se forem empresas diferentes, ou departamentos de uma empresa que produz e monta todo o sistema. Portanto, o planejamento estratégico durante o ciclo de vida de montagem deve considerar a maior quantidade de variáveis que possam ser controladas, com folgas cronológicas para situações que fogem ao controle operacional.

Conforme os quatro passos descritos nos subitens 3.2.1 a 3.2.4 do método, cada quesito apresentado na estrutura geral do PLoM só foi convalidado a partir da finalização de cada iteração, a qual se constituiu do passo final para a definição dos itens 1 a 10 a seguir:

- 1) Identificar posição geográfica entre origem (fábricas) destinos (locais de montagem) e estabelecer rotas.
- 2) Quantificar os componentes do produto necessários para a montagem de uma unidade e no total de unidades (no caso de mais de uma unidade).
- 3) Modelar quantidade e forma das embalagens para transporte e manuseio.
- 4) Codificar de forma inequívoca todos os componentes e pacotes embalados.
- 5) Definir sequência de carregamento e composições de carga.
- 6) Modelar descarregamento e posicionamentos provisórios.
- 7) Dividir e definir as sequências de montagem.
- 8) Modelar o dimensionamento das equipes.
- 9) Verificar necessidade de ajuste nas etapas anteriores referentes à logística e à montagem (itens 1 a 8).
- 10) Redefinir, se necessário, os itens de logística e montagem de acordo com as verificações feitas.

A equipe de logística e montagem – ELoM é responsável pelo planejamento da sequência de montagem, juntamente com a equipe de projeto e produção, para obter o melhor resultado durante todo o processo de montagem-entrega da edificação.

É importante destacar que ao longo dos procedimentos enumerados anteriormente, devem ocorrer inspeções e verificações regulares para garantir que todo processo, a partir do carregamento até a entrega da edificação, ocorra segundo os procedimentos previstos e planejados anteriormente. Para isso, ferramentas como aplicativos de comunicação e transferência de informação para *smart phones* devem

ser disponibilizadas, para que as equipes envolvidas usem para eliminar eventuais restrições ou adotar alternativas logísticas ou de montagem, em tempo real.

A partir da sequência estruturada apresentada, são detalhados os procedimentos para cada item mencionado acima.

O processo completo é disponibilizado no local da montagem de forma digital, que é atualizado em tempo real e pode ser acessado de qualquer local com acesso à *internet* por computador ou dispositivos portáteis como *tablet* ou *smart phone*.

4.2.1 Posição geográfica e rotas

Para a identificação da posição geográfica entre os pontos de origem e destino e estabelecimento das rotas, orienta-se a definição das seguintes premissas:

- a) A partir dos endereços dos pontos de origem (fábricas) e destino (locais de montagem) das partes do produto, identificar posição geográfica e prever rota principal e rotas alternativas segundo fluxo de tráfego ou acidentes no trajeto por meio de sistema de posicionamento global (GPS);
- b) Estabelecer o responsável pelas informações de rotas e alternativas, para que essas sejam fornecidas em tempo real ao agente transportador e para a gerência de logística, para a tomada de decisão sobre a rota a adotar;
- c) Verificar se nas rotas existem restrições físicas como viadutos, fiações aéreas ou gabaritos das vias públicas que impeçam a manobra dos equipamentos ou que não suportem a carga;
- d) Selecionar alternativas de equipamentos rodoviários permitidos na rota principal e alternativas previstas, de acordo com as alíneas 'a' e 'c';
- e) Levantar custos com pedágios e combustível para as opções de rotas e tipo de veículo definidos;
- f) Prever reserva de contingência para possíveis problemas no veículo, como pneu furado ou falha mecânica.

Para o layout de estudo, não foi definido um local específico. Sendo assim, as alíneas "a", "b", "c", "e" e "f" do item 1 serão determinadas a partir da identificação dos pontos de origem e destino do produto a ser transportado.

Durante o planejamento logístico, uma tarefa crítica é avaliar detalhadamente o quesito *distância origem-destino*, com o intuito de evitar perdas decorrentes de imprevistos que possam ocorrer durante o trajeto a ser percorrido.

É importante que os trajetos sejam verificados em relação aos limites apresentados de altura de viadutos e de passagem de cabeamento, para aferição quanto ao atendimento a normas e legislação relacionadas em 4.1.2.

Apesar do limite de altura de transporte definido pela legislação ser de 4,40 m, alguns viadutos apresentam altura inferior, portanto, é necessária análise do trajeto completo antes de sua validação.

Sugere-se que a distância entre o vendedor e o local de montagem seja tal que possibilite duas viagens de ida e volta durante um período de trabalho para evitar que ocorra parada no processo de montagem.

A produção poderá ser descentralizada, ou seja, a fábrica de placas de radier poderá ser em local diferente da fábrica de painéis, por exemplo.

Para a determinação da alínea “e”, apesar de não ter sido definido o trajeto, deve-se considerar a caracterização viária feita anteriormente na alínea “c”.

Em relação ao transporte, no decorrer da pesquisa foram identificadas inúmeras restrições de circulação e capacidade viária, que provocaram a reestruturação da logística e montagem, devido aos equipamentos existentes no mercado e à legislação vigente. Como exemplo, é apresentado o dimensionamento inicial do guindaste para uso na montagem, o qual foi redimensionado em função de várias restrições encontradas, como gabarito viário, capacidade do braço do guindaste ou manobrabilidade (Figura 22).

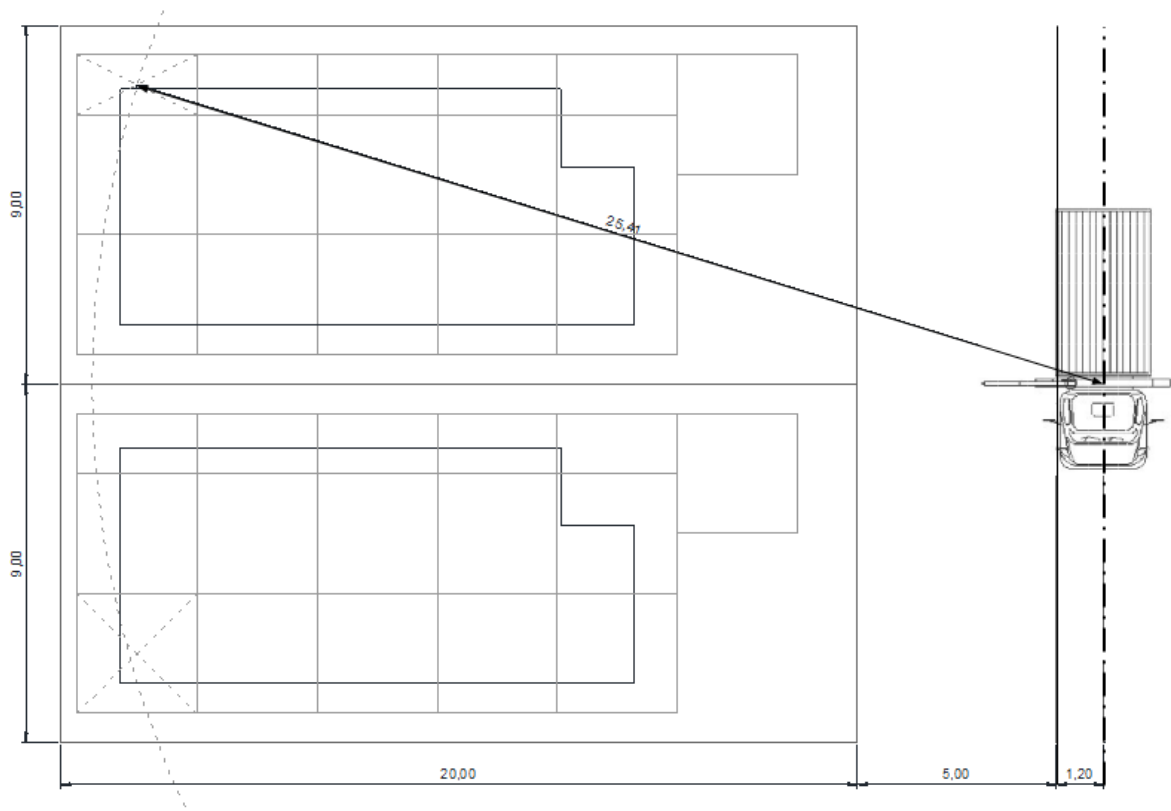


Figura 22 – Raio de alcance do braço do *munck* na opção inicial de montagem
Fonte: Autora

Para esse alcance e carga necessários, o equipamento seria de alto custo, o que poderia inviabilizar o transporte e a montagem do produto. Foram desenvolvidos então outros estudos, com novas possibilidades de montagem, de forma a reduzir o raio necessário do braço do *munck* e a necessidade de capacidade de carga.

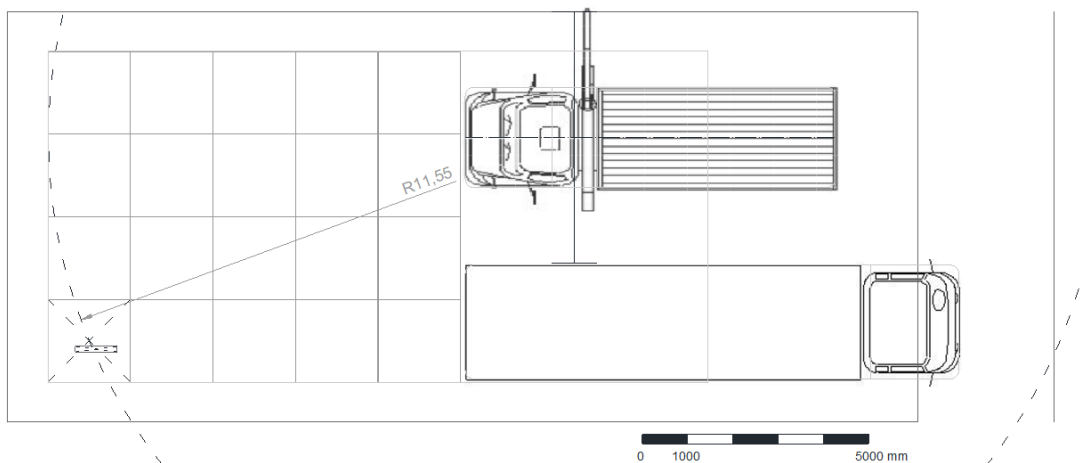
As dimensões da placa de radier foram reduzidas e conseqüentemente seu peso, chegando a 620 Kg em sua configuração final. Além disso, o peso do primeiro guindaste especificado somado ao conjunto resultaria em baixa capacidade de carga útil disponível do veículo, em torno de 5 toneladas. Isso inviabilizaria o uso desse equipamento para o transporte, mas seria adequado para montagem, também pela facilidade de relocação do equipamento no local, já que o guindaste vem acoplado ao veículo. Sendo assim, foi determinado o uso de um veículo para transporte (ou mais, caso necessário) e outro com o guindaste acoplado para a montagem, que irá permanecer no local.

A partir do estudo de carregamento, foi possível definir o uso do caminhão tipo *truck* para o transporte, com PTB máximo de 23 toneladas, como detalhado em 4.1.3.

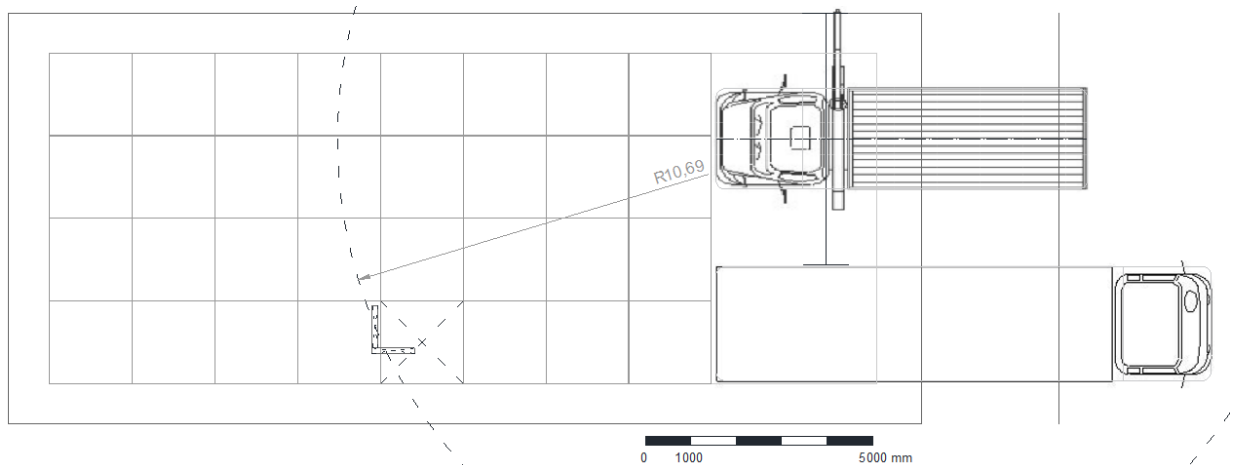
Com as novas configurações de montagem, também influenciadas pelo estudo de carregamento, foi possível reduzir significativamente a necessidade do raio de alcance do *munck*. Com a redução do equipamento de montagem, foi possível ainda reduzir a necessidade de capacidade do veículo onde será acoplado, podendo ser usado também o veículo tipo *truck*, mas com PBT máximo de 13 toneladas, especificado em 3.3.

Foram consideradas então duas opções de montagem, ambas em duas etapas. Na opção 1, a montagem é feita com o veículo dentro do terreno, quando somente uma unidade será montada ou não houver disponibilidade do terreno vizinho. Na opção 2, o veículo é posicionado no terreno lateral.

Opção 1: Veículos dentro do terreno. Para o assentamento das placas de radier, o solo deve estar perfeitamente nivelado. Para a execução da primeira etapa, os veículos são posicionados sobre chapas metálicas para diminuir a interferência no nivelamento do solo. Antes da execução da segunda etapa, é feito ajuste fino no nivelamento por onde passam os veículos para depois dar sequência à montagem. Na segunda etapa o veículo de transporte ocupa parcialmente a via. Sendo assim, deve-se verificar a legislação municipal anteriormente e solicitar liberação para o serviço junto ao órgão competente no prazo necessário. Conforme indicado na Figura 23, o raio de alcance máximo para essa configuração é em torno de 11,55 m.



(a) Primeira etapa

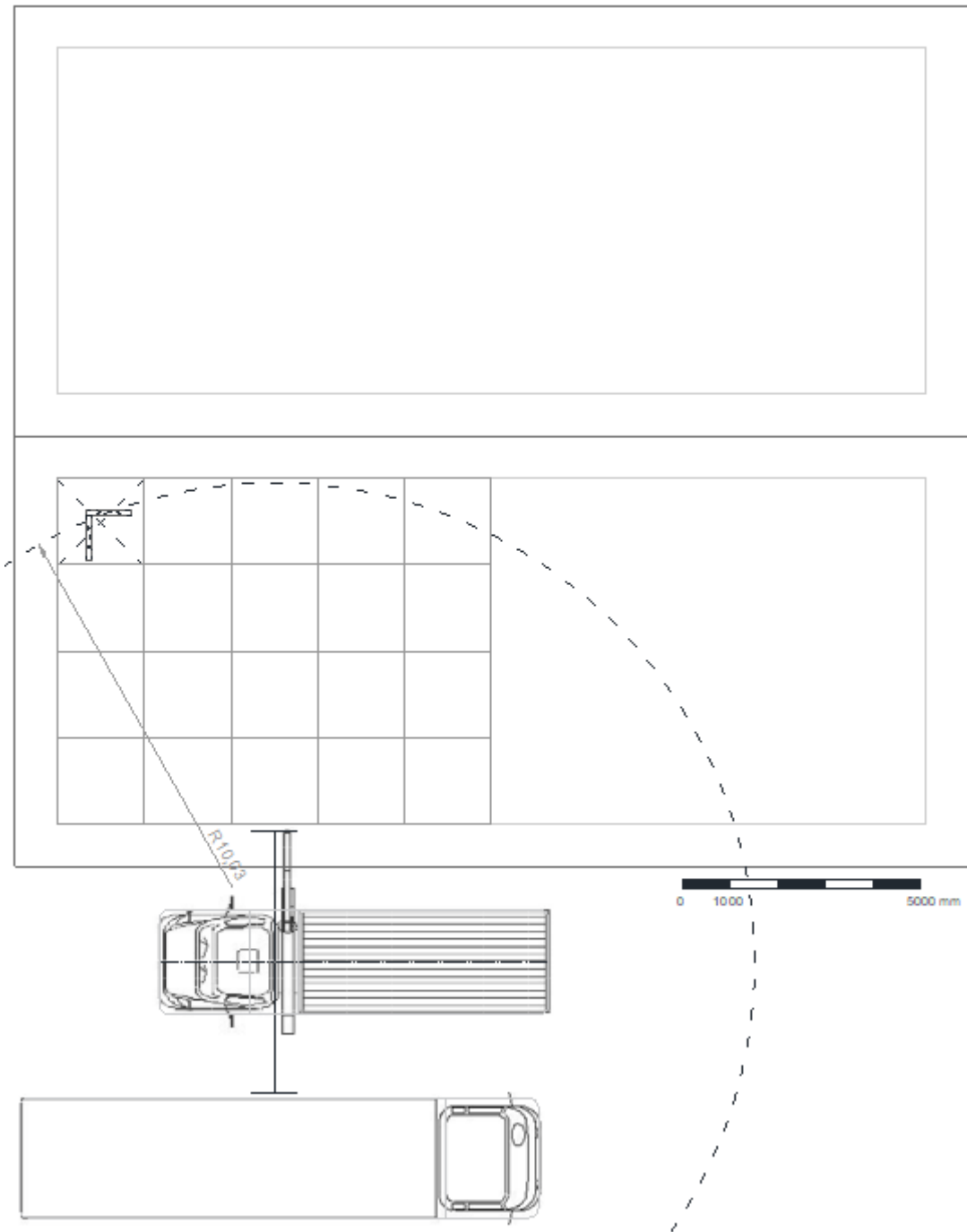


(b) Segunda etapa

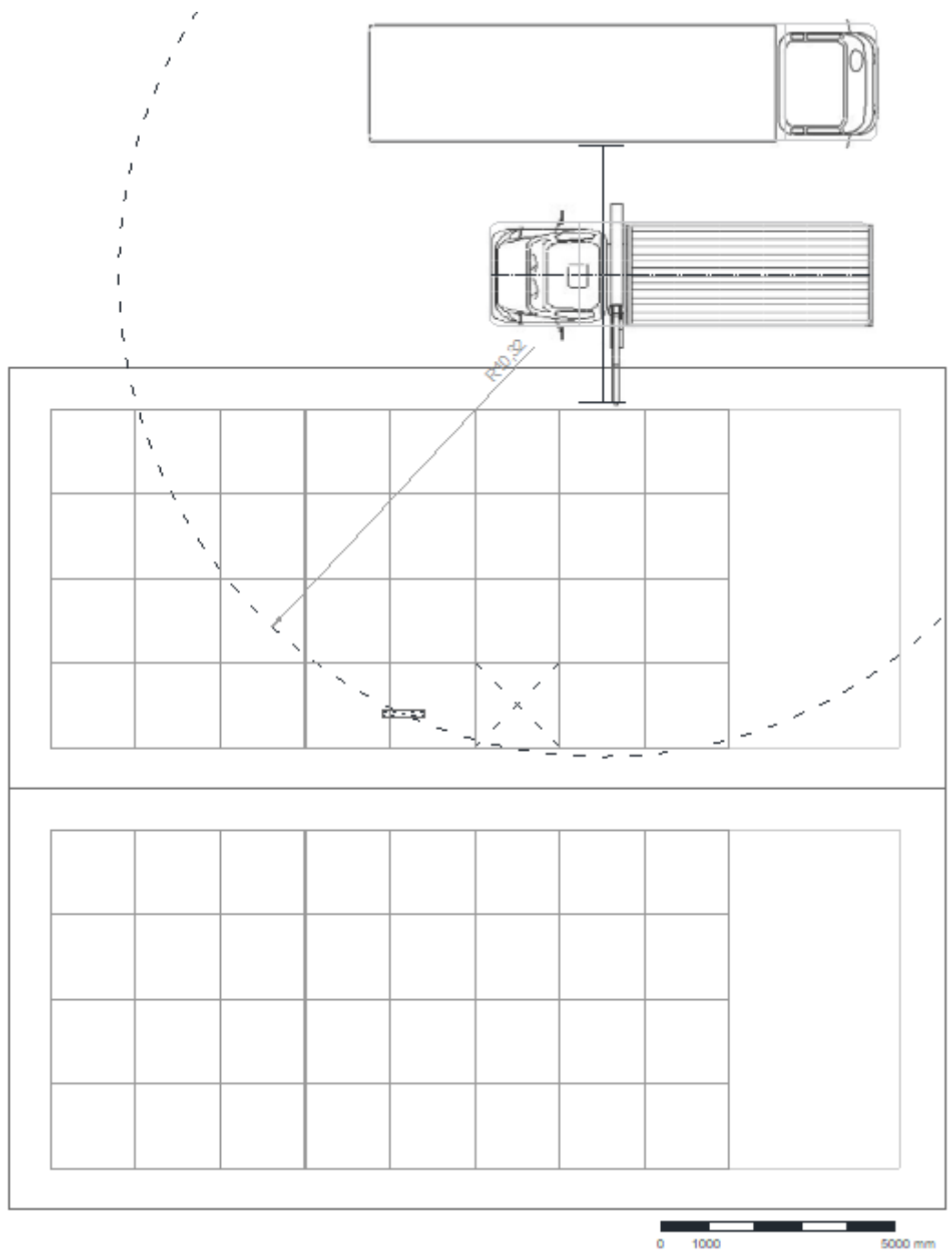
Figura 23 – Raio de alcance do *munck* na opção 1 de montagem proposta

Fonte: Autora

Opção 2: Veículo no terreno vizinho. Caso haja disponibilidade e nivelamento adequado, é possível posicionar os veículos no lote lateral para evitar o desnivelamento do terreno pelo seu trânsito sobre o platô (Figura 24a). Enquanto uma unidade é montada, é possível a preparação e nivelamento do lote lateral oposto à posição dos veículos. Na sequência, pode ser montada a unidade do terreno preparado da mesma forma, caso tenha a disponibilidade do lote da outra lateral para o posicionamento dos veículos, conforme indicado na Figura 24b. É executado também em duas etapas para reduzir o raio de alcance do braço do *munck*, que nessa opção fica em torno de 10,32 m.



(a) Primeira etapa do primeiro terreno



(b) Segunda etapa do segundo terreno
 Figura 24 – Raio de alcance do *muncie* na opção 2 de montagem proposta
 Fonte: Autora

Em ambas as opções, é necessário que o local onde será posicionado o veículo esteja plano, evitando instabilidade do equipamento. A declividade do lote deve ser analisada anteriormente e consultado o operador do equipamento para verificar a viabilidade técnica do seu emprego. Sendo assim, para atender às duas opções será necessário um equipamento com raio de alcance mínimo de 12 m.

O maior peso a ser considerado é 620 Kg, correspondente às placas de radier, como já indicado. O peso do maior módulo de cobertura é de 550 kg, com raio de montagem menor que o radier, conseqüentemente, sua especificação também atende à cobertura. O peso dos painéis é de 45 Kg, bem menor que os demais elementos.

4.2.2 Quantificação

A quantificação dos componentes do produto necessários para a montagem de uma unidade e cálculo de volume e peso totais devem ser de acordo com:

- a) Quantidade, dimensões e peso de cada peça do projeto solicitado pelo cliente;
- b) Para o caso de condomínios ou montagens múltiplas, considerar projetos idênticos como subconjuntos que devem atender ao PLoM nas particularidades;
- c) A definição, a partir da alínea anterior, da quantidade de montagens, em função dos demais itens que influenciarão o detalhamento do PLoM.

Para cada componente e elemento são apresentadas as quantidades para uma unidade do produto em estudo, para que posteriormente possam ser compostos os pacotes de transporte conforme quantidade de unidades a serem montadas e capacidade do veículo de transporte. A proposta é que a montagem seja feita em duas etapas, porém, os pacotes de transporte precisam considerar a otimização da capacidade do veículo.

As placas de radier são 32, totalizando 19840 Kg e 17,02 m³. Conforme compatibilização da sequência de montagem com o estudo de carregamento, serão assentadas na primeira etapa 20 placas, com 12400 Kg e 10,64 m³. Na segunda etapa de montagem restarão 12 placas, com 7440 Kg e 6,38 m³. A Tabela 05 relaciona os tipos de radier conforme quantidade de conexões e pontos de furação.

Tabela 5 – Quantitativo de radier

CÓDIGO	QUANT	DESCRIÇÃO
RD01.HID01	2	Conexão em dois lados. Um ponto de saída de água pluvial
RD02	8	Conexão em três lados
RD02.HID02	1	Conexão em três lados. Um ponto de saída de água pluvial
RD03	7	Conexão nos quatro lados
RD03.HID03	1	Conexão nos quatro lados. Um ponto de saída de esgoto para bacia sanitária
RD03.HID04	1	Conexão nos quatro lados. Um ponto de saída de esgoto para lavatório

RD02.HID05	1	Conexão em três lados. Um ponto de saída de esgoto para caixa sifonada; um ponto para alimentação de água potável.
RD02.HID06	1	Conexão em três lados. Um ponto de saída de esgoto para lavatório
RD03.HID07	1	Conexão nos quatro lados. Um ponto de saída de esgoto para caixa sifonada
RD03.EL	1	Conexão nos quatro lados. Um ponto de para alimentação de energia/comunicação
RD02.HID08	1	Conexão em três lados. Dois pontos de saída de água pluvial; um ponto de saída de esgoto para bacia sanitária
RD02.HID09	1	Conexão em três lados. Dois pontos de saída de água pluvial
RD03.GAS	1	Conexão nos quatro lados. Um ponto de para alimentação de gás
RD02.HID10	1	Conexão em três lados. Um ponto de saída de água pluvial; um ponto de saída de esgoto para tanque
RD02.HID11	1	Conexão em três lados. Um ponto de saída de água pluvial
RD01	1	Conexão em dois lados
RD02.HID12	1	Conexão em três lados. Um ponto de saída de água esgoto de pia de cozinha
RD01.HID013	1	Conexão em dois lados. Um ponto de saída de água pluvial; um ponto de saída de esgoto de máquina de lavar roupa.
TOTAL	32	

Fonte: Autora

Para a ligação entre as placas é usado um conector em cada lateral interna ao radier, ou seja, que é unido a outra placa. Na primeira etapa, são necessários 31 conjuntos de conectores de aço galvanizado e pares de parafuso, porca e arruela galvanizados para fixação dos conectores. Na segunda etapa são 21 conjuntos de conectores e pares de parafuso, porca e arruela.

As canaletas para fixação dos painéis apresentam comprimento variável conforme comprimento da parede e detalhe de corte e fechamento segundo disposição dos painéis. Seu quantitativo está apresentado na Tabela 6 com códigos sequenciais conforme comprimento em ordem crescente. No total são 20 canaletas que somam 59 m de comprimento linear e 67,4 Kg. Para a primeira etapa de montagem são 10 canaletas com 33,64 m de comprimento e 38,44 Kg; e na segunda etapa são 10 perfis de canaleta com 25,34 m de comprimento e 28,96 Kg.

Tabela 6 – Quantitativo das canaletas

CÓDIGO	QUANT	COMPR UN (mm)	PESO (Kg)	OBSERVAÇÃO
CAN01	1	921	1,05	
CAN02	1	924	1,06	Corte em meia esquadria em uma das extremidades
CAN03	2	924	1,06	Fechado no topo de umas das extremidades
CAN04	3	1846	2,11	
CAN05	2	1848	2,11	Corte em meia esquadria em uma das extremidades
CAN06	1	1848	2,11	Fechado no topo de umas das extremidades
CAN07	1	1975	2,26	

CAN08	1	2899	3,31	Corte em meia esquadria em uma das extremidades
CAN09	1	3569	4,08	Fechado no topo de umas das extremidades
CAN10	1	3698	4,23	
CAN11	1	3701	4,23	Corte em meia esquadria em uma das extremidades e fechado no topo da outra extremidade
CAN12	1	3953	4,52	Corte em meia esquadria em uma das extremidades
CAN13	1	4624	5,28	Fechado no topo de umas das extremidades
CAN14	1	5927	6,77	Corte em meia esquadria nas duas extremidades
CAN15	1	6471	7,39	Corte em meia esquadria em uma das extremidades
CAN16	1	7395	8,45	Corte em meia esquadria em uma das extremidades
TOTAL	20	58986	67,40	Quantidade, comprimento linear e peso totais de canaleta

Fonte: Autora

O quantitativo do EVA é o mesmo das canaletas, ou seja, 20 unidades no total com 59 m de comprimento e 1,44 Kg. Para a primeira etapa de montagem são 9 folhas de EVA com 30,88 m de comprimento e 0,75 Kg; e na segunda etapa são 11 folhas de EVA com 28,12 m de comprimento e 0,69 Kg.

Todos os painéis têm dimensões iguais, diferenciando-se em relação à posição dos conectores, esquadrias e instalações. A quantidade total é de 70 painéis por unidade habitacional. O peso total é de 3150 Kg e volume de 21,8 m³.

Na primeira etapa são empregados 40, com 12,45 m³ e 1800 Kg. Na segunda etapa são 30 painéis, com 9,35 m³ e 1350 Kg. Na Tabela 7 é apresentada a quantidade de cada tipo de painel conforme posição do conector, instalações e esquadrias.

Tabela 7 – Quantitativo de painéis

CÓDIGO	QUANT	DESCRIÇÃO
P01	9	Um conector em cada extremidade
P02.EL01.HID01	1	Um conector na extremidade direita e outro na face inferior esquerda; tomada baixa próxima à extremidade; tubulação de água pluvial na extremidade e torneira de jardim centralizado
P03.EL02.HID02	1	Um conector na extremidade direita e outro na face superior esquerda; tomada alta centralizada bifásica para ar-condicionado; tubulação de água pluvial na extremidade
P01.EL03	1	Um conector em cada extremidade; tomada dupla baixa e interruptor internos, tomada baixa externa
P01.EL02	1	Um conector em cada extremidade; tomada alta centralizada bifásica para ar-condicionado
P04	1	Um conector na extremidade direita e outros dois nas faces inferior e superior esquerdas
P01.EL04	1	Um conector em cada extremidade; arandela externa centralizada
P01.JA01	10	Um conector em cada extremidade; janela em alumínio grande

P06.EL01	1	Um conector em cada extremidade e outro na face superior direita; tomada baixa próxima à extremidade
P01.EL05.HID03	1	Um conector em cada extremidade; tomada alta centralizada bifásica para chuveiro; misturador para chuveiro
P05.HID02	1	Um conector em cada extremidade e outro na face inferior direita; tubulação de água pluvial na extremidade
P01.PM01	4	Um conector em cada extremidade; porta de madeira com abertura para a esquerda
P01.EL06	1	Um conector em cada extremidade; tomada baixa e interruptor próximo à extremidade
P01.EL07	3	Um conector em cada extremidade; tomada baixa centralizada
P04.EL01	1	Um conector na extremidade direita e outros dois nas faces inferior e superior esquerdas; tomada baixa próxima à extremidade
P06.EL08	1	Um conector em cada extremidade e outro na face superior direita; tomada baixa e interruptor de um lado e interruptor de outro lado próximo à extremidade oposta
P01.EL09.HID04	1	Um conector em cada extremidade; interruptor próximo à extremidade; ponto de bacia sanitária no lado oposto
P05.EL09.HID05	1	Um conector em cada extremidade e outro na face inferior direita; interruptor; ponto de lavatório no lado oposto
P01.PM02	1	Um conector em cada extremidade; porta de madeira com abertura para a direita
P01.EL10	1	Um conector em cada extremidade; tomada média de um lado e tomada baixa de outra, ambas centralizadas
P01.EL11	1	Um conector em cada extremidade; interruptor de um lado, quadro de energia
P01.JA02	2	Um conector em cada extremidade; janela em alumínio pequena
P06.EL12	1	Um conector em cada extremidade e outro na face superior direita; tomada baixa de um lado e arandela de outro, ambas centralizadas
P01.EL04.HID06	1	Um conector em cada extremidade; arandela externa centralizada; alimentação de água, duas tubulações de água pluvial, uma centralizada e uma na extremidade
P01.HID04	1	Um conector em cada extremidade; ponto de bacia sanitária no lado oposto
P03.EL05.HID03	1	Um conector na extremidade direita e outro na face superior esquerda; tomada alta centralizada bifásica para chuveiro; misturador para chuveiro
P01.EL13.HID05	1	Um conector em cada extremidade; tomada média próxima à extremidade
P05.EL01	1	Um conector em cada extremidade e outro na face inferior direita; tomada baixa próxima à extremidade
P06.E09	1	Um conector em cada extremidade e outro na face superior direita; interruptor próximo à extremidade
P03.HID07	1	Um conector na extremidade direita e outro na face superior esquerda; tubulação de água pluvial centralizada
P01.PA01	1	Um conector em cada extremidade; porta de alumínio com abertura para a direita
P01.EL14	1	Um conector em cada extremidade; tomada baixa externa centralizada, internamente tomada baixa próxima à uma extremidade, tomada alta para ar-condicionado próxima à uma extremidade, interruptor triplo na outra extremidade
P02.HID02	1	Um conector na extremidade direita e outro na face inferior esquerda; tubulação de água pluvial na extremidade
P06.EL15.HID08	1	Um conector em cada extremidade e outro na face superior direita; tomada média centralizada; ponto para máquina de lavar roupa
P01.PA02	1	Um conector em cada extremidade; porta de alumínio com abertura para a esquerda

P01.EL09.HID09	1	Um conector em cada extremidade; tomada baixa centralizada; duas tubulações de água pluvial, uma centralizada e uma na extremidade
P01. EL16	1	Um conector em cada extremidade; tomada média centralizada e interruptor duplo próximo à extremidade
P05.EL17	1	Um conector em cada extremidade e outro na face inferior direita; interruptor; interruptor duplo próximo à extremidade
P03.EL18	1	Um conector na extremidade direita e outro na face superior esquerda; tomada média bifásica centralizada
P06.EL02.HID02	1	Um conector em cada extremidade e outro na face superior direita; tomada alta centralizada bifásica para ar-condicionado; tubulação de água pluvial na extremidade
P05.HID10	1	Um conector em cada extremidade e outro na face inferior direita; torneira de tanque
P01.EL19	1	Um conector em cada extremidade; interruptor próximo à extremidade nos dois lados
P01.EL20.HID11	1	Um conector em cada extremidade; ponto para misturador de mesa para cozinha; tomada dupla média próximo à extremidade
P01.EL21.GAS	1	Um conector em cada extremidade; tomada média centralizada de um lado, tomada baixa média e interruptor centralizados do outro lado; ponto de gás centralizado
P03.EL22	1	Um conector na extremidade direita e outro na face superior esquerda; tomada dupla baixa centralizada e antena próximo à extremidade
P01. EL23	1	Um conector em cada extremidade; tomada dupla baixa centralizada e telefone próximo à extremidade
P02.EL24	1	Um conector na extremidade direita e outro na face inferior esquerda; interruptor triplo próximo à extremidade
TOTAL	70	

Fonte: Autora

Os espaçadores são iguais em tamanho e composição. A quantidade é de um por painel. Sendo assim, a primeira etapa de montagem leva 40 unidades, com 0,45 m³ e 60 Kg. Na segunda etapa são 30 unidades, com 0,34 m³ e 45 Kg.

Para a cobertura, o módulo maior tem duas unidades e ficam nas extremidades. O módulo menor tem três unidades na parte central da edificação. No total são 51,04 m³ e 2600 Kg. Na primeira etapa de montagem são inseridos um módulo maior e um módulo menor, com 40,63 m³ e 1050 Kg. Na segunda etapa são dois módulos menores e um módulo maior, com 30,41 m³ e 1550 Kg.

Para a junção entre os módulos da cobertura são empregadas 4 capas de fixação superior para cada casa, perfazendo 24,12 m de comprimento e 40,8 Kg. Na primeira etapa é utilizada uma capa com 6,03 m de comprimento e 10,2 Kg; e na segunda etapa mais três capas com 18,07 m de comprimento e 30,6 Kg.

O rodapete apresenta comprimento variável conforme comprimento da parede e disposição dos painéis. Seu quantitativo está apresentado na Tabela 8, com códigos sequenciais conforme comprimento em ordem crescente. No total são 42 perfis de

rodadeto que somam 90,41 m de comprimento linear e 116,12 Kg. Para a primeira etapa de montagem são 11 perfis com 29,86 m de comprimento e 38,35 Kg; e na segunda etapa são 32 perfis de canaleta com 60,55 m de comprimento e 77,76 Kg.

Tabela 8 – Quantitativo do rodateto

CÓDIGO	QUANT	COMPR/ UN (mm)	PESO (Kg)	OBSERVAÇÃO
RT01	3	128	0,16	Perfil em meia esquadria nas duas extremidades para encaixe perpendicular
RT 02	2	795	1,02	
RT 03	1	798	1,02	Perfil em meia esquadria em uma extremidade para encaixe perpendicular
RT 04	4	924	1,19	Perfil em meia esquadria em uma extremidade para encaixe perpendicular
RT 05	1	1050	1,35	Perfil em meia esquadria em uma extremidade para encaixe perpendicular
RT 06	5	1719	2,21	
RT 07	2	1845	2,37	
RT 08	1	1848	2,37	Perfil em meia esquadria em uma extremidade para encaixe perpendicular
RT 09	1	1971	2,53	
RT 10	2	1974	2,54	Perfil em meia esquadria em uma extremidade para encaixe perpendicular
RT 11	1	2644	3,40	
RT 12	2	2646	2,88	
RT 13	10	2770	3,56	
RT 14	1	2772	3,56	Perfil em meia esquadria em uma extremidade para encaixe perpendicular
RT 15	6	3343	4,29	
RT 16	1	3700	4,75	Perfil em meia esquadria nas duas extremidades para encaixe perpendicular
TOTAL	43	89736	115,25	Quantidade, comprimento linear e peso totais de rodateto

Fonte: Autora

Cada edificação recebe um núcleo central com reservatórios e placas solares e um núcleo fotovoltaico, com dimensões e pesos especificados em 4.1.1.

A Tabela 9 indica o quantitativo de louças e metais sanitários. Dimensões e pesos estão especificados na Tabela 04 em 4.1.1.

Tabela 9 – Quantitativo de louças e metais

PEÇA	QUANT.
Bacia para caixa acoplada	2
Caixa acoplada	2
Lavatório suspenso	1
Coluna para lavatório	1
Lavatório suspenso acessível	1
Coluna suspensa para lavatório	1
Tanque 48 l	1
Pia para cozinha	1
Chuveiro com tubo de parede	2
Misturador de mesa para lavatório	2

Misturador de mesa para cozinha	1
Torneira para tanque e jardim	2
Torneira para máquina de lavar	1
Acabamento para registro	10
Grelha em inox para ralo	4
Barra de apoio fixa lateral em inox	1
Barra de apoio horizontal 80 cm	1
Barra de apoio horizontal 65 cm	1
Barra de apoio vertical 70 cm	4
Cadeira de banho	1

Fonte: Autora

4.2.3 Embalagens de transporte

Para a modelagem de quantidade e forma das embalagens para transporte e manuseio, são considerandos:

- a) Estudos de opções de pacotes de componentes e/ou conjuntos embalados (em paletes ou individualmente) transportados;
- b) As embalagens por tipologia de componente, material, peso e dimensões;
- c) O volume e o peso gerados pela composição de kits de montagem adotados, incluindo a embalagem.

As embalagens, além de promover a compartimentação dos pacotes para acomodação no veículo, contêm amortecedores de impacto isolantes entre componentes para evitar perdas por defeitos causados por transporte inadequado ou quebras.

As placas de radier recebem proteção superficial sobre o porcelanato e ao redor, sobre o policloropreno, constituído de filme polimérico de polietileno ou poliéster. São acomodadas no veículo de transporte na horizontal, sobre duas almofadas de EPS (expanded polystyrene – poliestireno expandido) de 1800 X 200 X 75 mm para permitir o içamento pelos parafusos de ligação, que servem também como parafusos de movimentação, e acomodar as conexões das instalações. Sendo assim, suas dimensões de transporte são de 1812 X 1812 X 237 mm. Os conjuntos de conectores, pares de parafuso, porca e arruela são agrupados em caixas de papelão conforme quantidade de cada carga e enviados junto com o radier.

A Tabela 10 indica os agrupamentos de radier relacionando com etapa de execução.

Tabela 10 – Conjuntos de radier

ETAPA	RADIER
ET01_01	2 X RD01.HID01 / 4 X RD02 / RD02.HID02 / 2 X RD03 / RD03.HID03
ET01_02	RD03.HID04 / RD02.HID05 / RD02.HID06 / RD03.HID07 / RD03.EL / RD02.HID08 / RD02.HID09 / 2 X RD03 / RD02
ET02	3 X RD02 / 3 X RD03 / RD03.GAS / RD02.HID10 / RD02.HID11 / RD01 / RD02.HID12 / RD01.HID013

Fonte: Autora

As canaletas apresentam formato em U e para o transporte são encaixadas uma dentro da outra, a cada duas, de maneira que formem uma caixa. São protegidas em todas as faces por filme polimérico e agrupadas com fita plástica. Nas extremidades recebem proteção ante impacto de cantoneiras em papelão corrugado reciclado.

Suas dimensões são variáveis, indicadas na Tabela 06 em 4.2.2. Os parafusos para fixação são embalados em sacos plásticos e inseridos no interior do conjunto de canaletas.

As embalagens de cada etapa de montagem são agrupadas com fita plástica, resultando em apenas dois volumes de transporte. A Tabela 11 mostra os agrupamentos e dimensões finais de transporte das canaletas.

Tabela 11 – Embalagens das canaletas

ETAPA DE MONTAGEM	EMBALAGEM	CANALETAS	DIMENSÕES L x A x C (mm)	PESO (Kg)
ET01	EMB01	CAN15/CAN16	163 x 137 x 7395	38,44
	EMB02	CAN14/CAN09/CAN05		
	EMB03	CAN01/CAN07		
	EMB04	3 X CAN04		
ET02	EMB05	2 X CAN03	163 x 137 x 4624	28,96
	EMB06	CAN05/CAN06		
	EMB07	CAN10/CAN11		
	EMB08	CAN12/CAN13		
	EMB09	CAN02/CAN08		

Fonte: Autora

O EVA vem enrolado em dois tubetes de 76 mm de diâmetro, com as peças de cada uma das etapas de montagem, um com diâmetro final de 448 mm e o outro com 489 mm, ambos com 122 mm de largura. Os cilindros gerados são protegidos externamente por filme polimérico.

Os painéis, além do filme polimérico protetor em todas as faces, são empacotados em fardos contendo três ou quatro elementos, que serão agrupados conforme a localização em que serão montados e tipologia. Os painéis são separados por folha de EPS de 10 mm, que tem a função de proteger contra o atrito entre as peças e absorver os conectores na lateral, quando houverem (paredes perpendiculares). Os conectores das extremidades também recebem proteção de EPS, mas de forma local, com dimensões de 50 mm X 50 mm X 10 mm, fixados por encaixe.

Nos vãos das portas devem ser adicionados travamentos com madeira serrada de pinus para manter as dimensões da abertura. São removidos com cuidado após a montagem da edificação, antes da limpeza final, de forma que possam ser aproveitados em próximas montagens. Os travamentos das portas são retirados após a montagem dos painéis, porém, com o mesmo cuidado para reaproveitamento.

Os fardos são acondicionados em grade de sarrafos de madeira de pinus, que tem a função de proteger contra impacto e favorecer o manuseio e o transporte, que na fábrica é feito por empilhadeira. As dimensões e peso de transporte de cada fardo são: com três painéis, 1021 mm X 2853 mm X 487 mm, 135 Kg; com quatro painéis, 1021 mm X 2853 mm X 620 mm, 180 Kg. A Tabela 12 relaciona as embalagens e os tipos de painéis que contém.

Tabela 12 – Embalagens dos painéis

ETAPA DE MONTAGEM	EMBALAGEM	PAINÉIS
ET01	EMB01 (3)	P02.EL01.HID01 / 2 X P01
	EMB02 (3)	P01.EL02 / P04 / P01.EL04
	EMB03 (4)	2 X P01.JA01 / P05.HID02 / P01.PM01
	EMB04 (3)	P06.EL08 / P01.EL09.HID04 / P01.PM01
	EMB05 (3)	P01 / P01.JA02 / P06.EL12
	EMB06 (3)	P01 / P03.EL05.HID03 / P01.EL13.HID05
	EMB07 (3)	P03.EL02.HID02 / P01 / P01.EL03
	EMB08 (4)	2 X P01.JA01 / P06.EL01 / P01.EL05.HID03
	EMB09 (3)	P01.EL06 / P01.EL07 / P04.EL01
	EMB10 (4)	P05.EL09.HID05 / P01.PM02 / P01.EL10 / P01.EL11
	EMB11 (3)	P01.JA02 / P01.EL04.HID06 / P01.HID04
	EMB12 (4)	P05.EL01 / P01 / P06.EL09 / P01.PM01
ET02	EMB13 (3)	P03.HID07 / P01.PA01 / P01.EL14
	EMB14 (4)	2 X P01.JA01 / P01 / P01.EL09.HID09
	EMB15 (3)	P05.EL17 / P01.EL07 / P03.EL18
	EMB16 (3)	2 X P01.JA01 / P01.EL20.HID11
	EMB17 (3)	P01.PM01 / P02.EL24 / P01.EL07
	EMB18 (3)	P01.PA02 / P02.HID02 / P06.EL15.HID08
	EMB19 (3)	P01.EL16 / P01.EL19 / P01

	EMB20 (4)	2 X P01.JA01 / P06.EL02.HID02 / P05.HID10
	EMB21 (4)	P01.EL21.GAS / P01 / P03.EL22 / P01.EL23

Fonte: Autora

Os espaçadores recebem a proteção do filme polimérico em todas as faces e são agrupados com fita plástica em sete pacotes de 10 unidades cada. A embalagem não altera suas dimensões, sendo as mesmas para o transporte, ou seja, 921 mm X 100 mm X 122,5 mm.

Os módulos da cobertura recebem a proteção do filme polimérico e são protegidos por espaçadores de EPS no momento em que são acondicionados no veículo. As dimensões de transporte são 6122 mm X 750 mm X 2870 mm para os módulos maiores e 6122 mm X 750 mm X 2600 mm para os módulos menores.

O rodateto apresenta formato em L e para o transporte são encaixadas a cada quatro, duas contra outras duas, de maneira que formem uma caixa. São protegidas em todas as faces pelo filme polimérico e agrupadas com fita plástica. Nas extremidades recebem proteção ante impacto de cantoneiras em papelão corrugado reciclado.

Suas dimensões são variáveis, indicadas na Tabela 08 em 4.2.2. Os parafusos para fixação são embalados em sacos plásticos e inseridos no interior do conjunto de rodateto.

As embalagens de cada etapa de montagem, assim como das canaletas, são agrupadas com fita plástica, resultando em apenas três volumes de transporte, um para a primeira etapa e dois para a segunda etapa de montagem. A Tabela 13 mostra os agrupamentos e dimensões finais de transporte de rodateto.

Tabela 13 – Embalagens de rodateto

ETAPA DE MONTAGEM	EMBALAGEM	RODATETO	DIMENSÕES L x A x C (mm)	PESO (Kg)
ET01	EMB01	2 X (2 X RT15 / 2 X RT13)	474 x 160 x 3343	38,35
	EMB02	RT09 / 2 X RT06		
ET02_01	EMB01	2 X RT15 / 2 X RT13	476 x 159 x 3443	38,07
	EMB03	RT10 / 2 X RT07 / RT06		
	EMB04	3 X RT13 / RT06		
ET02_02	EMB05	RT16 / RT14 / 2 X RT12 / RT08 / RT05	476 x 161 x 3700	38,84
	EMB06	RT13 / RT10 / RT06 / RT03 / 2 X RT04 / RT01		
	EMB07	RT11 / 2 X RT04 / 2 X RT02 / 2 X RT01		

Fonte: Autora

O núcleo central recebe a proteção do filme polimérico externamente e imobilização interna do boiler por estrados de madeira de pinus. Assim como os módulos de cobertura, são protegidos por espaçadores de EPS no momento do carregamento. Considerando o formato em L, as dimensões de transporte são 2490 mm de altura X 913 mm de largura na torre do reservatório, 2438 mm de largura X 577 mm de altura na base de suporte das placas solares e 2300 mm de comprimento em todo o volume.

O núcleo fotovoltaico é acondicionado provisoriamente dentro do núcleo central para o transporte, com os travamentos necessários.

As louças e os metais sanitários são adquiridos no mercado com embalagem do fornecedor. Louças e granito sintético vêm com proteção em filme polimérico, exceto caixa acoplada que vem acondicionada em caixa de papelão corrugado.

Chuveiro, misturador de mesa para lavatório e grelha ralo são protegidos por embalagem tipo blister, que é um material plástico transparente um pouco rígido. O misturador de mesa para cozinha vem em caixa de papelão, enquanto torneiras para tanque e jardim e máquina de lavar e acabamento para registro vêm em saco plástico.

Louças e metais são fornecidos ao fabricante da FlexHouse, o qual posteriormente monta os *kits*. Uma vez que esses possuem vários fornecedores optou-se por considerar o recebimento desses componentes em fábrica, para incluí-los no plano de carregamento, garantindo que estarão disponíveis no local de montagem no momento correto.

As louças e granito sintético serão acondicionadas no veículo da forma que são recebidos do fornecedor. Os metais, as barras de apoio e a cadeira de banho serão acondicionados em caixas de papelão corrugado pela equipe de logística da fábrica do produto em estudo, formando o *kit* de metais sanitários. A Tabela 14 mostra a relação dos componentes, dimensões e pesos da embalagem, considerando as quantidades.

Tabela 14 – Dimensões e peso de louças e metais

PEÇA	QUANT.	DIMENSÕES UN COM EMBALAGEM (LxHxC) (mm)	PESO TOTAL COM EMBALAGEM (Kg)
Bacia para caixa acoplada	2	397 x 385 x 635	35,64
Caixa acoplada	2	385 x 380 x 157	26,20
Lavatório suspenso	1	470 x 195 x 385	11,22
Coluna para lavatório	1	182 x 680 x 175	10,36
Lavatório suspenso acessível	1	600 x 190 x 415	17,46
Coluna suspensa para lavatório	1	140 x 680 x 290	7,70

Tanque 48 l	1	480 x 600 x 600	15,13
Pia para cozinha	1	545 x 200 x 1605	22,62
Kit de metais sanitários e barras	1	700 x 400 x 930	38,52

Fonte: Autora

As embalagens de todos os componentes e elementos, de modo geral, permitem retirada parcial para montagem, sendo que a proteção total de cada componente é retirada completamente somente ao final da montagem da edificação, logo antes da limpeza final, preservando a integridade da peça.

4.2.4 Codificação

As peças individuais e os conjuntos embalados são identificados por meio de selo com *QR-Code*, com características da peça, verificação de conformidade feita em fábrica em relação a dimensões, acabamento, encaixes e funcionamento das conexões, data de liberação, instruções de montagem, posição e sequenciamento. O código pode ser lido por qualquer aplicativo de leitura desse tipo de código, instalado em dispositivos como *smart phone ou tablet*.

Para apresentação nessa pesquisa foi utilizado um código simplificado que identifica apenas o tipo de elemento. A Tabela 15 mostra a relação de códigos empregados com o item codificado e critério de identificação.

Tabela 15 – Codificação

CÓDIGO	ITEM	CRITÉRIO
RDXX	Placa de radier	XX: Número sequencial por quantidade de pontos de conexão
RDXX.EL	Placa de radier com ponto de energia	XX: Numeração do tipo de radier. EL: apenas um radier com ponto elétrico para alimentação do quadro
RDXX.HIDYY	Placa de radier com ponto hidrossanitário	XX: Numeração do tipo de radier. YY: Número sequencial por tipo conforme ordem de montagem
CANXX	Canaleta	XX: Número sequencial por tipo conforme ordem de tamanho, do menor para o maior
EVAXX	Lâmina de EVA	XX: Número sequencial por tipo conforme ordem de tamanho, do menor para o maior
PXX	Painel	XX: Número sequencial por posição de conector conforme ordem montagem
PXX.ELYY	Painel com ponto elétrico/comunicação	XX: Numeração do tipo de painel. YY: Número sequencial por tipo conforme ordem de montagem
PXX.HIDZZ	Painel com ponto hidrossanitário	XX: Numeração do tipo de painel. YY: Número sequencial por tipo conforme ordem de montagem
PXX.ELYY.HIDZZ	Painel com ponto elétrico/comunicação e hidrossanitário	XX: Numeração do tipo de painel. YY: Numeração do tipo de ponto elétrico/comunicação. ZZ: Numeração do tipo de ponto hidrossanitário
PXX.JAYY	Painel com janela de alumínio	XX: Numeração do tipo de painel. YY: Número sequencial por tipo conforme ordem de tamanho, da maior para a menor

PXX.PMY	Painel com porta de madeira	XX: Numeração do tipo de painel. YY: Número sequencial por tipo conforme lado de abertura
PXX.PAY	Painel com porta de alumínio	XX: Numeração do tipo de painel. YY: Número sequencial por tipo conforme lado de abertura
ESP	Espaçador	Não tem numeração pois são todos iguais
COBXX.INSTYY	Módulo de cobertura com instalações embutidas	XX: Número sequencial por tipo conforme ordem de tamanho, da maior para a menor. YY: Número sequencial por tipo de instalações embutidas, conforme ordem de montagem
CF	Capa de fixação superior	Não tem numeração pois são todas iguais
RTXX	Rodateto	XX: Número sequencial por tipo conforme ordem de tamanho, do menor para o maior
NC	Núcleo central	Não tem numeração pois tem apenas um
NF	Núcleo fotovoltaico	Não tem numeração pois tem apenas um
LM	Louças e metais	Utiliza código do fabricante
EMBXX_AA	Embalagem do componente	XX: Número sequencial por tipo conforme ordem de montagem. AA: código do componente
ETXX_Y_AA	Grupo de embalagens do componente	XX: Número sequencial por tipo conforme ordem da etapa. Y: sub agrupamento dentro da etapa. AA: código do componente

Fonte: Autora

4.2.5 Carregamento e cargas

Para a definição da sequência de carregamento e composição das cargas de transporte são considerados:

- a) Os equipamentos definidos para carregamento e transporte e sua capacidade;
- b) O método de carregamento e descarregamento;
- c) As sequências de montagem e de disponibilização dos componentes, de acordo com o que for definido no item 7 do PLoM.

Para o estudo proposto, conforme indicado no item 6, é empregado para o descarregamento e a montagem do sistema um guindaste articulado tipo *munck* acoplado a um caminhão tipo *truck* de PBT 13 toneladas, conforme especificado em 4.1.3. Apesar da altura livre pela legislação e especificações do caminhão ser de 3200 mm, devido à limitação de sobreposição das peças em razão do peso e ao método de carregamento e descarregamento adotado, a altura considerada foi de 2900 mm.

Para o transporte do sistema ao local de montagem foi definido o uso do veículo tipo *truck* com PBT de 23 toneladas, conforme especificado em 4.1.3. Apesar da altura livre para a carga ser de 3200 mm, por questão de segurança, adotou-se a altura máxima de 2900 mm, como no caminhão *munck*.

Os veículos definidos podem ser substituídos, desde que atendam às necessidades do produto a ser transportado e montado e aos limites impostos pela legislação.

Na logística de carregamento e volumetria das embalagens foi aplicado o princípio **LIFO**, ou seja, as últimas peças a serem carregadas devem ser as primeiras do lote a serem descarregadas no local, em função da sequência de montagem.

A carroceria do veículo é do tipo carga seca, ou seja, é aberta na parte superior e possibilita a abertura de três laterais. Assim, a sequência de carregamento torna-se mais importante no sentido vertical, ou seja, as peças devem ser sobrepostas no sentido em que precisam ser descarregadas. Por exemplo, as placas de radier, que são as primeiras a serem montadas, não podem ter outras peças em cima. Nesse sentido, a disposição horizontal diminui a relevância, porém, é importante que os volumes sejam organizados de modo a favorecer o descarregamento.

Parte das peças é montada no momento do descarregamento, como placas de radier, módulos de cobertura e núcleos central e fotovoltaico, e parte é estocada provisoriamente. Essa dinâmica, além das etapas e sequência de montagem definidas, foi considerada para determinar a ordem de carregamento e descarregamento do veículo, para que ocorra de forma direta em relação às partes do produto.

Para o manuseio e carregamento na fábrica são empregadas pontes rolantes e empilhadeiras. A equipe é dimensionada de forma que os conjuntos possam ser carregados no tempo previsto.

O tempo de carregamento e transporte é coordenado de forma que o local esteja preparado para o início do descarregamento e montagem, evitando espera e ociosidade de equipamento.

No caminhão *munck*, são enviados módulos de entrada e saída das instalações (padrão de entrada de energia e telefone/TV, hidrômetro e caixas de saída de esgoto e de águas pluviais), tubulações enterradas e demais materiais iniciais, assim como ferramentas e equipamentos necessários para a preparação do terreno, descarregamento e montagem.

Para os estudos de composições de carga foi inicialmente empregada a ferramenta computacional *Cube-IQ* (MAGIC-LOGIC, 2016), contudo o mesmo foi

indisponibilizado. Conseqüentemente, passou a ser utilizada a ferramenta *Cube-Master* (LOGEN, 2018). Entretanto, ao final da pesquisa, notou-se que a primeira ferramenta computacional apresentava maior flexibilidade, por permitir ajustes manuais no posicionamento da carga dentro do compartimento de transporte após a acomodação automática apresentada pela mesma, ao contrário da segunda.

Foram ponderados seqüência de montagem, dimensões e capacidade de carga disponíveis do veículo, dimensões e peso dos conjuntos embalados e foram sendo feitas as iterações até chegar nas composições finais.

Com o emprego do *software* foi possível identificar qual a primeira limitação atingida, volumétrica ou mássica. Alguns volumes ociosos ocorreram em função do processo de descarregamento e montagem, como exemplo, a carga do radier. A seqüência de montagem foi priorizada na composição das cargas e disponibilização dos conjuntos embalados no veículo. Sendo assim, foi negligenciada parcialmente a densidade ideal³ considerada pelas empresas transportadoras em geral, de forma a garantir que não haja ociosidade da equipe de montagem e de equipamentos, atingindo assim o tempo ótimo de montagem. Porém, faz-se necessário o estudo dos custos para confirmar se foi tomada decisão mais acertada.

O método de carregamento definido interferiu de forma significativa para a ocorrência de ociosidade nas cargas, mesmo que pequena, o qual sofreu interferência da seqüência de montagem. Além disso, a fragilidade de alguns componentes impediu que peças fossem sobrepostas, como os módulos de cobertura e núcleo central.

Apesar da montagem ocorrer em duas etapas (posicionamento do caminhão *munck*) como indicado no item 7 do PLoM, o planejamento logístico, considerando as restrições apresentadas, resultou em três viagens, sem incluir blocos de concreto permeáveis para calçamento e placas pré-fabricadas para o muro. Isso ocorreu devido à capacidade do veículo escolhido para o transporte, consequência das ponderações e escolhas feitas durante o processo.

As placas de radier, como são as primeiras peças a serem empregadas na montagem e são predecessoras para toda a edificação, foram incluídas nas duas primeiras cargas. Seu empilhamento máximo é de 13 placas, já considerando a

³ Capacidade de carga líquida dividida pelo volume do compartimento de carga (NTC, 2014).

almofada de EPS, e o total é de 32 placas. Se divididas igualmente em duas cargas de 16 placas cada, seria subutilizada a capacidade na altura, pois nenhuma outra peça poderia ser colocada em cima, já que é a primeira peça a ser montada. Além disso, caso fossem consideradas duas pilhas de radier na segunda carga, não caberia nenhum dos módulos de cobertura, aumentando a quantidade de cargas necessárias e reduzindo a ocupação. Sendo assim, foram acomodadas 20 placas de radier para a primeira etapa de montagem, em duas pilhas de dez placas. A composição das cargas de transporte é apresentada na Tabela 16 e os Planos de Carregamento, no Apêndice A.

Tabela 16 – Composição das cargas de transporte

	CARGA 1	CARGA 2	CARGA 3	TOTAL
Radier	20	12	-	32
Canaleta	10	10	-	20
EVA	10	10	-	20
Painel	40	30	-	70
Espaçador	40	30	-	70
Cobertura	-	2	3	5
Capa	-	1	3	4
Rodateto	-	11	32	43
Núcleo	-	-	1	1
Louças e metais	-	-	1	1

Fonte: Autora

No Plano de Carregamento 1/3 no Apêndice A é apresentada a composição da primeira carga de transporte, que apesar de ocupar 56,71% do volume do equipamento de transporte, foi limitada no peso, alcançando quase que totalmente sua capacidade de carga, 95,13%.

Na segunda carga (Plano de Carregamento 2/3, Apêndice A) foram acomodados o restante das placas de radier, das canaletas, do EVA e dos painéis empregados na segunda etapa da montagem, além de um módulo maior de cobertura e um módulo menor, uma capa de fixação superior e rodateto ainda da primeira etapa de montagem.

Nesse caso foi ocupada 66,33% da capacidade do peso do equipamento de transporte. O limitante foi o volume, que não pôde ser maior pois não caberiam mais módulos de cobertura devido às grandes dimensões e não poderiam ser empilhadas outras peças sobre os componentes maiores, devido à sequência de montagem. Sendo assim, apesar da área de piso ser quase que totalmente preenchida, a

capacidade de volume foi ocupada em 80,54%, mas otimizada ao máximo a partir das condicionantes consideradas.

Um carregamento complementar, a terceira carga (Plano de Carregamento 3/3, Apêndice A), transporta a parte final dos componentes estruturais e construtivos e acabamentos: os módulos de cobertura da segunda etapa de montagem que não couberam na carga anterior, o restante das capas de fixação e do rodapê, o núcleo central com boiler e placas de aquecimento solar, o núcleo fotovoltaico, louças e *kit* de metais sanitários.

Foram ocupados 13,84% da capacidade de carga e 85,28% do volume. A ocupação em peso se deve à baixa densidade das últimas peças a serem carregadas. Porém, a ocupação do volume foi considerada satisfatória segundo os critérios adotados.

Apesar de não atingir toda a capacidade de carga do veículo, as composições foram consideradas otimizadas, já que favorecem a fluidez da montagem. No caso da montagem de mais unidades, outros estudos de composição de carga deveriam ser feitos, de modo a melhorar a ocupação.

4.2.6 Descarregamento

Para a modelagem do descarregamento e estocagem provisórios, são considerados:

- a) Equipamento de descarregamento;
- b) As sequências de montagem e de disponibilização dos componentes, de acordo com o que for definido no item 7 do PLoM.

Conforme indicado no item 1, a estratégia de montagem adotada foi a divisão em duas etapas, para a redução do raio de alcance do braço do *munck* e consequente redução dos custos.

Verificou-se que o guindaste articulado de raio de alcance de 12 m e capacidade de carga de 620 Kg atenderia às necessidades identificadas. A partir de pesquisa de mercado, foi selecionado guindaste com capacidade de carga de 610 Kg no braço máximo de alavanca de 14,32 m, conforme especificado em 4.1.3.

O descarregamento é entrelaçado à montagem, sendo assim, são mostrados em documento único, o Modelo Dinâmico de Descarregamento e Montagem – MDDM no Apêndice B. Este indica a sequência de descarregamento em consonância com o

estudo de carregamento e a sequência de montagem, além da posição onde cada pacote embalado será depositado provisoriamente antes da montagem.

Conforme detalhado no item 7 do PLoM, as placas de radier, os módulos de cobertura e os núcleos central e fotovoltaico são montados no momento em que são descarregados. Os demais conjuntos embalados são estocados provisoriamente.

Tanto a equipe de logística quanto a equipe de montagem devem ser munidas desse documento.

4.2.7 Sequência de montagem

A divisão e definição da sequência de montagem, de maneira global, incorpora os seguintes quesitos:

- a) Divisão das etapas de montagem;
- b) Especificação dos equipamentos de montagem;
- c) Discriminação das atividades;
- d) Modelo dinâmico de descarregamento e montagem – MDDM;
- e) Instruções específicas de trabalho – IET's.

A divisão das etapas de montagem depende do equipamento empregado, das características das peças a serem montadas, da capacidade do veículo de transporte e das composições dos pacotes embalados de transporte.

Para a edificação em estudo, a montagem é feita em duas etapas, para a redução do raio de alcance do braço do *munck*, conforme estudo apresentado no item 1 do PLoM. Essa divisão interferiu na determinação das composições de transporte, que influenciaram a composição de cada etapa. A quantidade de placas de radier montadas em cada uma das etapas foi definida em função da capacidade do equipamento de transporte em conjunto com os outros componentes da edificação.

Considerando a sequência de montagem e o plano de carregamento, foi definido o equipamento de descarregamento e montagem do sistema. Para a montagem do sistema foi empregado o guindaste articulado tipo *munck* especificado em 4.1.3. Equipamentos específicos e ferramentas empregadas para montagem dos subsistemas e demais componentes são relacionadas na IET de cada atividade.

A discriminação das atividades indica seu prosseguimento, obedecendo a sequência: preparação-fundação-base-vedação-cobertura-acabamento-limpeza-entrega. Não são necessariamente sequenciais, sendo que as atividades que podem

ocorrer em paralelo são indicadas nas IET's, assim como as suas interdependências.

Segue abaixo a discriminação das atividades da FlexHouse:

- 1 - Preparação do terreno
- 2 - Serviços preliminares
- 3 - Locação
- 4 - Instalações enterradas
- 5 - Fundação
- 6 - Canaletas
- 7 - Painéis
- 8 - Cobertura
- 9 - Rodateto
- 10 - Louças, metais sanitários e acessórios
- 11 - Núcleo central
- 12 - Núcleo fotovoltaico
- 13 - Verificação e testes
- 14 - Calafetação
- 15 - Pavimentação em blocos de concreto vazados ou permeáveis (*paver*)
- 16 - Muro pré-fabricado
- 17 - Acabamentos externos do terreno
- 18 - Limpeza final
- 19 - Entrega

O MDDM apresenta visualmente, além do descarregamento como já mencionado, a sequência de tarefas de cada atividade, incluindo questões para decisão e caminhos a serem seguidos para cada resposta. Esse apresenta o posicionamento de cada elemento e componente identificado por meio de *QR-Code*, o mesmo aplicado nas peças físicas. Para a pesquisa, o modelo foi discretizado em lâminas no Apêndice B, porém, com codificação simplificada, como explicado em 4.2.4.

As IET's são orientações de como executar cada uma das atividades que compõem a montagem do produto, de forma que possa ser garantido o atendimento às especificações e o bom funcionamento do produto acabado. Podem ser apresentadas em formato de fichas ou aplicativos para dispositivos móveis, de forma

que possa ser acessado por qualquer computador, *tablet* ou *smartphone*, mesmo sem conexão com a internet. Eventuais atualizações acontecem assim que a conexão for estabelecida, de forma automática. Essas informações podem ser acessadas de qualquer lugar em tempo real, desde que se tenha acesso à *internet* e ao servidor do aplicativo.

Cada IET identifica:

- Atividades predecessoras;
- Equipamentos, ferramentas e materiais necessários para montagem;
- Equipamentos de proteção individual – EPI´s necessários para a atividade;
- Identificação dos equipamentos de proteção coletiva – EPC´s e instruções de aferição;
- Verificações iniciais;
- Sequência e instruções para execução das tarefas;
- Instruções de verificação durante a execução e após a conclusão;
- Atividade (s) seguinte (s).

São atividades predecessoras as que devem estar concluídas, mesmo que parcialmente, antes do início da atividade descrita.

Para cada atividade são estabelecidas, e se necessário desenvolvidas, ferramentas auxiliares de montagem para assegurar a estabilidade modular, os vínculos provisórios, nivelamento e alinhamento dos componentes, de acordo com suas funções.

Para as instruções de execução das tarefas são estabelecidos os procedimentos de manuseio durante o processo de montagem, de acordo com os riscos à segurança dos operadores, riscos de quebra de um ou mais componentes e riscos de acidentes inerentes ao manuseio não ligado às operações de montagem.

As IET´s especificam toda a sequência de tarefas necessárias, para evitar erros humanos no processo de montagem e perdas de materiais ou componentes por manipulação inadequada ou ausência de verificações necessárias.

A atividade seguinte é indicada para que a próxima equipe possa ser comunicada da conclusão da atividade, caso seja executada por equipe diferente, conforme explicitado nos métodos de execução específicos. Esses indicam quanto tempo antes do término da atividade a equipe deve ser comunicada.

Como exemplo, a IET de montagem da fundação é apresentada no Apêndice C.

A execução e montagem da edificação segue normas e legislações vigentes, além de boas práticas de construção civil.

A montagem é dependente da preparação do terreno, do perfil viário do local e do entrono e das condições locais de vento, os quais causam interferências no processo.

Para a montagem da edificação, as equipes envolvidas devem estar preparadas para eventuais ocorrências imprevisíveis, inclusive as relacionadas ao transporte. Contudo, nesta fase, não há necessidade de interferência, uma vez que antes do envio do produto ao local de utilização, o MDDM e as IET's já estão preparados.

O sequenciamento global das atividades é apresentado no Gráfico de Gantt no Apêndice D.

Antes do início dos serviços, é verificado prazo necessário e solicitado junto às concessionárias as ligações das instalações.

A preparação do terreno compreende sua limpeza e terraplanagem segundo projeto desenvolvido após o estudo de viabilidade, conforme 3.4.

A área a ser instalada a fundação direta do tipo radier deve ser um platô perfeitamente nivelado e com solo compactado e preparado para receber os esforços causados pela edificação e ações externas sobre ela, como cargas devido ao vento, com resistência mínima do solo de 0,03 MPa para a edificação em estudo, conforme projeto de fundação.

Caso seja necessário aterro, este é feito em camadas de no máximo 30 cm compactadas e com controle tecnológico de sua execução, conforme requisitos da NBR 5681 (ABNT, 2015).

São feitas as compensações do terreno de forma que os taludes ou arrimos sejam executados em atendimento às normas pertinentes, conforme projeto de terraplanagem, garantindo a estabilidade do solo também onde a edificação não for assentada.

Os taludes possuem base máxima de 1,00 m e altura máxima menor ou igual a 1,00 m, ou conforme cálculo de estabilidade de talude para o solo local indicado no projeto de terraplanagem. Isso garante que a máxima inclinação seja de 100%, mas que a base do mesmo ocupe 0,50 m de cada lateral dos lotes, como mostra

esquemáticamente a Figura 25. No caso de arrimo, é executado conforme projeto específico, antes do início da montagem.

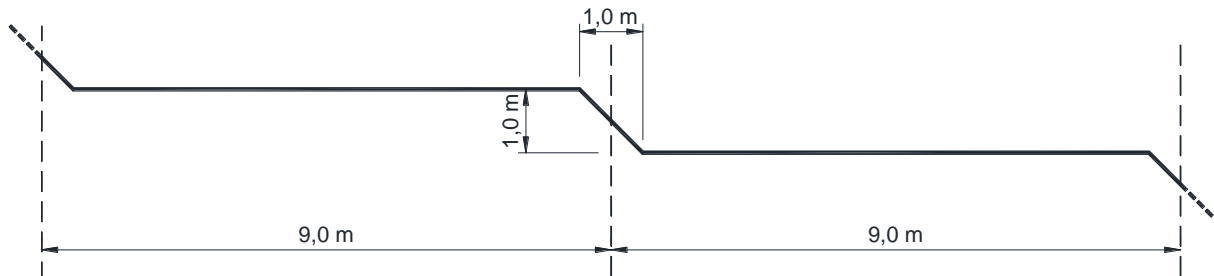


Figura 25 – Esquema de taludes entre terrenos
Fonte: GETin, 2018

Para esta pesquisa, os serviços preliminares compreendem as ligações das instalações, execução de tapumes e montagem do canteiro de obras.

As entradas e saídas das instalações usadas durante a montagem são definitivas na edificação, servindo à obra por meio de derivações, evitando desperdício e retrabalho com execução de instalações provisórias. O padrão de entrada de energia, telefonia/TV chega ao local montado em módulo pré-fabricado, bastando fazer a ligação para alimentar a edificação. Caixas com hidrômetro e de saída de esgoto e de águas pluviais também vêm montadas pré-fabricadas, acompanhadas de *kits* de tubulação para montagem das ligações. Essas instalações são enviadas ao local de montagem no caminhão *munck*, juntamente com as ferramentas e equipamentos.

A locação é executada de acordo com o projeto, considerando a geometria dos lotes, das vias locais e da topografia do terreno e compreende a montagem do gabarito externo à edificação, que orienta a marcação para montagem da fundação e para a escavação das tubulações enterradas. Esse é composto por perfis de liga de aço de 50 mm X 30 mm e parede de 1,5 mm, que são posicionados e montados com medidas, nível e esquadro por meio de teodolito a laser, trena, nível de bolha, nível de prumo e esquadro, assim como o restante da locação.

A partir do gabarito externo, são demarcadas e executadas as escavações das instalações enterradas, que são levadas à obra também pelo caminhão *munck*, primeiramente externas ao platô do radier. Tais tubulações são para a ligação da entrada das instalações de energia, telefonia/TV e água para a alimentação da edificação, e saídas de esgoto e de águas pluviais. São executadas até a borda do radier, onde serão conectadas posteriormente às tubulações que já vêm instaladas

nas placas de fundação.

Deve-se observar o nível das tubulações na borda do platô, para que tenha a mesma altura das tubulações das placas de radier para continuidade das instalações. Nas tubulações de esgoto e águas pluviais, deve-se atentar ainda à inclinação mínima, conforme projeto, de forma a favorecer o adequado escoamento.

São escavadas também as valas internas ao platô, que irão acomodar as tubulações de esgoto e águas pluviais que passam por baixo do radier e são assentadas juntamente com cada placa da fundação no momento da montagem. Suas dimensões internas são o mínimo possível de modo a acomodar perfeitamente a tubulação. A base das valas internas são perfeitamente compactadas e consideram declividade para escoamento de esgoto e águas pluviais. No fundo, é colocada folha de EPS para acomodar adequadamente as tubulações.

As tubulações de alimentação de energia, telefonia/TV vêm com as fiações já embutidas, bastando serem ligadas por conectores *Plug 'n Use* aos quadros no padrão de entrada e deixada espera para ligação com conectores das placas de fundação. O conector vem com capa de proteção, que é removida somente no momento da ligação.

As valas externas são preenchidas até próximo à ligação com as tubulações do radier para facilitar o trânsito no trajeto das tubulações, mas garantir espaço necessário para a execução da conexão posterior. Neste momento, são executados também drenos de taludes e muros de arrimo, caso tenham sido previstos no projeto de terraplanagem e de captação de águas pluviais. Os pontos de captação são protegidos de entrada de solo solto até a conclusão da montagem e acabamento superficial do terreno.

Os serviços que antecipam à fundação são executados com verificação de consistência e coordenação, controle e adequação estrita do tempo, para que seu término coincida com a chegada das placas de radier, de modo que não ocorram atrasos e acúmulo de partes sem que seja possível manipulá-las.

Para o transporte das partes da edificação é empregado o mesmo veículo utilizado no descarregamento, conforme indicado no item 5 do PLoM.

Para a descrição da sequência de montagem foi usada a opção 2 da proposta do estudo para escolha dos equipamentos de transporte e montagem realizado no item 1 do PLoM, em que ambos os veículos são posicionados ao lado do terreno onde

será montada a casa (Figura 24).

No momento da chegada do veículo com a primeira carga, o *munck* já está posicionado e nivelado, assim como a equipe dimensionada, ferramentas e equipamentos prontos para o início da montagem, que inicia pelas placas de fundação.

O radier chega ao local de instalação pronto, bastando seu posicionamento, solidarização entre as placas e calafetação de forma que a sua montagem seja rápida e evite resíduos produzidos em obra. Esse conta com rebaixos necessários em áreas molhadas, instalações de esgoto sanitário, de saída de águas pluviais e para alimentação de água, energia e telefone/TV e revestimento superior em porcelanato já instalado.

Nas regiões com furos, não é inserido o revestimento em fábrica, o qual só é aplicado após a consolidação dos módulos, com argamassa colante. Para calafetação entre as placas é aplicado mastique na cor do porcelanato.

As placas de radier são descarregadas e assentadas na sequência, uma a uma, pelo *munck* e acessórios que são fixados nos mesmos furos usados para a solidarização entre as placas. São necessários ainda trena, esquadro, teodolito e nível a laser para locação e nivelamento das placas. O filme de proteção lateral do *neoprene* é retirado para a montagem.

O sequenciamento e a direção da montagem são executados e coordenados segundo o MDDM e IET da fundação elaborados previamente, de modo que resulte em menor tempo de espera entre o posicionamento, nivelamento, amarração e consolidação da fundação.

As placas de radier das extremidades comandam eventuais desalinhamentos mínimos em relação ao terreno, de forma a não comprometer o alinhamento e fixação das demais. Todas são vinculadas às anteriores, tanto no alinhamento via teodolito, como pelo nível laser.

Antes da descida da segunda placa, são encaixados os conectores para ancoragem da fundação, por baixo da placa, nos furos moldados em fábrica. A segunda placa é assentada coordenando a posição da tubulação, se houver, e o encaixe com o conector da placa anterior, já posicionada, e assim sucessivamente.

Antes da descida total das placas com passagem de instalações (esgoto, água

pluvial e alimentações de energia, telefonia/TV e água), são conectadas as tubulações nas saídas da face inferior da placa. Essas tubulações vão até a borda do radier, onde encontram-se com as tubulações enterradas previamente executadas em espera.

Enquanto uma dupla de operadores faz o posicionamento das placas, o terceiro membro da equipe segue parafusando os conectores e assentando a lajota de porcelanato sobre o ponto de ancoragem com argamassa colante. Na sequência, obedecendo o tempo de cura indicado na IET, é feita o rejuntamento do contorno adjacente do porcelanato aplicado no local e a calafetação entre as placas com mastique. A fundação é pré-requisito para iniciar a montagem das canaletas e demais elementos, mesmo que parcial.

Após o assentamento de cada placa com tubulação, é feito o reaterro pela lateral com ferramenta desenvolvida para esse fim, além do reaterro da borda, completando e compactando adequadamente.

A primeira etapa da montagem coincide com a primeira carga transportada, conforme descrito no item 5 do PLoM. Nessa etapa, a ordem de descarregamento das placas de fundação ocorre de forma sincronizada com a sua montagem. Disso, pode ocorrer a falsa impressão de considerar-se aqui como descarregamento simplesmente, contudo, somente nesta etapa e nas etapas de instalação dos módulos de cobertura e núcleo central, o processo de descarregamento e montagem coincidem dessa forma.

Os tempos entre descarga, montagem e novo carregamento são ajustados e coordenados para que não haja atrasos, ociosidade da equipe e equipamentos ou acúmulo de partes sem que seja possível manipulá-las.

Nas placas de radier das extremidades é acoplado o gabarito interno. A partir destas primeiras peças, são unidas as demais partes do gabarito interno para demarcar a posição das canaletas, com o auxílio de teodolito a laser e esquadro.

As canaletas são fixadas ao radier por meio de parafusos galvanizados auto atarraxantes de cabeça chata com 3,2 mm de diâmetro X 50 mm comprimento, em pares defasados em 100 mm e espaçados em 300 mm. Os furos são escareados e feitos em fábrica. A marcação, furação e inserção da bucha no radier é feita no local da montagem.

As furações são feitas no radier com marteleto, a partir da canaleta posicionada.

Para a fixação dos parafusos, é usada parafusadeira. Os parafusos ficam alinhados, com cabeça totalmente inserida no escareado da canaleta, sem sobressalto. Os pontos de conexões de instalações são marcados e furados no local da montagem com serra copo. O filme de proteção externo das abas é mantido e retirado ao final da montagem, durante a limpeza final.

Nas extremidades, as canaletas vêm de fábrica cortadas em meia esquadria. Nos encontros perpendiculares, uma canaleta se encontra de topo com a outra, sem necessidade de recorte, já que a espessura da aba da canaleta (3 mm) se encaixa ao espaçamento entre os painéis (3,7 mm). A calafetação é feita com mastique na cor da canaleta ou do painel.

Dentro das canaletas são posicionadas as folhas de EVA que irão acomodar os painéis.

Para a montagem dos painéis, que estão em paletes já depositados próximo ao local onde serão usados, a sequência prevista no mapa de montagem contempla os requisitos de contraventamento temporário da estrutura descrito na IET. Os painéis são autoportantes, mas dependem de imobilização provisória até que os módulos de cobertura possam ser encaixados para o travamento das paredes.

A montagem pode ser feita com o *munck* ou com pórtico móvel com talha elétrica. São utilizados ainda trena e nível laser, além dos gabaritos metálicos.

A imobilização provisória é conferida por dois tipos de gabaritos metálicos, sendo o primeiro fixado externamente, por fora do radier, e outro que fixa os painéis internos aos externos pelo topo, até que o módulo de cobertura possa ser instalado. A montagem dos gabaritos de travamento e dos painéis é auxiliada pelo uso de teodolito a laser.

Nas bordas onde são encaixados os painéis, é retirado o filme de proteção, mantendo nas faces que ficarão expostas até a conclusão da montagem.

Os painéis são fixados por encaixe sob pressão dentro das canaletas, sobre o EVA já posicionado, e fixado aos painéis adjacentes pelo conector, que permite encaixe em ambos os lados, conferindo flexibilidade e intercambialidade.

A ligação perpendicular entre as placas é feita com o mesmo conector. Painéis com ligação perpendicular e com instalações devem ser analisados pontualmente sobre a possibilidade de inversão. Os painéis com janelas precisam manter a abertura

da folha para fora da edificação, assim como portas externas precisam manter a abertura para dentro. O código *QR-Code* apresenta a informação da orientação em que o painel deve ser montado, assim como é indicado também no mapa de montagem.

Os conetores vêm de fábrica parafusados aos painéis, mesmo em faces laterais para ligação de painéis perpendiculares, que são absorvidos pela folha de EPS da embalagem, conforme explicado no item 3 do PLoM.

Os painéis com instalações e esquadrias seguem o mesmo processo de montagem, princípios e requisitos dos painéis cegos, exceto os painéis com portas, os quais possuem a canaleta inferior somente abaixo dos montantes. Esses painéis têm os travamentos retirados logo após a montagem para a abertura das portas, de forma a possibilitar a circulação da equipe para continuidade da montagem.

A ligação das instalações é feita por conexões do tipo *Plug 'n Use*, somente por sistema de encaixe, sem a necessidade de ferramentas adicionais, tanto na face inferior do painel com o radier quanto na face superior com a cobertura.

Após o fechamento dos painéis internos e externos, as entradas de energia, telefonia/TV e água e saídas de esgoto e águas pluviais são conferidas, para verificar se os conectores estão efetivamente encaixados e funcionando.

Testes de carga, pressão e fluidez são executados antes da instalação da cobertura. Caso haja algum problema, verifica-se a razão do defeito e se não for por mau contato, o painel é substituído por outro, mesmo que no local não tenha um painel excedente.

Caso seja identificado painel ou outra peça com defeito, a equipe de logística é acionada para que seja entregue um novo. Sempre é possível substituir por outro idêntico, sem prejuízo no andamento da montagem, salvo se a distância entre o vendedor e o local de montagem tome tempo igual ou maior que o tempo para o término. Porém, mesmo não sendo possível a troca em tempo hábil, é dado prosseguimento nos serviços, e o teste final é feito após a substituição da peça com defeito, desde que não interfira no andamento, como no caso de radier e canaletas.

Após a montagem, é feita a calafetação com mastic na mesma cor do acabamento dos painéis para conferir estanqueidade às faces conectadas.

Sobre cada painel vai um espaçador, sendo que o travamento do gabarito interno é montado depois de seu posicionamento. Para a montagem dos espaçadores não são necessárias ferramentas, sua montagem é por encaixe e travamento pela cobertura externamente e no topo e pelo rodapê interno.

A cobertura é composta de módulos que chegam ao local de montagem prontos, com instalações embutidas. Sua montagem é feita com o *munck* e acessórios, posicionando seus módulos sobre os espaçadores, com auxílio do teodolito a laser para nivelamento. Suas instalações são conectadas pelo peso próprio, sem necessidade de interferência da equipe de montagem, devido ao tipo de conector desenvolvido pela equipe. A ligação entre os módulos é feita por encaixe sob pressão da capa de fixação superior, que confere estabilidade e estanqueidade ao conjunto.

Da mesma forma que ocorre com os painéis, devem ser realizados testes de carga, pressão e fluidez antes da instalação do núcleo central. Caso haja algum problema, verifica-se a razão do defeito e se não for por mau contato, o módulo é substituído por outro. A equipe de logística é acionada conforme descrito anteriormente. Posteriormente, as capas são calafetadas com mastique na mesma cor da cobertura.

Assim que for posicionado o primeiro módulo de cobertura, é possível iniciar a fixação dos perfis de rodapê com o auxílio de furadeira, parafusadeira, trena laser e nível laser. Uma das abas é parafusada à cobertura e a outra ao painel, internamente à edificação, para travamento do espaçador e da parede. Cada perfil é fixado em dois, três ou no máximo quatro painéis, cobrindo cada lateral do ambiente.

Os perfis chegam com furação de fábrica, que orienta a furação da cobertura e do painel. Os parafusos são galvanizados auto atarraxantes de cabeça de panela com tampa superior para esconder a cabeça, com 3 mm de diâmetro X 25 mm de comprimento, distribuídos linearmente a 10 mm das extremidades das bordas com espaçamento de 250 a 300 mm, sem coincidir com as junções entre painéis. O acabamento das juntas é feito por mastique na cor do perfil.

Sobre o módulo de cobertura mais próximo ao banheiro, é posicionado o núcleo central usando o *munck* e acessórios, além de teodolito a laser para nivelamento. O núcleo tem a flexibilidade de rotacionar de 90° em 90° para garantir 320° de incidência

solar ótima para os painéis térmicos. A calafetação é feita com mastique na cor da cobertura.

O núcleo fotovoltaico é instalado no módulo de cobertura sobre o quadro de distribuição de energia, também usando o *munck*, acessórios e teodolito a laser.

Após a montagem interna da edificação, é possível retirar os travamentos dos vãos de esquadrias, montar as maçanetas das portas e instalar louças, metais sanitários e acessórios, como as barras de apoio da instalação sanitária acessível.

Após a montagem total, procede-se às calafetações faltantes com mastique e demais impermeabilizações. São realizadas as verificações e testes finais dos subsistemas e do sistema como um todo, inclusive aferição do sistema de energia solar.

Tanto os critérios das verificações quanto seus registros são feitos em aplicativo para dispositivos móveis, como mencionado nas IET's.

Em paralelo à montagem da edificação, após a montagem do radier, são executadas as pavimentações em blocos de concreto permeáveis, tanto interna para acesso de veículos e pedestres, quanto externas no passeio público. Assim como as demais atividades, a execução do pavimento externo segue mapa de montagem e IET.

O muro é constituído de placas pré-fabricadas que são inseridas em valas conforme mapa de montagem e IET.

São executados então os acabamentos externos do terreno, como finalização de taludes e plantio de grama.

Após toda a montagem da edificação e área externa concluídos, procede-se à retirada de filmes de proteção restantes e à limpeza fina.

A etapa final da montagem é a entrega, com procedimentos descritos na IET, que orienta como deve ser feita e inspeção de entrega com cliente, além de apresentar planilha com verificações necessárias e campos para marcação de aceite de cada item verificado, observações, assinatura do cliente atestando aprovação e do responsável técnico da empresa pela vistoria e entrega.

Crerios e registros são feitos no mesmo aplicativo já descrito, inclusive assinaturas, que são feitas por caneta específica em qualquer equipamento que tenha tela com sensibilidade suficiente.

Cada IET possui um *check-list* que deve ser atendido em relação às verificações de pré-montagem, montagem definitiva, testes e verificações de nível e prumo, antes de considerar a mesma terminada.

4.2.8 Dimensionamento das equipes

A modelagem do dimensionamento das equipes para a execução da logística e montagem é feito considerando:

- a) Especialidades dos profissionais (pré-fabricação e/ou montagens especiais);
- b) Organização das equipes para múltiplas montagens;
- c) As sequências de disponibilização dos componentes e de montagem.

No transporte do produto em estudo, o motorista é computado no custo do caminhão. O carregamento é feito pela equipe da fábrica, com equipamento adequado conforme indicado no item 5. A quantidade de pessoas é definida conforme peso, volume total e tempo disponível, caso seja condicionante.

No descarregamento e na montagem, o operador do guindaste é computado no custo do equipamento.

Em geral, as equipes de montagem de cada atividade são compostas por três operadores com conhecimentos de operação com teodolito a *laser*, assim como de montagens industriais de produtos acabados. Enquanto dois operadores acompanham a descida e posicionamento das unidades a serem descarregadas (no local de montagem ou onde serão depositadas até o uso, conforme MDDM) ou a montagem de cada componente, o terceiro desenvolve atividades de apoio e complementares. Essa quantidade pode variar dependendo da natureza da atividade e do que for executado em paralelo.

4.2.9 Verificação

É feita a verificação da necessidade de ajuste nas etapas. Porém, essa análise não acontece somente ao final do processo, mas durante todo o planejamento do PLoM.

Tanto os critérios das verificações quanto seus registros são feitos em aplicativo para dispositivos móveis, de forma que possa ser acessado por qualquer computador, *tablet* ou *smartphone*, mesmo sem conexão com a internet. Eventuais atualizações acontecem assim que a conexão for estabelecida, de forma automática. Essas

informações podem ser acessadas de qualquer lugar em tempo real, desde que se tenha acesso à internet e ao servidor do aplicativo, assim como todo o PLoM.

4.2.10 Redefinição

Caso seja preciso, são feitos ajustes para redefinição das etapas, a partir da verificação anterior. Porém, essa análise não acontece somente ao final do processo, mas durante toda a elaboração do PLoM, procedendo às iterações e alterações que forem necessárias em cada etapa, conforme novas informações vão surgindo e decisões vão sendo tomadas, até chegar na proposta final, possibilitando a melhoria contínua.

4.3 Pós Planejamento: Execução do PLoM

O PLoM é executado na sequência: carregamento na fábrica, transporte, descarga no local, montagem e colocação da edificação em uso. Assim como nos itens 9 e 10 do PLoM, a avaliação é feita durante todo o processo de montagem, não somente ao final. O que for possível é ajustado ainda durante a execução. O que não for possível alterar no momento, é ajustado para as próximas montagens. Do mesmo produto, caso a montagem seja repetida, ou para serem incorporadas ao plano de montagens futuras a partir de relatório de lições aprendidas.

O processo de melhoria deve ser contínuo, conforme prevê o sistema de gestão da qualidade orientado pela série ISO 9000 (ABNT-ISO, 2015b; c; ISO, 2016).

5 PROTOCOLO DE PLANEJAMENTO DE LoM

A partir do estudo de caso da FlexHouse, foi possível extrair as diretrizes para compor o protocolo de planejamento de logística e montagem – LoM, que subsidia a elaboração do Plano de Logística e Montagem – PLoM de edificações industrializadas modulares.

PROTOCOLO DE PLANEJAMENTO DE LoM
PRÉ PLANEJAMENTO: DADOS DE ENTRADA
1 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO
Relacionar cada elemento de montagem que compõe o produto, especificando dimensões, peso e características que orientem o melhor tipo de acondicionamento.
2 LEGISLAÇÃO E NORMAS
Levantar orientações e restrições. Legislação: viária, resoluções nº 210/06 e nº 211/06 do CONTRAN ou vigente. Norma: altura mínima fiação, ABNT NBR 15688/2012 ou vigente. Demais legislação e normas pertinentes à época da elaboração do PLoM.
3 FORNECEDORES
Identificar características dos equipamentos empregados para transporte e montagem, indicando dimensões livres e capacidade de carga.
4 TERRENO
Verificar a viabilidade técnica e econômica do terreno, por meio de identificação e análise dos itens: a) Restrições de acesso ao local; b) Adequação da fundação do sistema ao tipo de solo local; c) Declividade e necessidades do sistema para implantação da edificação d) Tempo de execução dos trabalhos preliminares no terreno; e) Disponibilidade de energia, água e esgoto, forma de solicitação e prazo para ligação pelas concessionárias.
PLANEJAMENTO: ELABORAÇÃO DO PLoM
1 POSIÇÃO GEOGRÁFICA E ROTAS
Identificar da posição geográfica entre os pontos de origem (fábricas) e destino (locais de montagem) e estabelecimento das rotas: a) A partir dos endereços dos pontos de origem (fábricas) e destino (locais de montagem) das partes do produto, identificar posição geográfica e prever rota principal e rotas alternativas segundo fluxo de tráfego ou acidentes no trajeto por meio de sistema de posicionamento global (GPS); b) Estabelecer o responsável pelas informações de rotas e alternativas, para que essas sejam fornecidas em tempo real ao agente transportador e para a gerência de logística, para a tomada de decisão sobre a rota a adotar; c) Verificar se nas rotas existem restrições físicas que impeçam a manobra dos equipamentos ou que não suportem a carga; d) Selecionar alternativas de equipamentos rodoviários permitidos na rota principal e alternativas previstas; e) Levantar custos com pedágios e combustível para as opções de rotas e tipo de veículo definidos; f) Prever reserva de contingência para possíveis problemas no veículo;
2 QUANTIFICAÇÃO
Quantificar os componentes do produto necessários para a montagem de uma unidade e para o total de montagens, considerando cálculo de volume e peso totais, de acordo com: a) Quantidade, dimensões e peso de cada peça do produto; b) A definição da quantidade de montagens.
3 EMBALAGENS DE TRANSPORTE
Modelar quantidade e forma das embalagens para transporte e manuseio considerando:

<p>a) Opções de pacotes de componentes e/ou conjuntos embalados (em paletes ou individualmente) transportados;</p> <p>b) As embalagens por tipologia de componente, material, peso e dimensões;</p> <p>c) O volume e peso gerado pela composição de kits de montagem adotados, incluindo a embalagem.</p>
4 CODIFICAÇÃO
<p>Codificar de forma inequívoca as peças individuais e os conjuntos embalados por meio de selo com QR-Code, com características da peça, verificação de conformidade feita em fábrica em relação a dimensões, acabamento, encaixes e funcionamento das conexões, data de liberação, instruções de montagem, posição e sequenciamento.</p> <p>Disponibilizar dispositivo móvel como <i>smart phone</i> ou <i>tablet</i> com aplicativo de leitura desse tipo de código instalado.</p>
5 CARREGAMENTO E CARGAS
<p>Definir sequência de carregamento e composições de carga considerando:</p> <p>a) Os equipamentos definidos para carregamento e transporte e sua capacidade;</p> <p>b) O método LIFO (<i>last-in-first-out</i>) de carregamento e descarregamento;</p> <p>c) As sequências de montagem e de disponibilização dos componentes, de acordo com o que for definido no item 7 do PLoM;</p> <p>d) O uso de ferramenta computacional para os estudos e definição das composições das cargas, ponderando sequência de montagem, dimensões e capacidade de carga disponíveis do veículo, dimensões e peso dos conjuntos embalados.</p>
6 DESCARREGAMENTO
<p>Modelar descarregamento e estocagem provisórios considerando:</p> <p>a) Equipamento de descarregamento;</p> <p>b) As sequências de montagem e de disponibilização dos componentes, de acordo com o que for definido no item 7 do PLoM.</p>
7 SEQUÊNCIA DE MONTAGEM
<p>Dividir e definir as sequências de montagem, incorporando os seguintes quesitos:</p> <p>a) Divisão das etapas de montagem;</p> <p>b) Especificação dos equipamentos de montagem;</p> <p>c) Discriminação das atividades;</p> <p>d) Modelo dinâmico de descarregamento e montagem – MDDM;</p> <p>e) Instruções específicas de trabalho – IET's;</p> <p>f) Sincronia de tempo entre carregamento, descarregamento e montagem, evitando ociosidade das equipes e dos equipamentos e acúmulo de partes.</p>
8 DIMENSIONAMENTO DAS EQUIPES
<p>Modelar o dimensionamento das equipes considerando:</p> <p>a) Especialidades dos profissionais (pré-fabricação e/ou montagens especiais);</p> <p>b) Organização das equipes para múltiplas montagens;</p> <p>c) As sequências de disponibilização dos componentes e de montagem, de acordo com o que foi definido no item 7 do PLoM.</p>
9 VERIFICAÇÃO
<p>Verificar necessidade de ajustes nas etapas durante todo o processo de planejamento do PLoM.</p>
10 REDEFINIÇÃO
<p>Redefinir os itens de LoM levantados na verificação anterior, procedendo às iterações e alterações que forem necessárias em cada etapa, possibilitando a melhoria contínua.</p>
PÓS PLANEJAMENTO: EXECUÇÃO DO PLoM
<p>Executar o PLoM na sequência: carregamento na fábrica, transporte, descarga no local, montagem e colocação da edificação em uso.</p> <p>Aplicar os itens 9 e 10 do PLoM durante todo o processo de montagem. Ajustar o que for possível durante a execução. Caso não seja possível, ajustar para as próximas montagens do mesmo produto ou ao plano de montagens futuras.</p> <p>Elaborar relatório de lições aprendidas e manter processo de melhoria contínua.</p>

O planejamento de LoM não deve ser linear, mas iterativo em todas as etapas, em que decisões tomadas podem levar a alterações em etapas anteriores, como indicado no fluxograma da Figura 26. Assim como no método da pesquisa descrito nos subitens 3.2.1 a 3.2.4, todo o processo deve seguir a sequência: processamento de dados, análise de cenários, discussões e ponderações e iterações, até que seja considerado concluído o PLoM da edificação industrializada modular em que será aplicado o protocolo.

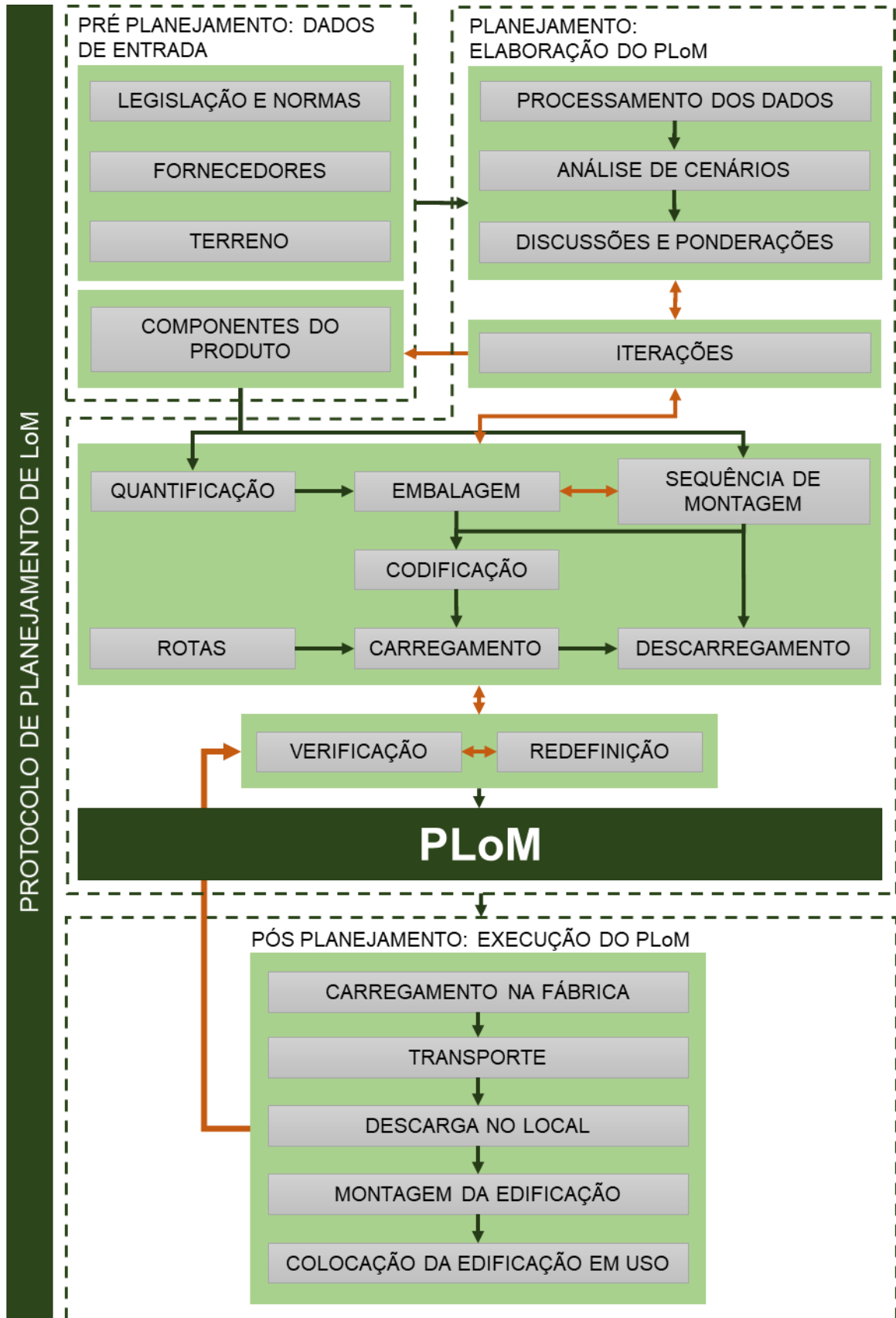


Figura 26 – Fluxograma para elaboração do PLoM
 Fonte: Autora

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho desenvolveu o planejamento de logística e montagem que resultou no Plano de Logística e Montagem – PLoM de uma edificação industrializada modular denominada FlexHouse, seguindo alguns princípios do grupo ZEMCH – Brasil, contudo, priorizando o DfRu. Assim, algumas diretrizes conceituais diferenciaram-se das diretrizes desse grupo. Porém, o produto foi desenvolvido visando customização e flexibilidade de uso, podendo ser montado em qualquer país onde não seja obrigatório por lei a presença de técnicos supervisionando sua montagem, desde que atendidos os preceitos que acompanham o manual de montagem-desmontagem-uso-reconversão.

Sendo assim, os objetivos específicos da pesquisa foram alcançados, conforme detalhado no capítulo 4:

- a) PLoM da FlexHouse;
- b) Sequências de carregamento, descarregamento e movimentação dos componentes: MDDM;
- c) Sequências e instruções de montagem de cada subsistema integrados ao transporte, de forma a garantir a sincronização adequada entre descarregamento, manuseio, estoque e montagem do sistema considerado: IET's;
- d) Procedimentos para controle e verificação do processo de logística e montagem: aplicativo para dispositivo móvel com instruções para execução e critérios de verificação de todo o processo de LoM, assim como o registro.

Contudo, para uma possível fabricação e comercialização, deverão ser detalhadas as IET's, para permitir a correta execução de cada detalhe envolvido no processo.

A partir do PLoM da FlexHouse, foi possível extrair diretrizes para compor o protocolo de planejamento de logística e montagem, que orienta a elaboração do PLoM de edificações industrializadas modulares, como apresentado no capítulo 5, objetivo geral dessa pesquisa.

Para novas pesquisas sugere-se:

- A determinação dos tempos de atividades e tarefas e incorporação ao estudo do sequenciamento de logística e montagem;
- A análise comparativa de custo entre sequência de montagem X ocupação de carga;
- A documentação da outra extremidade do processo, isto é, do processo produtivo propriamente dito, o qual está delineado, mas sem estar ainda documentado de forma sistematizada;
- A prototipagem física do sistema em tamanho real;
- A elaboração do plano de riscos levando em conta os condicionantes levantados na pesquisa;
- O desenvolvimento do sistema para uma edificação com dois pavimentos, uma vez que parte do que foi desenvolvido para um pavimento perderá a validade para um sistema com dois pavimentos.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. L. G. D.; PICCHI, F. A. Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 91-109, 2018.

ALMEIDA, S. T. D.; BORSATO, M.; LIE UGAYA, C. M. Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 876-892, 2017.

AMARAL, D. C. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

ANEJO, J. A. Impact of concrete, steel and timber on the environment: A Review. **International Journal of Technology enhancement and emerging engineering research**, v. 2, n. 7, p. 58-63, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **NBR ISO 9004: Gestão para o sucesso sustentado de uma organização — Uma abordagem da gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: 47 p. 2010a.

_____. **NBR ISO 26000: Diretrizes sobre Responsabilidade Social**. Rio de Janeiro: 110 p. 2010b.

_____. **Introdução à ABNT NBR ISO 14001: 2015**. ABNT/ISO. Rio de Janeiro, 2015a.

_____. **NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro: 59 p. 2015b.

_____. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro: 32 p. 2015c.

_____. **NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: 27 p. 2015d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484 Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: 17 p. 2001.

_____. **NBR 15688: Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus**. Versão corrigida: 2013. Rio de Janeiro: 154 p. 2012.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro 2013.

_____. **NBR 5681: Controle tecnológico da execução de aterros em obras de edificações**. Rio de Janeiro: 2 p. 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS E LOGÍSTICA. **Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas - 2014**. São Paulo: NTC, 2014. 80 p.

AULETE, C. **Dicionário Caldas Aulete**. 2018. Disponível em: < <http://www.aulete.com.br> >. Acesso em: 07/08/2018.

AUTODESK. **Auto CAD®**. 2018 Educational Version. 2017.

BARNES, H. Studies of Fluctuations in Insect Populations. **Journal of Animal Ecology**, v. 3, n. 2, p. 165-181, 1934.

BISGAARD, S. A. A conceptual framework for the use of quality concepts and statistical methods in product design. **Journal of Engineering Design**, v. 3, n. 1, p. 31-47, 1992.

BRACKE, S. et al. Decision making within the conceptual design phase of eco-friendly products. **Procedia Manufacturing**, v. 8, p. 463-470, 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Trânsito, CONTRAN. Resolução n. 210, de 13 de novembro de 2006. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitam por vias terrestres e dá outras providências. **DENATRAN**, Brasília, 2006, pp.

_____. Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Trânsito, CONTRAN. Resolução n. 211, de 13 de novembro de 2006. Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga. **DENATRAN**, Brasília, 2006, pp.

BSI. **British Standards Institution**. 2018. Disponível em: < <https://www.bsigroup.com/en-GB/about-bsi/our-history/#chapter2> >. Acesso em: 14/07/2018.

CAMPIOLI, A.; LAVAGNA, M. Life cycle design in building and construction sector. **3rd International Conference on Life Cycle Management**, 2007.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & supply chain management**. UK: Pearson, 2016. 328 p.

COLAVITE, A. S.; KONISHI, F. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 12. 2015. Resende-RJ: SEGeT, 2015. **Anais...** p.1-11.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletim estatístico CNT – Maio de 2018**. CNT. Brasília: CNT: 2018. 1 p.

COX, W. E. Product life cycles as marketing models. **The Journal of Business**, v. 40, n. 4, p. 375-384, 1967.

CRAINIC, T. G. et al. Bin packing problems with uncertainty on item characteristics: An application to capacity planning in logistics. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 111, p. 654-662, 2014.

CUNHA, G. D. A evolução dos modos de gestão do desenvolvimento de produtos. **Produto & Produção**, v. 9, n. 2, p. 71-90, jun. 2008.

DAS, P. Concurrent optimization of multiresponse product performance. **Quality Engineering**, v. 11, n. 3, p. 365-368, 1999.

DASSAULT. **SolidWorks®**. Waltham: Dassault-Systèmes, 2017 - 2018 Academic Version. 2017.

DEAN, J. Pricing policies for new products. **Harvard Business Review**, p. 1-12, 1976.

DNV-GL. **Det Norske Veritas-Convenção Germanischer Lloyd**. 2018. Disponível em: < <https://www.dnvgl.com/about/in-brief/our-history.html> >. Acesso em: 14/07/2018.

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDEX 2002. **World Economic Forum. Annual Meeting**, 2002. Yale. Yale Center for Environmental Law and Policy.

FARAH, M. F. S. Formas de racionalização do processo de produção na indústria da construção. **Construção São Paulo (IPT)**, v. 44, n. 2294, p. 21-24, jan. 1992.

FIKSEL, J. **Design for environment: a guide to sustainable product development**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2009. 432 p.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 1992. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GARCÍA-ARCA, J.; GARRIDO, A. T. G.-P.; PRADO-PRADO, J. C. "Packaging Logistics" for improving performance in supply chains: the role of meta-standards implementation. **Production**, v. 26, n. 2, p. 261-272, abr./jun. 2016.

GECEVSKA, V. et al. Product lifecycle management through innovative and competitive business environment. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 3, n. 2, p. 323-336, 2010.

GO, T. et al. Genetically optimised disassembly sequence for automotive component reuse. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 5, p. 5409-5417, 2012.

GOPALAKRISHNAN, B. et al. Design for storage and distribution. In: HUANG, G. Q. (Ed.). **Design for X: Concurrent engineering imperatives**. Springer, 1996. p.230-244.

GUO, H. et al. A Comparison of the Energy Saving and Carbon Reduction Performance between Reinforced Concrete and Cross-Laminated Timber Structures in Residential Buildings in the Severe Cold Region of China. **Sustainability**, v. 9, n. 8, p. 1426, 2017.

GURGEL, F. C. A. **Administração do Produto**. São Paulo: Atlas, 1995.

GUY, B.; SHELL, S.; ESHERICK, H. Design for deconstruction and materials reuse. CIB TG-39. In. DECONSTRUCTION MEETING. 2006. Karlsruhe. **Proceedings...** p.189-209.

HANFT, T. A.; KROLL, E. Ease-of-disassembly evaluation in design for recycling. In: HUANG, G. Q. (Ed.). **Design for X: Concurrent engineering imperatives**. Springer, 1996. cap. 15, p.318-334.

HASSANNEZHAD, M.; CLARKSON, P. J. Internal and External Involvements in Integrated Product Development: A Two-Step Clustering Approach. **Procedia CIRP**, v. 60, p. 253-260, 2017.

HOYLE, D. **ISO 9000 Quality Systems Handbook-updated for the ISO 9001: 2015 standard: Increasing the Quality of an Organization's Outputs**. 7 ed. Routledge, 2017. 892 p.

HUANG, G. Q. **Design for X: Concurrent engineering imperatives**. Springer, 1996. 489 p.

HYVA. **Guindaste HYVA HBR 150 – 14 tm**. p. Catálogo técnico, Disponível em: <<https://www.hyva.com/Hyva/UserFilesStore/File/Hyva%20do%20Brasil/Guindastes/HBR150.pdf>>. Acesso em: 05/07/2018.

_____. **HB 150 Technical Seet - Load Diagram**. p. Catálogo técnico, 2010. Disponível em: <<https://www.hyva.com/Hyva/UserFilesStore/File/Hyva%20do%20Brasil/Guindastes/HB150.pdf>>. Acesso em: 05/07/2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Selection and use of the ISO 9000 family of standards**. Geneva: ISO, 2016. 26 p.

JOHN, V. M. C., M.A.; HELENE, P.R.L. Sistema construtivo em painéis gesso-cimento: histórico de um natimorto. **Construção São Paulo (IPT)**, v. 43, n. 2236, p. 29-32, dez.1990.

KIMURA, F. et al. Product modularization for parts reuse in inverse manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 50, n. 1, p. 89-92, 2001.

KLEINDORFER, P. R.; SINGHAL, K.; VAN WASSENHOVE, L. N. Sustainable operations management. **Production and operations management**, v. 14, n. 4, p. 482-492, 2005.

KLEVÁS, J. Design for Packaging Logistics. In. INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE. 2006. Dubrovnik - Croatia. May 15 - 18, 2006. **Proceedings...** p.269-276.

KOBAYASHI, M.; HORIUCHI, H.; HIGASHI, M. Optimal Design of Component Layout and Fastening Methods for the Facilitation of Reuse and Recycle. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 12, n. 5, p. 537-545, 2015.

LANGDON, D. **Designing out waste**: a design team guide for buildings. Oxon, United Kingdom: WRAP, 2009.

LEANEY, P. G. Case Experience with Hitachi, Lucas and Boothroyd-Dewhurst DFA Methods. In: HUANG, G. Q. (Ed.). **Design for X**: Concurrent engineering imperatives. Springer, 1996. cap. 2, p.41-71.

LEHTO, J. et al. Benefits of DfX in requirements engineering. **Technology and Investment**, v. 2, n. 01, p. 27-37, 2011.

LEVITT, T. Blue-skies approach to tomorrow's marketing. **Business Horizons**, v. 1, n. 2, p. 120-128, 1958.

LI, M., YANG, Y., BAI, J., QIN, X. A Framework for Integrated Optimization of Product Development Process. In: XU, L.;TJOA, A. M., *et al* (Ed.). **In IFIP International Federation for Information Processing**, Volume 255, Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems II. Boston: Springer, v.2, 2007. p.1325-1334.

LOGEN. **Cube Master**. Version Magic Plus 10.10.5.1. Seoul: Logen Solutions, 2018.

MAGIC-LOGIC. **CUBE-IQ**. Version 5.0.4.367. Canada: Magic Logic, 2016.

MATTOS, J. R. L.; GUIMARÃES, L. D. S. **Gestão da tecnologia e inovação**: uma abordagem prática. São Paulo: Saraiva, 2013. 433 p.

MERCEDEZ-BENZ. **Atego 2430 6x2 Plataforma**. Catálogo técnico, São Bernardo do Campo, 2017. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/atego/dados-tecnicos/atego-2430-6x2-plataforma.pdf>>. Acesso em: 05/07/2018.

MESSAADIA, M.; BELKADI, F.; EYNARD, B. System Engineering and PLM as an integrated approach for industry collaboration management. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 45, n. 6, p. 1135-1140, 2012.

MICROSOFT. **MS Office Professional Plus 2016**: Version 1805. Microsoft, 2015a.

_____. **MS Project 2016**: Version 1805. Microsoft, 2015b.

MÜNZBERG, B. et al. Model based logistic monitoring for supply and assembly processes. **Production Engineering**, v. 6, n. 4-5, p. 449-458, 2012.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **The total assessment profile**. The University of Toledo. Toledo - Ohio: NASA, 1975

POLLI, R.; COOK, V. Validity of the product life cycle. **The Journal of Business**, v. 42, n. 4, p. 385-400, 1969.

QURESHI, A. J.; GERICKE, K.; BLESSING, L. Stages in product lifecycle: Trans-disciplinary design context. **Procedia CIRP**, v. 21, p. 224-229, 2014.

RAINEY, D. L. **Product innovation: Leading change through integrated product development**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 625 p.

REDAELLI, P.; CIFERRI, R. Ulteriori osservazioni su Blastocystis della rana e conferma della natura e posizione sistematica dell'Alga. **Mycopathologia**, v. 2, n. 1, p. 239-252, 1939.

RINA. **Registro Nazionale Italiano**. 2018. Disponível em: <<https://www.rina.org/it/about-us/history>>. Acesso em: 14/07/2018.

RINK, D. R.; SWAN, J. E. Product life cycle research: A literature review. **Journal of business Research**, v. 7, n. 3, p. 219-242, 1979.

SAAKSVUORI, A.; IMMONEN, A. **Product lifecycle management**. 3 ed. Springer, 2008.

SAGHIR, M. The concept of packaging logistics. In. ANNUAL POMS CONFERENCE, 15th. 2004. Cancun. **Proceedings...** p. 1 - 31.

SANCHES, I. D. A.; FABRICIO, M. M. Projeto para manutenção. In. WORKSHOP BRASILEIRO GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. 2008. São Paulo. **Anais...**

STARK, J. **Product lifecycle management. 21st Century Paradigm for Product Realisation**. 2 ed. London: Springer, 2011. 561 p.

STOCK, G. N.; GREIS, N. P.; KASARDA, J. D. Logistics, strategy and structure: a conceptual framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 1, p. 37-52, 1998.

SULLIVAN, B. J. **Industrialization in the building industry**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1980. 245 p.

SUSTAINABLE JERSEY. **Materials Reuse Program**: Sustainable Jersey: 2018.

TELHANORTE. **Materiais de construção e acabamentos**. 2018. Disponível em: <www.telhanorte.com.br>. Acesso em: 28/09/2018.

TELLIS, G. J.; CRAWFORD, C. M. An evolutionary approach to product growth theory. **The Journal of Marketing**, v. 45, n. 4, p. 125-132, 1981.

TOOMEY, J. W. **Inventory management**: principles, concepts and techniques. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. 228 p.

TROUSSIER, N. et al. Information structuring for use and reuse of mechanical analysis models in engineering design. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 10, n. 1, p. 61-71, 1999.

TSENG, Y.-Y.; YUE, W. L.; TAYLOR, M. A. P. The role of transportation in logistics chain. **Eastern Asia Society for Transportation Studies**, 2005. p.1657 - 1672.

UNITED STATES. **Quality Program Requirements**. 1959. 9 p.

VAN HEMEL, C. G.; KELDMANN, T. Applying “design for X” experience in design for environment. In: HUANG, G. Q. (Ed.). **Design for X**: Concurrent engineering imperatives. Springer, 1996. cap. 3, p.72-95.

VITASEK, K. **Supply chain management terms and glossary**. Supply Chain Visions, 2013. 122 p.

WANG, C. et al. Simulation-based optimisation of logistics distribution system for an assembly line with path constraints. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 12, p. 3538-3551, 2014.

ZEMCH, N. **Zemch.org**. 2017. Disponível em: <www.zemch.org>. Acesso em: 22/02/2017.

ZHOU, B.; PENG, T. Scheduling the in-house logistics distribution for automotive assembly lines with just-in-time principles. **Assembly Automation**, v. 37, n. 1, p. 51-63, 2017.

APÊNDICE A – Planos de carregamento



Plano de Carregamento 1/3

Total

Loaded	38	Remain	0
Volume(M3)	34.73	Weight(kg)	14,383.36
Volume(%)	56.71	Weight(%)	95.13
Solutions	1	Price(R\$EA)	0

Trucks

Name	Inside (mm)	Weight (kg)	Max Weight (kg)	Loaded
truck-23	8,800 x 2,400 x 2,900	0	15,120	1

Cargoes

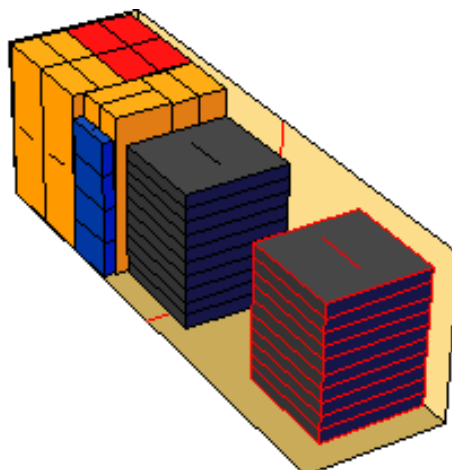
Name	Outside (mm)	Qty.	Loaded	Weight (kg)
CAN01	6,471 x 162 x 126	1	1	35.28
P03	1,021 x 2,852.4 x 487	8	8	140
P04	1,021 x 2,852.4 x 620	4	4	185
RD01_01	1,812 x 1,812 x 237	10	10	620
EVA01	448.21 x 448.21 x 125	1	1	0.08
ESP	200 x 921 x 612	4	4	22
RD01_02	1,812 x 1,812 x 237	10	10	620
Total		38	38	1,622.36

Groups

Group Name	Cargoes		Volume		Weight		Seq.	Preferences	Max/Trucks	
	%	Loaded	%	M3	%	kg			Volume(M3)	Weight(kg)
	100	18	100	19.17	100	1,983.36	0		0	0
RD	100	20	100	15.56	100	12,400	0		0	0

Solutions

Name	Cargoes	Loaded	Vol. Effi. (%)	Volume (M3)	Weight (kg)	Description
#1 truck-23	CAN01, EVA01, More(5)...	38	56.71	34.73	14,383.36	





Plano de Carregamento 2/3

Total

Loaded	30	Remain	0
Volume(M3)	49.33	Weight(kg)	10,028.69
Volume(%)	80.54	Weight(%)	66.33
Solutions	1	Price(R\$EA)	0

Trucks

Name	Inside (mm)	Weight (kg)	Max Weight (kg)	Loaded
truck-23	8,800 x 2,400 x 2,900	0	15,120	1

Cargoes

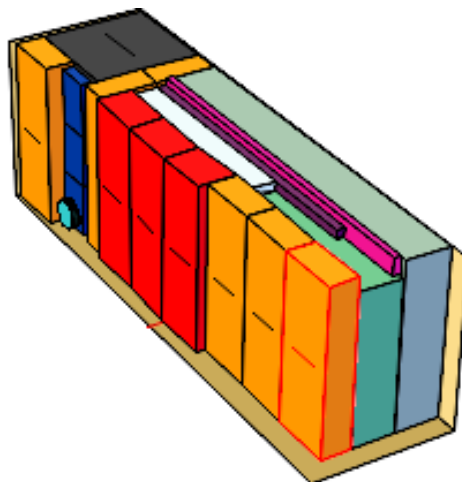
Name	Outside (mm)	Qty.	Loaded	Weight (kg)
CAN02	137 x 162 x 4,877	1	1	28.96
COB02	2,600 x 6,122 x 750	1	1	500
COB01	2,870 x 6,122 x 750	1	1	550
P03	1,021 x 2,852.4 x 487	6	6	140
P04	1,021 x 2,852.4 x 620	3	3	185
CF	6,030 x 300 x 125	1	1	10.3
RT01	474 x 160 x 3,343	1	1	38.35
RD02	1,812 x 1,812 x 237	12	12	620
ESP	200 x 921 x 612	3	3	22
EVA02	489.1 x 489.1 x 125	1	1	0.08
Total		30	30	2,094.69

Groups

Group Name	Cargoes		Volume		Weight		Seq.	Preferences	Max/Trucks	
	%	Loaded	%	M3	%	kg			Volume(M3)	Weight(kg)
	100	30	100	49.33	100	10,028.69	0		0	0

Solutions

Name	Cargoes	Loaded	Vol. Effi. (%)	Volume (M3)	Weight (kg)	Description
#1 truck-23	RD02, P03, More(8)...	30	80.54	49.33	10,028.69	





Plano de Carregamento 3/3

Total

Loaded	9	Remain	0
Volume(M3)	52.23	Weight(kg)	2,092.66
Volume(%)	85.28	Weight(%)	13.84
Solutions	1	Price(R\$€Å)	0

Trucks

Name	Inside (mm)	Weight (kg)	Max Weight (kg)	Loaded
Truck-23	8,800 x 2,400 x 2,900	0	15,120	1

Cargoes

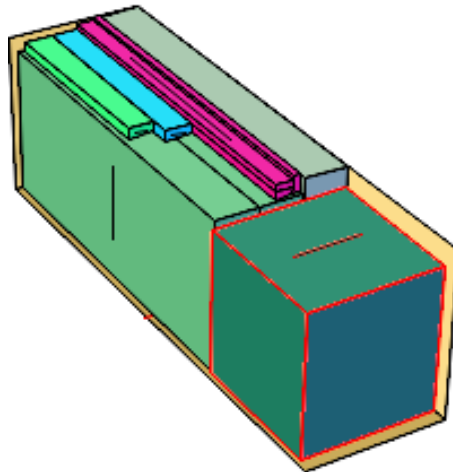
Name	Outside (mm)	Qty.	Loaded	Weight (kg)
NC	2,300 x 2,438 x 2,490	1	1	434.85
RT02_01	476 x 161 x 3,700	1	1	38.84
COB02	2,600 x 6,122 x 750	2	2	500
COB01	2,870 x 6,122 x 750	1	1	550
RT02_02	476 x 159 x 3,343	1	1	38.07
CF	6,030 x 300 x 125	3	3	10.3
Total		9	9	1,572.06

Groups

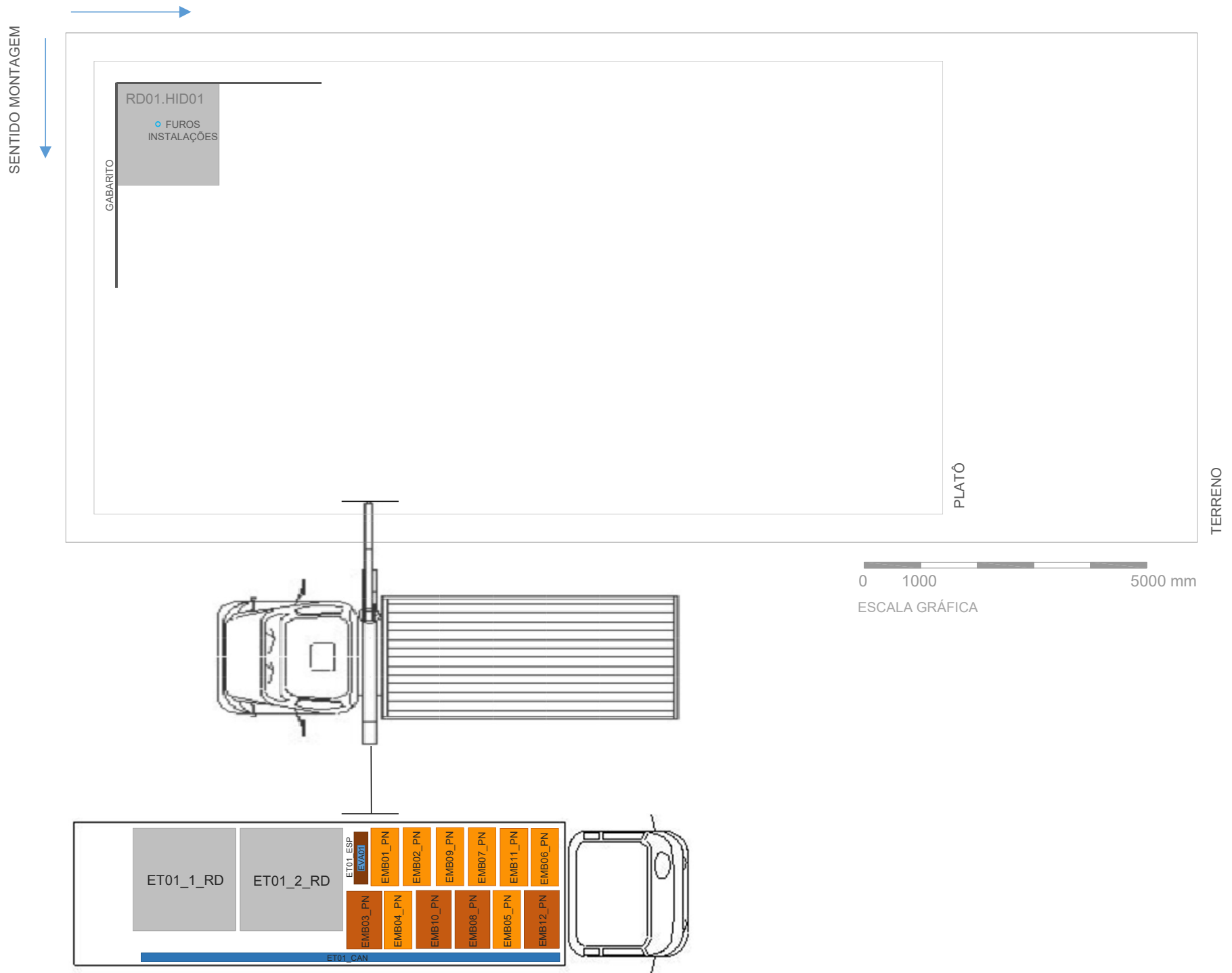
Group Name	Cargoes		Volume		Weight		Seq.	Preferences	Max/Trucks	
	%	Loaded	%	M3	%	kg			Volume(M3)	Weight(kg)
	100	9	100	52.23	100	2,092.66	0		0	0

Solutions

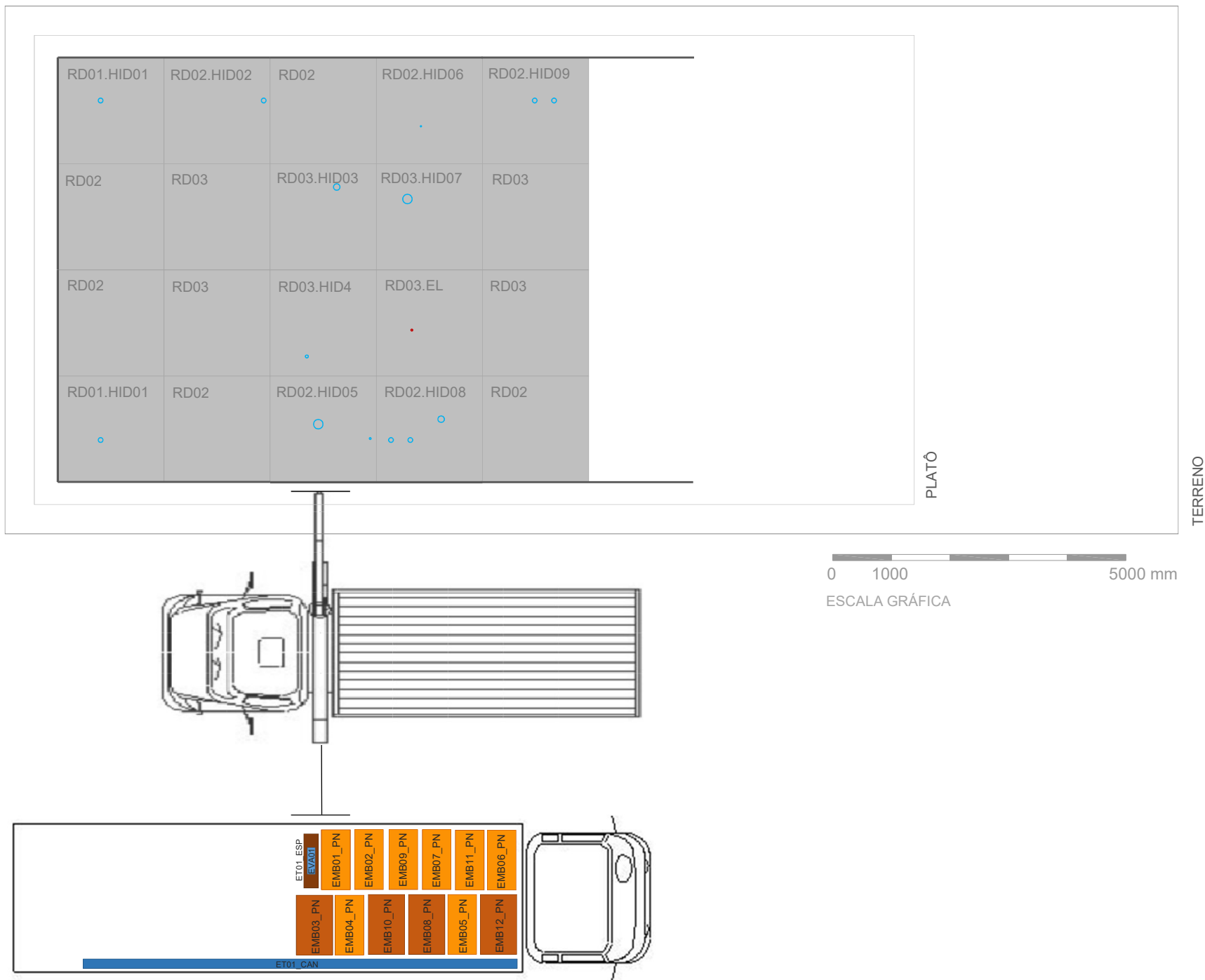
Name	Cargoes	Loaded	Vol. Effi. (%)	Volume (M3)	Weight (kg)	Description
#1 Truck-23	COB01, COB02, More(4)...	9	85.28	52.23	2,092.66	



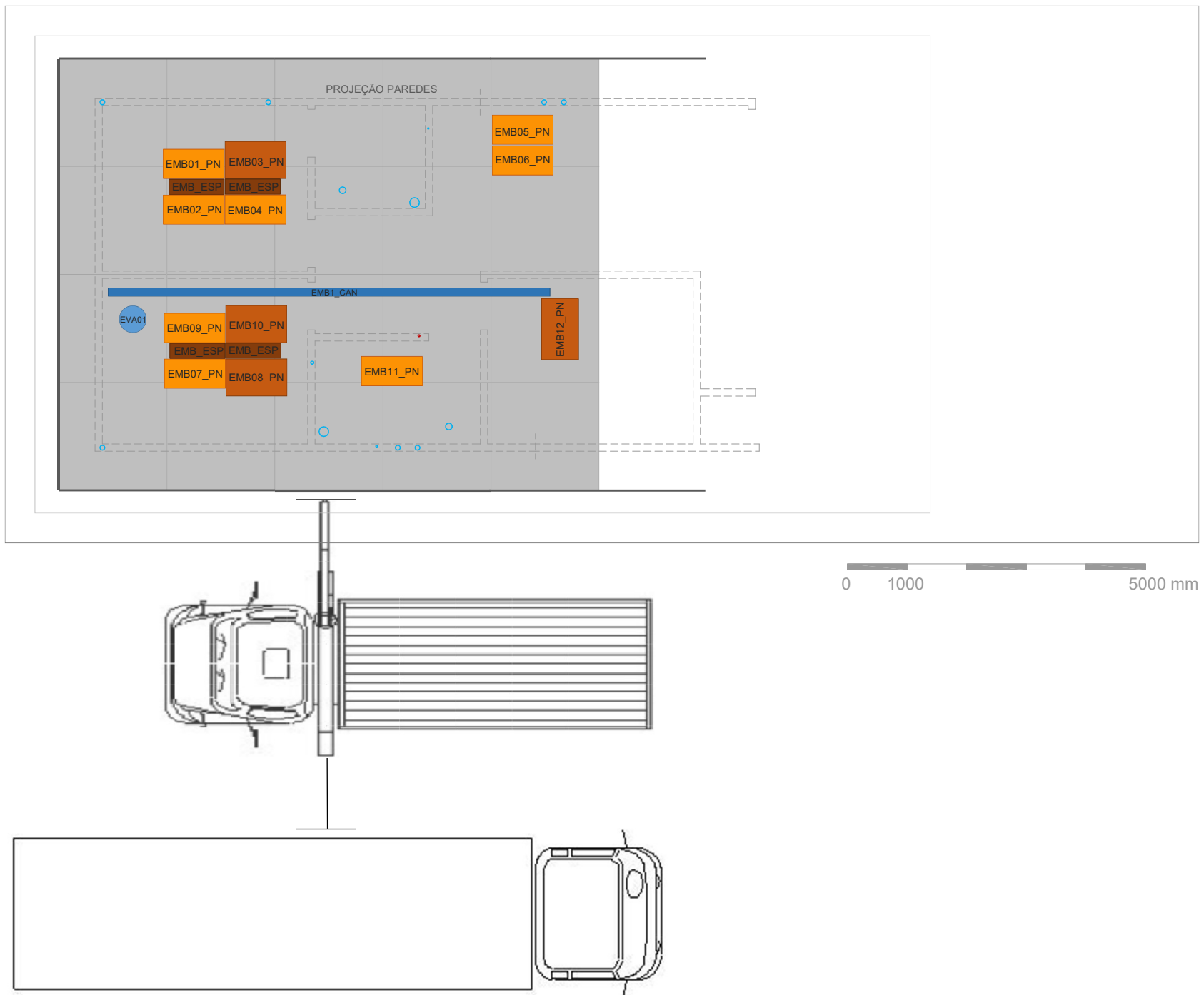
APÊNDICE B – Modelo Dinâmico de Descarregamento e Montagem – MDDM



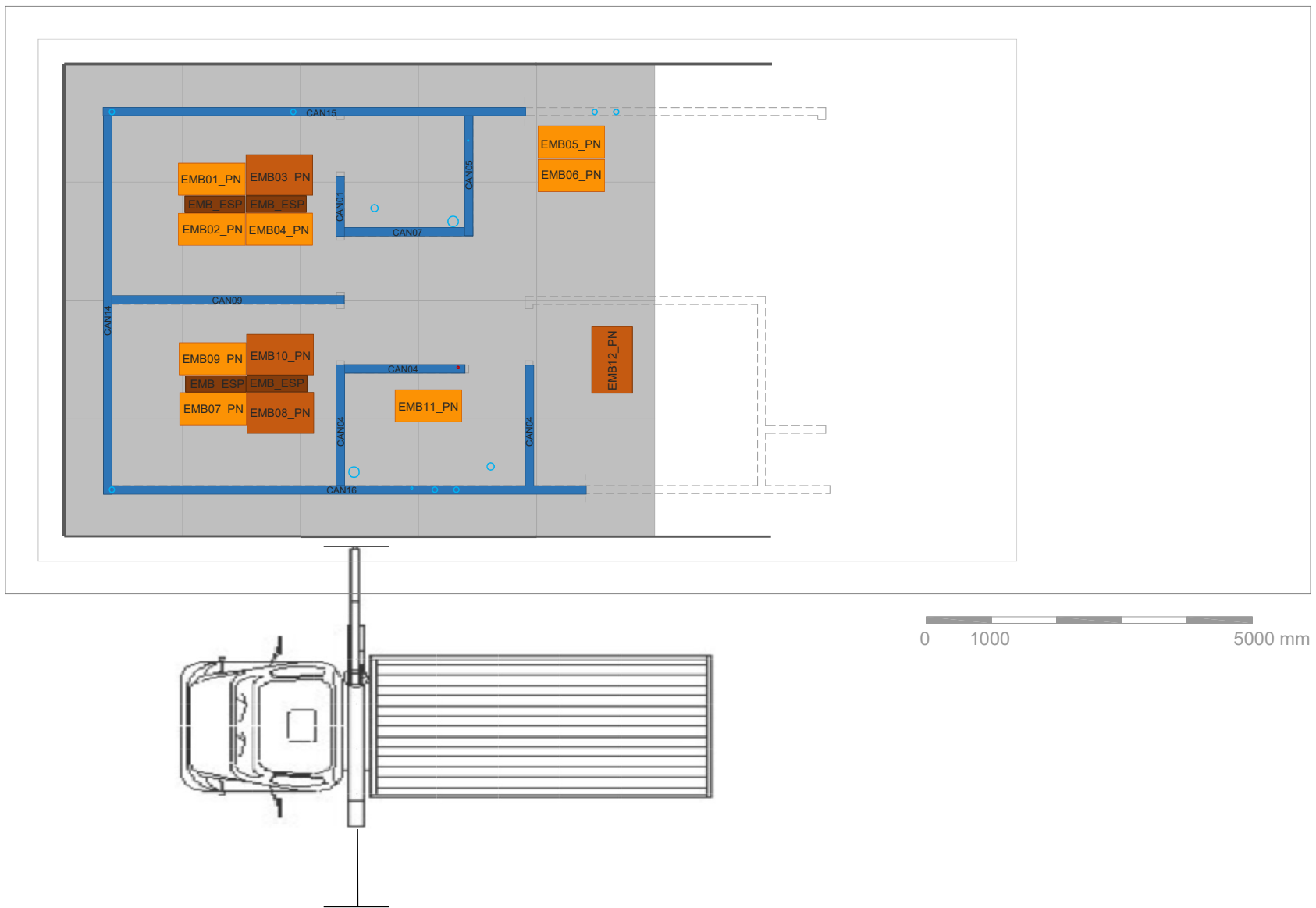
ETAPA 01 – CARGA 01: Descarregamento e montagem do radier e do gabarito interno



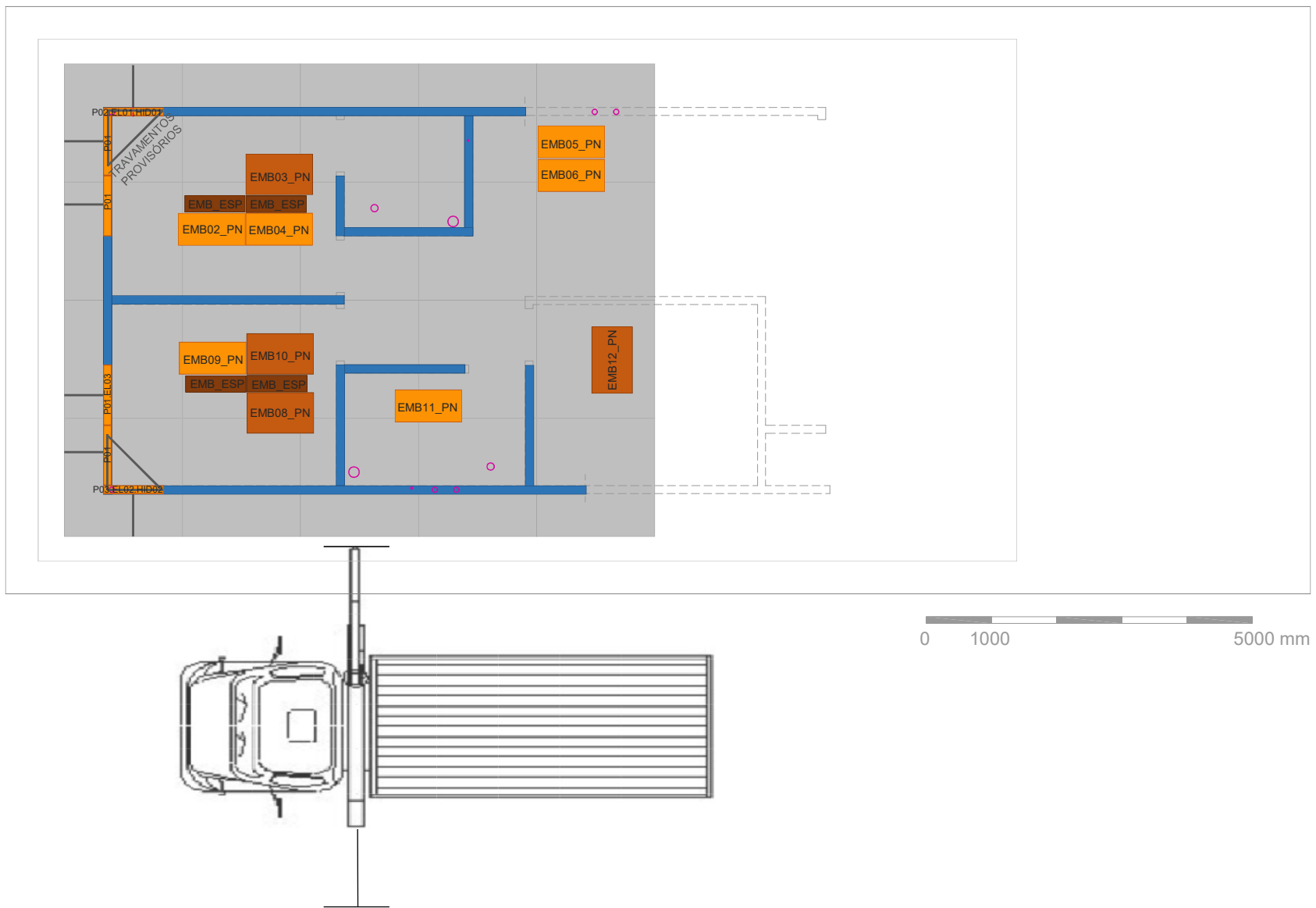
ETAPA 01 – CARGA 01: Radier e gabarito da primeira etapa montados



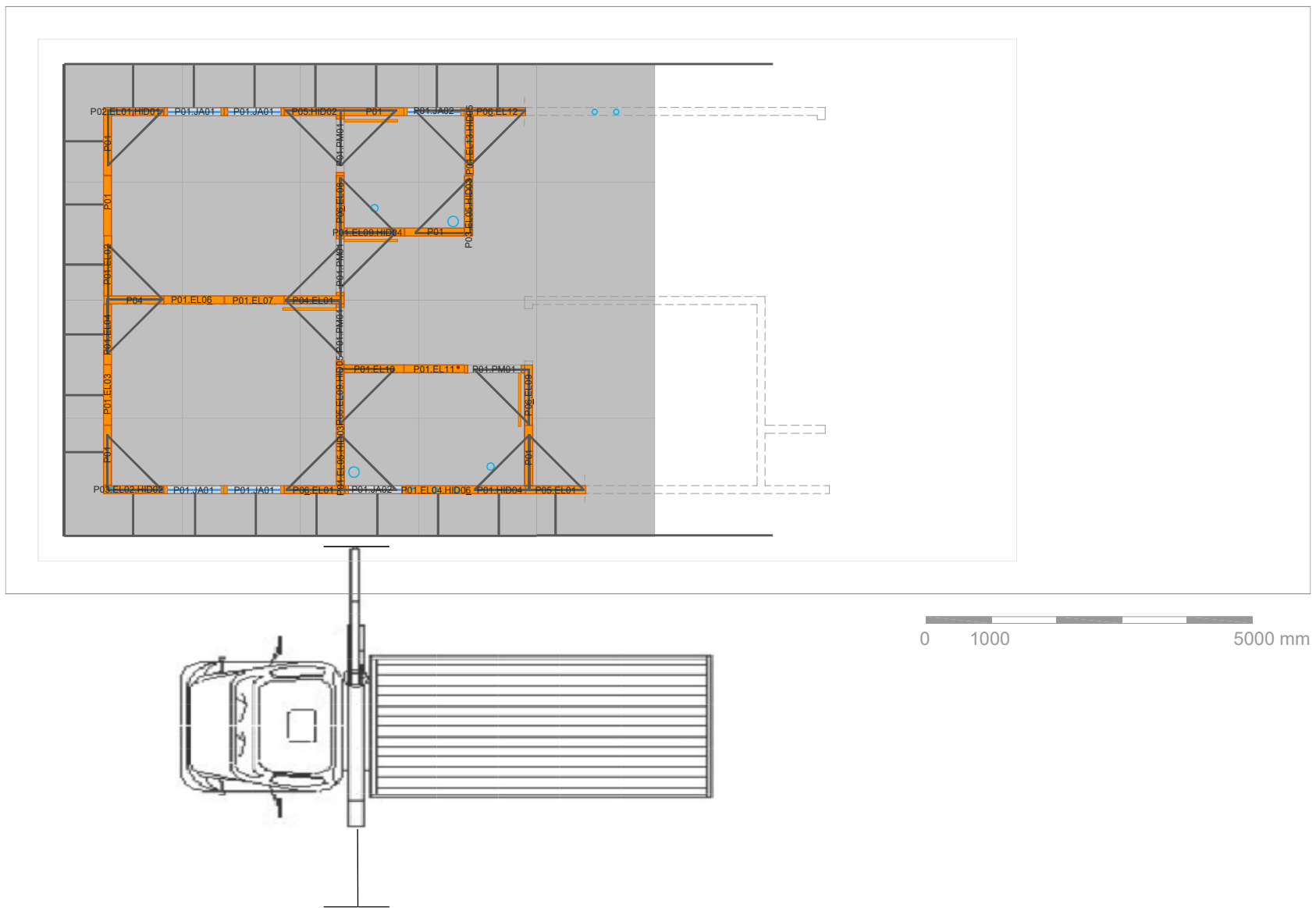
ETAPA 01 – CARGA 01: Restante da carga 1 descarregado



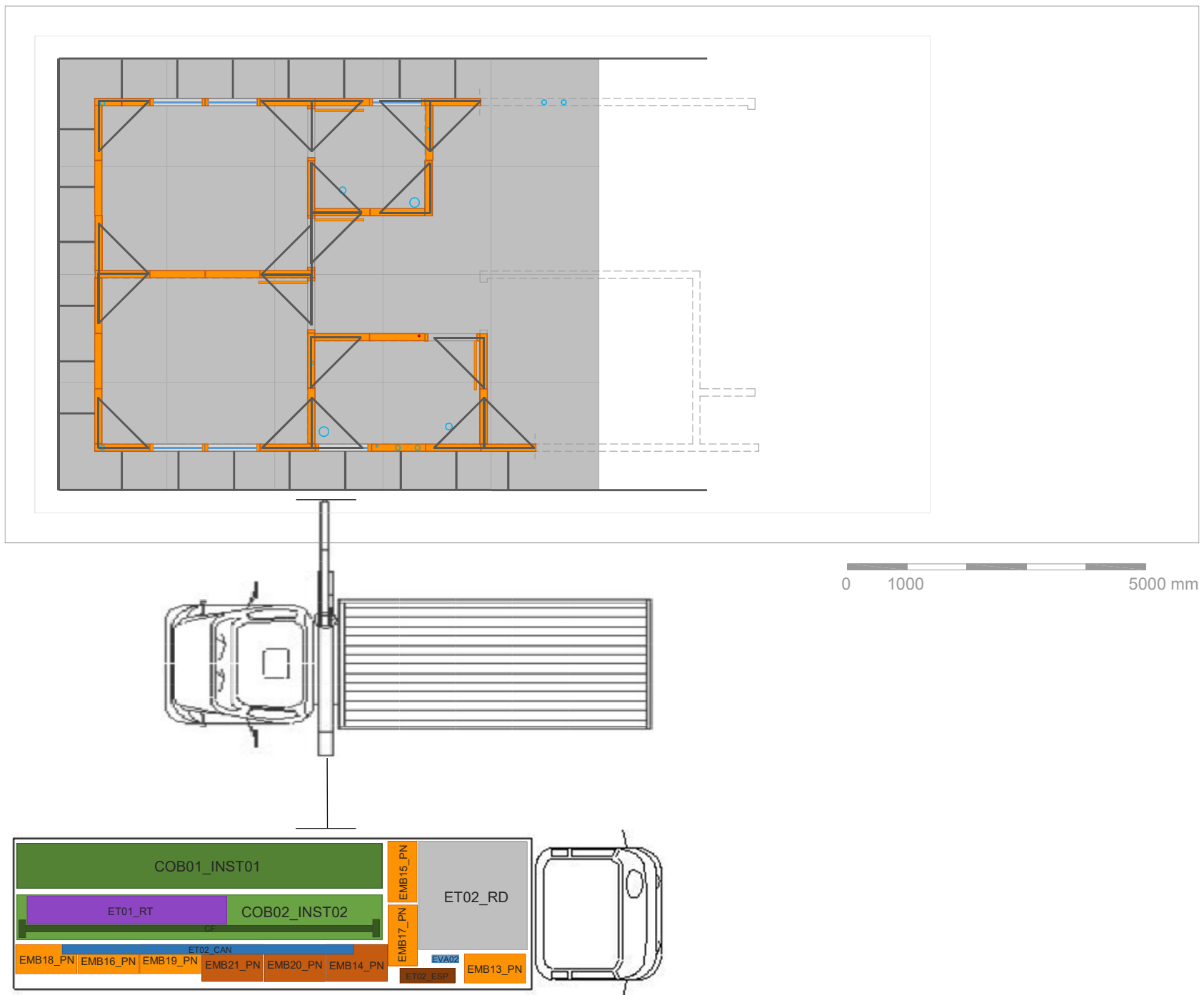
ETAPA 01 – CARGA 01: Canaletas e EVA da primeira etapa montados



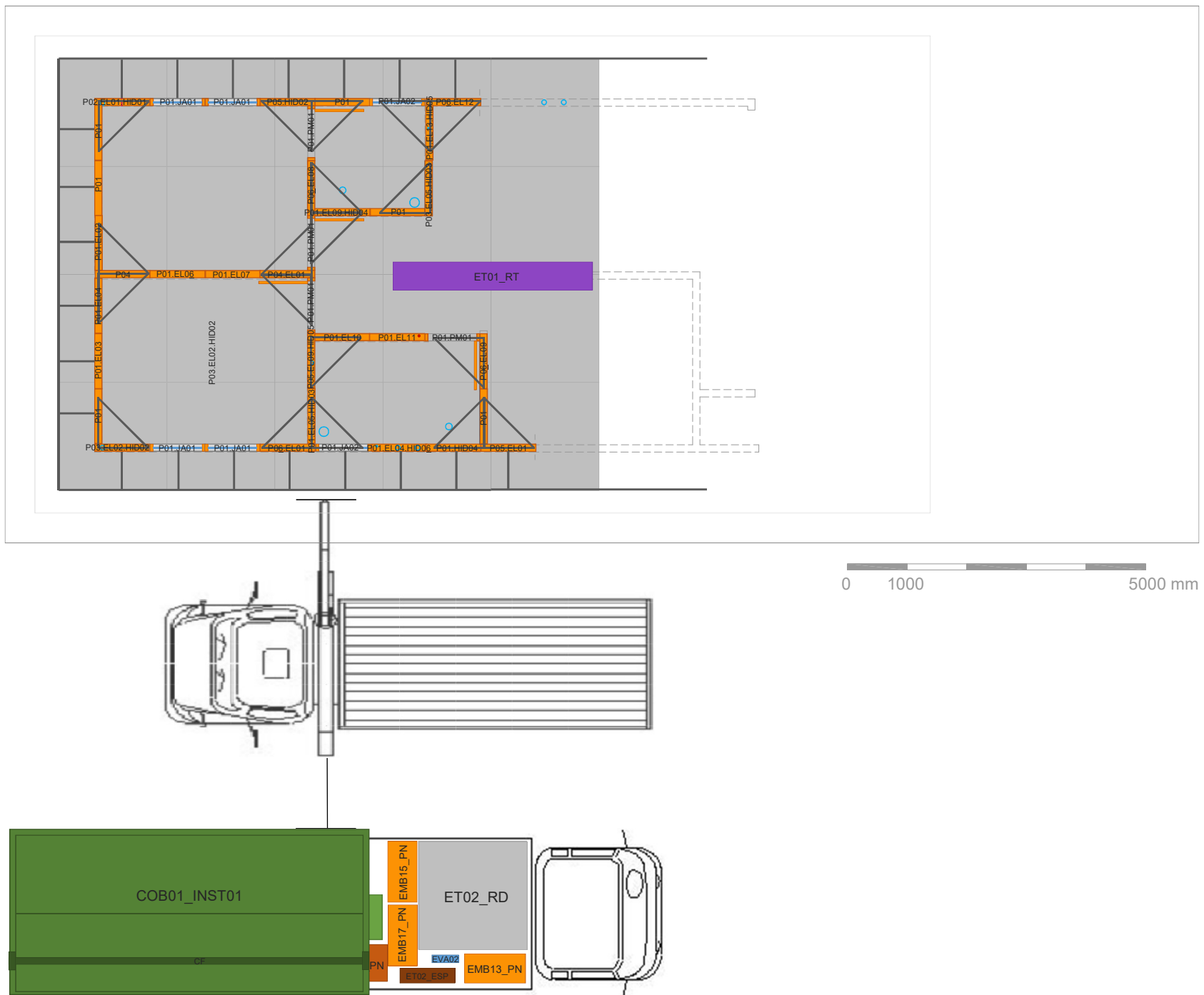
ETAPA 01 – CARGA 01: Início da montagem dos painéis e travamentos provisórios



ETAPA 01 – CARGA 01: Painéis e travamentos provisórios da primeira etapa montados



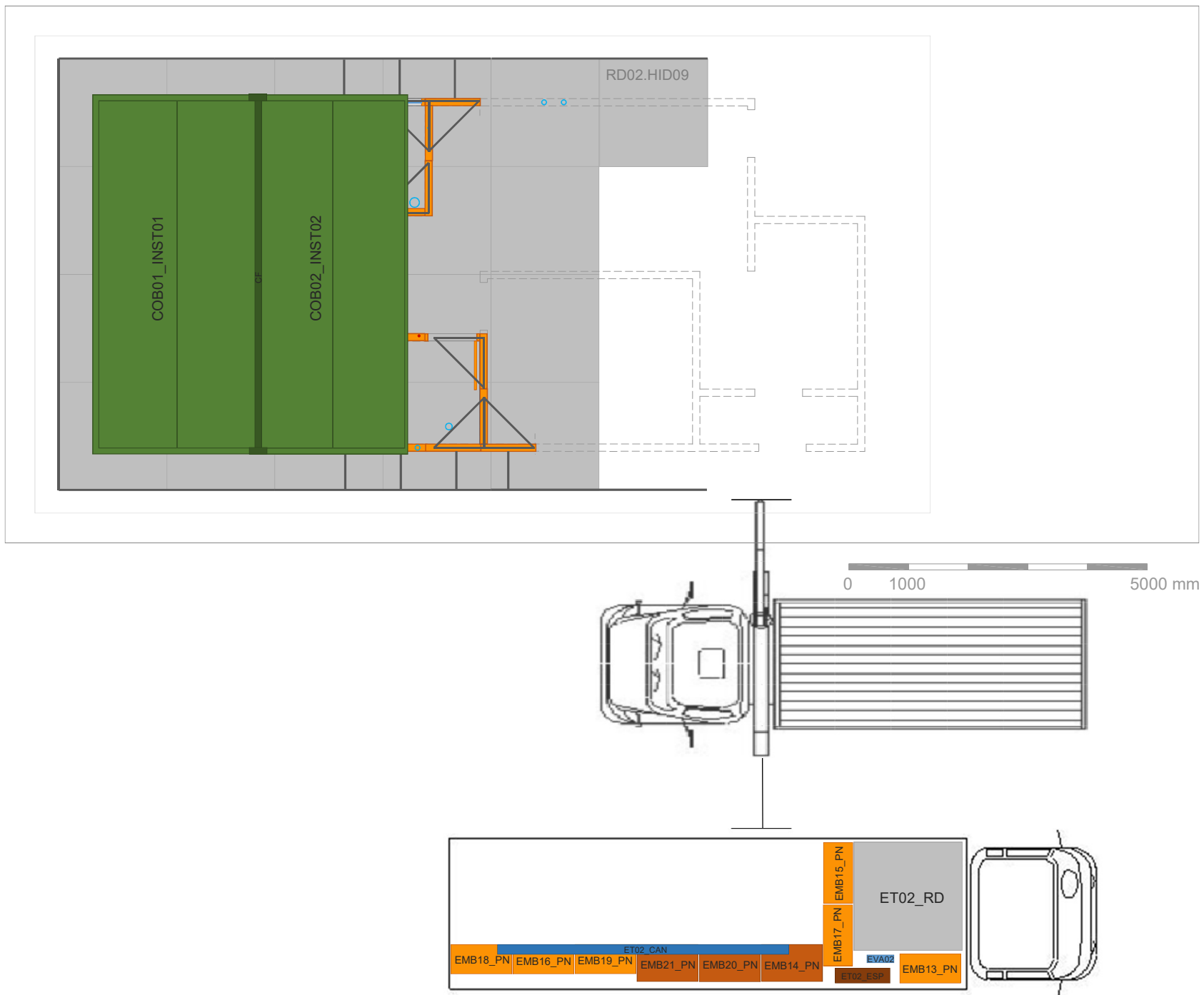
ETAPA 01 – CARGA 02: Chegada da carga 2



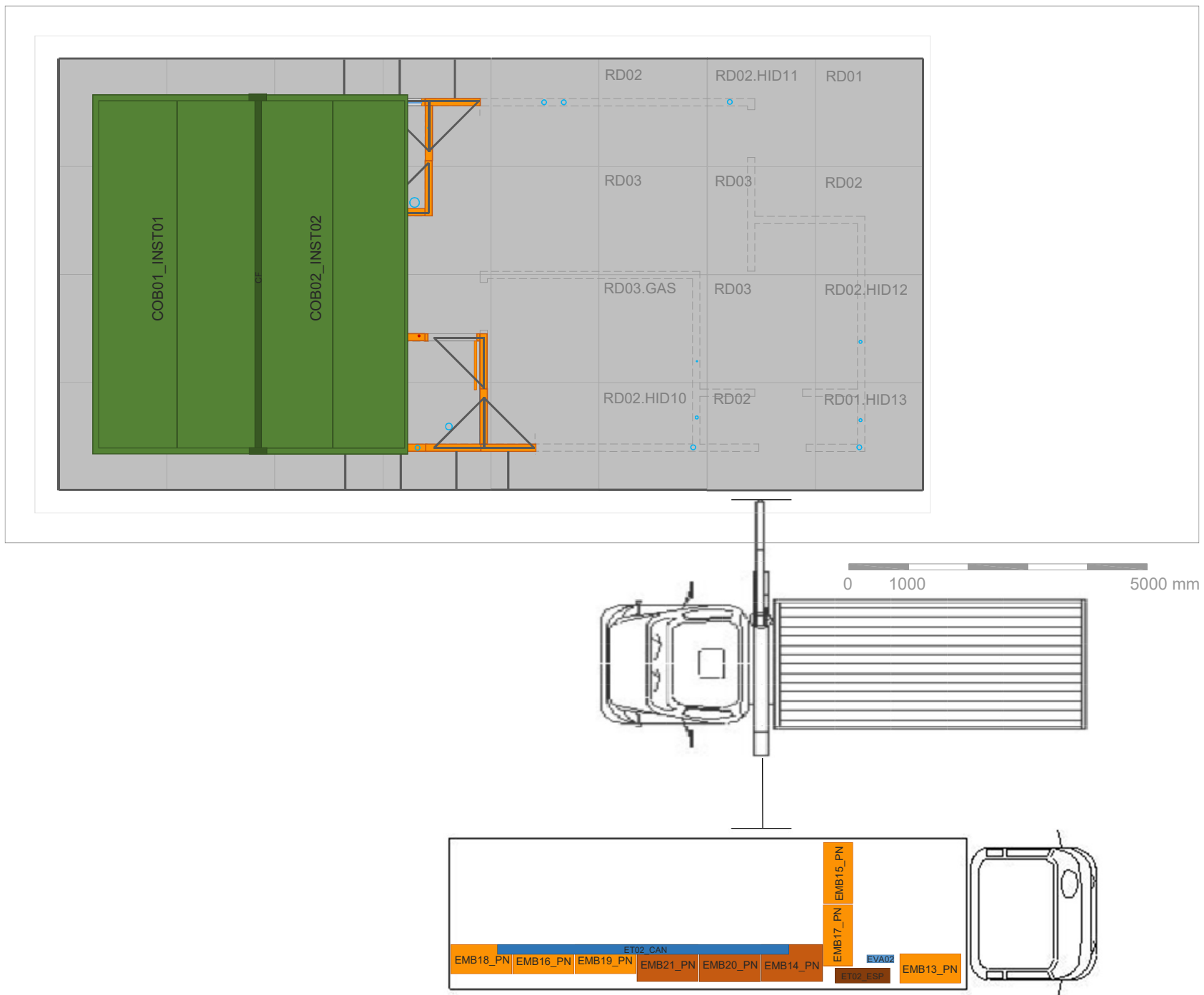
ETAPA 01 – CARGA 02: Descarregamento do rodadeto da primeira etapa e início da montagem da cobertura



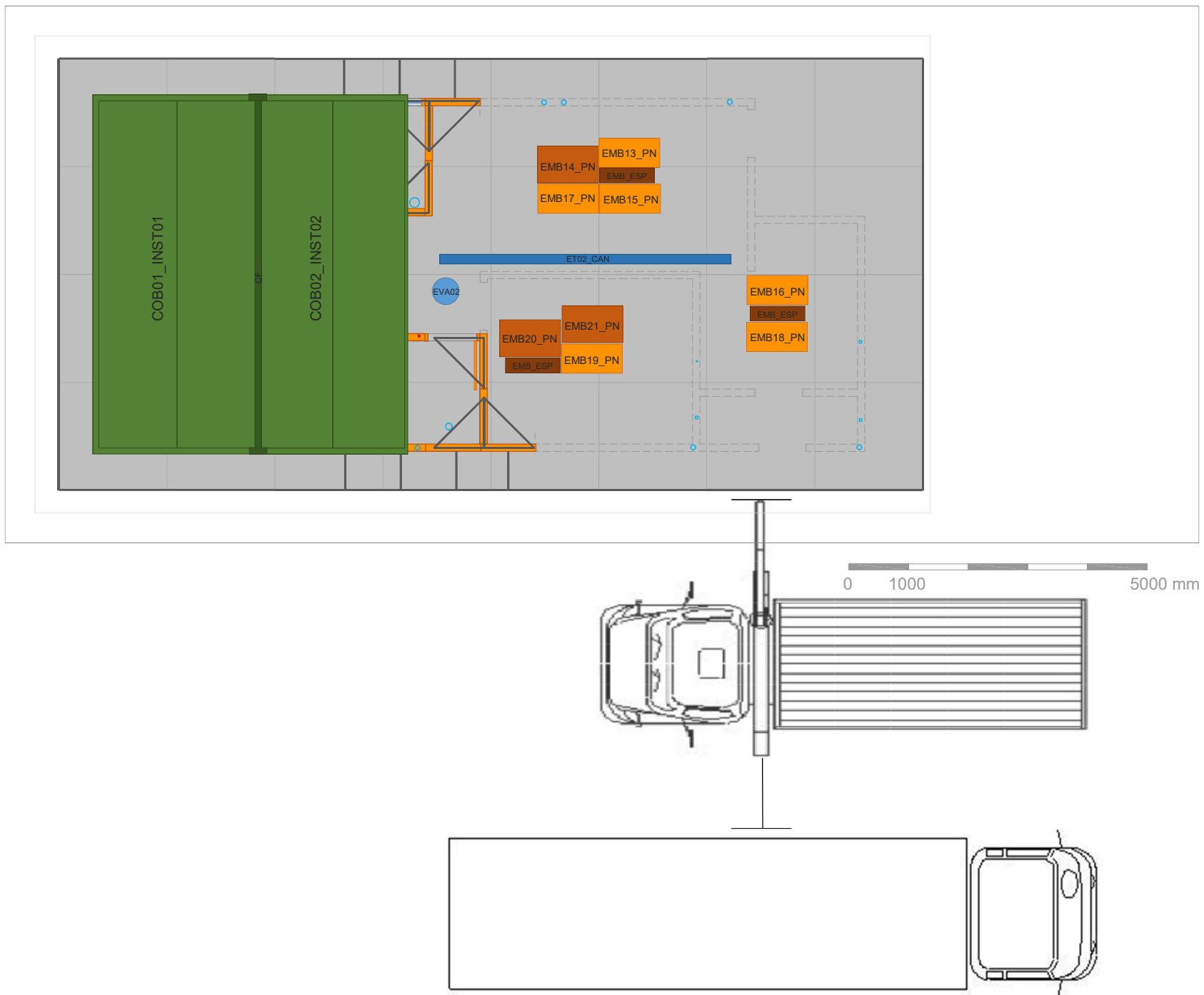
ETAPA 01 – CARGA 02: Cobertura e rodapés da primeira etapa montados



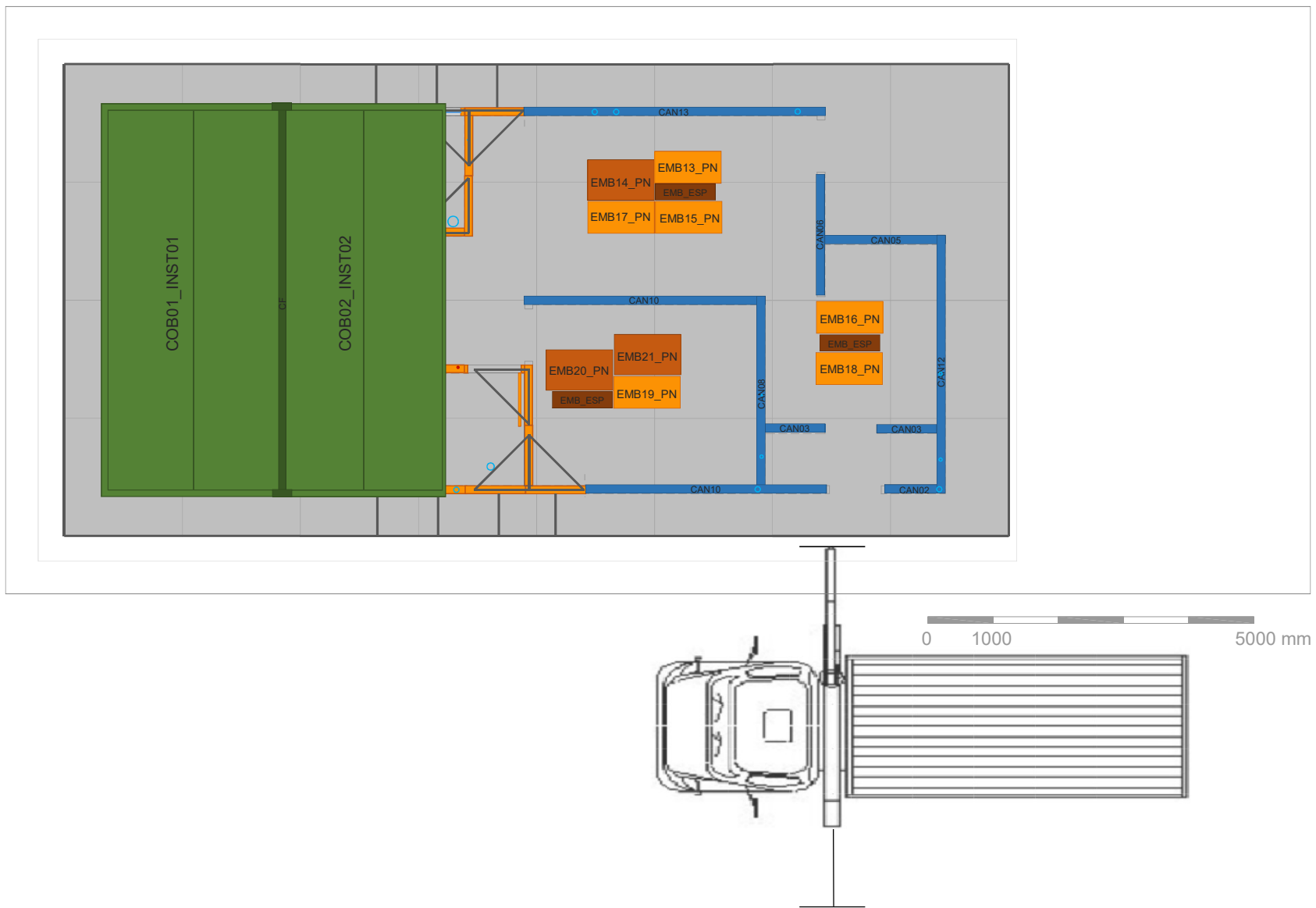
ETAPA 02 – CARGA 02: Veículo em segunda posição e início da montagem do radier da segunda etapa



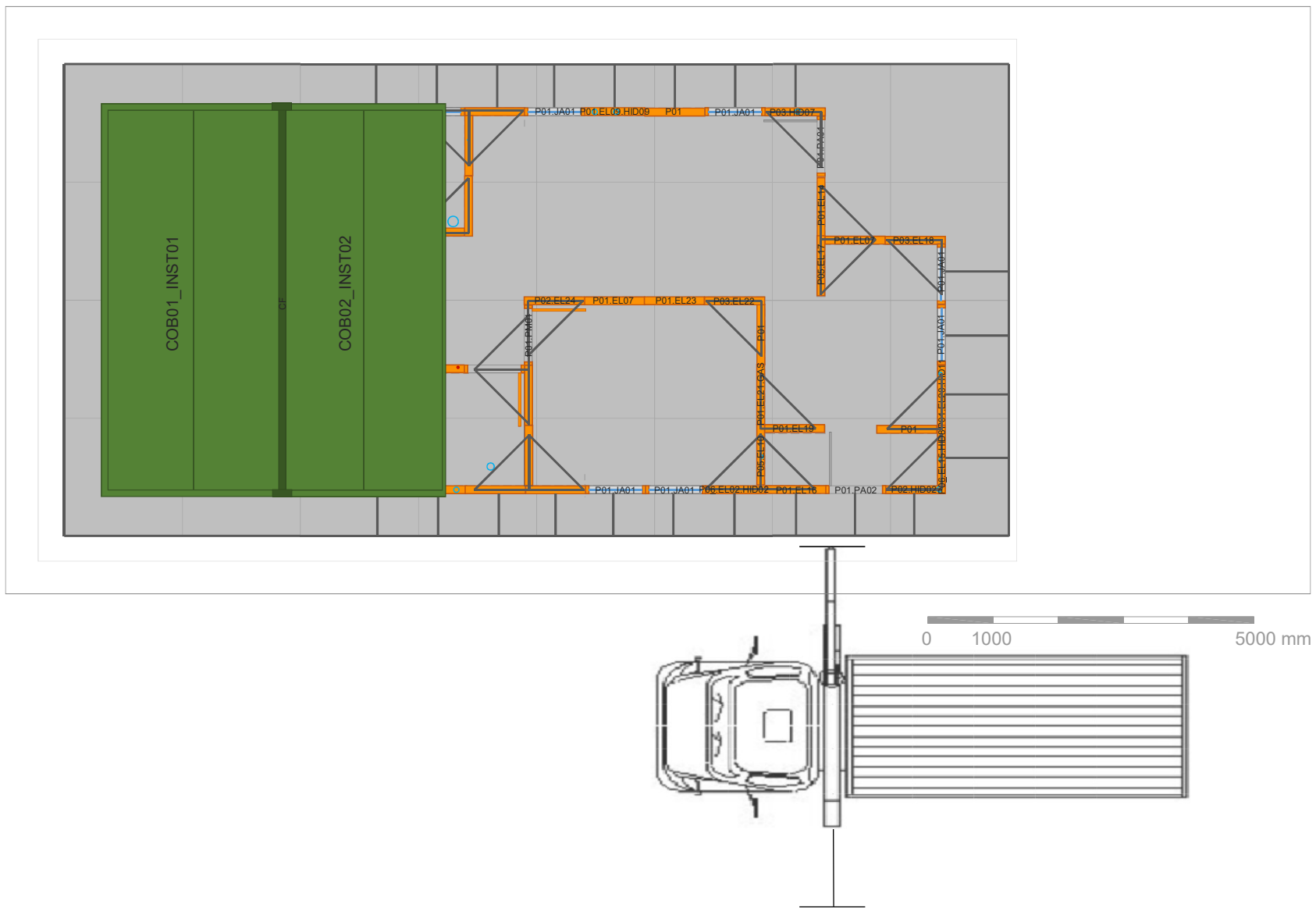
ETAPA 02 – CARGA 02: Radier da segunda etapa montado



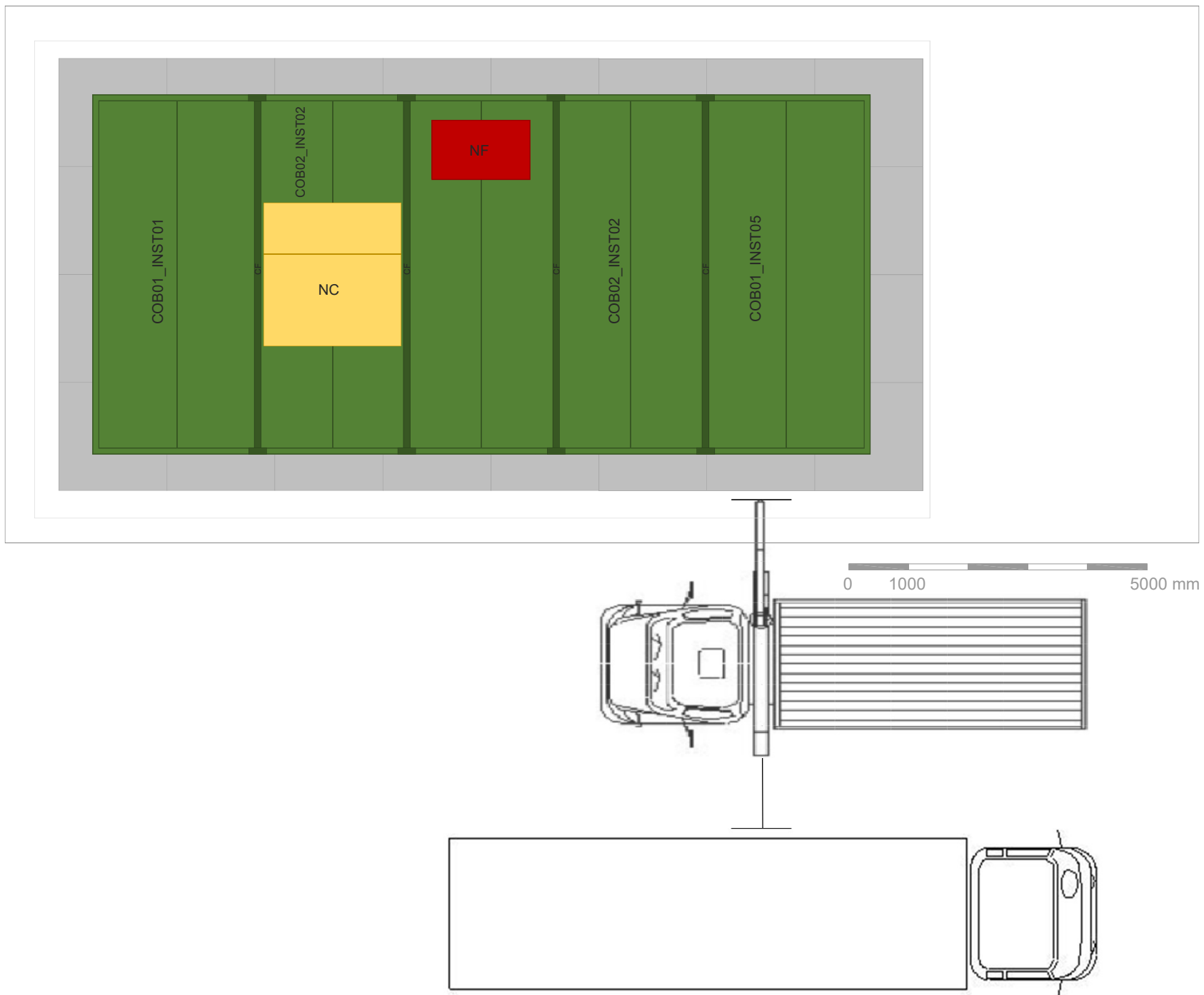
ETAPA 02 – CARGA 02: Descarregamento do restante da carga 2



ETAPA 02 – CARGA 02: Canaletas e EVA da segunda etapa montados



ETAPA 02 – CARGA 02: Painéis e travamentos provisórios da segunda etapa montados



ETAPA 02 – CARGA 03: Finalização da montagem da edificação

APÊNDICE C – Modelo de IET – Exemplo Fundação



IET 05 - Fundação
Instrução Específica de Trabalho

Data: 16/102018
Versão: 00
Folha: 1 / 1

Atividades predecessoras:		
01 Preparação do terreno 02 Serviços preliminares 03 Locação 04 Instalações enterradas: escavações internas ao platô e tubulações que serão conectadas ao radier		
Equipamentos, ferramentas e materiais:		
<i>Munck</i> com acessórios Teodolito laser	Trena Gabarito interno Chave catraca manométrica Ferramenta de acabamento de junta	Placas pré-fabricadas de radier Conjuntos de conectores com porcas e chapas Mastique na cor do porcelanato
EPI's e EPC's:		
Botina de couro Capacete	Protetor auricular em silicone Luvas de tato	Uniforme Sinalização de áreas perigosas
Verificações iniciais:		
- Valas das tubulações internas ao platô abertas com fundo compactado.		
Sequência e instruções de execução:		
<ul style="list-style-type: none">- Alertar início do descarregamento das placas para evitar trânsito desnecessário na área de montagem e de alcance do <i>munck</i>, por ordem e segurança;- Fixar os acessórios do <i>munck</i> nas furações de montagem da primeira placa de radier e retirar filme de proteção ao redor da placa;- Descarregar com o <i>munck</i> e posicionar no ponto inicial de montagem demarcado no platô;- Encaixar os conectores nos furos das placas e fixar com a contrachapa e as porcas superiores;- Apoiar o componente na posição definitiva;- Verificar nível com teodolito laser e corrigir;- Encaixar tubulação horizontal nas esperas inferiores;- Fixar a haste do gabarito interno na face da placa apertando os sargentos acoplados, verificando e corrigindo alinhamento, nível e esquadro em relação à locação com auxílio do teodolito laser. As hastes são fixadas a cada duas placas;- Repetir os mesmos procedimentos para a segunda placa, sendo que os furos devem ser encaixados nos conectores já fixados na primeira placa;- Apertar os parafusos com auxílio de chave catraca manométrica;- Assentar o porcelanato sobre os pontos de conexão do radier, conforme IET 05b Assentamento de porcelanato, complementar a essa IET 05 Fundação;- Proceder à montagem das demais placas segundo os procedimentos descritos;- Após 4 h do assentamento do porcelanato, fazer o rejuntamento conforme IET05b;- A calafetação entre as placas de radier devem ser feitas com mastique da cor do porcelanato: cortar o bico da bisnaga em 45° com aproximadamente a abertura da junta a se selar (3 mm). Preencher as juntas a partir do fundo para a superfície, sobre o neoprene, de forma a evitar a inclusão de bolhas de ar. Fazer o acabamento com a ferramenta de acabamento de junta após a aplicação.		
Inspeção:		
<ul style="list-style-type: none">- Alinhamento, nível e esquadro com teodolito laser durante a montagem de cada placa de radier, na metade da montagem da etapa, ao final da etapa e verificação global ao final da montagem.- Tolerâncias:<ul style="list-style-type: none">Alinhamento: +/- 1 mm na diagonal formada pelo conjunto de quatro placasNível: +/- 1 mm na diagonal formada pelo conjunto de quatro placasEsquadro: +/- 0,25° a cada grupo linear de quatro placas- Presença de resíduos.		
Atividade (s) seguinte (s):		
06 Canaleta: pode ser iniciada após a inspeção.		
Elaborado por: Shandy Morassi Responsável Montagem	Aprovado por: Altibano Orteni Coordenador Técnico Data: 16/10/2018	

APÊNDICE D – Gráfico de Gantt

