



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

BRUNO JOSÉ OLIVARI PASELLO

**A MODULARIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
BRASILEIRA:
O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESTRUTURAL
MODULAR PARA O PANTANAL**

Londrina
2020

BRUNO JOSÉ OLIVARI PASELLO

**A MODULARIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
BRASILEIRA:
O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESTRUTURAL
MODULAR PARA O PANTANAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Daniel de Melo Moura

Coorientador: Prof. Dr. Rovenir Bertola Duarte

Londrina
2020

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

Pasello, Bruno .

A MODULARIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO BRASILEIRA : O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MODULAR PARA O PANTANAL / Bruno Pasello. - Londrina, 2020.
149 f.

Orientador: Jorge Daniel de Melo Moura.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2020.

Inclui bibliografia.

1. Modularidade - Tese. 2. Indústria da Construção - Tese. 3. Tecnologia Construtiva - Tese. I. Daniel de Melo Moura, Jorge . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU 711/72

BRUNO JOSÉ OLIVARI PASELLO

**A MODULARIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
BRASILEIRA:
O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESTRUTURAL MODULAR
PARA O PANTANAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Jorge Daniel de Melo
Moura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Marieli Azoia Lukiantchuki
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. Márcio Minto Fabricio
Universidade de São Paulo – USP

Londrina, 27 de abril de 2020.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Dr. Jorge Daniel e Dr. Rovenir Duarte pela dedicação, paciência e cuidado que tiveram durante toda a condução deste trabalho.

À ONG ECOA pela oportunidade de participar de um projeto fundamental na melhoria da qualidade de vida das comunidades tradicionais do Pantanal.

Aos meus colegas, André Stanganelli, Marie Dayet, João Dorta e em especial Juliano Thomé que participaram de maneira decisiva no desenvolvimento do projeto.

À Universidade Estadual de Londrina, seus colaboradores e servidores pelo suporte.

E por fim, agradeço aos professores Dra. Ercília Hirota e Dra. Fernanda Saffaro pelas orientações, Dr. Márcio Minto pela contribuição e Dra. Marieli Azoia por me estimular a seguir este tema ainda no início do mestrado.

PASELLO, Bruno José Olivari. **A Modularidade na Indústria da Construção Brasileira**: O Desenvolvimento de um sistema estrutural modular para o Pantanal. 2020. 149 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa Associado de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UEL-UEM – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

O setor da construção civil brasileiro apresenta baixo nível de produtividade se comparado com outros segmentos no próprio país e no mundo. No entanto, devido à crescente competitividade do setor, empresas estão buscando inovação através de estratégias de produção descentralizadas, como a modularidade. Tradicionalmente empregada pela engenharia do produto, é um mecanismo bem-sucedido para gerenciar a complexidade. Apesar dos benefícios, os impactos da adoção da modularidade na indústria da construção não foram amplamente estudados por meio de literatura específica. Este trabalho visa preencher essa lacuna, analisando o fenômeno de transposição e as consequências da adoção da estratégia no design, produção, transporte e montagem especificamente no Brasil. O método Design Science Research conduz esta pesquisa através da apresentação do projeto, fabricação e montagem de um sistema estrutural real. A oportunidade para que isto acontecesse surgiu através da cooperação com uma organização não governamental que precisava construir casas desmontáveis para uma comunidade carente e isolada do Pantanal Sul-mato-grossense. Com um orçamento limitado, as estruturas foram projetadas e construídas seguindo os princípios teóricos de eficiência da modularização. Surpreendentemente, esse processo revelou que os benefícios da estratégia são relativos e dependem da escala operacional. Muito esforço é necessário na reorganização de projeto e produção, uma vez que isso aumenta consideravelmente os preços de pré-construção. Os resultados da pesquisa indicam que as particularidades do setor impedem que a estratégia seja adotada compulsoriamente.

Palavras-chave: Modularidade. Indústria da construção. Tecnologia construtiva.

PASELLO, Bruno José Olivari. **Modularity in the Brazilian Construction Industry: The Development of a Modular Structural System for the Pantanal**. 2020. 149 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa Associado de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UEL-UEM – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

In Brazil, construction is mostly an under-industrialized activity. This means assuming inefficient production processes, loss of quality and time. However, due to increasable competitive market complexity, some companies are seeking innovative production strategies like modularity. Traditionally employed by product engineering, this is a well-established mechanism for dealing with complexity. Despite the benefits, the impact of adopting modularization in the house-building industry has not been widely studied through specific literature. This paper aims to fill this gap analyzing this transposition phenomenon and the consequences of adopting the strategy in design, production, transportation and assembly specifically in Brazil. The method Design Science Research was chosen to guide this research. The opportunity to apply modularity arose through the cooperation of a non-governmental organization. They needed four demountable houses for an isolated needy community in Pantanal Waterland of Brazil. With a limited budget, the four houses were design and constructed following the efficiency principles of modularization. Surprisingly, this process revealed that the benefits of the strategy are relative and depends on the manufacturing scale. Much effort is needed in design and production reorganization. That increases considerably the pre-construction costs. Research findings indicate that in the house-building industry the strategy cannot be compulsorily adopt.

Keywords: Modularity. Construction industry. Building technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Diferença de produtividade nos setores de construção (EUA = 100,0%).....	14
Figura 2	Produtividade em Diferentes Setores Industriais no Brasil.....	16
Figura 3	Duplo gap do setor de construção nacional.	16
Figura 4	Representação do Processo da Pesquisa.	20
Figura 5	As dimensões da modularidade.	23
Figura 6	Aspectos relacionais dos módulos sob a perspectiva de cada elemento da modularidade de projeto.	33
Figura 7	Relações entre os parâmetros fixos e variáveis dos módulos.....	34
Figura 8	A arquitetura modular de um reboque e sua configuração um-para-um entre elementos funcionais e componentes físicos.....	36
Figura 9	A arquitetura integral de um reboque e sua configuração complexa entre elementos funcionais e componentes físicos.....	37
Figura 10	A natureza das interfaces entre componentes.	38
Figura 11	Representação gráfica da interação componente swapping combinatorial.....	38
Figura 12	Contextualização da modularidade na indústria da construção.	42
Figura 13	Estratégias para modularização de um edifício em diferentes níveis.....	49
Figura 14	Modularidade em diferentes fases do ciclo-de-vida de um projeto.	53
Figura 15	Linha do tempo dos principais acontecimentos.....	58
Figura 16	Distância da comunidade até o Porto de Corumbá.....	60
Figura 17	Vulnerabilidade de uma moradia diante da enchente.	62
Figura 18	Relação entre os problemas e as soluções propostas.	64
Figura 19	Aplicação de formulários e levantamentos na comunidade	65
Figura 20	Moradia em situação de risco	67
Figura 21	Movimentos do processo de projeto.....	70
Figura 22	Apresentação da proposta inicial para a comunidade.....	71
Figura 23	Construção do Protótipo (Cozinha comunitária em Porto da Manga).	72
Figura 24	Crítérios modulares e integrais.....	73

Figura 25	Esquema geral do produto modular.	75
Figura 26	Os nove módulos que compõe o sistema.	77
Figura 27	Processo de acoplamento dos módulos.....	78
Figura 28	Módulo 1 – Localização e dimensões.	79
Figura 29	Módulo 2 – Localização e dimensões	80
Figura 30	Módulo 3 – Localização e dimensões	81
Figura 31	Módulo 4 – Localização e dimensões	81
Figura 32	Módulo 5 – Localização e dimensões	82
Figura 33	Módulo 6 – Localização e dimensões	82
Figura 34	Módulo 7 – Localização e dimensões.	83
Figura 35	Módulo 8 – Localização e dimensões	83
Figura 36	Módulo 9 – Localização e dimensões	84
Figura 37	Mapa de Ligações do Sistema	85
Figura 38	Detalhamento da ligação roxa do mapa de ligações.....	87
Figura 39	Detalhamento da ligação azul do mapa de ligações.	87
Figura 40	Detalhamento da ligação verde do mapa de ligações.....	87
Figura 41	Detalhamento ligação preta (peça 4 e 9), amarela (peça 4 e 6) e azul claro (peça 4 e 8) do mapa de ligações.....	88
Figura 42	Detalhamento ligação marrom do mapa de ligações.	89
Figura 43	Detalhamento ligação cinza do mapa de ligações.	90
Figura 44	Detalhamento ligação vermelha do mapa de ligações.	90
Figura 45	Alguns dos possíveis arranjos do sistema estrutural.	91
Figura 46	Configuração da estrutura a ser construída.	92
Figura 47	Disposição das placas que compõem o piso.	93
Figura 48	Estrutura principal, secundária e fechamentos das casas a serem construídas.....	94
Figura 49	Sistemática do processo de análise.....	97
Figura 50	Leitura do projeto no local de montagem.	100
Figura 51	Peças durante o processo de galvanização.....	103
Figura 52	Descarregamento das peças da embarcação.....	104
Figura 53	Processo de montagem das peças.	108
Figura 54	Distribuição dos recursos no protótipo de arquitetura integral.	109
Figura 55	Distribuição dos recursos no artefato de arquitetura modular.	110
Figura 56	Expansão dos módulos com materiais locais.....	112

Figura 57	Mapa função – componente na indústria da construção.....	115
Figura 58	A separabilidade na indústria da construção.....	116
Figura 59	A coordenação geométrica do módulo.....	117
Figura 60	As variantes do produto.	118
Figura 61	Tipos de interação do produto com usuário	119
Figura 62	Diferenças entre um módulo volumétrico utilizável e não utilizável.	122
Figura 63	Os infra e ultra módulos.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Definições de sistemas modulares de produto e produção.....	25
Tabela 2	Benefícios da modularidade identificados na literatura	28
Tabela 3	Dificuldades na adoção da modularidade identificadas na literatura	29
Tabela 4	Elementos conceituais (constructos) em modularidade de projeto	33
Tabela 5	Diferenças entre modularidade na manufatura e construção.....	41
Tabela 6	Tipologias dos módulos.....	51
Tabela 7	Tabela de definições dos conceitos mais importantes	55
Tabela 8	Características das residências existentes na comunidade	66
Tabela 9	Materiais empregados nas construções locais.....	68
Tabela 10	Integrantes da equipe de projeto desde o início até os dias atuais	69
Tabela 11	Especificações dos módulos do sistema.....	79
Tabela 12	Problemas, consequências e soluções	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONG	Organização não Governamental
ECOIA	Ecologia e Ação
ENIC	Encontro Nacional da Indústria da Construção
SindusCon	Sindicato da Indústria da Construção Civil
CBIC	Câmara Brasileira de Indústria da Construção
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2	FOCO E ESCOPO DO TRABALHO	17
1.3	PRESSUPOSTOS.....	18
1.4	ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	18
1.5	ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	20
2	MODULARIDADE	23
2.1	IMPACTOS DA MODULARIDADE.....	25
2.2	CONSTRUCTOS DA MODULARIDADE	30
2.2.1	O módulo	30
2.2.2	As propriedades dos módulos	31
2.2.3	As interfaces	34
2.2.4	O produto modular e o integral	35
2.2.5	Os tipos de arquitetura modular do produto	37
2.3	A MODULARIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	39
2.3.1	A coordenação modular.....	42
2.3.2	Os sistemas industriais abertos e fechados	44
2.4	ESTRATÉGIAS DE MODULARIZAÇÃO EM DIFERENTES NÍVEIS.....	49
2.5	A MODULARIDADE NO CICLO DE VIDA	51
2.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA.....	54
3	O DESIGN EXPERIMENTAL	57
3.1	ASPECTOS PROJETUAIS.....	57
3.1.1	As restrições específicas do projeto	59
3.1.2	A pesquisa de campo	65
3.1.3	O design colaborativo	69
3.1.4	A modularidade como estratégia	72
3.2	PRODUTO MODULAR	74
3.2.1	Os módulos	76
3.2.2	As interfaces	84
3.2.3	A variabilidade e interações do sistema	91

4	RESULTADOS	96
4.1	OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	96
4.2	O PROJETO	97
4.3	A FABRICAÇÃO.....	101
4.4	O TRANSPORTE	103
4.5	A MONTAGEM	106
4.6	A COMPOSIÇÃO DE CUSTOS.....	109
4.7	IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS E PROPOSTAS PARA CADA ETAPA.....	111
5	TEORIZAÇÃO	114
5.1	OS MÓDULOS E INTERFACES NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	114
5.2	A RELAÇÃO ENTRE CHEIOS E VAZIOS	118
5.3	O NÍVEL DE MODULARIZAÇÃO	121
5.4	A FLEXIBILIZAÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO	124
6	CONCLUSÕES	128
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	130
	REFERÊNCIAS	131
	APÊNDICE	137
	APÊNDICE A.....	137
	APÊNDICE B.....	141
	APÊNDICE C.....	143
	APÊNDICE D.....	146

1. INTRODUÇÃO

No ano de dois mil e treze, a convite da O.N.G Ecoa (Ecologia e Ação), o autor se uniu à um grupo de arquitetos e engenheiros voluntários com o objetivo de desenvolver o projeto de casas para ribeirinhos que pudessem ser montadas, desmontadas e transportadas através de um sistema de peças pré-fabricadas e encaixes simplificados. Esta diretriz foi resultado da própria hidrodinâmica do Pantanal, já que as famílias habitam terrenos que passam por fenômenos de erosão e assoreamento. Estruturas perenes e compostas de elementos não separáveis como as de alvenaria mostram-se ineficientes diante deste cenário em constante mutação. A equipe, de maneira intuitiva, adotou esta restrição de ordem prática como estratégia para a tomada de decisões durante todo o desenvolvimento do projeto.

O resultado foi a decomposição da unidade em um sistema de kits constituídos por módulos que desempenham funções específicas e se encaixam através de interfaces padronizadas. A modularidade foi adotada através de tentativas e erros. A falta de referências prévias e de base científica dificultaram as possíveis verificações intermediárias do processo de concepção. Possíveis falhas e desperdícios de recursos poderiam ser evitados. A construção do conhecimento empírico da modularidade, adquirido através da participação do autor no projeto voluntário, mostrou-se superficial, subjetiva e limitada. Lacunas e dificuldades encontradas durante o processo deste projeto tiveram origem na falta de referências e diretrizes acerca do tema.

Porém, esta experiência despertou o desejo pelo aprofundamento da estratégia através da sistematização do conhecimento relacionado à modularidade. Como a literatura produzida a respeito pode contribuir para o aprimoramento do artefato? O impacto das unidades no mundo real alimenta a teoria? Como o conhecimento empírico se relaciona ao científico? Estas, são algumas das perguntas que motivaram o autor a buscar a academia para desenvolver esta dissertação. Deseja-se convergir estas duas vertentes do conhecimento sobre a modularidade através do rigor de um método científico verificável.

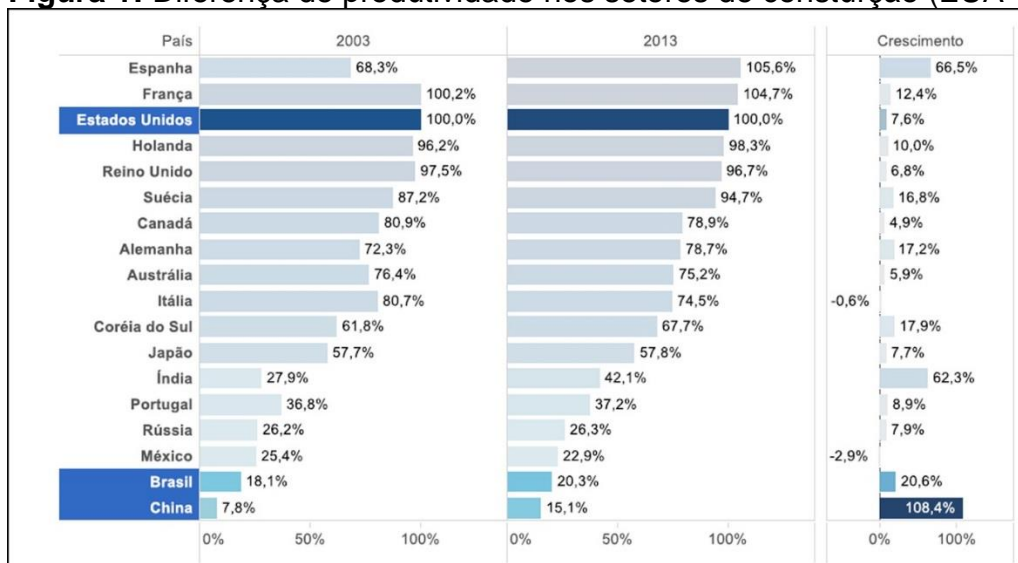
1.1 Problema de Pesquisa

“A adoção de novas tecnologias no Brasil passou por mais de duas décadas de pouco desenvolvimento. Máquinas foram incorporadas ao canteiro, mas a execução permaneceu predominantemente artesanal. (...)” (RIBEIRO & MICHALKA, 2003, p. 102, grifo nosso). O canteiro de obras concentra, portanto, um processo de transformação de materiais básicos em sistemas complexos que constituem um edifício. Este modelo de fabricação artesanal *in loco* do país é sustentado por inúmeras horas de trabalho, desperdícios, perda de precisão e riscos.

O canteiro de uma obra pode ser considerado o local onde são combinados diversos recursos (trabalho, equipamentos e insumos) de modo a obter, ao final do processo produtivo, um produto final (por exemplo, uma edificação). Em outras palavras, o processo produtivo se caracteriza por “entradas” (emprego de recursos) e “saídas” (produção resultante), sendo a relação entre essas duas variáveis denominada produtividade. Portanto, elevar a produtividade significa obter uma produção mais elevada para uma dada quantidade de recursos empregados ou, de outra maneira, empregar menos recursos para uma dada produção. (CBIC & FGV PROJETOS, 2016, p. 6;)

A Figura 1, do ano de 2013, compara a produtividade do setor ligado à construção civil de diversos países. Adotando 100% para a produtividade Norte Americana, é possível inferir que o Brasil tem aproximadamente 1/5 da capacidade produtiva dos Estados Unidos. Se comparado à um país emergente como a Índia, o setor nacional tem metade da eficiência de produção.

Figura 1: Diferença de produtividade nos setores de construção (EUA = 100,0%)



Fonte: SindusCon-SP, 2013

Segundo Mello *et al.* (2009), o prazo médio para obras de edificação no Brasil é em média duas vezes maior do que nas construções europeias e três vezes o despendido nas construções norte-americanas. Esta diferença expressiva revela a importância da implementação de ferramentas e estratégias de racionalização da produção como a modularidade.

No Brasil, a indústria da construção se firmou na segunda metade do século 20, como uma indústria manufatureira com algumas particularidades e emprego intensivo de mão de obra. Apesar de alguns esforços para racionalizar e industrializar as obras, a maior parte da produção de edifícios permaneceu marcada pela baixa produtividade e elevado desperdício de materiais. (FABRÍCIO, 2013, p.3)

Para Barboza *et al.* (2011) e Mello *et al.* (2009), esta perda de eficiência é resultado direto da baixa conectividade entre os componentes que integram os edifícios. A necessidade de ajustes no local da obra devido à falta de padronização e não conformidade dos materiais gera desperdícios de tempo e recursos, além de elevar os riscos de acidentes de trabalho. Outro fator que afeta o cenário é a contratação de mão-de-obra desqualificada. O segmento no país cumpre quase que uma função social, já que emprega de maneira recorrente pessoas com pouca ou nenhuma experiência. Para Mello *et al.* (2009) isto se deve ao pouco interesse das pequenas e médias empresas de qualificar seus empregados para evitar maiores despesas com remunerações.

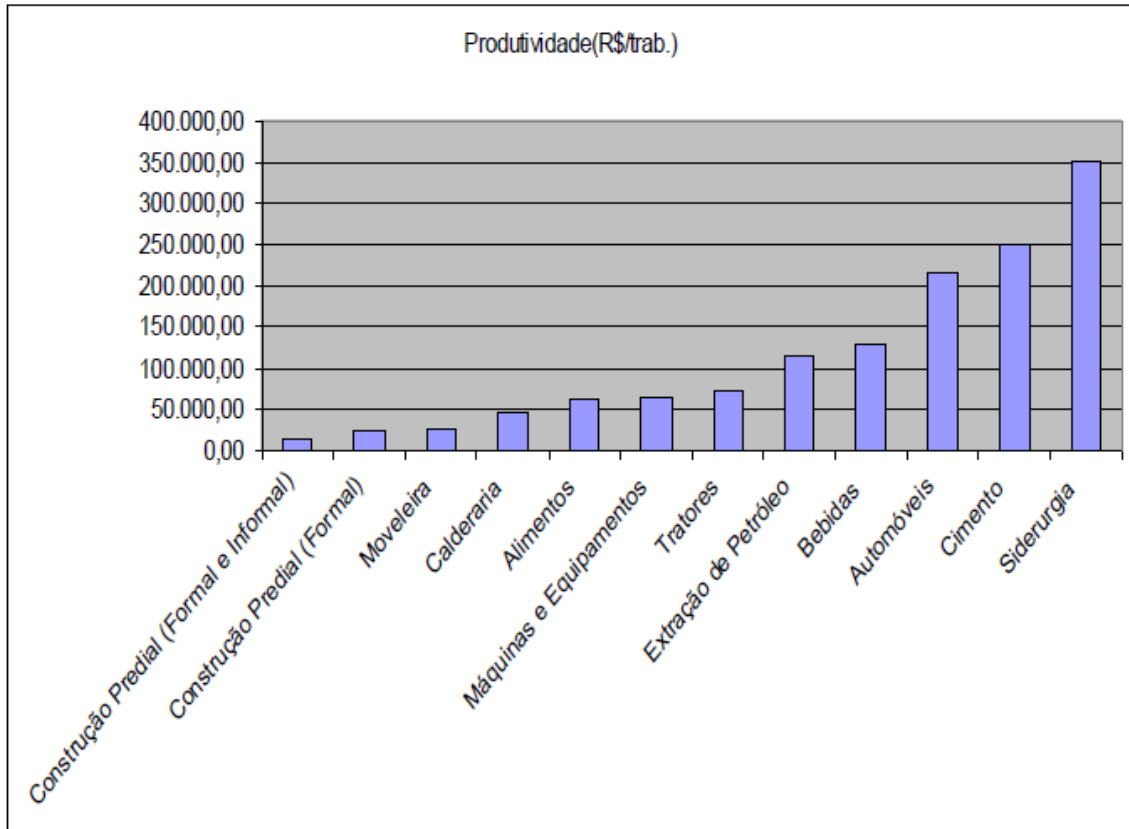
Mesmo diante destes entraves, a Câmara Brasileira de Indústria da Construção (CBIC) em um estudo¹ sobre eficiência publicado em julho de 2014, aponta a relevância do setor da construção, que sozinho representa 22% do produto interno bruto de todo o segmento industrial do país. É importante enfatizar, segundo Mello *et al.* (2009), a complexidade deste arranjo de produção que é composto por atividades heterogêneas e que geralmente responde à tipos diferentes de demanda através de processos produtivos e tecnológicos diversificados. “(...) ela abriga, desde indústrias de tecnologia de ponta e capital intensivo, como cimento, siderurgia, química, até milhares de microempresas de serviços, a maior parte com baixo conteúdo tecnológico. (...)” (MELLO *et al.*, 2009, p. 03, grifo nosso).

A Figura 2 compara a produtividade interna do Brasil, em diferentes

¹ Estudo disponível em: < <http://www.cbicdados.com.br/home/>>

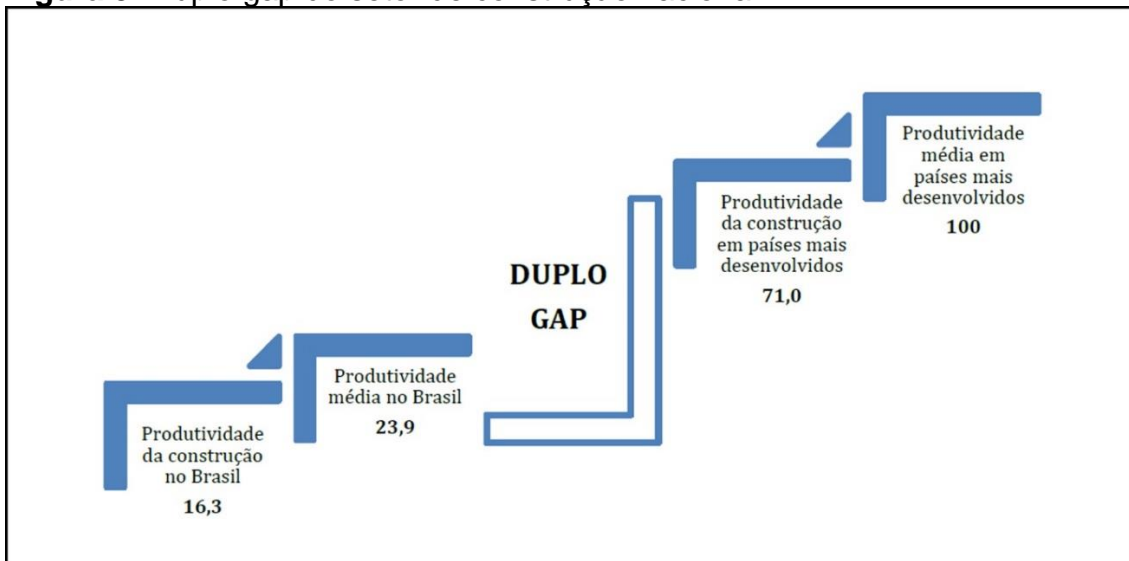
setores. É evidente o atraso da indústria da construção civil formal e informal. Esta lacuna produtiva acontece, portanto, no cenário externo e interno. A Figura 3 revela este duplo atraso. A indústria da construção civil perde se comparada com o cenário global e se comparada com a média nacional.

Figura 2: Produtividade em Diferentes Setores Industriais no Brasil.



Fonte: Mello et al., 2009

Figura 3: Duplo gap do setor de construção nacional.



Fonte: SindusCon-SP, 2013

“A indústria da construção, no Brasil, também trabalha com máquinas e guias, em grandes obras, mas tem um gritante atraso se comparada a outras indústrias, tanto em industrialização como em automação.” (RIBEIRO & MICHALKA, 2003, p. 96, grifo nosso). É necessário portanto, segundo os autores, restaurar a conexão entre construção civil e sua indústria de componentes para que o processo se torne mais uma questão de montagem tipificada e não de fabricação no local da obra. “(...) a construção civil precisa definir as suas necessidades para que sejam fabricados os componentes que permitam que o processo construtivo passe a ser um processo industrial.” (RIBEIRO & MICHALKA, 2003, p. 103, grifo nosso). O problema de pesquisa deste estudo relaciona-se, portanto, à compreensão dos impactos da modularidade na indústria da construção nacional. Espera-se que o trabalho contribua com a inovação tecnológica voltada ao aumento da produtividade no setor.

1.2 Foco e Escopo do Trabalho

Esta dissertação tem como foco verificar a possibilidade de transposição do conceito de modularidade, já empregado tradicionalmente em outras indústrias como as de software e automobilística, para o setor da construção civil especificamente. O escopo do trabalho está relacionado à compreensão dos pontos cruciais desta estratégia e quais os impactos de sua inserção na indústria da construção, desde o projeto, produção, transporte e montagem de um edifício. O objetivo é, portanto, de maneira teórica, confrontar a revisão de literatura acerca da modularidade com as análises e verificações obtidas durante o processo de projeto, fabricação, transporte e construção de um sistema estrutural pré-fabricado. Estabelece-se como meta desta pesquisa também uma contribuição tecnológica, através da elaboração de recomendações para o aperfeiçoamento do sistema estrutural modular. Características específicas da modularidade em outros setores de manufatura não serão, portanto, abordadas.

“O processo industrial da construção tem um desenvolvimento progressivo, análogo ao que têm experimentado outras indústrias. Certos conceitos e hábitos impedem o processo e precisam ser abandonados.” (RIBEIRO & MICHALKA, 2003, p. 96, grifo nosso) Normas em vigor como a ABNT NBR 15873:2010 que

estabelece regras para a coordenação modular de medidas são consideradas segundo Mello *et al.* (2009) menos importantes do que as estratégias comerciais de diferenciação e exclusividade entre empresas. A inserção da modularidade representa, portanto, a quebra do paradigma organizacional predominante na indústria da construção do país.

1.3 Pressupostos

O trabalho adota como pressuposto que o impacto da modularidade no projeto, produção, transporte e montagem do ambiente construído traga economias significativas de recursos e tempo. Espera-se que a estratégia facilite o diálogo entre projetistas e fabricantes, tornando a construção uma atividade mais tipificada e menos artesanal. “(...) a construção industrializada é um campo de atividade em que é estritamente necessária uma estreita colaboração entre quem projeta e quem vai produzir, desde as primeiras fases do projeto.” (RIBEIRO & MICHALKA, 2003, p. 100, grifo nosso).

Admite-se neste estudo que o deslocamento do trabalho manual do canteiro para dentro da indústria permita uma maior precisão e controle na transformação do projeto em ambiente construído. “A essência da industrialização é produzir um objeto sem mão de obra artesanal, com máquinas utilizadas por operários especializados.” (RIBEIRO & MICHALKA, 2003, p. 96, grifo nosso). Portanto, pressupõe-se que este movimento de pré-fabricação orientado pela modularidade eleve o grau de industrialização aberta no setor.

1.4 Estratégia da Pesquisa

O método Design Science Research será adotado como base para o desenvolvimento da pesquisa pois faz convergir naturalmente o conhecimento científico com o empírico. Segundo Rocha (2012), o método se estrutura em etapas bem definidas, mas que admitem posições cíclicas de retroalimentação. O Design Science relaciona fenômenos artificiais para resolver problemas de ordem prática. Esta

manipulação controlada do mundo real retroalimenta a teoria base que estruturou o artefato, o que segundo o autor, contribui para o avanço científico geral.

Kasanen (1993) explica que a primeira etapa do método consiste em encontrar um problema com relevância prática e com potencial de pesquisa. Esta dissertação, portanto, apresenta em um primeiro momento o cenário que justificou o desenvolvimento do trabalho: A adoção da modularidade na indústria da construção. O delineamento do problema de pesquisa gera a seguinte questão genérica: Como a adoção da estratégia da modularidade afeta o projeto, produção, transporte e montagem do ambiente construído? O estabelecimento desta pergunta inicial permitiu que se mantivesse o foco durante todo o processo de aprendizagem.

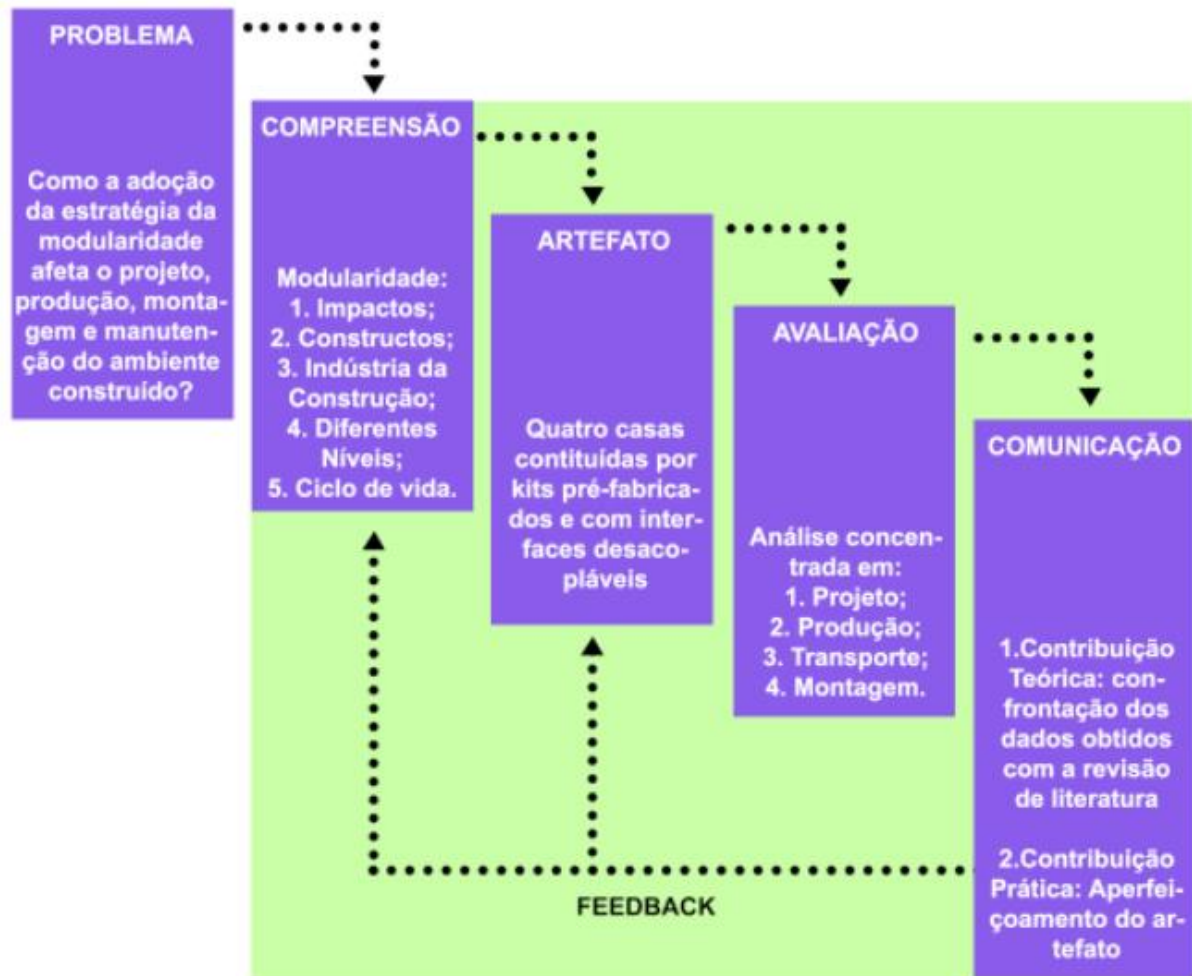
Lukka (2003) afirma que o segundo passo estruturante do método é compreender o problema a partir de uma perspectiva prática e teórica. A revisão de literatura volta-se, portanto ao aprofundamento dos conceitos-base da modularidade que serão retroalimentados ao final da fase de avaliação.

Segundo Kasanen (1993) a terceira etapa consiste em inovar, ou seja, construir uma solução experimental. A participação prévia do autor em um projeto voluntário permitiu que no ano de dois mil e dezessete, quatro residências fossem entregues na comunidade da barra do rio São Lourenço no Pantanal. Estes quatro protótipos foram projetados e pré-fabricados em forma de um kit montável simplificado de interfaces acopláveis.

A quarta etapa consiste em avaliar, segundo March e Smith (1995) a performance dos artefatos no mundo real. Os impactos dos protótipos serão avaliados através da adoção de protocolos rastreáveis imparciais que envolverão: fotografias, questionários, entrevistas, medições e observações. A avaliação será concentrada no impacto da modularidade no projeto, fabricação, transporte e montagem dos artefatos.

Abstração, que segundo Kasanen (1993) deve apresentar a conexão entre a proposta e a teoria, enfatizando a contribuição gerada pela pesquisa. Após colhidos os dados referentes ao impacto do artefato no mundo real, eventuais falhas e efeitos não conhecidos da relação modularidade – desempenho real no tocante às questões específicas estabelecidas neste trabalho serão enfatizadas. Como revela a Figura 4, o mecanismo da pesquisa prevê que a experiência retroalimenta a teoria e prática que deram origem à esta dissertação. Espera-se que esta ciência do artificial contribua para convergir o conhecimento empírico com o científico do tema.

Figura 4: Representação do Processo da Pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

1.5 Estrutura de Apresentação do Trabalho

Esta pesquisa está estruturada em seis capítulos. O primeiro teve início com a apresentação do contexto geral que motivou o trabalho. A partir desta contextualização, o problema central foi detalhado e justificado. O foco e escopo delimitaram a área abordada e apresentaram as metas a serem alcançadas. A partir de então, enunciou-se o pressuposto geral da pesquisa. Por fim, a questão geral orientadora, bem como a justificativa e as etapas do método científico adotado foram relacionadas em um delineamento já contextualizado em forma de diagrama.

O segundo capítulo apresenta os conceitos fundamentais relacionados à modularidade. Inicia-se com a apresentação geral da estratégia e seus impactos no produto, na organização da produção e na construção do conhecimento. Logo após, os constructos mais importantes que se relacionam à modularidade são explicados. Por fim, a revisão de literatura se afunila e relaciona o termo com a indústria da construção especificamente. São exemplificados os diferentes níveis de manifestação da estratégia e como ela se relaciona durante o ciclo de vida do produto.

O terceiro capítulo trata do design experimental do artefato. Inicia-se com a apresentação dos aspectos pré-projetuais como as restrições específicas, a pesquisa de campo e o design colaborativo. A partir de então, o leitor é convidado a compreender os aspectos projetuais como a definição dos materiais, módulos, interfaces e sistemas. Todas as decisões tomadas durante o processo de projeto serão esclarecidas e justificadas.

O quarto capítulo concentra a coleta de informações e análises do impacto do artefato projetado e construído no mundo real de acordo com os princípios da modularidade. Como resultados da pesquisa, as verificações englobam as etapas do projeto, indústria, transporte e montagem. Os dados serão obtidos a partir de um questionário elaborado em conjunto com uma pesquisadora convidada. Ao final do capítulo, será apresentado um quadro que identificará os principais problemas em cada etapa e os relacionará com possíveis soluções.

O quinto capítulo desta dissertação apresenta a contribuição teórica, obtida a partir da identificação de divergências diante da confrontação da teoria especializada com os dados coletados. A discussão avançará pelos seguintes temas: os módulos e interfaces na indústria da construção, a relação entre cheios e vazios, o nível de modularização e por fim, a flexibilização do processo construtivo.

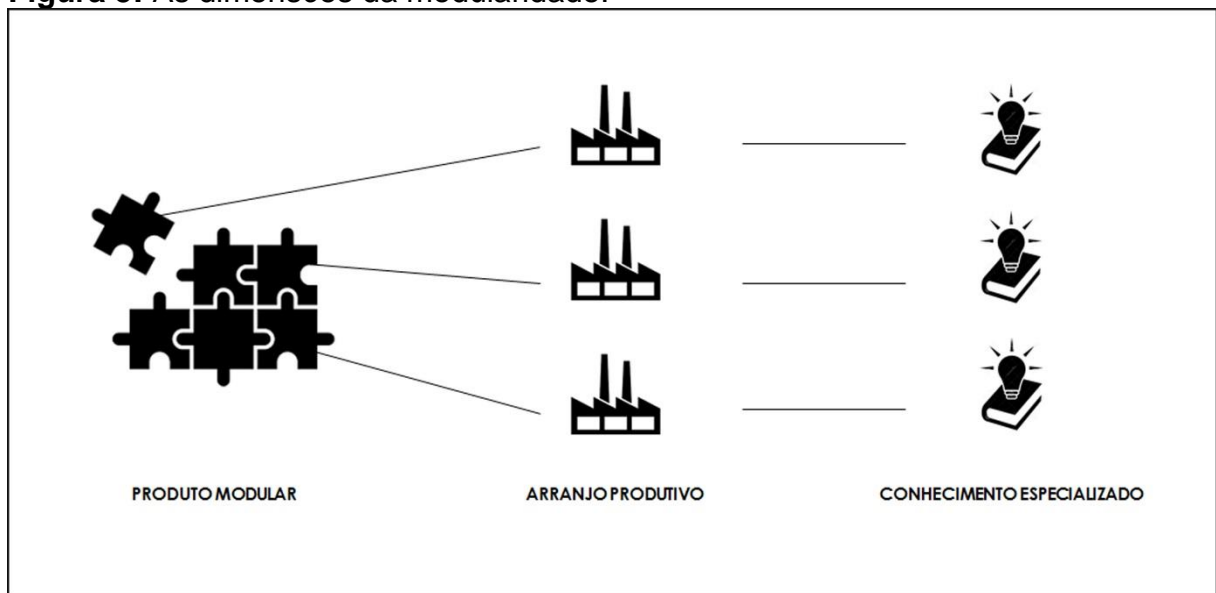
Por fim, o sexto capítulo irá apresentar a conclusão, que retoma os principais pontos do trabalho, sintetizando o essencial, além de propor possíveis linhas futuras de pesquisa.

CAPÍTULO 2
MODULARIDADE

2. MODULARIDADE

Com base na literatura é possível afirmar a existência de princípios modulares que orientam estrategicamente o processo de projeto de um determinado produto e que revelam segundo O'Connor *et al.* (2014) benefícios que excedem a soma modular aditiva. Segundo Gosling *et al.* (2016), Carnevalli *et al.* (2012), Langlois (2002) e Gershenson *et al.* (2003), a modularidade é uma estratégia para organizar eficientemente processos e produtos complexos. É uma forma especial de concepção que para Sanchez e Mahoney (2017) cria de maneira intencional um elevado grau de independência entre as partes que compõe um sistema. Conforme revela a Figura 05, este movimento de decomposição pode, segundo Cohendet *et al.* (2005), se manifestar em três dimensões: no produto, na organização da produção e na construção do conhecimento.

Figura 5: As dimensões da modularidade.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

“O princípio da decomposibilidade dos sistemas aprofunda a compreensão da arquitetura da complexidade, seja o sistema em questão físico, biológico, social ou econômico. (...)” (SANCHEZ & MAHONEY, 2017, p. 73, tradução nossa). A modularidade decompõe produtos, processos e fenômenos em partes fracamente acopladas. Esta abordagem ainda segundo os autores, facilita a

manipulação de estruturas em constante evolução. Frigant (2004) aponta que a estratégia é uma poderosa ferramenta redutora de complexidade.

“(...) No domínio dos artefatos tangíveis e montados, um sistema de produto é modular na medida em que seus componentes separáveis, ou módulos, são combináveis. (...)” (SALVADOR, 2007, p. 219, grifo nosso). Portanto, a modularidade no produto se manifesta, segundo Henriques e Miguel (2017), em dois critérios. O dos módulos ou elementos que compõe o produto e a da relação entre estes elementos através de padrões e regras.

Para Gershenson *et al.* (2003), o produto é modular quando constituído por módulos facilmente desacopláveis que podem ser reorganizados, misturados e combinados graças às interfaces padronizadas. Isto acontece devido à capacidade de uma parte específica do produto ser separada sem prejuízo no seu desempenho funcional. Estas partes são projetadas e produzidas separadamente, mas devem funcionar como um todo integrado quando acopladas na organização do produto. A modularidade é uma estratégia que implica na adoção de regras, parâmetros e classificações.

Salvador (2007) enfatiza ainda a existência de classificações diferentes de modularidades de produto. Existem módulos funcionais que são porções do sistema que desempenham ações técnicas específicas e módulos de produção, que são porções do produto definidas por facilidades de produção. Segundo o autor, um microprocessador é um típico exemplo de um produto composto de módulos funcionais. Dentro do chip de silicone diferentes partes desempenham atividades distintas como armazenagem de dados ou cálculos aritméticos. O cortador de unha é um exemplo de produto constituído por módulos de produção, já que as diferentes partes metálicas separadas não apresentam função separadamente, mas apenas quando acopladas no produto final.

A modularidade na produção, segundo Frigant (2004), implica no fim do modelo da indústria de manufatura verticalmente integrada. A estratégia permite que as partes que constituem um produto possam, segundo Carnevalli *et al.* (2012), ser projetados e fabricadas de maneira independente. A fabricação do produto não precisa acontecer em um mesmo local, nem por uma mesma empresa. A Estrutura de coordenação e divisão do trabalho passa a ser, segundo Cohendet *et al.* (2005), desintegrada e cercada de fornecedores especializados.

Tabela 1: Definições de sistemas modulares de produto e produção.

Sistema	Divisão	Composição dos Módulos	Nível de Modularidade
Modular de produto (ponto de vista funcional)	Produto em módulos	Características ou funções definidas no desenvolvimento do produto	Definido através das relações entre os módulos e quantidade de funções
Modular de produção (ponto de vista físico)	Processo em Módulos	Fabricação e/ou montagem de componentes e/ou subconjuntos físicos	Definido através das relações entre os fornecedores e montadoras.

Fonte: Adaptado de Henriques e Miguel, 2017.

Para Salvador (2007), este fenômeno só é possível graças à separabilidade dos componentes que o constituem. A Tabela 1 sintetiza as características da modularidade no produto e produção. Nota-se que na dimensão do artefato, as relações ocorrem entre os módulos, já na produção a relação principal ocorre entre fornecedores.

O processo de construção e troca de conhecimentos sustentado pela modularidade segundo Cohendet *et al.* (2005) também é fragmentado. O impacto disto é a especialização, já que os diferentes componentes do produto são concebidos e fabricados separadamente. Produtos integrais dificultam este trânsito de conhecimento entre empresas devido à complexidade. A especialização permite que o conhecimento se construa com mais profundidade e velocidade. Portanto, a fragmentação no produto e manufatura facilita em última instância a construção e troca de conhecimentos específicos.

2.1 Impactos da Modularidade

Para Gershenson *et al.* (2003), os benefícios da modularidade se devem à flexibilização da concepção, manufatura e uso de um produto. Do ponto de vista da engenharia de produção, “flexibilidade é a capacidade de mudar ou se adaptar com o mínimo esforço e de maneira mais econômica possível.” (ULRICH 1995, p. 428) Esta propriedade permite segundo Cohendet *et al.* (2005) uma resposta rápida e barata frente às alterações inesperadas.

“(…) Como as empresas se esforçam para racionalizar suas linhas de produção e fornecer uma crescente diversidade de produtos a um custo menor, o conceito de modularidade ganhou atenção. (…)” (GERSHENSON *et al.*, 2004, p. 33, grifo nosso) De acordo com Schilling (2000), a velocidade da mudança tecnológica

torna obsoletos os produtos que não são capazes de se adaptar. Ulrich (1995) exemplifica este potencial com um modelo de reboque. Com apenas doze módulos padrões disponíveis é possível obter cento e oito produtos diferentes.

O uso de componentes padrão pode reduzir a complexidade, o custo e o prazo de desenvolvimento do produto. Um componente padrão existente representa uma entidade conhecida e, portanto, reduz o número de problemas incertos que a equipe de desenvolvimento deve enfrentar. Um componente padrão também não requer recursos de desenvolvimento. (...) (ULRICH, 1995, p. 432; tradução nossa)

A flexibilidade da manufatura modular traz vantagens no nível da concepção. Segundo Ulrich (1995), Gershenson *et al.* (2003) e Gosling *et al.* (2016) a estratégia reduz o tempo de desenvolvimento de um novo produto pois permite a reutilização dos módulos no nível de multiprojetos. Hofman *et al.* (2009) enfatiza a liberdade nos casos de avanços tecnológicos heterogêneos. O autor cita como exemplo a indústria de computadores. A velocidade da atualização dos microprocessadores é maior do que a de periféricos como por exemplo, o teclado. Se os sistemas fossem intimamente ligados, a indústria teria que redesenhar o teclado junto com cada mudança do processador.

“Essas regras de design permitem que um projetista modifique uma parte de um sistema sem precisar se comunicar e envolver designers de outras partes. (...)” (HOFMAN *et al.*, 2009, p. 34, grifo nosso), Gershenson *et al.* (2003) enfatiza que devido à padronização das interfaces, o design de diferentes partes do produto pode acontecer de maneira simultânea. Esta vantagem reduz o tempo de desenvolvimento de novos projetos. Ainda segundo o autor, é possível novas atualizações ou *upgrades* em produtos já vendidos através da substituição de módulos da mesma família.

Outra facilidade de projeto segundo Gershenson *et al.* (2003) são os testes controlados. Devido à independência das partes, não é preciso analisar o produto completo. A modularidade permite à engenharia, testes específicos e com resultados mais precisos. “(...) Os subsistemas desacoplados reduzem o tempo e os custos de desenvolvimento e fornecem uma solução que oferece projetos personalizados a preços aceitáveis. (...)” (HOFMAN *et al.*, 2009, p. 34, grifo nosso).

Na maioria das circunstâncias, um componente padrão é menos caro do que um componente projetado e construído para uso em apenas um produto. Este menor custo é possível principalmente porque o componente padrão será produzido em maior volume, permitindo maiores economias de escala e mais aprendizado. Um volume maior de componentes também pode atrair vários

concorrentes que exercem pressão de preços um sobre o outro. No entanto, existem algumas circunstâncias em que o uso de um componente padrão pode acarretar custos unitários mais elevados do que o uso de um componente especial. Às vezes, em um esforço para padronizar, empresas usarão um componente com capacidade em excesso para uma aplicação específica. (...) (ULRICH, 1995, p. 431; Tradução do autor)

No nível da produção do componente, Gershenson *et al.* (2003) aponta a diminuição do tempo de fabricação e conseqüente prazo de entrega. A decomposição na manufatura abre possibilidade para a engenharia reversa. Isto inibe que grandes corporações detenham o complexo conhecimento da produção de um produto integral e abre caminho para pequenos fornecedores se especializarem em partes específicas da produção. Para Schilling (2000) a competitividade e busca pela diferenciação entre os fornecedores reduz custos e eleva a qualidade dos módulos. “O uso da modularidade significa o compartilhamento de riscos com os fornecedores de primeiro nível. (...)” (RODRIGUES *et al.* 2012, p. 369, grifo nosso) Os benefícios incluem a responsabilidade pela assistência técnica, alterações no projeto do produto e solução de problemas de desempenho.

Para Brusoni e Prencipe (2001) o produto modular permite que a coordenação entre empresas seja alcançada com o mínimo de esforço gerencial. “(...) As especificações funcionais podem ser definidas pelo comprador do componente, enquanto as especificações detalhadas da engenharia podem ser deixadas para o fornecedor do módulo.” (HOFMAN *et al.* 2009, p. 34, grifo nosso) A modularidade na produção implica, portanto, na divisão de riscos e responsabilidades.

Para Schilling (2000) a variabilidade permite que a empresa atenda nichos específicos de mercado. Rocha *et al.* (2015) enfatiza que as exigências específicas do mercado modificam o arranjo dos módulos em um sistema. Esta variabilidade proporcionada pela própria arquitetura do produto associada às demandas pontuais dos consumidores originam a customização dos produtos, porém sem resultar em impactos nas linhas de produção e com menores valores adicionais. Atinge-se assim o conceito da customização em massa.

Por fim, durante o uso do produto a modularidade, segundo Rocha *et al.* (2018) e Gershenson *et al.* (2003), facilita a manutenção. Componentes defeituosos podem ser facilmente identificados, descartados e adquiridos sem prejuízo ao sistema. Para Salvador (2007) outra vantagem é a possibilidade de alterações do sistema devido às mudanças de preferências do consumidor.

Gershenson *et al.* (2003) afirma que o produto modular é mais reciclável do que um produto integral pois pode ser reutilizado por outros consumidores tanto na sua configuração inicial quanto em partes. Ainda permite o descarte específico e facilita a reciclagem, pois permite que o desmonte seja mais específico.

Tabela 2: Benefícios da modularidade identificados na literatura.

Benefícios	Características	Referências
Variedade de produtos finais	Ampla variedade de produtos finais a partir de um número limitado de módulos, que podem ser montados em diferentes configurações	Doran e Hill (2008), Rozenfeld et al. (2006), Arnheiter e Harren (2005), Chen e Liu (2005), Sanchez e Collins (2001), Ulrich e Eppinger (2000), Baldwin e Clark (1997) e Sanchez e Mahoney (1996)
Flexibilidade da produção	Os módulos podem ser pré-montados em linhas separadas em vez de serem montados em sequência na linha de montagem final	Rozenfeld et al. (2006), Worren, Moore e Cardona (2002), Sako e Murray (2000) e Baldwin e Clark (1997)
Redução do tempo de desenvolvimento do produto	Os projetos dos módulos podem ser realizados quase que de forma independente dos outros módulos, além de utilizar soluções já desenvolvidas para outros	Rozenfeld et al. (2006), Baldwin e Clark (1997) e Ulrich (1995)
Produtos customizados	Fornecer produtos conforme requisitos dos clientes	Arnheiter e Harren (2006), Persson (2006, 2004)
Economia de escala	Padronização de componentes (reuso de componentes)	Wu, De Matta e Lowe (2009), Eggen (2003), Mikkola (2003) e Krishnan e Gupta (2001)
Prestação de serviços	Assistência técnica e solução de problemas de qualidade na linha	Salerno, Camargo e Lemos (2008)
Compartilhamento de riscos	Os investimentos das montadoras são compartilhados com os fornecedores de 1º nível	Salerno, Camargo e Lemos (2008) e Doran (2004), Mikkola (2003)
Redução de custos de produção	Reduzir custos de montagem e investimentos em equipamentos	Arnheiter e Harren (2005), Chen e Liu (2005), Doran (2004) e Collins, Bechler e Pires (1997)
Possibilidade de terceirização	O uso da arquitetura modular favorece a terceirização	Doran e Hill (2008) e Takeishi e Fujimoto (2003)
Redução dos níveis de estoque	Os estoques são transferidos para os fornecedores	Salerno et al. (2009) e Doran e Hill (2008)
Customização em massa	Ganhos de escala em função da padronização	Blees e Krause (2008), Arnheiter e Harren (2005) e Worren, Moore e Cardona (2002)
Redução da base de fornecedores	Simplificação da rede de fornecimento pelo agrupamento de componentes em módulos	Arnheiter e Harren (2006), Baldwin e Clark (1997) e Collins, Bechler e Pires (1997)
Redução de custos	Custos de desenvolvimento do produto e produção (aumentar a produtividade)	Arnheiter e Harren (2005), Doran (2004) e Collins, Bechler e Pires (1997)
Redução da base de fornecedores	Simplificação da cadeia de suprimentos	Doran (2005), Baldwin e Clark (1997) e Collins, Bechler e Pires (1997)
Customização em massa	Ganhos de escala em função da padronização	Blees e Krause (2008) e Arnheiter e Harren (2005)

Fonte: Rodrigues et al., 2012

A Tabela 2 (Rodrigues *et al.* 2012), sintetiza a partir da literatura especializada as principais vantagens da modularidade tanto na concepção, manufatura e uso de um produto. Langlois (2002) afirma que a modularidade está cada vez mais em evidência como estratégia para lidar com a crescente complexidade tecnológica da produção. Porém, apesar dos benefícios, em algumas circunstâncias específicas a adoção da modularidade não é apropriada. Ambientes de pouca ou lenta mutação de produtos,

com baixa variabilidade estão adaptados aos processos produtivos mais verticais. Não há, portanto, uma regra específica, nem uma verdade absoluta. A adoção da modularidade nas três dimensões deve ser avaliada individualmente em cada situação. Nos casos em que a variabilidade dos produtos é relevante, ainda segundo Langlois (2002) o maior problema não é a decisão de adotar ou não a estratégia, mas sim como alcançar a modularidade. Qual será a estrutura do sistema? Quais limites de encapsulamento produzirão o arranjo mais claro de decomposição do produto?

Entre os principais obstáculos para a adoção da modularidade estão, segundo a Tabela 3 de Rodrigues *et al.* (2012), o completo reprojeto do produto. Não existe possibilidade de adaptação ou meios caminhos. O produto modular é resultado de um projeto específico que envolve tempo, recursos e riscos. Este esforço extra na concepção está ligado às dificuldades do gerenciamento das interfaces e a perda do conhecimento acumulado anteriormente em um movimento de dependência por parte de fornecedores. Viana *et al.* (2017) sugere que esta interdependência das partes de um produto se torna uma fonte de incertezas, pois torna mais obscuro o entendimento acerca do impacto de uma única mudança na arquitetura do produto como um todo

Os componentes padrão, em geral, exibem desempenho mais alto (para um determinado custo) do que designs exclusivos. Essa vantagem de desempenho decorre do aprendizado e da experiência que o fornecedor de componentes é capaz de acumular. No entanto, a padronização pode atuar como uma força inercial para que as empresas adotem uma tecnologia melhor devido a problemas de compatibilidade na base instalada de produtos. (...) (ULRICH, 1995, p. 432; tradução nossa)

Para Ulrich (1995), o uso dos módulos padrão também traz riscos de inércia. Para uma empresa é mais fácil adotar um componente testado e consagrado pelo mercado do que assumir o risco de aperfeiçoá-lo. Este conforto cria um comodismo no nível do design que prejudica o avanço da tecnologia como um todo.

Tabela 3: Dificuldades na adoção da modularidade identificadas na literatura.

Dificuldades	Referências
Completo reprojeto do produto	Pandremenos et al. (2009), Takeishi e Fujimoto (2001)
Esforço extra de projeto	Rozenfeld et al. (2006)
Gerenciamento de tolerâncias (interfaces)	Pandremenos et al. (2009), Takeishi e Fujimoto (2001)
Alto custo de manutenção/substituição	Pandremenos et al. (2009), Persson (2004)
Perda de conhecimento específico	Pandremenos et al. (2009), Chesbrough e Teece (1996)
Aumento da dependência do fornecedor	Frigant e Lung (2002)

Fonte: Adaptado de Rodrigues et al., 2012

Particularmente, a indústria da construção apresenta características que dificultam a inserção da estratégia modular. Rocha *et al.* (2015) deixa claro que muito trabalho deve necessariamente ser feito antes no terreno, como escavações e fundações. Além disto, é necessária uma fase de acabamento que normalmente é concluída após a montagem dos módulos afim de corrigir eventuais danos durante o processo de montagem. O produto não é, portanto, concebido por simples acoplamento. A lacuna oriunda da falta de diálogo e interação entre empresas ligadas à indústria da construção civil é segundo Hofman *et al.* (2009) uma das principais razões para as dificuldades de inovação e ganho de eficiência. Este cenário traz dificuldades em acumular e disseminar o aprendizado corporativo entre projetos. O processo de manufatura personalizado nega os benefícios e oportunidades de operar em escala e através de padrões já consagrados e testados.

Ulrich (1995) afirma que o uso de módulos padronizados permite a redução de custos do produto, dos esforços de projeto além de garantir um alto desempenho do sistema. Por exemplo, quando uma empresa produz um rádio portátil, não há necessidade de projetar um sistema novo de bateria. Basta que o aparelho tenha interfaces que permitam o acoplamento do módulo de energia. É evidente que as pilhas vão ter uma performance melhor e um custo mais baixo do que se a empresa fosse desenvolver um módulo de energia do início.

A padronização deve ser trazida para a indústria da construção. Não há, por exemplo, necessidade de projetar janelas em cada novo projeto. Não é preciso começar sempre do zero. Projetar passa a ser uma questão de escolhas e não uma árdua tarefa de risco. A modularidade cria de fato um ecossistema ao redor do produto em que cada fornecedor passa a ser um especialista.

2.2 Constructos da Modularidade

2.2.1 O Módulo

Não existe, segundo Salvador (2007), um consenso acerca da definição dos critérios que definem um módulo. Esta ambiguidade tem origem na própria diversidade com que ele pode ser empregado. Em indústrias químicas por

exemplo, diferentes moléculas podem ser consideradas módulos. Na construção, materiais básicos como tintas ou até mesmo banheiros prontos podem ser adotados como módulos. Portanto, estas diferenças de complexidade e o nível de integração com o produto geram conceituações divergentes.

Este trabalho admite o módulo como uma parte do sistema que segundo Ulrich (1995) e Salvador (2007), desempenha uma função específica e que de acordo com Gershenson *et al.* (2003) pode ser removida de forma não destrutiva do produto. Portanto, o módulo é uma solução funcional para um problema específico de projeto que pode ser usado muitas vezes e em sistemas distintos através de interfaces padronizadas. Assim, a complexidade relativa com que o módulo se apresenta no sistema estará ligada às questões específicas do projeto e não será adotada como critério de classificação.

A independência do módulo e as suas diferenças de função oferecem variabilidade ao sistema de produto. “No mínimo, um módulo deve ser uma parte de pelo menos uma variante de produto dentro de um sistema de produto. (...)” (SALVADOR, 2007, p. 227, grifo nosso). O módulo, portanto, tem implicações físicas enquanto a modularidade está ligada à estratégia.

2.2.2 As Propriedades dos Módulos

“(...) Um único produto, portanto, não é a unidade de análise apropriada para a modularidade do produto. A modularidade será necessariamente uma propriedade de um conjunto de produtos, ou seja, um sistema de produto.” (SALVADOR, 2007, p. 226, grifo nosso). Para que esta análise do comportamento do módulo no sistema possa ser feita, segundo Schilling (2000), o componente deve apresentar como premissa a separabilidade. Esta propriedade prevê a integridade funcional do módulo quando passa por um ciclo de desacoplamento e acoplamento. A seguir, cinco comportamentos do módulo, diante do sistema de produto, serão analisados, a compatibilidade, a substituibilidade, a comonalidade, a independência e a divisão da estrutura do produto.

A compatibilidade, segundo Salvador (2007), é o potencial que o módulo tem de se combinar com outros no mesmo produto. “(...) O nível mais alto de

compatibilidade é alcançado quando todas as combinações possíveis de todos os módulos disponíveis podem ser feitas. (...)” (SALVADOR, 2007, p. 230, grifo nosso). Este fenômeno só é possível quando todos os componentes apresentam as mesmas interfaces. Em termos práticos, este grau de compatibilidade na arquitetura do produto é inatingível e até mesmo indesejável, pois restringe uma possível organização hierárquica de interação entre as partes.

Provavelmente, o entendimento mais direto da modularidade do produto é a combinabilidade. De acordo com essa visão, os produtos são modulares quando diferentes configurações de produto podem ser obtidas por mistura e posicionamento obtidos a partir de um conjunto limitado de módulos. (...) (SALVADOR, 2007, p. 223, tradução nossa)

A combinabilidade, segundo Henriques e Miguel (2017), é a capacidade que o módulo tem, através da padronização de suas interfaces, de se organizar diferentemente para atender exigências específicas do mercado a partir de um número limitado de componentes-base. Para Salvador (2007), quando as interfaces são reversíveis, isso significa que o acoplamento entre os módulos é solto o suficiente para permitir o descolamento rápido e simples dos módulos. Segundo Salvador (2007) é a substituibilidade que permite a existência de diferentes produtos enquanto minimiza as diferenças entre os módulos. A consequência desta característica é a variabilidade no produto que impacta o consumidor.

A comonalidade, segundo Henriques e Miguel (2017), é a capacidade de um módulo transitar entre diferentes linhas ou famílias de produtos. É, portanto, o compartilhamento de módulos entre diferentes produtos ou empresas. Este mesmo fenômeno também é citado por Ulrich (1995) mas como padronização. Exemplos comuns de comonalidade ou estandardização são os pneus, lâmpadas, baterias ou resistores. Esta característica permite a redução de custos e aumento da produção em escala.

A independência nos sistemas modulares corresponde, segundo Salvador (2007), à capacidade de quebra ou desmembramento do produto em unidades menores ou módulos. Ainda segundo o autor, este atributo permite que um sistema complexo seja decomposto em partes mais fáceis de entender, conceber e produzir. O impacto desta característica afeta a produção.

A divisão da estrutura de produto para Henriques e Miguel (2017) corresponde à decomposição funcional do sistema. O mapeamento das funções

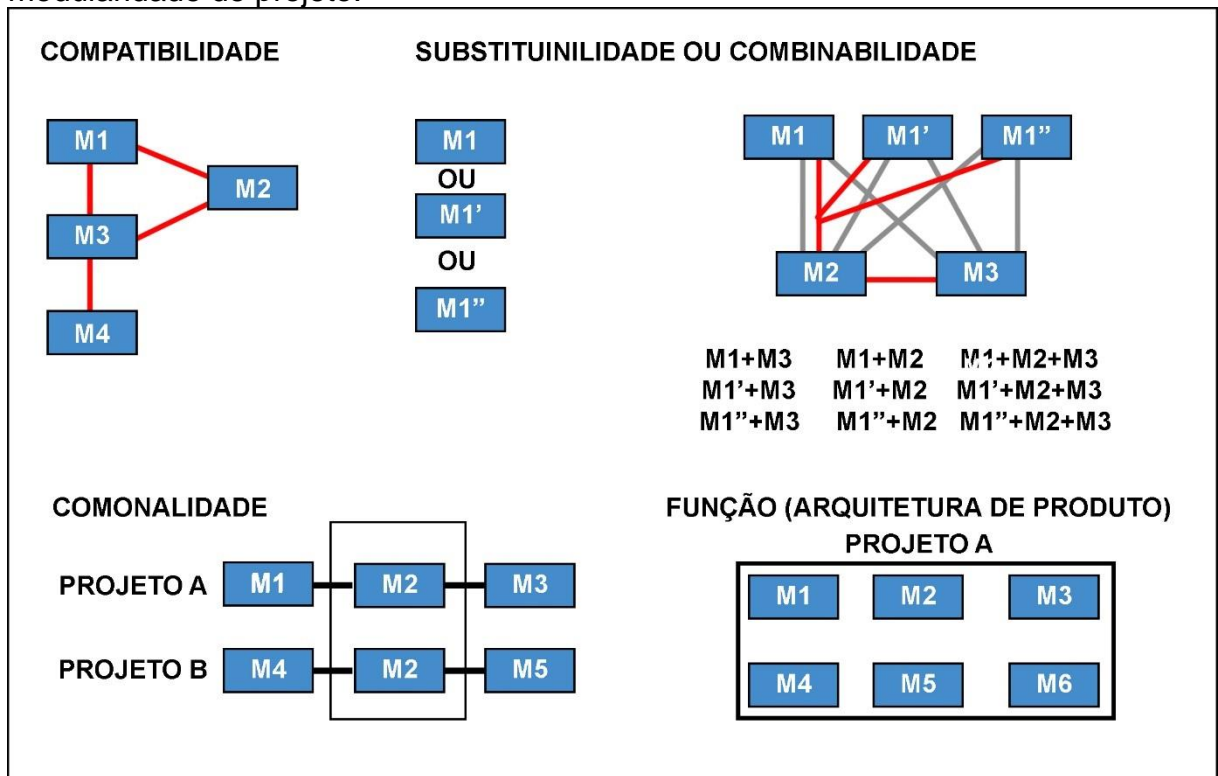
permite a compreensão e desenvolvimento dos módulos. Ulrich (1995) aponta que esta leitura do produto é fundamental para a conceber um produto de arquitetura modular. A Tabela 4 e a Figura 6 sintetizam estes principais conceitos apresentados.

Tabela 4: Elementos conceituais (constructos) em modularidade de projeto.

Possíveis relações entre os módulos no desenvolvimento de produto	Significado
"Compatibilidade" (Compatibility ou interface standardization)	Existência de interfaces compatíveis para "ligação" dos módulos, interface padronizada
"Substituibilidade" (Substitutability ou component combinality)	Existência de diferentes modelos de um mesmo módulo, a combinação de diferentes módulos resulta em variabilidade para um modelo
"Comonalidade" (Sharing ou commonality)	Intercambialidade de módulos entre a família de produto
"Independência" (Loose coupling)	Um sistema que pode ser particionado em unidades menores (módulos), podendo ser projetado independentemente
Divisão da estrutura de produto (Function binding)	Descreve o produto em termos de suas funções, é o mapeamento de funções para componentes físicos

Fonte: Adaptado de Henriques e Miguel, 2017

Figura 6: Aspectos relacionais dos módulos sob a perspectiva de cada elemento da modularidade de projeto.



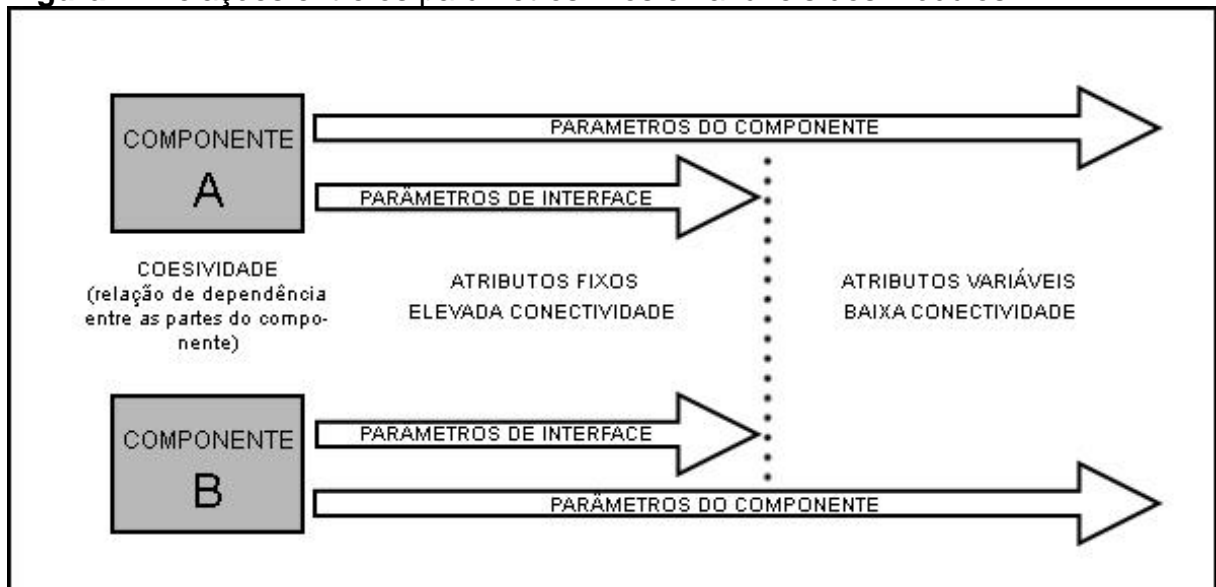
Fonte: Adaptado de Henriques e Miguel, 2017

2.2.3 As Interfaces

A Figura 7, adaptada de Salvador (2007), revela as regras de *design* que existem nos sistemas modulares. Dentro de um elemento existem parâmetros estabelecidos que permitem o acoplamento e desacoplamento. Estas são as porções imutáveis dos módulos ou interfaces. Elas funcionam como uma cola que garante a coesão e comunicação dentro do sistema modular.

A parcela restante exerce uma função específica que pode ser aperfeiçoada pelo fabricante. A variabilidade se manifesta apenas nesta parte do módulo, mas impacta diretamente o desempenho do produto final. Portanto, “(...) a maneira como os módulos vão juntos (interface) é uma faceta fundamental da modularidade do produto.” (GERSHENSON *et al.* 2003, p. 298, grifo nosso).

Figura 7: Relações entre os parâmetros fixos e variáveis dos módulos.



Fonte: Adaptado de Salvador, 2007

A adoção de interfaces padronizadas entre os módulos segundo Cohendet *et al.* (2005) e Sanchez e Mahoney (2017) torna independentes os processos de concepção dos componentes. Esta separação permite o desenvolvimento de estruturas produtivas dispersas geograficamente. A quebra do sistema vertical de produção do produto permite uma cadeia de fornecedores horizontal e mais competitiva. A livre concorrência favorece o aperfeiçoamento técnico e a redução de custos dos módulos que impacta positivamente no produto final.

As interfaces permitem interações entre os módulos que podem se

manifestar, segundo Gershenson *et al.* (2004), Salvador (2007), Rocha *et al.* (2015) e Ulrich (1995), através de quatro parâmetros: espacial, energia, informação e material. Apesar de descritas separadamente, estas interações podem se manifestar de maneira combinada.

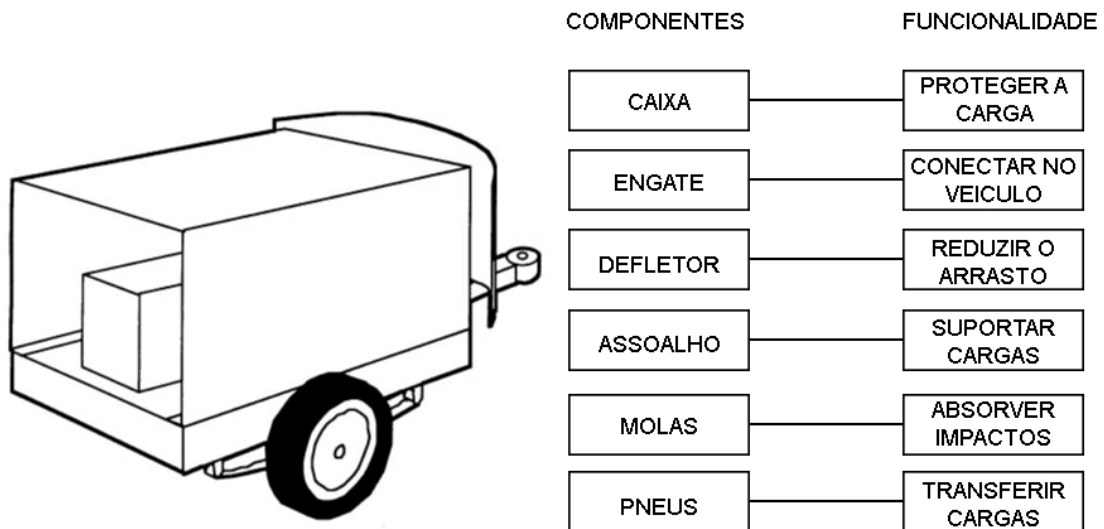
A comunicação espacial requer a coordenação geométrica entre as interfaces. Por exemplo, a coerência dos diâmetros de canos de água em um sistema de água fria residencial. A transferência de energia entre os componentes pode ocorrer através da eletricidade, calor ou até mesmo cargas. O peso de uma viga apoiada em um pilar é um exemplo de interação de ordem energética. A troca de informações como sinais sonoros, infravermelho ou eletromagnéticos como o teclado com o computador. Por fim, a transferência de material que acontece entre válvulas e canos em um sistema de gás.

2.2.4 O Produto Modular e o Integral

Para Gershenson *et al.* (2003) o produto modular é composto de módulos ou blocos de construção independentes que segundo Rocha *et al.* (2015) podem ser desacoplados, misturados e combinados de maneira distinta. Neste tipo de arquitetura, Ulrich (1995) aponta que as partes desempenham uma função específica. Existe uma relação direta entre a função e componente físico do sistema como mostrado na Figura 8. “(...) no produto modular, os componentes são intercambiáveis, autônomos, fracamente acoplados e individualmente atualizáveis, desde que as interfaces sejam padronizadas. (...)” (HOFMAN *et al.*, 2009, p. 31, grifo nosso).

Um exemplo deste tipo de arquitetura de produto é o computador. Cada parte, seja ela teclado, monitor, disco rígido entre outros componentes são projetados, produzidos e comercializados de maneira distinta. O produto final passa a existir quando o conjunto se acopla. “(...) Essa arquitetura modular permite que uma alteração de *design* seja feita em uma submontagem sem afetar as outras.” (GERSHENSON *et al.*, 2003, p. 297, grifo nosso).

Figura 8: A arquitetura modular de um reboque e sua configuração um-para-um entre elementos funcionais e componentes físicos.



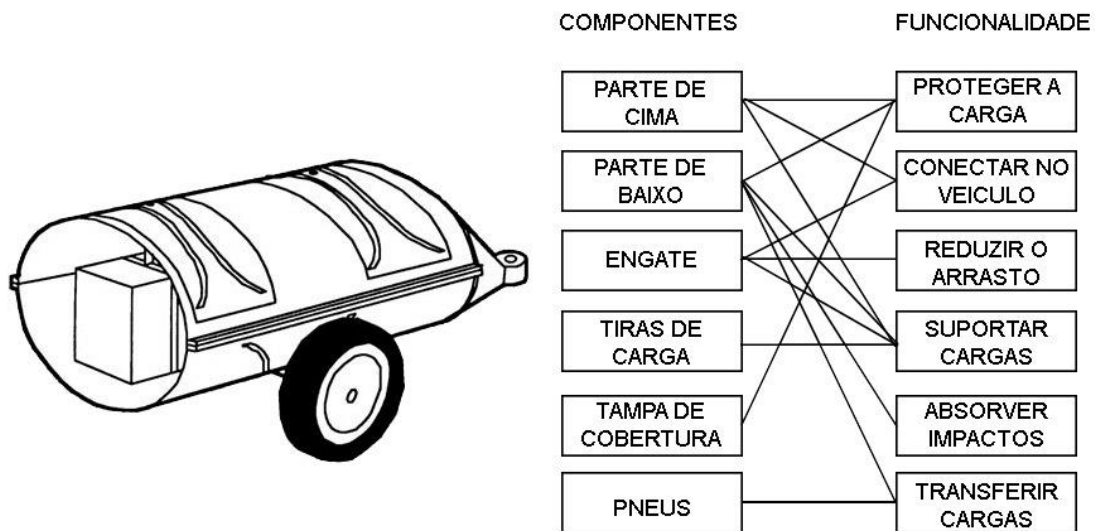
Fonte: Adaptado de Ulrich, 1995.

Ao contrário, como mostra a Figura 9 de Ulrich (1995), produtos de arquitetura integral possuem um mapeamento complexo. Cada componente pode desempenhar várias funções e é impossível retirar uma parte qualquer sem que o produto entre em colapso. Segundo Rocha *et al.* (2015), Frigant e Talbot (2004) as interfaces neste tipo de sistema não são desacopláveis. Henriques e Miguel (2017) afirmam que, em um produto de arquitetura integral, a mudança de um único componente pode exigir um novo projeto de produto. Nestes sistemas, a variabilidade se torna custosa e complexa.

Um exemplo de produto integral, segundo Voordijk *et al.* (2006), são as motocicletas. O desenho do quadro estrutural está intimamente relacionado com o tipo de motor, capacidade do tanque e posição do piloto. Qualquer mudança inviabilizará a motocicleta em suas configurações iniciais.

Na prática, Viana *et al.* (2017) e Voordijk *et al.* (2006) afirmam que a arquitetura do produto pode transitar entre o ideal modular e integral. Quanto menos funções forem desempenhadas pelo componente, mais modular o produto é. Quanto menos definido o tipo de interação entre os módulos, mais integral é o sistema. Portanto, a "(...) Modularidade é uma questão de grau. (...)" (BRUSONI E PRENCIPE, 2001, p. 183, grifo nosso).

Figura 9: A arquitetura integral de um reboque e sua configuração complexa entre elementos funcionais e componentes físicos.



Fonte: Adaptado de Ulrich, 1995.

2.2.5 Os Tipos de Arquitetura Modular do Produto

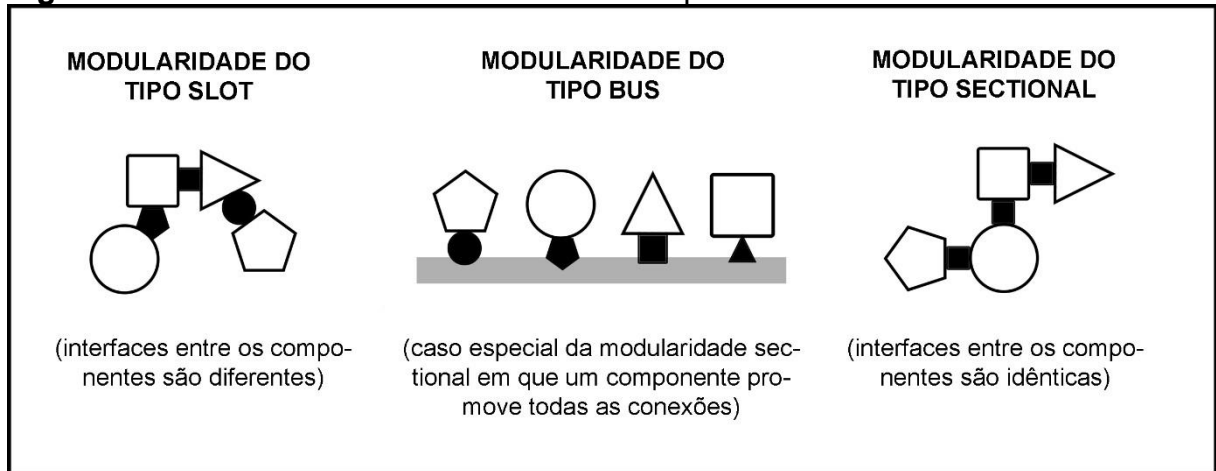
As propriedades das interfaces entre os módulos são adotadas por Ulrich (1995) como critério de classificação da arquitetura modular do produto. Como mostrado na Figura 10, o autor estabelece três possíveis modelos, o *slot*, o *bus* e o *seccional*. Todos respeitam as características básicas dos sistemas modulares pois apresentam as interfaces desacopláveis e o mapeamento um-para-um entre função e componente, porém não interagem da mesma maneira.

No tipo *slot*, cada uma das interfaces entre componentes é única. Como consequência, os módulos não podem ser reposicionados. Para Ulrich (1995) o rádio de um carro exemplifica esta categoria, pois possui uma interface específica que o liga ao veículo. Não é possível conectá-lo em outra posição e nenhuma peça do carro pode se conectar no seu lugar. Existe uma relação de especificidade causada pela arquitetura da interface.

Na situação *bus*, um dos módulos acolhe diversos outros componentes através de interfaces do mesmo tipo. Isto não implica que o módulo *bus* seja maior do que os outros nem que ele assuma um formato linear. Um exemplo comum são os sistemas de prateleiras com trilhos. O trilho é o módulo *bus* de base e

as prateleiras de diversos tamanhos se encaixam através de interfaces padrões.

Figura 10: A natureza das interfaces entre componentes.

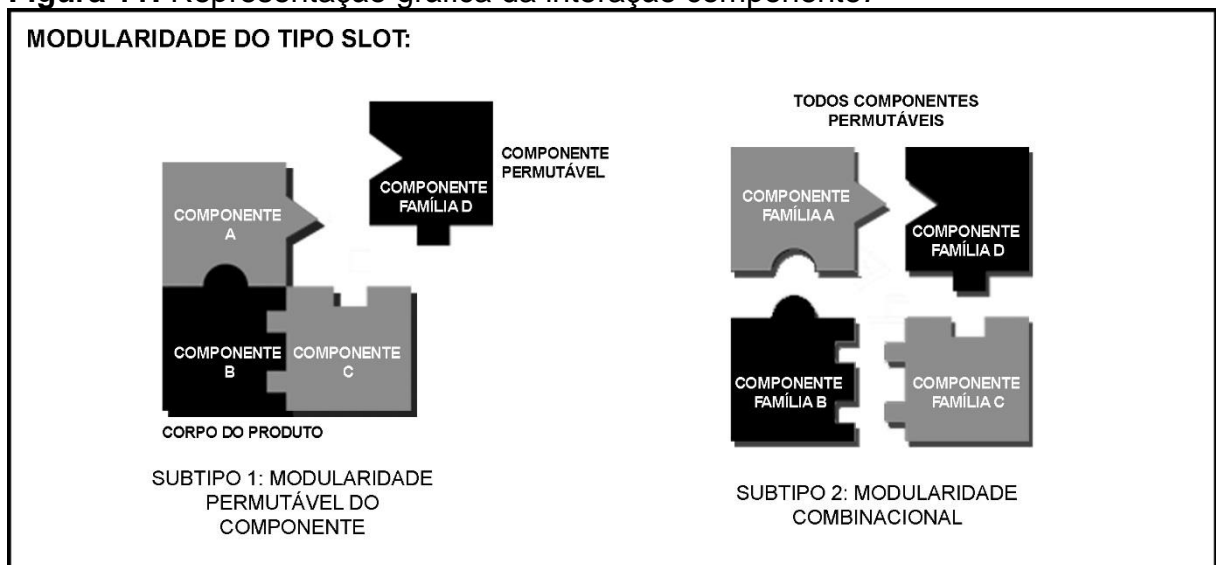


Fonte: Adaptado de Ulrich, 1995.

Na arquitetura de produto sectional todas as interfaces são do mesmo tipo, porém diferentemente da bus, não existe um módulo de acoplamento comum. O produto é constituído pela conexão dos componentes uns aos outros através de interfaces idênticas. Mobiliários de escritório pré-fabricados são um exemplo comum deste tipo de arquitetura.

Salvador et al. (2002) vai além desta classificação inicial e exemplifica duas subclassificações que acontecem dentro do princípio slot. A Figura 11 mostra como a modularidade permutável do componente e a modularidade combinacional se comportam dentro deste sistema.

Figura 11: Representação gráfica da interação componente.



Fonte: Adaptado de Salvador et al., 2002.

Segundo Salvador *et al.* (2002), a component-swapping prevê que alguns módulos assumam o papel de corpo do produto. São responsáveis pela integridade do sistema. A porção substituível traz variabilidade ao conjunto através de módulos da mesma família. Ainda segundo o autor, na combinatorial modularity, todos os módulos podem ser substituídos respeitando as famílias sem que haja colapso do sistema.

2.3 A Modularidade na Indústria da Construção

A transmissão de conhecimentos entre diferentes indústrias aconteceu segundo Gann (1996), no segmento japonês de produção de casas. A experiência com a modularidade no setor automobilístico e químico tiveram um papel importante no aperfeiçoamento dos processos ligados à engenharia da produção. Apesar das particularidades de cada indústria, a aproximação de estratégias de produção permite a reflexão e o aperfeiçoamento dos processos tradicionais.

Na maioria dos produtos manufaturados os módulos são de fácil identificação, o que não ocorre na indústria da construção. Para Rocha *et al.* (2018), os módulos desta indústria podem se manifestar fisicamente na forma de um material, um componente ou um conjunto pré-fabricado volumétrico e não volumétrico. Isto implica que a definição é relativa e depende do projeto. O módulo pode ser pequeno e simples quanto um tijolo ou cano, mas também grande, complexo e formados por milhares de partes como os banheiros pré-fabricados entregues na obra. Portanto, a definição do módulo na indústria da construção depende do nível de pré-fabricação entregue no canteiro e prevista em projeto.

Para Rocha *et al.* (2018), nas indústrias em que a produção do módulo não é influenciada pelo relativismo do transporte e o local de montagem, os módulos apresentam uma maior padronização e facilidade de manufatura seriada. Apesar desta complexidade, para Gosling *et al.* (2016), as construções podem ser classificadas como modulares quando forem constituídas por unidades modulares. Estes componentes devem ser construídos fora do local de montagem e apresentar

interfaces padronizadas para conexões adjacentes no canteiro-de-obras.

(...) Em contraste, o foco apenas nos componentes não é apropriado para um edifício porque os edifícios precisam ser considerados como uma mistura de componentes e vazios espaciais. De fato, a principal função dos edifícios, no mais alto nível, não é fornecida por componentes, mas pela provisão de vazios espaciais para as pessoas. (...) (ROCHA *et al.* 2015, p. 4923, tradução nossa).

Para Rocha *et al.* (2015), não é apropriado que o módulo seja o foco da indústria da construção. A maioria das indústrias de manufatura adotam os componentes como referência central na definição da arquitetura do produto. O autor cita como exemplo o computador. Partes como o teclado, mouse e monitor desempenham funções específicas. O produto é o resultado direto da simples combinação funcional dos elementos.

Em contraste, na indústria da construção, os vazios que os componentes delimitam é um dos seus aspectos mais importantes. Portanto, o objetivo funcional de um edifício vai além da soma das funções individuais dos módulos. "(...) De fato, a principal função de um edifício, no mais alto nível, não é fornecida por componentes, mas por vazios espaciais para pessoas." (VIANA *et al.* 2017, p. 4, grifo nosso).

"É amplamente sabido que os sistemas prediais industrializados podem impactar positivamente os projetos de construção em termos de eficiência, duração, segurança e qualidade. (...)" (VIANA *et al.* 2017, p. 1, grifo nosso). A Tabela 5 de Rocha *et al.* (2015) sintetiza as principais diferenças entre a modularidade para manufatura em geral e na indústria da construção.

Para Rocha *et al.* (2015), a arquitetura do produto na indústria da construção civil apresenta certas particularidades. O módulo, segundo o autor, pode ser decomposto em elementos funcionais primários e secundários, além dos atributos físicos como massa sólida e vazios espaciais. As funções primárias como ler, trabalhar e dormir são realizadas por pessoas no vazio que o módulo cria. As funções secundárias como suporte de cargas, proteção contra chuva e conforto térmico são proporcionadas pela massa sólida de um edifício.

Tabela 5: Diferenças entre modularidade na manufatura e construção.

Perspectivas	Manufatura	Construção
Produto	Componentes tem um papel central na definição da arquitetura do produto	Edifícios combinam componentes e espaços vazios, que performam a mais importante função do produto.
Processo	Fornecedores entregam módulos complexos que são encaixados para formarem um produto completo.	Muito trabalho é desenvolvido no local de montagem, utilizando tecnologias tradicionais.
Cadeia de Fornecedores	A cadeia de fornecedores se envolve no design e produção dos módulos que servem para um grande número de produtos.	A cadeia de fornecedores geralmente tem limitados incentivos para produzir módulos que sirvam para um grande número de projetos.

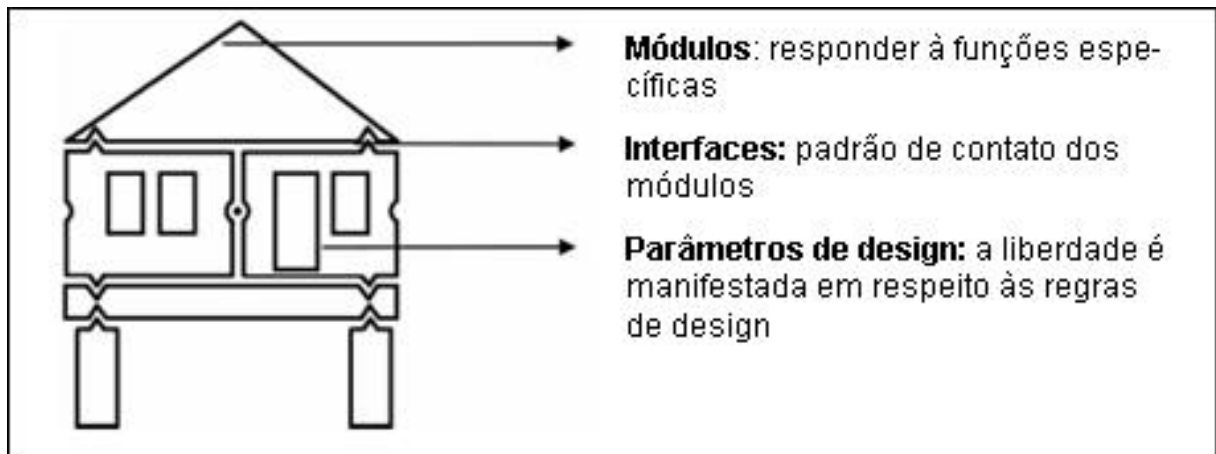
Fonte: Adaptado de Rocha et al. 2015.

Nem todos os módulos proporcionam vazios habitáveis, por exemplo os sistemas de água e gás, no entanto, a existência de módulos que encerram vazios é uma particularidade desta indústria. Portanto, não é possível projetar e construir um módulo para um edifício sem considerar a relação entre cheios e vazios.

“Um módulo é fisicamente manifestado como uma unidade de construção que faz parte de um sistema mais amplo, que pode ser integrado por meio de interfaces pré-planejadas. Esses módulos físicos são o resultado e podem facilitar a modularização em diferentes fases do projeto. Eles podem ser considerados em diferentes níveis hierárquicos dentro da arquitetura geral do produto, podem ser fabricados dentro ou fora do local e podem ser volumétricos ou não-volumétricos.” (GOESLING *et al.* 2016, p. 10, tradução nossa).

Segundo Hofman *et al.* (2009), a variabilidade no design pode ser alcançada escolhendo-se diferentes módulos de uma plataforma que atende a vários projetos ou podem ser desenhados e produzidos especificamente para um determinado projeto. Para Rocha *et al.* (2018) o edifício é erguido usando-se uma combinação única de módulos e de pacotes de serviço no local. Esta é uma das particularidades da modularidade na indústria da construção.

Figura 12: Contextualização da modularidade na indústria da construção.



Fonte: Adaptado de Hofman et al., 2009.

2.3.1 A Coordenação Modular

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 15873:2010 estabelece que a coordenação modular é a orientação dimensional mediante o emprego de um módulo básico ou de um multimódulo. Ainda segundo a norma, o módulo básico é a menor unidade dimensional a ser adotada. Representado pela letra M, cuja dimensão normalizada é de cem milímetros para os eixos X, Y e Z. O multimódulo é uma medida de referência arbitrária obtida pela multiplicação do módulo básico por um número não fracionado.

A coordenação modular visa promover a compatibilidade dimensional entre elementos construtivos (definidos nos projetos das edificações) e componentes construtivos (definidos pelos respectivos fabricantes). ABNT NBR 15873:2010 Devido às características específicas como a dimensão, os componentes empregados em edifícios têm um nível de precisão de manufatura mais variável do que em outras indústrias como as de *software* ou automobilística. A dilatação por diferenças térmicas é também mais significativa em superfícies expostas como geralmente ocorrem em edifícios.

As imperfeições decorrentes das particularidades da indústria da construção são absorvidas através do ajuste de coordenação que segundo a ABNT NBR 15873:2010 é a diferença entre a medida real do componente e a medida

determinada no projeto modular. Este ajuste oferece espaço para deformações, tolerâncias e materiais de união sem que o sistema seja comprometido. Esta aproximação entre o mundo ideal do projeto e o real dos componentes é fundamental para promover a modularidade dentro do setor. Segundo Barboza *et al.* (2011), a coordenação promove a sinergia entre o projeto e a indústria já que as medidas do módulo são empregadas como referência para permitir a inclusão de técnicas construtivas diversas bem como componentes de inúmeros fabricantes em um sistema aberto de produção.

A coordenação modular não impõe nem métodos construtivos nem tipologias. A grande mudança que seu uso impõe é no procedimento, principalmente, no ato de projetar. Definidas as dimensões de um componente (por exemplo, janelas), este poderá ser oferecidos em materiais (madeira, alumínio...) e/ou características (correr, bascular, etc.) diferentes, mas ocupando o mesmo espaço modular. Com isto, no projeto, um componente de determinado material e característica poderá ser obtido de diversas procedências. Além disto este pode ser substituído por outro de material e característica diferentes sem implicar alteração nos componentes vizinhos. Isso se reflete também na manutenção, pois um componente poderá ser substituído sem dificuldades. (RIBEIRO E MICHALKA, 2003, p. 100, grifo nosso).

A coordenação modular funciona, segundo Santos (2007), como um sistema de referência dimensional empregado especificamente na indústria da construção civil. Apesar da NBR 15873:2010 não explorar questões básicas relacionadas à modularidade do produto como as interfaces e a capacidade de se desacoplar de maneira íntegra, ela relaciona componente, volumetria e função. Esta associação aproxima a modularidade do projeto e construção além de permitir que ela se manifeste de uma maneira inicial.

Para Barboza *et al.* (2011), a técnica da coordenação modular exige já na fase de concepção uma visão integrada das partes que irão constituir o edifício. A estratégia, através de suas normas, se manifesta como diretiva ao desenvolvimento do projeto. Ainda segundo o autor, a coerência dimensional contribui para reduzir desperdícios e atividades no canteiro. O que para Greven e Baldauf (2007) aumenta a qualidade e produtividade além de reduzir custos e prazos de construção. A obra, segundo Barboza *et al.* (2011) e Greven e Baldauf (2007), deixa de ser um local de serviços e transformações de materiais básicos para se tornar uma etapa de montagem tipificada de componentes padronizados e intercambiáveis.

A adoção da coordenação de medidas no projeto estimula a produção dos componentes pré-fabricados na indústria. Com o tempo, a fabricação de módulos

mais diversificados facilita a difusão da coordenação no nível de concepção. Portanto, para Barboza *et al.* (2011), a coerência das medidas do projeto reforça a fabricação e vice-versa.

Com normas técnicas bem elaboradas seguidas por um eficiente sistema de certificação, os componentes passam por uma padronização dimensional, a partir da qual têm as mesmas características dimensionais, e por uma redução da variedade de tipos, mediante o emprego de medidas preferidas a serem escolhidas na série de medidas preferíveis. A produção dos componentes é seriada, e não mais sob medida. Mesmo sendo os componentes produzidos por indústrias diferentes, essas características asseguram a intercambialidade entre eles, pois passam a ser compatíveis entre si, em função de suas dimensões serem múltiplas do módulo decimétrico. Dessa forma, ruma-se à industrialização aberta. (GREVEN E BALDAUF, 2007, p. 34).

Segundo Greven e Baldauf (2007), a coordenação modular permite que o projeto se torne uma tarefa ligada à especificação de componentes padronizados. Isto permite uma simplificação do projeto já que os detalhes construtivos mais comuns são solucionados e testados pelos fornecedores. Esta simplificação do detalhamento das partes elementares do edifício permite que o profissional dedique mais tempo em partes do projeto que considera mais importantes.

Os escritórios de arquitetura reduzem por exemplo o tempo de desenvolvimento de detalhes de janelas, portas e telhados. Não é preciso inventar uma janela nova em cada projeto. Porém, caso o arquiteto julgue como essencial este elemento, ele pode concentrar seu tempo desenvolvendo esta parte do projeto. A coordenação modular permite que soluções industriais convivam com elementos singulares desde que estes respeitem os padrões dimensionais especificados. A identidade do projeto surge no arranjo dos componentes e não das singularidades de cada elemento. “A coordenação modular é extremamente rica e complexa o suficiente para tornar a execução de um produto tão complexo como um edifício, um processo racional, metódico e, por último, industrial.” (RIBEIRO E MICHALKA, 2003, p. 99).

2.3.2 Os Sistemas Industriais Abertos e Fechados

O processo industrial é caracterizado, de acordo com Silva e Rocco (2015), por dois fatores determinantes. A organização, que é decorrente da

consolidação estável do processo de produção e a repetição, que transcorre do arranjo econômico-administrativo e que gera ações de controle. De acordo com o International Council for Research and Innovation in Building and Construction - CIB (2010), a industrialização na construção corresponde à racionalização dos processos de trabalho, com o objetivo de elevar a produtividade, qualidade e eficiência de custos. O que implica na dependência dos procedimentos baseados em componentes de fábrica. Este movimento, traz como consequências a aceleração do processo construtivo e a redução das operações no canteiro de obras.

No entanto, desde o seu surgimento no final do século XVIII, a industrialização não se deu de maneira linear. É possível identificar a existência de quatro momentos ou revoluções. De acordo com Kagermann *et al.* (2013), cada fase tem uma característica própria que está relacionada às possibilidades tecnológicas de seu tempo. A primeira foi marcada pela introdução de maquinários, como o tear, que permitiu um ganho substancial de produtividade. Na virada do século XX, em seu segundo momento, a indústria passa a utilizar a energia elétrica e adota a divisão do trabalho em linhas de montagem. A terceira revolução, já no início dos anos setenta e que perdura até os dias atuais, passa a incorporar a tecnologia da informação e de componentes eletrônicos para atingir processos de automação.

Atualmente, inicia-se na indústria uma quarta era caracterizada pela incorporação de “inteligência” no processo de projeto e produção. Sistemas computacionais autônomos trocam informações uns com os outros e estão conectados à internet. Isto resulta, segundo Kagermann *et al.* (2013), na convergência do mundo físico (real) e do virtual (ciberespaço) na forma de sistemas Ciber-físicos e a internet das coisas.

A Internet das Coisas e Serviços permite criar redes que incorporam todo o processo de fabricação que converte fábricas em um ambiente inteligente. Os sistemas de produção ciber-física compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção que foram desenvolvidos digitalmente e apresentam integração ponta a ponta baseada em TIC, da logística de entrada à produção, marketing, logística e serviço de saída. Isso não apenas permite que a produção seja configurada com mais flexibilidade, mas também aproveita as oportunidades oferecidas por processos de gerenciamento e controle muito mais diferenciados. (KAGERMANN *et al.*, 2013, p. 14, tradução nossa)

Para Shafiq *et al.* (2015), o despontar da Indústria 4.0 tem os seguintes potenciais: 1 - Produzir de forma customizada, o que atende à crescente

necessidade de personalização e da demanda heterogênea. 2 - Flexibilidade na manufatura, que é a facilidade na alteração dos processos de fabricação. 3 - Fluxo de informações, inteligência entre objetos e máquinas conectadas à rede. 4 - Apropriação, que é o controle da coordenação entre robôs e máquinas autônomas. 5 - Adequação, ou seja, a possibilidade de alteração rápida dos serviços oferecidos.

Na construção civil, o fenômeno da Indústria 4.0 compreende segundo Miyasaka 2017 em uma multiplicidade de tecnologias interdisciplinares que permitem a digitalização, automação e integração do processo de construção em todas as fases da cadeia produtiva. Segundo a autora, plataformas como a BIM (*Building Information Modeling*) permitem testes controlados, gestão de informações e compatibilização entre projetos. Porém, tecnologias de comunicação como a realidade aumentada ainda são empregadas em pequena escala.

Trata-se, portanto, não mais de uma industrialização pesada, baseada na standardização do ambiente construído e na produção em série por máquinas, mas de uma industrialização apoiada em materiais e componentes de construção com tecnologia agregada, e no emprego de técnicas gerenciais modernas, como meio para ampliar a produtividade e melhorar a qualidade (enquanto conformidade e atendimento ao usuário) do edifício. (FABRÍCIO, 2013, p. 245.)

Neste contexto, a modularidade, através de suas regras de interface, permite que a indústria adote processos complexos com reduzido esforço gerencial. A estratégia promove a flexibilidade da produção e facilita a customização em massa que são premissas da Indústria 4.0. Devido ao arranjo produtivo descentralizado, o conhecimento torna-se especializado. Este movimento facilita a incorporação de novas tecnologias além de promover o contexto produtivo local.

Para Gosling *et al.* (2016) e Rocha *et al.* (2018) a modularidade do produto depende da pré-fabricação. A pré-fabricação barateia os componentes, acelera a construção e aumenta a qualidade do produto, pois as tolerâncias na fábrica são menores do que as do canteiro. Outra característica apontada por Gann (1996) é a redução dos desperdícios de materiais no local de montagem. Como os módulos pré-fabricados se acoplam por interfaces padronizadas, o trabalho artesanal é concentrado na etapa de pós montagem ou acabamento.

“A racionalização é indispensável na industrialização. (...)” (RIBEIRO E MICHALKA, 2003, p. 94). Segundo os autores, o estudo dos métodos reduz tempo de trabalho além de melhorar a produtividade e rentabilidade. É, portanto, o projeto,

segundo Gosling *et al.* (2016), que define o nível de pré-fabricação que os módulos vão chegar na obra. “Pode-se ver que este processo é o produto do trabalho conjunto dos projetistas do edifício, que definem as necessidades da edificação, com a dos projetistas das indústrias, que definem as características dos componentes. (...)” (RIBEIRO E MICHALKA, 2003, p. 98, grifo nosso).

“(...) A modularidade cria, intencionalmente, um alto grau de independência entre os projetos de componentes através da padronização das especificações de interface dos componentes; assim, a modularidade pode mover uma empresa para a desintegração vertical. (...)” (HENRIQUES E MIGUEL, 2017, p. 8, grifo nosso). Este impacto na industrialização é abordado segundo Ribeiro e Michalka (2003), pela distinção dos sistemas industriais abertos e os fechados.

O sistema industrial fechado, segundo Ribeiro e Michalka (2003), admite um número pequeno de variações. A produção em série é decorrente da decomposição do edifício em partes definidas pela empresa detentora do monopólio do produto. O módulo é estabelecido a partir de uma medida arbitrária de um componente de referência. Este sistema industrial, apesar de produzido em série e com módulos é único para um determinado projeto. É, portanto, classificado como fechado. Em sistemas industriais fechados segundo Voordijk *et al.* (2006), os componentes são produzidos com dimensões especiais que não possibilitam a participação de pequenos fabricantes. Estes componentes são produzidos por uma fábrica central ou várias fábricas do mesmo conglomerado. Um exemplo consagrado de industrialização fechada são os hospitais da rede Sarah, cujos componentes eram desenvolvidos e fabricados no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS) em Salvador, BA.

Os sistemas de pré-fabricação são aplicados em todas as etapas dos edifícios da rede Sarah, indo desde a superestrutura, até objetos hospitalares, como a cama-maca. Posteriormente, esses mesmos sistemas foram utilizados em outros projetos do arquiteto como os centros administrativos e os tribunais de contas. (LUKANTCHUKI *et al.*, 2011, p. 02, Grifo nosso).

Para Fabricio (2013), esta lógica de produção implica em vantagens como a elevada qualidade dos componentes, além da garantia da perfeita conectividade e integração entre as partes. A produção em grande volume por uma única empresa, devido à impossibilidade de concorrência, faz com que os custos por unidade sejam reduzidos, o que aumenta a margem de lucro. Ainda segundo o autor,

outra vantagem é a possibilidade de um maior investimento no projeto e detalhamento do sistema construtivo, já que os custos adicionais serão diluídos pela escala de produção.

Como dificuldades, existe a necessidade de um elevado volume de produção para que o arranjo seja viável. Outro fator relevante é, segundo Fabricio (2013), o transporte. Como os componentes geralmente tem volumes expressivos e baixo valor agregado em relação à sua massa, o raio de abrangência econômico é limitado. Por fim, caso haja um uso compulsório dos componentes, existe o risco de homogeneização da linguagem estética dos edifícios.

Já os sistemas industriais abertos admitem, segundo Ribeiro e Michalka (2003) a participação de empresas concorrentes no processo de manufatura do produto. Esta competitividade traz como benefícios a redução dos preços dos componentes e aumento significativo da qualidade do que é entregue. Por outro lado, também eleva o risco de problemas de compatibilidade e eficiência do produto. A modularidade e a conseqüente coordenação dimensional oferecem os parâmetros dimensionais básicos para que diferentes fornecedores participem da cadeia de produção. É uma ferramenta que segundo Lukiantchuki *et al.*, (2011), promove a compatibilidade entre as partes e conseqüente quebra do domínio da tecnologia do produto.

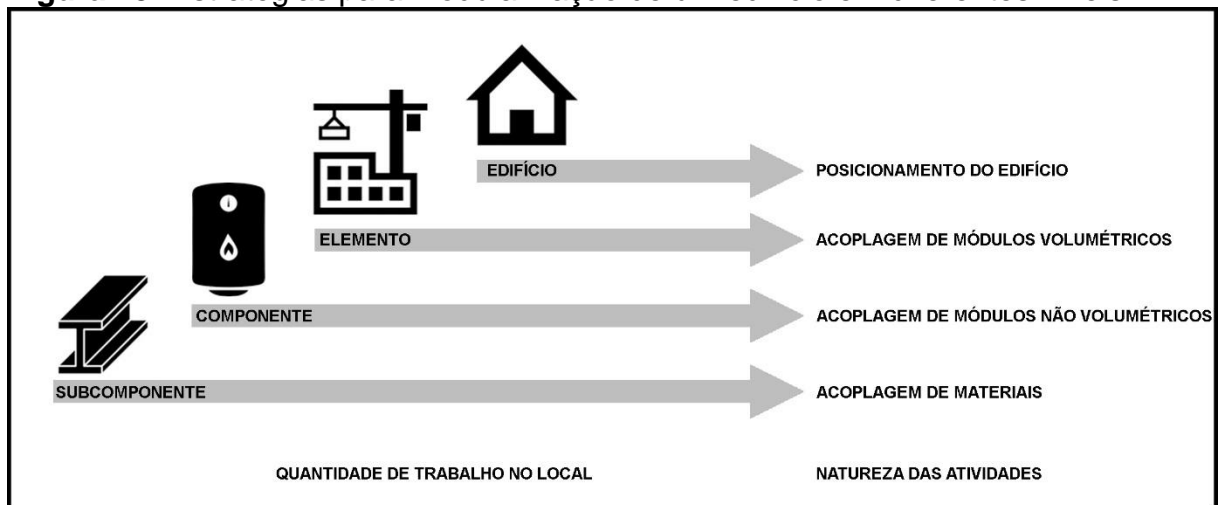
O conceito de industrialização aberta, também chamada por Paulo Bruna (1976) de industrialização de catálogo, apregoa a necessidade de regras de compatibilidade entre partes, componentes e subsistemas do edifício, que podem ser produzidos por diferentes fabricantes, de forma a propiciar múltiplas possibilidades de composição entre as peças ou módulos (conceito de intercambiabilidade). A industrialização aberta propõe, assim, a produção industrializada de diferentes componentes, por um mesmo ou por diferentes fabricantes, com lógicas de montagem e interconexão padronizadas e compatíveis. (MARTUCCI, 1990, p. 17).

No Brasil, a industrialização aberta é, segundo Fabrício (2013), ainda aplicada de forma parcial e precária na construção civil. Apesar de certos componentes possuírem elevada agregação de tecnologia e alto grau de industrialização na sua produção, existem imprecisões e problemas de compatibilidade de ligação entre eles. Apesar deste cenário, a industrialização do tipo aberta promove uma maior sinergia do setor da construção e deve, portanto, ser estimulada. A quebra dos monopólios de conhecimento e produção, eleva a competitividade entre fornecedores, o que propicia uma redução dos custos dos produtos, eleva a eficiência e reduz desperdícios.

2.4 Estratégias de Modularização em Diferentes Níveis

Como a definição do módulo na indústria da construção é relativa e depende do projeto, Gosling *et al.* (2016) apresenta, na Figura 13, as quatro estratégias de modularização em diferentes níveis. Para isto, o autor estabelece dois extremos. A casa pronta e entrega no local de um lado e do outro os materiais simples como tijolos e canos.

Figura 13: Estratégias para modularização de um edifício em diferentes níveis



Fonte: Adaptado de Gosling *et al.*, 2016.

Para Gosling *et al.* (2016) os módulos pré-fabricados com nível de construção mais complexos são os edifícios. O transporte e manuseio tornam-se as maiores fontes de problemas. Segundo o autor, o aluguel de caminhões especiais é caro e os regulamentos para transporte de grandes componentes é rigoroso. Não há possibilidade de alterações posteriores no projeto. Mudanças tardias são muito difíceis e caras. Porém, a vantagem é que o nível de complexidade no local da obra é baixo. Se resume à uma questão de posicionamento do módulo. Como o módulo foi montado em ambiente controlado, outra vantagem é a qualidade do componente entregue.

No nível dos subcomponentes, ainda segundo o autor, o uso excessivo de módulos de baixa complexidade pode aumentar sensivelmente a dificuldade de gerenciamento das peças no local da montagem. Outro problema é lidar com inúmeros fornecedores e prazos de entrega diferenciados. Apesar disto, a estratégia tem como vantagem a possibilidade de alterações de última hora e facilidades com o transporte e substituições.

Como revela a Figura 13, os níveis intermediários como o componente e elemento são mais equilibrados, mas ainda apresentam dificuldades que variam entre os dois extremos apresentados. A determinação de qual nível o módulo vai se manifestar na montagem é relativa e depende do projeto. Cada uma das quatro estratégias, portanto, apresenta vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas especificamente em cada caso.

A classificação de Gosling *et al.* (2016) auxilia a tomada de decisões referente à hierarquia do módulo empregado na obra. Isto não quer dizer que o nível da modularidade permaneça sempre o mesmo. Na prática, os módulos de projeto podem ser considerados “(...) submódulos de um módulo mais abrangente. (...)” (HENRIQUES E MIGUEL, 2017, p. 5, grifo nosso). Como exemplo os autores citam o sistema de refrigeração de um veículo. O sistema todo pode ser considerado um módulo já que desempenha uma função específica e se acopla ao veículo através de uma interface. Porém, os tubos e conectores que o compõe são também módulos pois são formados por interfaces e desempenham funções específicas. Este é o conceito da modularidade em diferentes níveis.

Para Rocha *et al.* (2018) os critérios para separação dos quatro níveis estabelecidos por Gosling *et al.* (2016) não estão definidos claramente. Segundo o autor, métodos de construção diferentes causam confusão no critério. Ele cita como exemplo os pilares e vigas. Se chegarem ao local de montagem pré-fabricados, estes podem ser considerados subcomponentes de primeiro nível. Porém, se forem moldados no local, o concreto e o vergalhão podem dar origem à um nível inferior.

Rocha *et al.* (2018) reduzem os critérios de classificação de Gosling *et al.* (2016) e propõe um modelo simplificado com dois tipos. O volumétrico e o não volumétrico. O modelo facilita a compreensão dos níveis de modularidade voltado à indústria da construção. Na primeira tipologia que é volumétrica, os materiais e componentes são pré-montados e delimitam espaços vazios utilizáveis. O número de módulos que chegam no local é baixo.

No nível não volumétrico o autor abre a possibilidade para uma segunda e terceira tipologias. Na segunda, os módulos são constituídos de vários materiais e componentes como na primeira tipologia. A diferença é que eles não delimitam vazios utilizáveis. Na terceira tipologia, módulos são compostos de pequenas partes. Geralmente materiais ou componentes como tijolos, canos e até mesmo tintas. O que resulta em uma grande quantidade de módulos no local de

montagem.

Tabela 6: Tipologias dos módulos.

		Natureza do processo	
		Atividades no canteiro	Atividades fora do canteiro
Nível arquitetura do produto	Volumétrico (encapsula um espaço usável)	Não lógico / usual	Módulos volumétricos produzidos fora do local
	Não volumétrico (não encapsula um espaço usável)	Módulos não volumétricos acoplados no local	Módulos não volumétricos produzidos fora do canteiro

Fonte: Adaptado de Rocha et al. 2018

É notável a ambiguidade acerca da definição do que é módulo. Para Gosling *et al.* (2016) e Rocha *et al.* (2018) que tratam da modularidade voltada para a indústria da construção, o critério da separabilidade do módulo apresentado no capítulo dois deste trabalho não é relevante. Os autores consideram o material tinta um módulo mesmo que após acoplado ele perca a capacidade de sair do sistema de produto de maneira íntegra e funcional. Cada indústria aplica a modularidade em graus e com estratégias diferentes.

“(…) Avaliar a modularidade no nível hierárquico mais alto dentro de uma estrutura de produto não significa identificar módulos igualmente complexos. (...)” (SALVADOR, 2007, p. 230, grifo nosso). Portanto, os níveis mais altos de componentes em um sistema modular admitem diferenças significativas de complexidade. No entanto, segundo Salvador (2007), estes componentes-chave devem necessariamente produzir uma variante no sistema do produto. O autor traz como exemplo um computador. A variante de produto pode ser obtida pela troca de um disco de memória de maior capacidade ou pela cor da caixa metálica do gabinete que abriga os circuitos. Para o cliente, o grau de complexidade das variantes do sistema é irrelevante. Para a indústria, módulos com alto nível hierárquico e baixo grau de complexidade permitem atingir nichos de mercado de maneira econômica.

2.5 A Modularidade no Ciclo de Vida

Segundo Frigant (2004), a modularidade no ciclo de vida de um produto afeta o projeto, a produção e o uso. Para Salvador (2007), na concepção

modular, o projetista não tem liberdade para alterar a interface do módulo pois, se o fizer, o produto terá que ser redesenhado. Todo o esforço criativo, portanto, está concentrado fora da interface. A seguir Cohendet *et al.* (2005) diferenciam as principais características de concepção de um produto de arquitetura integral e modular.

O processo de projeto seqüencial, envolve o desenvolvimento hierárquico das fases de projeto dos vários componentes envolvidos na composição do produto final. A organização é composta por equipes especializadas dedicadas especificamente ao design de cada componente e lideradas por um planejador centralizado. O processo de design do produto é definido como um conjunto de sub-problemas hierárquicos que são resolvidos sequencialmente. Quando há um bloqueio em um estágio do processo, é necessário redefinir o passo anterior ou até mesmo reiniciar todo o trabalho. (COHENDET *et al.*, 2005, p. 124, tradução nossa).

No caso do "Processo de projeto modular", o design da arquitetura do produto e o design do componente são processados sequencialmente. A primeira fase leva à definição de um conjunto de interfaces padronizadas que torna o design dos componentes independentes. O design dos diferentes componentes pode ser feito simultaneamente, por isso é muito rápido. Observe que o design modular não é uma simples melhoria do design simultâneo, pois o design dos componentes não exige mais a colaboração entre os projetistas dos vários componentes, como no caso simultâneo. (COHENDET *et al.*, 2005, p. 124, tradução nossa).

A modularidade na concepção, para Frigant (2004), implica na independência na concepção do projeto e detalhamento dos módulos. Um novo componente não pode alterar os parâmetros de projeto de outros componentes. A modularidade na concepção, segundo Salvador (2007), implica no estabelecimento de tolerâncias, ou intervalos de variação. Segundo o autor, a unidade de potência de um processador de alimentos deve tolerar até um certo limite o desenvolvimento de uma nova unidade superior. Deve fornecer a energia necessária para o processamento de gelo mesmo que projetado a princípio para misturar líquidos. As interfaces padronizadas e a tolerância nas interações dos módulos de projeto permitem mais liberdade entre os projetistas.

Para Henriques e Miguel (2017), a modularidade permite que a concepção se torne aberta. O desenvolvimento de produtos integrais exige o trabalho de coordenação de um gestor que segue uma hierarquia. Para Sanchez e Mahoney (2017), a coordenação da modularidade permite que os módulos sejam projetados ao mesmo tempo, por empresas geograficamente diferentes e sem trazer prejuízo para o sistema. Os benefícios incluem a diminuição do tempo de projeto, a redução de custos de coordenação, testes e adaptação das partes do produto. "(...) A criação de

arquiteturas de produtos modulares não apenas cria projetos de produtos flexíveis, mas também permite o design de estruturas organizacionais flexíveis e também modulares. (...)” (SANCHEZ E MAHONEY, 2017, p. 73, tradução nossa).

Primeiro, use um layout de grade para suportar a fase de planejamento e design. Isso suporta repetibilidade e padronização no estágio de design e posteriormente nas fases do projeto. Em segundo lugar, desenvolva uma arquitetura de produto formalizada para apoiar as escolhas de design. Terceiro, ligue a arquitetura do produto às quatro estratégias (...) na fase de pré-construção para estabelecer o nível em que elas serão usadas. Isso ajuda a estabelecer uma estratégia de entrega física para os módulos. (GOSLING *et al.* 2016, p. 9, tradução nossa).

Na Figura 14, Gosling *et al.* (2016) propõe um passo a passo para aplicar a modularidade na concepção. A malha ortogonal é o primeiro passo deste processo. Ela permite a repetição de espaços. Normalmente, os projetos de construção que desejam aplicar a estratégia param nesta etapa. O autor vai adiante e enfatiza a necessidade da formação de uma arquitetura do produto com interfaces padronizadas, folgas e tolerâncias entre os módulos. O edifício é desenhado como sistema e não como um grupo de partes. Em terceiro lugar é preciso decidir em que nível os módulos serão entregues na obra, qual a complexidade desejada no canteiro e a definição da logística do transporte.

A modularidade na concepção afeta segundo Frigant (2004) a modularidade na produção pois permite que os fornecedores acessem projetos completos de módulos funcionais de um sistema. Esta pulverização da manufatura segundo Frigant e Talbot (2004) faz com que os fornecedores assumam responsabilidades e se especializem. Como consequência tem-se a concorrência que eleva a qualidade e reduz os preços.

Figura 14: Modularidade em diferentes fases do ciclo-de-vida de um projeto.

	Fase de Planejamento e Projeto	Fase de Pré-construção	Fase de Construção	Fase de Pós-construção
ATIVIDADES PRINCIPAIS	CONCEPÇÃO REUNIÕES	AGENDAMENTOS DESENHOS TÉCNICOS	GERENCIAR ENTREGAS MONTAGEM	MONITORAR OS MÓDULOS RECONFIGURAÇÕES
MANIFESTAÇÃO DA MODULARIDADE	MALHA ORTOGONAL DEFINIÇÃO DO SISTEMA	NÍVEL DE HIERARQUIA CADEIA DE FORNECEDORES	MANIFESTAÇÃO FÍSICA DOS MÓDULOS	FLEXIBILIDADE NO USO
PRINCIPAIS QUESTÕES	AS ABORDAGENS PADRONIZADAS SÃO POSSÍVEIS E ADEQUADAS?	COMPREENDEMOS A ARQUITETURA DO PRODUTO? O SISTEMA DE PRODUÇÃO / FORNECEDORES DA CADEIA PRODUTIVA SÃO CAPAZES?	EXISTEM PROBLEMAS DE ACESSO OU LOGÍSTICA NO LOCAL DA OBRA?	OS MÓDULOS AJUDARÃO OU DIFICULTARÃO A RECONFIGURAÇÃO?

Fonte: Adaptado de Gosling *et al.*, 2016.

Apesar dos benefícios, é a produção que apresenta a maior resistência na mudança da arquitetura do produto integral para a modular. Muitas empresas já têm maquinários específicos para produção integral. Adaptações nestes equipamentos são caras. Outro problema é a ruptura da expertise de produção. O acúmulo de experiência envolve erros durante a produção que custam caro. Empresas assumem o risco de falirem caso decidam se adaptar à esta forma de produzir.

A modularidade no uso permite, segundo Frigant (2004), que o consumidor substitua as partes do produto já comprado. Esta flexibilização permite que atualizações possam ser inseridas facilmente. Também abre a possibilidade de novas personalizações e a revenda de módulos entre os usuários. Ainda segundo o autor, outro impacto é a facilidade de manutenção. Partes problemáticas do produto podem ser facilmente substituídas o que reduz custos.

Todas estas possibilidades provocam o aumento da vida útil do produto. Os sistemas integrais ao contrário, tem vida útil menor pois tem manutenção cara e não podem ser atualizados. Um liquidificador por exemplo possui em geral os seguintes módulos acopláveis: a sobre tampa, a tampa, o copo, o suporte de lâminas e a base. Caso o copo se quebre, não é preciso substituir o produto todo, basta o consumidor comprar este módulo e acoplar normalmente. Caso surjam copos mais modernos, ele pode aproveitar a mesma base. O liquidificador é portanto, um exemplo de produto modular.

No final da vida útil, caso o consumidor queira efetuar o descarte, a modularidade, segundo Gershenson *et al.* (2003), favorece a reciclagem. Os módulos desacoplados podem ser separados por tipos de material e enviados para empresas de desmanche especializadas.

2.6 Considerações Sobre a Revisão de Literatura

Como mostrado durante a revisão de literatura, indústrias como a automobilística, farmacêutica e a de *softwares* apresentam ganhos de produção, qualidade e competitividade devido à técnica. Porém, a inserção da modularidade no setor ligado à construção ainda é tímida. Muito se deve à desinformação acerca do tema, o que agrava a resistência diante da necessidade de alterações de comportamento por parte da indústria e projetistas.

Esta revisão de literatura busca identificar e compreender os principais mecanismos envolvidos na aplicação da estratégia para guiar o desenvolvimento do artefato. A Tabela 4, de Gosling *et al.* (2006) define alguns termos que serão adotados nas próximas etapas desta pesquisa. Com base nestas definições do autor, fica estabelecido, portanto, que a palavra **módulo** nesta dissertação corresponde à uma unidade independente e funcional de um determinado produto. No intuito de diminuir sua repetição ao longo do texto, utilizam-se como sinônimos as palavras: **peça, elemento e componente. Sistema** refere-se ao conjunto de módulos. **Interface** é a área de contato entre os módulos. Por fim, **modularidade** é a propriedade que determinado produto tem de ser constituído por partes removíveis.

Tabela 7: Tabela de definições dos conceitos mais importantes.

Foco	Definição
Modularidade	Um de um conjunto de peças ou unidades separadas que podem ser unidas para formar uma máquina, uma peça de mobiliário, um edifício, etc.
Módulo	Um módulo é uma unidade funcional essencial e independente em relação ao produto do qual faz parte. O módulo possui, em relação a uma definição do sistema, interfaces e interações padronizadas que permitem a composição de produtos por combinação.
Sistema modular	Os sistemas modulares são compostos de elementos, ou 'módulos', que executam independentemente funções distintas.
Módulo na construção	O fornecimento de soluções modulares construídas fora do local usando princípios modulares e entregues, instaladas e comissionadas no local para um plano modular pré-determinado.

Fonte: Adaptado de Gosling *et al.* (2006)

CAPÍTULO 3
O DESIGN EXPERIMENTAL

3. O DESIGN EXPERIMENTAL

O objetivo geral desta parte do trabalho é apresentar o desenvolvimento do sistema estrutural do artefato. Apesar da construção envolver uma casa real completa, dotada de um cliente e de usuários, questões específicas de fechamentos, sistemas de esgoto, água, elétrico e de geração de energia não serão abordados devido às limitações de tempo e recursos desta pesquisa. O limite de discussão será, portanto, o processo de projeto, produção e montagem de um sistema estrutural modular, pré-fabricado para a comunidade de ribeirinhos da barra do São Lourenço no Pantanal sul mato-grossense.

Como visto no capítulo anterior, a adoção da modularidade na indústria da construção apresenta características próprias e subjetivas. Para Rocha et al. (2015), fatores como o acesso ao local da obra, a topografia e o tipo de solo impactam diretamente na criação do produto modular. Este capítulo inicia-se, portanto, com a apresentação das restrições específicas do projeto. O leitor tomará conhecimento das características do local, sua geografia, localização, dinâmica natural, bem como dos riscos particulares que a comunidade enfrenta. A partir deste cenário, serão destacados os objetivos gerais do projeto.

Na segunda parte, serão apresentadas a equipe constituída, a análise de campo e a adoção da modularidade como estratégia. Por fim, na terceira parte, o sistema projetado será explicado e detalhado. Apesar do processo de projeto ter se pautado na tentativa e erro de uma forma cíclica, até mesmo com a construção de um artefato piloto, as soluções propostas para o produto modular serão explanadas de modo linear. Isto facilitará a compreensão do leitor e o aprofundamento de todos os detalhes.

3.1 Aspectos Projetuais

A Figura 15, relaciona as principais atividades desenvolvidas pela equipe ao longo dos anos. Em destaque azul, o que está sendo feito exclusivamente pelo autor após seu ingresso no mestrado.

Figura 15: Linha do tempo dos principais acontecimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

No ano de 2013, após eventos climáticos extremos no Pantanal, a organização não governamental ECOA (Ecologia e Ação), situada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, convidou uma equipe de arquitetos para desenvolver o projeto de uma casa adaptada para a vida dos ribeirinhos. A organização promove ações de preservação do meio ambiente através da articulação de instituições governamentais, comunidades, centros de ensino e pesquisa. Combina ciência e política no sentido amplo do termo. Promove o diálogo de diversos setores através de campanhas, negociações e reflexões ligadas à conservação ambiental e sustentabilidade.

Além do ambiente natural, para a ECOA, a preservação deve abranger as comunidades tradicionais que habitam o Pantanal. Este cuidado se manifestou na própria encomenda do projeto. Uma casa que possa oferecer segurança e que reduza a situação de vulnerabilidade das famílias da região. Ao invés de propor o deslocamento para o meio urbano, garantir a permanência das famílias é perpetuar a cultura e a identidade do Pantanal.

3.1.1 As Restrições Específicas do Projeto

O Pantanal possui extensão territorial de aproximadamente 170.000 km² e é considerado a maior área alagável do planeta. Geologicamente definido como bacia sedimentar, trata-se de uma grande depressão no centro da América do Sul que acumula continuamente areia e outros materiais transportados pelas correntes fluviais que o atravessam. Devido a este processo de formação, o relevo é predominantemente plano. Apesar da maior parte do bioma estar localizado no Brasil, ele também se estende pela Bolívia e Paraguai.

Conforme revela a Figura 16, a comunidade de ribeirinhos situa-se em uma área remota do Pantanal, aos pés da Serra do Amolar, na margem esquerda do Rio Paraguai. Próxima à confluência com o rio São Lourenço e da divisa entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Não existem estradas que servem a região. O transporte se dá por meio aéreo ou naval, sendo que as grandes embarcações, comumente chamadas de “freteiras”, levam em média vinte e seis horas de navegação a partir do porto de Corumbá que é a cidade mais próxima.

Figura 16: Serra do Amolar.



Fonte: Imagem de André Siqueira, ECOA, 2011.

A região da Serra do Amolar é habitada há séculos por povos que vivem de maneira sustentável. Antigos índios da etnia Guató, escravos e bandeirantes europeus que se miscigenaram durante a formação etnológica da comunidade. A fonte de renda principal das famílias está ligada à coleta e venda de iscas-vivas para a pesca turística. Serviços de manutenção em barcos, o cultivo do arroz selvagem, a coleta do mel de abelhas nativas e a pesca artesanal também são desenvolvidos pelos ribeirinhos. Culturas de subsistência como o arroz, a mandioca e o milho complementam suas atividades. Propor o deslocamento destas pessoas para o meio urbano através da oferta de residências não é, portanto, uma alternativa plausível.

Como vivem em uma área pertencente ao governo, os ribeirinhos não têm direito à propriedade da terra. Contudo, a SPU (Secretaria do Patrimônio da União) tem emitido o TAUS (termo de autorização de uso sustentável). Este documento assegura o direito de permanência das famílias que desenvolvem atividades de subsistência. Ele confere segurança jurídica e possibilita que novas construções possam ser projetadas e edificadas no local. Mais do que isto, o documento resguarda tradições, hábitos e cultura dos povos tradicionais que nasceram e que cresceram no Pantanal.

A vulnerabilidade é segundo Fonseca et al. (2017) a exposição ao

risco. É a condição de fragilidade de uma pessoa ou grupo social. Neste trabalho, o termo será utilizado nos casos em que o ambiente ofereça algum tipo de perigo à saúde ou à vida do indivíduo ou da comunidade em geral. Aliado ao risco tem-se a incapacidade de se defender, contornar, prevenir ou resistir a possíveis problemas. No Pantanal, os fenômenos naturais potencialmente nocivos são manifestados pelas cheias, erosões e doenças transmissíveis.

O processo dinâmico das correntes fluviais que atravessam a planície provoca fenômenos constantes de erosão, transporte e assoreamento de sedimentos no território. A relação entre estes eventos naturais faz com que a paisagem esteja em constante mutação. O desmoronamento dos barrancos nas margens dos rios provocado pela erosão evidencia os riscos que as populações tradicionais do Pantanal estão sujeitas. Por estar localizada na parte côncava do rio Paraguai, a comunidade da Barra do São Lourenço sofre com a intensificação do fenômeno. Segundo Fonseca *et al.* (2017), somado a isto, a intensa circulação de embarcações agita as águas do leito do rio, provocando ondas que contribuem no processo.

De modo geral, as construções existentes não estão preparadas para este cenário, pois são perenes e não tem a capacidade serem desmontadas, transportadas e reconstruídas. O exemplo mais grave é o da escola rural Polo São Lourenço. O imóvel, construído pelo poder público para servir a comunidade como escola e alojamento para estudantes, foi interditado pois apresenta riscos de desabamento devido à erosão marginal do rio Paraguai. A carência por um sistema construtivo adaptado faz com que os ribeirinhos repitam as soluções e técnicas construtivas apreendidas na cidade de Corumbá.

A estrutura que será desenvolvida deve proporcionar resiliência através da capacidade de ser transportada e desmontada de modo simplificado. Isto vai permitir que a comunidade se afaste de áreas que possam apresentar riscos de desabamento no futuro. A pré-fabricação de peças com interfaces padronizadas e acopláveis reduz o trabalho especializado em campo, pois diminui a quantidade de elementos construtivos. Outra vantagem é a possibilidade que a estrutura seja montada por mão de obra local e que a experiência adquirida possa ser transmitida entre as comunidades. O peso e a dimensão dos elementos estruturais do artefato devem considerar as restrições de transporte já que as canoas são o principal meio utilizado na região. O sistema deve ser leve o suficiente para ser içado e encaixado no canteiro sem ajuda de guindastes ou qualquer equipamento especializado.

A alternância entre meses mais secos e mais alagados é característica da região. No entanto, eventos climáticos extremos como o “El Niño” (aumento na temperatura das águas do Oceano Pacífico na linha do Equador), afetam diretamente a quantidade de chuvas na América do Sul. Esta precipitação atípica, em especial a que cai sobre a Bacia do Alto Paraguai é escoada pelos rios da região até a planície do Pantanal. Este acúmulo provoca grandes cheias cada vez mais frequentes como a que atingiu a região no ano de 2011:

O pesquisador explica que em 2011 a inundação do Pantanal sul - quando o Rio Paraguai atingiu a marca de 5,62 metros em seu pico máximo - foi causada, além das chuvas provenientes do norte, pela inundação nos pantanais dos rios Aquidauana, Miranda, negro e Abobral, por chuvas intensas e at picas que caíram sobre as bacias dos rios Aquidauna e Miranda e que, ao se juntar com a do Paraguai causou uma grande cheia. Além desta extensa área inundada, houve demora na drenagem da região. (BRUNELLI, 2012)

Figura 17: Vulnerabilidade de uma moradia diante da enchente.



Fonte: Imagem de André Siqueira, ECOA, 2011.

Apesar de algumas construções adotarem o sistema de palafitas, a maior parte das casas da comunidade são edificadas de maneira improvisada e diretamente sobre o solo. Conforme revela a Figura 17, durante as cheias a situação entra em calamidade. Segundo Fonseca *et al.* (2017), para sobreviver, as famílias afetadas montam o jirau, uma estrutura rudimentar coberta por tábuas com o objetivo de salvarem alimentos e móveis. Outra estratégia é a construção de passarelas improvisadas. Todas estas técnicas oferecem risco tanto de desabamento quanto o de eventuais quedas de idosos e crianças. O desafio será projetar um sistema que proporcione uma plataforma seca independentemente do nível que a água atinja. Para garantir isto, será adotado como parâmetro medidas tomadas na cheia histórica do ano de dois mil e onze.

Durante o pulso de inundação do rio Paraguai, é comum o aparecimento de um fenômeno natural conhecido como “decoada”. O transbordo do rio cria uma lâmina de água sobre a vegetação. Com o tempo, estas plantas morrem e são decompostas por bactérias. Este excesso de matéria orgânica é levado para dentro dos corpos d’água onde o fenômeno se intensifica. A atividade dos microrganismos consome o oxigênio dissolvido na água e produz gás carbônico. A asfixia causa a morte da vida aquática que intensifica o fenômeno de deterioração da qualidade da água.

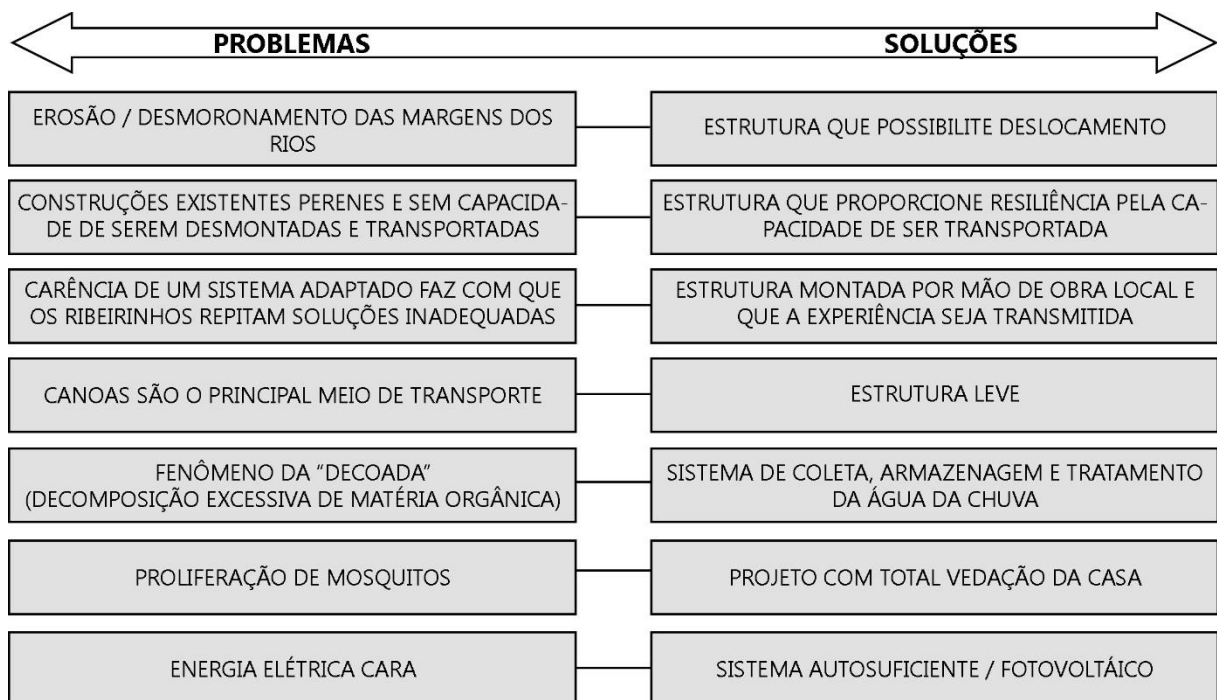
A redução da quantidade de peixes dificulta a pesca artesanal de subsistência. A atividade é uma das principais fontes de alimentação. Como consequência muitas pessoas acabam se desnutrindo. Além disto, a contaminação por estas bactérias torna a água insalubre. Outro impacto das cheias é que os reservatórios de esgoto das casas transbordam. A propagação de doenças transmissíveis como a hepatite chega a ser endêmica. O consumo torna-se perigoso. Mesmo assim, sem alternativas, muitas famílias acabam ingerindo água diretamente dos rios. Pessoas mais debilitadas correm o risco de adoecer ou morrer. O projeto da casa deverá contemplar, portanto, um sistema de coleta, armazenagem e tratamento da água de chuva.

Neste período, a oferta abundante de poças de água e de temperaturas quentes estimula a proliferação de mosquitos. A situação é insuportável. As casas possuem frestas que permitem a livre passagem de insetos. A solução adotada pelas famílias para amenizar o problema foi a queima de folhas e galhos com óleo em pequenas latas dentro de casa. A fumaça espanta os mosquitos, mas com o

tempo também causa insuficiência respiratória e pneumonia. O projeto deve considerar como prioridade a total vedação da casa. Janelas devem ser cobertas com tela e até mesmo o acesso deverá ser feito preferencialmente por espaços de passagem com dupla porta.

A energia elétrica é obtida principalmente pela queima de combustível em geradores. Isto a torna cara e escassa. Para estocarem alimentos e se prevenirem da época de decoada, muitas famílias têm o hábito de salgar a carne. Apesar de eficiente, o consumo excessivo de alimentos conservados por esta técnica traz ao longo do tempo problemas de hipertensão. A proposta deve contemplar um sistema central autossuficiente de produção de energia como o fotovoltaico. Aliado a isto, poderá ser instalado um congelador comunitário.

Figura 18: Relação entre os problemas e as soluções propostas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Enfim, conforme revela a Figura 18, as características do contexto natural e social do projeto permitiram inferir três objetivos fundamentais: 1- Proteger as famílias das cheias através de um sistema construtivo em palafitas. 2- Oferecer condições mínimas de iluminação e de saneamento básico através de sistemas integrados de acesso a água potável (através da captação e tratamento da água), de coleta e tratamento de resíduos e de geração de energia no local. 3- Possibilitar a

mobilidade e transferência da construção em casos extremos de necessidade através de um sistema construtivo modular de encaixes simplificados.

3.1.2 A Pesquisa de Campo

Um estudo de caráter exploratório foi desenvolvido *in loco* com o intuito de oferecer uma visão aproximativa do problema. Os instrumentos utilizados pelos pesquisadores foram entrevistas informais, formulários e o levantamento dimensional de vinte casas, uma igreja, um entreposto e uma escola da comunidade. O trabalho se desenvolveu na região da Barra do São Lourenço durante o mês de dezembro de 2013.

Conforme mostra a Figura 19, os integrantes tiveram contato com as famílias, o modo de vida e os hábitos da comunidade. Seus moradores, quando disponíveis, foram convidados a participar de entrevistas e formulários previamente elaborados. No total, foi possível realizar cinco entrevistas informais (gravadas e transcritas) e aplicar nove formulários (previamente elaborados e impressos). O objetivo da pesquisa de campo foi o de conhecer a realidade e a necessidade das populações tradicionais, resultando em um relatório de levantamento com plantas, cortes, fachadas, entrevistas e formulários que estão disponíveis para consulta².

Figura 19: Aplicação de formulários e levantamentos na comunidade



Fonte: Imagem do Autor (2013)

² O documento intitulado: Levantamento de Construções – Comunidade Barra do São Lourenço foi produzido em conjunto com a ONG ECOA em fevereiro de 2014. Seu acesso é disponibilizado pela instituição mediante requerimento.

Como a quantidade de participantes era limitada devido à dispersão geográfica, entrevistas do tipo informais foram adotadas pois facilitavam a obtenção de dados em profundidade. Esta técnica mais livre permite uma maior interação e flexibilidade já que o entrevistado pode tomar iniciativa e acrescentar informações relevantes e inesperadas. Outra vantagem é a possibilidade de observar expressões faciais, corporais bem como a tonalidade vocal.

Os formulários foram aplicados oralmente pela equipe junto com a entrevista. Esta técnica foi empregada devido aos seguintes fatores: Falta de conhecimento do nível de alfabetização e capacidade cognitiva dos indivíduos da comunidade para interpretar questões impressas. Evitar que os questionários retornassem incompletos ou preenchidos de maneira errada. Sanar eventuais dúvidas e garantir que a coleta de informações fosse a mais completa possível devido às dificuldades de acesso aos participantes.

Apesar do estudo impresso ser mais abrangente, a Tabela 8, elaborada pelo autor para esta dissertação, estabelece uma comparação entre as dez casas que tiveram a coleta de informações completa. Objetiva-se com isto sintetizar os dados e facilitar a compreensão dos parâmetros que impactaram o desenvolvimento do projeto.

Tabela 8: Características das residências existentes na comunidade.

CASA	MORADORES	ÁREA M2	MORADOR / M2	MAIOR CÔMODO	QUARTOS	BANHEIRO		
						QUANTIDADE	INTERNO	EXTERNO
1	5	44,5	8,90	SALA	2	1	0	1
2	10	132,5	13,25	VARANDA	4	2	1	1
3	6	56,25	9,38	COZINHA	2	1	1	0
4	9	73,45	8,16	VARANDA	2	1	0	1
5	5	33,85	6,77	SALA	2	1	0	1
6	3	40,25	13,42	QUARTO	1	1	0	1
7	5	45,50	9,10	QUARTO	1	1	0	1
8	4	53,45	13,36	SALA	1	1	0	1
9	2	29,00	14,50	QUARTO	1	1	1	0
10	6	88,00	14,67	QUARTO	1	1	0	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

É possível constatar, de acordo com a Tabela 8, que a residência padrão na comunidade da Barra do São Lourenço tem menos de cinco habitantes e é menor que sessenta metros quadrados. Cada morador vive em uma área menor do que onze metros quadrados. Possui dois quartos, sendo este o espaço principal e um banheiro externo. Estes parâmetros irão servir como referência para estabelecer

possíveis layouts abrigados no sistema.

A Figura 20, mostra as condições de conservação de uma das casas presentes no estudo. Através da observação visual, foi possível constatar que as casas foram construídas de maneira improvisada. Não passam periodicamente por manutenção e dificilmente poderão ser desmontadas e transportadas caso haja necessidade. Apresentam graves problemas de vedação, higiene e estruturais.

Figura 20: Moradia em situação de risco



Fonte: Imagem do Autor (2013)

Conforme mostra a Tabela 9, a maioria não possui sistema de palafitas. As fundações são feitas com toras de madeira que, por estarem enterradas, ficam em contato direto com o solo e acabam se deteriorando. Muitos pisos são simplesmente terra batida e não podem ser lavados. Outro problema é a incapacidade de vedar o ambiente interno do externo já que as paredes são feitas com materiais que não resistem às intempéries como lona plástica, compensado ou tábuas. As coberturas são constituídas por uma fina camada de telhas de fibrocimento, o que gera desconforto térmico para os moradores³. Os banheiros são externos para afastar riscos de contaminação, mau cheiro e insetos. Mesmo assim, as residências possuem fossas escavadas que durante as cheias transbordam e tornam o local insalubre.

Conta-se ainda que, devido à localização remota, materiais pesados como telhas cerâmicas, tijolos, pisos e peças de concreto acabam se tornando caros

³ Propriedades térmicas da telha de fibrocimento: Condutividade térmica (λ) = 0,95 / Calor específico (c) = 0,84 / Densidade de massa aparente (ρ) = 1900.

devido ao transporte. A leveza e a capacidade de compactação dos materiais através do empilhamento afetam o preço do frete das embarcações de carga do tipo “freteiras”. O projeto do sistema deve considerar, portanto a dimensão, peso e capacidade de empilhamento das peças que o compõe.

Tabela 9: Materiais empregados nas construções locais.

FACHADA	CASA	FUNDAÇÃO	PALAFITA	PISO	PAREDES	TELHADO
	1	MADEIRA	NÃO	TERRA	DIVERSOS	FIBROCIMENTO
	2	MADEIRA	NÃO	CERÂMICO	MADEIRA	FIBROCIMENTO
	3	MADEIRA	NÃO	CIMENTO	MADEIRA	FIBROCIMENTO
	4	MADEIRA	NÃO	TERRA	DIVERSOS	FIBROCIMENTO
	5	MADEIRA	NÃO	TERRA	DIVERSOS	FIBROCIMENTO
	6	MADEIRA	NÃO	TERRA	MADEIRA	FIBROCIMENTO
	7	CANAFISTO	SIM	MADEIRA	MADEIRA	FIBROCIMENTO
	8	MADEIRA	NÃO	CIMENTO	DIVERSOS	FIBROCIMENTO
	9	MADEIRA	SIM	MADEIRA	COMPENSADO	FIBROCIMENTO
	10	MADEIRA	SIM	MADEIRA	DIVERSOS	FIBROCIMENTO

PREDOMINÂNCIA MADEIRA NÃO TERRA MADEIRA FIBROCIMENTO

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

3.1.3 O Design Colaborativo

As características prévias afetam igualmente o desenvolvimento de um projeto. O repertório e as características de trabalho de cada integrante são decisivos no processo de tomada de decisões. As lacunas e limitações individuais podem ser reduzidas pela estratégia do design colaborativo. O processo de projeto é um mecanismo de simplificação, que começa com inúmeras variáveis até o momento em que é atingido um resultado plausível diante do problema inicial. A sinergia do grupo, portanto, complementa fraquezas específicas e dá origem à um projeto que não pode ser entendido apenas como a soma das habilidades de cada um. O equilíbrio de interesses destas visões individuais é fundamental para sucesso do projeto. A Tabela 10 abaixo traz informações específicas a respeito dos integrantes da equipe.

Tabela 10: Integrantes da equipe de projeto desde o início até os dias atuais.

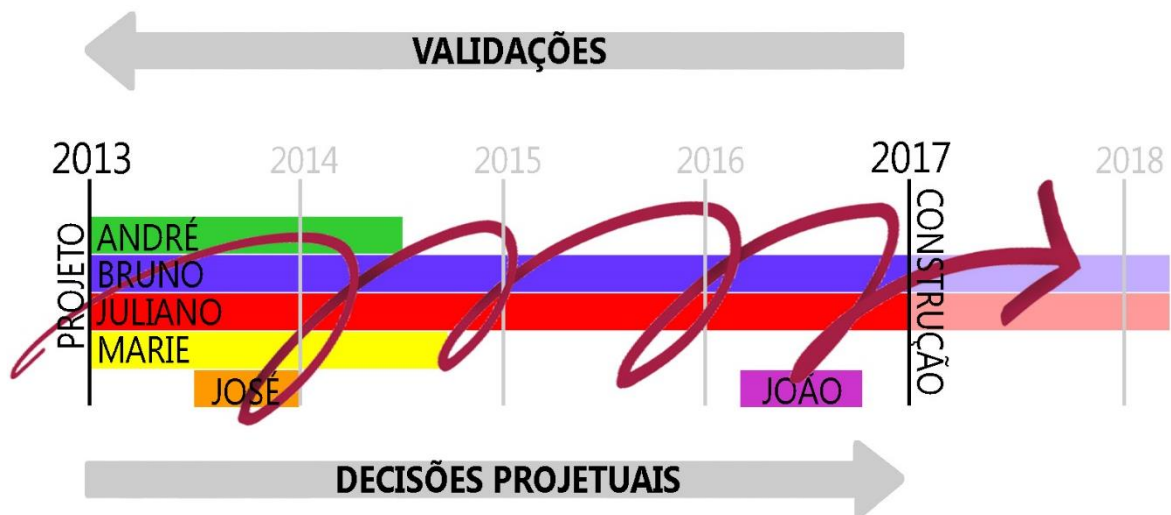
NOME	NACIONALIDADE	FORMAÇÃO	PAPEL NO PROCESSO DE PROJETO
JULIANO THOMÉ DE FARIA	BRASILEIRO	ARQUITETO	COORDENAÇÃO E GERENCIAMENTO GERAL DO PROJETO
BRUNO JOSÉ OLIVARI PASELLO	BRASILEIRO	ARQUITETO	COORDENAÇÃO E GERENCIAMENTO DO PROJETO
ANDRÉ MILEK STANGANELLI	BRASILEIRO	ARQUITETO	COLABORADOR DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO
MARIE DAYET	FRANCESA	ARQUITETA	COLABORADORA DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO
JOSÉ FRANCISCO DE LIMA	BRASILEIRO	ENGENHEIRO	CONSULTORIA EM ENGENHARIA CIVIL
JOÃO DE OLIVEIRA DORTA FILHO	BRASILEIRO	ENGENHEIRO	CONSULTORIA EM ENGENHARIA CIVIL

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Através do convite da ONG ECOA ao arquiteto Juliano Thomé uma equipe internacional de projeto foi constituída no ano de 2013. Formada inicialmente por jovens arquitetos brasileiros e uma francesa e que perdurou até o ano de 2017. A formação contou com a consultoria de dois engenheiros civis. Inicialmente José Lima (primeiro protótipo) e posteriormente João Dorta (sistema revisado). Conforme revela a Figura 21, durante estes quatro anos, a equipe inicial sofreu alterações. Cada cor representa o período de participação do profissional. Percebe-se que atualmente, os únicos que continuam atuando no projeto são o arquiteto Juliano Thomé e Bruno Pasello.

O longo período de desenvolvimento é resultado da dificuldade de captação de recursos para a construção de protótipos e da realização de testes. Apesar deste entrave, a vantagem é que estes quatro anos permitiram a maturação da proposta. Decisões que não tinham uma base sólida acabaram sendo abandonadas por contenção de custos. Este movimento de simplificação foi se tornando mais intenso até a construção efetiva das casas no ano de 2017.

Figura 21: Movimentos do processo de projeto.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Dois movimentos contrapostos afetaram a dinâmica da equipe ao longo dos anos. O primeiro corresponde às decisões projetuais internas. Cada uma das posições adotadas convergia em um fluxo direcionado à uma solução final plausível. No entanto, especificamente durante o processo deste projeto, o movimento sofria interferências externas: inúmeras apresentações intermediárias, votações e aprovações foram realizadas tanto na comunidade da Barra do São Lourenço quanto dentro da ONG ECOA. Estas interações com pessoas de certa forma externas ao projeto, dotadas de diferentes valores e perfis é valorizada no processo de co-design. Em comum elas têm o desejo por alcançar uma determinada meta.

Figura 22: Apresentação da proposta inicial para a comunidade.



Fonte: Imagem do Autor (2013).

Esta participação dos clientes e usuários através de validações intermediárias reforçou a característica cíclica do processo de projeto. A Figura 22 corresponde à apresentação realizada para os futuros usuários, na comunidade da Barra do São Lourenço, Pantanal, em dezembro de 2013. Como a equipe estava situada em Campo Grande – MS, as reuniões com o cliente (ONG ECOA) eram mais frequentes e aconteciam uma vez por mês aproximadamente. Nela, as decisões intermediárias eram apresentadas e discutidas, sempre tendo em vista os impactos relacionados aos custos.

A espiral na Figura 21 sintetiza justamente este terceiro movimento de avanço e recuo. Mesmo em momentos de retrocesso, a linha vermelha que representa a sequência de tomadas de decisão não toca o ponto de partida, o que sinaliza um avanço, um aprendizado. O próximo capítulo abordará a estratégia da modularidade no processo de projeto.

3.1.4 A Modularidade como Estratégia

O desenvolvimento do sistema estrutural modulado não foi um processo linear, mas pautado na tentativa e erro. Como visto na introdução, as restrições específicas do projeto aliadas à falta de uma base teórica consistente, fez com que a modularidade se manifestasse de modo empírico. Este capítulo abordará o momento da construção do primeiro protótipo e os motivos que levaram a equipe a simplificar o projeto, incorporando componentes disponibilizados pela indústria. Este ciclo de recuo do processo de criação não pode ser encarado como uma ruptura, já que a experiência adquirida trouxe segurança nas futuras decisões do projeto estrutural modular.

Figura 23: Construção do Protótipo (Cozinha comunitária em Porto da Manga).



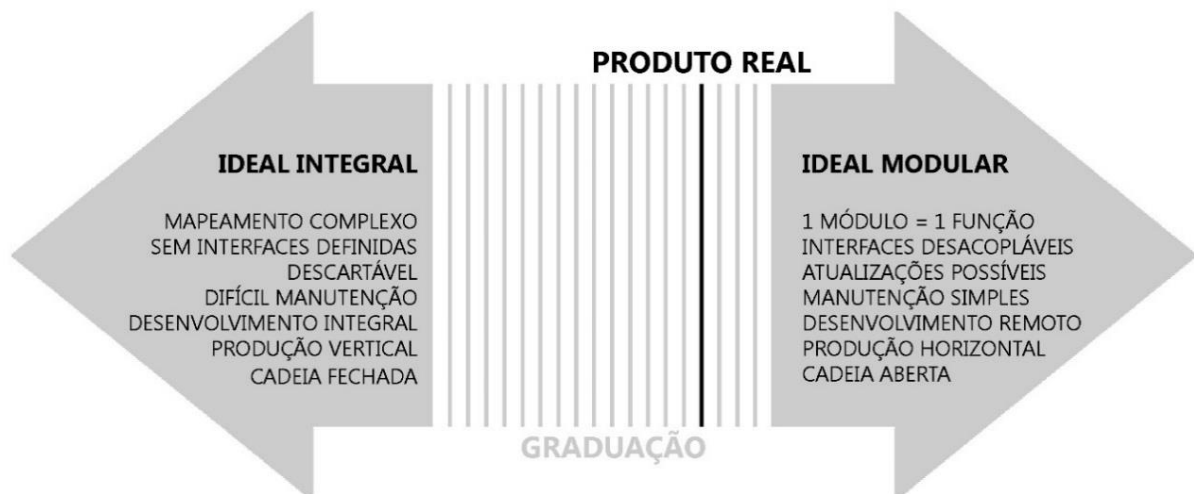
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Conforme a Figura 23 acima, no ano de 2016 surgiu a oportunidade de construir o primeiro protótipo. Uma cozinha comunitária que serviria como sede da Associação de Mulheres Extrativistas de Porto da Manga. A construção de 43 m² foi edificada nesta comunidade por um sistema convencional de pilares e vigas em madeira e revestida por placas fabricadas com materiais recicladas. As conexões da estrutura principal foram feitas no canteiro através de chapas-prego, parafusos, porcas e arruelas. Os pilares da fundação foram ancorados dentro de bolsões de

concreto executado no local. Vinte e sete diárias de trabalho foram precisas para concluir a unidade.

Viana *et al.* (2017) e Voordijk *et al.* (2006) afirmam que a arquitetura do produto pode transitar entre o ideal modular e o integral. Quanto menos funções forem desempenhadas pelo componente, mais modular o produto é. Quanto mais tipos de interação entre os módulos, mais integral é o sistema. Não existe, portanto, na prática um produto perfeitamente modular ou integral. O grau de modularidade de um produto varia dentro dos extremos ideais. A Figura 24 ilustra como estas situações ideais teóricas se relacionam para dar origem ao produto real. O projeto em questão tinha padrões dimensionais modulares, como por exemplo a relação estabelecida entre o tamanho das placas de revestimento e das telhas de cobertura. Porém, a construção era pautada em elementos básicos de reduzida pré-fabricação como vigas, terças conectadas sem interfaces padronizadas.

Figura 24: Critérios modulares e integrais.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

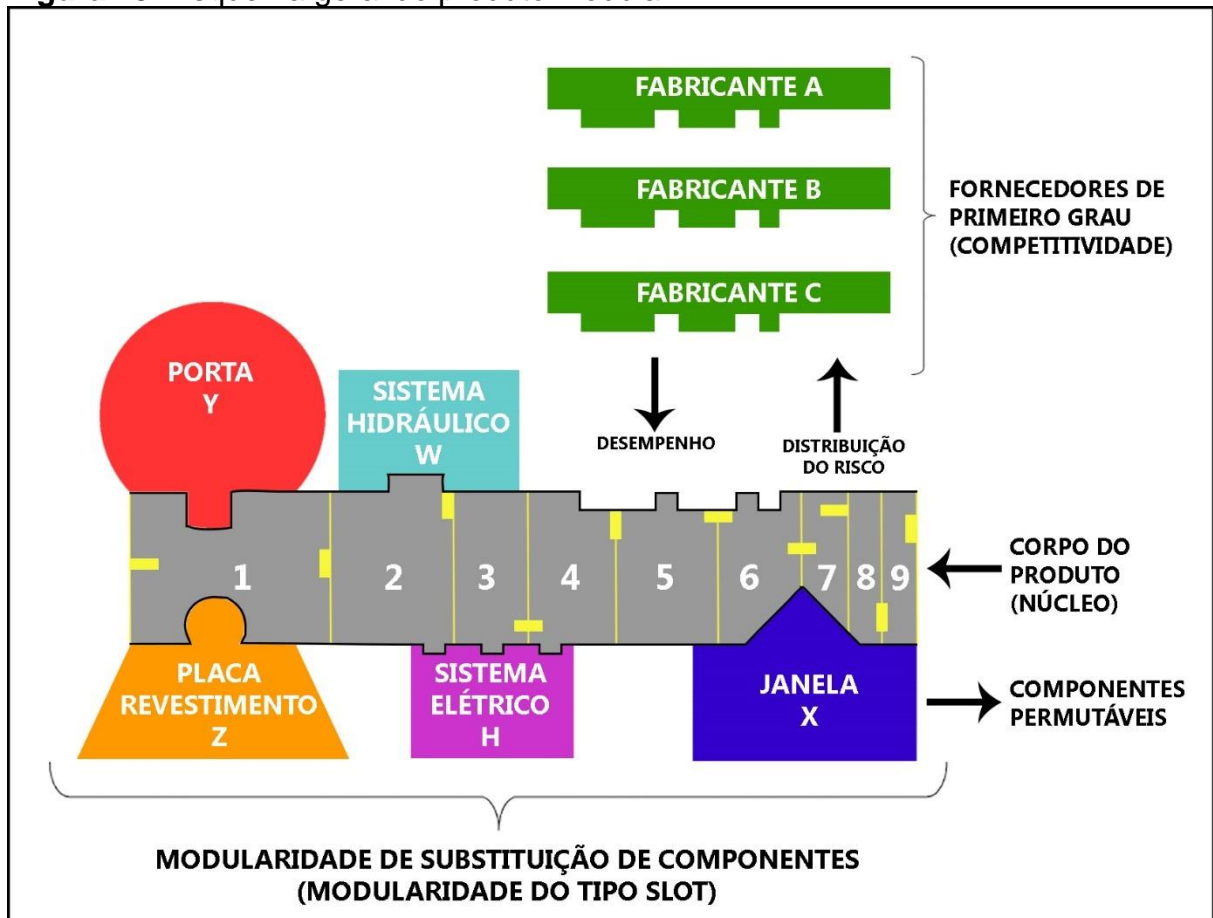
3.2 O Produto Modular

Como visto no capítulo dois, o produto modular é composto de módulos ou blocos de construção independentes que segundo Rocha *et al.* (2015) podem ser desacoplados, misturados e combinados de maneira distinta. O objetivo é desenvolver um sistema estrutural composto de peças pré-fabricadas que se encaixavam através de interfaces definidas. Esta estratégia busca simplificar o transporte, montagem e desmontagem da unidade. A partir do piloto, portanto, o projeto passa a incorporar componentes disponíveis no mercado e trabalhar dentro de uma cadeia produtiva. O que contribui para a sinergia do setor da construção como um todo. A coordenação da modularidade na produção funciona como uma linguagem que permite a decomposição de responsabilidades e desempenho em uma cadeia de produção mais aberta e horizontal.

A Figura 25 corresponde ao esquema geral modular do projeto revisado. O corpo do produto é formado por nove tipos de peças que desempenham funções específicas e que se acoplam por interfaces tipificadas. Apesar de cada componente ter uma dimensão e formato característico, a estrutura montada permite o acoplamento de elementos externos disponíveis no mercado. Caso haja necessidade, este núcleo básico pode ser expandido pelo agrupamento de mais peças, porém, a presença dos oito tipos é obrigatória para estruturar a formação mínima.

A modularidade do sistema é classificada como Slot – interfaces diferentes para cada componente – subtipo: Troca de Componentes. Segundo Salvador *et al.* (2002), este arranjo prevê que alguns módulos assumam o papel de corpo do produto. São responsáveis pela integridade do sistema. Todos os componentes fora do núcleo – componentes intercambiáveis – podem ser trocados e descartados desde que respeitem a coordenação das interfaces. Esta estratégia estimula a competitividade dos fornecedores. Como consequência, a performance é elevada e os preços reduzidos. Outra vantagem é a distribuição dos riscos da operação. Por exemplo, caso uma porta apresente problemas de deformação, o fabricante será responsabilizado. Como visto no capítulo dois, esta arquitetura modular do sistema permite que componentes defeituosos possam ser substituídos com facilidade. O núcleo pode ser reconfigurado, o que aumenta sua vida útil.

Figura 25: Esquema geral do produto modular.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

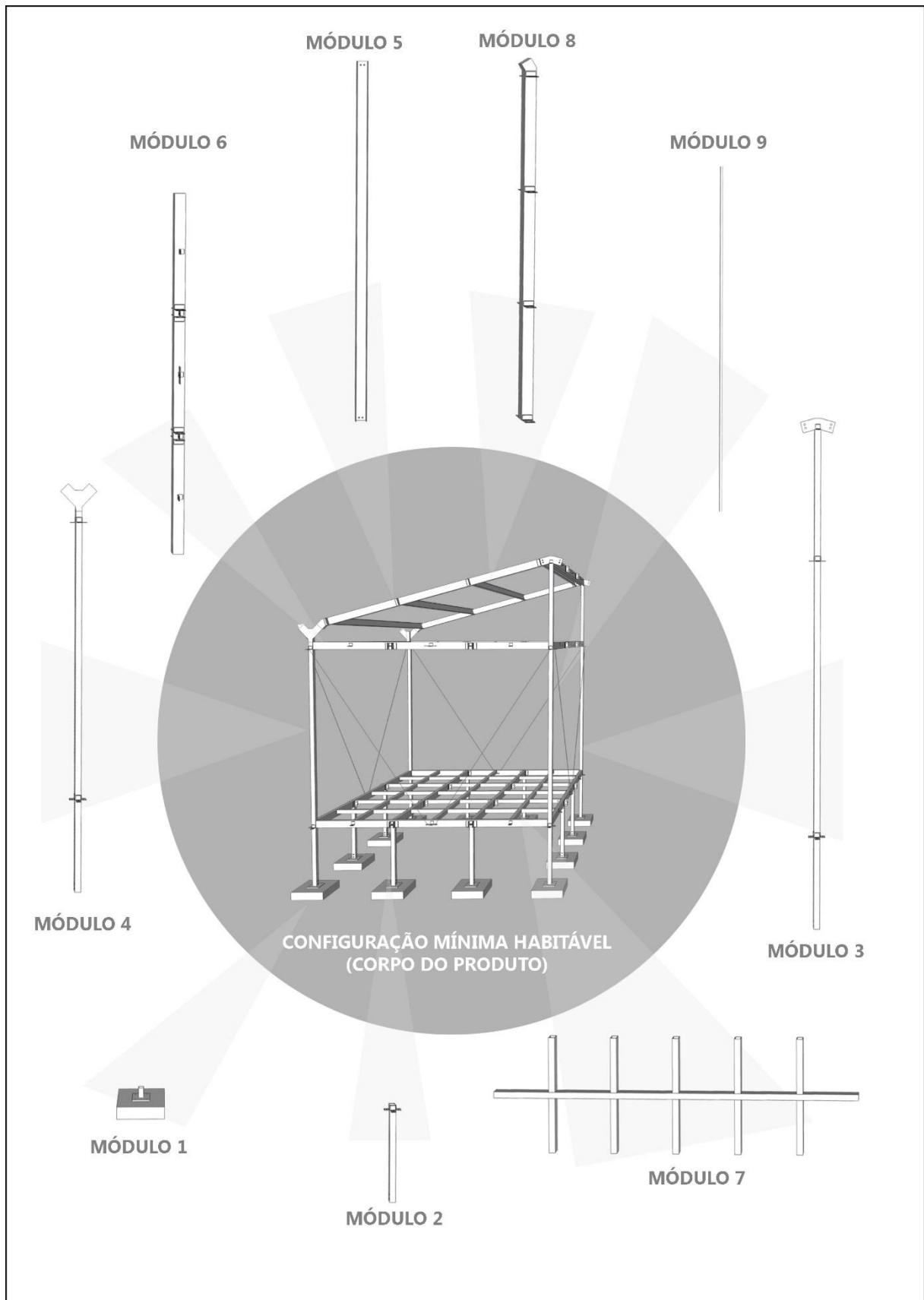
Apresentada a arquitetura do produto, esta dissertação abordará no capítulo seguinte os aspectos específicos do sistema. Cada um dos módulos será apresentado e terá suas particularidades explicadas. As interfaces e o nível de modularização justificados. Por fim, o leitor é convidado a compreender quais as possibilidades oferecidas pela variabilidade e como ela se manifesta na proposta.

3.2.1 Os Módulos

O sistema estrutural projetado é constituído predominantemente por módulos fabricados a partir de perfis metálicos disponíveis no mercado. Durante a produção, todas as peças passaram por um processo de galvanização para aumento da durabilidade. Devido às restrições de transporte pelas dimensões das jangadas dos ribeirinhos, o limite máximo de peso estabelecido para cada peça é de quarenta quilogramas. O maior componente tem quatro metros e cinquenta centímetros de comprimento. Com o intuito de facilitar o empilhamento durante o transporte e armazenagem, nenhum dos módulos constituem espaços utilizáveis individualmente.

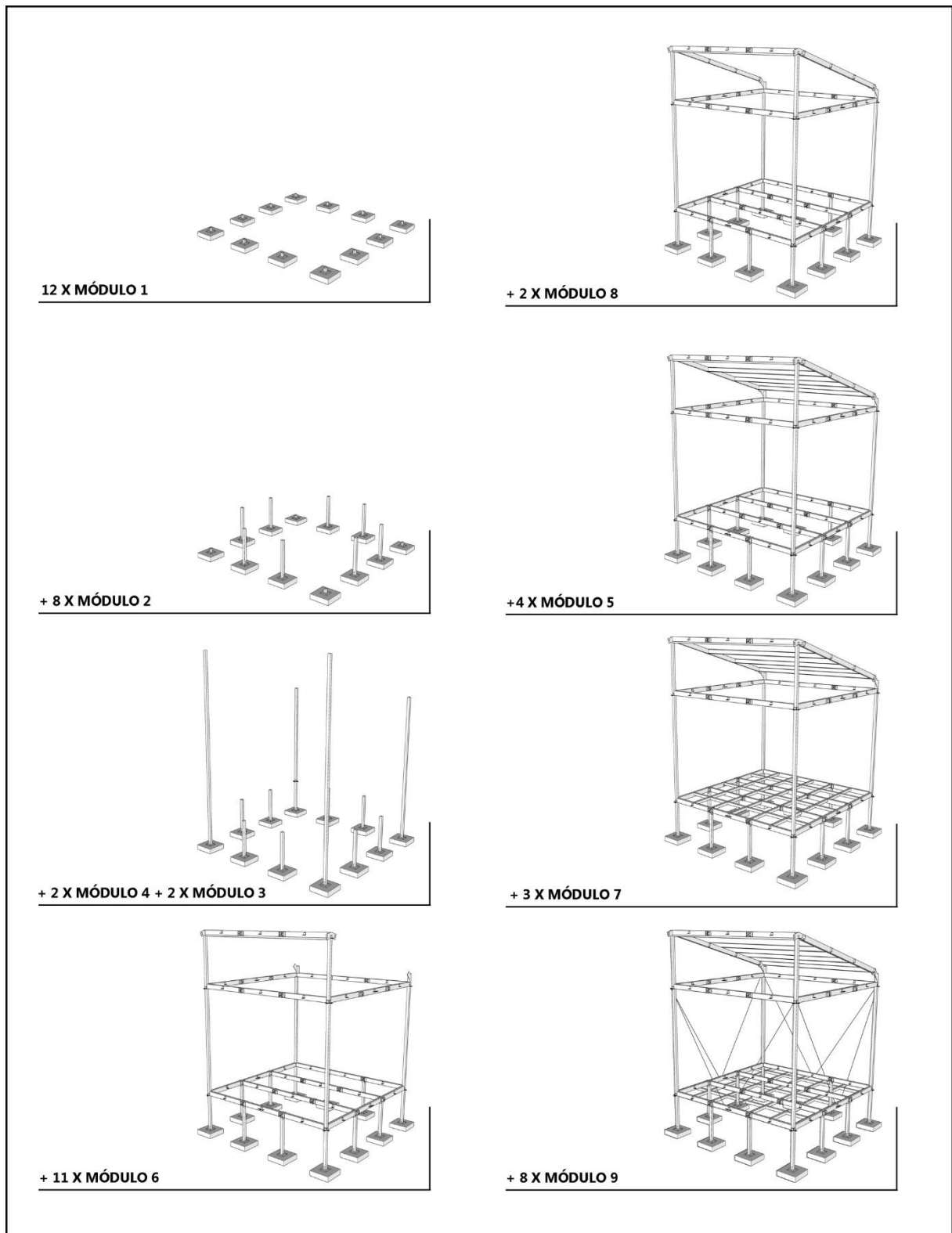
No sistema proposto, o corpo do produto corresponde à configuração mínima habitável. É quando as peças se combinam para desempenhar juntas uma função que não poderiam ter de maneira independente, ou seja, delimitar um espaço. Representada pela Figura 26, este núcleo delimita uma superfície de aproximadamente nove metros quadrados e um volume de vinte e cinco metros cúbicos. O arranjo é formado por cinquenta e quatro módulos.

Figura 26: Os nove módulos que compõe o sistema.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Figura 27: Processo de acoplamento dos módulos.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

A Tabela 11 especifica os detalhes técnicos de cada módulo do sistema. Nota-se, em termos funcionais, uma relação de dependência e complementariedade entre as partes. A seguir, informações específicas como o formato, dimensões e localização dentro do corpo do produto serão apresentadas.

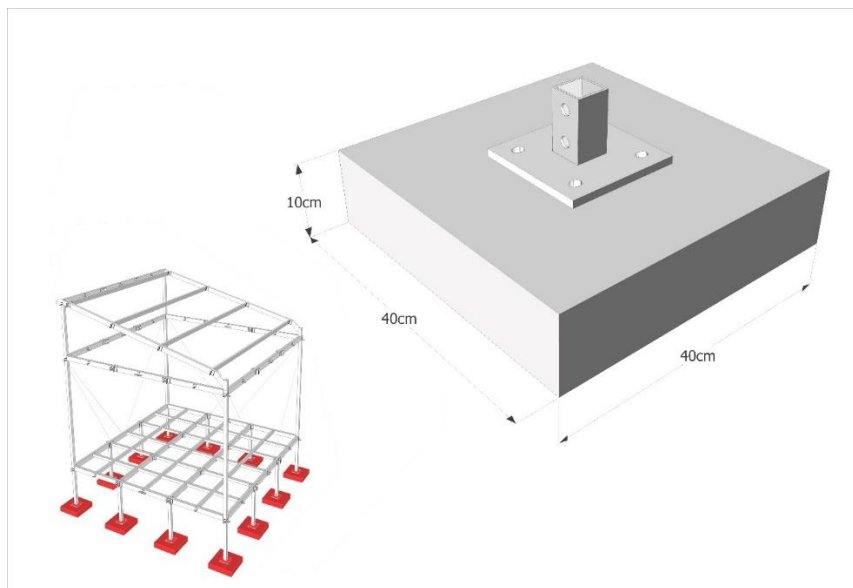
Tabela 11: Especificações dos módulos do sistema.

		DENOMINAÇÃO:	FUNÇÃO :	CONECTA-SE COM AS PEÇAS:	TIPO DE PERFIL:
S I S T E M A	MÓDULO 1	BLOCO DE FUNDAÇÃO	DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS DO SISTEMA NO SOLO	2, 3 e 4	SEM PERFIL
	MÓDULO 2	PILAR METÁLICO P	CONDUÇÃO DAS CARGAS VERTICAIS PARA O BLOCO DE FUNDAÇÃO	1 e 6	TUBO METALON QUADRADO 50X50X3,20mm
	MÓDULO 3	PILAR METÁLICO G	SUSTENTAÇÃO DA PARTE ALTA DO TELHADO	1, 6 e 8	TUBO METALON QUADRADO 50X50X3,20mm
	MÓDULO 4	PILAR METÁLICO M	SUSTENTAÇÃO DA PARTE BAIXA DO TELHADO	1, 6 e 8	TUBO METALON QUADRADO 50X50X3,20mm
	MÓDULO 5	TERÇA	SUSTENTAÇÃO DAS TELHAS	8	VIGA U 90X25X2,50mm
	MÓDULO 6	VIGA PADRÃO	SUSTENTAÇÃO DAS PAREDES E ESTRADO	7, 3, 4 e 7	2 VIGAS U 90X25X2,50mm SOLDADAS
	MÓDULO 7	ESTRADO	APOIO DO PISO	6	2 VIGAS U 50X25X1,50mm SOLDADAS
	MÓDULO 8	VIGA INCLINADA	SUSTENTAR AS TERÇAS DO TELHADO	4, 5 e 3	2 VIGAS U 90X25X2,50mm SOLDADAS
	MÓDULO 9	CONTRAVENTAMENTO	RESISTÊNCIA AOS ESFORÇOS HORIZONTAIS	6, 3 e 4	CABO DE AÇO \varnothing 7,90mm

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O **MÓDULO 1**, (Figura 28), corresponde ao bloco de fundação. É formado por um volume principal de concreto armado e uma base metálica que proporciona uma possível conexão com às peças dois, três e quatro. Dentro do sistema, é o único módulo que estabelece uma relação direta com o solo.

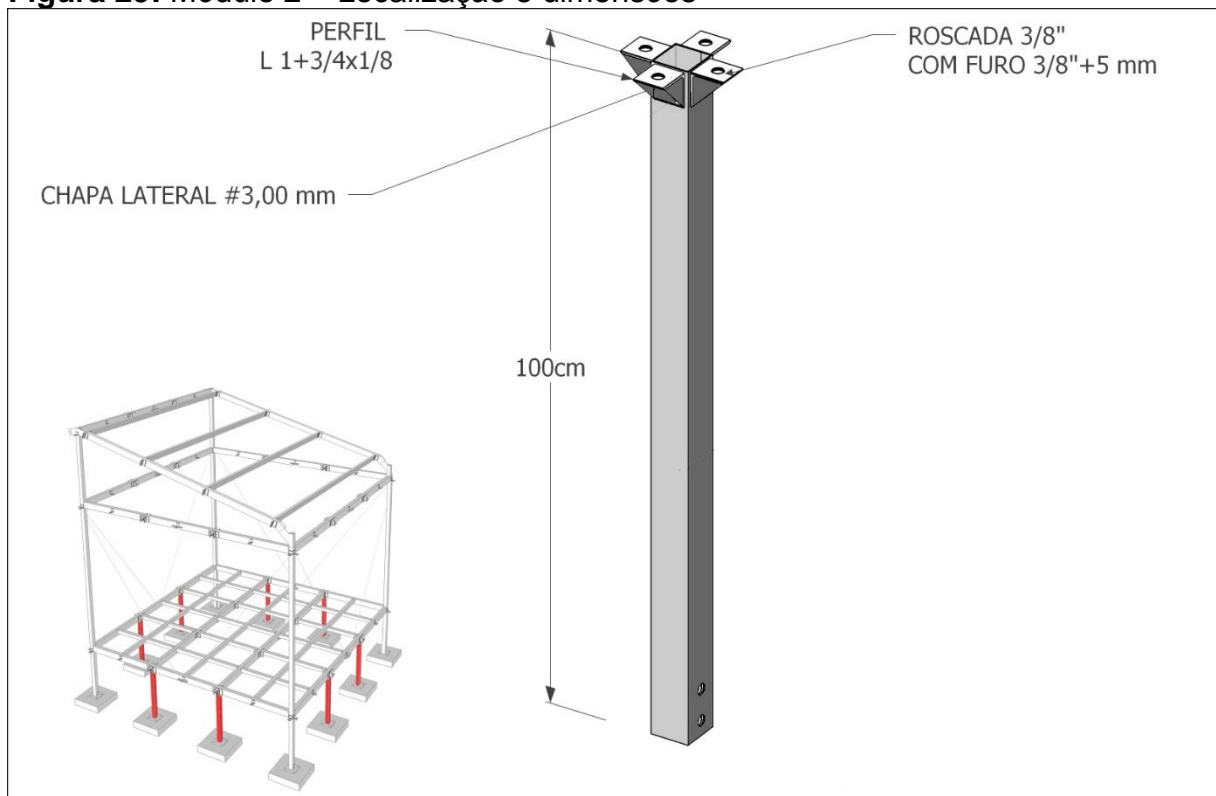
Figura 28: Módulo 1 – Localização e dimensões.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O **MÓDULO 2**, (Figura 29) corresponde à um pilar metálico P. Possui cem centímetros de comprimento. Na extremidade que apresenta duas perfurações pode se ligar apenas com a peça de número um. Do outro lado, no topo, possui quatro cantoneiras furadas e enrijecidas com chapa lateral que se conectam apenas com a peça de número seis. Este reforço é necessário para garantir a integridade do suporte, já que é sujeito à eventuais cargas móveis.

Figura 29: Módulo 2 – Localização e dimensões

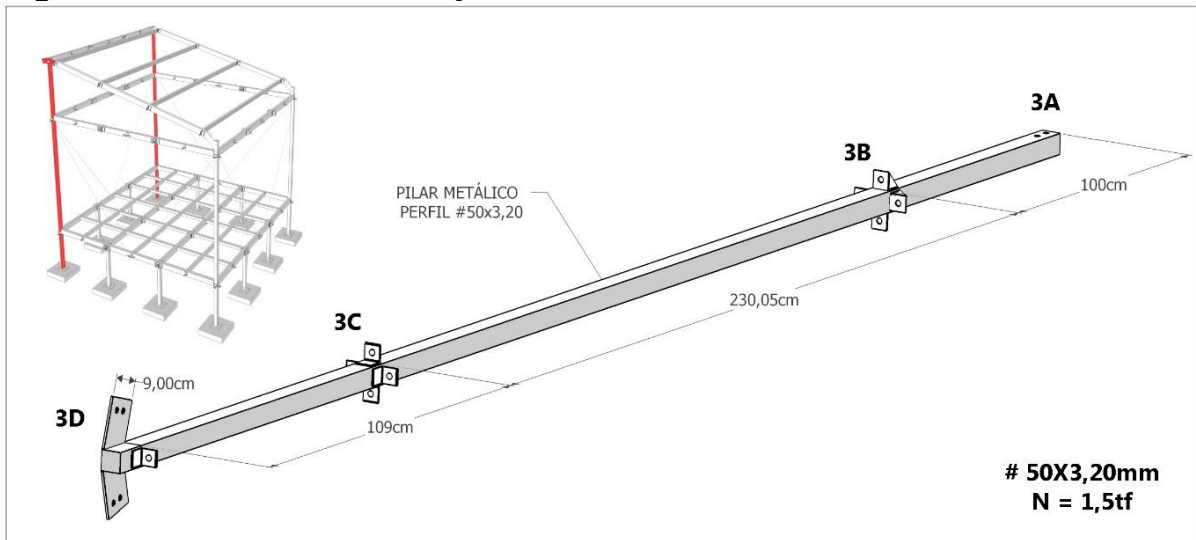


Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

O **MÓDULO 3**, (Figura 30) é um pilar G. Possui quatro pontos de ligação, (3A, 3B, 3C, 3D). No local 3A, perfurado, conecta-se com a peça de número um. No 3B possui cantoneiras enrijecidas para ligar-se com a peça seis. No 3C cantoneiras convencionais que se ligam exclusivamente com a peça seis. No 3D liga-se com a peça de número oito.

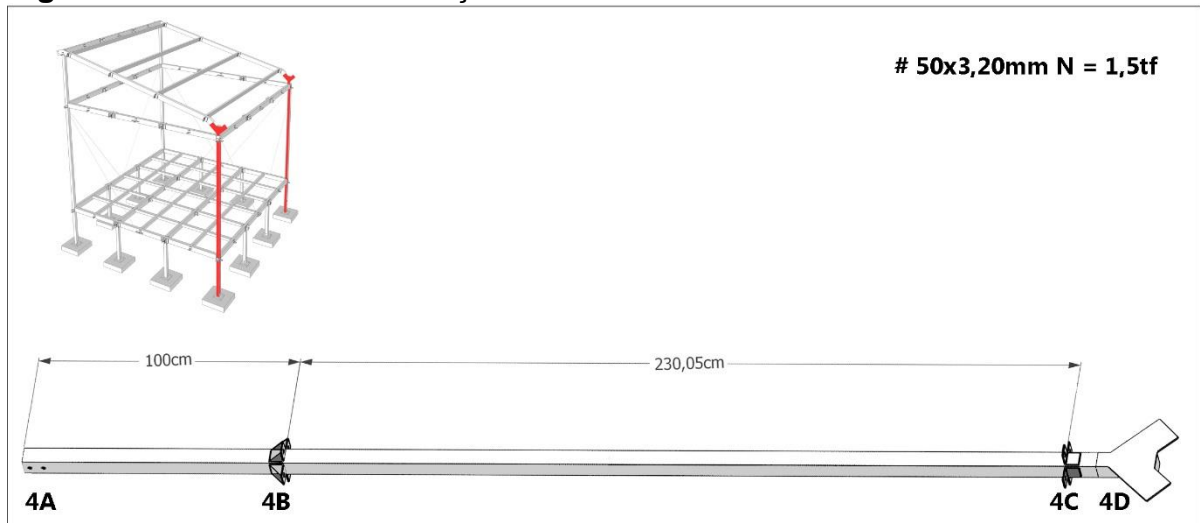
O **MÓDULO 4**, (Figura 31) é um pilar M. Possui quatro regiões de ligação. No local 4A, perfurado, conecta-se com a peça de número um. No 4B possui cantoneiras enrijecidas para ligar-se com a peça seis. No 4C cantoneiras convencionais que se ligam exclusivamente com a peça seis. No 4D liga-se com a peça de número oito.

Figura 30: Módulo 3 – Localização e dimensões



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

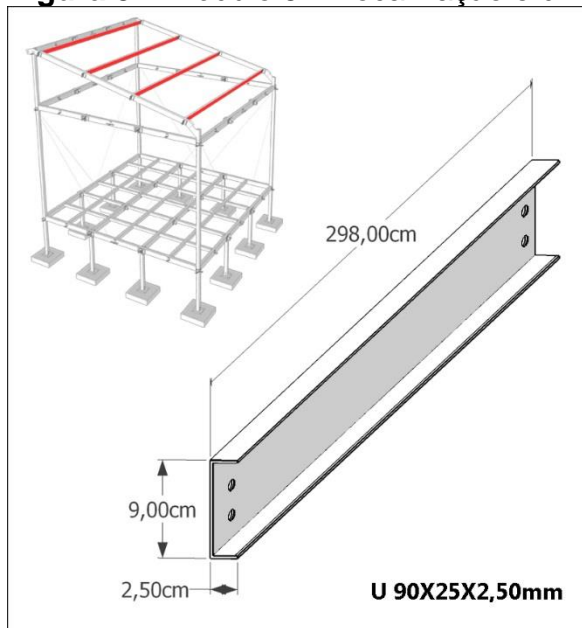
Figura 31: Módulo 4 – Localização e dimensões



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

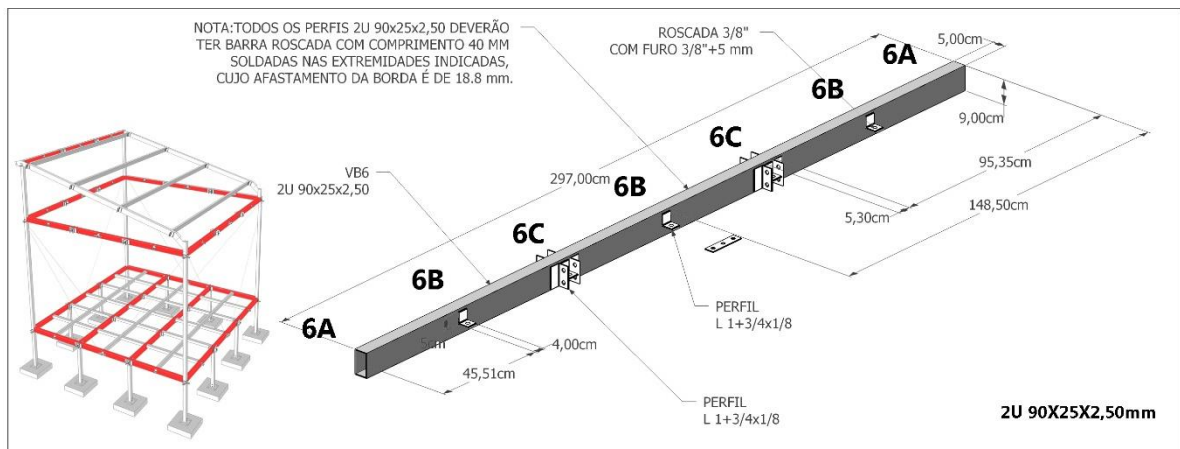
O **MÓDULO 5**, (Figura 32) é uma terça. Possui em suas extremidades, duas zonas idênticas de ligação que se conectam exclusivamente com o módulo 8. O **MÓDULO 6**, (Figura 33) é uma viga padrão. Possui sete áreas de ligação. O local 6A, perfurado, pode conectar-se com a peça de número dois, três e quatro. No 6B possui cantoneiras simples para ligar-se com a peça sete. No 6C, dois perfis L que se ligam exclusivamente com outra peça semelhante.

Figura 32: Módulo 5 – Localização e dimensões



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

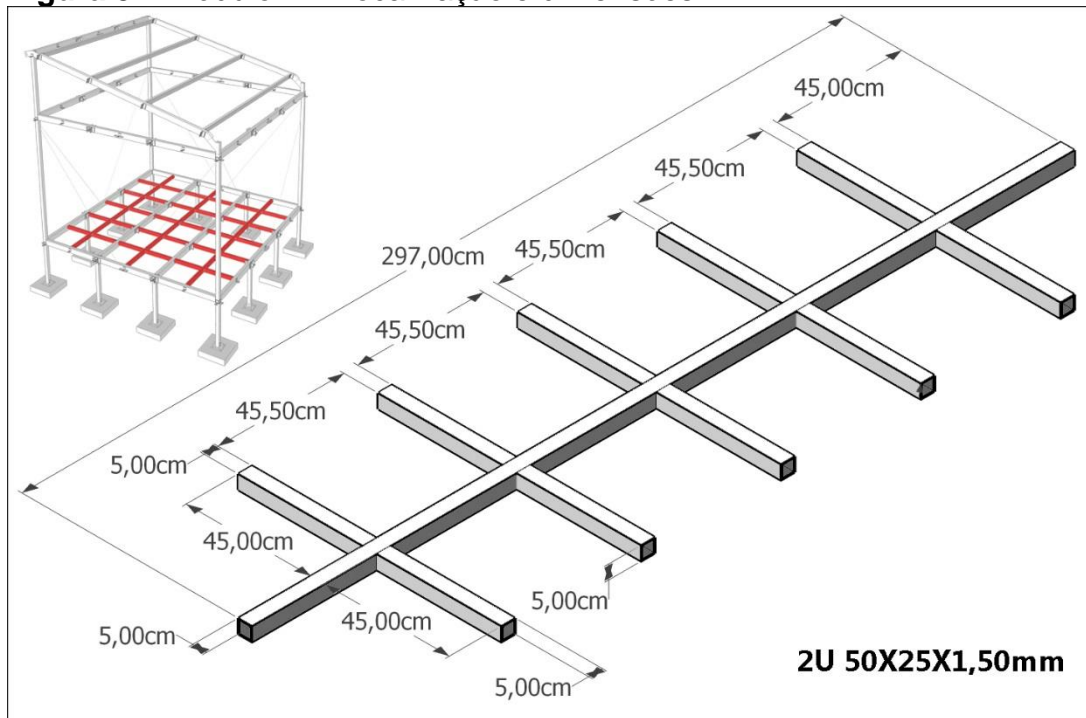
Figura 33: Módulo 6 – Localização e dimensões



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

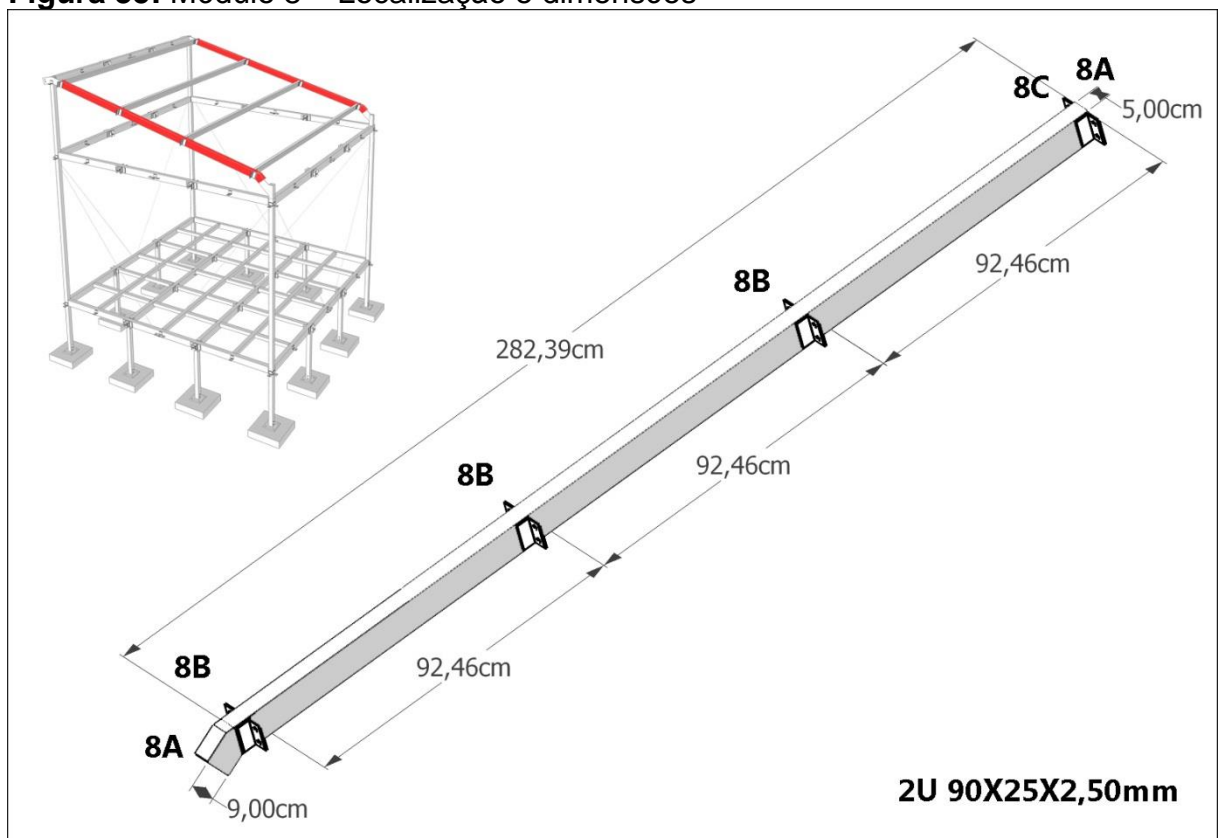
O **MÓDULO 7**, (Figura 34) é o estrado. Todas as suas extremidades possuem perfurações para ligação. Conectam-se exclusivamente com a zona 6B do módulo seis. O **MÓDULO 8**, (Figura 35) é uma viga inclinada. Possui seis zonas de ligação. No local 8A, perfurado, pode conectar-se com a peça de número quatro. No 8B possui cantoneiras simples para ligar-se com a peça cinco. No 8C, também perfurado, liga-se exclusivamente com a peça três.

Figura 34: Módulo 7 – Localização e dimensões.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

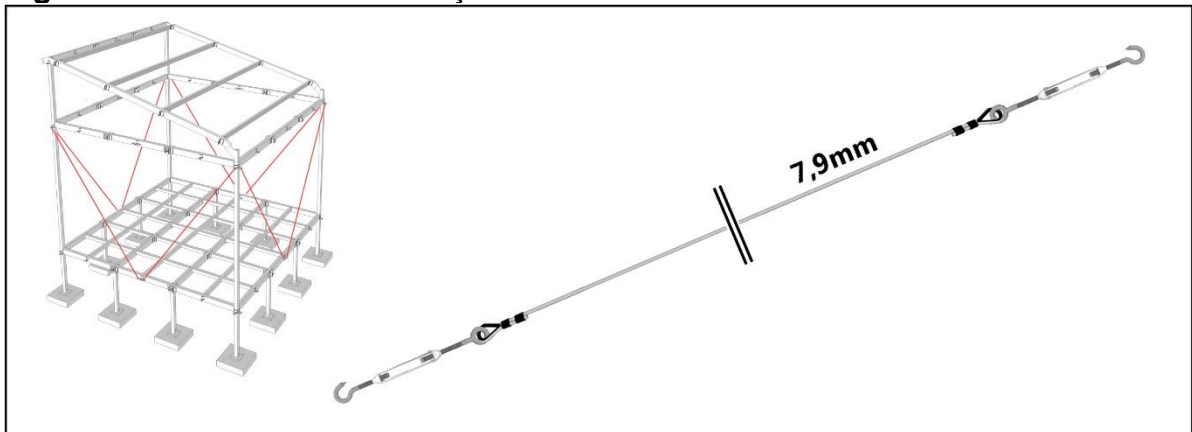
Figura 35: Módulo 8 – Localização e dimensões



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O **MÓDULO 9**, (Figura 36), corresponde ao contraventamento. Constituído por um cabo de aço de 7,9mm de diâmetro e dois esticadores, um em cada extremo. Conecta-se com as cantoneiras das peças de número seis, três e quatro.

Figura 36: Módulo 9 – Localização e dimensões



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

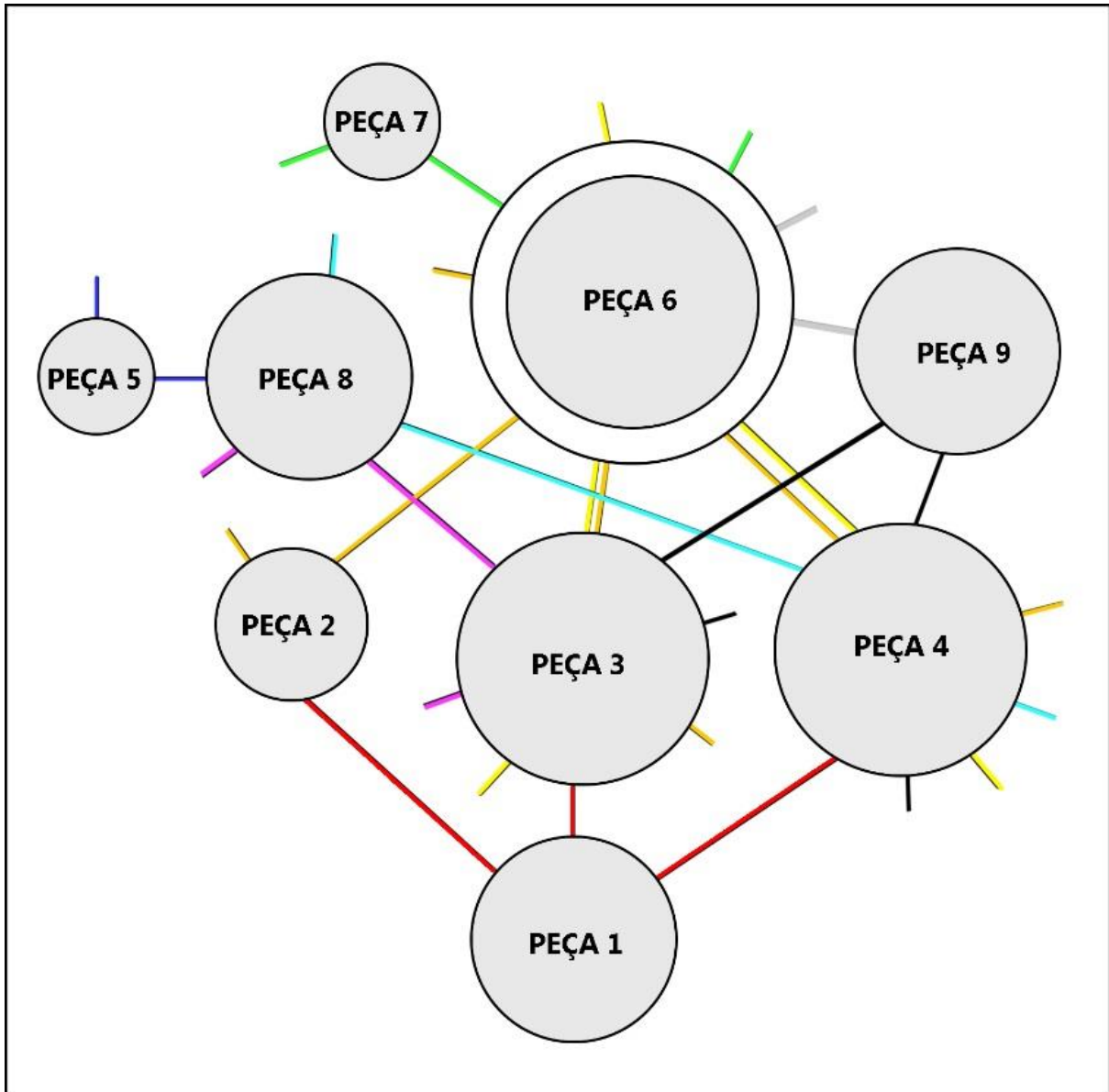
3.2.2 As Interfaces

A Figura 37 apresenta o mapa de ligações do sistema. Cada linha colorida representa um tipo específico de conexão das peças. Os tamanhos dos círculos são diretamente proporcionais ao número de ligações possíveis. Quanto menos possibilidades, menor o seu tamanho. Estabelecendo uma ordem de conectividade, da mais versátil para a menos temos: peça 6 > peças 3 e 4 > peças 1, 8 e 9 > peças 5 e 7. Nota-se que a peça seis ainda é a única a possuir a capacidade de ser acoplada a si mesma, (representada pelo duplo círculo).

Dos nove módulos, apenas os de número seis, um e nove podem se ligar com peças diferentes através de uma mesma interface. No entanto, a predominância de componentes com ligações específicas permite que a modularidade do sistema seja classificada como a do tipo slot, em que as interfaces de ligação entre módulos são únicas. As linhas que não se conectam com outros círculos representam o caráter aberto de algumas partes do sistema. Nota-se que existem interações do tipo fechada, que não deixam “esperas de ligação”, como a do módulo um com o três

por exemplo e as abertas, que apesar de conectadas permitem novas interações. Um exemplo é a conexão entre o módulo seis e quatro. Esta conectividade de caráter aberto permite a expansão do corpo do produto.

Figura 37: Mapa de Ligações do Sistema



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Apesar das peças pré-fabricadas terem interfaces diferentes, todas elas são fixadas através de partes removíveis como porcas sextavadas. Esta solução permite que o produto seja montado sem a necessidade de energia elétrica, além de evitar a agressão das ligações no processo de desacoplamento. A sequência de

imagens a seguir irá mostrar em detalhes como os nove tipos de interface interagem. O intuito deste trabalho será o de abordar as questões práticas/funcionais das interações e não etapas específicas, como por exemplo, os cálculos estruturais.

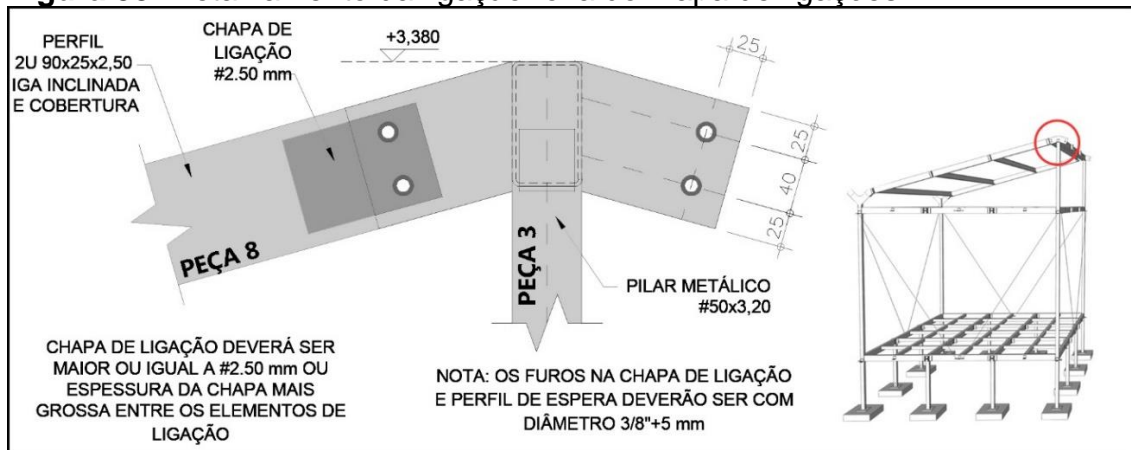
A Figura 38 mostra uma ligação entre uma viga inclinada de cobertura (módulo 8) e o topo do pilar grande (módulo 3). Uma chapa de aço 2,5mm de espessura soldada na viga e com duas perfurações 3/8" irão se alinhar com furos existentes na aba do módulo 3. O encaixe será feito por dois segmentos de barra roscada 3/8" fixados por porcas sextavadas.

A Figura 39 mostra a ligação da viga inclinada de cobertura (módulo 8) com uma terça (módulo 5). O perfil do tipo L, soldado na viga, possui duas perfurações de tamanho 3/8" A terça possui igualmente dois furos que irão se alinhar à espera. Dois segmentos de barra roscada 3/8" fixados por porcas sextavadas completam a conexão.

A Figura 40 revela como o estrado (módulo 7) se encaixa com a viga padrão (módulo 6). Um perfil do tipo L soldado na peça seis e com uma perfuração 3/8" se encaixará com um segmento de barra roscada 3/8" previamente soldado na extremidade do módulo sete. A ligação ocorre através de uma porca sextavada.

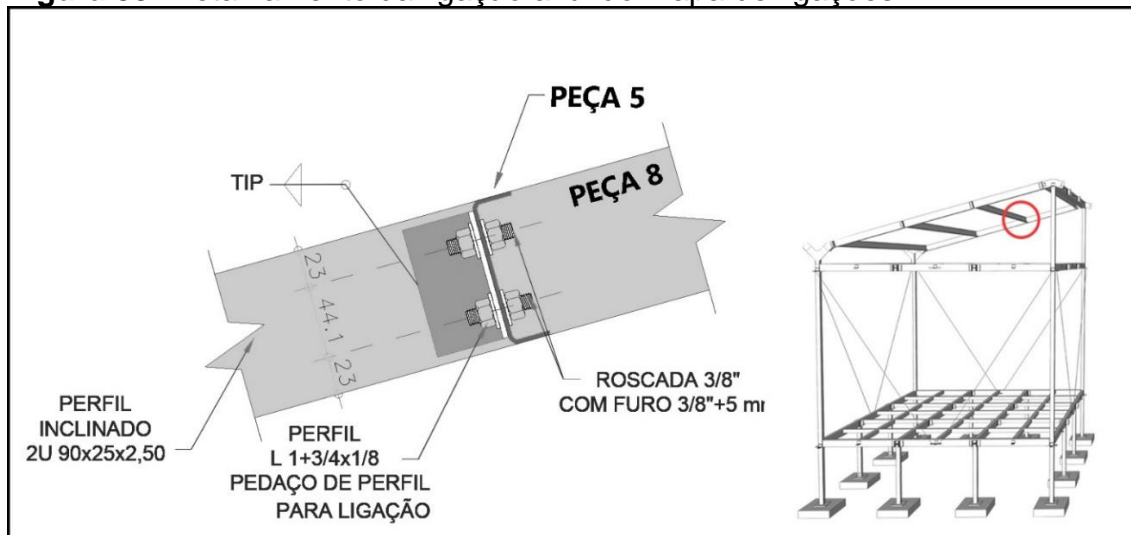
Na Figura 41, três ligações são reveladas em detalhes. A primeira corresponde ao encontro entre a viga inclinada (módulo 8) com o pilar de tamanho médio (módulo 4). Uma chapa metálica de ligação com espessura de 2,5mm e com duas perfurações 3/8" conecta-se com dois furos da aba da peça quatro. Dois segmentos de barra roscada 3/8" transpassados nas perfurações serão apertados com quatro roscas sextavadas. A segunda interface corresponde ao encontro entre uma viga padrão (módulo 6), com o mesmo pilar de tamanho médio (módulo 4) já apresentado. Um perfil L 1 + 3/4 x 1/8, soldado na peça quatro e com um orifício de tamanho 3/8" recebe o segmento de barra roscada 3/8" soldado na extremidade do módulo seis. Roscas sextavadas completam a ligação. O terceiro ponto de contato do pilar de tamanho médio (peça 4) ocorre com o cabo de contraventamento (peça 9). O gancho conecta-se igualmente no furo supramencionado do perfil L 1 + 3/4 x 1/8.

Figura 38: Detalhamento da ligação roxa do mapa de ligações.



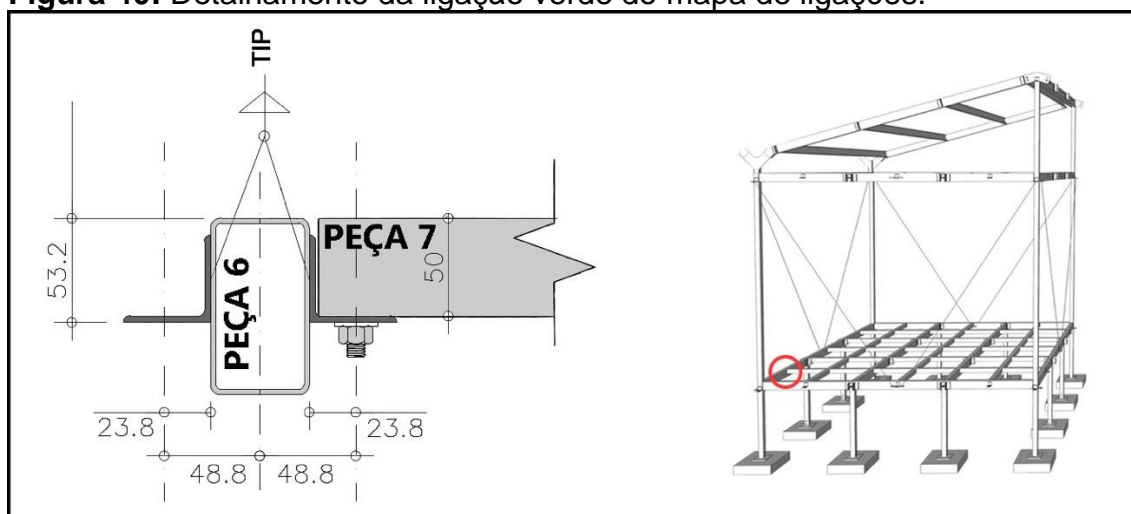
Fonte: Elaborado pela equipe de projeto (2019).

Figura 39: Detalhamento da ligação azul do mapa de ligações.



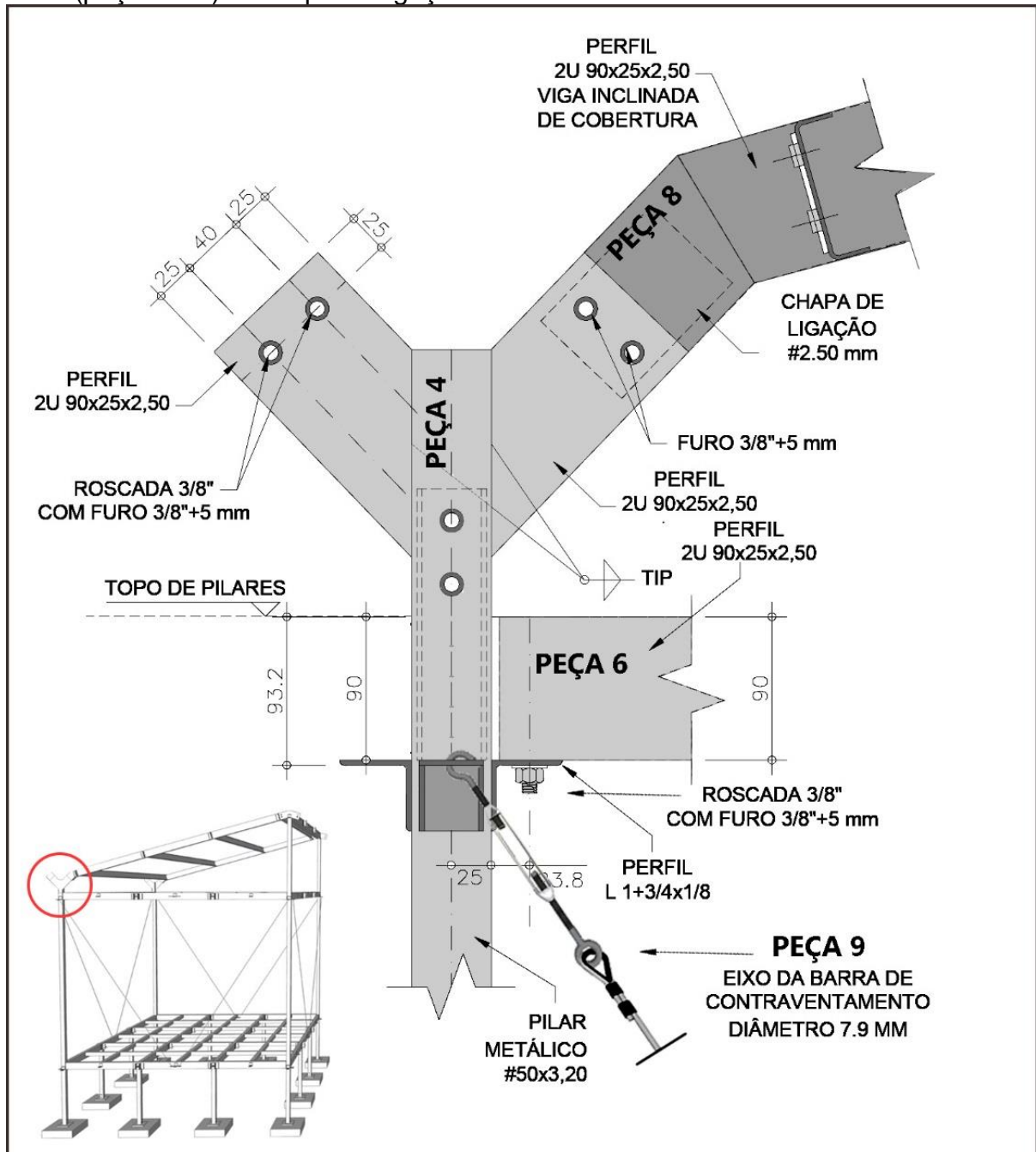
Fonte: Elaborado pela equipe de projeto e pelo Autor (2019).

Figura 40: Detalhamento da ligação verde do mapa de ligações.



Fonte: Elaborado pela equipe de projeto (2019).

Figura 41: Detalhamento ligação preta (peça 4 e 9), amarela (peça 4 e 6) e azul claro (peça 4 e 8) do mapa de ligações.

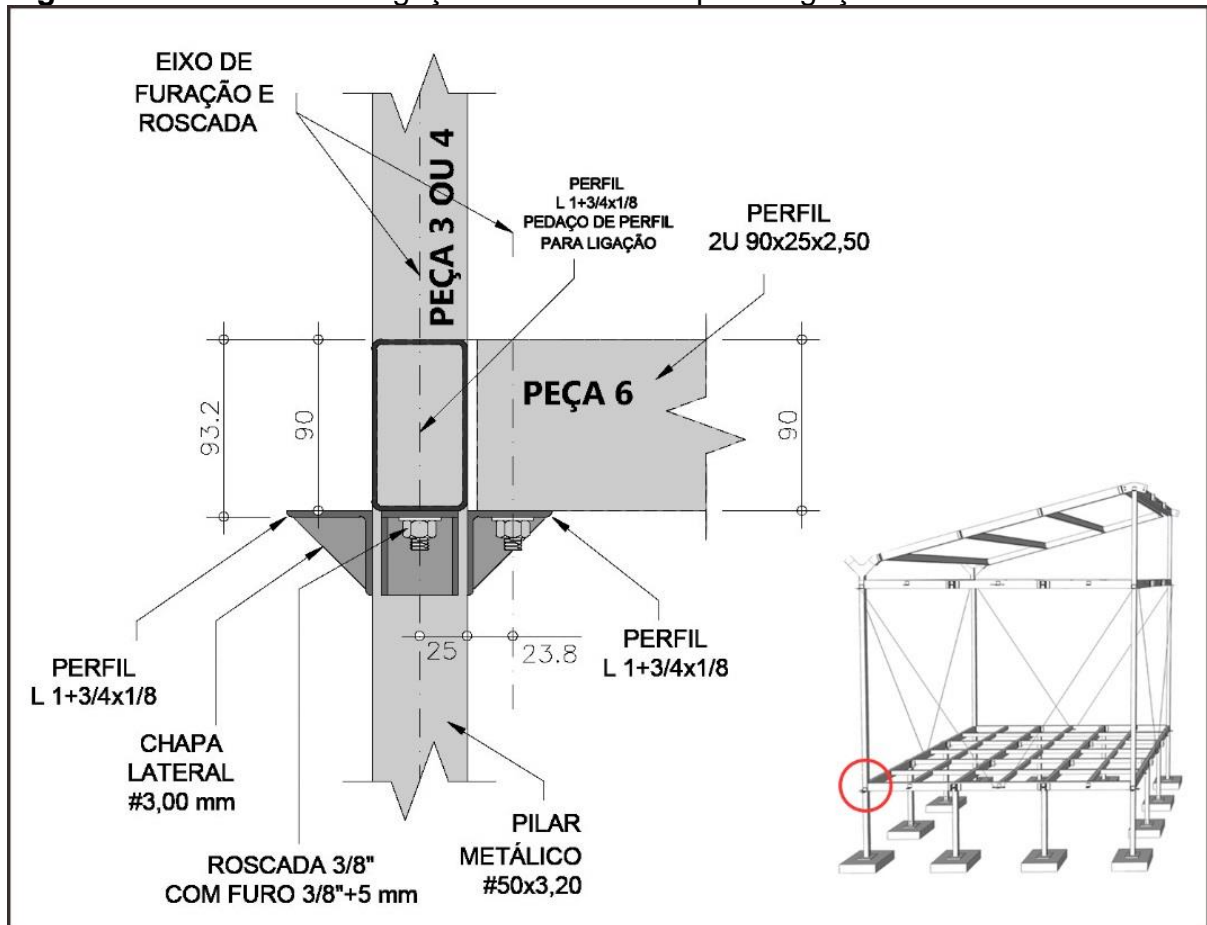


Fonte: Elaborado pela equipe de projeto (2019).

A Figura 42 corresponde à conexão entre uma viga padrão (módulo 6), com um pilar do tipo grande (módulo 3) ou com um pilar do tipo médio (módulo 4). Esta interface recebe cargas dinâmicas do piso. Por Segurança, o perfil L 1 + 3/4 x 1/8, soldado na peça quatro e com um orifício de tamanho 3/8" recebe uma chapa lateral de 3mm de espessura como reforço estrutural. Como visto anteriormente, o perfil L recebe um segmento de barra roscada 3/8" soldado na extremidade da peça

seis. Finaliza-se a conexão mecânica com uma rosca sextavada.

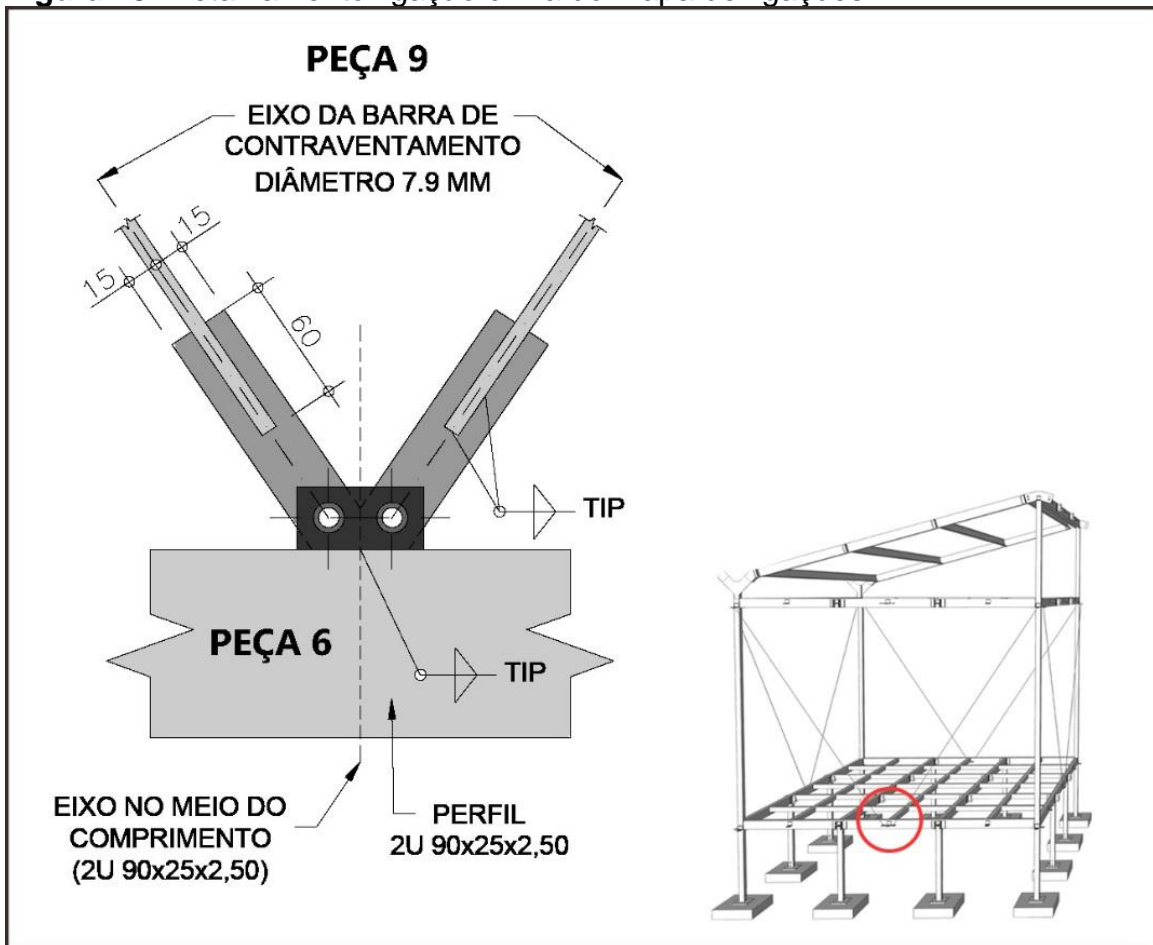
Figura 42: Detalhamento ligação marrom do mapa de ligações.



Fonte: Elaborado pela equipe de projeto (2019).

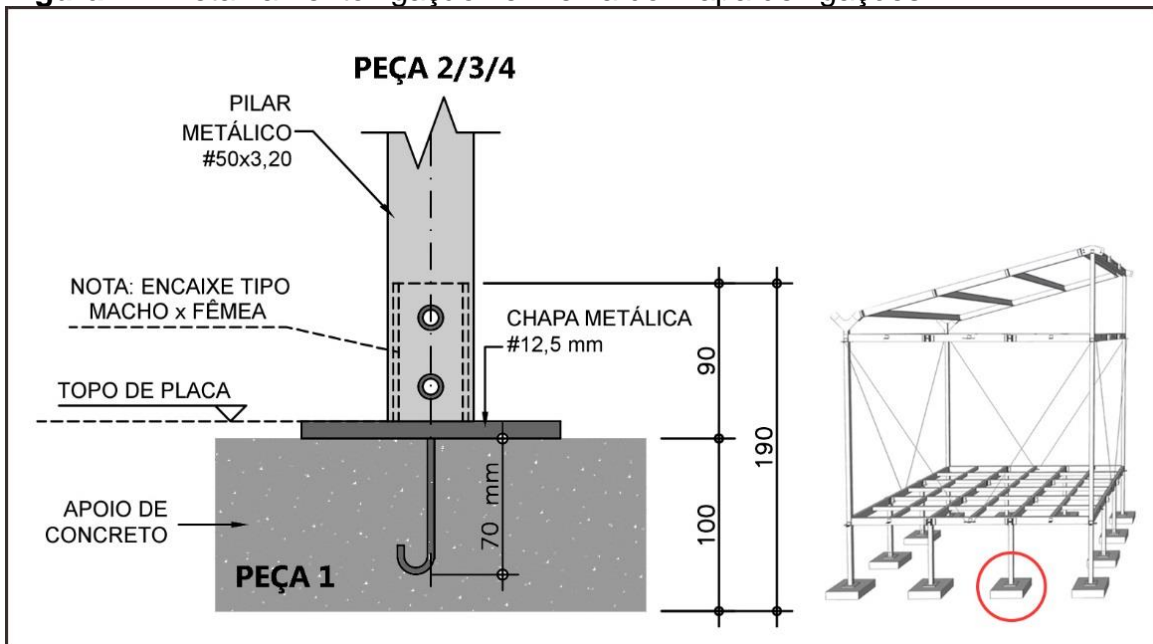
A Figura 43, elucida como os cabos de contraventamento (módulo 9) se conectam à viga padrão (módulo 6). Uma chapa de aço com espessura de 2,5mm, soldada no eixo de comprimento da viga e com duas perfurações de 3/8" recebem um segmento de barra rosca 3/8". A fixação é feita com porcas sextavadas.

Figura 43: Detalhamento ligação cinza do mapa de ligações.



Fonte: Elaborado pela equipe de projeto (2019).

Figura 44: Detalhamento ligação vermelha do mapa de ligações.



Fonte: Elaborado pela equipe de projeto (2019).

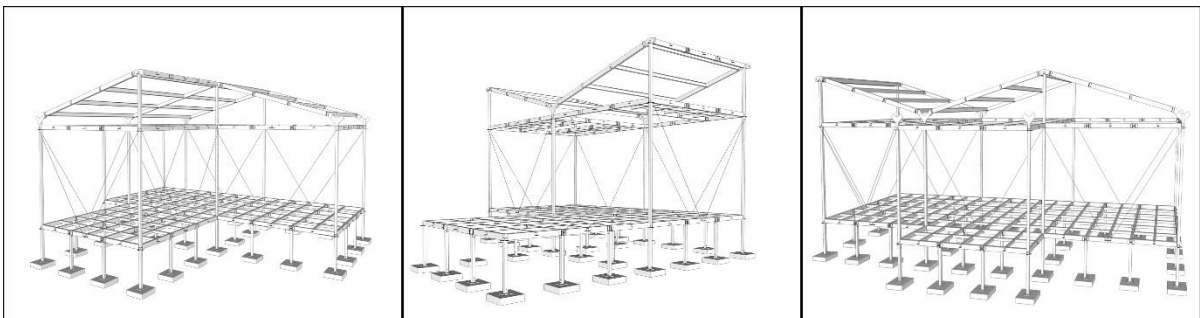
O último tipo de interface é apresentado acima pela Figura 44. Corresponde à ligação entre o bloco de fundação (módulo 1) com os pilares do tipo pequeno (módulo 2), médio (módulo 4) e grande (módulo 3). Uma chapa metálica de ligação, de 12,5mm de espessura paralela ao bloco será ancorada no concreto. Nela é soldada um tubo perpendicular à peça um. Este encaixe macho x fêmea tem quatro perfurações de tamanho 3/8” e recebem igualmente dois segmentos de barra roscada 3/8” com roscas sextavadas.

Apresentados os detalhes técnicos construtivos dos módulos e das interfaces do sistema, o próximo capítulo mostrará o arranjo a ser construído. O produto modular foi fabricado, transportado e montado na comunidade da Barra do São Lourenço no Pantanal.

3.2.3 A Variabilidade e Interações do Sistema

O corpo do produto corresponde à sua organização mínima habitável. Porém, devido às interfaces abertas, novos arranjos de peças podem ser conectados ao núcleo inicial. Isto facilita uma futura expansão, além de agregar variabilidade ao produto, uma vantagem relevante já que o projeto é concebido como um sistema voltado ao coletivo da comunidade e não pensado para atender um determinado indivíduo. A Figura 45 abaixo mostra algumas das inúmeras combinações viáveis oferecidas. Nota-se que as peças acopladas podem formar superfícies, espaços para acomodar caixas d’água, mezaninos, além de telhados contínuos e do tipo borboleta. A expansão do sistema estrutural proposto é, portanto, teoricamente ilimitada desde que respeite as interfaces.

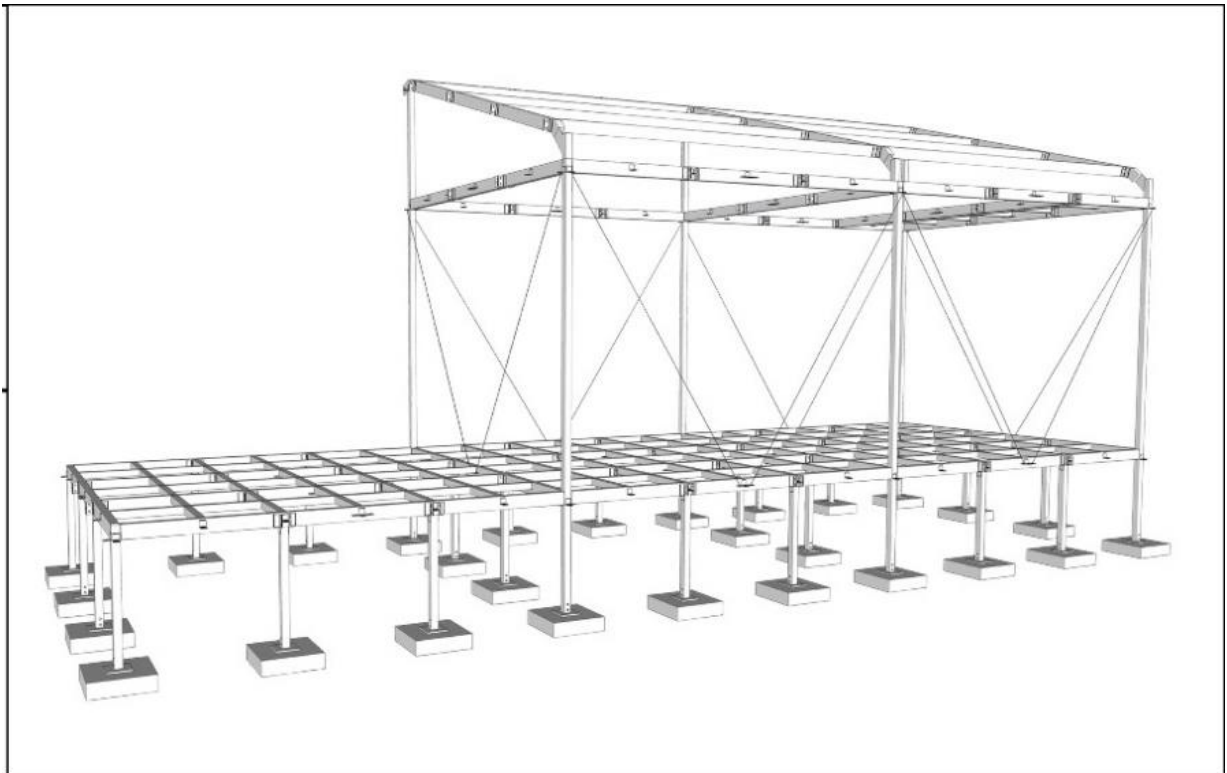
Figura 45: Alguns dos possíveis arranjos do sistema estrutural.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Como mostra a Figura 46, este estudo irá propor a fabricação, o transporte e a montagem da estrutura principal de três casas idênticas, em uma configuração específica composta por 112 módulos. Cada unidade terá aproximadamente vinte e um quadrados de área confinada e nove metros quadrados de uma superfície elevada e aberta. Com o intuito de reduzir custos, a equipe optou por incorporar esta superfície seca e segura das inundações ao invés de delimitar um espaço coberto. O telhado terá uma única inclinação direcionada para simplificar a captação da água de chuva e facilitar a montagem. Um mezanino com três metros quadrados será utilizado para acomodar o reservatório de água.

Figura 46: Configuração da estrutura a ser construída.

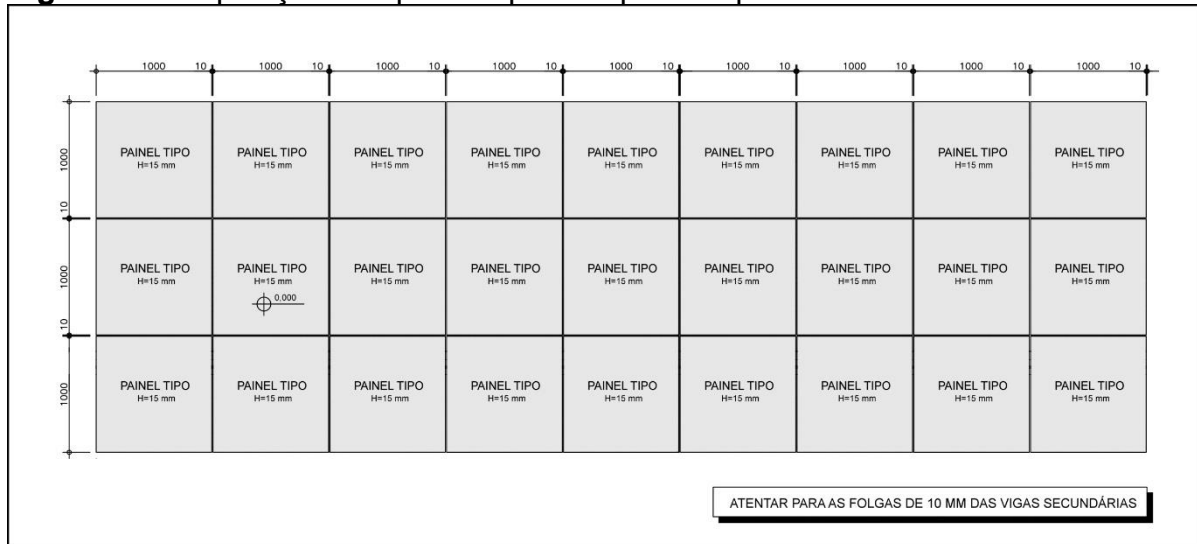


Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Além das interfaces e módulos, a coordenação volumétrica do produto é imprescindível na indústria da construção civil. Conforme a Figura 47 e 48, a coordenação dimensional do sistema modular proposto interage com a medida padrão de dez centímetros. Percebe-se que, o arranjo das peças oferece um espaço livre em cada face de 30M no eixo horizontal para acomodação das placas de vedação e de 22M no eixo vertical. Portanto, as janelas admitidas poderão ter como dimensões 10M,

20M ou 30M de largura e 10M, 12M, 15M ou 20M de altura. As portas terão 10M de largura e 21M de altura. 1M será uma barreira instalada na parte baixa do componente para evitar a entrada de água em dias de chuva.

Figura 47: Disposição das placas que compõem o piso.



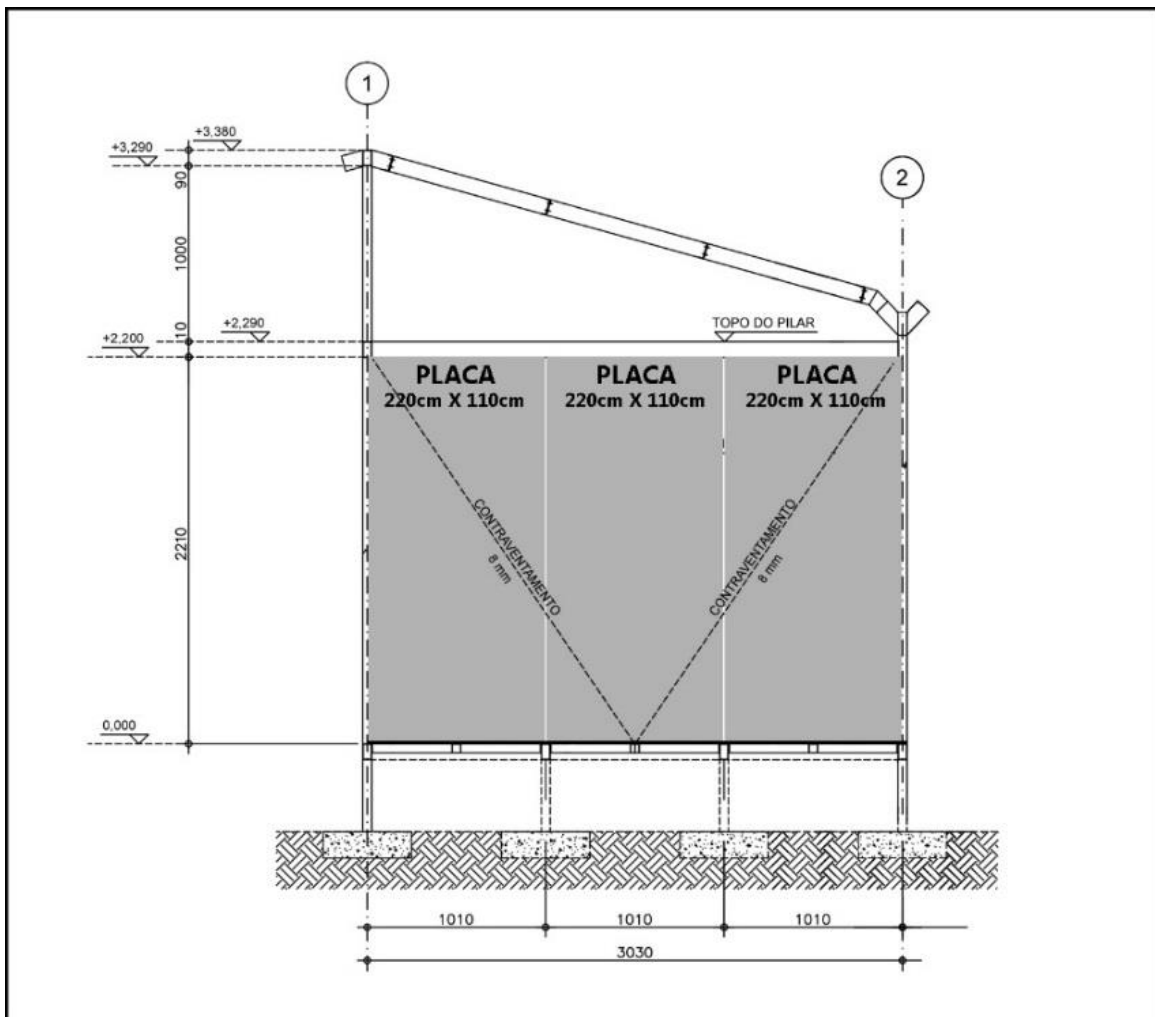
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Conforme mostra a Figura 48, a vedação do sistema será feita através da fixação de placas recicladas⁴ (100x220cm). Por segurança, como a precisão na fabricação ainda não era conhecida, admitiu-se uma folga de dez milímetros em cada encaixe. Isto permite a absorção de pequenos erros e facilita a montagem do sistema. Porém, esta estratégia gera interferência na malha ortogonal prévia adotada. A coordenação modular será, portanto, oferecida pelo conjunto montado e não por cada peça. Esta mesma estratégia de tolerância foi adotada na fabricação das peças da rede Sarah do arquiteto João Figueiras Lima:

Durante a produção, são deixadas folgas propositais, ou seja, as peças são fabricadas com tamanho ligeiramente menor que o módulo. Estas folgas são proporcionais às dimensões da peça. Desta forma, evitam-se problemas durante o encaixe e diminui-se o desperdício de peças. De acordo com as entrevistas realizadas, estes desacertos se devem, por exemplo, ao corte ou às dobras das chapas, mas não se admitem erros por falta de atenção. Em casos de erros que comprometam a qualidade da construção, a peça é devolvida para a fábrica para ser substituída ou arrumada. (LUKIANCHUKI *et al.*, 2011, p. 06, Grifo nosso).

⁴ Placas constituídas pelo processamento de resíduos da fabricação de tubos de pasta de dente.

Figura 48: Estrutura principal, secundária e fechamentos das casas a serem construídas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

CAPÍTULO 4
RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1 Os Critérios de Avaliação

Esta etapa avaliativa da pesquisa contou com a participação da professora Dra. Fernanda Aranha Saffaro. O convite se deu para assegurar que houvesse imparcialidade na coleta de informações referentes às etapas precedentes do artefato, já que o autor havia participado de sua elaboração.

Em conjunto com a pesquisadora, foi estabelecida uma divisão do processo construtivo. Foi decidido que, esta avaliação teria como foco as fases de projeto, fabricação, transporte e montagem do sistema estrutural modular. Devido ao pouco tempo de implementação, questões relativas ao uso e à pós-ocupação da estrutura não serão abordadas.

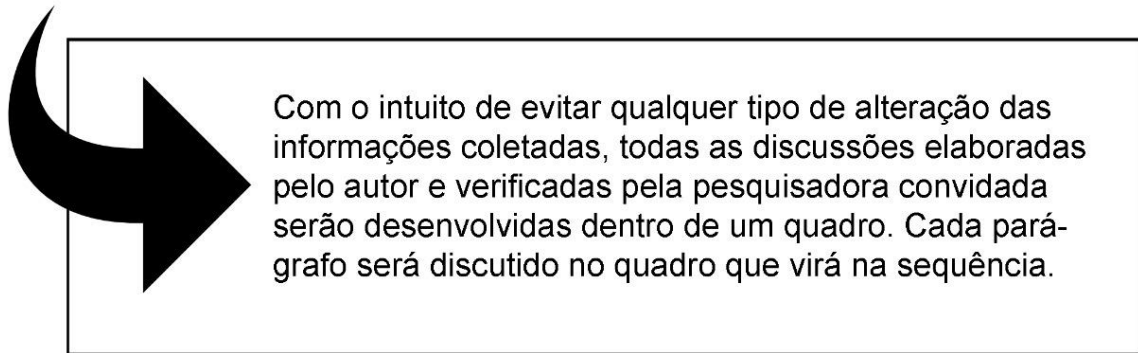
Para coletar as informações referentes a cada etapa, três profissionais que atuaram no processo construtivo do artefato foram convidados. O arquiteto J. F., ligado ao projeto, o arquiteto A. D., envolvido no transporte / montagem e a empresária I. P., responsável pela fabricação.

O instrumento utilizado foi a aplicação de quatro questionários (apresentados no apêndice deste trabalho), um para cada área de análise. Todas as perguntas foram elaboradas em conjunto com a professora. Para evitar possíveis interferências do autor, o documento foi enviado por meio eletrônico, respondido pelo participante e reenviado. O procedimento foi aprovado pelo Conselho de Ética em Pesquisa da UEL e pela Plataforma Brasil.

Cada um dos quatro questionários respondidos da origem a um subcapítulo que irá apresentar através de um texto as informações coletadas. Como mostra a Figura 49, com o intuito de manter a imparcialidade, toda a discussão e os textos de análise elaborados pelo autor e verificados pela pesquisadora convidada serão apresentados ao final de cada parágrafo, dentro de um quadro síntese. Por fim, o impacto do custo do sistema estrutural modular na composição de valores da casa é analisado. Este capítulo irá também apresentar ao final, um quadro que identifica, a partir das informações coletadas, os problemas de cada fase do processo de construção, além de propor possíveis soluções.

Figura 49: Sistemática do processo de análise.

Cada parágrafo irá apresentar as informações coletadas através dos questionários. Tudo que é escrito nesta parte do capítulo tem como base a resposta dos participantes.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

4.2 O Projeto

As informações referentes à etapa de projeto foram obtidas através da aplicação de um questionário com J. F., que foi um dos arquitetos responsáveis pela concepção e detalhamento geral do sistema e das peças estruturais. Segundo o profissional, o projeto e dimensionamento das peças não foi somente o resultado das condicionantes técnicas, mas envolveu também fatores complexos e por vezes conflitantes como custos, possibilidade da autoconstrução, transporte e facilidade na desmontagem.

Na indústria da construção civil, a adoção da modularidade recebe influência de fatores subjetivos e por vezes contraditórias como: o terreno, a capacidade da mão-de-obra local, a disponibilidade de maquinário, a oferta de componentes da indústria, o acesso, custos, etc. O projeto modular é resultado, portanto, da relação de fatores complexos e por vezes conflitantes.

No processo de projeto, as dimensões máximas e mínimas dos perfis de aço e chapas de revestimento encontradas no mercado nacional afetaram o *design* da estrutura. Segundo o próprio profissional: “A ideia foi que os elementos construtivos complementares (fechamentos, janelas, portas, etc.) pudessem ser compatíveis com as dimensões da estrutura de forma geral, afim de possibilitar aos próprios moradores

fazerem alterações e substituir partes em caso de necessidade. Houve um acordo geral entre os elementos. “

O dimensionamento das peças do projeto deve levar em conta os componentes disponíveis pela indústria. Trabalhar com o setor, em uma industrialização do tipo aberta traz vantagens como por exemplo, a facilidade para futuras alterações de materiais e de substituição de componentes.

Para J.F., a padronização das ligações é um fator importante para promover a modularidade do sistema estrutural ao nível de projeto.

Uma das formas que a modularidade se manifesta no projeto é através da padronização das interfaces de ligação. Estas áreas de encaixe promovem a coesão necessária para que as diferentes peças do sistema possam ser projetadas e alteradas sem prejuízo ao conjunto.

Para J.F., as dificuldades relacionadas à falta de padronização dos pilares e vigas de madeira na construção do piloto, fez com que a equipe de projeto passasse a explorar novos materiais como o aço. Segundo ele, a precisão e qualidade dos perfis metálicos disponíveis trouxeram vantagens (boa relação entre peso e resistência), mas também desvantagens (variação do preço do material, que é cotado em dólares) ao novo projeto.

Cada material apresenta características específicas que trazem vantagens e desvantagens ao processo construtivo. Como a modularidade exige precisão, é necessário avaliar especificamente cada caso.

Segundo o arquiteto, a decomposição da estrutura em partes tornou mais complexo o processo de projeto. “Poder montar, desmontar e manter a integridade da estrutura para remontá-la facilmente requer uma atenção maior aos detalhes de encaixes entre peças.” Entretanto, ele acredita que este esforço extra traga impactos posteriores positivos na customização, fabricação e no uso da estrutura e seja, portanto, justificável.

A modularidade torna o processo de projeto mais complexo devido à necessidade de elaboração de ferramentas ligadas ao controle de precisão, como os detalhamentos construtivos.

As restrições do transporte afetaram diretamente o projeto estrutural modular. Para J.F.: “O principal critério adotado para definir a quantidade de peças pré-fabricadas foi a transportabilidade delas. Com essa premissa, foi necessário dividir a estrutura em partes menores que pudessem ser carregadas por no máximo duas pessoas em veículos terrestres e aquáticos de pequeno porte.” Como os módulos na indústria da construção geralmente possuem grandes dimensões, para elaborar um novo projeto, é crucial que este fator seja levado em conta desde o princípio.

Na indústria da construção civil, o transporte das peças deve ser levado em consideração desde o princípio do projeto. Esta é a condicionante que vai determinar o nível de modularidade que um projeto pode adotar.

Para J.F., a adoção de interfaces de ligação padronizadas permite o desenvolvimento simultâneo de diferentes peças. “As ligações foram pensadas de forma a facilitar a montagem e receber diferentes peças de acordo com a necessidade de projeto sem ter o retrabalho de dimensionamento estrutural. Dois exemplos ilustram essa versatilidade. O primeiro é que as peças metálicas de viga podem ser encaixadas no mesmo local das peças de assoalho, para fazer um mezanino, por exemplo. O segundo é que as ligações permitem também o encaixe de peças estruturais feitas de outros materiais para expandir a construção, como uma viga de madeira por exemplo (desde que haja um preparo básico na peça de madeira para encaixá-la no ponto de ligação).” Portanto, mantidos os padrões de ligação das interfaces, é possível que a própria comunidade fabrique e conecte peças novas, constituídas por materiais diversos. Porém, ainda segundo o arquiteto, esta possibilidade traz desvantagens: “Uma desvantagem desse sistema é a necessidade de sobre dimensionar as peças estruturais para receber elementos adicionais e, caso não sejam aplicados, as ligações ficam aparentes e ociosas.”

A partir da definição dos padrões dimensionais e de ligação das interfaces de um sistema modular, o projeto de cada peça pode ser desenvolvido de forma independente. Esta flexibilidade de projeto permite que partes diferentes possam ser elaboradas ao mesmo tempo e em locais distintos geograficamente, além de garantir a coesão do conjunto.

A Figura 50, destaca a importância do projeto para orientar a montagem do sistema.

Figura 50: Leitura do projeto no local de montagem.



Fonte: Acervo ECOA (2019).

O arquiteto reconhece que a indústria da construção civil brasileira já adota a lógica de dividir os edifícios em partes pré-fabricadas (tijolos, vigotas para laje, lajes protendidas, perfis para dry-wall, chapas de gesso, etc.), porém, quando se trata de desenvolver a modularidade em um nível mais elevado, como por exemplo: “...pré-fabricação de conjuntos, como uma parede inteira ou até mesmo uma casa completa feita em ambiente fabril.”, a decisão de empregar a modularidade é relativa. Segundo J.F. “Se for um projeto passível de replicação ou que seja viável a utilização de sistemas pré-fabricados, sim. Caso contrário, há grandes chances de fatores como tempo, preço, mão-de-obra e soluções disponíveis no mercado brasileiro acabem por inviabilizar o uso de partes maiores pré-fabricadas.”

A possibilidade de repetição e escalonamento da produção dos módulos é essencial para justificar o notável acréscimo de complexidade que a adoção da estratégia implica no projeto. Cada caso deve, portanto, ser avaliado separadamente. Projetos modulares exclusivos e de pouca repetição tendem, portanto, a não serem viáveis economicamente.

Para o profissional, apesar dos benefícios reconhecidos como: "...a otimização de processos, aumento da segurança dos trabalhadores, economia de recursos e o maior controle de qualidade do produto final...", a adoção da estratégia não é empregada compulsoriamente na indústria da construção nacional porque existem entraves como: "...requer mais capacidade técnica de planejamento e mão de obra especializada, o que não é uma realidade brasileira. " Ainda para ele, nem sempre o ideal é possível devido às limitações de tempo, custos e de domínio técnico.

Apesar dos benefícios que a estratégia pode trazer à cadeia produtiva, existem entraves que devem ser considerados no projeto, como a capacidade técnica da mão-de-obra disponível para a montagem dos componentes e o tempo para elaboração do projeto.

4.3 A Fabricação

A coleta de dados referentes à fabricação foi obtida através da aplicação de um questionário com I.P., que é a gerente de produção e proprietária da empresa que fabricou as peças da estrutura. Quatorze perguntas foram respondidas por ela.

I.P. afirma que o maquinário disponível na empresa foi suficiente para moldar as peças. Não foi necessário comprar nenhum equipamento ou ferramenta nova. No entanto, um gabarito de referência foi fabricado para, segundo ela, promover a agilidade no processo produtivo.

Implementar a modularidade em uma empresa nem sempre exige que novos equipamentos sejam comprados ou alterados. Como a produção era pouco automatizada, o desenvolvimento de um gabarito com referências dimensionais foi suficiente para orientar a produção.

Um teste de produção foi desenvolvido antes do início da fabricação definitiva. Para I.P., este elemento corresponde à matriz e foi produzido em escala real.

A matriz é produzida no início da fabricação. Atua como referência de controle de qualidade e padrão a ser seguido pelas demais peças a serem fabricadas.

Segundo ela, a peça mais complexa de fabricar foi a: “cumeeira do telhado” devido à necessidade de um nível de precisão mais elevado. A mais simples foram os: “perfis retos”, que eram fabricados basicamente através do corte das barras.

Existe um nível de precisão geral exigido em projeto. No entanto, quanto mais trabalho é envolvido na produção de uma peça, mais difícil é garantir o controle de precisão. Assim, peças com pouco trabalho de fabricação, como os pilares pequenos feitos a partir do corte de um perfil reto, tendem a ser menos complexos. A cumeeira, que é a zona de encaixe do pilar do tipo grande, exigiu uma quantidade de trabalho maior e foi, portanto, mais complexa.

A gerente de produção afirma que a estrutura necessariamente teria que ser desmontável, mesmo que tivesse uma demanda pequena, já que: “as peças foram galvanizadas e não caberiam nos fornos de galvanização”.

O dimensionamento dos módulos é afetado pela capacidade técnica instalada da indústria. No entanto, este não é um fator limitante. Se justificável, a estrutura de produção pode ser adaptada.

A velocidade de produção das peças não foi constante, segundo I.P.: “A cada peça foi aumentando a agilidade”.

O ganho de velocidade na produção implica no aumento da produtividade. Conforme a empresa adquire experiência, a tendência é que o tempo de trabalho seja empregado em quantidades cada vez menores até atingir uma situação estável.

O projeto estrutural, adotado como referência para a produção era segundo ela: “bem detalhado”. A empresária acredita que foi possível entregar as peças com o mesmo nível de precisão exigido em projeto.

Os detalhes construtivos são o principal canal de comunicação entre o projeto e a indústria.

Na Figura 51 abaixo, as peças estão passando pelo processo de galvanização. Percebe-se que a empresa não estava preparada para lidar de forma adequada com o número de peças.

Figura 51: Peças durante o processo de galvanização.



Fonte: Acervo do autor (2017).

Como aprimoramento, I.P., sugere uma galvanização a fogo ao invés da galvanização a frio. Ela acredita que este processo traga vantagens relevantes em termos de durabilidade para o sistema.

Como os módulos na indústria da construção ficam expostos e enfrentam intempéries, é recomendável prever quais são os principais fatores ambientais de risco que afetam os materiais especificados em projeto. Garantias de uma durabilidade mínima são exigidas pela lei do consumidor brasileira e devem ser previstos para evitar futuros problemas.

4.4 O Transporte

As informações referentes à etapa do transporte foram obtidas através da aplicação de um questionário com A.D., que foi o arquiteto responsável por

acompanhar o embarque e o desembarque das peças nos locais de montagem das estruturas. Doze perguntas foram respondidas por ele.

De acordo com A.D., a separação da estrutura da casa em peças menores facilitou o transporte, pois permitiu que pudessem ser empilhadas. A possibilidade de compactação reduziu o espaço ocupado pela carga nas embarcações de transporte, diminuindo custos, além de simplificar a descarga do material.

O nível de modularidade adotado no projeto (módulos não volumétricos) se mostrou adequado ao tipo de transporte e entrega das peças.

A Figura 52 a seguir, confirma que as peças estavam separadas apenas por tipo e que não havia uma referência clara para um descarregamento parcial.

Figura 52: Descarregamento das peças da embarcação.



Fonte: Acervo ECOA (2019).

Nenhuma peça foi danificada ou perdida durante o transporte. Devido à dimensão e peso reduzidos, elas tinham fácil manuseio “...as peças maiores eram transportadas por no máximo duas pessoas.” Ainda, segundo o arquiteto, se a estrutura fosse composta por módulos maiores, haveria a necessidade de um guincho

hidráulico para realizar o descarregamento, o que não seria prático, já que o local de entrega é remoto. De modo inverso, se as peças fossem menores, o deslocamento seria ainda mais fácil. Porém, a quantidade elevada de partes dificultaria ainda mais a montagem e não seria viável segundo ele.

Ajustar o nível de modularidade do projeto tendo como referência uma etapa específica do processo construtivo pode causar impactos negativos em etapas anteriores ou futuras. O nível de modularidade não é, portanto, o resultado de uma solução ideal, mas sim de uma postura equilibrada.

Segundo A.D., houve falhas na logística relativa ao desembarque das peças: “Estavam agrupadas por tipo, o que não favoreceu a descarga do material nos seus devidos locais de montagem.” Para ele, apesar deste agrupamento por tipo favorecer o transporte, acaba gerando confusão devido aos múltiplos pontos de entrega. “No momento tive que separar a sentimento, pois não havia visto a casa montada ainda e as peças estavam umas por cima das outras e não identificadas.” Ele ainda recomenda uma possível solução para o problema: “As peças agrupadas por tipo favorecem o transporte mas precisam de um sistema de marcação e de quantidades por casa para facilitar a descarga que deve ser feita rapidamente por motivo de envolver grande quantidade de mão de obra e horas da chata de transporte que tem custo elevado. Faltou uma identificação das peças, por exemplo peça 1ª, 1b, 1c, etc... e uma planilha com a quantidade e tipos de peças por casa, facilitaria a descarga.” A.D. enfatiza que: “O momento de descarga tínhamos aproximadamente 20 homens descarregando as peças e todos dependendo do meu comando para decidir a quantidade e quais peças devias ser descarregadas, sem que houvesse nenhuma instrução de tipo e quantidade de peças por casa, e como falei acima nosso tempo com a chata de transporte parada era curto devido ao alto custo de sua locação, o que causou erros de distribuição e perda de tempo desnecessário. “

Pensar que o transporte é um processo composto de carregamento, deslocamento e descarregamento. As etapas envolvem aspectos dinâmicos e estáticos diferentes. Por exemplo, durante o deslocamento, o objetivo é que as peças do sistema possam se agrupar de forma compacta. Porém, isto pode dificultar o manuseio e gerar confusão. É recomendado, portanto, que as peças sejam identificadas através de cores ou etiquetas e que uma planilha

de controle seja criada para auxiliar a carga e descarga. O planejamento logístico é necessário para otimizar o processo de transporte, reduzindo custos.

4.5 A Montagem

As informações referentes à etapa de montagem foram obtidas através da aplicação de um questionário contendo doze perguntas para o arquiteto A. D., que foi responsável por coordenar a montagem das peças do sistema estrutural.

A velocidade com que a equipe montava as estruturas não foi constante. De acordo com A.D.: “A primeira foi a mais demorada, devido as peças não estarem numeradas e de termos que descobrir onde encaixava cada peça.” Apesar do projeto executivo da estrutura ter sido fornecido com as peças, para ele, seria importante também algum tipo de treinamento prévio de montagem: “Uma solução prática para ganho de tempo seria de ao menos um membro da equipe de montagem ir até o local de confecção das peças e acompanhar a montagem de uma casa orientada pelo serralheiro que as confeccionou.”

Caso a equipe de montagem não tenha familiaridade com a estrutura, é importante prever algum tipo de treinamento ou um passo a passo do processo. Apenas o projeto executivo estrutural não é suficiente para auxiliar a montagem.

Segundo o arquiteto, a entrega das peças pré-fabricadas tornou o processo de montagem mais eficiente. O canteiro da obra era mais organizado devido aos componentes e a redução das tarefas relacionadas à fabricação no local. Além disto, o tempo para completar a estrutura foi reduzido por exemplo quando comparado ao protótipo que havia sido executado. Para A.D., se fossem entregues pilares e vigas ao invés de peças mais elaboradas, a montagem seria mais complexa. “...essa estrutura é muito leve e prática de trabalhar, um sistema muito bom se melhor aprimorado.”

A modularidade teve um impacto positivo no canteiro desta obra. A estrutura foi concluída em menor tempo e o local de montagem era mais organizado se

comparado ao protótipo construído anteriormente.

O sistema estrutural de cada casa levou em média um dia para ser concluído. No início da instalação, o sistema precisou ser desmontado e remontado inúmeras vezes por falta de experiência e das peças serem encaixadas de forma incorreta. Porém, mesmo assim, nenhuma parte foi danificada durante o processo. A.D. enfatiza que, a falta de identificação das peças entregues causou confusão e retrabalho no canteiro: “Tivemos grande dificuldade pois montamos 5 casas e por motivo de não haver uma marcação que as separasse ao menos por unidade residencial tivemos grande retrabalho pois descarregamos peças em pontos diferentes ao longo da margem do rio, onde seriam montadas as casa totalizando 3 locais diferentes, após descarregado tivemos que relocar as peças que estavam misturadas gerando muito retrabalho e gasto de combustível e tempo desnecessário que poderia ter sido evitado com uma simples marcação com adesivos ou pintura em cores diferentes por unidade residencial.”

Problemas em uma das etapas do processo construtivo podem afetar fases seguintes, em um efeito dominó. A falta de logística no transporte afetou o tempo de montagem. Em operações de pequena escala, o erro pode ser absorvido com certa facilidade, porém quando se trata de uma construção de grande porte, um erro que se alastre no processo construtivo pode inviabilizar a operação. Uma solução para evitar problemas é realizar um teste real, com uma pequena amostra.

No geral, as peças conectaram-se com facilidade e as interfaces funcionaram conforme o esperado. No entanto, para A.D., as principais dificuldades foram: “Época do ano inapropriada para o trabalho devido ao elevado número de insetos, tornando muito desgastante o trabalho para a mão de obra.”

É recomendável observar, quando possível, as questões ambientais específicas dos locais de montagem. Conhecer quais são as épocas chuvosas, de vento forte, frio extremo e até mesmo no caso específico desta montagem, a interferência de insetos. Evitar possíveis fenômenos naturais pode facilitar a montagem. Esta relação com o ambiente natural é uma característica específica da modularidade na indústria da construção.

Na Figura 53 abaixo, devido à organização, é possível verificar que havia poucas atividades ligadas à fabricação no local da instalação do sistema estrutural.

Figura 53: Processo de montagem das peças.



Fonte: Acervo Allan Duarte (2019).

Segundo A.D. , se bem orientados e com as ferramentas certas, os moradores seriam capazes de desmontar e remontar a estrutura. No projeto, as peças de fundação (sapatas de concreto), não foram utilizadas. Em seu lugar foram enterrados postes de aroeira que estavam disponíveis no local. Isto foi decidido pela equipe de montagem para economizar tempo, já que teriam que levar cento e quarenta blocos de concreto. Uma carga estimada em aproximadamente uma tonelada e meia. “Tivemos dificuldades nas bases onde usamos postes de aroeira enterrados, primeiramente esquadreamos e nivelamos os postes enterrados e quando fomos fixar os pés da estrutura não acompanharam as dimensões do projeto.” A alteração, portanto, acabou gerando problemas inesperados. Mesmo assim, ele confia que o sistema seja adequado às características de vida dos ribeirinhos: “Acredito que o sistema foi o ideal para o trabalho realizado devido as condições da população ribeirinha que devido às condições de cheias por momentos mudam o local de moradia.”

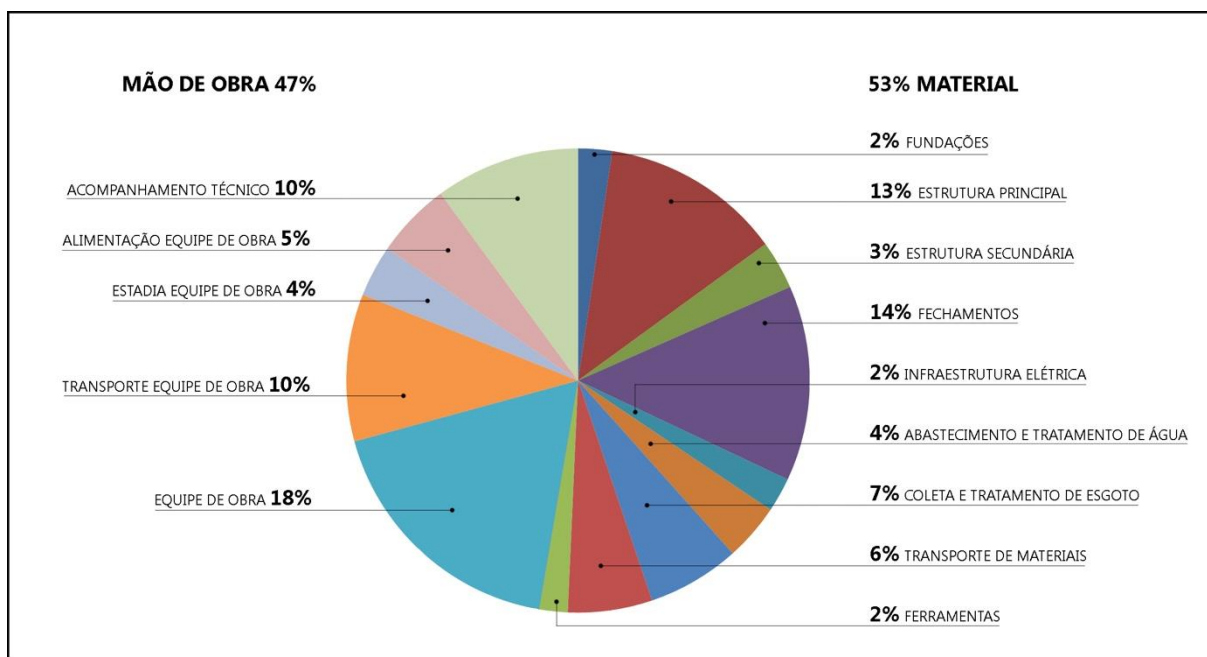
Durante o processo construtivo, adaptações acontecem e devem ser estudadas. A compreensão dos motivos que induziram as modificações é o que permite aperfeiçoar o sistema proposto. Portanto, é fundamental que todo procedimento seja documentado e justificado. No entanto, é importante ter consciência de que cada alteração é um risco em potencial, já que pode gerar problemas inesperados.

4.6 A Composição de Custos

O objetivo desta parte da pesquisa é avaliar o impacto do sistema estrutural modular proposto na composição de valores da casa completa. Para isto, a distribuição de recursos do protótipo de arquitetura integral será confrontada com a do último artefato de arquitetura modular. Em ambos os casos, o item a ser observado é a estrutura principal da casa, já que este foi o propósito de desenvolvimento do sistema.

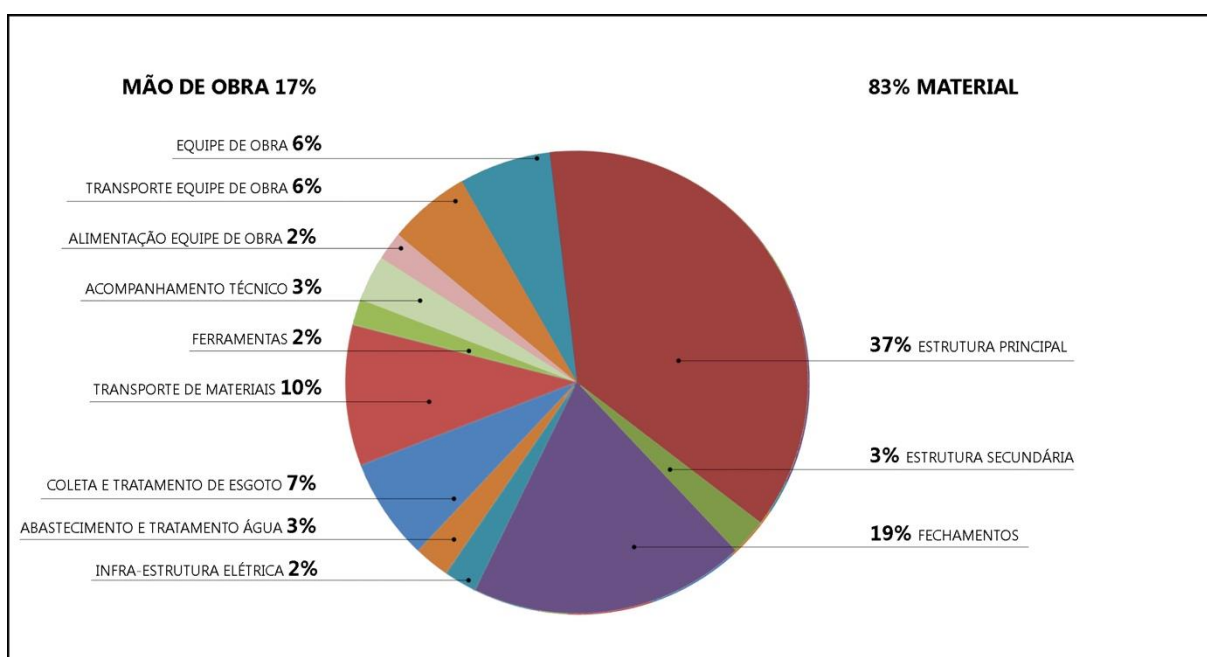
A Figura 54, apresenta a composição de valores do protótipo executado por um sistema construtivo convencional de pilares e vigas de madeira fixados com chapa-prego. É possível observar um equilíbrio entre os gastos com material (53%) e mão de obra (47%). Porém, uma análise mais detalhada da composição permite algumas conclusões: apenas os custos para manter a equipe de trabalho no local, como os de estadia (4%) e alimentação (5%), são suficientes para pagar todo o investimento com as fundações (2%), estrutura secundária (3%) e abastecimento e tratamento de água (4%). Esta relação indica que, os recursos empregados apenas para manter a equipe de obra no local (7%) são elevados, já que seriam suficientes para pagar toda a estrutura secundária, fundações e o sistema de água da casa. A estrutura principal (13%) custou menos do que a equipe de obra (18%). Mais um sinal de que os elementos estruturais tinham baixo nível de pré-fabricação e valor agregado.

Figura 54: Distribuição dos recursos no protótipo de arquitetura integral.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Figura 55: Distribuição dos recursos no artefato de arquitetura modular.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O gráfico da Figura 55, por outro lado, corresponde à casa modular. Existe um evidente desequilíbrio entre os valores da mão de obra (17%) e de material (83%). A estrutura principal (37%) é de longe o item que mais pesa na composição. Isto reflete o processo de industrialização das peças e o aumento do valor agregado. O custo da equipe de obra (6%) é baixo porque é absorvido pela estrutura, já que a atividade é transferida do canteiro da obra para o chão da fábrica. O transporte de materiais (10%) tem um acréscimo se comparado ao gráfico da Figura 54, o que era esperado, já que o deslocamento de módulos pré-fabricados é geralmente mais caro do que as de baixo nível modular.

4.7 Identificação das Falhas e Propostas para Cada Etapa

A Tabela 12 abaixo, identifica os principais problemas do processo construtivo do artefato detectados através da aplicação dos questionários de pesquisa e estabelece uma relação com as possíveis soluções para o aperfeiçoamento do sistema. Cada cor da tabela está relacionada com uma etapa específica do processo construtivo.

Tabela 12: Problemas, consequências e soluções.

ETAPA	PROBLEMA	CONSEQUÊNCIAS	SOLUÇÕES
PROJETO	IMPACTO DA VARIÇÃO DO PREÇO DO AÇO (MATERIAL DOLARIZADO)	INVIABILIZAÇÃO DA OPERAÇÃO	ADOÇÃO DE MATERIAIS LOCAIS PREÇO COM POUCA VARIÇÃO
PROJETO	RELAÇÃO DO NÍVEL DE PRECISÃO DO PROJETO COM A FABRICAÇÃO	ENCARECIMENTO OU INVIABILIZAÇÃO DA FABRICAÇÃO	DEFINIÇÃO DO LOCAL DE PRODUÇÃO DURANTE O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO
PROJETO	AUMENTO EXCESSIVO DO CUSTO DO PROJETO	INVIABILIZAÇÃO DO PROJETO	REVISÃO DA ESCALA DE OPERAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CUSTOS/BENEFÍCIOS
FABRICAÇÃO	FALHAS NA CAMADA DE GALVANIZAÇÃO	BAIXA DURABILIDADE	GALVANIZAR POR IMERSÃO A FOGO
FABRICAÇÃO	ALTA COMPLEXIDADE DOS MÓDULOS DO TIPO (PILAR GRANDE)	DIFICULDADE DE FABRICAÇÃO	REVISÃO DA ZONA DE ENCAIXE DO MÓDULO COM O OBJETIVO DE PROPOR UMA SIMPLIFICAÇÃO
TRANSPORTE	FALTA DE IDENTIFICAÇÃO DOS MÓDULOS QUE COMPÕEM CADA SISTEMA	DESCARREGAMENTO INCORRETO	MARCAÇÃO DOS MÓDULOS DE CADA SISTEMA COM CORES DIFERENTES
TRANSPORTE	PESO EXCESSIVO DO CONJUNTO DE MÓDULOS DO TIPO (BLOCO DE FUNDAÇÃO)	CUSTOS ADICIONAIS DE TRANSPORTE	SUBSTITUIÇÃO DO CONCRETO ARAMDO POR OUTRO MATERIAL DE MENOR PESO ESPECÍFICO
MONTAGEM	MONTAGENS INCORRETAS E REMONTAGENS	ATRASO NA OBRA	TREINAMENTO PRÉVIO E MANUAL COM PASSO A PASSO E VÍDEO EXPLICATIVO
MONTAGEM	ÉPOCA INAPROPRIADA PARA AS ATIVIDADES	QUEDA DE PRODUTIVIDADE	VERIFICAÇÃO DAS MELHORES DATAS E JANELAS DE OPORTUNIDADE

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Na Figura 56 é possível observar a expansão do sistema modular,

construído com materiais locais. Apesar das peças serem feitas com base em outro material, nota-se que houve uma coerência com relação às interfaces.

Figura 56: Expansão dos módulos com materiais locais.



Fonte: Acervo ECOA (2019).

CAPÍTULO 5
TEORIZAÇÃO

5. TEORIZAÇÃO

O objetivo deste capítulo é aproximar a experiência adquirida com o desenvolvimento do artefato e a teoria existente, que relaciona a modularidade na indústria da construção civil. Estabelecer esta relação entre o conhecimento empírico e o científico é uma das bases do método Design Science Research, que orientou esta dissertação. A finalidade é alimentar a literatura, tendo como base dados e evidências obtidas nos estudos empíricos. Espera-se que esta discussão permita que a teoria possa ser aperfeiçoada, evitando possíveis erros e dificuldades na adoção da estratégia por outros profissionais.

A reflexão tem início com questões gerais sobre os critérios que definem um módulo e uma interface especificamente neste setor. Em seguida, a relevância dos vazios do arranjo modular será discutida. O estudo tratará também o nível de modularização e seus respectivos métodos de classificação. Por fim, os impactos secundários da estratégia no setor produtivo, como a flexibilidade da fabricação e projeto serão abordados.

5.1 Os Módulos e Interfaces na Indústria da Construção

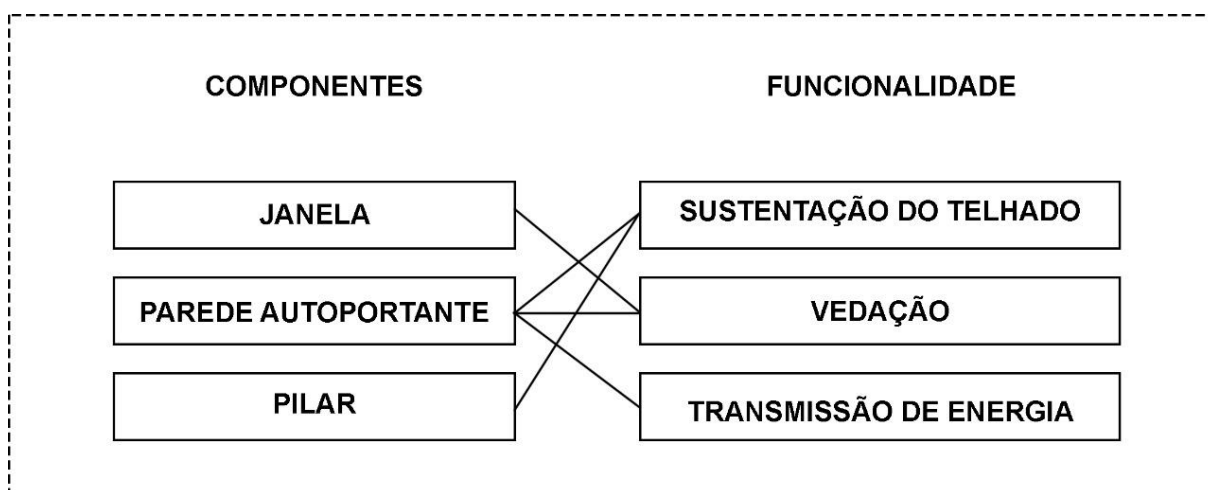
Como visto no capítulo dois, não existe na literatura, um consenso acerca da definição dos critérios que distinguem um módulo. Nos setores industriais ligados à construção, o estabelecimento de padrões é ainda mais confuso devido à pouca organização. A maioria dos fabricantes produz componentes com medidas específicas e que não interagem de forma coordenada. O problema também se origina no próprio projeto de construção que, por muitas vezes, busca exclusividade. Para isto, são adotadas dimensões fracionadas e componentes como portas ou janelas fabricadas sob medida.

O módulo deve desempenhar uma função específica?

Para autores como Ulrich (1995), Salvador (2007) e Gershenson *et al.* (2003), cada parte que compõe o sistema modular deve estar relacionada à uma função específica. O módulo é uma solução funcional para um problema real. A experiência em campo prova que realmente não há propósito em estabelecer como módulo um elemento que não desempenhe um papel relevante ao conjunto. Dividir

projetos em partes não funcionais é um erro, pois dificulta a compreensão das interações dos módulos do sistema. Assim como Ulrich (1995) enfatiza, o produto modular deve manifestar um claro mapeamento de componente e função. Entretanto, apesar deste consenso teórico ideal, na prática, houve dificuldade em estabelecer estas funções específicas. Isto se deve à complexidade que um módulo no setor da construção pode ter. Por exemplo, uma parede autoportante. Ela tem uma função estrutural pois sustenta o telhado, mas também realiza a vedação do espaço interno. Além disto, ela pode conter tubulações e cabos de instalações. Enfim, um mesmo componente desempenhando funções diversas. Portanto, admite-se, conforme mostra a Figura 57, que o módulo na indústria da construção, deva ao menos responder à um propósito específico, mas discorda da literatura, pois reconhece também que ele possa assumir funções variáveis.

Figura 57: Mapa função – componente na indústria da construção.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

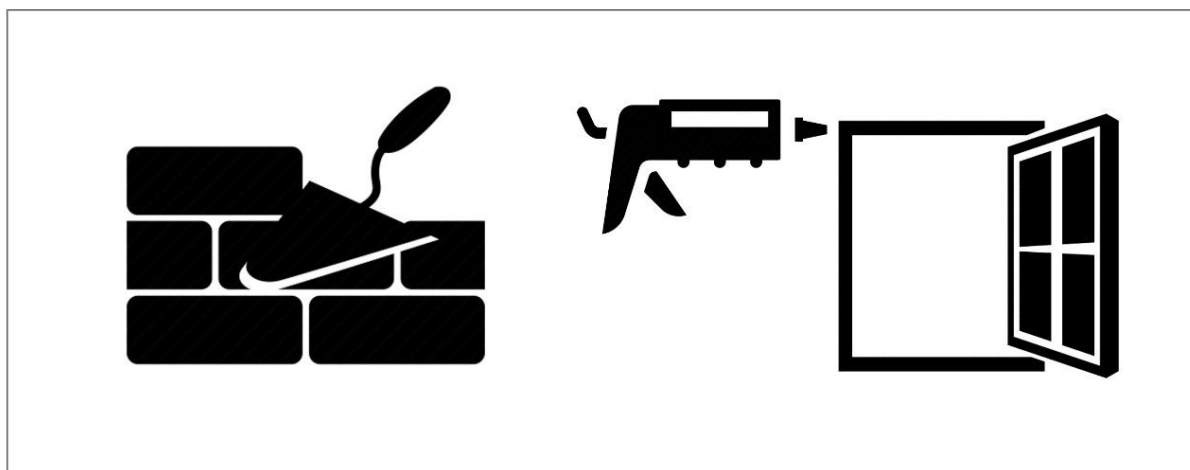
A separabilidade é essencial?

Como discutido no segundo capítulo deste estudo, a capacidade do módulo se desconectar do sistema de maneira íntegra é enfatizada inúmeras vezes na literatura voltada à engenharia de produção. Diferentemente do setor construtivo, indústrias manufatureiras como a automobilística, de eletrodomésticos e eletrônicos produzem com mínimas interferências de fatores subjetivos locais como o terreno e acessos. A experiência adquirida com o artefato revela que normalmente existe a necessidade de trabalhos e adaptações no local de montagem. Por exemplo, se considerarmos o módulo como sendo a casa completa pré-fabricada, seria necessário

conectá-la com o entorno através de calçadas e rampas. Talvez ainda haveria necessidade de implantar muros, sistema de esgoto, abastecimento de água, vegetação e terraplanagem. Se os módulos forem componentes, como por exemplo uma janela pré-fabricada, ainda seria necessário aplicar polímeros como o silicone para promover a estanqueidade. O ideal de separabilidade é desejado, porém a prática revela que é praticamente inviável dentro deste setor.

Existem também as situações de coesão extremas. Blocos e revestimentos cerâmicos conectados através de argamassa perdem completamente a propriedade de desconexão de maneira íntegra. São semelhantes às soldas que ligam os componentes eletrônicos. Apesar de Rocha *et al.* (2018) aceitarem que o tijolo possa ser um módulo dentro de um sistema, a experiência em campo aponta que, a capacidade de se desconectar é essencial para promover a modularidade. No entanto, conforme mostra a Figura 58, admite-se que, neste processo, haverá algum tipo de dano ou perda colateral. Ainda tomando como exemplo a janela, caso ocorra sua desconexão, a camada de silicone será perdida.

Figura 58: A separabilidade na indústria da construção.



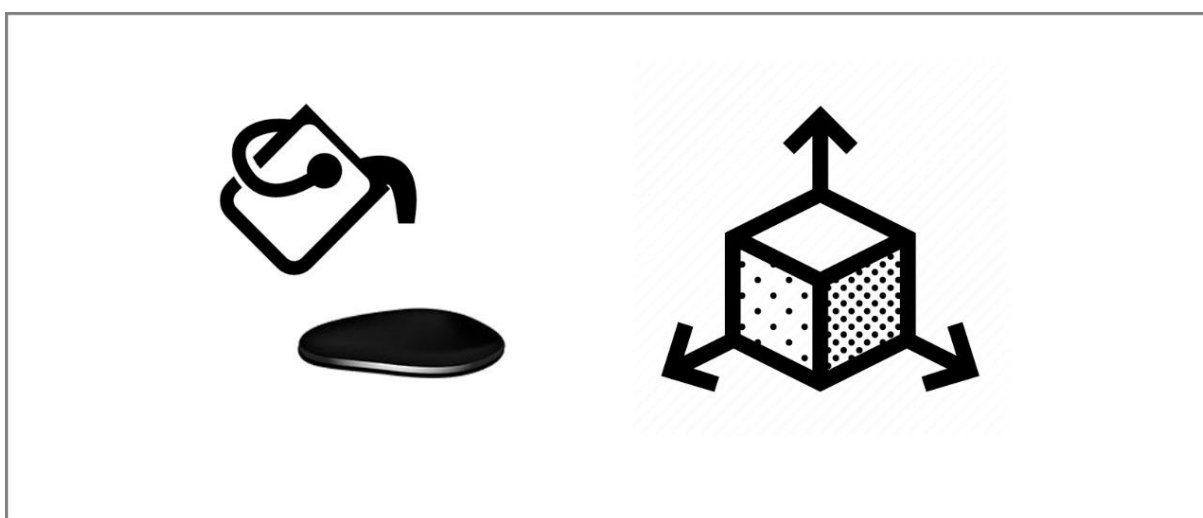
Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Existe um grau mínimo necessário de complexidade?

A modularidade implica na adoção de elementos pré-fabricados. Isto se deve à necessidade de prever interfaces padronizadas de conexão e respeitar uma coordenação dimensional específica. Apesar do módulo ser industrializado, nem todo produto industrializado é um módulo. Como mostra a Figura 59, por exemplo,

solventes, tintas e resinas não possuem dimensões específicas e nem interfaces desacopláveis, apesar de serem produzidos em processos industriais e terem um grau considerável de complexidade tecnológica. Apesar de, autores como Rocha *et al.* (2018), admitirem até mesmo líquidos como módulos, a experiência adquirida no desenvolvimento do sistema estrutural indica que, as interfaces e o corpo do componente devem existir de maneira íntegra antes, durante e depois de desconectadas do sistema.

Figura 59: A coordenação geométrica do módulo.

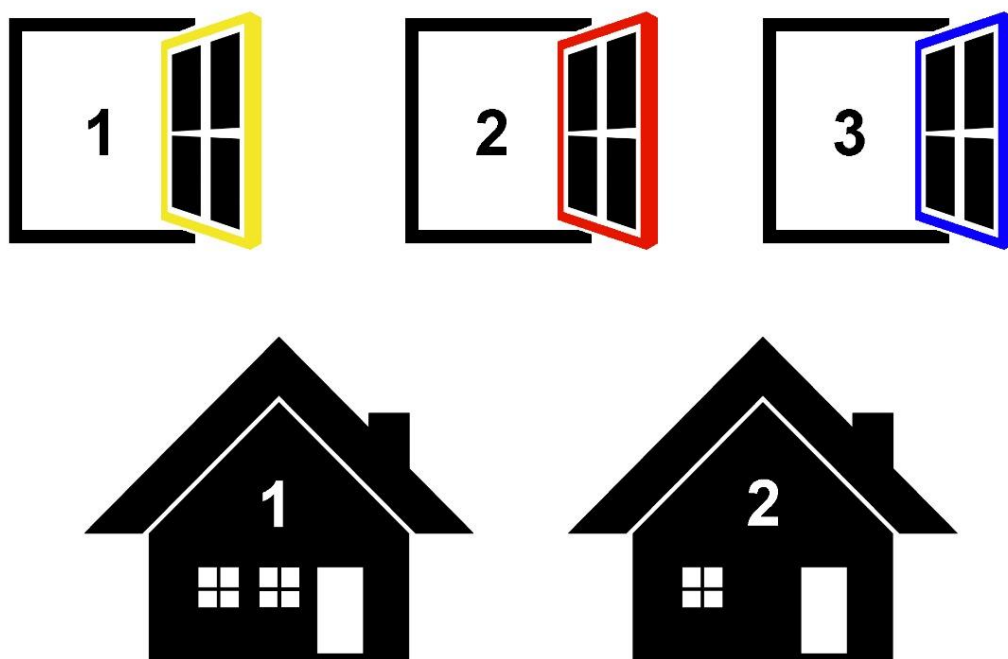


Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

O módulo deve ser uma variante do produto?

Autores como Salvador (2007), Hofman *et al.* (2009) e Rocha *et al.* (2018), atribuírem ao módulo a característica de proporcionar heterogeneidade ao sistema. A experiência em campo revela que a estratégia teve êxito neste quesito, já que seria possível fornecer novos conjuntos de peças do sistema estrutural para atender famílias com necessidades diferentes sem que isto provocasse algum tipo de alteração significativa do processo construtivo. Outra possibilidade seria a adoção de componentes diferentes como janelas ou portas em cada estrutura. A vantagem disto é a possibilidade de customizar em massa. Portanto, conforme mostra a Figura 60, a heterogeneidade é proporcionada tanto pela substituição de um único componente quanto pela organização dos módulos de modo simples e sem alterações relevantes de custos.

Figura 60: As variantes do produto.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Seria o módulo, portanto, um conceito abstrato?

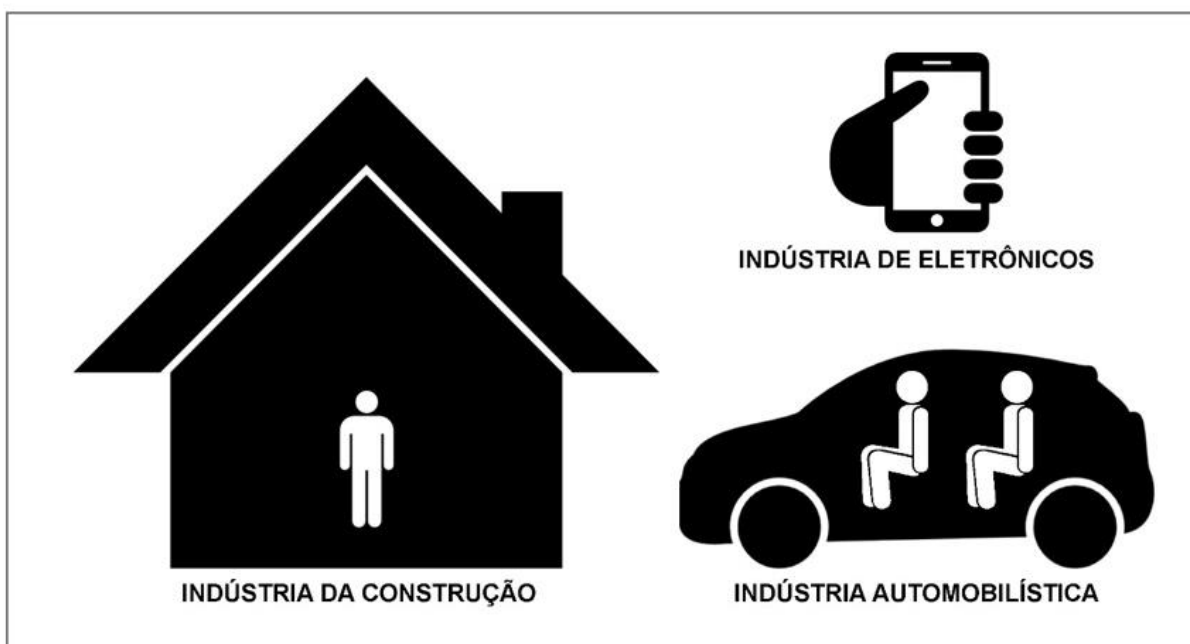
O elemento modular na indústria da construção não é apenas um padrão dimensional. Não é um conceito abstrato, um vazio que pode ser preenchido por elementos artesanais ou improvisados. Apesar da ambiguidade no que se refere à conceituação do termo, a experiência prática aponta que o módulo deve ser caracterizado ao menos por: desempenhar uma função, ser pré-fabricado, respeitar um padrão geométrico determinado e possuir uma interface de ligação padronizada, podendo ser desconectado do sistema.

5.2 A relação entre Cheios e Vazios

Na física, o conceito de impenetrabilidade se refere à propriedade da matéria pela qual dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo. Assim, em estruturas concebidas para o uso humano, coexistem necessariamente regiões preenchidas por matéria e espaços vazios. Apesar de contraditórios, os conceitos são complementares. Na indústria, a interação entre o

homem e o produto pode se dar de duas maneiras. Quanto não proporciona volume utilizável, as relações entre homem – espaço pautam-se em princípios de ergonomia, pois a interação é tátil. Por exemplo, uma maçaneta de porta ou um mouse de computador. Em outros setores industriais, além do toque, existe o vazio e a sensação do interno e do externo. Um veículo deve proporcionar um habitáculo confortável e seguro a seus ocupantes. Conforme mostra a Figura 61, a indústria da construção compartilha deste propósito e tem como objetivo oferecer um vazio dotado de qualidades. Portanto, apesar do esforço produtivo se voltar à fabricação do cheio, o mais importante e efetivamente utilizado no setor construtivo será o vazio encapsulado pela matéria produzida.

Figura 61: Tipos de interação do produto com usuário



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

O projeto é concebido a partir dos cheios ou dos vazios?

Segundo Viana *et al.* (2017), a função principal de um edifício vai além do agrupamento das funções de cada módulo. A experiência mostrou que não é recomendável estabelecer proporções de vazios desejáveis no projeto, sem levar em conta o processo de fabricação dos módulos. Um bom exemplo para explicar como estas decisões são relativas, foi a determinação da altura útil interna da casa. Havia um desejo inicial de manter o espaço alto, porém, foi constatado que isto provocaria perdas no processo de fabricação, já que a altura não tinha compatibilidade com as

dimensões disponíveis das barras de aço, que eram a matéria prima das peças. As proporções do espaço interno foram resultado das intenções iniciais de projeto e das questões técnicas dos cheios que a compuseram. O projeto é, portanto, concebido a partir dos seus cheios e vazios simultaneamente.

Qual é a origem dos vazios?

Conforme a literatura, a experiência em campo confirmou que os vazios podem surgir de apenas duas maneiras. Da associação de partes não volumétricas, que seria um volume proporcionado pelo conjunto, ou da entrega de um elemento que já possua um vazio, que seria o volume oferecido pela parte. Também foi constatado que, quando o projeto entrega um espaço pronto, as chances de erros e falhas são reduzidas. Em compensação, o transporte e montagem são mais complexos.

A coordenação modular é então uma ferramenta dimensional?

Existe muita confusão entre modularidade e coordenação modular. Como visto no capítulo dois deste trabalho, a modularidade é uma estratégia que afeta o projeto, a fabricação, o produto e também a própria construção do conhecimento industrial. Ela prevê regras específicas de interfaces e componentes pré-fabricados. A coordenação modular, por outro lado, é uma convenção que estabelece regras dimensionais específicas a qualquer sistema. Apesar de autores como Barboza *et al.* (2011) e Greven e Baldauf (2007) enfatizarem que esta coordenação estimula processos industriais, existe uma contradição, já que, ao contrário da modularidade, o termo admite a integração de componentes artesanais. A coordenação dimensional é, portanto, um conceito abstrato, uma medida específica, que é por convenção nomeada módulo. Modularidade e coordenação modular são conceitos complementares, já que a adoção da estratégia implica necessariamente na utilização de um mecanismo de controle dimensional.

Porque deve-se pensar no externo e no interno?

O vazio utilizável é um espaço dotado de atmosfera própria, de escala, materiais, cores, texturas, odores e tantas outras características a serem projetadas. Estar dentro significa deixar para fora o mundo conhecido em busca de algo novo. Na indústria da construção, o módulo funciona, portanto, como um filtro e deve promover

conforto para a presença humana, ele não é resultado apenas de questões funcionais. Para Rocha *et al.* (2015), o módulo pode ser decomposto segundo suas funções primárias, como ler, dormir ou trabalhar e secundárias, como suporte de cargas, proteção contra chuvas ou conforto térmico. Sua criação envolve, portanto, aspectos subjetivos que em conjunto podem gerar sentimentos como aconchego, bem-estar, mas também frustração ou até inquietude. É fundamental que o projetista entenda que existem estas diferentes dimensões quando for criar um sistema modular.

5.3 O Nível de Modularização

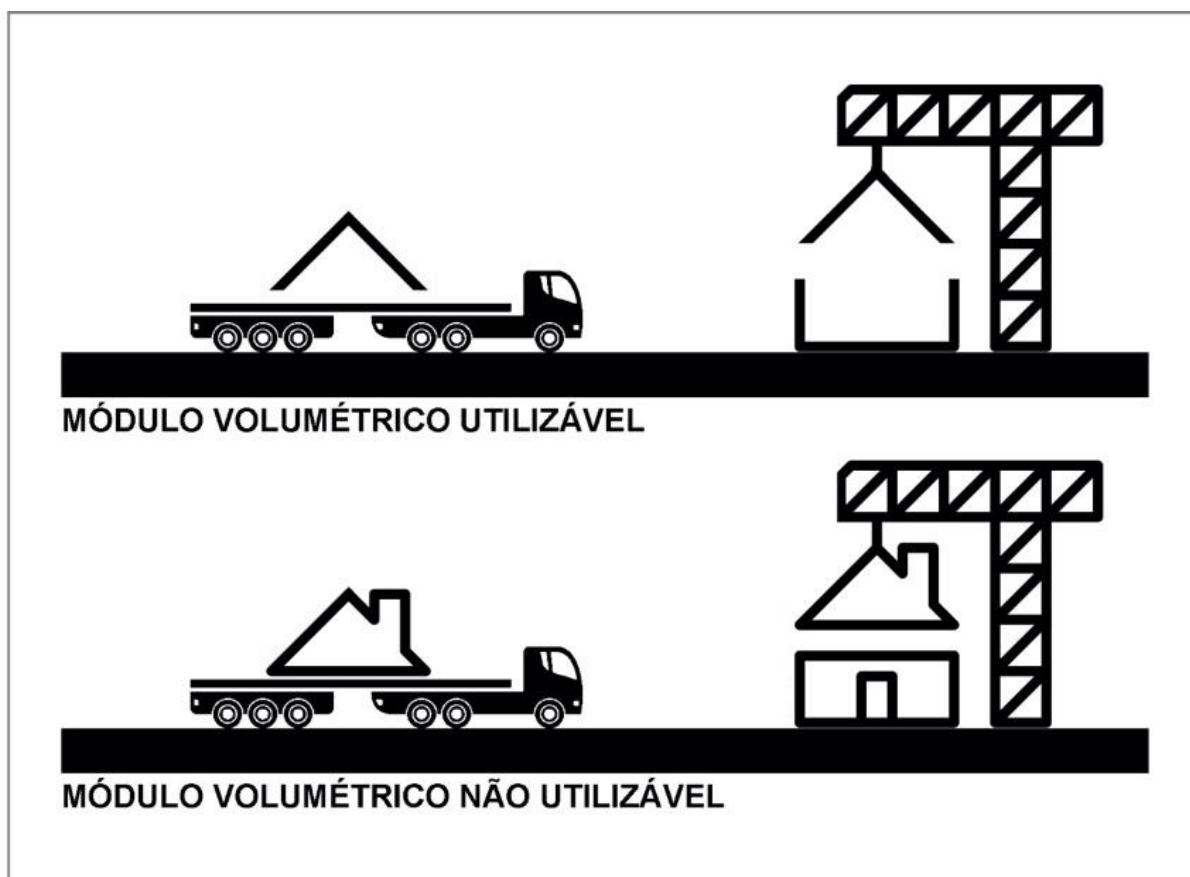
Os sistemas de classificação referem-se ao nível de complexidade que o módulo pode assumir em um determinado edifício. Gosling *et al.* (2016), propõem quatro categorias: o edifício, um elemento volumétrico, um componente não volumétrico e por fim, um subcomponente como, por exemplo, um material. Para Rocha *et al.* (2018), esta classificação proposta por Gosling *et al.* (2016) gera confusão. Surge então a proposta de um modelo simplificado com módulos volumétricos e não volumétricos.

A experiência adquirida mostra que, os módulos que determinam volumes são os que mais causam impacto em termos de logística e custos, já que ocupam mais espaço no local de fabricação, não podem ser compactados durante o transporte e, devido às dimensões, tem a montagem dificultada. Portanto, este estudo propõe uma sutil modificação no modelo de Rocha *et al.* (2018). Como mostra a Figura 62, os módulos passariam a ser classificados em: não volumétricos, volumétricos utilizáveis e não utilizáveis. Por exemplo, um elemento de cobertura que possua uma proporção de cheios mínima se comparada aos seus vazios internos será considerado um módulo volumétrico. Este componente chega acabado no local de montagem e encerra um determinado volume, mas que não é dedicado à utilização humana. Portanto, ele será classificado como módulo volumétrico não utilizável.

Ainda retomando este mesmo exemplo, caso o módulo telhado permita que o vazio se integre ao pé-direito do edifício, ele será considerado um módulo volumétrico utilizável. Assim, seria possível adequar o nível de modularidade com as restrições que variam em cada situação. Por exemplo, se o projeto tem

dificuldades de acesso ou restrições de custo, é importante que o projetista priorize os módulos do tipo não volumétricos. Se o acesso for simples, será mais vantajoso entregar um módulo volumétrico.

Figura 62: Diferenças entre um módulo volumétrico utilizável e não utilizável.



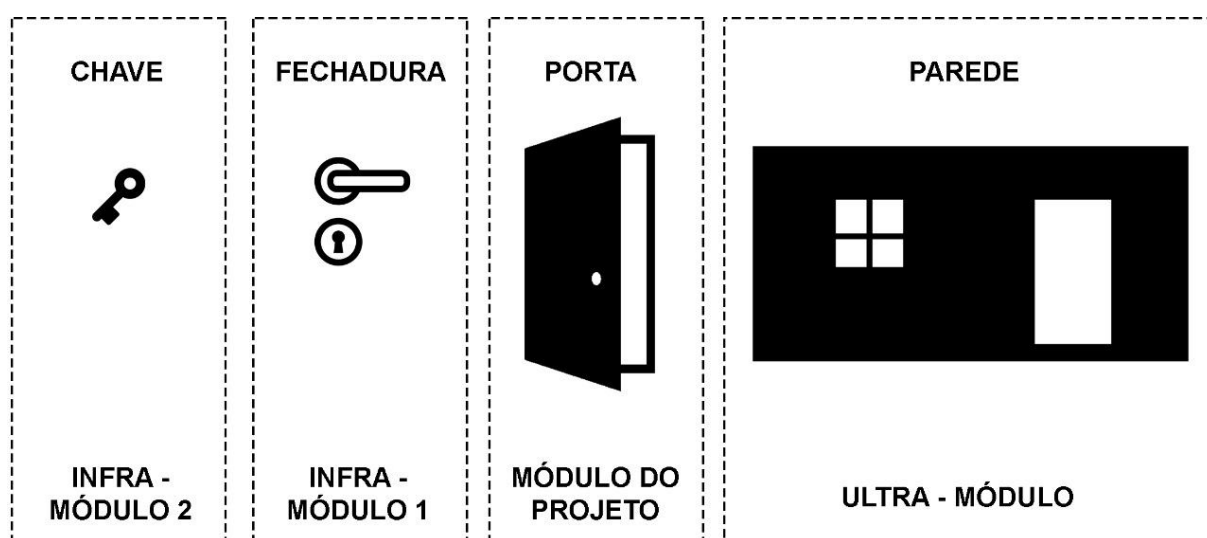
Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Existem ainda os níveis internos ao módulo?

Mesmo que o projetista defina o nível geral da modularidade do sistema, é possível que ainda existam módulos internos e externos ao componente. Esta coexistência não tem consequências graves, já que não modifica o processo de montagem das interfaces. Como mostra a Figura 63, uma porta pode ser classificada como módulo em um projeto. Se ela for um produto integral, não permitirá substituições internas, porém, se for modular, poderá ter partes substituíveis, como sua maçaneta por exemplo. Os métodos de classificação de Gosling *et al.* (2016) e Rocha *et al.* (2015), auxiliam a estabelecer uma hierarquização, que é fundamental para guiar o processo de projeto, já que atribuem valores diferentes para cada porção do sistema. Na prática, além da possibilidade dos “infra módulos”, podem existir

também os “ultra módulos”, ou seja, quando as partes do sistema podem ser consideradas, segundo Henriques e Miguel (2017), submódulos de algo mais abrangente. Retomando o exemplo anterior, caso o nível de modularidade mude e a parede for considerada um módulo, o elemento porta passará a ser um submódulo. A experiência com o artefato comprovou que podem existir diversas camadas de modularidade dentro de um mesmo sistema e que, para guiar o processo do projeto, é fundamental estabelecer uma hierarquia dentro do conjunto.

Figura 63: Os infra e ultra módulos.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

A capacidade técnica existente no local de fabricação é relevante?

A definição do nível de complexidade do módulo envolve fatores ligados à sua fabricação. Quanto mais partes, maior a precisão exigida na produção, devido aos encaixes. Por outro lado, elaborar detalhes construtivos complicados demais pode encarecer ou até mesmo inviabilizar a fabricação por uma indústria. Por isto é importante conhecer as limitações técnicas da empresa escolhida. Cohendet *et al.* (2005) preveem justamente que, esta desintegração do produto provoca como consequência a especialização dos fornecedores de módulos. A experiência em campo mostrou que, para otimizar o processo, é importante conhecer e trabalhar em conjunto com os responsáveis pela fabricação de um sistema modular ainda durante a fase de projeto.

A quantidade de interfaces está ligada ao nível de modularização?

Sim, o nível de modularidade e a quantidade de interfaces estabelecem uma relação inversamente proporcional, ou seja, quanto menor o nível de modularização, maior a quantidade de interfaces e vice-versa. Para o gerenciamento do projeto, além do número, é importante definir quantos tipos de interfaces serão adotados no sistema. Apesar de Cohendet *et al.* (2005) e Sanchez e Mahoney (2017) afirmarem que a padronização das interfaces é suficiente para tornar independentes os processos de concepção dos componentes, a realidade mostrou que é necessário também adotar uma coordenação modular para prever as dimensões e tolerâncias de cada elemento a ser projetado.

5.4 A Flexibilização do Processo Construtivo

Ulrich (1995) e Cohendet *et al.* (2005) enfatizam que, na engenharia de produção, o termo se refere à habilidade de mudar ou se adaptar de forma rápida e barata. Para Schilling (2000), diante da demanda cada vez mais complexa e heterogênea e da velocidade da evolução tecnológica, o termo tem adquirido, cada vez mais importância. Um dos efeitos mais relevantes da modularidade, segundo Gershenson *et al.* (2003), é promover a flexibilidade na concepção, manufatura e uso de um produto.

Qual é a relação entre a modularidade e a indústria 4.0?

A modularidade atua como uma facilitadora para a difusão de tecnologias ligadas ao sistema produtivo. A experiência com o artefato revelou que foi possível produzir em massa e ainda assim, de forma customizada. As estruturas poderiam ser organizadas e reorganizadas de acordo com as diferentes necessidades, sem que isto realmente afetasse o custo global da operação. Durante a fabricação, houve, por exemplo, a necessidade de reforçar a zona de ligação 6B, do módulo seis (viga padrão), devido às deformações causadas pelo engate com o módulo nove (cabo de contraventamento). Esta alteração pôde ser feita de forma localizada e simples, sem afetar as outras partes do conjunto. Isto permite aferir que, mantendo as regras de interface, os módulos do sistema podem ser substituídos e aperfeiçoados, incorporando tecnologia, sem que seja necessário o descarte completo do produto. Outra vantagem é que, apesar da estrutura ter sido elaborada por um

único fornecedor, seria possível dispersar a fabricação, contratando uma empresa para produzir cada módulo. Esta flexibilidade na manufatura corresponde, segundo Shafiq *et al.* (2015), justamente à esta facilidade na alteração dos processos de fabricação. Portanto, a experiência em campo revelou que a adoção da modularidade seria um passo importante para a adoção de processos de automação, inteligência artificial e fluxo de informações.

É possível realmente flexibilizar o processo construtivo?

Sim, através da modularidade, as etapas de projeto, fabricação, transporte e montagem do artefato podem se adaptar caso haja necessidade. No nível do projeto, novos módulos podem ser desenvolvidos e instalados no sistema, além disto o arranjo das peças pode ser alterado. Está aberta a possibilidade de contratação de uma nova empresa para fabricar uma porção ou a totalidade dos módulos. Não há dependência, busca-se o menor preço aliado à qualidade. Caso haja necessidade, o transporte seria realizado por diversas empresas, inclusive coletando módulos em fornecedores distintos. A maneira de compactação das peças e dificuldades em elementos pontuais poderiam ser aperfeiçoados. Por fim, existe a possibilidade de os elementos virem previamente montados ou serem instalados em ordem diferente. Estes são alguns exemplos da flexibilidade do processo como um todo.

Os sistemas industriais abertos perdem em compatibilidade?

A literatura aponta que, quando uma empresa detém o domínio de todo o processo de fabricação de um produto, existe uma probabilidade maior de que tudo se encaixe e funcione adequadamente. No entanto, esta lógica de produção tende a enfraquecer a colaboração e sinergia do setor. A estrutura aqui estudada foi desenvolvida para interagir com os módulos disponíveis no mercado. O sistema entregue na comunidade foi projetado para funcionar como um módulo base, apto a receber portas, janelas, telhas, placas de revestimento, etc. Na prática, por mais que houvesse uma precisão dimensional, os encaixes apresentaram problemas de compatibilidade e adaptações foram necessárias. Apesar disto, este estudo acredita que, a quebra do domínio de tecnologia do produto, em um sistema aberto é fundamental, pois admite diferentes velocidades no que se refere à construção do conhecimento e domínio de tecnologia. É possível, por exemplo, que uma janela se aprimore tecnicamente em um ritmo diferente de uma porta. Portanto, mesmo que

traga prejuízos, como os de compatibilidade a um determinado sistema, os benefícios serão percebidos à longo prazo e no sistema produtivo como um todo.

Como os entraves afetam a indústria da construção nacional?

A popularização da modularidade está sujeita à demanda do mercado consumidor. A oferta de diferentes módulos no mercado estimula que sejam especificados no projeto. Quanto mais demanda, mais oferta, retroalimentando o ciclo. No entanto, a experiência com o projeto mostrou que existe uma resistência por parte dos consumidores com relação ao uso de novas tecnologias, principalmente quando se refere à moradia. É notório que, no Brasil, o sistema construtivo tradicional de alvenaria e concreto armado é adotado compulsoriamente. Em mercados que utilizam a modularidade há mais tempo como o norte americano, existe uma maior facilidade em especificar componentes. A concorrência entre fornecedores estimula o desenvolvimento tecnológico e eleva a qualidade do produto. Como mostrado na justificativa deste estudo, o reflexo disto é a elevada produtividade do setor, se comparado com outros países. A indústria investe e produz para suprir uma demanda. Não é possível estimular a produção de componentes sem que haja necessidade. Portanto, estimular a discussão do assunto no país é de suma importância para desmistificar possíveis entraves.

CAPÍTULO 6
CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

A baixa produtividade da indústria da construção nacional, se comparada à países como os Estados Unidos ou a Índia, indica a necessidade de implementar ferramentas ou estratégias que aumentem a produção. Este trabalho, portanto, teve como objetivo principal analisar como a modularidade pode afetar o setor ligado à construção no Brasil. Para isto, a estratégia foi adotada no processo de desenvolvimento de um sistema estrutural modular para a comunidade da barra do rio São Lourenço no Pantanal.

As principais dificuldades para aplicar a estratégia durante a concepção estavam relacionadas, principalmente, à falta de experiência da equipe sobre os protocolos de interface e níveis de modularização. Apesar disso, novos potenciais foram reconhecidos. A possibilidade de um sistema de criação descentralizado que, permita a participação de diferentes equipes remotas e com avanços tecnológicos heterogêneos. Por meio da modularidade, a equipe de projeto conseguiu dividir tarefas sem perder o controle, o que provou ser uma ferramenta poderosa. De fato, o novo processo de *design* pode otimizar o recurso tempo, através da reutilização de módulos em projetos distintos. Melhorias, como novos cabos de reforço, podem ser substituídos na estrutura construída sem a necessidade de um completo reprojeto. Testes de desempenho controlado também são mais fáceis e baratos, porque podem ser feitos em partes específicas. Embora a produção do sistema modular tenha ocorrido em uma indústria de pequena escala, a adoção da estratégia na fabricação não foi simples. Devido ao nível de precisão das peças, muitos erros e dificuldades foram identificados, principalmente no início do processo.

Ressalta-se que, esta pesquisa busca contribuir com a base teórica, já que estabelece uma conexão entre o conhecimento empírico, adquirido em campo, com o científico existente. Visando elucidar a ambiguidade nos conceitos de módulo e interface na indústria da construção, o estudo estabelece critérios como: a separabilidade, a relação com a função, a complexidade mínima e as variantes de produto. A questão do vazio e sua relação com a modularidade é também enfatizada. Ferramentas como a coordenação modular e conceitos importantes, envolvidos na construção espaço, como o interno e o externo são explorados. O trabalho ainda propõe um ajuste de classificação do nível de modularização, com a admissão de

módulos volumétricos utilizáveis e não utilizáveis. Por fim, ainda em âmbito teórico, a pesquisa relaciona a modularidade com o movimento industrial 4.0, relaciona os potenciais de associação do conceito com os sistemas de produção abertos e conclui estabelecendo uma discussão dos entraves percebidos durante à operação real. Enfatiza-se também que esta pesquisa contribui na esfera tecnológica, pois identifica falhas nas etapas de projeto, fabricação, transporte e montagem do sistema modular. Além disto, enfatiza as consequências destes problemas e propõe possíveis soluções para o aperfeiçoamento.

É possível concluir, portanto que, a implementação da modularidade como estratégia de produção por uma indústria é um processo lento, complexo e caro. Implica na perda de todo o conhecimento acumulado e completo reprojetado do produto. Na substituição ou adaptação de maquinários e geralmente no aumento do nível de precisão. No entanto, após inserida, a modularidade traz vantagens competitivas como a facilidade no gerenciamento de diferentes equipes, a possibilidade de customização em massa, alterações e atualizações sem que haja perda do produto, além da possibilidade de testes controlados e um maior controle de qualidade.

A pesquisa revela que o retorno deste investimento depende da escala de fabricação. Quanto mais produtos, mais diluído tornam-se estes custos iniciais de implementação. Caso a empresa atue em mercados muito específicos ou de pouco volume, o investimento pode colocar em risco toda a operação da indústria, já que ocorre o encarecimento dos produtos, diminuindo a competitividade no mercado. Portanto, a adoção da modularidade não deve ser compulsória pelo setor da construção nacional, mas sim avaliada individualmente.

Conclui-se também que, a modularidade tem a capacidade de flexibilizar o processo construtivo, atuando como uma facilitadora para a incorporação de tecnologia, além de possibilitar uma rapidez de resposta diante das mudanças de comportamento do mercado consumidor. A estratégia, combinada ao sistema industrial aberto tem o potencial de estimular a especialização, o diálogo e a sinergia do setor, elevando a produtividade do país.

Apesar da pesquisa manter o foco nos aspectos técnicos e construtivos, não é possível deixar de compartilhar o impacto positivo do sistema estrutural do ponto de vista humano. Em uma reportagem publicada pela jornalista

lasmim Amiden, no dia 15 de janeiro de 2018⁵, dona Joana, ribeirinha e moradora do local comenta sobre as casas: “Toda enchente a gente tinha que mudar de lugar e a gente queria muito uma casa de palafita. Pra nós que morava dentro desse Pantanal, ninguém sabia da nossa existência, o que a gente passava... E quando surgiu o projeto das casinhas, mudou muito. Todo ano a gente ficava: ‘Será que a água vai vir?’ Será que vai levar tudo’? Em uma dessas enchentes, acabou com tudo nossas coisas. Agora a gente pensa num recomeço. A casa é um recomeço pra gente”.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Esta pesquisa, portanto, teve como objetivo estimular a discussão sobre as possibilidades de implementar a modularidade como estratégia produtiva no país. A padronização pode ser adotada na indústria de construção brasileira como mecanismo para melhorar a eficiência. A experiência de projetar e construir os artefatos no mundo real revelou dificuldades e benefícios em um contexto local. Porém, é necessário mais aprofundamento. Novas pesquisas devem continuar, a fim de explorar o impacto de uma operação modular em larga escala, com o objetivo de entender como isto pode afetar a indústria nacional da construção. Alterar este modelo de produção artesanal consolidado requer sinergia e coragem.

⁵ Reportagem disponível na íntegra no portal www.ecoa.org.br

7. REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15873: **Coordenação Modular para Edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010.

BARBOZA, A. DA S. R.; SILVA, M. M. C. P.; SILVA, L. L. DA; ARAÚJO JÚNIOR, J. C. DE. **A técnica da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto**. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 97–109, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000200007&lng=pt&tlng=pt>.

BENAVIDES, A.; CEOLIN, E.; **Coordenação Modular aplicada à habitação de interesse social com estrutura de bambu Guadua roliço**. n. 1, 2010.

BRUSONI, S.; ANDREA P. **Unpacking the Black Box of Modularity: Technologies, Products and Organizations**. Industrial and Corporate Change Volume 10, Number 1, 2001.

CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C.; SALERNO, M. S. **Aplicação da modularidade na indústria automobilística: análise a partir de um levantamento tipo survey**. Production, v. 23, n. 2, p. 329–344, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000200009&lng=pt&tlng=pt>. .

CBIC & FGV PROJETOS, **Estudos Específicos da Construção Civil: Produtividade da Construção Civil Brasileira**, CE N2418/14, Projeto 054/14, 2016.

CIB (COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION). **New Perspective in Industrialisation in Construction - A State-of-the-Art Report**. Girmscheid, G., Scheublin, F. (Eds.). IBB – Institut für Bauplanung und Baubetrieb. Zurich: Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2010. ISBN 978-3-906800-17-2. 429 p.

COHENDET, P.; DIANI, M.; LERCH, C. **Stratégie modulaire dans la conception. Une interprétation en termes de communautés**. Revue française de gestion, v. 31, n. 158, p. 121–144, 2005. Disponível em: <<http://rfg.revuesonline.com/article.jsp?articleId=7503>>. .

FABRICIO, M. **Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos**. Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, v. 20, n. 33, p. 228-248, 26 jun. 2013.

FRIGANT, V.; TALBOT, D. **Convergence et diversité du passage à la production modulaire Dans l' aéronautique et l' automobile en Europe.** , v. 37, p. 107–118, 2004.

FRIGANT, V.; **La modularité : un fondement pour des firmes architectes ?** Université Montesquieu Bordeaux IV. Cahier du GRES 2004-02, 2004.

GANN, D. M. **Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan.** Construction Management and Economics, v. 14, n. 5, p. 437–450, 1996.

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

GERSHENSON, J. K.; PRASAD, G. J.; ZHANG, Y. **Product modularity: Measures and design methods.** Journal of Engineering Design, v. 15, n. 1, p. 33–51, 2004.

GOSLING, J.; PERO, M.; SCHOENWITZ, M.; TOWILL, D.; CIGOLINI, R. **Defining and Categorizing Modules in Building Projects: An International Perspective.** American Society of Civil Engineers. J. Constr. Eng. Manage., 04016062, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001181. 2016.

GREVEN, H. A.; STAUDT, A.; BALDAUF, F.; **Introdução à Coordenação modular da Construção no Brasil: uma abordagem atualizada.** Coleção HABITARE / FINEP, 2007.

HENRIQUES, F. E.; MIGUEL, P. A. C. **Adoção da modularidade em produto e em produção na indústria automotiva: uma análise comparativa em projetos de veículos com participação da engenharia brasileira.** Gestão & Produção, v. 24, n. 1, p. 161–177, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2017000100161&lng=pt&tlng=pt>. .

HOFMAN, E.; VOORDIJK, H.; HALMAN, J. **Matching supply networks to a modular product architecture in the house-building industry.** Building Research and Information, v. 37, n. 1, p. 31–42, 2009.

JACOBS, M.; DROGE, C.; VICKERY, S. K.; CALANTONE, R. **Product and Process Modularity's Effects on Manufacturing Agility and Firm Growth Performance,** p. 123–137, 2011.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang.; HELBIG, Johannes. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.** Final

Report, Acatech, 2013. Disponível em: <
<http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/kooperationen/detail/artikel/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-40-final-report-of-the-industr.html>> Acesso em 14 de novembro 2019.

KASANEN, A.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. **The Constructive Approach in Management Accounting Research.** *Journal of Management Accounting Research*, v. 5, n. June 1991, p. 243–264, 1993. Disponível em:
 <<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=8756bc1b-aa11-4d36-8925-211cda179d0a@sessionmgr4001&crllhashurl=login.aspx%3Fdirect%3Dtrue%26scope%3Dsite%26db%3Dbuh%26AN%3D9701211561%26msid%3D427786446&hid=4112&vid=0&bdata=Jmxhbmcc>>.

LANGLOIS, R. **Modularity in technology and organization.** *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 49, p. 19–37, 2002. Disponível em:
 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268102000562%5CnC:%5CUsers%5CTristanoSainati%5CDropbox%5CPrivate%5C02_Ricerca%5C0_Oldies%5CFARB%5C08_Trasferimento%5CListaArticoli%5C014.pdf>. Acesso em 3 de outubro 2019.

LUKIANCHUKI, M. A.; CAIXETA, M. C. B. F.; FABRICIO, M. M.; CARAM, R. **Industrialização da construção no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS). A construção dos hospitais da Rede Sarah: uma tecnologia diferenciada através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah – CTRS.** *Arquitextos*, São Paulo, ano 12, n. 134.04, Vitruvius, jul. 2011
 <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.134/3975>>.

MARTUCCI, R.; **Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?** 1990. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MIYASAKA, Elza Luli. **Projeto para produção de superfícies complexas.** 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
 doi:10.11606/T.102.2018.tde-12012018-105715. Acesso em: 2019-11-14.

O'CONNOR, J. T.; O'BRIEN, W. J.; CHOI, J. O. **Critical Success Factors and Enablers for Optimum and Maximum Industrial Modularization.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 140, n. 6, p. 04014012, 2014. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000842>>. .

RIBEIRO, M. S.; MICHALKA JÚNIOR., C. **A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção**

civil no Brasil. Revista Vértices, v. 5, n. 3, p. 89–107, 2003. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1809-2667.20030021>>. .

ROCHA, C. G.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS, P. **Adopting product modularity in house building to support mass customisation.** Sustainability (Switzerland), v. 7, n. 5, p. 4919–4937, 2015.

ROCHA, C. G.; KEMMER, S., **Integrating product and process design in construction.** Construction Management and Economics, DOI:10.1080/01446193.2018.1464198, 2018.

RODRIGUES, E. A.; CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C. **Uma investigação sobre a relação entre o projeto do produto e produção em uma montadora automotiva e fornecedores de motores que adotam a modularidade.** Production, v. 22, n. 3, p. 337–379, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132012000300002&lng=pt&tlng=pt>. .

SALVADOR, F. **Toward a Product System Modularity Construct.** IEEE Transactions on Engineering Management, v. 54, n. 2, p. 219–240, 2007.

SALVADOR, F.; FORZA, C.; RUNGTUSANATHAM, M. **Modularity, Product Variety, Production Volume, and Component Sourcing: Theorizing Beyond Generic Prescriptions,** v. 20, p. 549–575, 2002.

SANTOS, A.; SCHEER, S.; AZUMA, F.; MARCOS, M. **Gargalos para a Disseminação da Coordenação Modular.** IV Colóquio de Pesquisas em Habitação “Coordenação Modular e Mutabilidade” Escola de Arquitetura da UFMG, 2007.

SANCHEZ, R. O. N.; MAHONEY, J. T. **Modularity , Flexibility , and Knowledge Management in Product and Organization Design.** Strategic Management Journal , Vol . 17 , Special Issue : Knowledge and the Firm Published by : Wiley Stable U. , v. 17, p. 63–76, 2017.

SCHILLING, M. A., **Toward a General Modular Systems Theory And Its Application to Interfirm Product Modularity.** Academy of Managementi fview 200D. Vol. 25, Ko. 2, 312-334. Boston University. 2000.

Shafiq, S. I.; Sanina, C.; Szczerbickib, E.; & Toroc, C.(2015) **Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0.** Procedia Computer Science, v. 60, n.1, p. 1146-1155.

SILVA, Januária & ROCCO Lahr, Francisco. **Basic guidelines for design in Wood Frame**. Construindo. 7. 1-12. 2015

SINDUSCON-SP (SINDICATO DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO), **Produtividade na Construção**. 2015. 36 p. Disponível em:
<http://www.sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2016/01/Produtividade_estudo.pdf>

Ulrich. K. **The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm**. Research Policy, v. 24, p. 419, 1995.

VIANA, D. D.; TOMMELEIN, I. D.; FORMOSO, C. T. **Using modularity to reduce complexity of industrialized building systems for mass customization**. Energies, v. 10, n. 10, 2017.

VOORDIJK, H.; MEIJBOOM, B.; DE HAAN, J. **Modularity in supply chains: A multiple case study in the construction industry**. International Journal of Operations and Production Management, v. 26, n. 6, p. 600–618, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Nome completo: J. F.

Idade: 30 anos

Formação profissional: Arquiteto e Urbanista

Orientações:

Este questionário irá abordar especificamente questões relativas ao projeto das peças do sistema estrutural pré-fabricado. Responda de maneira sincera o que foi perguntado. Preencha cada resposta dentro de seu respectivo quadrado. Evite deixar respostas em branco. Caso surja alguma dúvida, por favor contate o pesquisador para esclarecimentos.

SOBRE O PROJETO:

1. Comente como foi a sua participação no projeto das casas. Quais eram suas atividades principais?

Fui responsável pela concepção e detalhamento geral do sistema e das peças estruturais.

2. As peças do sistema estrutural apenas delimitam um espaço habitável (vazio) quando conectadas. No projeto, estes vazios eram a prioridade ou eram resultado de uma decisão técnica? Por exemplo, o pé-direito, era resultado do tamanho máximo permitido por uma das peças ou tinha sua altura definida em projeto, o que impactava no dimensionamento das peças. Explique.

Assim como todo projeto, a construção do espaço é definida considerando fatores diversos, complexos e, muitas vezes, contraditórios. No caso das peças estruturais pré-fabricadas em questão, a idéia foi que elas compusessem um espaço mínimo habitável modular que pudesse ser expandido facilmente combinando outros módulos, oferecendo liberdade de composição e deixando definições que poderiam trazer qualidades para o espaço a cargo dos sistemas de abertura e materiais de fechamento escolhidos, por exemplo. Adiciona-se a isso uma necessidade local de auto-construção, transportabilidade, desmontabilidade da estrutura e baixo custo. No encontro de tudo isso foram escolhidas as dimensões das peças.

3. Alguma medida de referência foi adotada? Em caso afirmativo: Em que momento do processo de projeto? Como ela foi empregada (malha ortogonal plana, espacial ou outra maneira)? Explique.

Não e sim, já que foi realizada uma extensa pesquisa sobre as dimensões mínimas e máximas de perfis de aços e chapas de revestimento encontrados no mercado nacional, porém isso não foi limitador de projeto. A idéia foi que os elementos construtivos complementares (fechamentos, janelas, portas, etc) pudessem ser compatíveis com as dimensões da estrutura de forma geral, afim de possibilitar aos próprios moradores fazer alterações e substituir partes em caso de necessidade. Houve um acordo geral entre elementos.

4. Quais foram os critérios empregados para definir a quantidade de peças pré-fabricadas entregues e posteriormente montadas?

O principal critério adotado para definir a quantidade de peças pré-fabricadas foi a transportabilidade delas. Com essa premissa, foi necessário dividir a estrutura em partes menores que pudessem ser carregadas por no máximo duas pessoas em veículos terrestres e aquáticos de pequeno porte.

5. O sistema estrutural da casa tem a capacidade de ser desmontado, transportado e remontado? Se sim, o que permite isto?

Sim, pois as peças são padronizadas e todas ligações são parafusadas de encaixe simplificado. Por exemplo, as vigas são sempre as mesmas, independente de onde seja aplicada, o que torna a montagem mais intuitiva e diminui a possibilidade de erro.

6. Foi possível aproveitar algo do projeto piloto (Porto da Manga) na concepção deste sistema? Se sim, enumerar quais foram. Se não, explicar por quê.

Sim. Sabendo da falta de padronização e qualidade da madeira serrada vendida no Brasil e das dificuldades que isso trouxe para o canteiro de obras do projeto piloto, optamos por trocar o material da estrutura e partir para um sistema em que a padronização das peças e relação entre peso e resistência fosse mais vantajosa que a madeira.

7. Qual é a justificativa para a adoção do aço como material do sistema? Tem alguma relação com a capacidade de ser montado e desmontado?

A principal justificativa foi a padronização dos perfis estruturais encontrados no mercado brasileiro e a relação entre peso e resistência, o que impacta diretamente na capacidade das pessoas poderem transportar as peças e montá-las (uma pessoa carrega qualquer peça da estrutura). Entretanto, a variação do preço do aço, cotado em dólares, é um fator de encarecimento do sistema.

8. Esta decomposição da estrutura em peças facilitou ou dificultou o processo do projeto? Se facilitou, quais foram os benefícios. Se dificultou, quais foram os entraves?

Dificultou o projeto em si pois foi necessário um detalhamento mais preciso das ligações. Entretanto, facilita muito a montagem da estrutura, a customização e a replicação posterior do sistema.

9. A adoção de interfaces de ligação padronizadas permitiu o desenvolvimento simultâneo de diferentes peças? Se sim, quais as vantagens e desvantagens? Se não, por que isto não foi possível?

Sim. As ligações foram pensadas de forma a facilitar a montagem e receber diferentes peças de acordo com a necessidade de projeto sem ter o retrabalho de dimensionamento estrutural. Dois exemplos ilustram essa versatilidade. O primeiro é que as peças metálicas de viga podem ser encaixadas no mesmo local das peças de assoalho, para fazer um mezanino, por exemplo. O segundo é que as ligações permitem também o encaixe de peças estruturais feitas de outros materiais para expandir a construção, como uma viga de madeira por exemplo (desde que haja um preparo básico na peça de madeira para encaixá-la no ponto de ligação). Uma desvantagem desse sistema é a necessidade de sobre-dimensionar as peças estruturais para receber elementos adicionais e, caso não sejam aplicados, as ligações ficam aparentes e ociosas.

10. Condicionantes específicas do local de montagem (como por exemplo o acesso, o relevo, a disponibilidade de ferramentas como guinchos, as cheias, etc.) afetaram o projeto das peças? Se sim, como? Se não, por quê?

Sim. Sabendo da distância que as peças deveriam ser transportadas e os recursos disponíveis para tanto, uma premissa determinante foi que uma ou no máximo duas pessoas deveriam ser capazes de carregar qualquer uma das peças estruturais e transportá-la em carro ou embarcação de pequeno porte.

11. Você considera o desenvolvimento de um sistema estrutural desmontável mais complexo do que um sistema em que isto não seja possível?

Sim. Poder montar, desmontar e manter a integridade da estrutura para remontá-la facilmente requer uma atenção maior aos detalhes de encaixes entre peças. Porém, com a lógica de replicação e montagem facilitada do sistema, essa complexidade inicial se justificou e se mostrou eficaz.

12. Em um futuro projeto, você trabalharia com a lógica de dividi-lo em partes pré-fabricadas? Sim, não ou depende? Explique.

Na verdade a construção civil brasileira já trabalha com a lógica de dividir a construção em partes pré-fabricadas (tijolos, vigotas para laje, lajes protendidas, perfis para dry-wall, chapas de gesso, etc). A questão seria então sobre o tamanho dessa divisão, onde encontramos poucos exemplos de pré-fabricação de conjuntos, como uma parede inteira ou até mesmo uma casa completa feita em ambiente fabril. Assumindo o segundo cenário, a resposta é que depende: Se for um projeto passível de replicação ou que seja viável a utilização de sistemas pré-fabricados, sim. Caso contrário, há grandes chances de fatores como tempo, preço, mão-de-obra e soluções disponíveis no mercado brasileiro acabem por inviabilizar o uso de partes maiores pré-fabricadas.

13. Você acredita que o tamanho do projeto afetaria a decisão da questão anterior? Explique.

Sim e não. Sim pois quanto maior o tamanho do projeto e quanto maior a quantidade de conjuntos construtivos passíveis de repetição, maior é a probabilidade de que compense estabelecer processos de pré-fabricação. Não, pois não é apenas o tamanho que define o uso ou não de sistemas pré-fabricados. É amplamente comprovado que a pré-fabricação de sistemas construtivos otimiza processos, aumenta segurança dos trabalhadores, economiza recursos e permite melhor controle de qualidade do produto final.

Porém, requer mais capacidade técnica de planejamento e mão-de-obra especializada, o que não é uma realidade brasileira. Como dito na questão anterior, nem sempre é possível estabelecer os melhores métodos construtivos devido a fatores de tempo, preço e mão-de-obra disponível.

14. Gostaria de fazer algum comentário ou contribuir com novas informações?

Não.

APÊNDICE B

Nome completo: I. P.

Idade: 48 anos

Formação profissional: Empresária

Orientações:

Este questionário irá abordar especificamente questões relativas à fabricação das peças do sistema estrutural pré-fabricado. Responda de maneira sincera o que foi perguntado. Preencha cada resposta dentro de seu respectivo quadrado. Evite deixar respostas em branco. Caso surja alguma dúvida, por favor contate o pesquisador para esclarecimentos.

SOBRE A FABRICAÇÃO:

1. O maquinário disponível foi suficiente para fabricar as peças do sistema? Se não, explicar quais foram os problemas.

R: Sim!

2. Foi necessário comprar alguma ferramenta ou máquina nova para produzir as peças? Se sim, explique.

R: Não!

3. Algum teste de produção, como por exemplo um modelo em tamanho reduzido, foi

feito antes de iniciar a produção definitiva? Se sim, qual o intuito dele?

R: Sim. Somente matriz em tamanho de acordo ao Projeto de algumas peças metálicas.

4. Foi necessário implementar algum tipo de molde ou gabarito para auxiliar a produção das peças? Se sim, para que ele serviu? Ele ainda existe?

R: Sim. Gabarito. Várias peças mesmo modelo, serviu para agilidade do processo. Existe apenas um gabarito.

5. Qual peças foi a mais complexa de fabricar? Por quê?

R: Peça Metálica Cumieira do telhado, Gabarito teve que ter encaixe com precisão..

6. Qual peça foi a mais simples de fabricar? Por quê?

R: Perfis retos somente corte de acordo solicitação do Projeto Estrutural.

7. Seria mais simples produzir a estrutura inteira sem a possibilidade de ser desmontada em diferentes peças? Explique.

R: Sim! Seria mais rápido, custo menor com a Fabricação de Casa Metálica inteira, sem montagem posteriormente.

8. Seria mais fácil produzir uma maior quantidade de peças menores? Explique.

R: Sim. Produção em sequencia facilita mão de obra.

9. Seria mais fácil produzir uma quantidade menor de peças maiores? Explique.

R: Sim. Menos mão de obra.

10. A separação da estrutura em peças menores facilitou o processo de fabricação?

R: Sim. Peças menores foram somente peças de ligamento entre os Perfis metálicos maiores.

--

11. Você discorda, concorda ou concorda em partes com a seguinte afirmação: Se a demanda por peças for pequena, não é justificável separar a estrutura em partes desmontáveis.

R: Discordo, teria que ser desmontável mesmo que em quantidades menores, pois as peças foram galvanizadas e não caberiam nos fornos de galvanização.

12. A velocidade de produção das peças foi a mesma desde o começo ou conforme iam se repetindo, o tempo de fabricação ia diminuindo? Explique.

R: Sim. Cada peça foi aumentando a agilidade das mesmas.

13. Foi possível fabricar as peças com o mesmo nível de precisão do projeto? Explique.

R: Sim. Projeto estrutural foi bem detalhado.

14. Gostaria de fazer algum comentário ou contribuir com novas informações?

R: As peças metálicas foram galvanizadas a frio, hoje galvanizaria a fogo, qualidade e durabilidade infinitamente maior. Gratidão pela oportunidade.

APÊNDICE C

Nome completo: A.D.

Idade: 38 anos

Formação profissional: Arquiteto e Urbanista

Orientações:

Este questionário irá abordar especificamente questões relativas ao transporte das peças do sistema estrutural pré-fabricado. Responda de maneira sincera o que foi perguntado. Preencha cada resposta dentro de seu respectivo quadrado. Evite deixar respostas em branco. Caso surja alguma dúvida, por favor contate o pesquisador para esclarecimentos.

SOBRE O TRANSPORTE:

1. Comente como foi a sua participação no transporte das casas. Quais eram suas atividades principais?

Fiquei responsável em acompanhar o embarque e o desembarque das peças pela chata nos locais de execução das casas.

2. Separar a estrutura da casa em peças facilitou o transporte? Se sim, quais foram os benefícios? Se não, quais as dificuldades?

Sim, pois ocupou menos espaço na chata (barco de transporte) e facilitou a descarga do material.

3. Foi possível empilhar as peças? Explique.

A maioria delas sim.

4. O peso das peças era adequado ao transporte manual? Explique.

Sim as peças eram leves e de fácil manuseio.

5. Alguma peça foi perdida no transporte? Explique.

Não.

6. Alguma peça foi danificada durante o transporte? Se sim, quantas? Detalhe o problema.

Não.

7. As dimensões eram adequadas ao transporte manual? Explique.

Sim, as peças maiores eram transportadas por no máximo duas pessoas.

8. Se a estrutura da casa viesse montada, o deslocamento seria mais fácil ou mais difícil? Comente.

Não facilitaria por motivo de carregamento e descarregamento pois precisaríamos de um munk para isso.

9. Se a estrutura da casa fosse composta por uma maior quantidade de peças pequenas, o deslocamento seria mais fácil ou mais difícil?

Talvez mais fácil, mas dificultaria ainda mais a montagem, acredito não ser viável.

10. A quantidade de peças da estrutura gerou algum tipo de confusão? Explique.

Sim, mas por falta de marcação e método de montagem, pois não seguiam como estava no projeto.

11. No transporte, as peças eram agrupadas por tipo, por conjuntos que formavam a estrutura de uma casa ou estavam misturadas? Qual é a sua opinião sobre isto? Comente.

Estavam agrupadas por tipo, o que não favoreceu a descarga do material nos seu devidos locais de montagem.

As peças agrupadas por tipo favorecem o transporte mas precisam de um sistema de marcação e de quantidades por casa para facilitar a descarga que deve ser feita rapidamente por motivo de envolver grande quantidade de mão de obra e horas da chata de transporte que tem custo elevado.

Faltou uma identificação das peças, por exemplo peça 1^a, 1b, 1c, etc... e uma planilha com a quantidade e tipos de peças por casa, facilitaria a descarga.

No momento tive que separar a sentimento, pois não havia visto a casa montada ainda e as peças estão umas por cima das outras e não identificadas.

12. Gostaria de fazer algum comentário ou contribuir com novas informações?

O momento de descarga tínhamos aproximadamente 20 homens descarregando as peças e todos dependendo do meu comando pra decidir a quantidade e quais peças devias ser descarregadas, sem que houvesse nenhuma instrução de tipo

e quantidade de peças por casa, e como falei acima nosso tempo com a chata de transporte parada era curto devido ao alto custo de sua locação, o que causou erros de distribuição e perda de tempo desnecessário.

APÊNDICE D

Nome completo: A.D.

Idade: 38 anos

Formação profissional: Arquiteto e Urbanista

Orientações:

Este questionário irá abordar especificamente questões relativas à montagem das peças do sistema estrutural pré-fabricado. Responda de maneira sincera o que foi perguntado. Preencha cada resposta dentro de seu respectivo quadrado. Evite deixar respostas em branco. Caso surja alguma dúvida, por favor contate o pesquisador para esclarecimentos.

SOBRE A MONTAGEM:

1. A quantidade de peças do sistema no local de montagem causou algum tipo de confusão?

Sim tivemos grande dificuldade pois montamos 5 casas e por motivo de não haver uma marcação que as separasse aumenos por unidade residencial tivemos grande retrabalho pois descarregamos peças em pontos diferentes ao longo da margem dos rio, onde seriam montadas as casa totalizando 3 locais diferentes, após descarregado tivemos que relocar as pessas que estação misturadas gerando muito retrabalho e gasto de combustível e tempo desnecessário que poderia ter sido evitado com uma simples marcação com adesivos ou pintura em cores diferentes por unidade residencial.

2. As peças se conectaram facilmente? Se não, explicar.

Sim, as peças tiveram bom encaixe.

3. Quais as principais dificuldades percebidas na montagem?

Época do ano inapropriada para o trabalho devido ao elevado numero de incetos, tornando muito desgastante o trabalho para a mão de obra.

Tivemos dificuldades nas bases onde usamos postes de arueira enterrados, primeiramente esquadreamos e nivelamos os postes enterrados e quando fomos fixar os pés da estrutura não acompanharam o dimensões do projeto.

4. A velocidade de montagem das peças foi sempre igual ou conforme a equipe ia adquirindo experiência, o tempo para conectar o sistema ia diminuindo?

A primeira foi a mais demorada, devido as peças não estarem numeradas e de termos que descobrir onde encaixava cada peça.

Uma solução pratica para ganho de tempo seria de ao menos um mebro da equipe de montagem ir até o local de confecção das peças e acompanhar a montagem de uma casa orientada pelo serralheiro que as confecçionou.

5. Alguma adaptação no local da montagem precisou ser feita? Se sim, explique o que.

Sim, como excpliquei no item 2 as bases precisaram ser relocadas de acordo com a estrutura por não obedecerem exatamente ao projeto.

6. Quanto tempo em média foi empregado para montar a estrutura de cada casa?

Falando somente da estrutura com exeção da primeira 1 dia.

7. Em algum momento da montagem o sistema precisou ser desmontado por estar encaixado de forma errada?

Na primeira diversas vezes.

8. Você discorda, concorda ou concorda em partes com a seguinte afirmação: Se fossem entregues pilares e vigas ao invés de peças pré-fabricadas, a montagem seria mais fácil.

Descordo, essa estrutura é muito leve e pratica de trabalhar, um sistema muito bom se melhor aprimorado.

--

9. Você discorda, concorda ou concorda em partes com a seguinte afirmação: Entregar peças pré-fabricadas reduziu o tempo de montagem.

Concordo.

10. Você discorda, concorda ou concorda em partes com a seguinte afirmação: Entregar peças pré-fabricadas tornou o processo de montagem mais eficiente.

Concordo

11. Alguma peça foi danificada durante a montagem?

Não.

12. Algum manual de montagem foi utilizado? Alguma imagem do sistema estrutural montado foi fornecida?

Foi fornecido o projeto estrutural com as peças

13. Você acredita que os moradores seriam capazes de desmontar e remontar a estrutura?

Acredito que sim se orientados e com as ferramentas corretas.

14. Você discorda, concorda ou concorda em partes com a seguinte afirmação: O canteiro da obra era mais organizado devido às peças pré-fabricadas.

Concordo.

14. As peças chegavam ao local de montagem misturadas sem critério, agrupadas por tipo ou agrupadas por conjuntos que formavam uma casa? Isto dificultava ou facilitava a montagem? Comente.

Chegaram ao local agrupadas por tipo onde deviao estar agrupadas por casa pois a decarga era em locais diferentes o que nos dificultou muito gerando grande retrabalho.

12. Gostaria de fazer algum comentário ou contribuir com novas informações?

Acredito que o sistema foi o ideal para o trabalho realizado devido as condições da população ribeirinha que devido as condições de cheias por momentos mudam o local de moradia.