



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

HANA BEATRIZ CARDOSO EL GHOZ

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SUBSISTEMAS DE
COBERTURA MODULARES VISANDO A CUSTOMIZAÇÃO
EM MASSA DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES**

Londrina
2017

HANA BEATRIZ CARDOSO EL GHOZ

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SUBSISTEMAS DE
COBERTURA MODULARES VISANDO A CUSTOMIZAÇÃO
EM MASSA DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES**

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. Sidnei Junior Guadanhim

Londrina
2017

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

El Ghaz, Hana Beatriz Cardoso .

Diretrizes para projeto de subsistemas de cobertura modulares visando a customização em massa de habitações unifamiliares / Hana Beatriz Cardoso El Ghaz. - Londrina, 2017.
186 f.

Orientador: Sidnei Junior Guadanhim.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Subsistema de cobertura - Tese. 2. Customização em massa - Tese. 3. Modularidade - Tese. I. Guadanhim, Sidnei Junior. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA
CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SUBSISTEMAS DE
COBERTURA MODULARES VISANDO A
CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA DE HABITAÇÕES
UNIFAMILIARES**

Autora: Hana Beatriz Cardoso El Ghoz
Orientador: Prof. Dr. Sidnei Junior Guadanhim

TITULAÇÃO: Mestre em Arquitetura e Urbanismo

APROVADA em 17 de março de 2017.

Prof^a Dr^a Cecília Gravina da Rocha

Prof. Dr. Ricardo Dias Silva

Prof. Dr. Sidnei Junior Guadanhim
(Orientador)

HANA BEATRIZ CARDOSO EL GHOZ

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SUBSISTEMAS DE COBERTURA
MODULARES VISANDO A CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA DE
HABITAÇÕES UNIFAMILIARES**

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. Sidnei Junior Guadanhim
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Ricardo Dias Silva
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dra. Cecília Gravina da Rocha
Universidade Federal do Rio Grande do Sul -
UFRGS

Londrina, 17 de março de 2017.

Com amor, àqueles que compartilham dos meus desafios e pequenas conquistas diárias.

Aos meus pais, Nilva e Eid, minha irmã, Najla, e meu noivo, Marcelo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido cada conquista e oportunidade até aqui, iluminando sempre minhas decisões.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sidnei Junior Guadanhim, pelo conhecimento compartilhado, pelo incentivo, confiança e pelo carinho com o qual exerce a atividade de ensinar. Assim como aos demais professores que compartilharam o saber durante estes dois anos de curso e, anteriormente, durante a minha formação como arquiteta e urbanista.

À minha família, que compartilhou comigo cada etapa vencida e me encorajou à medida que surgiam os novos desafios. Meus pais, Nilva e Eid, que nunca mediram esforços para que eu pudesse alçar voos mais altos e sempre colocaram amor em todas as suas ações. Minha irmã, Najla, que sempre acreditou no meu potencial e é a melhor amiga que eu poderia ter. Meu noivo, Marcelo, pelo amor e companheirismo de sempre, e por ter tornado todo o processo mais leve. E aos familiares, que sempre colocaram seus pensamentos e corações juntos ao meu.

Aos amigos, arquitetos ou não. Os que caminharam juntos na jornada do mestrado e os que, de fora, sempre apoiaram e entenderam as ausências necessárias, e que também foram ótimas companhias ao compartilhar as alegrias de cada conquista durante o caminho.

Aos professores, Dra. Cecília Gravina da Rocha e Dr. Ricardo Dias Silva, pela colaboração e cuidado com o qual compartilharam seu conhecimento e suas sugestões para que este trabalho atendesse ao objetivo almejado.

Ao Grupo de Pesquisa ZEMCH *Brazil* (UEL), na forma de todos os docentes e colaboradores que dividiram suas experiências, seus conhecimentos e me acolheram como igual, enriquecendo as discussões do trabalho e permitindo meu crescimento pessoal.

Ao Prof. Dr. Masa Noguchi, que incentivou a pesquisa e me encorajou a pensar ainda mais na arquitetura com o seu papel transformador e sustentável.

Às queridas Amanda Dallman, Ana Cláudia Santos e Larissa Matsuda que, além de contribuírem com o trabalho durante todo o processo, me fizeram despertar o desejo de ensinar e me encorajaram a segui-lo.

À Tecverde, por dividir o conhecimento técnico e as experiências práticas.

À Universidade Estadual de Londrina, na forma de seus servidores e colaboradores.

E à CAPES, pela bolsa concedida.

“É necessário fazer uma arquitetura relevante nas produções do cotidiano, reconhecendo as necessidades da maioria e atendendo às diversidades sociais.” (Deborah Berke)

GHOZ, Hana Beatriz Cardoso El. **Diretrizes para projeto de subsistemas de cobertura modulares visando a customização em massa de habitações unifamiliares.** 2017. 186f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa Associado de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UEL/UEM - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

RESUMO

Não obstante os avanços crescentes na área da construção civil com relação à industrialização e pré-fabricação, a falta de estudos direcionados ao subsistema de cobertura de unidades de habitação fez com que o avanço tecnológico voltado a esta parte da edificação não evoluísse tanto quanto se fez nos outros subsistemas. Entretanto, o problema de pesquisa não se limita apenas à falta de industrialização, mas também à falta de possibilidades de customização das unidades de habitação produzidas em massa, tendo como pano de fundo as HIS brasileiras. Assim, o objetivo da pesquisa é propor diretrizes que facilitem o projeto de subsistemas de cobertura pré-fabricados, a fim de possibilitar a customização em massa das unidades de habitação. O método de pesquisa utilizado foi o Design Science Research, com o envolvimento de uma empresa de tecnologia parceira e o desenvolvimento de um estudo destinado à resolução prática de um problema real, aplicando o processo de design colaborativo ao projeto de uma unidade de habitação pautada nas premissas da Rede ZEMCH e do PMCMV. Este projeto constitui o estudo de caso desta dissertação. Após o registro das decisões de projeto, estas foram submetidas a uma verificação de viabilidade com base em reuniões realizadas com profissionais e pesquisadores da área, e também através de uma análise feita pela empresa de tecnologia parceira. Os resultados foram verificados pelo método do painel de especialistas. Deste processo extraíram-se as diretrizes apresentadas como resultado do trabalho.

Palavras-chave: Sistema de Cobertura; Customização em Massa; Modularidade.

GHOZ, Hana Beatriz Cardoso El. **Guidelines for modular roofing subsystem design aiming the mass customization of detached houses.** 2017. 186p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa Associado de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UEL/UEM - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

ABSTRACT

Despite the growing advances in the area of civil construction in relation to industrialization and pre-fabrication, the lack of studies directed to the roofing subsystem of housing units has meant that the technological advance aimed at this part of the building has not evolve as much as it has in other subsystems. However, the research problem is not limited only to its lack of industrialization, but also to the lack of the possibility of customization of mass-produced housing units, having as background the Brazilian social housing. Thus, the objective of the research is to propose guidelines which facilitate the design of pre-fabricated roofing subsystems, in order to allow the mass customization of housing units. The research method used was Design Science Research, with the involvement of a technology partner company and the development of a study aimed at the practical resolution of a real problem, applying the process of collaborative design to the purpose of a housing unit based on the premises of the ZEMCH Network and the PMCMV. This project constitutes the case study of this dissertation. After recording the project decisions, they were submitted to a feasibility check based on meetings held with professionals and researchers in the area, and also through an analysis made by the partner technology company. The results were verified by the experts' panel method. From this process, the guidelines presented as result of the work were extracted.

Keywords: Roofing Subsystem; Mass Customization; Modularity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1:	Conjunto habitacional subsidiado pelo PMCMV	11
FIGURA 2:	Etapas do método de pesquisa Design Science Research	21
FIGURA 3:	Delineamento do processo de pesquisa	22
FIGURA 4:	Correspondência com as etapas do DSR.....	23
FIGURA 5:	Esquema de conceitos da industrialização e suas relações	27
FIGURA 6:	Subcomponentes dos conceitos de produto e serviço.....	33
FIGURA 7:	Arquitetura modular e arquitetura integral a partir do exemplo de uma cabine de carga.....	40
FIGURA 8:	Subtipos de Arquitetura Modular.....	46
FIGURA 9:	Modelo de UH ZEMCH e a relação com alguns dos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa ZEMCH Brazil	52
FIGURA 10:	Lotes existentes (125m ²) e propostos (150m ²)	54
FIGURA 11:	Módulo base - planta baixa	56
FIGURA 12:	Módulo base + Customizações - planta baixa	58
FIGURA 13:	Composição dos painéis de parede no sistema LWF	59
FIGURA 14:	Croquis iniciais de investigação das possibilidades de desenho da cobertura	63
FIGURA 15:	Primeiras modelagens tridimensionais do processo de concepção projetal	64
FIGURA 16:	Primeiras interferências de projeto apontadas pelos protótipos	65
FIGURA 17:	Protótipos físicos inseridos ao processo projetual	66
FIGURA 18:	Correspondência das etapas da pesquisa com as fases do DSR apresentadas por Vaishnavi e Kuechler	71
FIGURA 19:	Etapas de montagem do protótipo	80
FIGURA 20:	Instalação do subsistema de cobertura quando é viável a montagem da estrutura em solo	81
FIGURA 21:	Etapas de instalação do subsistema de cobertura quando não é viável a montagem da estrutura em solo	81
FIGURA 22:	Etapas de produção dos painéis de LWF	86
FIGURA 23:	Proposta inicial para o sistema de aquecimento solar	88
FIGURA 24:	Restrição de projeto identificada durante o processo projetual	90
FIGURA 25:	Estudo relacionado ao posicionamento da calha lateral	90
FIGURA 26:	Investigação acerca do posicionamento dos reservatórios.....	91
FIGURA 27:	Interferência entre o volume da caixa d'água e subsistemas da cobertura	92

FIGURA 28:	Estudo de concepção da bandeja de fibra de vidro e detalhe de encaixe no painel em LWF.....	94
FIGURA 29:	Planta de localização dos componentes em fibra de vidro	94
FIGURA 30:	Áreas cobertas com os componentes em fibra de vidro	95
FIGURA 31:	Estudo relacionado à interferência do avanço dos beirais do módulo base	96
FIGURA 32:	Interferência entre módulo base e customização ao permitir o avanço do beiral.....	96
FIGURA 33:	Novas opções de customização e módulo base.....	97
FIGURA 34:	Esquema de localização da calha central - telhado borboleta.....	98
FIGURA 35:	Exemplo de modelo de caixa d'água adotado inicialmente	99
FIGURA 36:	Restrições e interferências com relação à localização dos reservatórios de água	99
FIGURA 37:	Esquema de instalação dos reservatórios de água fria e água quente	100
FIGURA 38:	Estudo de modificação da altura dos painéis e adaptação das alturas de peitoris e vergas dentro da modulação proposta anteriormente	101
FIGURA 39:	Estudos de volumetria - unidade com painéis de 3m comparada ao modelo com painéis de 2,70m	101
FIGURA 40:	Sugestão de posicionamento das placas solares sobre a cobertura da lavanderia.....	102
FIGURA 41:	Opções de customização da cobertura para os módulos base	109
FIGURA 42:	Opções de customização da planta	109
FIGURA 43:	B1+C1(X) e B1+C1(X)+C2(X)	110
FIGURA 44:	Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B1+C1(X)	111
FIGURA 45:	B1+C1(Y) e B1+C1(Y)+C2(Y).....	111
FIGURA 46:	B1+C1(Y)+C2(Z)	112
FIGURA 47:	Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B1+C1(Y)	113
FIGURA 48:	B2+C1(Y) e B2+C1(Y)+C2(Y).....	113
FIGURA 49:	B2+C1(Y)+C2(Z)	114
FIGURA 50:	Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B2+C1(Y)	115
FIGURA 51:	B3+C1(X) e B3+C1(X)+C2(X).....	115

FIGURA 52:	Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B3+C1(X)	116
FIGURA 53:	B3+C1(X) e B3+C1(X)+C2(X) - Módulos de customização espelhados.....	116
FIGURA 54:	Especificações modelo de caixa d'água	120
FIGURA 55:	Esquema de localização dos reservatórios.....	121
FIGURA 56:	Composição e perfil lateral das telhas	123
FIGURA 57:	Paginação das telhas - Módulos base 1 e 3	124
FIGURA 58:	Paginação das telhas - Módulo base 2.....	125
FIGURA 59:	Avanço do beiral lateral - Módulos base 1 e 3	126
FIGURA 60:	Paginação das telhas - Módulos de customização X, Y e Z	127
FIGURA 61:	Módulo 1 e Composição dos frontões da B2	131
FIGURA 62:	Módulo 3 e Composição dos frontões da B1	131
FIGURA 63:	Módulo 2 e Composição dos frontões da B3	132
FIGURA 64:	Módulo 4 (módulo único de composição da customização X).....	132
FIGURA 65:	Modulação de corte das chapas OSB - Primeiro estudo	133
FIGURA 66:	Reconfiguração dos módulos gerados pelo estudo inicial	135
FIGURA 67:	Exemplo do transpasse mínimo (15cm) entre as juntas das placas OSB e cimentícias.....	138
FIGURA 68:	Perspectivas do conjunto habitacional proposto com a aplicação da CM.....	146
FIGURA 69:	Perspectiva externa do conjunto habitacional Oxley Woods	173
FIGURA 70:	Diagrama de setorização das “zonas de serviço” e “zonas de estar”	174
FIGURA 71:	Estudo de customização de planta e implantação das unidades.....	174
FIGURA 72:	Detalhe da manta utilizada na cobertura e das patologias apresentadas nos painéis de madeira	175
FIGURA 73:	Residências de CM pela Sanyo Homes.....	176

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Níveis de Customização em Massa	30
QUADRO 2: Exemplos de CM e suas principais características no manuseio de informações	32
QUADRO 3: Conceitos de Customização em Massa	37
QUADRO 4: Tipos de modularidade	44
QUADRO 5: Modularidade e diferentes fases no ciclo de vida do projeto.....	48
QUADRO 6: Hierarquia dos Requisitos de Projeto	55
QUADRO 7: Etapas do DSR de acordo com a literatura	69
QUADRO 8: Premissas e objetivos de projeto de acordo com o PMCMV e a Rede ZEMCH.....	72
QUADRO 9: Pesquisadores e colaboradores envolvidos no Projeto ZEMCH Brazil.....	75
QUADRO 10: Direcionamentos projetuais extraídos da visita à empresa	87
QUADRO 11: Opções de cobertura - Módulos base e customizações.....	103
QUADRO 12: Registro do processo de tomada de decisões do projeto	106
QUADRO 13: Quadro de áreas da UH	110
QUADRO 14: Variantes de Produto - combinações dos módulos	118
QUADRO 15: Modulação telhas – variantes de produto a partir das combinações possíveis.....	129
QUADRO 16: Chapas OSB – Modulação de cortes e composição dos frontões	137
QUADRO 17: Placas Cimentícias – Modulação de cortes e composição dos frontões.....	140
QUADRO 18: Modulação frontões – variantes de produto a partir das combinações possíveis.....	143

LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Especificações do modelo de telha adotado no projeto	122
TABELA 2:	Quantificação do consumo e das perdas de material - Chapa OSB	136
TABELA 3:	Quantificação do consumo e das perdas de material - Placa Cimentícia.....	139

LISTA DE SIGLAS

APO	Avaliação pós-ocupação
BNH	Banco Nacional da Habitação
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CEF	Caixa Econômica Federal
CHIS	Conjunto de Habitações de Interesse Social
CM	Customização em Massa
COHAB - LD	Companhia de Habitação de Londrina
DSR	<i>Design Science Research</i>
HIS	Habitação de Interesse Social
LWF	<i>Light Wood Frame</i>
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
PNE	Portadores de Necessidades Especiais
PPMOF	<i>Prefabrication; preassembly; modularization; off-site fabrication</i>
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas
UH	Unidade de Habitação
ZEMCH	<i>Zero Energy Mass Custom Home</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Contexto da Pesquisa	10
1.2	Problema de Pesquisa	15
1.3	Justificativa da Pesquisa	17
1.4	Objetivos da Pesquisa	19
1.4.1	Objetivo Geral	19
1.4.2	Objetivos Específicos	19
1.5	Método	20
1.6	Delineamento do Processo de Pesquisa.....	21
1.7	Estrutura do Trabalho	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	Industrialização e Pré-fabricação.....	25
2.2	Customização em Massa	28
2.2.1	Customização em Massa aplicada ao projeto de HIS	33
2.2.2	Considerações acerca das definições abordadas no subcapítulo	36
2.3	Modularidade	37
2.3.1	Tipos de Arquitetura Modular	44
2.3.2	Modularidade em diferentes fases do projeto	47
2.4	Considerações sobre a revisão de literatura	49
3	MÉTODO DE PESQUISA	50
3.1	Estudo de Caso.....	50
3.1.1	Definição da Estratégia	51
3.1.2	Apresentação do caso da UH ZEMCH Brazil	51
3.1.2.1	Considerações gerais sobre o sistema LWF e as características de sua aplicação no projeto.....	58
3.2	Prototipagem Virtual	61
3.2.1	Definição da Estratégia	61
3.2.2	Aplicação no processo de pesquisa.....	63
3.3	Painel de Especialistas	66
3.4	O Método Design Science Research	69
3.4.1	Compreensão e Estruturação.....	71
3.4.2	Acompanhamento e participação no Processo de Projeto	74

3.4.3	Verificação de Viabilidade	76
3.4.4	Análise dos Resultados	77
4	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	79
4.1	Apreensão da tecnologia existente	79
4.1.1	Visita técnica à empresa parceira	82
4.2	Decisões de Projeto	87
4.2.1	Variantes de Produto.....	108
4.2.1.1	Base 1 (B1)	110
4.2.1.2	Base 2 (B2)	113
4.2.1.3	Base 3 (B3)	115
4.2.2	Componentes do subsistema.....	119
4.2.3	Composição Modular	130
4.2.3.1	Proposta adotada para a modulação das chapas OSB.....	134
4.2.3.2	Proposta adotada para a modulação das placas cimentícias.....	138
4.2.4	Considerações finais sobre o estudo de caso	144
5	VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE	147
5.1	Modularidade aplicada às diferentes fases de projeto	147
5.2	Verificação de viabilidade a partir do Painel de Especialistas.....	152
6	RESULTADOS	155
6.1	Proposta de Diretrizes para projeto de subsistemas de cobertura modulares com aplicação de CM	155
7	CONCLUSÕES	164
7.1	Sugestões para estudos futuros	166
	REFERÊNCIAS	167
	APÊNDICE A.....	173
	ANEXO A	178
	ANEXO B	185
	ANEXO C	190

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo inicial introduz o leitor ao universo no qual o trabalho está inserido, abordando um contexto geral do problema de pesquisa, e apresentando os objetivos do estudo em questão. Ainda nesta parte introdutória, será exposto o método de pesquisa utilizado para a obtenção da resposta à questão colocada pela autora. Por fim, o leitor será apresentado à estrutura do trabalho subsequente.

1.1 Contexto da Pesquisa

O Brasil é um país no qual o déficit habitacional continua sendo um dos maiores problemas sociais. É papel e responsabilidade dos arquitetos construir de maneira consciente e contribuir através de conhecimento técnico e teórico para a melhoria na qualidade das habitações de interesse social (HIS) brasileiras. Fazer uma arquitetura relevante nas produções do cotidiano, reconhecendo as necessidades da maioria e atendendo às diversidades sociais (BERKE, 1997).

Isto sugere os principais temas que permeiam a discussão proposta por esta pesquisa: o projeto, e sua qualidade, como cerne da solução do problema da habitação no Brasil, principalmente no momento atual do país; e a forma de conferir identidade e consciência de posse aos moradores.

A discussão acerca do déficit habitacional surge a partir do momento em que a urbanização no país se torna um fenômeno notável e, este ápice, se dá no século XX. “O Brasil começou o século com 10% da população nas cidades e terminou com 81%.” (MARICATO, 2006, p. 211). É notável que a demanda por moradias gere consequências muito significativas ao meio urbano e, contudo, à sociedade que habita as cidades.

A partir disso surge o questionamento: como produzir moradias de qualidade que atendam aos requisitos de habitabilidade e estabeleçam relações próprias com os seus ocupantes, através de um reconhecimento cultural, de identidade e atendimento das necessidades específicas de cada família, em um contexto de baixa renda?

O universo dessa pesquisa se revela ao ser feita esta indagação. Não se pode negar que a tecnologia aplicada à produção em massa de habitações de baixo custo existe. No entanto, ela parece não estar sendo utilizada para melhorar qualitativamente as unidades de habitação, mas sim, para reduzir prazos aumentando a produção e, conseqüentemente, o lucro das empresas responsáveis pela execução dos empreendimentos habitacionais.

O que se vê em todo o contexto nacional são inúmeros exemplos de conjuntos habitacionais sem nenhuma identidade, numa mera repetição de projetos idênticos que pouco se atentam às questões básicas de conforto ambiental e de atendimento às necessidades das diferentes famílias contempladas pelas casas (CONCEIÇÃO, IMAI e URBANO, 2015; OLIVEIRA, 2012).

Bonduki (2009 apud OLIVEIRA, 2012) afirma que a massificação da produção e os aspectos financeiros aos quais os empreendimentos estão sujeitos predominaram sobre a qualidade dos mesmos, resultando na falta de atendimento às diferenças regionais e culturais, na despreocupação com a inserção urbana e os impactos ambientais e na uniformidade presente na maioria dos conjuntos habitacionais.

Tal afirmação faz refletir sobre a produção habitacional e o desenvolvimento das cidades que, no modelo atual, são submetidas a um processo de produção controlado, quase integralmente, pela iniciativa privada.

O resultado deste processo são unidades de habitação e projetos urbanos que atendem mais às demandas do mercado, do que às dos próprios moradores e cidadãos.

FIGURA 1: Conjunto habitacional subsidiado pelo PMCMV



FONTE: Acervo da autora, 2015

A imagem apresentada (Figura 1) ilustra este cenário de monotonia que se torna cada vez mais comum nas paisagens das cidades brasileiras. E esta realidade instiga a discussão acerca da apropriação da moradia pelos seus usuários. Se faz necessário discutir como se dá o sentimento de pertencimento e identidade, diante de um cenário onde o habitar tem suas necessidades generalizadas e, por fim, o homem se adapta à casa a qual sua família foi destinada a morar, e não o contrário.

“Os indivíduos se relacionam com suas habitações construindo diferentes hábitos de morar que são reflexos de como vivem. Enquanto palco das diferentes manifestações da vida humana com toda a sua diversidade social, cultural e econômica, a arquitetura passa a produzir sensações e significados, assumindo também uma dimensão simbólica, como resultado de um sentimento de pertencimento do indivíduo com seu lugar de moradia. Neste sentido o espaço arquitetônico se faz presente como abrigo de experiências, e dos hábitos inerentes às diversas formas de morar.” (BARROS, 2012)

Além dos hábitos de morar destacados pelo excerto acima, é necessário ressaltar o quanto a tipologia e a composição formal das moradias influenciam diretamente neste sentimento de identidade do indivíduo com relação à sua habitação.

Neste âmbito, destaca-se o papel dos telhados e coberturas das unidades de habitação como peças relevantes na composição formal, podendo ser considerados assim, elementos-chave no processo de personalização das casas, conferindo características próprias e identidade às moradias. Neste caso, conforme Barros (2012), “a casa passa a ser espelho da personalidade dos moradores e assim estes se reconhecem nela”.

Entretanto, a complexidade de se prover o grande número de moradias demandadas pelo atual déficit habitacional do país aliando a produção em quantidade à possibilidade de customização – que se mostra como um dos caminhos possíveis para conferir identidade às moradias – parece não fazer parte das discussões das políticas habitacionais vigentes, visto a produção atual de conjuntos habitacionais por todo o país.

No Brasil, o déficit habitacional vem sendo enfrentado recentemente pelo governo através do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) que, de 2009 até o momento, entregou aproximadamente 2.900.000 unidades habitacionais, segundo os

dados disponibilizados pela Caixa Econômica Federal (CEF) - agente financiador do programa¹.

“Maior programa de habitação popular do Brasil, o Minha Casa Minha Vida (MCMV) vai ultrapassar a marca de 3 milhões de casas e apartamentos entregues, em todo o Brasil, até o final de dezembro deste ano. A previsão é do vice-presidente de Habitação da Caixa Econômica Federal, Nelson Antonio de Souza. De acordo com o banco, o programa já entregou, até 30 de junho, 2.926.381 unidades em todas as regiões do país.” (AGÊNCIA CAIXA DE NOTÍCIAS, 2016).

Apesar destes dados, ainda há muito a ser feito para que seja possível diminuir drasticamente o déficit habitacional no país. Assim, a partir da necessidade imediata de produção de HIS e das condições desfavoráveis às quais esta produção está exposta atualmente, o Grupo de Pesquisa ZEMCH *Brazil* surge com o objetivo de inserir as premissas da Rede ZEMCH (*Zero Energy Mass Custom Home*) na produção das unidades habitacionais propostas com base nas restrições do PMCMV.

Entre estas restrições destacam-se: área mínima da unidade; projeto prevendo uma quantidade mínima de móveis por ambiente; área mínima de circulação interna; especificações acerca do sistema construtivo; tipos de cobertura passíveis de serem aplicados às UH; dimensionamento de reservatórios; entre outros pontos expostos no “Anexo A” deste trabalho.

A Rede Internacional ZEMCH², idealizada em 2010 e coordenada pelo Prof. Dr. Masa Noguchi³, é uma rede de pesquisas que visa gerar conhecimento voltado para a produção de habitações energeticamente eficientes e que sejam vinculadas à estratégia da customização em massa (CM). Para que este objetivo seja alcançado, a rede visa promover a colaboração contínua entre academia e indústria.

Dentro deste contexto, o Projeto ZEMCH *Brazil*, vinculado à rede internacional, tem como principal objetivo desenvolver diretrizes, métodos e ferramentas de apoio à gestão do processo colaborativo de projeto integrado de HIS capazes de incorporar as premissas de CM e eficiência energética (HIROTA, 2014).

¹ Dados obtidos através da Agência de Notícias Caixa, disponíveis em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=3943>> Acesso em: 16/11/2016.

² Website da rede: <http://www.zemch.org/>

³ Professor associado da Universidade de Melbourne (Austrália), vinculado ao curso de *Environmental Design*.

Para que este objetivo seja alcançado, um dos passos é o desenvolvimento de um projeto integrado de habitação destinada a famílias de baixa renda, com o uso de tecnologia de construção seca (Sistema *Light Wood Frame*), considerando os requisitos propostos pela Rede ZEMCH.

A fim de que o projeto fosse desenvolvido a partir das premissas do design colaborativo, o qual compreende um “processo em que os intervenientes na equipe de design compartilham uma perspectiva específica de suas áreas de atuação (...)” (HIROTA, 2014), foi composta uma equipe multidisciplinar voltada para o desenvolvimento do produto: a unidade de habitação.

A equipe é constituída por profissionais e pesquisadores de áreas específicas: analista das soluções pertinentes à estrutura da habitação; consultores de instalações hidráulicas e elétricas; pesquisadores com foco no processo de produção; consultores voltados às soluções de conforto térmico e eficiência energética; projetistas responsáveis pelas soluções arquitetônicas e integração dos inúmeros subsistemas que compõem a unidade de habitação; e pesquisadores com foco no estudo de implantação e vizinhança das habitações.

Assim, a partir de 2015, a pesquisadora passa a integrar este grupo com a função de auxiliar o processo de desenvolvimento do subsistema de cobertura ao qual se faz objeto deste trabalho, e observar e registrar o processo de projeto a fim de extrair as diretrizes projetuais almejadas pela pesquisa.

Entretanto, além das parcerias acadêmicas, que incluem consultorias com pesquisadores de áreas específicas não apenas da Universidade Estadual de Londrina, mas também de outras instituições, o projeto conta com a colaboração de uma empresa fornecedora de tecnologia construtiva e uma de recursos materiais, ambas com sede na cidade de Curitiba (PR), além da parceria com a Companhia de Habitação de Londrina (COHAB - LD).

Dentre estas, a empresa de tecnologia, que trabalha com o sistema pré-fabricado de LWF, se destaca no processo descrito no decorrer do trabalho permeando tanto as discussões iniciais quanto as verificações de viabilidade da proposta que será apresentada por esta pesquisa.

Para que a leitura subsequente seja compreendida com clareza, se faz necessário introduzir alguns conceitos que permeiam o trabalho e que serão

aprofundados no capítulo de revisão bibliográfica. São eles: customização em massa (CM) e arquitetura modular (inserida no conceito de modularidade).

Nessa abordagem inicial, assume-se como customização em massa a possibilidade de “fornecer algum grau de customização, buscando, ao mesmo tempo manter os padrões de eficiência, custo, e qualidade da produção em massa” (MACCarthy;BRABAZAN, 2003 apud ROCHA, 2011),

Para Rocha (2011), em geral, quando se tem como objetivo adotar a estratégia de CM, é necessário aplicar ao projeto a arquitetura modular. Para este termo, a literatura apresenta mais de uma definição, nas quais segundo Gerhenson *et al.* (2004 apud ROCHA, 2011) são identificados dois elementos em comum:

- Um produto modular é feito de módulos. Quanto mais os componentes de um produto encaixarem-se a estes módulos, mais modular o produto está;
- A independência e conexão entre os módulos deve permitir que estes sejam intercambiáveis.

Assim, os componentes do sistema proposto neste trabalho foram projetados a fim de atender as possibilidades de intercambialidade entre as diferentes propostas de customização desenvolvidas para o subsistema de cobertura.

Algumas decisões projetuais (que serão apresentadas posteriormente) foram tomadas pautadas nos estudos feitos pelo grupo vinculado à Universidade Estadual de Londrina. No entanto, o que se observou foi que, com relação aos subsistemas de cobertura, pouco avanço vem sendo feito na construção civil quando se fala em produção em massa pautada na pré-fabricação e redução do tempo de montagem dos elementos no canteiro. A partir disso, foi possível delimitar o universo ao qual se insere esta pesquisa.

1.2 Problema de Pesquisa

Ao delimitar o contexto desta pesquisa, assume-se que a temática aqui abordada são os subsistemas de cobertura para HIS com foco na aplicação da estratégia de CM através da pré-fabricação dos componentes.

Entende-se que para impulsionar a produtividade de um sistema que visa reduzir o problema da habitação no país, é necessário introduzir novos métodos e técnicas de produção pautados na industrialização (BRUNA, 1972).

O trabalho parte do pressuposto de que a pré-fabricação integral do subsistema de cobertura reduz custos e prazos e favorece a aplicação da CM, gerando como recorte da pesquisa o estudo de como inserir essa estratégia, especificamente aos subsistemas de cobertura das habitações, partindo de um modelo de pré-fabricação e tecnologia existente e atualmente utilizado pela empresa parceira no desenvolvimento da pesquisa.

Neste modelo, o processo de produção já prevê a pré-fabricação das tesouras em madeira que compõem a estrutura da cobertura e a montagem de todo o madeiramento do telhado em solo (no canteiro). Após esta etapa, a estrutura é içada à posição de fixação de acordo com os painéis pré-fabricados em madeira já instalados nas faces de fechamento dos frontões da cobertura, caracterizando um processo de construção rápido e industrializado.

Entretanto, as etapas subsequentes de colocação das telhas e acabamentos caminham na direção contrária a estas premissas. A utilização de telhas cerâmicas que demandam um processo longo de instalação manual, a ausência do projeto de um sistema modulado de componentes que permitam a aplicação do modelo de CM, e a execução artesanal de outros subsistemas da cobertura, como forros de beiras, calhas e rufos, caracterizam as bases do problema abordado nesta pesquisa.

Outro pressuposto identificado no decorrer das leituras pertinentes ao tema aqui abordado, diz respeito à adoção da estratégia de modularidade dos componentes do subsistema, e sua relação direta com a pré-fabricação destes fora do canteiro de obras.

A literatura indica que “um projeto modular está sempre associado a altos níveis de produção fora do canteiro” e que “(...) quanto maior o módulo (adotado no projeto), maior é a probabilidade de que o processo resulte na aplicação de métodos de fabricação dos componentes fora do canteiro de obras” (GOSLING, PERO, *et al.*, 2016, p. 2).

Assimilados os pressupostos apresentados, é possível compreender como problema aquilo que se coloca como um desafio, um obstáculo, uma questão estagnada que necessita de esforços para que se consigam avanços na área do

conhecimento. Ao iniciar este trabalho, estas foram as características identificadas no contexto da pesquisa.

“A forma de se executar telhados no Brasil segue costumes que permanecem inalterados por muito tempo. A especificação para construção de coberturas usando tesouras são as mesmas utilizadas no início do século XX, onde, dentre outras diferenças, as casas não possuíam laje e as tesouras não podiam ser apoiadas, a não ser nas extremidades ou onde houvesse parede.” (FIORELLI, 2009, p. 21).

Tanto a literatura quanto a prática nos canteiros indica que existe uma falta de industrialização e avanço tecnológico nos subsistemas de cobertura utilizados em nossos edifícios. Menor ainda, e quase que inexistente, é a possibilidade de customização dos sistemas pré-fabricados disponíveis no mercado.

Assim, trata-se de um fenômeno contemporâneo e complexo que, neste contexto, tem ligação direta com as alternativas ao problema do déficit habitacional brasileiro.

O que se aborda então é a seguinte questão de pesquisa: como aplicar a estratégia de customização em massa ao projeto de subsistemas de cobertura pré-fabricados?

1.3 Justificativa da Pesquisa

“Inúmeras pesquisas tem lamentado a falta de progresso na adoção de novas formas de trabalho e métodos de construção mais modernos” (O'BRIAN *et al.*, 2009; PAN *et al.*, 2007 apud GOSLING *et al.*, 2016, p. 1).

Pan *et al.* (2007) e Schoenwitz *et al.* (2012 apud GOSLING *et al.*, 2016) sugerem que estas questões podem ser enfrentadas através de abordagens que favoreçam a modularidade e a pré-fabricação dos componentes da construção civil, promovendo então, a industrialização do sistema.

Entretanto, os autores afirmam que a falta de orientação prática é uma das principais barreiras desta abordagem e do avanço na utilização de métodos de construção mais modernos.

Tillmann (2008) e Nogueira (2016) desenvolveram pesquisas acerca do tema abordando, respectivamente, propostas de diretrizes para a adoção da CM na

construção habitacional para baixa renda, e propostas de diretrizes para a redução de perdas na produção em massa de painéis de vedação pré-fabricados em sistemas de construção a seco.

Apesar de apresentarem conclusões muito pertinentes ao tema abordado nesta pesquisa, é possível analisar que o aprofundamento das discussões e adoção da estratégia de CM voltada especificamente para cada subsistema da unidade habitacional se faz necessário.

Tillmann (2008, p. 149) sugere - entre outras recomendações - que, apesar das diretrizes gerais para a concepção de projetos de HIS inseridos na estratégia de CM, sejam “investigadas técnicas construtivas de baixo custo que permitam explicitamente a concepção de um produto com arquitetura modular” e “estudadas formas de desenvolver plataformas e famílias de produtos para a construção habitacional, aliadas a um serviço de customização”.

Nogueira (2016, p. 135) destaca a importância de pesquisas focadas na “proposta de diretrizes de modularização de outros subsistemas (piso, cobertura, instalações) de elementos pré-fabricados em sistemas construtivos industrializados”.

Entre questões apresentadas também por outras leituras, os pontos colocados acima indicam a lacuna de conhecimento a ser focada por este trabalho.

É possível afirmar que já existe certa preocupação com a industrialização dos componentes referentes aos telhados das HIS. Citando um exemplo prático e próximo a realidade a qual a pesquisa está inserida, a empresa parceira disponibiliza a modulação das coberturas, que são pré-fabricadas e montadas no canteiro.

No entanto, a pré-fabricação abrange apenas algumas etapas estruturais do sistema, e outras, que demandam muito tempo da obra, continuam sendo finalizadas *in loco*, indo contra os princípios de redução de prazos propostos pela industrialização. E isto, é o que se observa na maioria dos casos de construções pré-fabricadas disponíveis no cenário nacional.

“Casas de customização em massa devem, teoricamente, alcançar um alto nível de padronização (ou industrialização) de todos os componentes que o cliente pode selecionar na customização de sua nova residência (...)” (NOGUCHI, 2003).

Além da pré-fabricação, as opções de customização são inexistentes no modelo atual, o que deixa a desejar no atendimento às necessidades particulares de cada cliente. Acredita-se que através desta pesquisa, seja possível avançar no campo de uma tecnologia construtiva onde a pré-fabricação da maioria das etapas do subsistema de cobertura seja viável (através da modulação dos componentes), facilitando assim, a aplicação dos princípios de CM.

1.4 Objetivos da Pesquisa

1.4.1 Objetivo Geral

A partir das questões colocadas até aqui, definiu-se como objetivo geral desta pesquisa: propor diretrizes para o projeto de subsistemas de cobertura pré-fabricados que possibilitem a customização em massa de unidades de habitação unifamiliares.

1.4.2 Objetivos Específicos

Outros fatores parecem ser pontos de investigação relevantes para atingir o objetivo principal. Eles são expostos como objetivos específicos no desenvolvimento deste estudo:

- Compreender as discussões acerca do tipo de arquitetura do produto e da aplicação da estratégia de modularidade;
- Contribuir com a discussão acerca da valorização do projeto no processo de combate ao déficit habitacional no país;
- Contribuir com a discussão sobre metodologia de projeto, através das abordagens do design colaborativo e do método DSR.

1.5 Método

Para o desenvolvimento desta pesquisa, a estratégia utilizada foi o *Design Science Research* (DSR) ou, *Constructive Research*, no qual através da aproximação

a uma empresa de tecnologia parceira, foi desenvolvido um estudo destinado à resolução prática de um problema real.

Lukka (2000) define a estratégia como um procedimento de pesquisa para a produção de construções⁴ inovadoras, destinadas a resolver os problemas enfrentados no mundo real e, por esse meio, fazer uma contribuição à teoria da disciplina na qual ela é aplicada. O autor ainda destaca alguns pontos importantes na utilização deste método:

- Foco em problemas relevantes do mundo real e que requerem resolução na prática;
- Produção de um artefato inovador como solução para o problema inicial;
- Execução⁵ do artefato desenvolvido, realizando um teste prático de sua aplicabilidade;
- Intenso envolvimento e cooperação entre pesquisador e demais intervenientes, compondo uma equipe, onde se espera que a aprendizagem experimental aconteça;
- Construção da pesquisa a partir de um conhecimento teórico prévio, prestando especial atenção para a retroalimentação da teoria existente com os resultados empíricos.

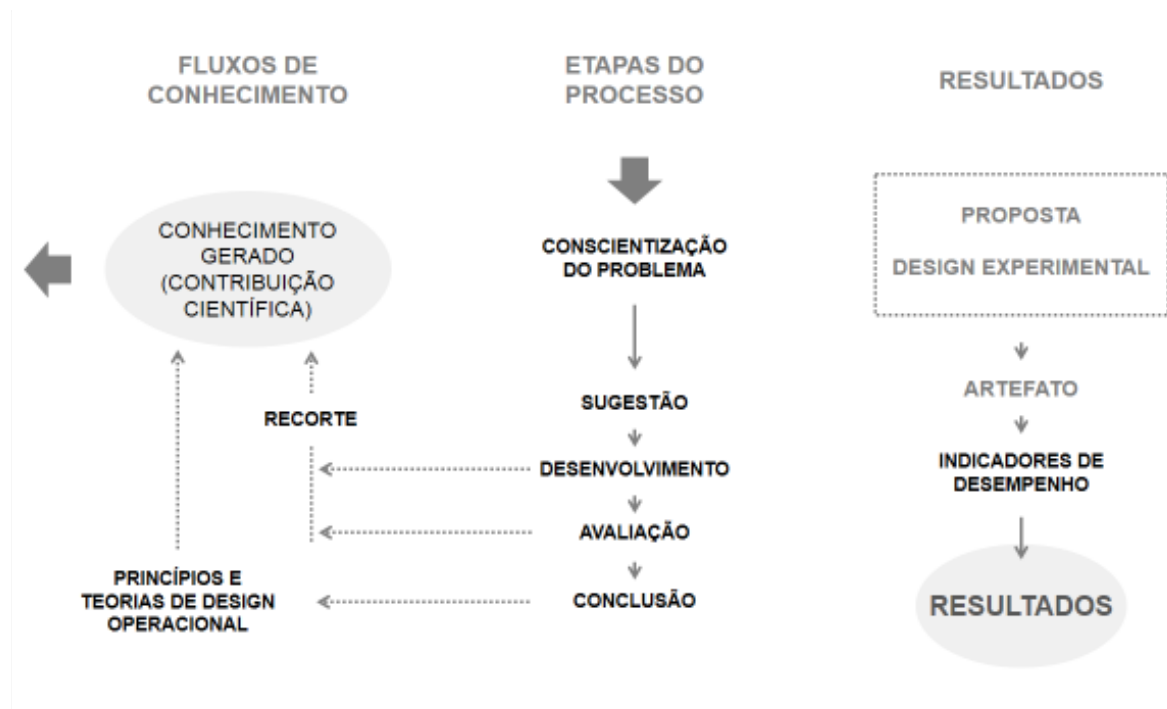
No decorrer do trabalho o objetivo foi seguir as premissas colocadas pelo método de pesquisa com a finalidade de gerar soluções para o problema da falta de industrialização e possibilidade de CM dos subsistemas de cobertura das HIS, indicando um caminho para a continuação do desenvolvimento do projeto a partir dos resultados obtidos por este estudo.

Vaishnavi e Kuechler (2004) sistematizaram em um fluxograma (Figura 2) as etapas para o desenvolvimento claro de um trabalho em *Design Science Research* e, com base neste esquema, foram pautadas as etapas de pesquisa do trabalho.

⁴ Todos os artefatos humanos - tais como modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais e projetos de sistemas de informação - são construções (LUKKA, 2000).

⁵ Para os fins desta pesquisa entende-se como execução o desenvolvimento de protótipos, não necessariamente em escala real, da proposta abordada pelo estudo de caso. Entretanto, por se tratar de um trabalho onde o artefato a ser proposto são as diretrizes, este não será submetido a um teste prático, e sim, a uma verificação de viabilidade.

FIGURA 2: Etapas do método de pesquisa *Design Science Research*



FONTE: Vaishnavi e Kuechler, 2004 (Tradução e organização da autora)

1.6 Delineamento do Processo de Pesquisa

Neste contexto, o artefato⁶ a ser desenvolvido foram as diretrizes para a implantação da estratégia da CM aos subsistemas de cobertura das HIS pré-fabricadas. O design experimental foi desenvolvido através da aproximação da empresa parceira, formando uma equipe de cooperação para o trabalho da pesquisadora.

A Figura 3 ilustra o delineamento do processo de pesquisa onde, partindo da questão inicial e com o apoio contínuo de uma revisão bibliográfica, fez-se uma sistematização do material existente (fase 1), que deu suporte para o desenvolvimento de estudos de modulação e possibilidades de customização em massa do subsistema de cobertura (fase 2).

⁶ De acordo com a literatura, compreende-se que os artefatos fazem referência àquilo que Lukka (2000) denomina como "construções", e assumem o mesmo significado colocado para este termo, abrangendo modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais e projetos de sistemas de informação, assim como as diretrizes propostas como objetivo desta pesquisa.

Esse processo teve como estratégia metodológica a prototipagem virtual, que foi uma ferramenta relevante no diálogo com a empresa de tecnologia parceira e com o grupo envolvido no processo de design colaborativo. Estes dois grupos compuseram o *Painel de Especialistas*, método aplicado a fim de verificar a validade tanto das decisões de projeto, quanto das diretrizes propostas (fase 3).

Por fim, os resultados (parte 4) surgem da análise e discussão de dados coletados nas três etapas anteriores, e culminam no objetivo geral desta pesquisa.

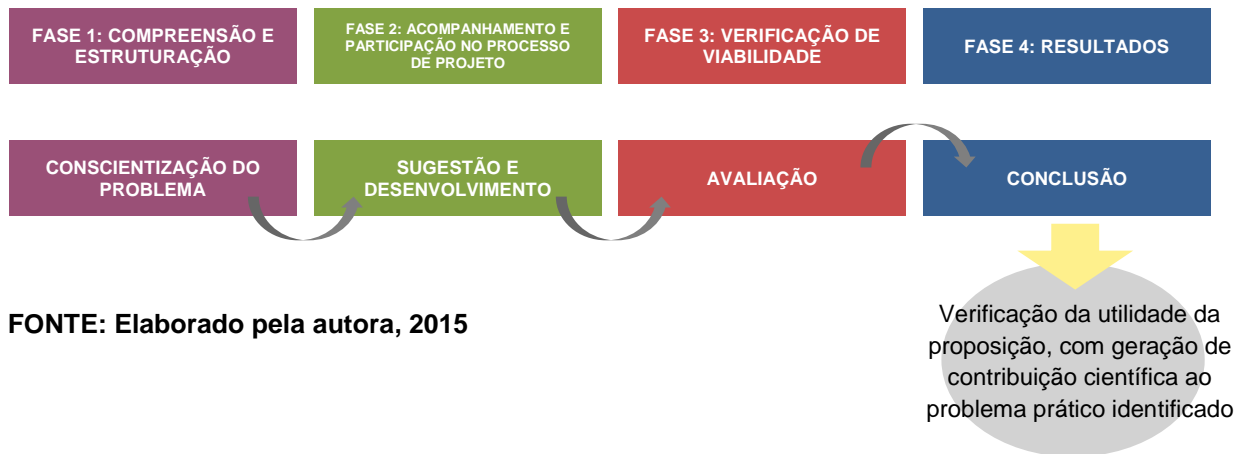
FIGURA 3: Delineamento do processo de pesquisa



FONTE: Elaborado pela autora, 2015

Assim, podem-se associar as fases do delineamento da pesquisa, com aquelas destacadas no desenvolvimento de trabalhos em *Design Science Research*.

FIGURA 4: Correspondência com as etapas do DSR



1.7 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos. Este primeiro apresentou uma abordagem geral do contexto ao qual se insere a pesquisa, expondo ao leitor as questões e objetivos almejados por este estudo. A partir disso, foi apresentado o método adotado no desenvolvimento do trabalho e o delineamento do processo de pesquisa.

O segundo capítulo contém a revisão de literatura dos conceitos abordados no decorrer do texto: industrialização e pré-fabricação, customização em massa e modularidade.

O capítulo três apresenta as etapas do método de pesquisa utilizado (*Design Science Research*). São definidas as estratégias de estudo de caso, prototipagem virtual e painel de especialistas, e apresentadas as suas aplicações no processo de pesquisa.

O quarto capítulo se inicia com a apresentação da tecnologia utilizada pela empresa parceira na pré-fabricação dos subsistemas de cobertura e, assim, apresentam-se as decisões de projeto tomadas para possibilitar a CM das unidades de habitação.

No capítulo cinco é descrita a verificação de viabilidade à qual as decisões de projeto do estudo de caso e as diretrizes propostas foram submetidas. Esta verificação é apresentada em três etapas: a primeira, com foco na modularidade do produto; a segunda, realizada a partir do método do *painel de especialistas*, com base em

reuniões do grupo de pesquisa ZEMCH *Brazil*; e a terceira, a partir do mesmo método, baseada no retorno dado pela empresa parceira após a análise do projeto e das diretrizes propostas.

O sexto capítulo expõe os resultados da pesquisa, apresentando a proposta de diretrizes projetuais aqui almejada, e justifica a recomendação de cada um dos pontos apresentados.

Por fim, o capítulo sete apresenta as conclusões da pesquisa e sugere investigações para estudos futuros acerca do tema aqui abordado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são conceituados os termos mais relevantes abordados na pesquisa, para que se possa ter uma boa compreensão do texto no decorrer da leitura. A partir das definições pautadas na literatura, será possível compreender os conceitos adotados pela autora com relação à industrialização e pré-fabricação na construção civil, customização em massa e modularidade.

2.1 Industrialização e Pré-fabricação

Gerard Blachère (1978) conceitua, em termos gerais, industrialização como sendo o resultado da soma entre racionalização e mecanização. O autor afirma que “a industrialização é a utilização de tecnologias que substituem a habilidade do artesão pelo uso da máquina” (BLACHÉRE, 1978, p. 9). Em outra definição, Bruna (1972) ressalta a industrialização como sendo uma estratégia onde a produção em série, pautada pela padronização dos elementos, pede a mecanização dos meios de produção para que seja possível atender a uma alta demanda aliada à economia de recursos. O excerto abaixo complementa estas definições a partir de Fernandes (2009), que apresenta uma visão contemporânea do conceito.

“O foco da industrialização é produzir um objeto sem mão-de-obra artesanal, com máquinas utilizadas por operários especializados diminuindo assim o tempo despendido em cada etapa construtiva, tendo como resultados: a redução dos custos e dos prazos - economia reflexa; aumento da produtividade e qualidade do produto final.” (FERNANDES, 2009, p. 35).

Analisando a conceituação dos três autores já citados, juntamente com o conhecimento adquirido através de outras leituras feitas no decorrer deste trabalho, o termo industrialização é assumido como um tipo de processo histórico e social no qual a indústria alcança um nível hierárquico elevado na economia, a partir da substituição de instrumentos, técnicas e processos de produção, resultando em um consequente aumento da produtividade.

Já a estratégia de pré-fabricação, é consequência e necessidade de um modelo de produção industrializado. Dessa forma, o título deste subcapítulo se justifica ao

abordar os termos em um mesmo tópico, pois se fazem indissociáveis, tanto na teoria, quanto na prática.

Esta afirmação fica clara quando se entende a pré-fabricação na construção civil como a “fabricação dos componentes antes da execução, no próprio canteiro ou fora, e que em uma fábrica a habilidade do artesão é substituída pelo uso da máquina” (MONTENEGRO FILHO, 2007, p. 15). Assim, é possível perceber que esta última frase, que remete à definição de industrialização de Blachère, reforça o caráter indissociável dos dois termos.

“Pré-fabricação não é revolucionário, é evolucionário” (FONYAT, 2013, p. 85). Fonyat faz esta afirmação, justificando o fato de que os avanços na tecnologia da construção ocorreram através da prática, a partir de exemplos bem ou malsucedidos. A autora afirma que a partir do século XX, com a consolidação de uma sociedade industrializada, os arquitetos trabalharam para implantar a cultura industrial associada à flexibilidade em seus projetos.

“O pensamento arquitetônico moderno preocupava-se com a possibilidade de criar formas que não fossem pastiches de estilos passados, mas expressões genuínas do presente, e a industrialização foi considerada o caminho ideal para racionalizar o processo de construção, obter economias de escala e trazer boa arquitetura para as massas.” (FONYAT, 2013, p. 13)

O excerto de Fonyat ilustra exatamente o porquê da abordagem desses termos no decorrer do trabalho. A industrialização e a pré-fabricação, foram (e são) vistas como uma das alternativas ao problema da habitação.

Isto coincide com o fato de que, para diminuir o hiato entre o trabalhador e o acesso à moradia, é necessário introduzir novas técnicas construtivas que aumentem a produtividade do sistema, visando também o controle de qualidade tanto na produção quanto no produto final. O que é possível através da industrialização (BRUNA, 1972, p. 111) e, conseqüentemente, da inserção de elementos pré-fabricados ao processo.

Ao sistematizar as definições até aqui apresentadas, surgem outros termos relevantes à discussão em curso, como por exemplo: racionalização, padronização, técnica (construtiva) e sistema. Estes permeiam o trabalho e por isso se faz necessário o seu entendimento.

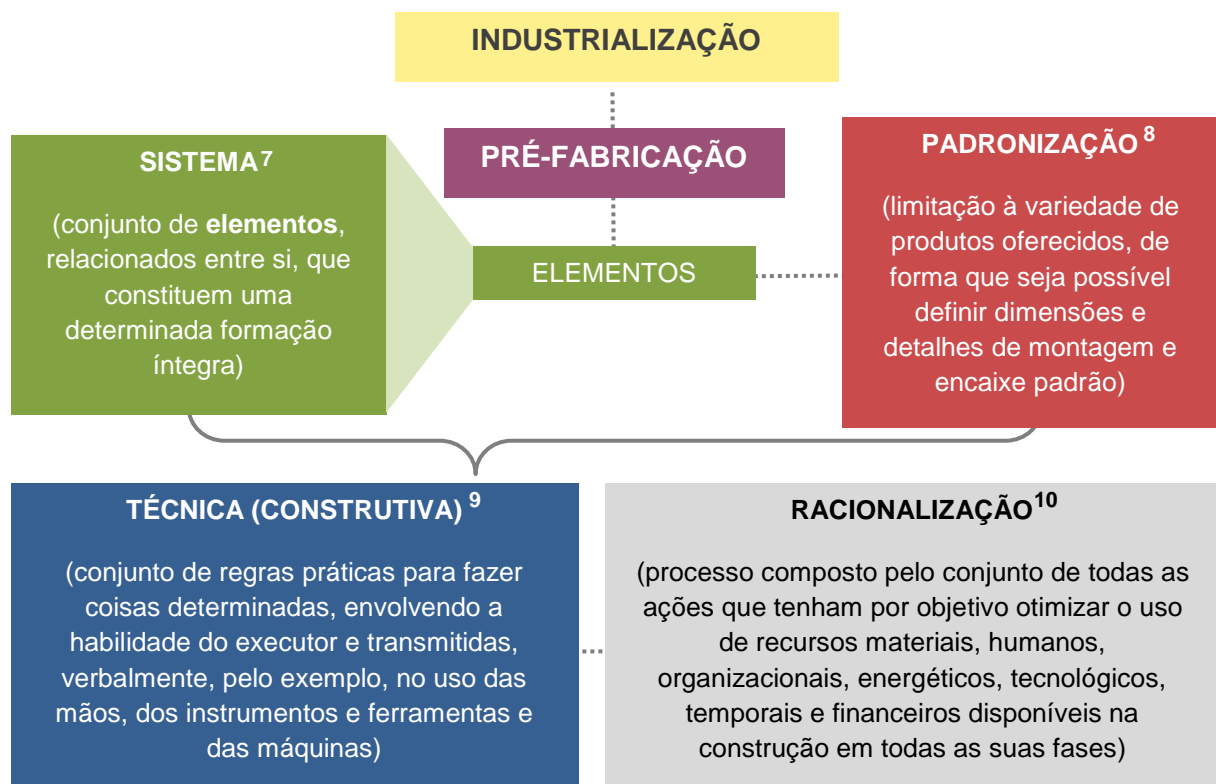
No entanto, como aprofundar sua discussão extrapolaria os objetivos desta pesquisa, eles são apresentados na Figura 5 em forma de um esquema de conceitos proposto pela autora com base na literatura.

A ideia principal apresentada no esquema é de que a industrialização está diretamente vinculada à pré-fabricação de elementos padronizados que são parte integrante de um sistema.

Este sistema, seguindo as condicionantes de padronização definidas previamente, permite a utilização de novas técnicas construtivas que sejam favoráveis à racionalização da construção civil.

Observando esta lógica, é evidente que o uso da pré-fabricação precisa ser previsto desde o início do projeto arquitetônico e compatibilizado com os diversos sistemas que compõem a construção (FONYAT, 2013) para que se possa chegar a um resultado de qualidade pautado na arquitetura da industrialização.

FIGURA 5: Esquema de conceitos da industrialização e suas relações



FONTE: Elaborado pela autora, 2016 (baseado em Cerávolo, 2007)

⁷ Definição fornecida pelo dicionário Filosófico – Iudin e Rosental (apud CERÁVOLO, 2007, p. 7).

⁸ SMITH, Ryan E. Prefab architecture: a guide to modular design and construction. (2010, p. 11).

⁹ GAMA, Ruy. (1986). Tecnologia e o Trabalho na História. (apud CERÁVOLO, 2007, p. 8).

¹⁰ SABBATINI, F. H. Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

Ao sintetizar estes conceitos, faz-se necessário ressaltar que além do aumento na produtividade, seja em quantidade ou em racionalização do tempo de produção, a pré-fabricação e a industrialização são ferramentas de controle de qualidade e redução de incertezas.

Trabalhar com componentes pré-fabricados implica em um aumento na precisão, como por exemplo, no caso das interfaces de ligação (onde esta característica é imprescindível), e numa redução na perda de recursos materiais.

Dessa forma, pode-se afirmar que processos construtivos aliados aos modelos de industrialização permitem agregar valor ao produto final através, não só, do aumento na produtividade, mas também da provisão de mais qualidade tanto no decorrer do processo de produção, quanto no objeto resultante do mesmo. Neste contexto, a unidade de habitação.

2.2 Customização em Massa

O termo customização em massa é apresentado por Stanley Davis (1989), de forma muito apropriada, como um exemplo claro de expressão paradoxal. Ele foi cunhado pelo próprio autor no ano de 1987, em seu livro intitulado *Future Perfect*.

Para que se possa ter maior compreensão do termo, é importante ressaltar os aspectos etimológicos da palavra customização. Ela tem origem na tradução de *customization* (do inglês), e sua forma verbal – customizar – remete ao ato de adaptar (um produto ou serviço) às preferências do usuário.¹¹

A customização em massa é uma estratégia utilizada para oferecer bens e serviços produzidos em série, que possibilitem níveis de personalização através de processos mais flexíveis, aliando custos competitivos e velocidade no processo de produção (DA SILVEIRA, BORENSTEIN e FOGLIATTO, 2001; DAVIS, 1987; GILMORE e PINE, 1997).

Para Davis, lidar com este oxímoro significava propor uma mudança na forma como as companhias se organizavam. A maneira de unir as estratégias de customização e produção em massa, só poderia ser eficaz ao se lidar com a simultaneidade de negócios opostos (DAVIS, 1989, p. 16).

¹¹ Definição fornecida pelo Dicionário Priberam da Língua Portuguesa.

Ao explicar o conceito de CM, o autor trabalha com as definições de partes e todo. Parte, fazendo referência à customização. E todo, com relação à produção em massa, onde velocidade e especificidade se tornam as bases para a implantação da nova estratégia de produção (DAVIS, 1989, p. 17).

O foco nas necessidades diversas do cliente é outra premissa da CM. Mas, como os clientes e suas necessidades crescem cada vez mais, a abordagem dessa nova estratégia tornou-se uma maneira viável de reduzir custos e complexidade desnecessários para as operações na produção (GILMORE e PINE, 1997).

Para justificar o desenvolvimento e a aplicação da estratégia de CM, Da Silveira *et al.* (2001, p. 2) elencam três pontos relevantes:

1. Novos modos de produção flexíveis e tecnologias da informação permitem aos sistemas de produção entregar maior variedade a um custo mais baixo;
2. Há um aumento na demanda pela variedade dos produtos e customização;
3. O encurtamento dos ciclos de vida dos produtos e a expansão da concorrência industrial levaram ao colapso de muitas empresas de produção em massa, aumentando a necessidade de estratégias de produção focadas nos clientes individuais.

A partir da identificação deste cenário favorável à implantação da nova estratégia, alguns autores começam a classificar a CM em diferentes níveis. O Quadro 1 ilustra os níveis de CM segundo Gilmore e Pine (1997); Lampel e Mintzberg (1996); Pine II (1994); Spira (1996) e Da Silveira *et al.* (2001). Estes últimos são os responsáveis pela organização do conteúdo, a partir da apresentação da sua própria compreensão em relação aos níveis de CM.

QUADRO 1: Níveis de Customização em Massa

Níveis de CM (DA SILVEIRA <i>et al.</i> , 2001)	Abordagens da CM (GILMORE e PINE, 1997)	Estratégias de CM (LAMPEL e MINTZBERG, 1996)	Estágios de CM (PINE, 1994)	Tipos de customização (SPIRA, 1996)
8. Design	Colaborativa; transparente	Customização pura		
7. Fabricação		Customização sob medida		
6. Montagem		Customização padronizada	Produção modular	Montagem de componentes padrão em configurações exclusivas
5. Trabalhos adicionais por encomenda			Customização na hora da entrega	Realização de trabalhos adicionais por encomenda
4. Serviços adicionais			Serviços customizados; fornecendo resposta rápida	Prestação de serviços adicionais
3. Pacote e distribuição	Cosmética	Padronização segmentada		Embalagens customizadas
2. Uso	Adaptativa		Customização incorporada	
1. Padronização		Padronização pura		

FONTE: Da Silveira *et al.*, 2001 (traduzido e adaptado pela autora)

A escala de cores do Quadro 1, indica uma gradação no nível de CM, com indicação de produtos ou serviços mais padronizados (cor vermelha), até os mais customizáveis (cor verde).

Para esta pesquisa, o nível de CM adotado no desenvolvimento do projeto foi o nível 6, conforme o quadro. Ou seja, customização referente à etapa de montagem (DA SILVEIRA, BORENSTEIN e FOGLIATTO, 2001), também abordada como customização padronizada (LAMPEL e MINTZBERG, 1996).

Este nível de CM pode ser entendido como aquele relacionado à produção modular (PINE II, 1994), onde componentes padrão permitem diferentes soluções através de montagens em configurações exclusivas (SPIRA, 1996).

Além dos níveis de CM, para que a implantação da estratégia de produção obtenha sucesso, é necessário se atentar para alguns pontos importantes: (1) deve existir a demanda do cliente por variedade e customização; (2) as condições de mercado devem ser apropriadas; (3) a cadeia de mercado deve estar pronta; (4) a tecnologia deve estar disponível; (5) os produtos devem ser customizáveis; (6) o

conhecimento deve ser compartilhado (DA SILVEIRA, BORENSTEIN e FOGLIATTO, 2001, p. 4).

Durante o desenvolvimento da pesquisa e, conseqüentemente, do projeto da unidade de habitação é possível identificar e relacionar tais pontos ao contexto do trabalho desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa ZEMCH *Brazil*. Primeiramente, Aragão (2014) elenca hierarquicamente os requisitos de projeto obtidos através das APOs aplicadas em conjuntos de HIS na fase inicial da pesquisa (1).

Ao relacionar os pontos (2) e (3) indicados acima por Da Silveira *et al.* (2014), verifica-se que a pesquisa ainda não realizou um estudo das condições de mercado e nem das condições da cadeia de suprimentos, visto que priorizou, inicialmente, a investigação de uma possibilidade real de aplicação da CM ao projeto. Entretanto, são questões que permeiam as discussões do grupo e devem ser aprofundadas em etapas futuras. Assim, estes fatores não serão abordados especificamente neste trabalho, mas serão um desdobramento futuro da pesquisa paralela desenvolvida pelo grupo e deverão complementar os resultados obtidos até então.

Com relação à disponibilidade de tecnologia (4), este recurso faz-se possível através da colaboração e do diálogo estabelecidos com a empresa parceira, a fim de apreender os avanços e possibilidades do sistema construtivo e verificar a viabilidade das propostas estabelecidas. Dessa forma, aliando o conhecimento técnico às premissas de modularidade e industrialização a proposta de produtos customizáveis é facilitada (5).

Finalizando o artigo no qual fazem uma revisão bibliográfica sobre a CM, Da Silveira *et al.* (2001, p. 7) ressaltam que “a eficiência na transferência de informações dos clientes para a fábrica determina amplamente o sucesso de um programa de CM”, e citam os quatro passos necessários na comunicação cliente-fabricante: (1) definir um catálogo de opções para ser oferecido aos clientes; (2) coletar e armazenar as informações referentes às escolhas dos clientes; (3) transferir os dados da venda para a fábrica e (4) transformar as escolhas do cliente em ferramentas de design do produto e instruções de fabricação.

É importante ressaltar que, para os fins desta pesquisa, foi abordado inicialmente o passo (1), onde foram definidas as opções de customização a serem oferecidas aos clientes, enquanto as etapas subsequentes devem ser abordadas em trabalhos futuros paralelos à pesquisa do Projeto ZEMCH *Brazil*.

O Quadro 2 faz um comparativo dos fatores relacionados à CM em diferentes setores de produção. É importante ressaltar que ao trabalhar com CM na indústria da construção civil, o catálogo de opções a ser oferecido ao cliente é pequeno (quando relacionado a outras áreas da indústria).

No entanto, isso não significa uma padronização extrema, apenas uma limitação na qual é possível trabalhar de forma criativa e inteligente com as opções disponíveis, a partir de projetos que favoreçam a modularidade dos componentes constituintes do sistema.

QUADRO 2: Exemplos de CM e suas principais características no manuseio de informações

PRODUTO	TRAD. DAS ESCOLHAS DO CLIENTE	TRANSF. DOS DADOS	ARMAZ. DOS DADOS	OBTENÇÃO DAS INFORM.	CATÁLOGO DE OPÇÕES
Sist. de cabos de controle	-	-	-	-	amplo
Motores a diesel	-	-	-	-	amplo
Impressoras	previsão	-	-	-	reduzido
Bicicletas	CAD/CAM	FAX	bloco de pedidos	vendedor	amplo
Sist. de Refrigeração	CAD	FAX	interface do computador	rep. vendas	reduzido
Computadores	previsão	computador	interface do computador	rep. vendas	reduzido
Controles de iluminação	CAD/CAM	computador	interface do computador	rep. vendas	amplo
Seguros	-	-	-	rep. vendas	reduzido
Geradores de energia	CAD/CAM	-	-	-	reduzido
Casas	CAD/CAM	computador	interface do computador	rep. vendas	reduzido
Óculos	-	-	interface do computador	vendedor/ computador	amplo
Sapatos	CAD/CAM	computador	interface do computador	vendedor/ computador	médio
Pagers	CAD/CAM	-	-	-	amplo

FONTE: Da Silveira et al., 2001 (traduzido e adaptado pela autora)

Hoje, alguns exemplos apresentados no quadro acima já evoluíram quanto à maneira de se obter, traduzir, transformar e armazenar as informações necessárias para a produção. No entanto, o objetivo aqui presente, é avaliar o leque de opções disponíveis à indústria da construção civil e compará-lo aos outros nichos do mercado.

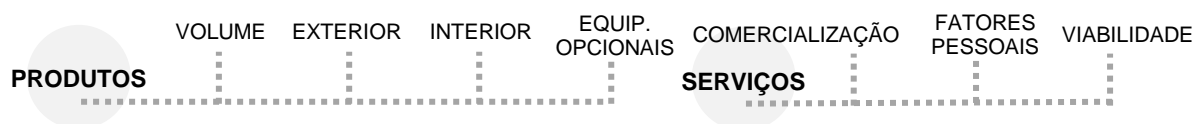
Neste âmbito, o material apresentado se faz válido e indica um possível caminho para se alcançar o objetivo desta pesquisa: a geração de diretrizes para o projeto de subsistemas de cobertura modulares com aplicação de customização em massa em habitações de interesse social.

2.2.1 Customização em Massa aplicada ao projeto de HIS

Segundo Di Sivo e Angelucci (2012), a primeira tentativa de transferir os conceitos de CM especialmente para os projetos de habitação de interesse social são atribuídos a Masa Noguchi, coordenador da Rede Internacional ZEMCH.

Para Noguchi (2003), a customização em massa é a combinação de produtos e serviços, onde sua inter-relação não é mutuamente exclusiva. Além disso, ele ilustra estes dois fatores subdividindo-os em outros elementos:

FIGURA 6: Subcomponentes dos conceitos de produto e serviço



FONTE: Elaborado pela autora com base em Noguchi (2003)

Estes dois termos fazem referência às variáveis do processo projetual que dependem, indubitavelmente, do cliente e do local onde o edifício será implantado. Dessa forma, pode-se afirmar que a aplicação da customização em massa implica no atendimento às necessidades específicas de cada usuário, e na viabilidade de execução de cada projeto, o que, mesmo num sistema de produção em série, resulta em edificações que partem de uma base comum, entretanto, permitindo que cada uma assumam particularidades previamente definidas.

Contudo, o autor reafirma o fato de que a industrialização e a pré-fabricação são estratégias essenciais para o sucesso de um empreendimento que aplique as premissas da CM.

“Casas de customização em massa devem, teoricamente, alcançar um alto nível de padronização (ou industrialização) de todos os componentes que o cliente pode selecionar na customização de sua nova casa mas, as opções de componentes padrão, produzidos em massa, paradoxalmente aumentam o nível de customização da residência.” (NOGUCHI, 2003).

Com o conceito de massificação já bem consolidado, na metade do século XX começa-se a buscar a individualidade, e dessa forma a indústria propõe maneiras de unir a produção em série às preferências individuais de cada consumidor.

Para que fosse viável a aplicação da estratégia da CM à indústria da construção civil, foi necessário desenvolver técnicas que gerassem uma linha de montagem eficiente para o trabalho no canteiro de obras e, então, o sistema de pré-fabricação dos componentes de construção foi impulsionado.

“As primeiras reflexões sobre o planejamento do processo de produção em massa e personalização de casas, podem ser vistas na experiência do período moderno e na fase do segundo pós-guerra. A Casa Dom-ino, de Le Corbusier (1914, estrutura pré-moldada), The Usonian Houses de Wright (1934-1959, componentes modulares de aglutinação), Casa de Fuller Dymaxion (1940, construção no sistema de produção seriada), Package House de Gropius e Wachsmann (1941-1952, o sistema de construção a seco pré-moldado) e, em alguns aspectos, até mesmo os experimentos californianos do Case Study Houses (1945-1966, com o uso de produtos industrializados) são todas experiências lidando, pela primeira vez, com o problema da produção de habitações a baixo custo e também, antecipando questões relativas à adaptabilidade da habitação.” (DI SIVO e ANGELUCCI, 2012, p. 133)

Apesar da utilização da pré-fabricação dos componentes, algumas experiências residenciais do século XX que, tecnicamente estavam totalmente preparadas para o mercado, não ofereciam a possibilidade de manutenção e flexibilidade ao longo do ciclo de vida da casa (FONYAT, 2013), e este fator está intimamente ligado ao insucesso de algumas tentativas.

Nesse caso, a customização não vem apenas para suprir a necessidade de individualização ou de preferências estéticas, mas sim como forma de acompanhar as mudanças que ocorrem ao longo do tempo no programa de necessidades de cada família ou de se adaptar, desde a entrega do imóvel, às diferentes características de cada grupo de moradores, como por exemplo, o número de pessoas que ocupará a

unidade ou a necessidade, ou não, de possuir uma garagem coberta anexa à residência.

O receio de que a industrialização da construção civil reproduzisse unidades de habitação idênticas produzidas em série, que é o que observamos nas soluções dadas atualmente ao problema da habitação no Brasil, teve início no período de vigência do BNH¹² (Banco Nacional da Habitação), onde a utilização de um conjunto de medidas (...)

“(...) resultou no empobrecimento dos projetos habitacionais, haja vista a preocupação massiva com a redução de custos, num racionalismo formal desprovido de conteúdo, ‘consubstanciado em projetos de péssima qualidade, monótonos, repetitivos, desvinculados do contexto urbano e do meio físico e, principalmente, desarticulados de um projeto social’ (BONDUKI, 2004, p. 134-135).” (MEDEIROS, 2010, p. 10-11)

Entretanto, este receio é rebatido pela estratégia da CM, que foi prevista por Gropius em 1935.

“Nossas futuras casas não serão necessariamente produtos estereotipados como consequência da padronização e da pré-fabricação; a competição natural, no mercado livre, cuidará para que as partes de construção pré-fabricadas apresentem uma multiformidade tão individual quanto os artigos de consumo produzidos pela máquina, que hoje dominam o mercado.” (GROPIUS, 1972, p. 119).

Além do importante papel da pré-fabricação na aplicação da estratégia de CM ao projeto arquitetônico, as técnicas construtivas adotadas oscilam entre uma combinação de tradições locais com as soluções industrializadas. No entanto, as características abordadas na customização ainda se restringem a pequenos níveis de flexibilização pré-definidos (DI SIVO e ANGELUCCI, 2012).

Para que os avanços sejam vistos nessa área da construção civil, Di Sivo e Angelucci (2012) indicam, entre outros, aspectos da customização adaptativa e colaborativa (GILMORE e PINE, 1997) a serem adotados:

¹² Órgão vigente entre 1964 e 1986.

- uma mudança no processo projetual, que deixa de ser centralizado no profissional e passa a ter a interação com o cliente, gerando um processo de design colaborativo ou projeto participativo;
- uma distinta relação com a variável do tempo: a casa que antes apresentava relações estáveis com o terreno em que foi implantada, agora precisa ter relações de flexibilidade morfológica e de configurações espaciais à serem gerenciadas pelo usuário ao longo do tempo;
- uma mudança de atitude dos projetistas, que passam a ter uma postura de conexão entre a produção industrial e as necessidades dos clientes.

Estes aspectos coincidem com algumas das diretrizes apontadas por Tillman (2008) para a adoção da CM na construção habitacional para baixa renda. Entre elas destacam-se: (1) focar a estratégia do produto na oferta de customização para os clientes; (2) considerar um terreno e tipologia arquitetônica que permita a intervenção no espaço da unidade habitacional; (3) modularizar as soluções criando uma plataforma de produtos; (4) envolver os clientes no processo de desenvolvimento do produto.

Para ilustrar a aplicação da estratégia da CM ao projeto arquitetônico e às práticas da construção civil, foram levantados alguns exemplos durante o processo de pesquisa. Estes estão apresentados no “Apêndice A” subsequente ao texto.

2.2.2 Considerações acerca das definições abordadas no subcapítulo

Analisando a revisão bibliográfica realizada até aqui, é possível sintetizar alguns conceitos relevantes para a compreensão da estratégia de CM. No quadro abaixo, fica claro que alguns termos são recorrentes aos diferentes autores aqui abordados.

Destacam-se: a aplicação da estratégia tanto a produtos, quanto a serviços; a necessidade da utilização de processos flexíveis; e o atendimento às necessidades dos clientes e/ou usuários.

QUADRO 3: Conceitos de Customização em Massa

AUTOR	ANO	DEFINIÇÃO DE CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA
Davis	1987	partes x todo velocidade + especificidade capacidade de fornecer produtos e serviços projetados individualmente para todos os clientes através da alta agilidade do processo, flexibilidade e integração.
Da Silveira <i>et al.</i>	2001	capacidade de fornecer produtos ou serviços customizados através processos flexíveis em volumes elevados e a um custo relativamente baixo.
Noguchi	2003	combinação de produtos e serviços , onde sua inter-relação não é mutuamente exclusiva.
Tillman	2008	estratégia relacionada à natureza relativa do valor percebido pelos clientes .
Di Sivo e Angelucci	2012	produção industrial de um artefato, de acordo com uma filosofia de maximização de satisfação dos usuários por meio da customização das variáveis do produto.

FONTE: Elaborado pela autora, 2015

2.3 Modularidade

Uma importante ferramenta disponível para a viabilização da estratégia de CM é a modularidade. Davis (1989) reconhece a aplicação desta estratégia afirmando que ao dividir um produto em partes (módulos), é possível combiná-lo de diferentes formas e, assim, favorecer o processo de personalização.

Pine II compartilha deste pensamento, ao ressaltar que “a modularidade é essencial em uma estratégia de customização em massa para obter a economia de escala através da fabricação de componentes padronizados” (PINE II, 1994, p. 41).

Ao fazer uma revisão de literatura sobre os conceitos de CM, Da Silveira *et al.* (2001) destacam a importância do uso da modularidade no processo projetual e construtivo, para que se obtenha um bom resultado na aplicação da estratégia e, dessa forma, confirmam o raciocínio dos autores precedentes acima citados.

Entretanto, ao abordar o conceito de modularidade, é importante ressaltar que a literatura apresenta inúmeras definições para o mesmo. Neste contexto, serão apresentados e analisados diferentes pontos de vista que gerem compreensão do termo ao inseri-lo no universo desta pesquisa.

Gosling *et al.* (2016, p. 3) apresentam uma das faces da modularidade como sendo uma “estratégia para organizar de maneira eficiente processos e produtos complexos”. E assim, ao abordar-se tal complexidade, surge a necessidade de se esclarecer outros termos diretamente ligados a esta estratégia.

“Uma **arquitetura modular** é normalmente uma **arquitetura de produto** adequada ao desenvolver estratégias de personalização, já que os **módulos** podem ser produzidos como entidades independentes e posteriormente combinados para criar as **variantes de produto** de acordo com os pedidos dos clientes. Do ponto de vista da produção, a flexibilidade e o adiamento (ou retardamento na diferenciação do produto) são conceitos que permitem aos sistemas de produção lidar com as variantes do produto criadas sob uma estratégia de customização. Eles contribuem para atingir os objetivos de custo e prazos de entrega semelhantes aos produtos produzidos em massa, inseridos numa abordagem de CM.” (ROCHA, 2011, p. 44; tradução nossa, grifo nosso).

A partir do excerto de Rocha (2011), destacam-se os seguintes termos: arquitetura modular, arquitetura do produto, módulo e variantes de produto. A este grupo pode-se somar também: componentes, elementos e interfaces. Termos estes, que complementam o conceito de modularidade.

Para Ulrich (1995, p. 419) “**arquitetura do produto** é o plano através do qual a função de um produto é atribuída aos componentes físicos”. O autor ainda propõe a definição do termo a partir da discussão de três pontos específicos:

1. a disposição dos elementos funcionais;
2. o mapeamento de elementos funcionais para componentes físicos;
3. a especificação das interfaces de interação entre os componentes físicos.

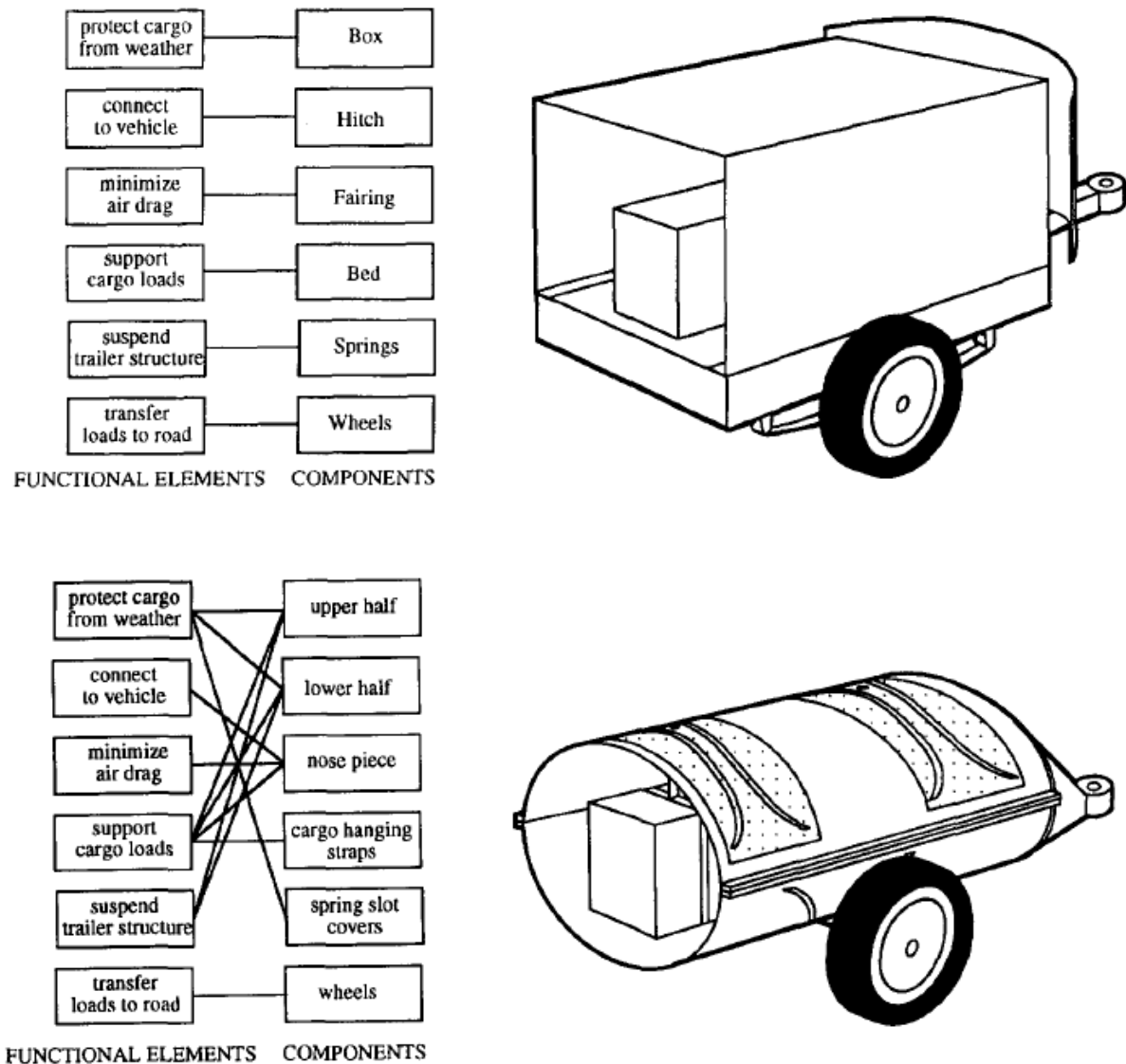
A partir da definição destes pontos é possível classificar o produto como pertencente à classe dos produtos de arquitetura modular ou arquitetura integral.

Num produto de **arquitetura modular** existe um mapeamento “um-para-um” entre os elementos funcionais e os componentes físicos. Enquanto num produto de **arquitetura integral**, este mapeamento é complexo e não correspondente entre apenas uma função específica para um componente específico. Estas duas categorias ainda diferem no quesito das interfaces. Enquanto no primeiro caso estas devem ser desassociadas entre os componentes, no segundo, apresentam-se interfaces acopladas aos mesmos (ULRICH, 1995).

Entretanto, isso não significa que o produto deva assumir especificamente uma arquitetura modular ou integral. Segundo Rocha (2011, p. 49) “a noção de continuidade indica que o projeto de um produto pode assumir diferentes arquiteturas”. No entanto, a autora destaca que, em geral, quando o objetivo é de se trabalhar com estratégias de customização, o projeto do produto deve ser direcionado pelo desenvolvimento de uma arquitetura modular.

Para ilustrar os dois conceitos apresentados, a Figura 7 compara uma cabine de carga de arquitetura modular - onde cada componente físico é responsável por uma função - a uma segunda situação, onde a cabine apresenta relações mais complexas entre os elementos funcionais e os componentes físicos correspondentes (típicas de produtos de arquitetura integral).

FIGURA 7: Arquitetura modular e arquitetura integral a partir do exemplo de uma cabine de carga



FONTE: Ulrich, 1995

Para se ter melhor compreensão acerca dos tipos de arquitetura do produto é necessário compreender o que a literatura trata como subcomponentes, componentes e elementos. Schoenwitz *et al.* (2012 apud GOSLING *et al.*, 2016) sugerem uma espécie de organização hierárquica das partes de uma construção. Esta abrange estes três termos abordados.

“**Subcomponentes** são o nível mais baixo abordado neste estudo: eles são adequados para serem utilizados por outras áreas dentro de uma construção, (...) e podem ser inteira ou parcialmente montados fora do canteiro e, frequentemente, necessitam ser integrados a elementos maiores da construção. Pilares e vigas são bons exemplos desta categoria. **Componentes** (...) formam parte de elementos estruturais maiores que serão montados no canteiro. Paredes, pisos, e elementos da cobertura são exemplos desta categoria. **Elementos** da construção (...) podem ser as partes principais das quais o projeto é composto. Eles podem também criar espaços que, na maioria dos casos, são completamente finalizados na fábrica. Geralmente, eles são conectados a uma função específica, como por exemplo, a entrada da casa ou o banheiro.” (GOSLING, PERO, *et al.*, 2016, p. 3) (tradução nossa, grifo nosso).

Ao se aproximar os conceitos apresentados ao projeto que foi abordado nesta pesquisa como estudo de caso (desenvolvimento do subsistema de cobertura de uma UH no sistema LWF), é possível exemplificar claramente cada categoria. Neste exemplo, os subcomponentes podem ser representados pelos montantes, chapas OSB e placas cimentícias que compõem os painéis de vedação. Enquanto estes, assumem o papel de componentes, assim como as telhas metálicas termo acústicas. Por fim, o subsistema de cobertura em si, pode ser considerado como um elemento da construção, que só se faz integral ao finalizar a junção dos componentes.

Numa simples definição de **módulo** como partes de um todo, ou partes de um produto que podem ser combinadas, é possível utilizar-se do termo para se referir tanto a subcomponentes, quanto também a componentes ou elementos.

É o que pode ser observado ao dar continuidade à leitura desta pesquisa. Em certas situações se faz necessário tratar como módulo as chapas OSB e as placas cimentícias (subcomponentes). Enquanto em outras, o frontão de fechamento da cobertura, ou seja, o painel completo de LWF (componente) assume este papel. E, por fim, são abordados como módulos todo um conjunto de elementos que compõem um tipo de modelo base da UH ou um tipo de módulo de customização - como um dormitório extra - que pode ser agregado ao módulo base da casa.

Miller (1998 apud GOSLING *et al.*, 2016, p. 2) define o termo módulo como “uma unidade essencial e autônoma com relação ao produto do qual faz parte. O módulo tem, como definição do sistema, interfaces padronizadas e interações que permitem a composição de variantes de produto por combinação”.

Dentro de um projeto, estes módulos podem se apresentar de forma tridimensional, ou não. Quando assumem características de subcomponentes ou componentes bidimensionais, deve-se prever como estes serão acoplados para assumir a forma e função finais do produto proposto. Assim, destaca-se a importância das **interfaces** de ligação entre os módulos.

De acordo com o projeto do produto, define-se o tipo de interface a ser adotado. Estas podem assumir, de modo geral, um caráter de conexões geométricas entre dois componentes, ou de conexões “sem contato” (como é o caso da comunicação de dispositivos via infravermelho, por exemplo) (ULRICH, 1995).

“Com base em Pimmler e Eppinger (1994), ainda é possível destacar ao menos mais quatro tipos de interação entre componentes:

- a) de caráter espacial: quando existe a necessidade por adjacência ou orientação entre dois ou mais componentes;
- b) de caráter de energia: quando é necessária a transferência de energia entre dois ou mais componentes;
- c) de caráter de informação: quando existe a necessidade de troca de sinal ou informação entre dois ou mais componentes; e
- d) de caráter material (quando é necessária a troca ou compartilhamento de material entre dois ou mais componentes).” (ROCHA, 2011, p. 51)

Conhecendo os tipos de arquitetura do produto, ao optar-se por trabalhar com módulos e interfaces, se faz possível oferecer ao cliente as **variantes de produto**, que são as combinações e possibilidades de configuração do produto final, a partir daquilo que é oferecido ao cliente e de suas respectivas escolhas.

Gosling *et al.* (2016) concluem o artigo no qual tratam de modularidade - especificamente voltada à construção civil - apresentando uma definição de módulo fruto das discussões feitas no decorrer do texto. A partir dos conceitos aqui abordados, é possível compreender, com clareza, como esta definição se aplica ao contexto desta pesquisa:

“Um módulo é fisicamente manifestado como uma unidade de construção, que é parte de um sistema mais amplo, a qual pode ser integrada através de interfaces pré-planejadas. Estes módulos físicos são o resultado de, e podem facilitar, modularização em diferentes fases de projeto. Eles devem ser considerados em diferentes níveis hierárquicos dentro da arquitetura global do produto, podem ser fabricados dentro ou fora do canteiro, e podem ser volumétricos ou não.” (GOSLING, PERO, *et al.*, 2016, p. 10; tradução nossa).

Para que seja possível tirar proveito dos benefícios de um produto com arquitetura modular, é necessário que a modularidade seja uma estratégia inserida ao processo de projeto desde o início das discussões (EGGEN, 2013, p. 1).

Baseado em Sanchez (1999 e 2002) e agregando resultados obtidos em sua pesquisa, Eggen (2013) apresenta inúmeras vantagens presentes no desenvolvimento de um produto de arquitetura modular. Entre elas, destacam-se: a possibilidade de maior variedade de produtos oferecidos ao cliente; a viabilização da estratégia de **customização em massa**; a redução nos custos e economia de escala na produção; a atualização tecnológica mais rápida (dos produtos já disponíveis no mercado, e desenvolvidos de forma modular); a facilidade de manutenção, reparo e reciclagem (destes mesmos produtos); entre outros.



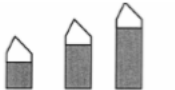
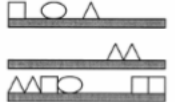
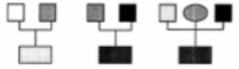

Para o autor, é a modularidade quem limita o grau de customização do produto e é a responsável por distinguir os produtos puramente personalizados, daqueles customizados em massa (EGGEN, 2013, p. 3). No entanto, é ela também uma das principais ferramentas capazes de possibilitar a implementação da estratégia de CM em um modelo de produção.

2.3.1 Tipos de Arquitetura Modular

Com base em Ulrich e Tung (1991)¹³, e outros autores que abordaram a discussão acerca dos tipos de modularidade passíveis de serem implantados no projeto do produto e no processo de produção, Tillman (TILLMANN, 2008, p. 41) sintetiza no quadro abaixo as diferentes tipologias de arquitetura modular.

¹³ ULRICH, K.; TUNG, K. Fundamentals of product modularity. In: Winter Annual Meeting Symposium on Issues in Design/Manufacturing Integration, ASME, 1991, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta, 1991. p. 73-79.

QUADRO 4: Tipos de modularidade

 <p>Component – swapping (Permuta de componentes)</p>	<p>Habilidade de permutar alternativas de componentes em uma região do produto básico. Os componentes são selecionados de uma lista de opções para serem acrescentados ao produto base. Ex: Diferentes rádios para o mesmo modelo de carro, diferentes teclados para uma mesma CPU.</p>
 <p>Component – sharing (Compartilhar componentes)</p>	<p>O mesmo componente básico é usado em diferentes famílias de produto. Os produtos possuem um design exclusivo criado a partir de variações dos componentes anexados em torno da unidade base. Ex: mesmo monitor ou microprocessador é usado em uma família de computadores, mesmo motor utilizado em diferentes modelos de carros.</p>
 <p>Cut-to-fit (Adaptar para variedade)</p>	<p>Componentes padronizados são conectados com componentes variáveis. As dimensões (comprimento, largura, espessura) dos componentes são alteradas antes de combiná-los com os padronizados. Ex: Conectores padronizados conectados por um cabo com comprimento qualquer</p>
 <p>Bus modularity (por barramento)</p>	<p>Habilidade de adicionar componentes variáveis à um componente básico que possui duas ou mais interfaces de união. Esse tipo de modularidade permite a variação do número e da localização dos componentes no sistema. Ex: Computador e seus periféricos</p>
 <p>Mix modularity (por mix)</p>	<p>Semelhante ao component-swapping, porém quando os módulos são combinados à base, perdem sua identidade única. Ex: fabricação de tintas PVA</p>
 <p>Sectional (seccional)</p>	<p>Conjunto de componentes que possuem uma ou mais interfaces, possibilitando a combinação destes para formar padrões únicos. Ex: Lego, móveis tipo sofá, sistemas de tubulação</p>

FONTE: Tillman, 2008 (baseado em ROZENFELD *et al.*, 2006; DURAY *et al.*, 2000)

A análise dos diferentes tipos de arquitetura modular implica em uma reflexão sobre a classificação da arquitetura do produto quando este faz referência ao ambiente edificado. No caso aqui abordado, a unidade de habitação.

Entende-se que a teoria proposta se aplica muito bem a diversos segmentos da manufatura. Entretanto, para o segmento da construção civil, tais classificações parecem não apresentar uma relação tão clara.

Para o ambiente edificado, os tipos de arquitetura modular parecem acontecer em diversos níveis simultaneamente. Assim, diante das classificações encontradas na literatura, acredita-se que, para o projeto aqui abordado como estudo de caso, é possível identificar três diferentes tipos de arquitetura modular.

São eles: (1) *modularidade por permuta de componentes*, onde os componentes pré-fabricados são adicionados a um produto base; (2) *modularidade por barramento*, onde existe a habilidade de adicionar componentes variáveis a um componente básico que possui duas ou mais interfaces de união; e (3) *modularidade seccional*, ou seja, onde existe a disponibilidade de uma família de componentes que permite certo número de combinações, previstas em projeto, para gerar configurações diversas que resultem em produtos de customização (em massa).

Ao avaliar a aplicação destas três tipologias de modularidade a um único produto, é possível concluir que os tipos de modularidade podem ser utilizados individualmente, ou de forma simultânea e combinada, a fim de atingir como objetivo a customização e a geração de variantes de produto.

A premissa para que fossem aplicadas estas tipologias de modularidade ao estudo em questão, se deu a partir das características do projeto em desenvolvimento.

Sabia-se que as variantes de produto seriam resultado de componentes agregados a um módulo base e que, por se tratar de um produto que seria desenvolvido com a modularidade nas diferentes fases do projeto seria necessário trabalhar com interfaces variadas.

Isto significa que em alguns momentos do processo projetual, assumem-se como módulos os diferentes recortes das chapas OSB e das placas cimentícias, enquanto em outros, o módulo passa a ser todo o painel de vedação dos frontões, e não mais seus subcomponentes (as chapas). Por isso a necessidade das interfaces variadas conforme a fase do projeto.

Paralelamente a estas tipologias, ainda é possível avaliar o produto de acordo com os subtipos de arquitetura modular, mais tarde propostos por Ulrich (1995), com base nas características das **interfaces** do sistema. O autor propõe as seguintes subcategorias: *slot*, *bus* e *sectional modularity*.

“Eu divido a arquitetura modular em três subtipos: *slot*, *bus* e *sectional*. Pelo fato de cada um destes três subtipos serem modulares, eles fazem referência a relações ‘um-para-um’ entre elementos funcionais e componentes físicos, e as interfaces do sistema são dissociadas; as diferenças entre estes subtipos são relacionadas à forma com que as interações entre os componentes são feitas.” (ULRICH, 1995, p. 424; tradução nossa).

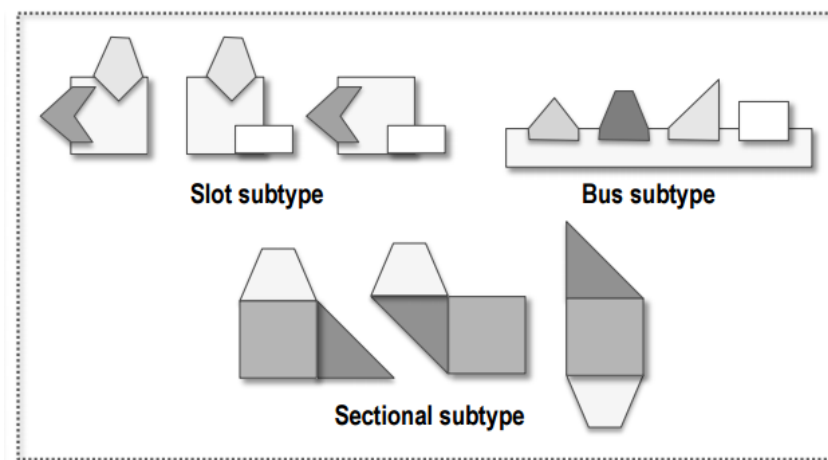
Resumidamente, com base no autor, estes subtipos podem ser caracterizados como:

Slot: as interfaces entre os componentes do produto são de diferentes tipos, de modo que estes não podem ser intercambiáveis.

Bus: há um elemento comum ao qual os outros componentes físicos do sistema se conectam através do mesmo tipo de interface.

Sectional: todas as interfaces são de mesmo tipo, entretanto, não existe um elemento único ao qual os outros componentes são acoplados.

FIGURA 8: Subtipos de Arquitetura Modular



FONTE: Rocha, 2011 (baseado em ULRICH, 1995)

Novamente, ao aproximar os conceitos apresentados ao estudo de caso explorado nesta pesquisa, observa-se que cada parte do sistema que compõe o produto proposto faz referência a um subtipo de arquitetura modular.

Quando se faz relação aos painéis de LWF que irão formar os frontões do subsistema de cobertura, pode-se afirmar que as interfaces entre os componentes são de mesmo tipo, possibilitando inúmeras variantes de produto ao combinar os mesmos componentes de diferentes formas. Se aproximando, assim, do subtipo *sectional*.

Entretanto, numa visão geral do produto, pode-se caracterizá-lo como de arquitetura modular de subtipo *slot*, quando considerado o fato de que as interfaces de ligação entre os painéis que formam os frontões, por exemplo, não são as mesmas entre o frontão e os painéis que compõem as paredes da UH, impossibilitando a intercambialidade entre estes diferentes componentes.

Assim, ao analisar o produto a partir deste enfoque, é possível visualizar que, apesar de o módulo base da UH ser o elemento central ao qual serão acoplados outros

componentes (subsistema de cobertura, subsistema de aquecimento solar, ampliação de cômodos, etc.), as interfaces de ligação entre eles serão distintas.

2.3.2 Modularidade em diferentes fases do projeto

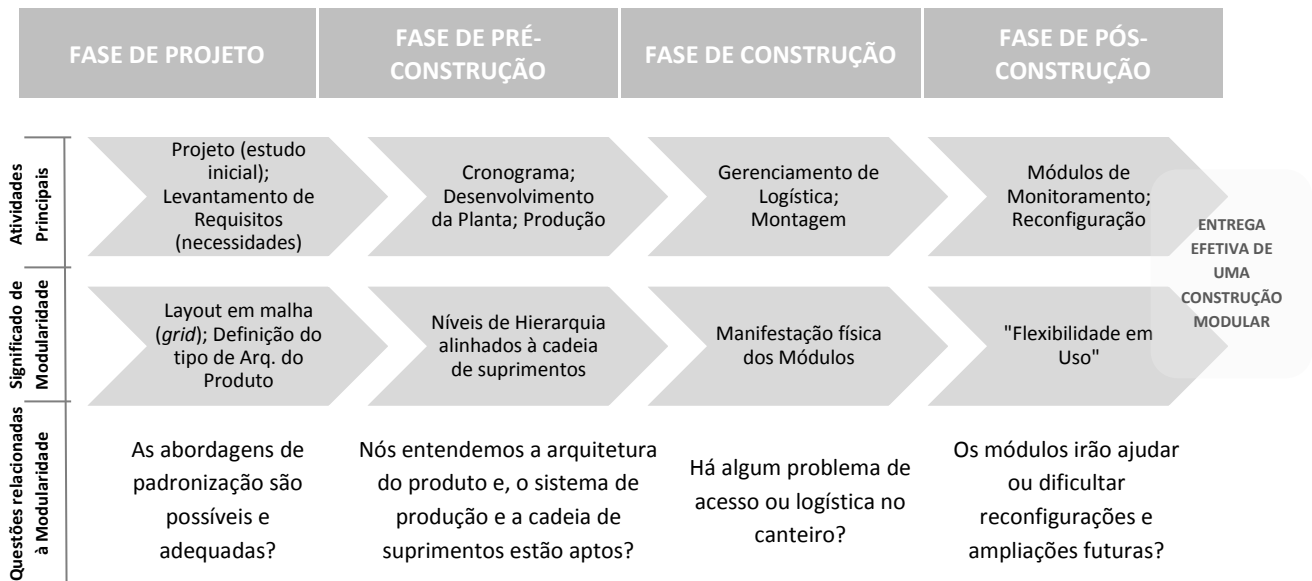
Ao abordar o conceito de modularidade aplicado a projetos da construção civil, é possível perceber que a estratégia é interpretada e utilizada de diferentes formas de acordo com as fases de projeto.

Gosling *et al.* (2016), através de estudos de caso, aproximam estas fases à interpretação de modularidade correspondente. Tais etapas podem então ser subdivididas em: fase de projeto; fase de pré-construção; fase de construção; e fase de pós-construção.

Na primeira etapa (fase de projeto), a estratégia de modularidade é relacionada ao layout do edifício em questão. Ela está diretamente associada ao desenho em malha (*grid*), onde é possível visualizar os espaços propostos e suas possibilidades de repetição.

Na fase de pré-construção, o foco é na arquitetura do produto e na hierarquia das partes do edifício, para que na próxima etapa (fase de construção) seja possível fazer com que os módulos evoluam de elementos funcionais para componentes físicos. Nesta fase, o esforço acontece para que seja possível reduzir a complexidade dos processos que serão executados no canteiro, voltando as discussões para a pré-fabricação e industrialização dos subcomponentes, componentes e elementos do sistema.

Por fim, a etapa que sucede a entrega da obra aborda o conceito de modularidade voltado à flexibilidade para reconfigurar os espaços ("*flexibility in use*"), e para que seja feita a manutenção de seus subsistemas e da unidade como um todo (GOSLING *et al.*, 2016, p. 07).

QUADRO 5: Modularidade e diferentes fases no ciclo de vida do projeto

FONTE: Gosling et al., 2016 (tradução nossa; adaptado pela autora)

O quadro acima sintetiza as diferentes abordagens da estratégia de modularidade aplicadas às quatro fases do projeto de uma edificação. As atividades a serem desenvolvidas e as aplicações das estratégias correspondentes são confrontadas a questões relacionadas à modularidade, que propõem uma espécie de avaliação da viabilidade de aplicação da mesma ao projeto que será desenvolvido.

Ao fazer esta reflexão, é possível concluir que, em certos casos, talvez a aplicação da modularidade não seja adequada ao projeto. Por exemplo, se é possível recorrer aos requisitos de pré-fabricação e industrialização a partir da padronização de componentes que serão utilizados no projeto, mas existem problemas de logística no transporte destes componentes da fábrica até o canteiro, talvez a estratégia não seja a mais adequada, ou seja necessário fazer ajustes em algumas fases do projeto para combinar a estratégia de modularidade a outras ferramentas disponíveis para a produção.

Desta forma, o esquema proposto por Gosling et al. (2016) se mostra como uma importante ferramenta de avaliação da efetividade de aplicação da estratégia de modularidade ao projeto proposto no estudo de caso desta pesquisa.

2.4 Considerações sobre a revisão de literatura

Revisados os conceitos básicos abordados nesta dissertação, é possível ter um posicionamento frente às estratégias expostas. Dessa forma, este é um primeiro passo para que sejam geradas as diretrizes colocadas como objetivo principal do trabalho.

Ao analisar as relações existentes entre as premissas de pré-fabricação e industrialização, customização em massa e modularidade, é possível fazer uma aproximação ao acrônimo PPMOF¹⁴ - *prefabrication, preassembly, modularization and off-site fabrication* ou, tradução nossa, pré-fabricação, pré-montagem, modularidade e produção fora do canteiro.

Estes conceitos são comuns às unidades de habitação onde existe a proposta de uma construção modular e, conseqüentemente, passível de aplicação da estratégia de customização em massa.

Para Hofman *et al.* (2009 apud Gosling *et al.*, 2016, p. 2), o que caracteriza as casas modulares é “serem compostas por módulos, pré-fabricadas e com conexões passíveis de serem finalizadas no canteiro, incluindo o uso de interfaces padronizadas.”

A partir daqui, seguindo as etapas da pesquisa em design (DSR), foram utilizados os dados das publicações relevantes para dar suporte ao desenvolvimento do artefato em questão, durante o processo de design colaborativo.

¹⁴ Termo extraído do artigo de Gosling *et al.* (2016, p. 1) com base em Khalili e Chua (2013); O’Connor *et al.* (2014); e Pan *et al.* (2012).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Como citado no capítulo introdutório, a presente pesquisa foi desenvolvida pautada no método do *Design Science Research* (DSR). Entretanto, para que este fosse aplicado às questões aqui propostas, viu-se necessário utilizar ferramentas de pesquisa complementares que dessem suporte ao trabalho em DSR.

Essas ferramentas são a estratégia do estudo de caso, a aplicação da prototipagem virtual ao processo de investigação e a submissão dos resultados a uma verificação de viabilidade com base no método do painel de especialistas.

Dessa forma, esse capítulo primeiramente define e apresenta ambas as estratégias citadas, para que então seja possível incorporá-las às etapas do DSR apresentadas posteriormente.

3.1 Estudo de Caso

3.1.1 Definição da Estratégia

O estudo de caso, assim como afirmado por Yin (2001, p. 19), “é apenas uma das muitas maneiras de se fazer pesquisa em ciências sociais”.

Essa estratégia permite verificar e avaliar hipóteses e proposições, através da aplicação do conhecimento e da investigação a um objeto real.

“Em geral, os estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo ‘como’ e ‘por que’, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real.” (YIN, 2001, p. 19)

Não por acaso, esta definição se assemelha a uma das principais abordagens do DSR: um procedimento de pesquisa para a produção de construções inovadoras, destinadas a resolver os problemas enfrentados no mundo real (LUKKA, 2000). E dessa forma, a estratégia complementa as etapas do DSR.

3.1.2 Apresentação do caso da UH ZEMCH *Brazil*

O estudo de caso no qual foram aplicadas as investigações referentes ao desenvolvimento de um subsistema de cobertura modular que esteja apto para ser produzido em massa e oferecer opções de customização, parte de um projeto de HIS pautado nas premissas projetuais do PMCMV.

Este projeto precede o início da pesquisa aqui apresentada. O mesmo está sendo desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa ZEMCH *Brazil*, composto por docentes e acadêmicos¹⁵ de graduação e pós-graduação da Universidade Estadual de Londrina. Dessa forma, parte-se de um modelo de habitação básica composto por dois dormitórios, cozinha, um sanitário¹⁶, sala e área de serviços.

A este conjunto de ambientes denomina-se **módulo base**. Para que este *layout* fosse definido, pesquisadores da equipe realizaram workshops, análises e avaliações pós-ocupação anteriores a este trabalho, no qual foram detectadas as informações necessárias para a definição do programa de necessidades a ser contemplado pelo projeto.

Além da definição da planta base, a escolha do sistema construtivo adotado na edificação também precede esta pesquisa e influencia diretamente as decisões tomadas no decorrer do desenvolvimento subsequente do projeto. O sistema utilizado é o *Light Wood Frame* (LWF).

A pré-fabricação dos componentes, as vantagens da construção seca (maior velocidade de obra e menor percentual de perda de material), e a oportunidade de trabalhar com uma empresa de tecnologia parceira que atua no ramo das construções em LWF, foram alguns dos pontos relevantes para a escolha do sistema construtivo em questão.

Além dessas premissas, o fato de o sistema construtivo ser certificado pela CEF para a execução de empreendimentos vinculados ao PMCMV, foi um ponto imprescindível na escolha da tecnologia construtiva a ser adotada no projeto em desenvolvimento.

A partir da implantação do grupo de pesquisas, vários estudos foram iniciados para agregar valor ao produto final: a unidade de habitação.

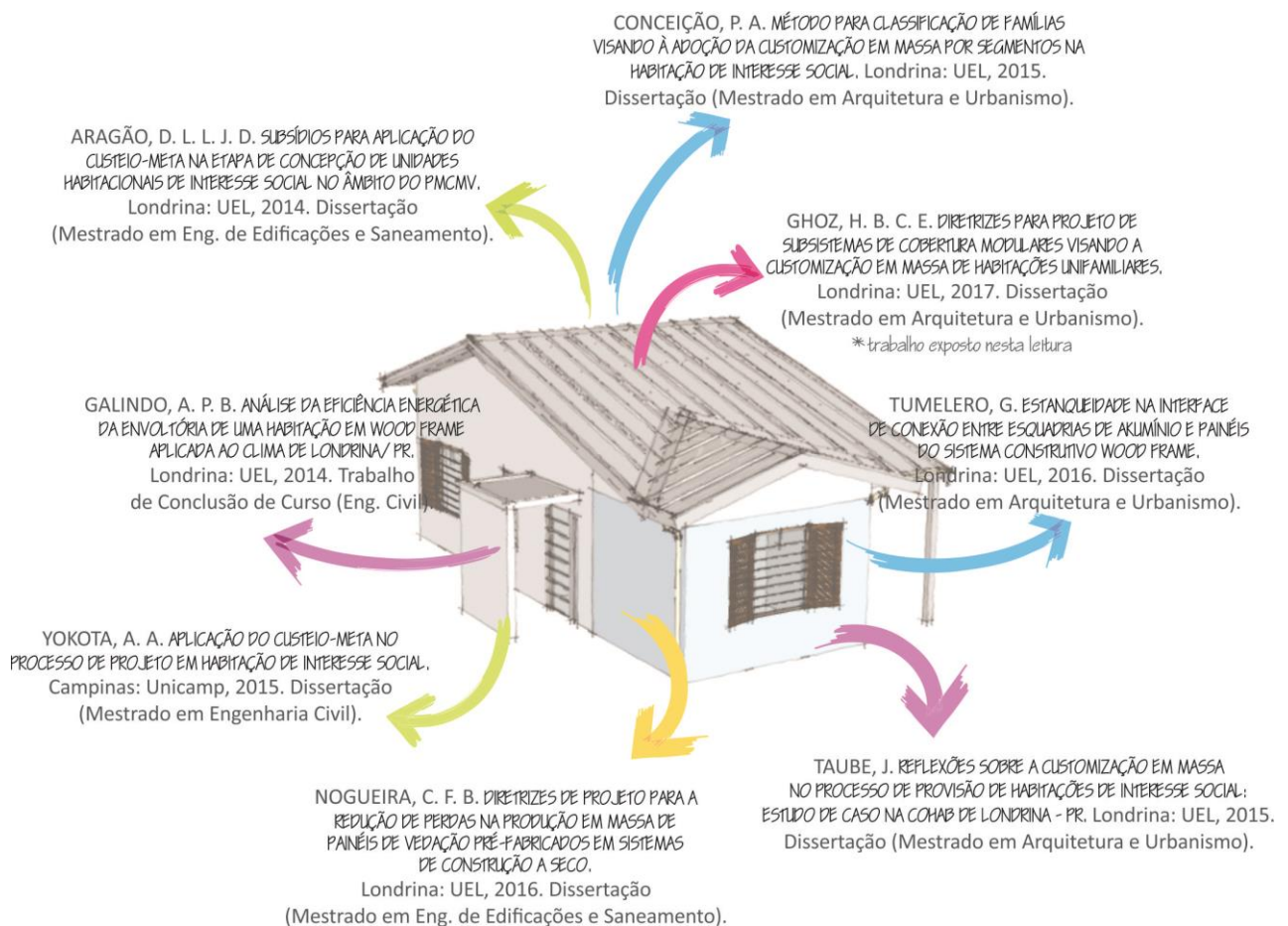
¹⁵ Incluindo a pesquisadora (a partir do primeiro semestre de 2015).

¹⁶ Adaptado às normas de acessibilidade previstas na NBR 9050:2015.

No entanto, após a pesquisa avançar no campo de desenvolvimento de outros subsistemas integrantes da unidade, como a modulação dos painéis em LWF (dissertação de NOGUEIRA, 2016) e o desenvolvimento de sistemas estanques para a conexão entre as esquadrias e os painéis (TUMELERO, 2016), por exemplo, notou-se que havia a necessidade de desenvolver um estudo voltado, especificamente, ao subsistema de cobertura que, até então, não havia sido investigado a fim de propor soluções viáveis que abordassem os preceitos de industrialização, pré-fabricação e modularidade aos quais os demais subsistemas da unidade já haviam sido submetidos.

A imagem abaixo ilustra as diversas pesquisas vinculadas ao projeto ZEMCH *Brazil* e sua influência direta na proposta de cada um dos subsistemas componentes da unidade de habitação em desenvolvimento.

FIGURA 9: Modelo de UH ZEMCH e a relação com alguns dos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa ZEMCH *Brazil*

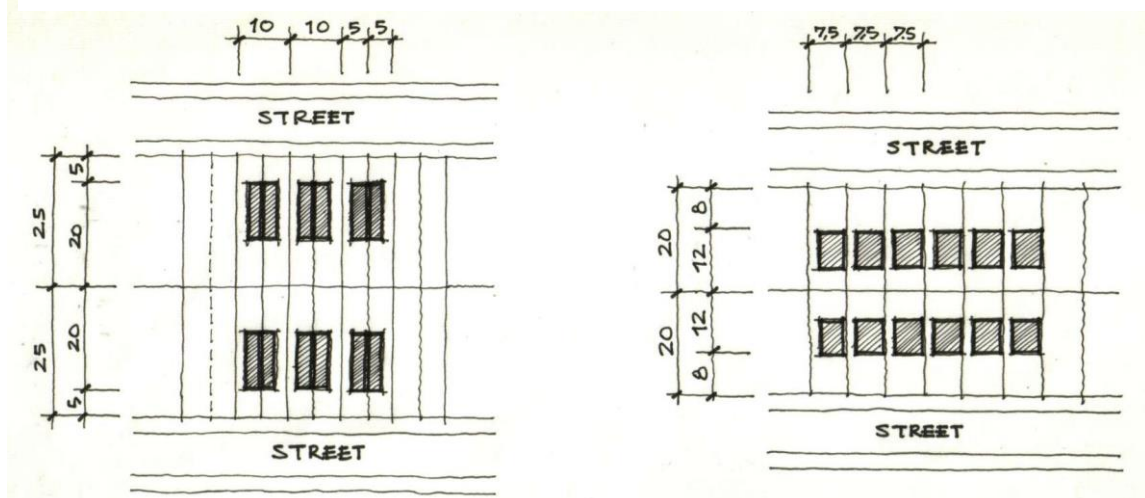


FONTE: Elaborado pela autora, 2016

É importante ressaltar que neste estudo de caso o projeto está sendo desenvolvido com base em um terreno hipotético adotado como referência. Entretanto, as dimensões do mesmo foram sugeridas a partir de um workshop realizado entre os pesquisadores e a companhia pública de habitação de Londrina (COHAB - LD).

A legislação brasileira estabelece 125m^2 como área mínima de lotes destinados a HIS. Com base nas avaliações pós-ocupação (APO) abordadas por Aragão (2014) e Conceição (2015), verificou-se que esta área tem se mostrado insuficiente para conter as ampliações e garantir o nível de privacidade desejáveis. Ainda durante o workshop, a própria COHAB explicou que a diretriz futura seria no sentido de ampliar a área mínima dos lotes para 150m^2 . Assim, adotou-se esta referência para o projeto (GUADANHIM, MOURA, *et al.*, 2015).

FIGURA 10: Lotes existentes (125m^2) e propostos (150m^2)



FONTE: Grupo de Pesquisa ZEMCH Brazil (2015)

A figura acima ilustra pelo primeiro croqui uma das maneiras mais comuns de implantação dos empreendimentos de HIS, partindo do exemplo do Conjunto Bela Vista, em Londrina (PR). Nesta configuração, os lotes tem área de 250m^2 com testada de 10m e profundidade de 25m. Entretanto, cada lote abriga duas unidades habitacionais (conformando casas geminadas), resultando num terreno de 125m^2 para cada habitação. Ou seja, a área mínima estabelecida pela legislação brasileira.

É importante ressaltar que este modelo de implantação tem se mostrado inadequado para a qualidade a qual deveria ser almejada nos projetos destes conjuntos habitacionais. Desta forma, adota-se aqui um exemplo de loteamento e implantação recorrentes na realidade brasileira e, no entanto, insuficiente ao ser avaliado pelos parâmetros de habitabilidade básicos, como por exemplo, privacidade e conforto ambiental da UH. As APOs aplicadas aos moradores do conjunto configurado por casas geminadas e o levantamento dos principais requisitos de projeto (ARAGÃO, 2014; CONCEIÇÃO, 2015), indicam que a solução não é bem aceita pelos usuários, e também não se mostra adequada às condições de habitabilidade.

Nos workshops iniciais de desenvolvimento do projeto, a preferência por unidades isoladas no lote ficou muito clara, visto que as geminadas eram percebidas pelos moradores como unidades equivalentes a “meia casa”.

Além dos fatores de identidade e privacidade de cada família, em termos de segurança contra o fogo, por exemplo, o modelo implantado até então, também apresentava problemas, principalmente ao levar em consideração o sistema construtivo em madeira adotado para a proposta.

Dessa forma, a equipe de projetistas¹⁷ chegou à conclusão de que a melhor solução seria adotar casas paralelas, com uma das faces laterais implantada no limite do lote. Assim, as aberturas de cada unidade seriam voltadas à “parede cega” do vizinho, gerando privacidade e diminuindo o perímetro a ser fechado com muros ou cercas. O lote adotado como referência apresenta testada de 7,5m e profundidade de 20m, totalizando uma área de 150m² para a implantação de cada unidade (Figura 10 - segundo croqui).

A partir desta proposta de implantação, as unidades podem ser espelhadas, dependendo da orientação solar do terreno, para que seja possível garantir a insolação mais adequada à edificação.

O quadro abaixo indica, hierarquicamente, os requisitos de projeto captados pelas APOs em empreendimentos de HIS. Esses resultados provêm de pesquisas anteriores a esta, também vinculadas ao Grupo de Pesquisa ZEMCH *Brazil*. De forma

¹⁷ Projetistas e pesquisadores vinculados ao Grupo de Pesquisa ZEMCH *Brazil*. Ver na página 74, Quadro 9, a área de atuação, formação e responsabilidades dentro do processo de projeto, de cada pesquisador e colaborador do mesmo.

geral, esses requisitos justificam as decisões de projeto tomadas até o início desta pesquisa, e refletem na UH que se faz objeto deste estudo de caso.

QUADRO 6: Hierarquia dos Requisitos de Projeto

REQUISITOS DE PROJETO	GIR %
Fechamento da UH com muro	14,19
Projeto de ampliação da UH	11,02
UH independente (não geminada)	9,84
Área de serviço funcional coberta	6,72
Dimensões do lote apropriadas a novos espaços	6,64
Cômodo suplementar (3° dormitório)	6,31
Minimizar área de corredores dentro da unidade	5,68
Capacidade/Eficiência do Sistemas de aquecimento solar	5,60
Cômodo suplementar (área para comércio/serviço)	5,23
Ventilação cruzada nos cômodos	4,85
Construção complementar (garagem)	4,61
Bloqueio visual nas aberturas laterais (entre un. vizinhas)	4,45
Abertura para ampliação (friso para recorte na parede)	3,57
Construção complementar (varanda)	3,16
Variedade de fachada	3,02
Paredes com conexões hidráulicas	2,75
Frente mínima do lote	2,37
TOTAL	100,00

GIR: grau de importância relativo

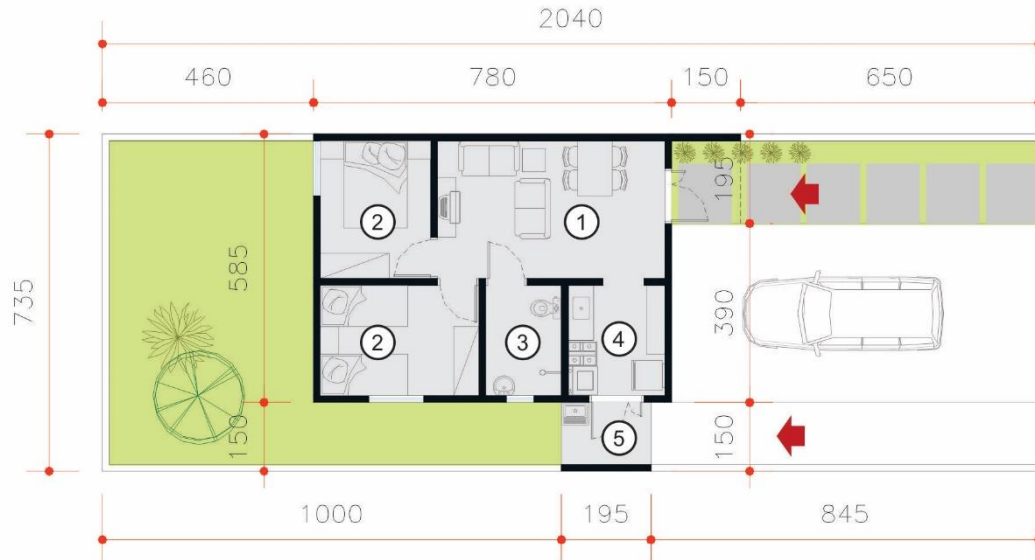
FONTE: Aragão, 2014 (adaptado pela autora)

A partir desses requisitos e com a adoção de um lote como base para a implantação do projeto, a planta inicial foi desenvolvida com base em estudos que foram aperfeiçoados ao longo da pesquisa para que se chegasse à configuração estabelecida até o início deste trabalho.

Aqui deve-se ressaltar o caráter da pesquisa científica, que busca contribuir, de forma geral, produzindo um conhecimento que possa ser aplicado a diversos casos, e não somente a um específico. No entanto, para que fosse possível, ao final desta pesquisa, propor diretrizes mais amplas e de fácil aplicação a diferentes projetos, fez-se necessário eleger um terreno fictício para que as proposições e experimentações pudessem ser feitas durante o processo projetual.

O módulo base, com os ambientes previamente descritos neste subcapítulo, conforma uma UH com área total de 51,48m² (Figura 11).

FIGURA 11: Módulo base - planta baixa



FONTE: Elaborado pela autora (a partir do projeto do Grupo ZEMCH *Brazil*), 2016

1 - SALA | 2 - DORMITÓRIO | 3 - BWC | 4 - COZINHA | 5 - LAVANDERIA

← ACESSOS

A partir deste modelo, a pesquisa da equipe avançou no sentido de propor, da maneira mais adequada, possibilidades de expansão da unidade, que aqui serão tratadas como opções de **customização**.

Essas opções foram definidas levando em consideração os resultados das APOs aplicados aos conjuntos habitacionais de baixa renda, ou seja, com foco nas principais necessidades eleitas pelos usuários.

Além dessas premissas, o sistema construtivo adotado possibilitou a modularidade da planta. Os estudos que precedem esta versão do projeto tiveram como balizadores a estratégia de modulação dos componentes da unidade.

Dessa forma, priorizou-se a maneira mais adequada de reduzir a perda de material utilizado na obra, otimizando os cortes das placas cimentícias, OSB e de gesso acartonado (que compõem os painéis de estrutura e vedação no sistema LWF), e possibilitando a redução na diversidade do número de painéis para a construção tanto do módulo base, quanto das customizações¹⁸.

¹⁸ Resultado da Dissertação de NOGUEIRA, 2016 (pesquisa vinculada ao ZEMCH *Brazil*).

“A proposta da HIS adota a estrutura do sistema LWF com componentes de construção coordenados dimensionalmente. A utilização de um sistema industrializado tem como prerrogativa a concepção do produto com base nos princípios de coordenação modular. Contudo, o presente trabalho propôs a utilização de uma modulação derivada dos componentes construtivos do sistema LWF.” (NOGUEIRA, 2016, p. 82)

Os cômodos anexos referentes às opções de customização adotadas no projeto contemplam: (1) um dormitório extra; (2) um sanitário com a proposta de configurar uma suíte para a unidade; (3) possibilidade de cobertura para o abrigo de veículos (garagem). Até aqui, concluiu-se que a cobertura da lavanderia, tratada anteriormente como uma opção facultativa e, presente nos requisitos de projeto, poderia ser considerada como parte integrante do módulo base da UH.

Contemplando apenas as necessidades específicas de cada família, sem entrar neste momento no âmbito de custos adicionais à unidade, as opções de customização podem ser simultâneas ou isoladas, ou seja, é possível anexar apenas um dos módulos à base, ou optar pelas três possibilidades de ampliação, simultaneamente. Neste último caso, a casa passa a ter uma área total de 85,00m².

FIGURA 12: Módulo base + Customizações - planta baixa



FONTE: Elaborado pela autora (a partir do projeto do Grupo ZEMCH *Brazil*), 2016

1 - SALA | 2 - DORMITÓRIO | 3 - BWC | 4 - COZINHA | 5 - LAVANDERIA | 6 - GARAGEM ◀ ACESSOS

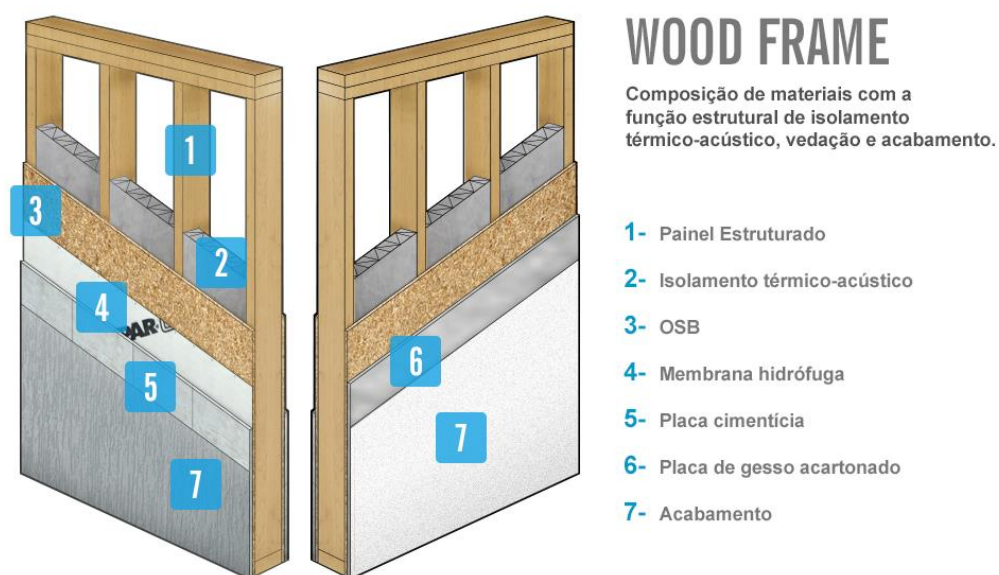
Com relação ao pé-direito da UH, no trabalho de Nogueira (2016), havia sido adotada a dimensão de três metros, devido às medidas dos componentes do sistema LWF disponíveis no mercado. Entretanto, no decorrer das decisões de projeto referentes ao subsistema de cobertura, verificou-se a possibilidade de adotar um pé-direito mais baixo, de 2,70m, visando a utilização de menos recursos e materiais. Por ser uma medida que se adequava à modulação dos componentes, esta foi adotada posteriormente.

3.1.2.1 Considerações gerais sobre o sistema LWF e as características de sua aplicação no projeto

O sistema LWF é basicamente composto por perfis leves de madeira (montantes) contraventados com chapas OSB (SILVA, 2010). Com esta composição base, os painéis, que podem ou não possuir função estrutural, recebem as camadas adicionais de acordo com sua utilização: interna ou externa.

Nogueira (2016, p. 52) cita que estes painéis podem ser revestidos por diversos materiais, dando como exemplo as placas cimentícias (para as faces externas) e as placas de gesso acartonado (para os ambientes internos) e ainda, sobre estas superfícies, pode ser aplicada uma extensa gama de materiais de acabamento.

FIGURA 13: Composição dos painéis de parede no sistema LWF



FONTE: Disponibilizado pela empresa parceira

No estudo de caso em questão não se trabalhou com o isolamento térmico-acústico entre os montantes, devido ao padrão de construções para o qual a pesquisa é voltada. No mais, o painel se constitui assim como representado pela Figura 13 (página anterior).

Existem três métodos construtivos passíveis de serem aplicados ao sistema LWF: o método *stick*, o método modular, ou o método por painéis (SANTIAGO, FREITAS e CRASTO, 2012).

Os autores explicam que o método *stick* consiste na produção e montagem dos componentes já no canteiro de obras, ou seja, os perfis de madeira e as placas de vedação são cortadas *in loco*, facilitando a execução das ligações entre os componentes (visto que os montantes estão aparentes e não vedados com as chapas de fechamento dos painéis), mas também aumentando o tempo de trabalho e deixando o produto final mais vulnerável ao desperdício de materiais e à falta de precisão que, em componentes pré-fabricados, possui menores chances de ocorrer.

O método modular faz referência às unidades de habitação que são submetidas, em sua totalidade, à pré-fabricação, ou seja, chegam ao local da obra edificações inteiras (já finalizadas com acabamentos e instalações hidráulicas e elétricas), ou suas partes como, por exemplo, módulos sanitários e demais cômodos (NOGUEIRA, 2016, p. 50). A autora ainda descreve, detalhadamente, como é o funcionamento do método por painéis, que se adequa à proposta apresentada por este estudo de caso:

“No método por painéis, a produção de painéis de paredes, lajes e coberturas é realizada em fábrica, para montagem posterior no canteiro de obras. Os painéis de vedação, de piso e a cobertura são conectados no local, a partir de técnicas convencionais (parafusos auto atarraxantes). A produção em fábrica proporciona um ambiente mais controlado para a execução dos subsistemas que compõem as edificações LWF, aumenta a precisão dimensional do sistema e reduz o trabalho na obra, permitindo uma maior velocidade de produção.” (NOGUEIRA, 2016, p. 50)

Com relação aos componentes dos painéis, foram previamente adotadas as seguintes especificações:

- Montantes com espaçamento de 60cm;
- Chapas OSB de 9,5mm (espessura) e 120x300cm (dimensão);
- Placas cimentícias de 8mm (espessura) e 120x300cm (dimensão);
- Placas de gesso acartonado de 12,5mm (espessura) e 120x300mm (dimensão).

Por fim, apresentadas as principais diretrizes que direcionaram as decisões de projeto tomadas até aqui, pode-se ter uma visão ampla da unidade de habitação que compõe o estudo de caso proposto nesta pesquisa.

A partir desta fase do projeto, a equipe multidisciplinar do ZEMCH *Brazil* visou alcançar avanços na conformação do subsistema de cobertura a ser adotado na unidade. Este processo projetual, que posteriormente é detalhado neste trabalho, contou com a participação e acompanhamento da pesquisadora, tendo como base o projeto aqui apresentado.

3.2 Prototipagem Virtual

3.2.1 Definição da Estratégia

Um protótipo pode ser definido como a aproximação do produto ou de parte do produto sob investigação, acerca de uma ou mais frentes de interesse. Seu desenvolvimento pode se dar através de esboços, modelos matemáticos, ou pré-produção totalmente funcional de versões do produto (ULRICH e EPPINGER, 2000).

A prototipagem, em si, caracteriza-se como o processo de desenvolvimento dessa aproximação do produto (ULRICH e EPPINGER, 2000), onde o principal objetivo é reduzir os riscos e incertezas do artefato sob investigação (ULRICH e EPPINGER, 2000) (FAITHFULL, BALL e JONES, 2001).

Segundo Floyd (1984), a prototipagem pode ser dividida em três grandes classes, de acordo com a função do processo. São elas: prototipagem para exploração; prototipagem para experimentação; e prototipagem para evolução.

O autor ainda define qual é a finalidade de cada uma das abordagens:

- Prototipagem para **exploração**: ênfase em esclarecer requisitos e funcionalidades do sistema. É a classe na qual possíveis alternativas para soluções são discutidas.
- Prototipagem para **experimentação**: a ênfase está em determinar a adequação de uma solução proposta antes de investir na implementação do sistema em larga escala.
- Prototipagem para **evolução**: ênfase em adaptar o sistema gradualmente às mudanças requeridas, às quais não podem ser determinadas de forma confiável em uma fase anterior.

Além das três grandes classes apresentadas por Floyd, Ulrich e Eppinger (2000) ainda destacam o fato de que os protótipos podem ser usados para quatro diferentes propostas: (1) aprendizagem; (2) comunicação; (3) integração; e (4) estabelecimento de marcos¹⁹.

Os autores classificam os protótipos, quanto à forma empregada para a representação do produto, em: protótipos físicos e analíticos, que podem ter uma abrangência compreensiva ou focada.

Os protótipos físicos são os artefatos tangíveis criados para se aproximar do produto, enquanto os analíticos são os elementos intangíveis, normalmente representados por esboços, modelos matemáticos, simulações provenientes de *softwares*, entre outros (ULRICH e EPPINGER, 2000). Este último abrange os protótipos virtuais abordados na maior parte do processo de desenvolvimento desta pesquisa.

Quanto ao grau de abrangência dos protótipos, foram acatadas as definições dos mesmos autores, que abordam os modelos de compreensão como correspondentes a uma visão geral que implementa, quando não todos, a maioria dos atributos do produto para checar possíveis falhas de projeto, comportamento do mesmo e interface entre os componentes. Enquanto os protótipos focados implementam apenas um, ou poucos atributos do produto, para analisar uma frente específica do *design*. Ambas as abordagens podem ser empregadas em escala real, reduzida ou ampliada.

¹⁹ Estabelecimento de marcos ou *milestone* (termo usado originalmente pelos autores) e a abordagem que permite demonstrar que o produto atingiu o nível desejado de funcionalidade em certa etapa do processo.

A utilização de protótipos virtuais, especificamente adotados nessa pesquisa como modelos tridimensionais, permite que a etapa inicial de investigação possa ser mais facilmente compreendida pelos profissionais envolvidos no processo.

“Em uma etapa seguinte, a combinação da prototipagem virtual, fornecendo parâmetros do produto, com *softwares* de simulação proporciona oportunidade de análise dos processos de produção e de gestão.” (SAFFARO, 2007, p. 69)

Com relação às tecnologias empregadas para a prototipagem virtual, pode-se elencar algumas formas abordadas por diferentes autores, como Ulrich e Eppinger (2000), Faithfull *et al.* (2001) e Saffaro (2007). Essas técnicas abrangem modelos bidimensionais (2D); tridimensionais (3D), empregando *softwares* de projeto; modelagem paramétrica através de tecnologia BIM (*building information modeling*); e modelos 4D, que aliam o fator tempo e a previsão das etapas de construção do artefato ou do processo.

Além disso, é possível associar estes a outros recursos, dependendo do resultado esperado. É o caso, por exemplo, da utilização de modelos tridimensionais aliados à tecnologia da realidade virtual.

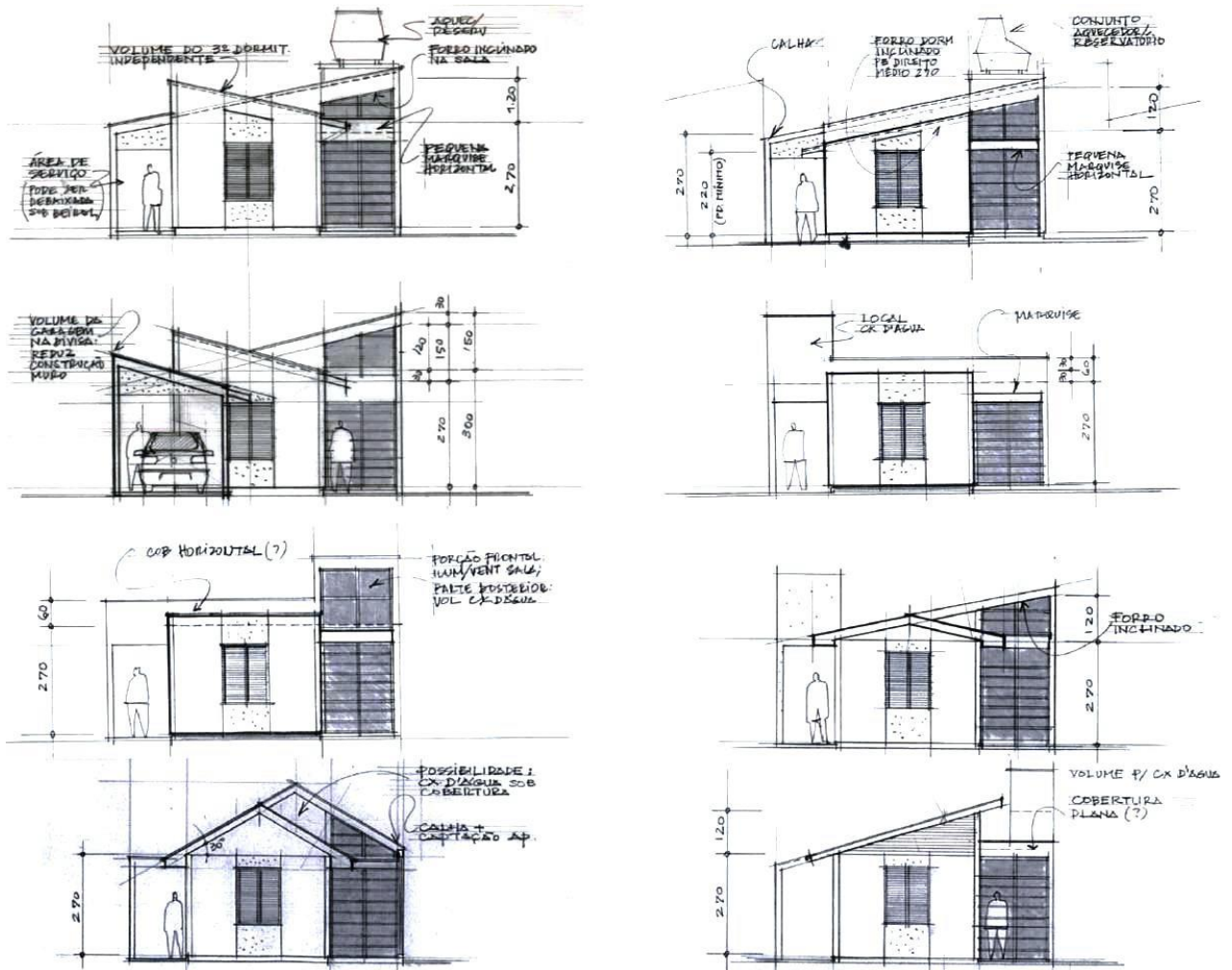
3.2.2 Aplicação no processo de pesquisa

Por reduzirem as variáveis em menor tempo e com menor custo, optou-se por aplicar à maior parte da etapa de desenvolvimento desta pesquisa a utilização de protótipos virtuais (analíticos), através do uso de *softwares* de modelagem tridimensional. Essa ferramenta possibilitou estudos com manipulação simples e rápida que foram imprescindíveis para a avaliação das propostas de projeto que surgiram no decorrer do processo.

Em um primeiro momento, a prototipagem foi aplicada com a finalidade de aprendizagem e abrangência de compreensão do produto (subsistema de cobertura). Essa etapa, iniciada em agosto de 2015, buscava analisar opções de volumetria referentes às soluções propostas para o desenho da cobertura da UH, com foco na identificação das principais interferências entre o subsistema e a estrutura da casa, previamente definida.

Inicialmente, a equipe discutiu as possíveis soluções que foram representadas através de desenhos esquemáticos (croquis).

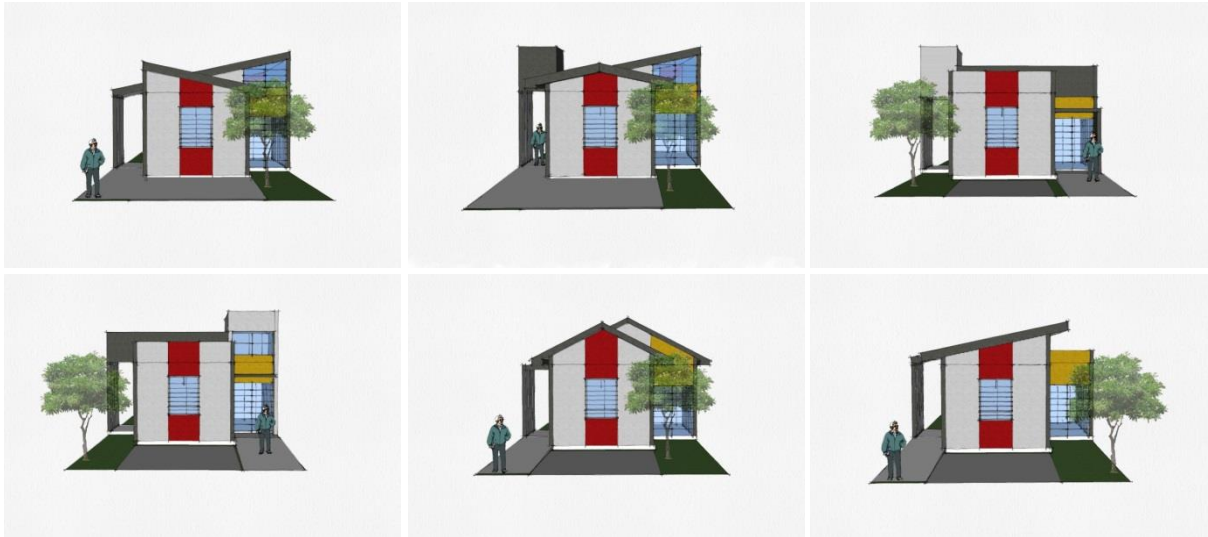
FIGURA 14: Croquis iniciais de investigação das possibilidades de desenho da cobertura



FONTE: Grupo de Pesquisa ZEMCH Brazil (2015)

Partindo dessas representações, as opções propostas foram modeladas no *software* SketchUp, levando em consideração as proporções adequadas de cada componente do subsistema. Nessa fase, as questões técnicas referentes ao subsistema de cobertura (como estrutura do telhado, instalações, localização do reservatório de água, entre outros) ainda não estavam sob investigação nos protótipos, configurando um estudo apenas de composição arquitetônica.

FIGURA 15: Primeiras modelagens tridimensionais do processo de concepção projetual



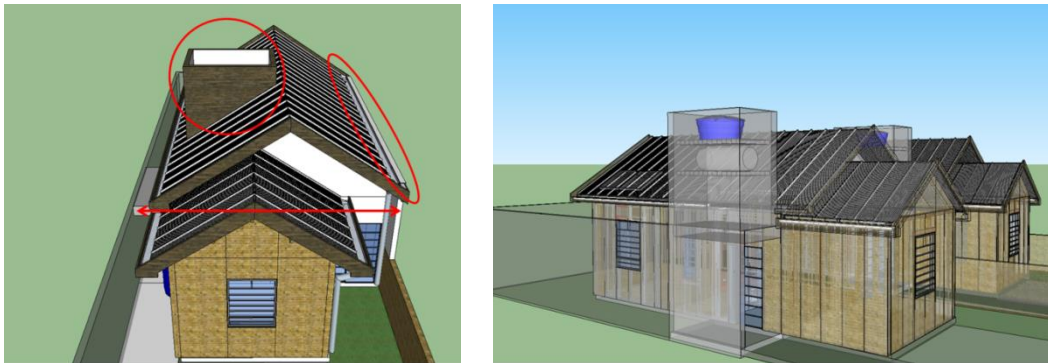
FONTE: Grupo de Pesquisa ZEMCH Brazil (2015)

Em um segundo momento foram adicionados ao modelo os componentes dos subsistemas relacionados à cobertura: caixa d'água; sistema de aquecimento solar (placas e reservatório); e sistema de escoamento de águas pluviais. À medida que mais variáveis eram inseridas ao modelo, mais respostas eram dadas ao projeto e, a partir disso, o protótipo começou a apontar problemas que deveriam ser resolvidos antes de iniciar-se a etapa de modulação dos componentes.

Alguns exemplos foram as interferências geradas entre calhas e condutores com a construção na divisa do lote; o corte de telhas para possibilitar uma estrutura de abrigo para os reservatórios de água; e o sombreamento que essa estrutura poderia gerar nas placas solares colocadas no telhado.

Essas interferências citadas acima apenas ilustram os exemplos de aplicação da prototipagem na pesquisa, e estão detalhadas e registradas através das imagens geradas pelos protótipos no capítulo 4.

FIGURA 16: Primeiras interferências de projeto apontadas pelos protótipos



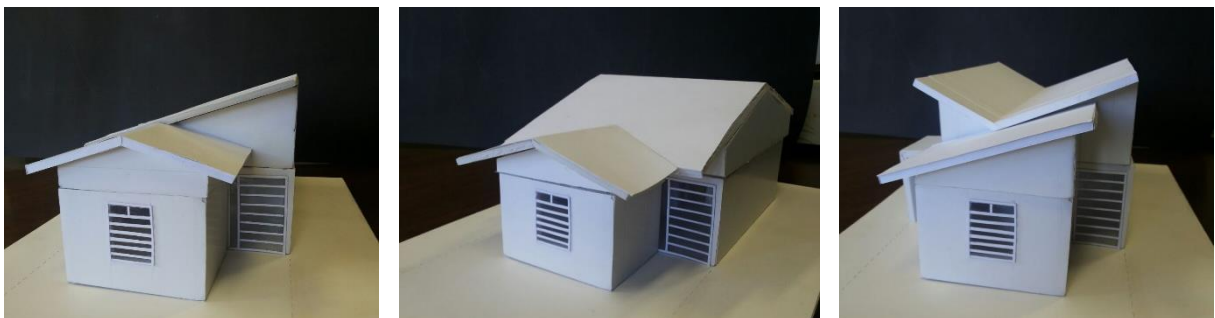
FONTE: Elaborado pela autora, 2015

Por fim, à medida que novas decisões eram tomadas durante as reuniões da equipe multidisciplinar de projeto, fazia-se a verificação das modificações através dos modelos tridimensionais, analisando: proporções; interferências entre os subsistemas; possibilidades construtivas; opções de modulação dos componentes; entre inúmeras variáveis que compõem o desenvolvimento do processo projetual.

Apesar de o processo projetual apresentado pelo estudo de caso ter sido direcionado, em sua maior parte, através do desenvolvimento de protótipos virtuais, em certo ponto do processo viu-se necessária a utilização de protótipos físicos, em escala reduzida, para que fosse facilitada tanto a comunicação entre os membros da equipe de projeto, quanto a checagem das decisões tomadas com o auxílio das experimentações feitas nas abordagens dos protótipos virtuais.

Dessa forma, o protótipo físico complementava as conclusões tiradas a partir da análise dos protótipos virtuais e, principalmente, auxiliava na comunicação e entendimento do projeto entre todos os membros do grupo de pesquisa.

FIGURA 17: Protótipos físicos inseridos ao processo projetual



FONTE: Acervo da autora, 2016

3.3 Painel de Especialistas

Pinheiro *et al.* (2013) definem o painel de especialistas como uma técnica de pesquisa empregada, em geral, nas ciências sociais e que, normalmente é combinada a outras técnicas e métodos de pesquisa, de acordo com o que os autores chamam de “concepções multimetodológicas”.

Esta técnica consiste em submeter etapas específicas do processo de investigação e pesquisa a um grupo de pessoas que detenha o domínio do assunto abordado.

Segundo a literatura, o painel de especialistas pode ser empregado em dois momentos: na fase preliminar do estudo, ou na etapa de validação dos resultados (PINHEIRO, FARIAS e ABE-LIMA, 2013).

Os autores ressaltam que a inserção desta técnica no processo de pesquisa deve levar em consideração os mesmos cuidados empregados nas entrevistas, por exemplo. Entre os pontos principais para a aplicação da técnica destacam-se:

“Planejar e ensaiar o roteiro mais, ou menos, estruturado; considerar o ambiente da entrevista; o background tanto do entrevistador quanto do entrevistado; e o contexto cultural [...]” (GUNTER, 2008 apud PINHEIRO *et al.*, 2013, p. 187)

É importante destacar que o método do painel de especialistas lida com um grupo focal, onde a reação dos membros do painel não deve ser conduzida pelo entrevistador. “O que se busca é o aprofundamento na análise do tema, muitas vezes como fruto dos conflitos e diferenças de opinião entre participantes” (COSTA, 2005; GONDIM, 2003 apud PINHEIRO *et al.*, 2013).

A exemplo de outros trabalhos investigados pela pesquisadora, o painel de especialistas foi aplicado ao processo de pesquisa, inicialmente, com caráter exploratório e, posteriormente, com a finalidade de validar os resultados obtidos no trabalho.

No primeiro momento, a aplicação da técnica de pesquisa se deu durante o processo de projeto apresentado aqui como estudo de caso.

O painel de especialistas foi composto pelos docentes integrantes do grupo de pesquisa, onde a autora utilizou a técnica ao propor discussões acerca das decisões de projeto, após estas terem sido apresentadas ao grupo no formato de seminário.

Após as discussões, gravadas em áudio, a pesquisadora analisava os pontos relevantes da reunião a fim de compreender quais decisões estavam de acordo com os especialistas e quais deveriam ser revistas.

Esta primeira etapa configurou uma verificação voltada, especificamente, às decisões de projeto, servindo como base exploratória para as propostas feitas durante o processo projetual.

Em um segundo momento, o painel de especialistas desempenhou o papel de verificação dos resultados obtidos pelo trabalho: as diretrizes.

Aqui, as discussões foram feitas sob o comando da pesquisadora e direcionadas a membros externos do grupo de pesquisa: os gestores da empresa de tecnologia parceira. Participaram desta etapa: o Diretor de Engenharia de Produto e a Gerente de Inovação da companhia.

O protocolo desenvolvido, de acordo com a literatura acerca da metodologia, foi composto pelos seguintes passos:

1. Inicialmente a pesquisadora fez uma apresentação do **projeto** desenvolvido como estudo de caso destacando as tomadas de decisão do processo projetual e suas implicações na proposta final;
2. A partir disso, foi aberta a discussão para que os gestores da empresa expressassem suas impressões acerca da proposta (procedimento gravado em áudio);
3. Durante a discussão, através de um quadro de verificação (Anexo C), a pesquisadora validava, ou não, as **diretrizes** propostas, sem apresentá-las aos membros do painel de especialistas;
4. Por fim, as diretrizes foram apresentadas aos gestores que puderam discorrer melhor sobre os pontos abordados.

É importante ressaltar que o terceiro passo do protocolo adotado se propõe a ressaltar o caráter de neutralidade da pesquisadora enquanto se fazia a validação dos resultados do trabalho.

O discurso adotado na discussão com os gestores tinha o intuito de direcionar os assuntos a serem abordados, mas não as opiniões que seriam dadas pelos profissionais. Ou seja, a pesquisadora abria a discussão acerca dos temas - que automaticamente já apareciam no discurso dos profissionais -, mas desempenhava um papel mais relevante de ouvinte, permitindo que os gestores da empresa discorressem sobre os mesmos, tendo como base suas próprias experiências e a apresentação do projeto feita previamente.

3.4 O Método *Design Science Research*

Van Aken (2004, p. 224) organiza as disciplinas científicas em três grupos distintos: as ciências formais (como filosofia e matemática); as ciências explanatórias (como as ciências naturais e a maioria das áreas de ciências sociais); e as ciências do design (que incluem, por exemplo, as engenharias e áreas da medicina).

O autor cita que esta última tem a missão de gerar o conhecimento necessário para a construção de artefatos que visam a resolução de problemas. No caso de arquitetos e engenheiros civis, lidando normalmente com aquilo que ele chama de *constructive problems*.

A literatura nos apresenta o design como a **ciência do artificial**. Simon (1996 apud (VAISHNAVI e KUECHLER, 2007, p. 8) define esta como “um montante de conhecimento sobre objetos e fenômenos artificiais (feitos pelo homem) projetados para atender a determinados objetivos”.

Ou seja, o conhecimento gerado é resultado da proposta e implementação de uma solução que está apta a manipular o fenômeno em questão (VAISHNAVI e KUECHLER, 2007).

Muitos autores propõem passos para o desenvolvimento de uma pesquisa em DSR. Rocha *et al.* (2012) apresentam um apanhado das etapas do processo de pesquisa de acordo com diversos autores (Quadro 7), ressaltando a importância de notar que os passos apresentados pela literatura nem sempre constituem um processo linear e sim, envolvem ciclos durante o processo.

QUADRO 7: Etapas do DSR de acordo com a literatura

ETAPA	March e Smith (1995)	Kasanen (1993)	Vaishnavi e Kuechler (2007)	Lukka (2003)
1		Encontrar um problema com relevância prática e com potencial de pesquisa	Conscientização do problema	Encontrar um problema de relevância prática com potencial para contribuição teórica
				Avaliar a probabilidade de uma parceria com organizações externas à academia e voltadas ao tema da pesquisa
2		Compreender o tema abordado		Compreender o problema do ponto de vista prático e teórico
3	Criar artefatos que sirvam às necessidades humanas	Inovar, propor uma solução	Sugestão de um design experimental	Propor uma solução para o problema abordado
4	Avaliar a performance dos artefatos em uso	Comprovar a eficácia da proposta	Acompanhamento e implementação do processo de design experimental	Implementar a solução e testar seu desempenho
			Avaliação da proposta a partir de critérios definidos previamente	
5		Apresentar a conexão entre a proposta e a teoria, enfatizando na contribuição gerada pela pesquisa	Conclusão	Identificar e analisar a contribuição teórica gerada
		Avaliar o alcance de aplicação da solução proposta		

FONTE: Rocha, 2011 (tradução nossa)

Assim como apresentado no capítulo introdutório deste trabalho, as etapas abordadas na pesquisa fazem referência àquelas propostas por Vaishnavi e Kuechler, onde o processo projetual é organizado em quatro fases: (1) conscientização do problema; (2) sugestão e desenvolvimento; (3) avaliação de viabilidade; e (4) conclusão.

Durante o desenvolvimento do trabalho, ao implementar o método da pesquisa em design, foi identificada necessidade de retornar a etapas anteriores do processo para que fosse possível validar certas decisões tomadas ao longo do exercício de

projeto que, como estudo de caso, foi um elemento imprescindível para a construção do artefato proposto nesta pesquisa: as diretrizes projetuais.

Este retorno a alguns passos do método de pesquisa é abordado por Vaishnavi e Kuechler (2007) como Processo de Circunscrição. Os autores destacam que este método assume que “cada fragmento de conhecimento é válido apenas em determinadas situações” (VAISHNAVI e KUECHLER, 2007, p. 12), e isso só pode ser detectado durante o processo quando o conhecimento é aplicado e ocorre o aparecimento de problemas ou contradições com relação à teoria. Estas afirmações reforçam o caráter experimental da pesquisa em DSR.

“O termo ‘ciência do design’ é usado aqui para indicar que a missão da pesquisa (acadêmica) em tal campo é desenvolver o conhecimento científico para apoiar a concepção de intervenções ou artefatos por profissionais e para enfatizar esta orientação de conhecimento: a ciência do design não está preocupada com a ação em si, mas com o conhecimento a ser usado na concepção de soluções, para ser seguido posteriormente na concepção de projetos.” (VAN AKEN, 2004, p. 226)

A citação de Van Aken ilustra os passos apresentados nesta pesquisa onde o estudo de caso, através de design experimental e colaborativo, foi a ferramenta utilizada para gerar o conhecimento almejado como objetivo do trabalho. Ou seja, através das soluções e dos problemas encontrados no modelo proposto pelo projeto, foi possível extrair direcionamentos reais para a proposta de diretrizes projetuais.

Com base na organização sequencial do método DSR apresentada por diversos autores, optou-se por aproximar as etapas da pesquisa desenvolvida às fases sintetizadas por Vaishnavi e Kuechler (2004). A Figura 18 apresenta a primeira linha da tabela com as fases do trabalho estabelecidas pela pesquisadora, enquanto a linha seguinte faz referência àquelas apresentadas pelos autores.

FIGURA 18: Correspondência das etapas da pesquisa com as fases do DSR apresentadas por Vaishnavi e Kuechler

FASE 1: COMPREENSÃO E ESTRUTURAÇÃO	FASE 2: ACOMPANHAMENTO E PARTICIPAÇÃO NO PROCESSO DE PROJETO	FASE 3: VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE	FASE 4: RESULTADOS
CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	SUGESTÃO E DESENVOLVIMENTO	AVALIAÇÃO	CONCLUSÃO

FONTE: Elaborado pela autora, 2015

3.4.1 Compreensão e Estruturação

Por estar inserida em um grupo de pesquisas previamente existente, esta primeira etapa de compreensão e estruturação do problema foi de extrema importância para a contextualização da pesquisadora no universo do trabalho.

É importante ressaltar que um projeto arquitetônico voltado para a concepção da UH pautada nos parâmetros do PMCMV e nas premissas da Rede ZEMCH estava em andamento e, portanto, com decisões projetuais previamente estabelecidas.

Para que os parâmetros aos quais o projeto da unidade foi submetido fiquem claros, o quadro abaixo reúne as principais premissas projetuais de acordo com os objetivos da Rede ZEMCH e as recomendações do PMCMV.

QUADRO 8: Premissas e objetivos de projeto de acordo com o PMCMV e a Rede ZEMCH

PMCMV	ZEMCH
UH com sala, 1 dormitório casal, 1 dormitório para 2 pessoas, cozinha, área de serviços e banheiro	Projeto que promova a colaboração entre academia e indústria
Estabelecimento de quantidade mínima de móveis para cada ambiente (ver Anexo A)	Proposta que vise o emprego da estratégia de Customização em Massa
Estabelecimento da largura mínima dos ambientes: cozinha (1,80m) sala (2,40m) banheiro (1,50m) (adaptado para PNE)	Considerar os requisitos dos usuários (com base nas APOs realizadas pelo grupo de pesquisa)
Para todos os cômodos: a área interna deve permitir a inserção do módulo de manobra para rotação de 180° definido pela NBR 9050	Buscar inserir ao projeto o conceito de sustentabilidade em suas variadas faces: econômica, social e ambiental
A área mínima da UH não pode ser inferior a 36m ²	Empregar soluções que agreguem aos requisitos de Eficiência Energética
Pé-direito mínimo: 2,50m	Reduzir custos de produção
Caixa d'água de 500L (mínimo exigido)	Agregar valor ao produto (unidade de habitação)
A UH deverá ser projetada de forma a possibilitar sua futura ampliação sem prejudicar as condições de iluminação e ventilação dos cômodos pré-existentes	A UH deverá ser projetada de forma a possibilitar sua futura ampliação sem prejudicar as condições de iluminação e ventilação dos cômodos pré-existentes
Serão aceitas tecnologias inovadoras de construção homologadas pelo SiNAT ²⁰	Eleger sistemas construtivos viáveis e que prezem pela sustentabilidade e eficiência energética

FONTE: Elaborado pela autora, 2016

²⁰ SiNAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas). A tecnologia adotada (LWF) é homologada pelo sistema.

No quadro 8, foram destacadas as premissas projetuais que fazem relação direta à concepção projetual da UH. Entretanto, outros pontos também compõem a base de recomendações do PMCMV e podem ser analisadas através do quadro exposto no “Anexo A” deste trabalho.

Com relação ao subsistema de cobertura aqui proposto, é importante ressaltar que o trabalho acadêmico busca inovações tecnológicas que possam tornar-se soluções futuras para a aplicação prática. Assim, apesar de o PMCMV não contemplar em suas recomendações o uso de telhas metálicas termo acústicas, se propõe aqui uma experiência de projeto a fim de verificar a viabilidade da solução.

Ainda no quadro apresentado na página anterior, faz-se necessário destacar as premissas paralelas entre o PMCMV e a Rede ZEMCH (destacadas em verde). Aqui, ressalta-se o caráter inovador na possibilidade de uso de sistemas construtivos não convencionais, até então, às HIS brasileiras, e a atenção que deve ser dada à possibilidade de ampliação da unidade, ou seja, a proposta de flexibilização do programa de necessidades e customização (proporcionada pelas estratégias de produção em massa e modularidade) das residências.

Esta fase inicial da pesquisa caracterizou-se pelo entendimento global do projeto em andamento e pela investigação daquele que surgiria como o problema de pesquisa em questão.

As atividades iniciais desenvolvidas contaram com análise de projetos e estudos preliminares; leitura de material referente ao projeto, como teses e dissertações diretamente ligadas às decisões do objeto que seria adotado como estudo de caso; compreensão das premissas almejadas pelo Projeto ZEMCH²¹; e síntese dos parâmetros adotados pelo PMCMV.

A partir disso, foi possível identificar a lacuna a ser preenchida no projeto. Apesar de desde o início terem sido estudadas configurações possíveis para a composição do subsistema de cobertura, era necessário, neste momento, avançar no sentido de avaliar quais destas propostas seriam mais adequadas ao projeto e permitiriam a aplicação da estratégia de CM para, assim, investigar soluções técnicas e questões de detalhamento acerca do sistema proposto.

²¹ Para complementar as leituras e reuniões feitas a fim de inserir a pesquisadora no universo do grupo de pesquisas, a mesma participou - em abril de 2015 - de um workshop de projeto ministrado na USP - São Carlos pelo Prof. Dr. Masa Noguchi, onde o objetivo da atividade era propor uma experiência projetual agregando os valores de CM e eficiência energética almejados pelo Projeto ZEMCH.

Para que este objetivo fosse alcançado, a equipe entendeu que seria necessário um estudo exploratório que gerasse indicadores capazes de suprir, em projeto, a incompatibilidade do subsistema de cobertura utilizado hoje nas casas pré-fabricadas de baixa renda.

Então, pôde-se compreender o problema de pesquisa existente no contexto e analisar a forma de apresentar soluções a este através do acompanhamento e participação no processo de projeto.

É importante ressaltar que o foco da pesquisa está na possibilidade de gerar opções de customização em massa para as UH, através da proposta de modularidade de um subsistema de cobertura pré-fabricado. Entretanto, durante o desenvolvimento do projeto foram levados em consideração aspectos técnicos voltados ao conforto ambiental da edificação e aos sistemas de aquecimento solar e captação de águas pluviais, que influenciaram diretamente no desenvolvimento do projeto do subsistema de cobertura.

Esta primeira fase também se caracterizou pelo contato com a empresa parceira, onde a pesquisadora pode acompanhar o processo de fabricação dos componentes de painéis em LWF, a fim de se aproximar das técnicas de produção da fábrica para que as futuras propostas projetuais fossem coerentes à técnica construtiva adotada pela equipe.

3.4.2 Acompanhamento e participação no Processo de Projeto

A equipe de desenvolvimento do Projeto ZEMCH da Universidade Estadual de Londrina se caracteriza pela multidisciplinaridade. A fim de desenvolver um trabalho de design colaborativo, conta-se com o envolvimento de docentes e acadêmicos dos departamentos de arquitetura e engenharia civil da universidade, especializados nas áreas de: projeto, estrutura em madeira, conforto ambiental, gestão e logística de produção, entre outros.

Dessa forma, as decisões tomadas pela equipe de projeto eram sempre analisadas e discutidas pelos demais pesquisadores em reuniões conjuntas.

Como membro do grupo, a pesquisadora teve participação no desenvolvimento do projeto da unidade. Entretanto, também tinha o papel de observar e registrar as tomadas de decisão da equipe, a fim de extrair desse processo as diretrizes que

almejam ser de utilidade para diversos projetos, que não, o objeto deste estudo de caso.

O processo de acompanhamento das atividades se deu através do registro das reuniões em atas documentadas pela pesquisadora. As decisões tomadas nas reuniões puderam ainda ser documentadas nos protótipos virtuais que possibilitaram gerar imagens que registram as sequenciais modificações pelas quais o projeto foi submetido.

Assim, foi possível sistematizar as informações e mapear como, quando e por que certas soluções foram adotadas e outras, não. E qual a sua relação com a produção do artefato proposto.

O quadro abaixo, adaptado de Yokota (2015), apresenta a relação de pesquisadores e colaboradores envolvidos, atualmente, no processo de projeto. É importante ressaltar que outros membros já passaram pela equipe e através de pesquisas voltadas ao objetivo central do Grupo ZEMCH e contribuíram para o desenvolvimento do projeto até a fase na qual se encontra.

QUADRO 9: Pesquisadores e colaboradores envolvidos no Projeto ZEMCH *Brazil*

ÁREA DE ATUAÇÃO	FORMAÇÃO DOS PESQUISADORES / COLABORADORES	RESPONSABILIDADES DENTRO DO PROCESSO DE PROJETO
Coordenação da Pesquisa	Engenheira Civil, Doutora em Engenharia Civil com experiência acadêmica na área de Gestão da Construção	Coordenação das equipes e do desenvolvimento geral da pesquisa
Projeto	Arquiteto e Urbanista, Doutor em Arquitetura e Urbanismo; Arquiteta e Urbanista, Mestranda em Arquitetura e Urbanismo; Alunos de Iniciação Científica	Desenvolvimento do projeto para a Unidade de HIS
Técnicas Construtivas	Professor Doutor Arquiteto e Urbanista especialista na área de Construções em Madeira	Colaboração técnica na fase de desenvolvimento do projeto
Eficiência Energética	Arquiteta e Urbanista, Doutora em Arquitetura e Urbanismo com experiência acadêmica na área de Eficiência Energética; Alunos de Iniciação Científica	Desenvolvimento de estudos específicos e avaliações com relação ao conforto ambiental das propostas desenvolvidas
Planejamento Urbano	Arquiteta e Urbanista, Mestre em Arquitetura e Urbanismo com experiência em Planejamento Urbano	Colaboração no desenvolvimento de melhorias urbanas com foco em CHIS

Custo e Valor	Arquiteto e Urbanista, Doutor em Arquitetura e Urbanismo com experiência nas áreas de HIS, APO e Projeto Participativo	Avaliação de questões de valor do ponto de vista do usuário final e considerações de custo conforme as restrições do PMCMV
Sistemas Construtivos	Engenheira Civil, Doutora em Engenharia Civil com experiência nas áreas de Gestão da Produção, Padronização e Prototipagem	Colaboração com informações técnicas e estudos focados no processo de produção enxuta
Legal e Técnico (Colaboradores externos)	Construtores Locais - Eng. Civil Diretor Técnico de empresa privada do setor construtivo que atua dentro do PMCMV	Auxílio com informações técnicas, legais e mercadológicas sobre HIS e compartilhamento das experiências com os empreendimentos já implantados na cidade de Londrina
	Profissionais da Companhia de Habitação da cidade de Londrina (COHAB-LD)	Compartilhamento de informações de cunho técnico e legal no que diz respeito ao PMCMV
	Empresa fornecedora de tecnologia e empresa fornecedora de materiais	Assessoria relacionada à tecnologia das construções em LWF e ao processo de produção da mesma

FONTE: Yokota, 2015 (adaptado pela autora)

3.4.3 Verificação de Viabilidade

Visto que a pesquisa em DSR visa responder a problemas práticos e presentes no mundo real (LUKKA, 2000), a literatura indica que a verificação das soluções propostas durante o trabalho, pode ser feita ao avaliar se a contribuição gerada agrega à teoria existente na área e traz melhorias concretas para o problema detectado inicialmente.

Sendo assim, pode-se concluir que o método do *painel de especialistas* aplicado através de um novo contato com a empresa parceira, onde foram apresentadas as propostas geradas pela pesquisa, seria a forma mais coerente de verificação das diretrizes indicadas pelo trabalho. Esta etapa compôs a fase final da pesquisa.

Além do novo contato com a empresa de tecnologia parceira, para que fosse possível avaliar os direcionamentos adotados na pesquisa, o método também foi aplicado às reuniões de apresentação dos resultados realizadas com os membros da equipe especializados nas diversas áreas do conhecimento, a fim de analisar e discutir

as decisões tomadas em projeto, agregando à pesquisa o ponto central do DSR: o processo de aprendizagem.

A partir disso, o artefato gerado pela pesquisa, por se tratar de diretrizes projetuais, foi submetido a verificações tanto dos membros da equipe, quanto da empresa parceira, visto que, pelo objeto de estudo não se tratar das opções de cobertura encontradas, e sim dos direcionamentos gerados através do processo de aprendizagem ocorrido no decorrer da pesquisa e do desenvolvimento do projeto, estes não poderiam ser submetidos a indicadores de desempenho.

Além do retorno dado pelo grupo de pesquisa e pela empresa de tecnologia parceira, avaliou-se ser relevante submeter o processo de projeto às questões relacionadas à modularidade, nas diversas etapas de concepção do mesmo, propostas por Gosling *et al.* (2016), afinal, observou-se ao longo do trabalho, que a aplicação correta da estratégia de modularidade é um dos requisitos relevantes para o bom resultado de um projeto que almeja inserir os conceitos de CM ao processo.

3.4.4 Análise dos Resultados

Por fim almeja-se que os resultados, no formato de diretrizes projetuais, se aproximem daquilo que Van Aken (2004) trata como *Technological Rules*.

“[...] *technological rules* são como um recorte numa área geral do conhecimento, ligando uma intervenção ou artefato a um resultado ou desempenho desejado em um determinado campo de aplicação. O ‘geral’ nesta definição, significa que não é uma prescrição específica para uma situação específica, mas sim uma prescrição geral para uma classe de problemas.” (VAN AKEN, 2004, p. 228)

Dessa maneira, o último passo do método de pesquisa aqui adotado, visou analisar se as diretrizes propostas se aplicam a situações com demandas semelhantes, porém, em projetos independentes, cada qual com as suas particularidades.

Para validar as diretrizes, visto que a pesquisa teve como estudo de caso o desenvolvimento de um produto (subsistema de cobertura) numa parceria entre academia e indústria, as mesmas foram submetidas à avaliação dos pesquisadores e

profissionais vinculados ao Projeto ZEMCH *Brazil* e dos gestores da empresa parceira de tecnologia (painel de especialistas) que, com ampla experiência na área de habitação, estavam aptos a verificar a possibilidade de aplicação das diretrizes propostas à atividade e às demandas de outros projetos habitacionais, que não este analisado pelo estudo de caso aqui abordado.

Entende-se também que esta é uma abordagem inicial ao trabalho de modularidade e customização em massa na proposta de subsistemas de cobertura pré-fabricados, e que um retorno dos usuários será de grande importância para complementos futuros a esta pesquisa.

Entretanto, como diretrizes projetuais assumem o papel de *Technological Rules* (VAN AKEN, 2004), conclui-se que o seu foco é a contribuição à teoria existente nesta área do conhecimento e à prática de projetistas e da indústria voltada à habitação. Assim, cumpre-se nesta etapa o objetivo proposto por esta pesquisa.

No entanto, almeja-se que, após feita esta validação das diretrizes pela empresa parceira e pelos pesquisadores inseridos nesta área do conhecimento (etapa na qual se encerra o trabalho aqui proposto), o Projeto ZEMCH *Brazil* avance no sentido de finalização do projeto da UH contemplando todos os subsistemas que a compõem, a fim de que, com o projeto finalizado como um todo, seja possível disponibilizá-lo aos possíveis usuários (através de protótipos e avaliações) para que haja um retorno das decisões tomadas em projeto, não só pela visão técnica do produto proposto, mas pela visão humana dos usuários da UH que poderão checar se as propostas, de fato, atendem às suas reais necessidades.

4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O presente capítulo registra passo a passo o desenvolvimento do processo de pesquisa com relação tanto ao projeto do estudo de caso quanto das indicações de diretrizes extraídas deste processo de aprendizagem.

Primeiramente é apresentada a tecnologia utilizada, atualmente, pela empresa parceira na concepção de unidades habitacionais pré-fabricadas em LWF, com foco na forma de montagem utilizada para os subsistemas de cobertura das mesmas.

A partir deste ponto, são registradas e comentadas as decisões de projeto aplicadas ao estudo de caso, indicando as opções de CM geradas pela proposta e os componentes modulares que integram o sistema.

É importante ressaltar que, pelo objetivo principal da pesquisa ser extrair do estudo de caso as diretrizes projetuais, todas as intenções de projeto foram propostas considerando sua viabilidade técnica. No entanto, os detalhes executivos não serão contemplados aqui, mas sim a composição geral das soluções.

4.1 Apreensão da tecnologia existente

Para que as propostas de projeto pudessem ser feitas, foi necessário compreender o sistema construtivo adotado para a UH e entender até onde o grau de industrialização do modelo vigente poderia chegar.

Como parte das atividades realizadas em parceria entre a UEL e a empresa de tecnologia, esta se disponibilizou, em novembro de 2013, a construir no campus universitário um protótipo genérico seguindo os parâmetros das casas populares executadas, até então, pela empresa.

Apesar de a atividade ter sido realizada antes do ingresso da pesquisadora no projeto, a mesma foi documentada, na época, pela equipe e pela instituição. Esses registros e o protótipo em si, serviram de base para a compreensão e análise do sistema construtivo e de seu desempenho com o passar do tempo.

O que se nota, é que a proposta de industrialização está muito presente na execução da unidade, visto que o sistema de fundação utilizado é simplificado, adotando uma laje radier, e os painéis que compõem as paredes estruturais e de

vedação, tanto internas quanto externas, chegam ao canteiro prontos²², necessitando apenas de encaixe e montagem na obra.

FIGURA 19: Etapas de montagem do protótipo



FONTE: (Agência UEL de Notícias, 2013)

A imagem acima ilustra as etapas de montagem do protótipo construído no campus da UEL. Para a instalação dos painéis e da estrutura da cobertura foram necessárias apenas três horas no canteiro, o que favorece o atendimento rápido à alta demanda habitacional que temos no cenário nacional, e gera economia de recursos e mão-de-obra no local de montagem.

Ao observar a instalação da estrutura de cobertura, é possível perceber que, pelas pequenas dimensões da residência, foi viável fazer a instalação da estrutura compondo todo o madeiramento como um elemento único.

Devido às restrições de transporte e logística, a empresa oferece um subsistema de cobertura onde as treliças são pré-fabricadas e chegam prontas ao local da obra. Neste ponto, a estrutura do telhado é montada no chão e içada até o topo dos painéis que compõem a unidade (Figura 20).

“Visando tornar o canteiro de obras mais seguro e eficiente, a *empresa* propõe o uso da Cobertura Industrializada, formada por treliças pré-fabricadas que contam com conectores (chapas de dente estampado), projetadas e produzidas conforme a NBR 7190. Onde é possível, a cobertura é montada no chão e içada, aumentando o controle de qualidade e a segurança em obra.” (Informação disponibilizada pelo site da empresa, 2016)

²² Toda a etapa de montagem dos montantes e fechamento da estrutura com as placas OSB, cimentícias e de gesso acartonado - além das camadas intermediárias que compõem o painel - é executada na linha de montagem da fábrica.

FIGURA 20: Instalação do subsistema de cobertura quando é viável a montagem da estrutura em solo



FONTE: Disponibilizado pela empresa parceira

No entanto, é importante ressaltar que, quando o canteiro não oferece espaço e condições adequadas para a montagem da estrutura em solo, é necessário fazê-lo da maneira convencional: com os operários trabalhando em altura.

Assim, as treliças são pré-fabricadas e, ao invés de um bloco único ser içado para a cobertura, cada um destes componentes é içado isoladamente, e a finalização da estrutura é feita pelos operários (Figura 21).

FIGURA 21: Etapas de instalação do subsistema de cobertura quando não é viável a montagem da estrutura em solo



FONTE: Disponibilizado pela empresa parceira

Até aqui, entende-se que questões de logística, transporte e condições adequadas nas obras limitam o avanço no grau de industrialização do subsistema de cobertura adotado. Assim, pode-se assumir que, até esta etapa - montagem da estrutura interna do telhado - o modelo adotado pela empresa parceira é o que mais se adequa a realidade do projeto que está sendo desenvolvido.

Entretanto, em contrapartida ao pequeno tempo de montagem de toda a estrutura da casa, tem-se a utilização de elementos construtivos que demandam muito tempo de instalação no canteiro, mão-de-obra qualificada, e desperdício de materiais, como o caso das telhas cerâmicas, que precisam ser instaladas uma a uma na cobertura, adaptando recortes e encaixes particulares a cada UH.

Outra impressão que se pode ter facilmente ao visitar qualquer empreendimento do PMCMV, é a homogeneidade das unidades, que não oferecem possibilidades de customização que possam ser aplicadas de maneira coerente às linhas de produção em massa.

A partir disso, conclui-se que, partindo do modelo utilizado para a composição e montagem das estruturas da cobertura, seria possível propor estratégias de customização em massa adequadas ao sistema de produção da fábrica, agregando a utilização de telhas que apresentassem maior coerência com o conceito de industrialização proposto.

Dessa forma, foi programada uma visita técnica à empresa, a fim de compreender o processo de projeto e produção das casas pré-fabricadas para que, posteriormente, a equipe estivesse apta a fazer proposições adequadas à realidade da produção e à tecnologia utilizada no projeto.

4.1.1 Visita técnica à empresa parceira

Agendada com antecedência, a visita foi proposta com o intuito de esclarecer alguns questionamentos técnicos e também referentes à gestão da empresa, a fim de aproximar as decisões de projeto aos procedimentos de produção do sistema construtivo oferecido pela mesma. No “Anexo B”, ao fim deste trabalho, está disponível a ata da visita, na qual foram registradas as principais impressões.

A visita²³ foi dividida em duas etapas: a primeira, durante o período da manhã, aconteceu na sede administrativa, localizada em Curitiba (PR). No escritório, foi feita uma reunião com o diretor de engenharia de produto, que esclareceu as dúvidas mais gerais com relação ao funcionamento da empresa e das particularidades do sistema construtivo.

A segunda etapa, no período da tarde, foi realizada no núcleo industrial da empresa, localizado na cidade de Araucária (região metropolitana de Curitiba). A visita à fábrica foi guiada pelo gerente de engenharia de operações e pelo responsável pela elaboração e compatibilização dos projetos de produção.

Os empresários, que iniciaram o negócio oferecendo a ideia de adaptar qualquer projeto (normalmente das classes média e alta) para o sistema construtivo oferecido, hoje dão prioridade aos empreendimentos de habitações de baixa renda, vinculados principalmente ao PMCMV. É importante ressaltar este fato, pois na época em que foi realizada a visita à empresa, a mesma ainda não estava totalmente direcionada à produção em série (o que acontece hoje).

A justificativa para essa mudança de foco foi o fato de que agora o sistema construtivo já é aprovado pela CEF para os empreendimentos do programa. Além do fato de que a pré-fabricação de modelos produzidos em série se mostra muito mais viável logística e financeiramente do que a adaptação do sistema de produção para atender a um projeto específico que não será repetido novamente.

Algumas questões técnicas que interferem diretamente no desenvolvimento dos projetos e do produto final também foram ressaltadas. Como exemplo, se pode citar as questões de logística, que são um dos principais desafios a serem superados no decorrer do processo de produção e de obra (montagem no canteiro).

Primeiro, porque o maquinário disponível se limita a painéis contínuos de até 11m de comprimento, aproximadamente. Segundo, devido ao custo e às condições de transporte dos painéis no trajeto da fábrica até o canteiro. Ou seja, mesmo que a indústria possibilitasse a produção de painéis de maiores dimensões, o transporte não seria viável, pois se limita às dimensões das carretas disponíveis no mercado.

Dessa forma, a altura máxima do painel é limitada em 3,20m. Durante o trajeto, os painéis são acomodados sobrepostos horizontalmente, por ser a opção mais viável

²³ Não foram permitidos registros de imagens (fotografias ou vídeos) no local. O registro da visita foi feito através de anotações das pesquisadoras e gravação de áudio durante a reunião que aconteceu no período da manhã.

com relação ao custo. No entanto, não com relação à qualidade, visto que os impactos das vibrações durante o transporte são mais suscetíveis quando estão acomodados sobrepostos do que se estivessem alinhados verticalmente.

Quanto às estruturas de cobertura, foi possível confirmar aquilo que já havia sido notado na execução do protótipo construído no campus: os únicos elementos pré-fabricados do subsistema são as treliças. O restante da estrutura é montado no local. Geralmente, as telhas mais utilizadas ainda são as cerâmicas que, mesmo com bom desempenho térmico, exigem a instalação de um forro com isolamento de 90mm de lã de vidro.

As experiências com a utilização de telhas de PVC, que em certo momento da pesquisa foram sugeridas pela empresa, por serem de fácil transporte e manuseio e se apresentarem no formato de chapas - aumentando a velocidade de instalação no canteiro -, não foram positivas, visto a demanda de isolamento termo acústico para complementar o sistema e a fragilidade do material.

Quando questionado sobre a implantação de um sistema modular para as coberturas das UH pré-fabricadas, o profissional ressaltou que é algo possível, apesar de não haver um modelo como este na produção atual da fábrica. Ele afirmou que o desafio é viabilizar logisticamente o sistema, pois muitos terrenos não oferecem condições espaciais propícias para a montagem dos módulos pré-fabricados.

Outro ponto da discussão que merece ser ressaltado é o fato de que a linha de produção da fábrica é, até certo ponto, adaptável ao projeto que será executado. Dessa forma, o arquiteto afirmou que trabalhar com vários projetos diferenciados ao mesmo tempo acaba sendo uma dificuldade para a produção. Assim, acabou se consolidando um dos pontos que levaram a empresa a redirecionar seu foco às produções em massa de HIS.

Após a primeira etapa da reunião, as pesquisadoras presentes fizeram uma visita guiada pela fábrica. Para que haja melhor compreensão do sistema de produção, é necessário levantar alguns pontos importantes:

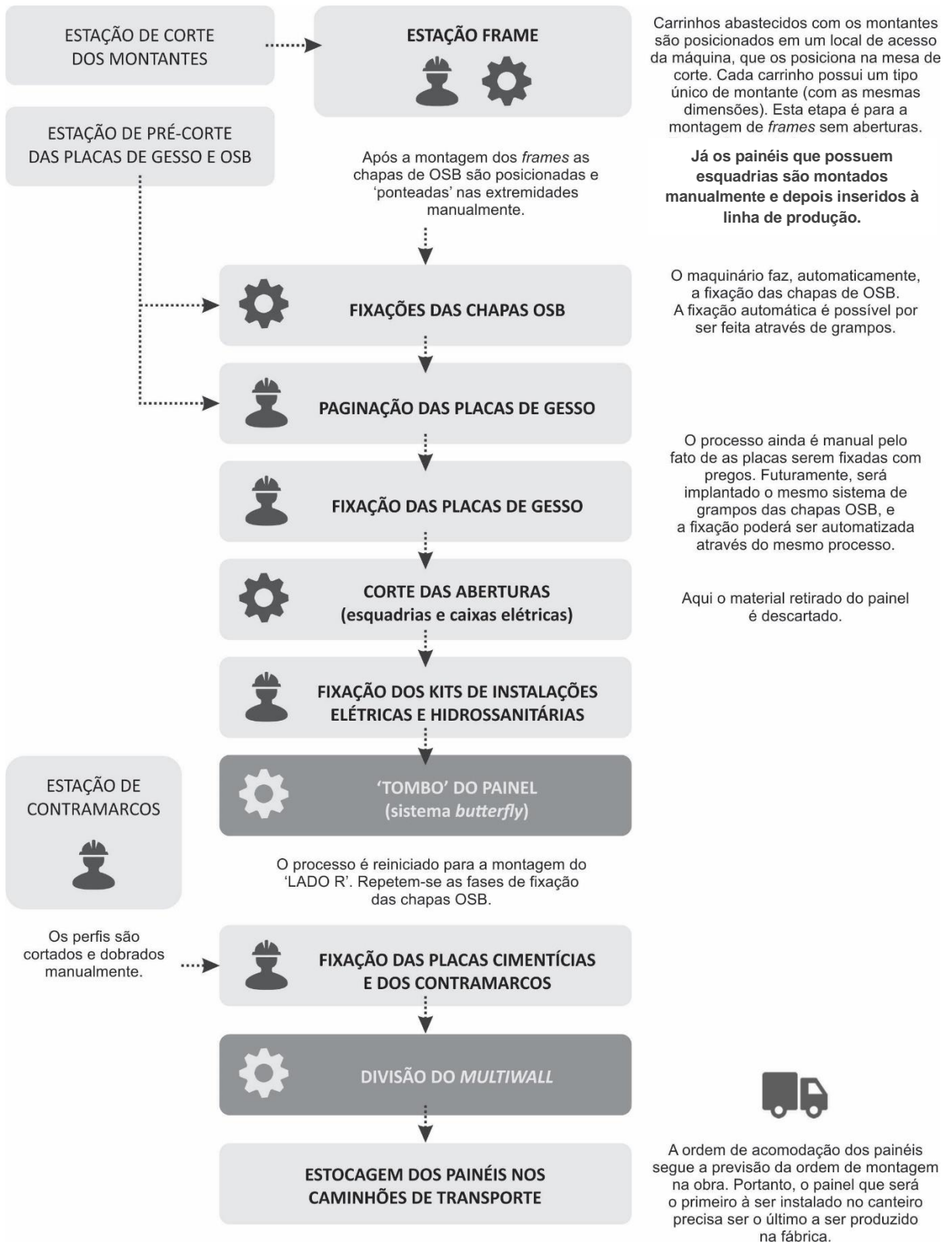
1. Os painéis possuem denominações específicas para as superfícies internas e externas. As internas (acabamento em placas de gesso) são chamadas de “LADO L”, enquanto as externas (acabamento em placas cimentícias) são chamadas de “LADO R”.

2. As estações de produção (“mesas”) possuem 10m de comprimento, e funcionam no sistema “*butterfly*”, onde o painel, após finalizada a etapa de montagem de um dos lados, é tombado (através da inclinação das mesas posicionadas paralelamente que fazem um movimento de fechamento uma em direção à outra – semelhante ao das asas de uma borboleta, e daí o nome “*butterfly*”) para que o outro lado possa ser trabalhado.

3. Os painéis são produzidos no sistema de “*multiwalls*”, onde diferentes painéis de dimensões menores começam a ser fabricados como uma mesma peça contínua e, em certo ponto do processo, são divididos. Segundo os gestores, essa é uma forma de otimizar o trabalho do maquinário disponível.

Ressaltados esses pontos, é possível exemplificar com mais clareza o processo de produção na fábrica. A Figura 22 (próxima página) expõe, de maneira mais simplificada, as etapas do processo de produção, ressaltando as fases mais industrializadas e aquelas que demandam o trabalho manual dos operários.

FIGURA 22: Etapas de produção dos painéis de LWF



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Concluindo a visita à empresa, percebeu-se que o foco do modelo de industrialização está na montagem dos painéis, enquanto os subsistemas de cobertura ainda são executados praticamente da maneira convencional, utilizada em construções que não aderem aos componentes pré-fabricados.

Neste ponto, avalia-se que esta lacuna no projeto e na produção teria potencial para ser preenchida por proposições passíveis de serem produzidas com a tecnologia oferecida pelo maquinário e logística da empresa.

Conhecendo de perto a tecnologia, é possível reconhecer quais seriam as restrições de produção que poderiam direcionar a proposta projetual do subsistema de cobertura adotado na unidade ZEMCH.

QUADRO 10: Direcionamentos projetuais extraídos da visita à empresa

PONTOS IDENTIFICADOS	JUSTIFICATIVA
Os painéis ou <i>multiwalls</i> devem ser limitados ao comprimento máximo de 11 metros	As estações de produção (mesas de corte) não comportam dimensões superiores
A altura final dos painéis deve ser limitada à altura máxima de 3,20 metros	Os caminhões de transporte não comportam dimensões superiores
A linha de produção da fábrica é adaptável ao projeto ²⁴	O maquinário e a logística da fábrica permitem esta flexibilização no processo de produção

FONTE: Elaborado pela autora, 2016

4.2 Decisões de Projeto

Para que as primeiras intenções projetuais para o subsistema de cobertura fossem propostas, era necessário levar em consideração: as fases anteriores do projeto desenvolvidas até então e já apresentadas; as restrições colocadas pelo sistema construtivo adotado para a unidade; a previsão de cômodos anexos (customizações) que poderiam ser adicionados posteriormente ao módulo base da casa; e as premissas de pré-fabricação e industrialização, modularidade e customização em massa.

²⁴ Com ressalvas. Desde que dentro das limitações do maquinário.

No decorrer deste subcapítulo, alguns croquis acompanharão o desenvolvimento do texto, a fim de ilustrar o processo de design colaborativo, registrando as discussões geradas durante as reuniões realizadas com a equipe de projeto multidisciplinar e justificando algumas das decisões aqui apresentadas. Os desenhos são fruto do processo projetual, e de autoria dos membros da equipe.

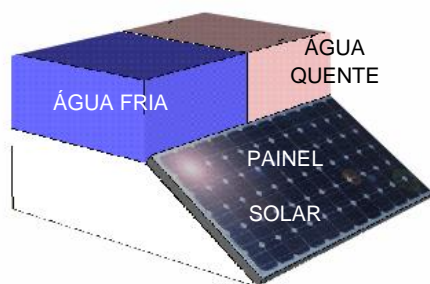
Uma das primeiras decisões tomadas pela equipe fazia referência ao tipo de telha a ser utilizado no projeto. Partindo do pressuposto de que telhas de dimensões maiores (compostas no formato de chapas) possibilitam velocidade de montagem no canteiro, favorecendo as premissas da industrialização, os projetistas concordaram em adotar o uso de telhas térmicas metálicas (conhecidas como telhas sanduíche).

Com esta definição, também era necessário prever o posicionamento dos reservatórios de água (caixa d'água e boiler) e suas implicações no desenho da cobertura em desenvolvimento, visto que a Resolução nº 166 de 15/09/2010 do Ministério das Cidades consolida a aplicação dos sistemas de aquecimento solar nos empreendimentos vinculados ao PMCMV, tornando esta, uma das especificações pertinentes ao desenvolvimento do projeto.

Discussões prévias da equipe geraram a proposta de um sistema de reservatório de água e aquecimento solar integrados em um componente único, industrializado e propondo uma instalação simples que possibilitasse a flexibilidade de posicionar o artefato voltado para a melhor orientação solar em cada situação.

Segundo Guadanhim *et al.* (2015) sistemas parecidos já são utilizados em diversos países e poderiam servir como base para desenvolver uma solução apropriada ao contexto brasileiro.

FIGURA 23: Proposta inicial para o sistema de aquecimento solar



“A ideia básica é propor um conjunto que pode ser instalado em uma base horizontal e de acordo com a orientação solar da casa, com o controle de qualidade, confiabilidade, baixo custo e pouca manutenção - possíveis em caso de produção em massa. Os estudos ainda estão em estágio inicial e seu desenvolvimento depende de parcerias com a indústria.” (GUADANHIM, MOURA, *et al.*, 2015)

FONTE: (GUADANHIM, MOURA, *et al.*, 2015)

Apesar de parecer uma boa solução, a equipe chegou à conclusão de que, pelo menos neste estágio do projeto, não seria viável trabalhar com a possibilidade de instalação deste sistema, visto que este é um artefato que precisaria ser desenvolvido em parceria com a indústria e, até o momento, o grupo de pesquisadores não contava com nenhum membro especializado nesta área de desenvolvimento tecnológico.

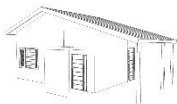
Dessa forma, a equipe optou por trabalhar as soluções de projeto levando em consideração o sistema convencional de instalação dos reservatórios e das placas solares, onde caixa d'água, boiler e placas podem ter instalação independente.

Visando encontrar a melhor forma de aplicar ao subsistema de cobertura uma solução industrializada que permitisse a CM das unidades de habitação, era necessário eleger algumas opções de volumetria para que os estudos de modularidade fossem aplicados.

E então, inicialmente, a equipe optou por trabalhar com três opções de composição do módulo base:



1. Telhado de uma água com caimento para a direção da lavanderia;



2. Duas águas com cumeeira central e caimento para frente e fundos do lote;



3. Duas águas com cumeeira central e caimento para as laterais do terreno.

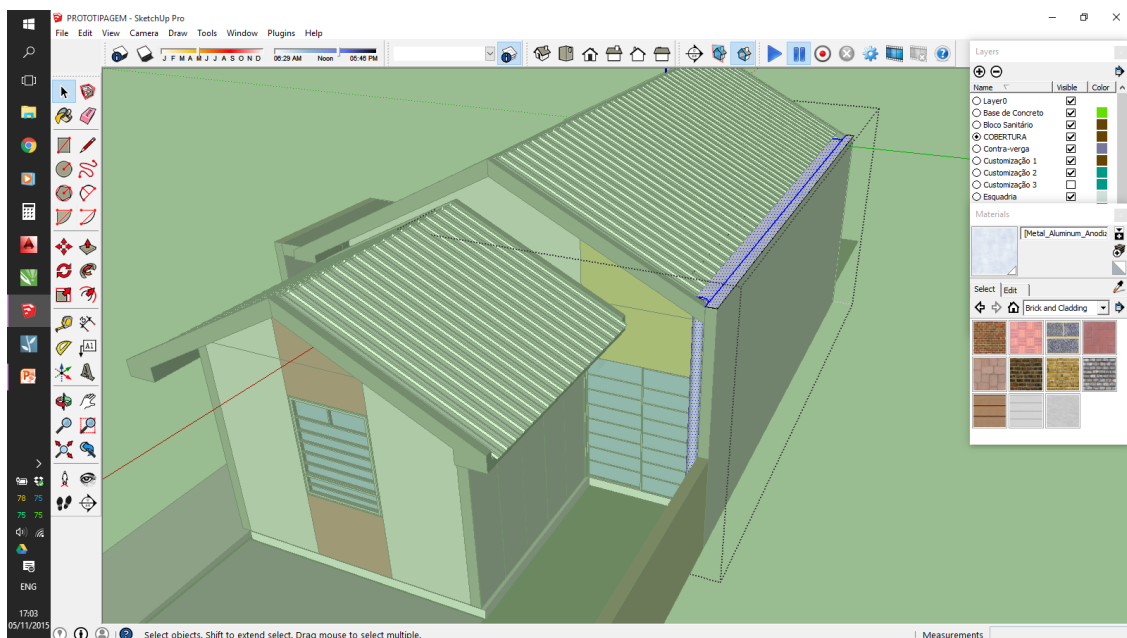
Essas foram as composições adotadas primeiramente devido ao fato de abrangerem uma gama variável e usual de desenhos de cobertura, possibilitando o trabalho com as futuras opções de customização.

Desde o início, os projetistas optaram por não trabalhar com telhados embutidos utilizando platibanda, pois apesar de a tecnologia construtiva estar apta a impedir vazamentos e infiltrações entre o contato do subsistema de cobertura e o subsistema de vedação das unidades, priorizou-se o uso de telhados que facilitassem o escoamento das águas pluviais, evitando possíveis patologias geradas por falta de manutenção ou problemas com o sistema de calhas.

Entretanto, o fato de a edificação estar localizada na divisa lateral do lote, logo inviabilizou a terceira opção de módulo base proposta até aqui, afinal, para que fosse adotado o telhado convencional de duas águas nesta situação, seria necessária a utilização de platibanda com calha na parede da divisa.

Através do uso da prototipagem virtual foi possível analisar a inviabilidade da proposta e visualizar possíveis soluções para a restrição. Entretanto, após algumas discussões e estudos preliminares a equipe optou por descartar esta opção - devido ao grande risco de vazamentos que poderiam levar à deterioração da parede - e investigar ao longo do processo novas possibilidades de customização.

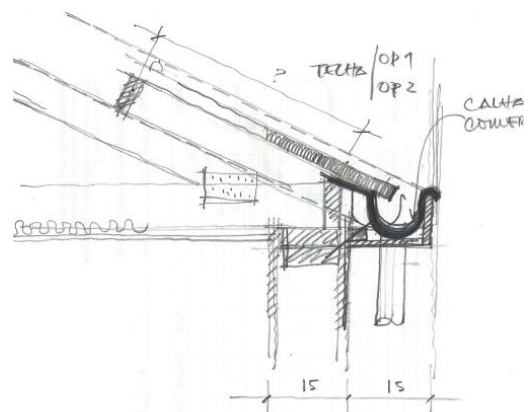
FIGURA 24: Restrição de projeto identificada durante o processo projetual



FONTE: Elaborado pela autora, 2015

FIGURA 25: Estudo relacionado ao posicionamento da calha lateral

Ainda durante o processo de investigação, foram discutidas alternativas para que a calha fosse posicionada na parte externa da parede, gerando uma fresta de 15cm entre a lateral de divisa e a parede da unidade. Entretanto, apesar das discussões, a alternativa se mostrou inviável.



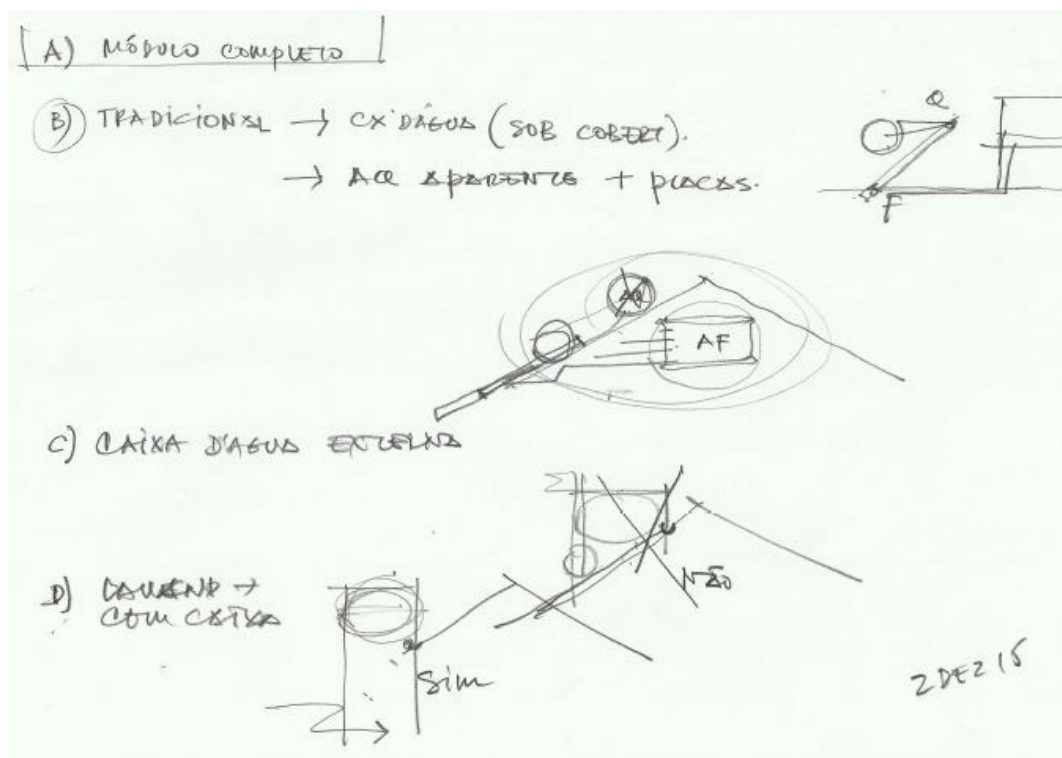
FONTE: ZEMCH Brazil, 2015

Outra decisão de projeto adotada inicialmente, pelo fato de condicionar toda a solução posteriormente proposta para o subsistema de cobertura, foi admitir que a caixa d'água seria acomodada sob a estrutura do telhado.

Após a investigação de qual seria o melhor local para a instalação do reservatório, a equipe concluiu que, acomodando o mesmo sob a cobertura, não seria necessário propor uma estrutura extra para o abrigo da caixa d'água e nem gerar cortes de telha desnecessários para que esta fosse acomodada.

O croqui abaixo ilustra o processo de tomada de decisões, onde se investigou desde a utilização do sistema de aquecimento solar e reservatório de água fria em um módulo completo único (apresentado anteriormente), até a proposta de conceber um volume externo exclusivo para abrigar os reservatórios.

FIGURA 26: Investigação acerca do posicionamento dos reservatórios



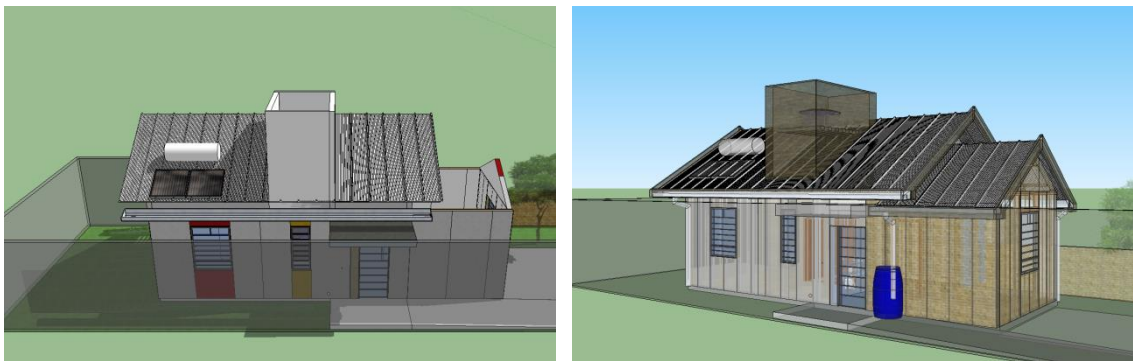
FONTE: ZEMCH Brazil, 2015

Outro ponto importante para esta tomada de decisão foi o fato de que este volume externo, relativamente grande para as proporções da unidade, configurava, além de novas calhas e rufos para a cobertura, um elemento gerador de

sombreamento na superfície das placas solares, comprometendo assim a eficiência do sistema.

Portanto, a solução foi adotada como forma de evitar problemas técnicos e de interferência entre os elementos da cobertura; reduzir custos desnecessários eliminando os materiais que seriam utilizados na composição deste volume externo; e evitar o corte de telhas, que poderiam gerar pontos propícios a infiltrações e dificultar a repetição de telhas do mesmo formato nas diferentes possibilidades de customização da UH.

FIGURA 27: Interferência entre o volume da caixa d'água e subsistemas da cobertura



FONTE: Elaborado pela autora, 2015

Por fim, a equipe concluiu que utilizando soluções de cobertura com telhados que adotassem sempre a mesma inclinação, a intercambialidade entre os componentes e módulos do subsistema seria facilitada.

Para que a inclinação comum às diferentes opções de módulo base em estudo fosse definida, foi levado em consideração escolher um ângulo que não restringisse o sistema apenas à utilização de telhas metálicas. Outro ponto considerado foi o cálculo de uma inclinação que possibilitasse altura suficiente para abrigar a caixa d'água. Assim, chegou-se ao valor de 30%.

Entende-se que com foco nas restrições impostas ao projeto deste estudo de caso, as telhas térmicas metálicas são as mais apropriadas até o momento. Entretanto, a possibilidade de utilização de telhas cerâmicas ou do sistema Shingle, por exemplo, que não se adequam às restrições de custos e às premissas de industrialização aqui propostas, não deixam de ser uma alternativa de customização do conjunto, visto que o sistema proposto prevê uma estrutura capaz de suprir os requisitos necessários para a utilização de outros tipos de telhas.

Definidos os requisitos gerais para a composição dos telhados do módulo base, o foco de desenvolvimento do projeto foram as soluções para a cobertura dos cômodos anexos à estrutura original da casa, que conformariam as opções de customização.

As soluções a serem previstas incluíam um dormitório e um banheiro extra, e a possibilidade de cobertura da garagem. Além ainda das áreas de lavanderia e de proteção do acesso da casa, que não compõem as opções de customização, mas não estavam contempladas pela cobertura principal do módulo base.

A fim de minimizar o número de variação dos componentes e módulos do subsistema e priorizar a utilização de elementos pré-fabricados, assumiu-se para a cobertura da lavanderia, do acesso principal e do banheiro extra um elemento composto de fibra de vidro que funciona como uma espécie de “bandeja” e é fixado à estrutura dos painéis.

A opção pelo material partiu das discussões feitas entre a equipe de projetistas do Projeto ZEMCH *Brazil*, pautados na ampla utilização da fibra de vidro para a produção de inúmeros produtos, incluindo componentes voltados para a construção civil.

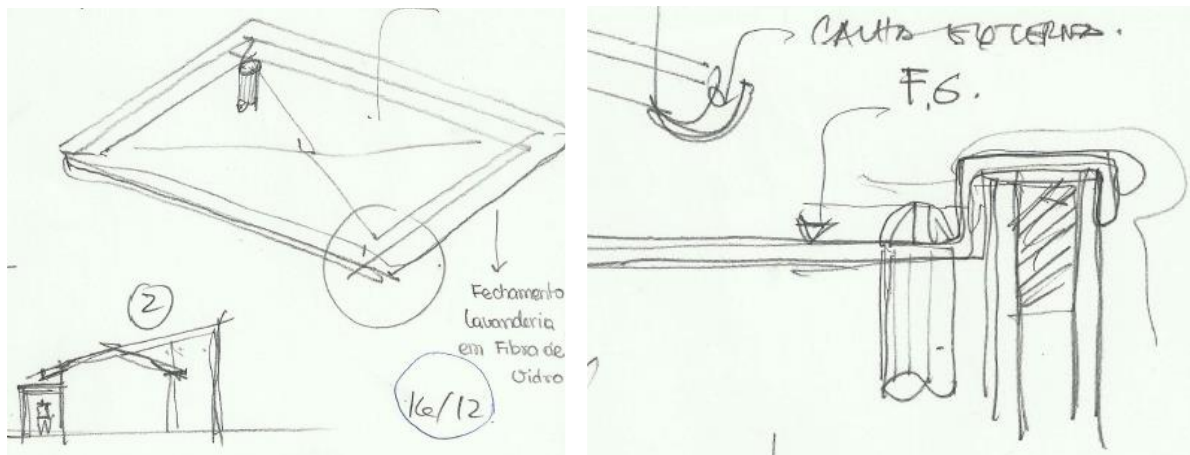
“A aplicação de fibra de vidro na construção civil pode ocorrer nas variadas etapas citadas, podendo ser utilizada em vários dos subsistemas construtivos (instalações, acabamentos, estrutura). [...] Como acabamento, ela pode ser utilizada como painel de vedação interna ou **externa**, trazendo benefícios como leveza e **durabilidade**.” (ORTENZI, 2007, p. 2; grifo nosso).

O autor ainda destaca que a utilização de componentes em fibra de vidro são uma alternativa para os projetos que buscam trabalhar com as premissas da construção seca e da pré-fabricação, visto que é um material leve, que resiste bem tanto a altas quanto a baixas temperaturas e que oferece isolamento termo acústico (ORTENZI, 2007).

Ao se fazer uma rápida pesquisa buscando elementos de fibra vidro alternativos àqueles utilizados no subsistema convencional de cobertura (telhas cerâmicas, fibrocimento, entre outros), é possível encontrar uma variedade de fornecedores que trabalham com telhas de fibra de vidro e claraboias pré-fabricadas do mesmo material. Assim, a proposta da alternativa para a cobertura do banheiro extra, da lavanderia e do acesso da UH, se faz viável.

Para possibilitar o escoamento das águas pluviais, a proposta é de que haja uma inclinação mínima na superfície do componente para que a água seja direcionada aos coletores. Ressalta-se também a interface de ligação entre o componente e os painéis em LWF, que se dá por encaixe, promovendo a proteção dos topos dos painéis e visando a estanqueidade do subsistema.

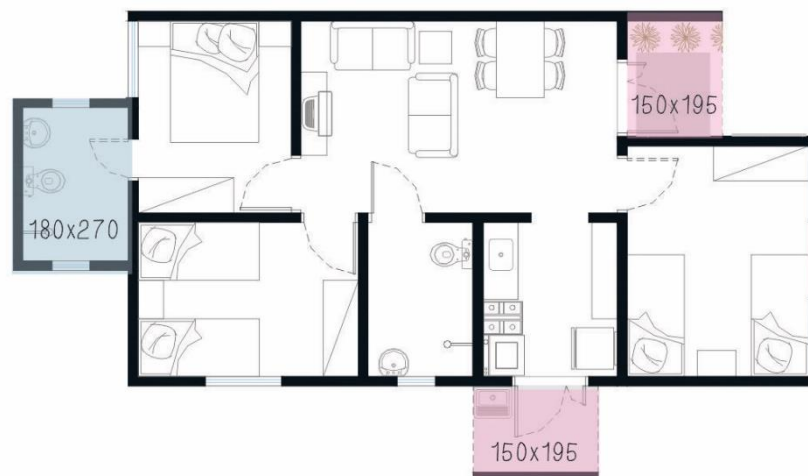
FIGURA 28: Estudo de concepção da bandeja de fibra de vidro e detalhe de encaixe no painel em LWF



FONTE: ZEMCH Brazil, 2015

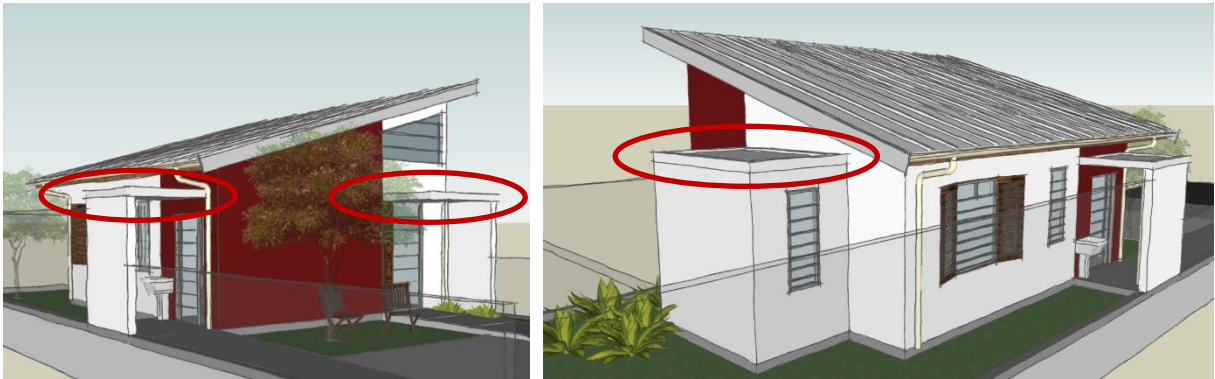
O componente viria pronto de fábrica e com variação entre dois tamanhos: o primeiro com dimensões de 150x195cm - para cobertura do acesso principal e da lavanderia - e o segundo com 180x270cm - para cobertura do banheiro.

FIGURA 29: Planta de localização dos componentes em fibra de vidro



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

FIGURA 30: Áreas cobertas com os componentes em fibra de vidro



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Já as soluções de cobertura adotadas para o dormitório extra e para a garagem, partiram do mesmo princípio proposto para o telhado principal: utilizar a mesma inclinação de 30% e prever soluções compatíveis com os modelos de cobertura do módulo base.

Assim, foram sugeridas, inicialmente, duas configurações de cobertura para os módulos de customização:



1. Telhado de uma água com caimento lateral (que poderia ser espelhado);



2. Duas águas com cumeeira central e caimento para as laterais do lote.

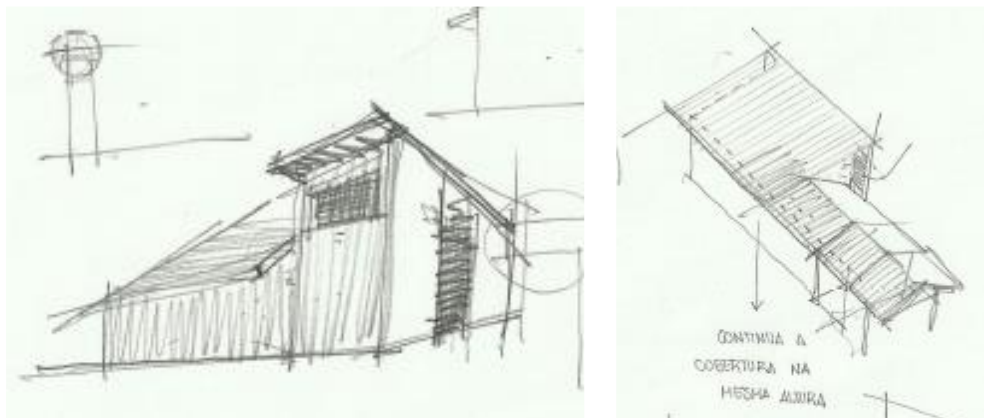
Com estas opções pré-definidas, o processo de experimentação foi sendo desenvolvido no decorrer da pesquisa. Os modelos tridimensionais auxiliavam a pesquisadora na visualização das compatibilidades e incompatibilidades ao testar as combinações dos módulos base com as customizações propostas, e serviam como ferramenta de comunicação entre os membros da equipe.

Durante esse processo, verificou-se que algumas variantes de produto (possibilidades de combinação) não eram viáveis, e assim foi possível descartar algumas opções e visualizar a possibilidade de propor novas.

Um exemplo foi a discussão acerca do avanço do beiral, tanto nos módulos da base quanto nos das customizações. Inicialmente, o projeto não contemplava avanços da cobertura nas faces passíveis de receber um cômodo anexo. Ou seja, a base não poderia ter avanço de beiral para que não houvesse interferência quando recebesse o anexo do dormitório, e este, tinha a mesma restrição, pois receberia a cobertura da garagem.

Assim, como ilustrado pela Figura 31, em um primeiro momento algumas possibilidades de customização inviabilizavam o avanço de beiral do módulo base. Durante as discussões, assumiu-se que, para permitir esse avanço, seria necessário descartar algumas opções de customização e permitir a outras que, quando não fosse possível acoplar o telhado das customizações abaixo da estrutura do telhado principal, fossem contínuos a esta, na mesma altura.

FIGURA 31: Estudo relacionado à interferência do avanço dos beirais do módulo base



FONTE: ZEMCH *Brazil*, 2015

No decorrer das reuniões, a equipe concluiu que era necessário priorizar a vida útil dos painéis em LWF e, para isso, os beirais eram proteção imprescindível contra intempéries. Dessa forma, combinações como a ilustrada pela Figura 32 foram descartadas, e outras soluções foram desenvolvidas.

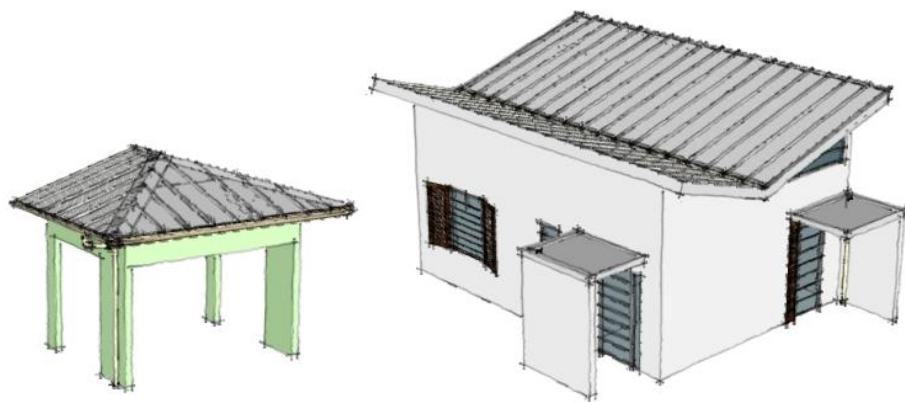
FIGURA 32: Interferência entre módulo base e customização ao permitir o avanço do beiral



FONTE: Elaborado pela autora, 2015

Esta fase de experimentação e discussão das possíveis variantes de produto entre os pesquisadores do grupo gerou ainda mais uma opção de customização, composta por um telhado de três águas (duas com caimento lateral e uma na direção da frente do lote); e uma nova possibilidade de cobertura para o módulo base, na configuração de telhado borboleta.

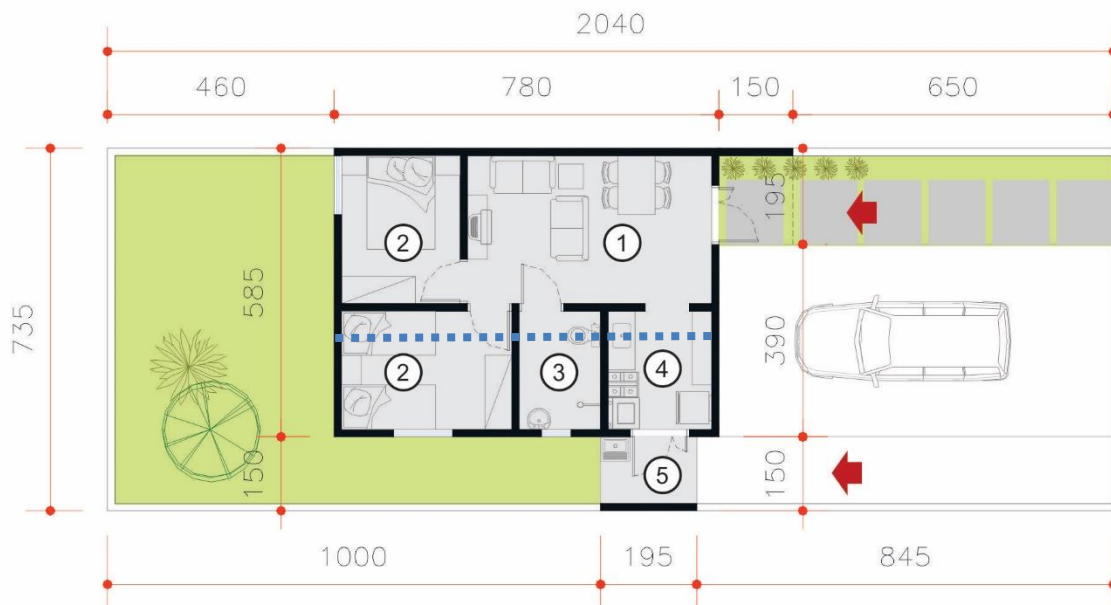
FIGURA 33: Novas opções de customização e módulo base



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Esta última, apesar da calha central, que configurava uma das restrições adotadas até então, pareceu pertinente por aumentar a gama de opções de customização através de combinações possíveis com os módulos já existentes. A calha, ao contrário daquela proposta na cobertura convencional de duas águas com caimento para as laterais do terreno, que se encontrava contígua a extensão da parede de divisa, é descentralizada (representada pelo eixo pontilhado na Figura 34) e tem seu apoio em paredes intermediárias, onde é possível propor um acabamento que proporcione maior proteção em caso de uma eventual infiltração. Além disso, os coletores poderiam ser posicionados nos shafts das áreas molhadas.

FIGURA 34: Esquema de localização da calha central - telhado borboleta



FONTE: Elaborado pela autora (a partir do projeto do Grupo ZEMCH *Brazil*), 2016

No decorrer do processo projetual, havia ainda um entrave relacionado à altura final da casa. Em certo ponto do desenvolvimento, foi percebido que, proporcionalmente, a altura da UH não era coerente com suas dimensões e, para os padrões das HIS, um pé-direito muito alto não era justificável, devido à economia de recursos e de materiais que deveria ser prevista em projeto. No entanto, alguns pontos haviam condicionado a solução a qual se tinha chegado:

- O desenvolvimento do subsistema de cobertura partiu de um projeto pré-definido onde os painéis que compunham as paredes da unidade estavam especificados com altura total de 3 metros (segundo decisões registradas no trabalho de Nogueira, 2016), e a cobertura, desenvolvida como um subsistema independente seria agregada a esta dimensão final;
- Inicialmente, optou-se por priorizar a acomodação dos reservatórios de água fria e água quente sob a cobertura, e trabalhar com uma coluna d'água que gerasse pressão de água satisfatória nos chuveiros e torneiras, implicando em prever um espaço adequado entre o ponto do chuveiro e a base da caixa d'água, visto que a NBR 5626/98 (ABNT, 1998) especifica que quanto maior a altura destinada à coluna d'água, maior pressão esta terá ao ser distribuída nos diferentes pontos hidráulicos da unidade.

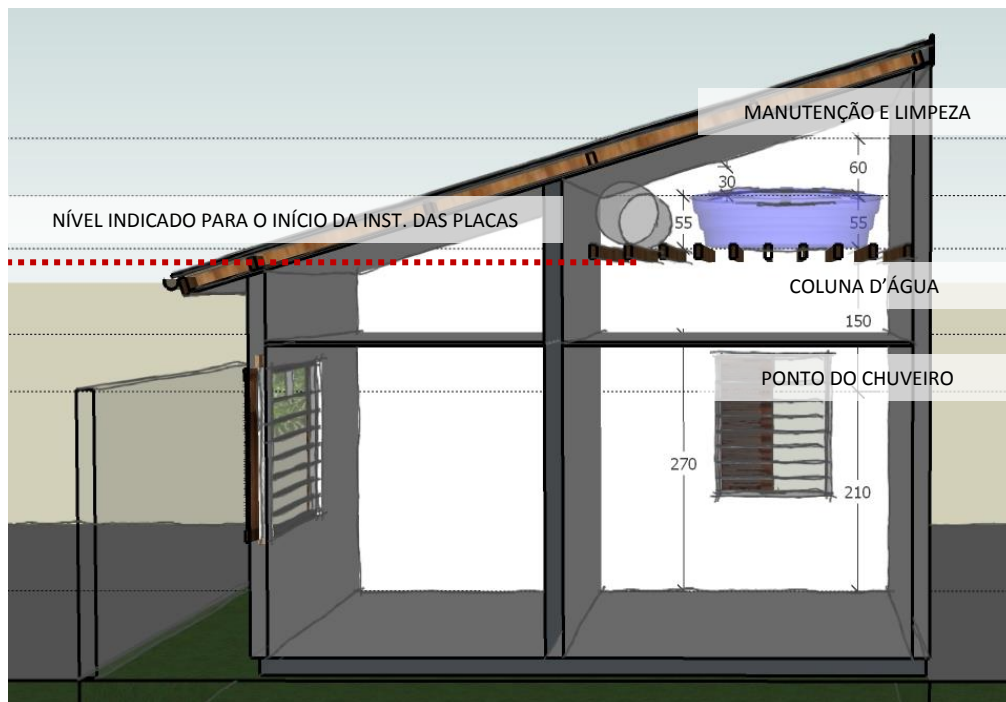
Frente a estas questões, foram feitas novas alterações no projeto. Inicialmente, optou-se por trabalhar com uma coluna d'água de 150cm e, para que não fosse necessário aumentar ainda mais a altura da casa, optou-se por uma caixa d'água de modelo específico, de 500L, indicada para telhados mais baixos por possuir altura total de 55cm e dimensões de base maiores, totalizando 185cm de diâmetro da boca do reservatório com tampa. Assim, com dimensões menores em altura, seria possível prever ainda uma área satisfatória para manutenção e limpeza do reservatório.

FIGURA 35: Exemplo de modelo de caixa d'água adotado inicialmente



FONTE: <<http://www.planetadascaixas.com.br/caixasdaguade500litros/caixa-d-agua-multiuso-500-litros-fortlev.html>> Acesso em: Julho de 2016

FIGURA 36: Restrições e interferências com relação à localização dos reservatórios de água



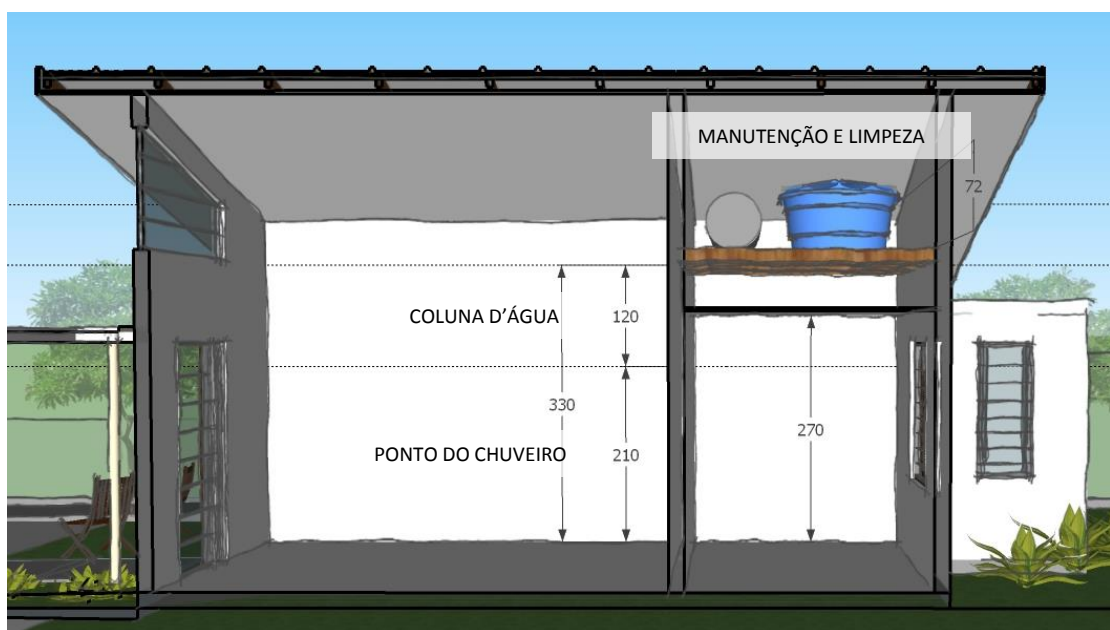
FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Entretanto, esta configuração não obteve sucesso, visto que o ponto mais alto da cobertura totalizava 5,10m de altura e, mesmo assim, não possibilitava o desnível suficiente indicado para iniciar a colocação das placas solares (que deve ser de, no mínimo, 20cm entre o reservatório de água quente e as mesmas).

Nas reuniões seguintes de discussão do projeto a equipe reavaliou a altura adotada para a coluna d'água, que condicionava a localização dos demais elementos do subsistema. Uma das pesquisadoras, que acompanhou de perto o desempenho das unidades de um CHIS²⁵ localizado em Londrina e subsidiado pelo PMCMV, relatou que o projeto dessas unidades previa apenas 100cm de intervalo entre o ponto do chuveiro e a base do reservatório de água fria e que, esta dimensão era suficiente para que a água tivesse pressão satisfatória e que o sistema de aquecimento funcionasse bem.

Assim, a equipe optou por reduzir a coluna d'água para 120cm e experimentar a utilização de uma caixa d'água de 500L com as dimensões convencionais, que apesar de ser um pouco mais alta do que o modelo adotado até então, possui uma base menor, que possibilitaria um espaço mais adequado para acomodar o boiler sob a cobertura.

FIGURA 37: Esquema de instalação dos reservatórios de água fria e água quente

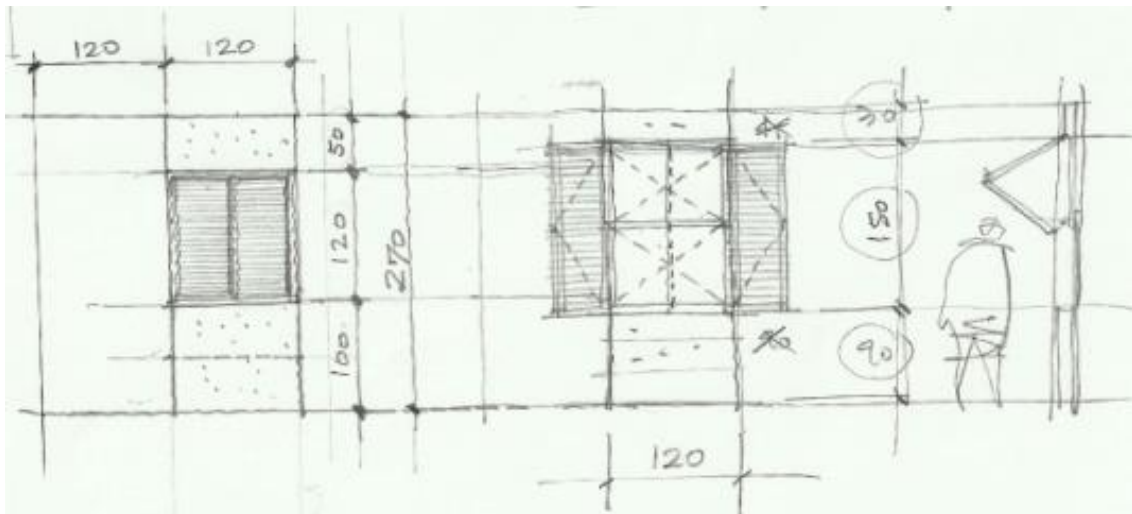


FONTE: Elaborado pela autora, 2016

²⁵ Conjunto Vista Bela.

A partir dessas sugestões, a modelagem do protótipo virtual permitiu verificar que também era possível diminuir a altura dos painéis que compunham as paredes de 3m para 2,70m, visto que esta dimensão era compatível aos componentes disponíveis comercialmente e continuava dentro da modulação proposta para a UH nas etapas anteriores a esta pesquisa.

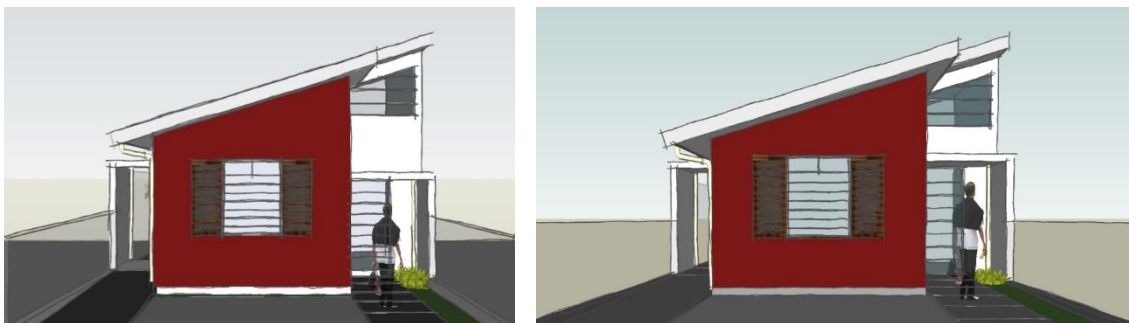
FIGURA 38: Estudo de modificação da altura dos painéis e adaptação das alturas de peitoris e vergas dentro da modulação proposta anteriormente



FONTE: ZEMCH Brazil, 2016

Assim, a altura final da unidade passou de 5,10m para 4,80m. Apesar de não parecer uma diferença significativa, ao comparar as imagens geradas pelos protótipos modelados com as paredes de 3m às do protótipo onde a altura dos painéis diminuiu para 2,70m, pode-se verificar que a proporção da casa é muito mais adequada, além de gerar economia de recursos e materiais.

FIGURA 39: Estudos de volumetria - unidade com painéis de 3m comparada ao modelo com painéis de 2,70m



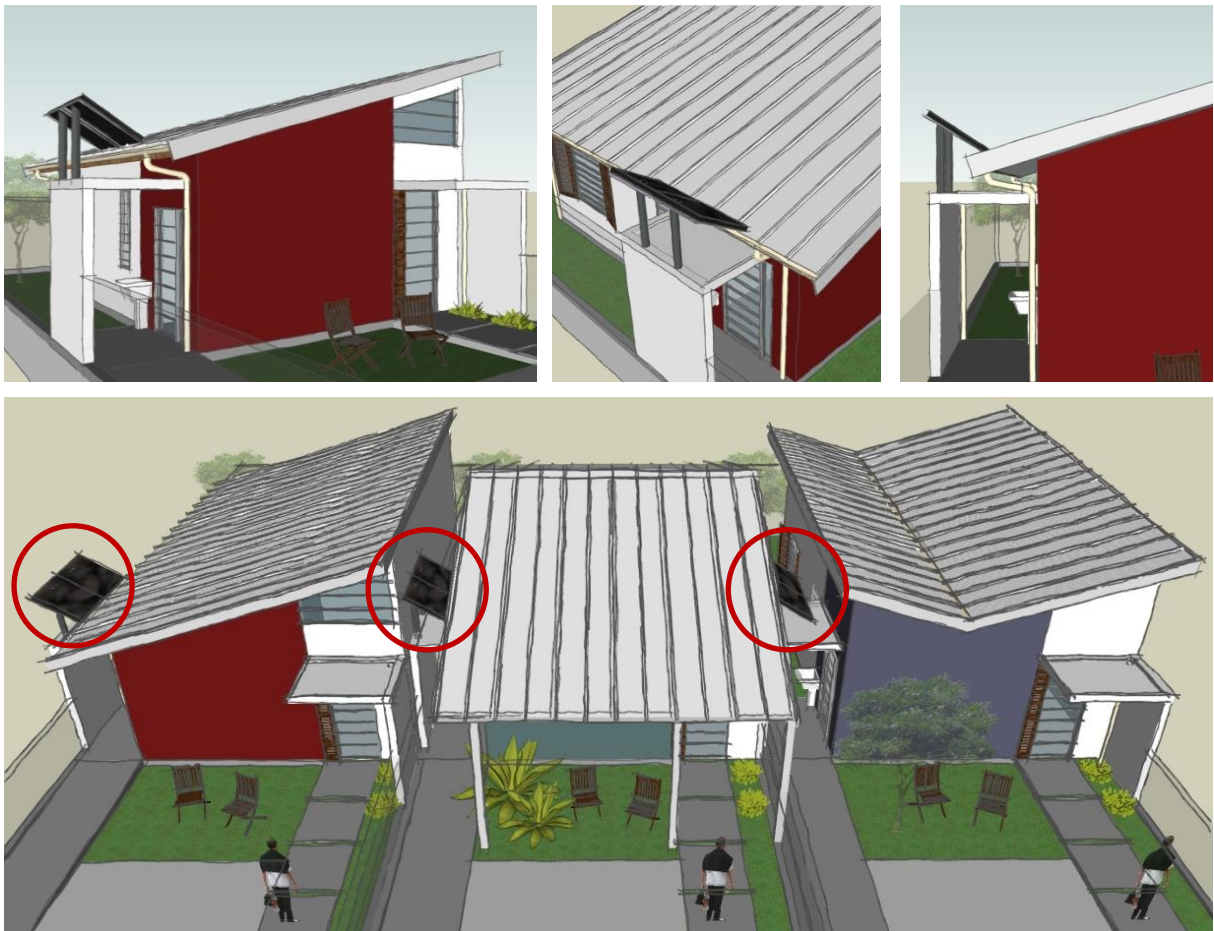
FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Com a nova configuração dos reservatórios, também foi possível reposicionar as placas solares. Concluiu-se que tanto as dimensões da superfície quanto a altura da cobertura da lavanderia seriam adequadas para a instalação das mesmas.

Apesar de a solução ser viável para todas as opções de módulos base disponíveis, este ainda é um dos pontos que está sob investigação no projeto, visto que a equipe também cogitou a possibilidade de utilizar as próprias placas como estrutura de cobertura para a lavanderia.

Entretanto, por não influenciar diretamente a configuração geral do subsistema de cobertura proposto, o posicionamento das placas solares ainda será estudado e avaliado pela equipe, paralelamente ao desenvolvimento desta pesquisa.

FIGURA 40: Sugestão de posicionamento das placas solares sobre a cobertura da lavanderia



FONTE: Elaborado pela autora, 2016





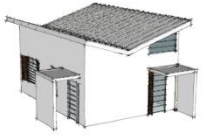

Apesar de o foco deste trabalho ser a investigação de diretrizes projetuais que permitam a aplicação da estratégia de CM através da modularidade, as questões de eficiência energética também acompanharam as decisões de projeto tomadas até

aqui. Visando proporcionar conforto térmico e acústico aos ambientes internos da unidade, adotou-se o forro inclinado para a área comum da sala, que segue o desenho da cobertura e proporciona um pé-direito mais alto. Nos demais ambientes, o forro horizontal pode ser instalado entre 2,70m a 3m do piso.

Por fim, é importante ressaltar que a concepção do projeto não é finalizada nesta etapa. Seu desenvolvimento segue paralelamente às investigações pertinentes a esta pesquisa e, as decisões aqui tomadas, serão submetidas pela equipe a simulações térmicas e detalhamento técnico dos componentes e subsistemas que compõem a UH.

Para que os próximos subcapítulos sejam compreendidos com mais clareza, o quadro abaixo organiza os desenhos de cobertura propostos até aqui, tanto para os módulos base quanto para os módulos de customização.

QUADRO 11: Opções de cobertura - Módulos base e customizações

MÓDULOS BASE		MÓDULOS DE CUSTOMIZAÇÃO	
B1		X	
B2		Y	
B3		Z	

FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Para os módulos base ficaram definidas três variantes: B1, B2 e B3. A Base 1 (B1) é constituída pelo telhado de uma água com caimento para a lateral do lote (na direção da lavanderia).

A Base 2 (B2) contempla uma cumeeira central que conforma um telhado de duas águas com caimento para frente e fundos do terreno. Pelo fato de a água da fachada principal avançar no sentido de compor uma varanda à frente da casa, esta

opção dispensa o componente de fibra de vidro que, nos outros modelos de base, é utilizado para proteção do acesso principal da UH. E a Base 3 (B3) é composta pelo modelo de telhado borboleta com calha descentralizada.

Com relação aos módulos de customização, são propostas mais três variantes, de modelos X, Y e Z. Estas variantes dizem respeito às coberturas do dormitório extra e da garagem (quando solicitadas as ampliações).

O modelo X configura a cobertura nos mesmos moldes da B1: telhado de uma água com caimento para a lateral do lote. Entretanto, ao contrário do módulo base, quando adotado para a cobertura do dormitório ou da garagem, este pode assumir caimento tanto para a lateral da lavanderia, quanto para a lateral de acesso da casa.

O modelo Y é composto pela tipologia mais usual quando a mente é remetida ao estereótipo de casa: telhado de duas águas com cumeeira central e caimento para as laterais do terreno. Enquanto o modelo Z é composto por um telhado de três águas com caimento para as laterais e para a frente do lote.

Ao avançar na leitura do texto, as variantes de produto possíveis a partir da combinação dos módulos base aos módulos de customização aqui propostos, serão expostas e exemplificadas através de imagens e diagramas.

Por fim, o quadro a seguir (Quadro 12) sintetiza as decisões tomadas durante o processo de projeto apresentando, cronologicamente, as justificativas e consequências de cada ação. Também estão registrados os membros presentes em cada reunião da equipe. Dessa forma, pode-se ter uma visão global das informações apresentadas até aqui. Algumas etapas expostas no quadro a seguir serão explicadas detalhadamente nos subcapítulos seguintes.

A análise deste quadro também é de grande importância para que seja compreendido o processo de design colaborativo. Ao se avaliar que algumas decisões foram tomadas por apenas um membro da equipe, entende-se que, dentro do processo, se faz necessário que os projetistas assumam diferentes responsabilidades pertinentes ao projeto e, ao ser necessária uma tomada de decisão deve existir a autonomia para que esta seja feita, mesmo que por apenas um membro da equipe.

Entretanto, assim como ocorreu no processo de projeto aqui descrito, sempre que foi necessário fazê-lo desta forma, a reunião subsequente contava com a apresentação desta tomada de decisão para que fosse avaliada e aprovada, ou não, pelos demais membros da equipe.

QUADRO 12: Registro do processo de tomada de decisões do projeto

DATA	DECISÕES DE PROJETO	JUSTIFICATIVA E CONSEQUÊNCIAS	MEMBROS PRESENTES
25/11/2015	Verificar a possibilidade de utilização de telhas térmicas metálicas, telhas de PVC e telhas do sistema Shingle; Estudar uma alternativa de incorporação de placas fotovoltaicas ao sistema de cobertura; Repensar a utilização de um módulo único que servisse como reservatório de água fria, água quente e base para as placas solares, como uma solução externa que pudesse ser acoplada à qualquer tipo de cobertura e rotacionada para a melhor orientação.	Algumas unidades habitacionais podem apresentar situações onde a pressão da água não será satisfatória e, apesar de ser uma boa solução do ponto de vista da estratégia de CM, a equipe de desenvolvimento do projeto não conta com membros que possuam uma formação específica para o desenvolvimento deste artefato.	Arquiteta e Urbanista (colaboradora externa); Estudante de Arquitetura (pesquisadora de IC - foco em conforto ambiental); Docente DCCI (foco em conforto ambiental); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Docente DAU (foco em sistemas construtivos em madeira); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico); Docente DCCI (foco em conforto ambiental).
02/12/2015	As três opções de módulo base pré-definidas foram: (1) 1 água com caimento para a direção da lavanderia; (2) 2 águas com cumeeira central e caimento para frente e fundos do terreno; e (3) 2 águas com cumeeira central e caimento para as laterais do terreno.	Era necessário definir opções iniciais de desenho da cobertura para que fosse possível investigar a possibilidade de adequar as propostas à modularidade e às premissas de um conjunto submentido à customização em massa.	Arquiteta e Urbanista (colaboradora externa); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico).
16/12/2015	Após discussão sobre o assunto, definiu-se que a opção de utilizar a telha de PVC (sugerida por um dos gestores da empresa parceira em nosso último encontro, por ter sido uma solução viável em alguns empreendimentos executados pela empresa), seria descartada; Sugeriu-se adotar um componente modular de fibra de vidro que servisse como cobertura tanto para a área da lavanderia, quanto para o acesso principal da residência; Por fim, a opção de cobertura de 2 águas com caimento para as laterais do terreno também foi descartada.	O material (PVC) é muito frágil e, para alcançar os níveis de conforto térmico e acústico esperados, precisaria de camadas extras de isolante e forro (o que significaria um custo maior para cada unidade, e que poderia ser diminuído adotando-se outro tipo de telha). A opção foi descartada devido ao fato de gerar problemas referentes à localização das calhas que seriam posicionadas na divisa do lote.	Engenheiro Civil (docente DCCI); Arquiteta e Urbanista (colaboradora externa); Arquiteta e Urbanista (mestranda ENGES); Docente DCCI (foco em gestão e processo de produção); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Estudante de Arquitetura (pesquisadora de IC); Docente DAU (foco em sistemas construtivos em madeira); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico).
20/01/2016	Os módulos-base propostos até então deveriam abrigar a caixa d'água sob a cobertura; Foram apresentadas 2 opções de módulos de customização: (1) uma água lateral (que poderia ser espelhada e ter caimento para o outro lado do terreno); (2) duas águas laterais com cumeeira central.	Dessa forma, não seria necessário um volume extra para abrigar o reservatório, evitando também o recorte de telhas, que iriam gerar pontos vulneráveis à infiltrações.	Estudante de Arquitetura (pesquisadora de IC); Estudante de Arquitetura (pesquisadora de IC - foco em conforto ambiental); Arquiteta e Urbanista (mestranda ENGES); Docente DCCI (foco em conforto ambiental); Docente DCCI (foco em gestão e processo de produção); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Arquiteta e Urbanista (colaboradora DAU); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico); Docente DCCI (foco em conforto ambiental).
27/01/2016	Definiu-se adotar uma inclinação padrão para todas as opções de cobertura: 30%. Optou-se por avançar a proteção do beiral em todos os módulos (tanto nas bases quanto nas customizações). Dessa forma a combinação da base de uma única água com o anexo de 1 água invertida foi descartado. Foi adotada mais uma opção de cobertura para os módulos de customização: telhado com 3 águas (cumeeira central com 2 águas com caimento lateral e 1 água com caimento para a frente do terreno).	Dessa forma, mesmo desenvolvendo o projeto a partir da utilização de telhas metálicas, é possível utilizar outros tipos de telhas, oferecendo mais um item de customização do sistema de cobertura. Visto que o sistema wood frame tem sua vida útil prolongada se as decisões de projeto levarem em consideração elementos de proteção dos painéis contra as intempéries.	Estudante de Arquitetura (pesquisadora de IC); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico); Docente DCCI (foco em conforto ambiental).
02/02/2016	VISITA TÉCNICA À EMPRESA DE TECNOLOGIA PARCEIRA	Com relação aos sistemas de cobertura, o que se produz na fábrica são apenas as tesouras. Já com relação aos componentes e linha de produção dos painéis, foi possível apreender a tecnologia adotada pela empresa e extrair, a partir disso, restrições projetuais.	Arquiteta e Urbanista (mestranda ENGES); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa).
04/03/2016	Mais um módulo base foi adicionado ao projeto. Este, com a proposta de telhado borboleta.	Dessa forma, a gama de customização pode ser ampliada, utilizando os mesmos módulos anexos do dormitório extra, e a mesma inclinação dos telhados anteriormente propostos.	Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa).
23/03/2016	Com três opções de módulos base definidas, e mais três de módulos de customização, os painéis para vedação dos frontões da cobertura foram modulados de forma a utilizar o maior número de componentes iguais na composição das diferentes propostas de customização.	Modulando os componentes em uma chapa de 240x390cm seria possível abranger todos os elementos sem perda de material.	Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa).

DATA	DECISÕES DE PROJETO	JUSTIFICATIVA E CONSEQUÊNCIAS	MEMBROS PRESENTES
12/04/2016	Concluiu-se que a modulação feita previamente necessitaria de chapas (tanto de OSB, como cimentícias) com medidas fora do padrão comercial e mais espessas, devido às dimensões propostas.	Com chapas maiores, apesar de poderem ser feitas sob medida no caso da produção em escala, seria necessário aumentar a espessura para evitar que a superfície sofresse deformações, o que implicaria em custos extra.	Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico).
29/04/2016	Os painéis de vedação dos frontões foram remodelados utilizando chapas OSB de 120x240cm com espessura de 9,5mm, e placas cimentícias de mesmo formato, com espessura de 12mm. As telhas foram posicionadas de forma a evitar o maior número de recortes e perda de material.	As espessuras das placas seguem as mesmas utilizadas nas paredes da unidade habitacional. Adotando estas dimensões, já foi também previsto o transpasse mínimo de 15cm recomendado entre as chapas cimentícias e de OSB.	Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico).
10/06/2016	Reunião de verificação das decisões de projeto. Verificar a utilização de um modelo de caixa d'água convencional e instalar as placas solares na superfície de cobertura da lavanderia.	O reservatório utilizado até então apresentava restrições quanto à instalação correta do boiler e das placas solares, inviabilizando o sistema.	Docente DCCI (foco em gestão e processo de produção); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico); Docente DCCI (foco em conforto ambiental).
15/06/2016	Reunião de verificação das decisões de projeto.	Encerramento das modificações de projeto na UH adotada como objeto do estudo de caso.	Engenheira Civil (docente DCCI - coordenação ZEMCH <i>Brazil</i>); Arquiteta e Urbanista (mestranda PPU - autora da pesquisa); Docente DAU (foco no projeto arquitetônico).

LEGENDA	
	Etapas de discussão de avanços e restrições impostas ao desenvolvimento do projeto / atividade projetual
	Etapas de tomada de decisão
	Etapas de verificação (<i>feedback</i>)

OBS.: As cores diferenciadas no texto (**preto**, **azul** e **vermelho**) foram destacadas apenas para o melhor entendimento do quadro. Quando mais de uma decisão foi tomada no mesmo dia, ela faz referência à justificativa com texto de mesma cor. EX: A decisão exposta com texto na cor azul faz referência à justificativa também em azul.

FONTE: Elaborado pela autora, 2016

4.2.1 Variantes de Produto

Todo o processo projetual relatado até aqui serviu como base para que as opções de customização em massa propostas para o projeto em questão tivessem sua viabilidade verificada.

Considerando-se as propostas iniciais de combinação entre os módulos base e os módulos de customização, à medida que os estudos de modulação dos painéis e das telhas avançavam, algumas variantes de produto (opções de customização) eram inviabilizadas e outras, sugeridas.

Este processo foi parte de uma experiência de design colaborativo onde, além das instruções extraídas dos manuais técnicos, contava-se com o acompanhamento contínuo de profissionais com diferentes especialidades pertinentes ao projeto.

Assim, chegou-se às configurações de opções de CM, aqui tratadas como variantes de produto, apresentadas neste subcapítulo. Para que se tenha um melhor entendimento das informações aqui expostas, é importante ressaltar que os módulos base serão tratados pelas abreviações: B1 (Base 1), B2 (Base 2) e B3 (Base 3).

Já para os módulos de customização, adotou-se como C1 (Customização 1) a possibilidade de adição do dormitório extra; C2 (Customização 2) a possibilidade de cobertura da garagem e C3 (Customização 3) a possibilidade de adição de um novo banheiro para a unidade.

Dentre estas, as customizações 1 e 2 (C1 e C2) podem assumir as variações X, Y e Z, que fazem referência às opções do desenho de cobertura. Já a customização 3 (C3), não é dotada de variações, visto que sua cobertura é sempre composta pela bandeja de fibra de vidro padrão.

Assume-se que as opções de customização da cobertura do dormitório (C1) podem variar entre as propostas X e Y, enquanto o desenho de cobertura Z é exclusivo à C2 (garagem).

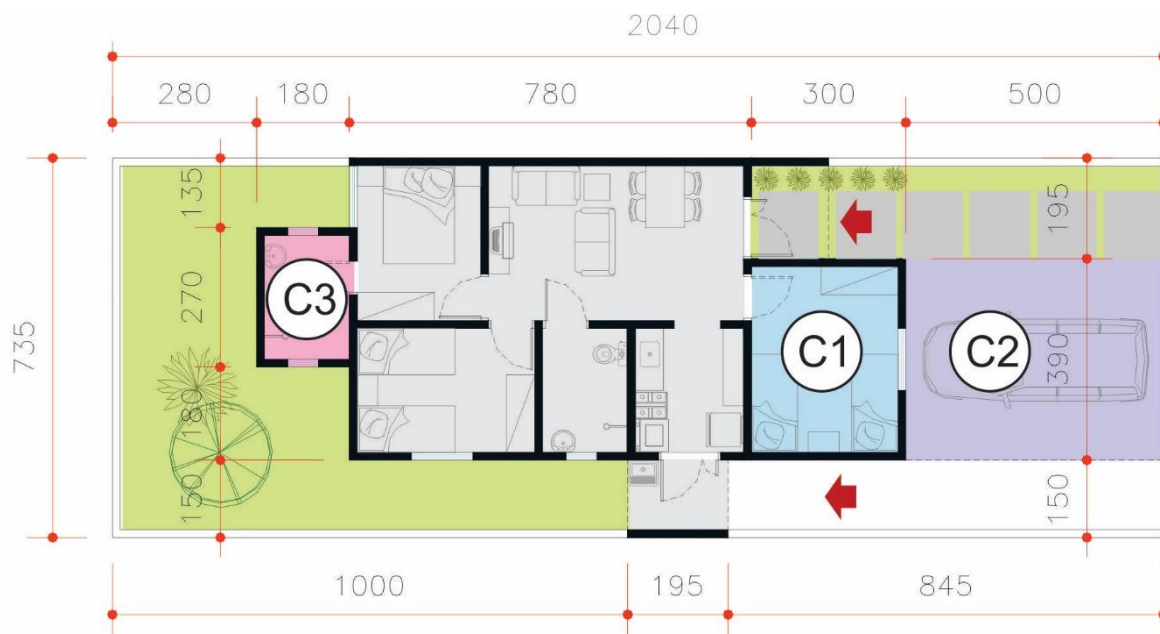
Inicialmente, são apresentadas as fachadas configuradas pelas coberturas referentes ao módulo base, oferecendo as primeiras opções de CM sem o anexo de novos ambientes à UH. Logo após, será apresentada novamente a planta baixa com as opções de customização e, por fim, serão ilustradas, sequencialmente, as variantes de produto obtidas a partir da adição de novos cômodos às bases 1, 2 e 3.

FIGURA 41: Opções de customização da cobertura para os módulos base



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

FIGURA 42: Opções de customização da planta



FONTE: Elaborado pela autora (a partir do projeto do Grupo ZEMCH *Brazil*), 2016

Conforme a Figura 42, é apresentado abaixo um quadro de áreas da unidade de habitação de acordo com as opções de customização selecionadas em planta.

QUADRO 13: Quadro de áreas da UH

MÓDULO ÁREA (m ²)	BASE	C1	C2	C3
51,48				
11,70				
16,96				
4,86				
85,00				

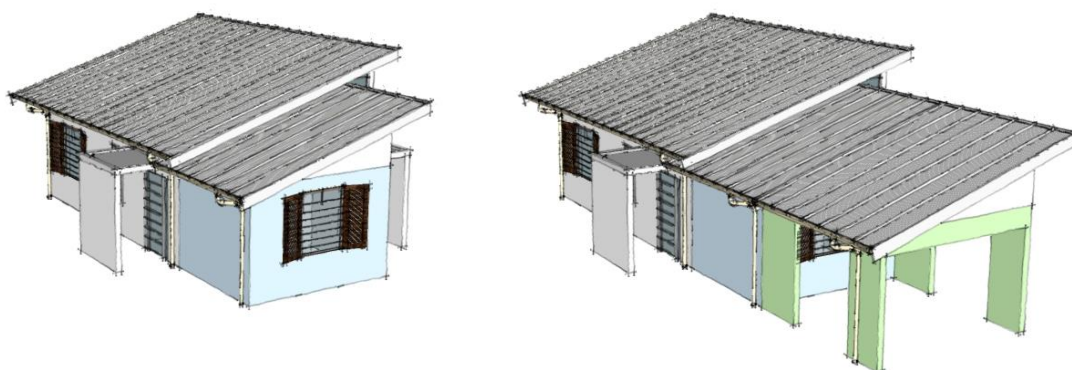
FONTE: Elaborado pela autora, 2016

4.2.1.1 Base 1 (B1)

O módulo base 1 configura a opção de cobertura de solução técnica mais simplificada. Por ser composto por apenas uma água de caimento lateral, dispensou o uso de elementos complementares, como cumeeiras, espigões, ou calhas adicionais, por exemplo.

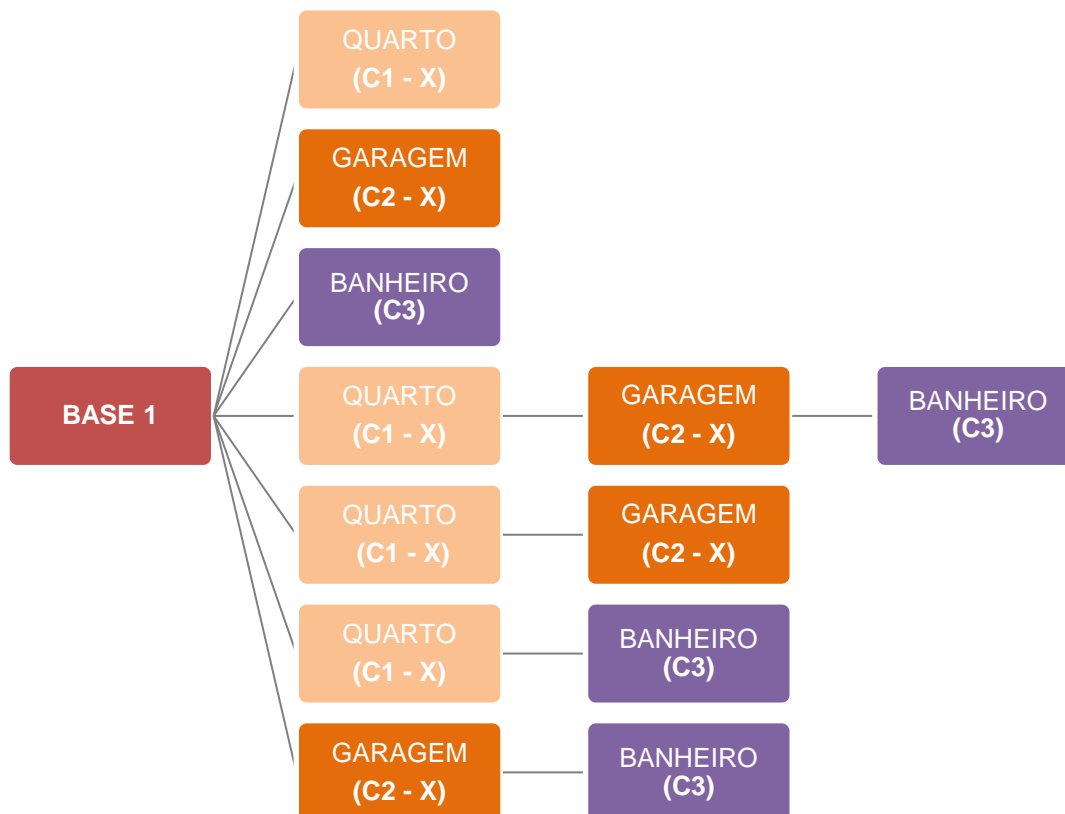
Com este módulo base, a primeira variante possível é de anexo da C1 (X), com possibilidade de expansão através da C2 de mesmo desenho (X). Assim, considerando que as variantes possíveis vão desde a adição de cada um dos módulos separadamente, passando por combinações particulares entre esses, até a adição das três opções de customização, simultaneamente, são gerados, a partir deste primeiro modelo, sete variantes de produto (Figura 44).

FIGURA 43: B1+C1(X) e B1+C1(X)+C2(X)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

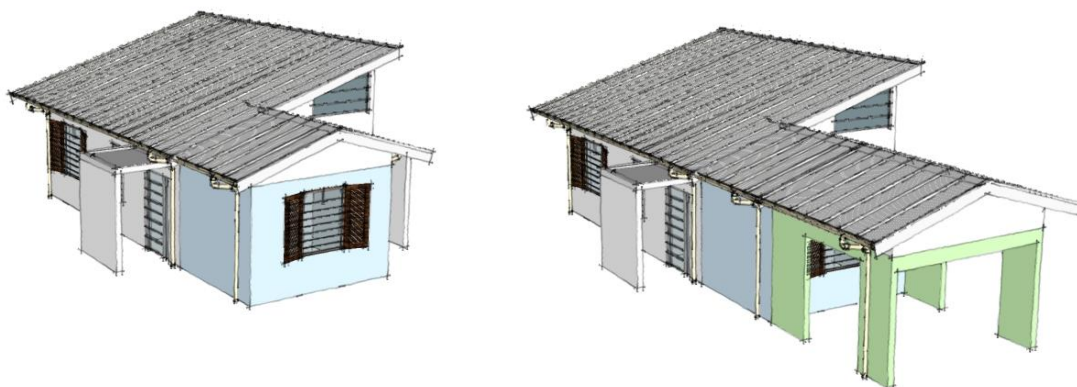
FIGURA 44: Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B1+C1(X)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Ainda com o módulo base 1, a mesma gama de variantes é gerada ao combiná-lo com o módulo de customização Y (telhado de duas águas), tanto para a adição do dormitório (C1) quanto para o prolongamento da cobertura até a garagem (C2).

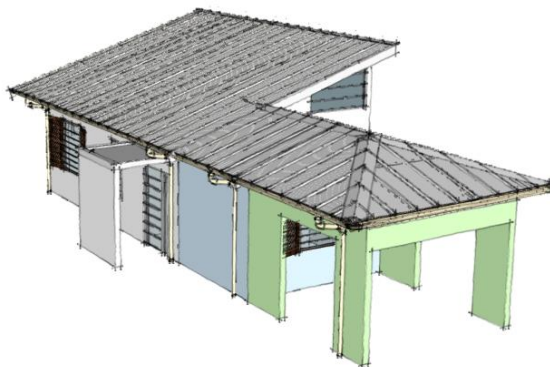
FIGURA 45: B1+C1(Y) e B1+C1(Y)+C2(Y)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

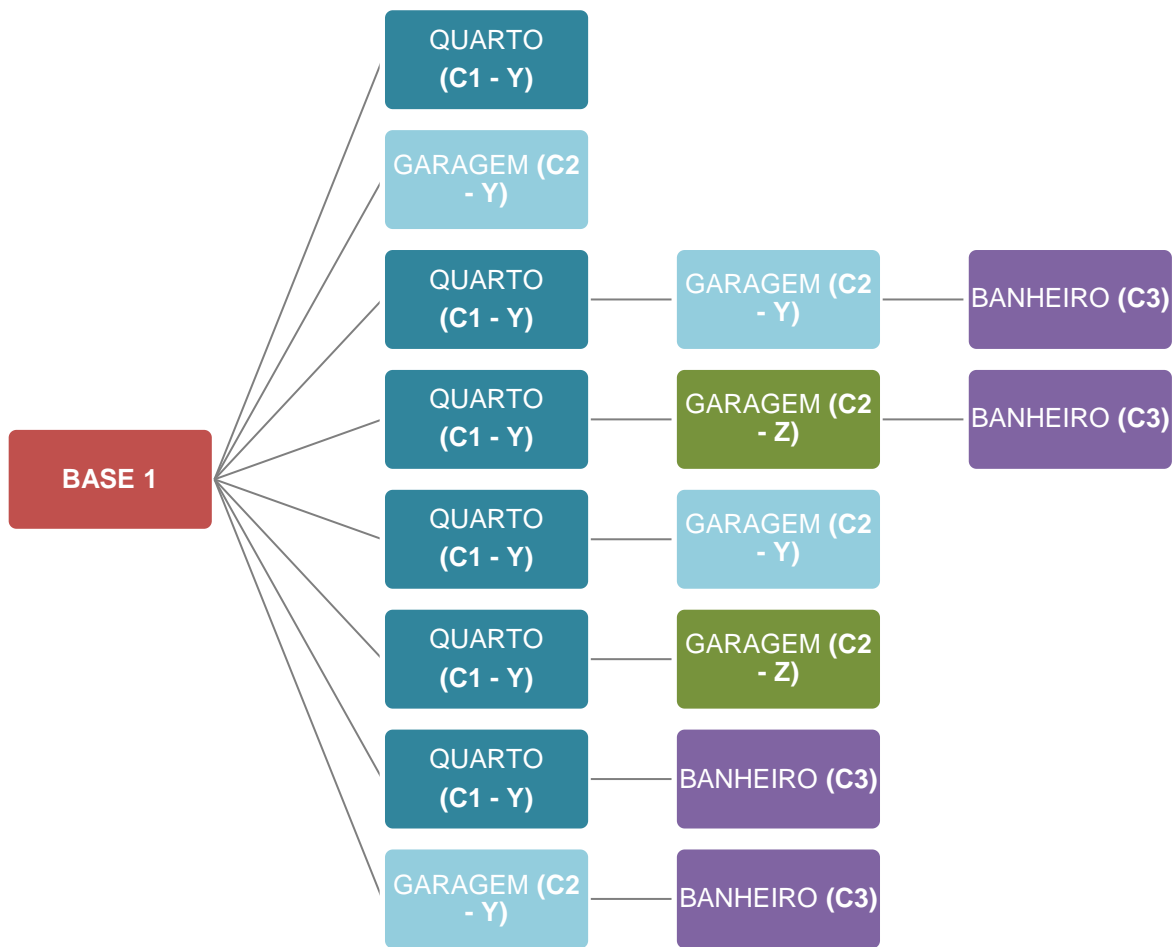
Esta solução poderia ainda assumir para a cobertura da garagem o desenho de modelo Z (telhado de três águas). Assim, a gama final de opções geradas a partir da combinação B1+C1(Y) totalizaria oito variantes de produto.

FIGURA 46: B1+C1(Y)+C2(Z)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

FIGURA 47: Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B1+C1(Y)



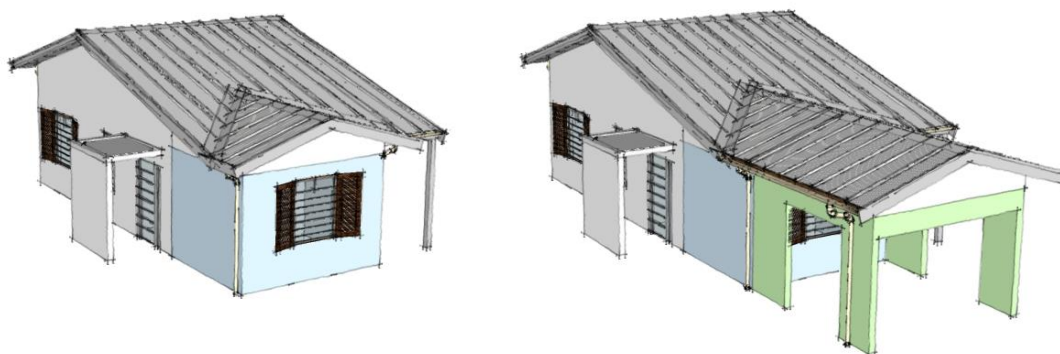
FONTE: Elaborado pela autora, 2016

4.2.1.2 Base 2 (B2)

O módulo base 2 configura a opção de cobertura na qual o telhado é composto por uma cumeeira central que une as duas águas com caimento para a frente e para os fundos do lote.

Pelas imagens é possível notar que, para que fosse viável o encontro do módulo base com os módulos de customização, era necessário que a cobertura tivesse um avanço maior na água que compõe a fachada principal da casa, a fim de que a altura desta, fosse compatível com a altura dos telhados propostos para os possíveis ambientes anexos, gerando assim uma varanda que descarta o uso da “bandeja” de fibra de vidro como marquise de proteção do acesso principal.

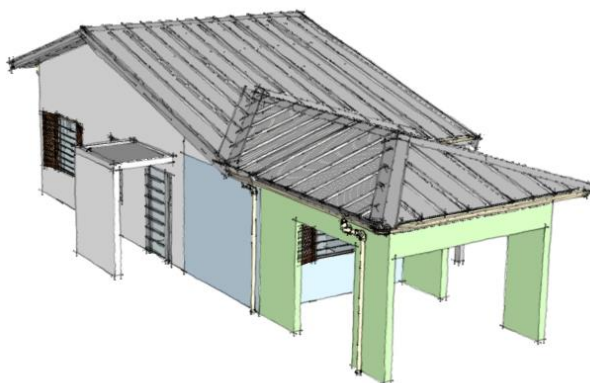
FIGURA 48: B2+C1(Y) e B2+C1(Y)+C2(Y)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Assim como ocorre no módulo base 1, ao adotar o dormitório com cobertura de modelo Y, também é gerada a opção de utilização de C2(Z), na qual o módulo de cobertura da garagem é composto pelo telhado de três águas.

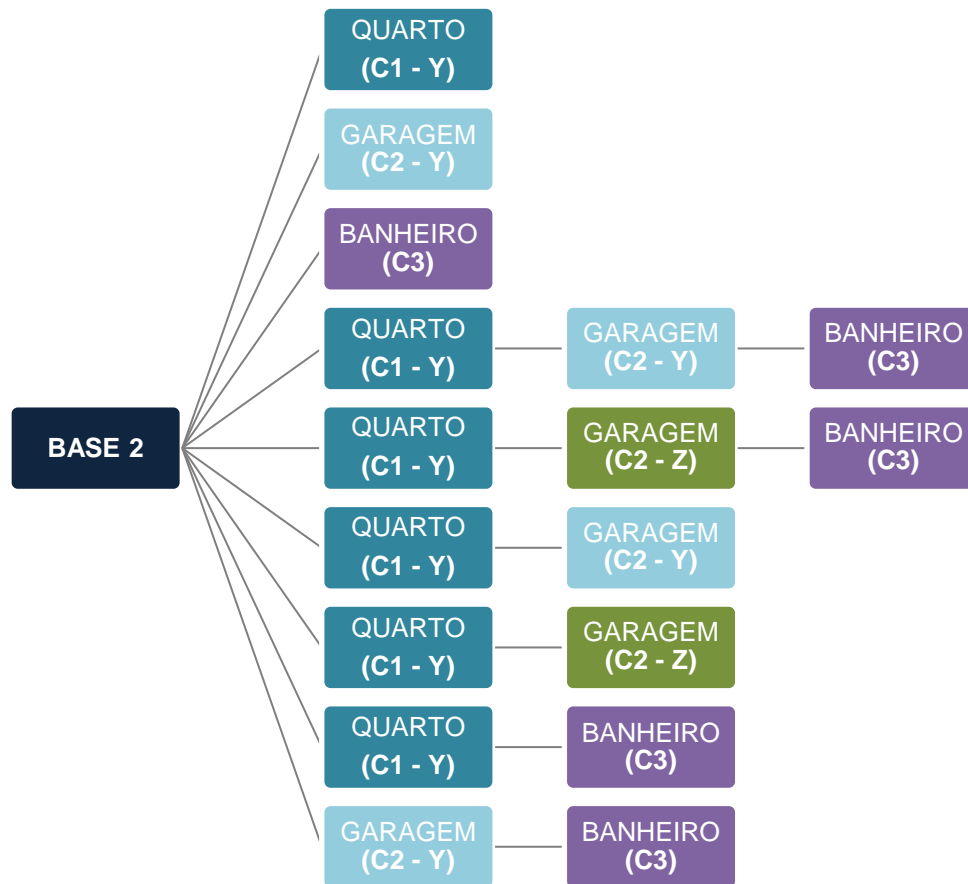
FIGURA 49: B2+C1(Y)+C2(Z)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Dessa forma, a utilização da base 2 combinada às opções de customização compatíveis, agrega mais nove variantes de produto ao projeto.

FIGURA 50: Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B2+C1(Y)



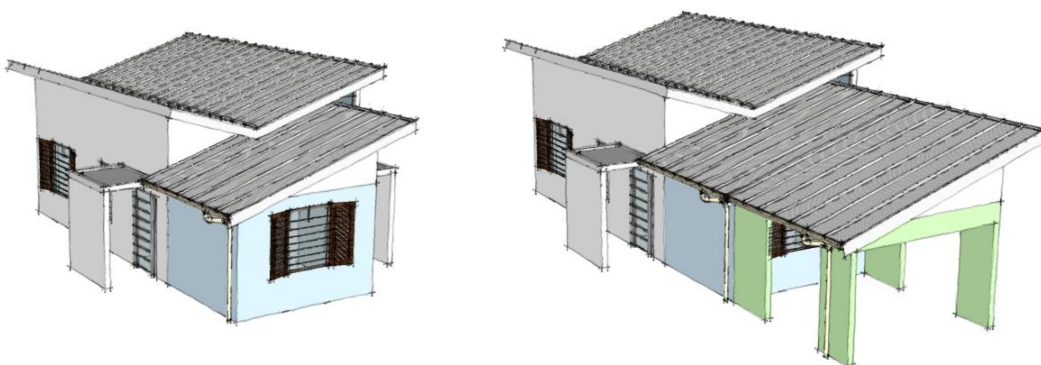
FONTE: Elaborado pela autora, 2016

4.2.1.3 Base 3 (B3)

Por fim, o módulo base 3, composto pelo telhado borboleta, configura uma interface de simples conexão com as opções de customização, visto que os módulos anexos compatíveis com esta base são sempre adicionados abaixo da cobertura principal, sem a necessidade de sobreposições de telhas da base e dos módulos de customização, quando precisam ser encontrados na mesma altura da cobertura.

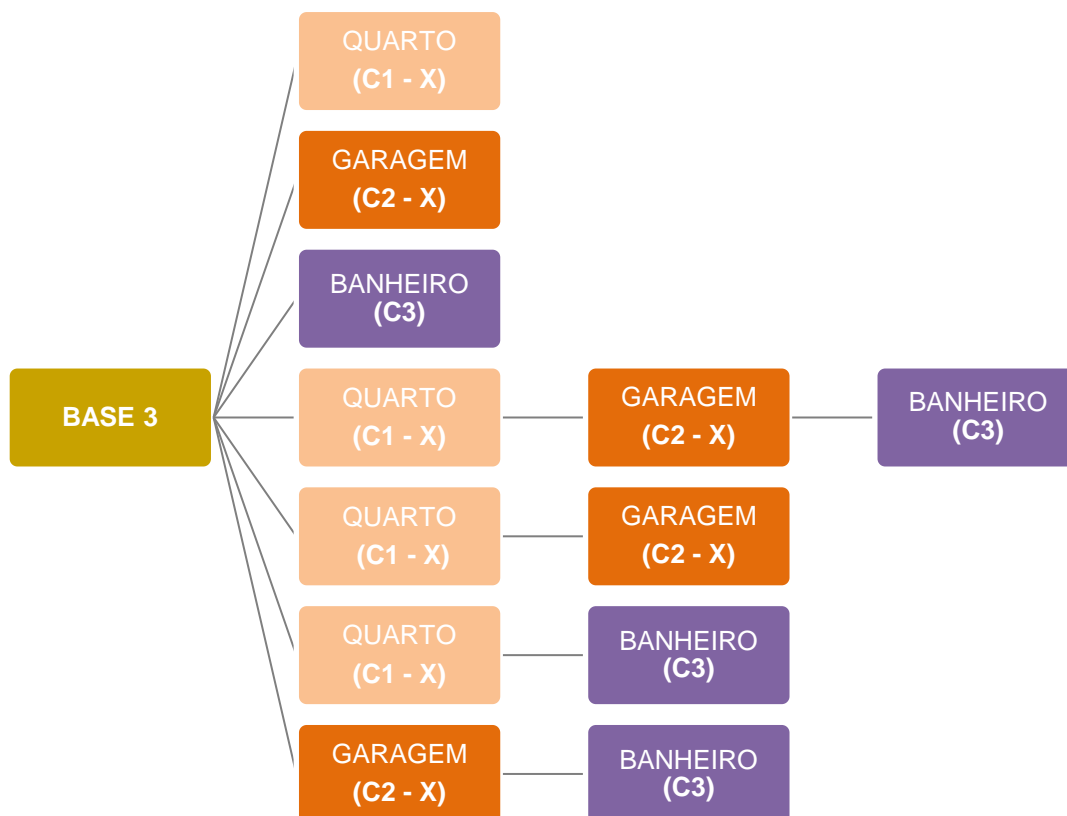
Para esta base, a primeira variante possível é com o módulo do dormitório de modelo X, que pode ser prolongado com o mesmo desenho para gerar a área coberta da garagem. Nesta opção, são geradas mais sete variantes de produto, a partir da combinação do conjunto B3 + C1(X).

FIGURA 51: B3+C1(X) e B3+C1(X)+C2(X)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

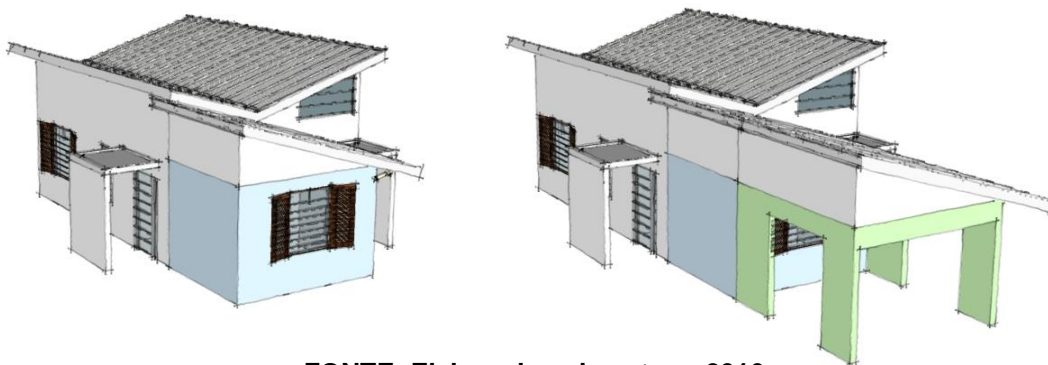
FIGURA 52: Diagrama de variantes de produto possíveis a partir da combinação de B3+C1(X)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Como última variante possível para o projeto, o módulo base 3 é o único que possibilita a utilização da customização de modelo X invertida, ou seja, o caimento de uma água lateral pode ser espelhado para o outro lado, visto que a cobertura da base permite o encaixe sob o telhado principal. Assim, mais seis variantes de produto são adicionadas à gama final de possibilidades de CM.

FIGURA 53: B3+C1(X) e B3+C1(X)+C2(X) - Módulos de customização espelhados



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Com as diferentes opções de combinação apresentadas a partir dos três módulos base e dos três módulos de customização, é gerado um total de **quarenta variantes de produto**²⁶ para a unidade habitacional aqui proposta.

O Quadro 14 (próxima página) expõe as combinações possíveis aqui apresentadas e as consequentes variantes de produto geradas. Ao analisá-lo, é possível visualizar mais facilmente como é feita a utilização dos módulos e comparar quais deles são mais intercambiáveis entre as variantes de produto.

A partir desta análise, conclui-se que o módulo Base 1 (B1) é o que possibilita o maior número de combinações entre base e customizações, gerando um total de quinze variantes de produto. Logo em seguida, a Base 3 (B3) possibilita mais treze variantes.

Por fim, B2 se mostra o módulo base menos flexível, possibilitando nove variantes de produto. Esta limitação está diretamente ligada à geometria adotada para este telhado, visto que o desenho proposto restringe sua combinação ao módulo de customização de modelo X.

Já a análise dos módulos de customização permite concluir que os dois modelos de cobertura propostos para o dormitório extra são igualmente utilizados, podendo ser combinados aos módulos base em doze, das quarenta variantes de produto, cada. Assim como a cobertura da garagem de modelo X.

Enquanto C2 (garagem) de modelo Y pode ser utilizada em mais oito variantes de produto, o modelo Z (três águas) é compatível apenas a quatro variantes.

Por fim, a opção de cobertura do banheiro através da utilização da “bandeja” de fibra de vidro se faz presente em vinte, das quarenta variantes de produto alcançada.

²⁶ Incluindo os três módulos base.

QUADRO 14: Variantes de Produto - combinações dos módulos



FONTE: Elaborado pela autora, 2017

4.2.2 Componentes do subsistema

Para que seja possível o entendimento global do projeto e das decisões que levaram à composição do subsistema de cobertura, serão apresentados os principais componentes do conjunto, os quais influenciaram, diretamente, a composição arquitetônica, modular, e técnica do estudo apresentado.

Primeiramente, é importante abordar os componentes de estrutura e vedação dos painéis em LWF. Como citado anteriormente, eles integram o elemento de fechamento dos frontões gerados pelo desenho da cobertura.

Seguindo as especificações adotadas nos painéis de composição das paredes da unidade, assumiu-se para a composição dos painéis de fechamento dos frontões da cobertura:

- Montantes com espaçamento de 60cm;
- Chapas OSB de 9,5mm (espessura) e 120x240cm (dimensão)²⁷;
- Membrana hidrófuga;
- Placas cimentícias de 8mm (espessura) e 120x240cm (dimensão);
- Placas de gesso acartonado de 12,5mm (espessura) e 120x240cm (dimensão).

É importante ressaltar que para a composição dos painéis, é necessário prever um transpasse entre as chapas OSB e as placas cimentícias. Este fator foi uma das principais condicionantes no estudo de modulação das placas.

“Na composição dos painéis, é necessário prever um transpasse mínimo de 15 centímetros entre as placas de OSB e as placas cimentícias. Essas placas devem ter as juntas desencontradas para proporcionar maior travamento no sistema (LPBRASIL, 2011). Contudo, a necessidade do transpasse cria um problema de modulação, uma vez que essa diferença de pelo menos 15 centímetros pode ser variável, e é descontada ou adicionada das placas cimentícias para fechamento do painel.” (NOGUEIRA, 2016, p. 88)

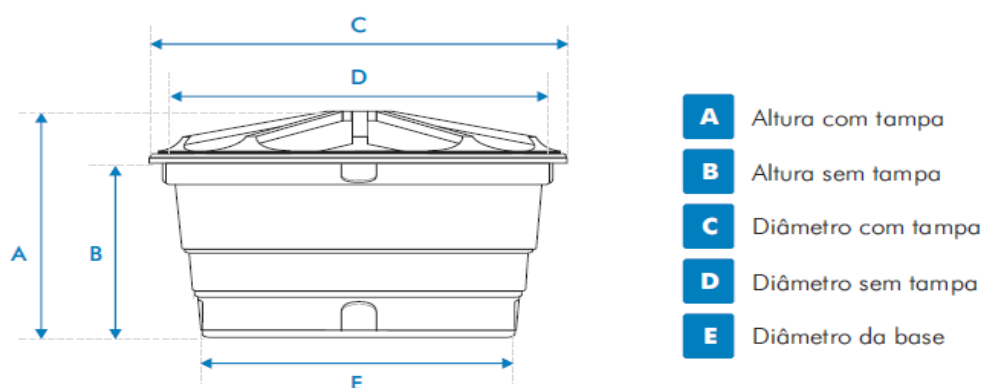
²⁷ A dimensão real da chapa disponível no mercado é de 122x244cm, entretanto, para fins da pesquisa, utilizaremos a medida aproximada e que é efetivamente utilizada após o “destopo” do material.

Com as restrições apresentadas, foi possível trabalhar a modulação das chapas e a composição dos painéis de fechamento para cada uma das opções de cobertura propostas. Este processo será detalhado no próximo tópico deste capítulo.

Além dos componentes do sistema LWF, a caixa d'água foi outro elemento de grande interferência na composição final do conjunto. Após alguns estudos com relação às dimensões e ao modelo adotado para o projeto, anteriormente apresentados nesta pesquisa, a equipe optou por adotar um modelo genérico de reservatório com capacidade de 500 litros.

Além das características técnicas e restrições do projeto, a decisão por este modelo de reservatório apresenta outro ponto positivo: por ser um modelo comum, a possibilidade de negociação de compra é maior, visto que não depende apenas de um único fornecedor, o que se mostra um ponto favorável principalmente ao analisar-se a possível redução de custos quando comparada à larga escala dos empreendimentos habitacionais.

FIGURA 54: Especificações modelo de caixa d'água



Capacidade em litros	Dimensões em metros					Pesos em quilos	
	A	B	C	D	E	Caixa vazia	Caixa cheia
100	0,51	0,41	0,75	0,73	0,54	3,80	103,80
150	0,55	0,43	0,88	0,87	0,61	4,50	154,50
250	0,68	0,53	1,00	0,98	0,74	6,40	256,40
310	0,69	0,54	1,05	1,04	0,75	7,50	317,50
500	0,72	0,58	1,24	1,22	0,95	10,06	510,06
750	0,86	0,73	1,37	1,35	1,00	14,50	764,50
1.000	0,97	0,76	1,52	1,51	1,16	17,02	1.017,02
1.500	1,05	0,83	1,77	1,75	1,43	24,21	1.524,21
2.000	1,10	0,90	1,89	1,88	1,55	34,17	2.034,17
3.000	1,49	1,21	2,28	2,22	1,72	46,74	3.046,74
5.000	2,00	1,63	2,45	2,37	1,85	95,00	5.095,00

* Dimensões e pesos aproximados.

FONTE: Catálogo técnico Fortlev, 2016

A partir das dimensões do reservatório, foi possível estudar a melhor forma de acomodá-lo sob a cobertura, prevendo as questões de integração com o sistema de aquecimento solar e analisando a maneira mais viável de transpor o entrave relacionado à altura final da casa. Assim, foram definidas as posições de instalação dos reservatórios:

- Para os módulos base 1 e 3 (telhado de uma água com caimento lateral e telhado borboleta) os reservatórios foram acomodados acima do dormitório localizado na parede de divisa do lote;
- Para o módulo base 2 (duas águas com caimento para frente e fundos do lote) os reservatórios estão localizados acima do banheiro comum.

FIGURA 55: Esquema de localização dos reservatórios



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Por fim, a paginação das telhas foi pautada nas mesmas premissas de pré-fabricação e industrialização que regem o desenvolvimento do projeto. Pelas razões anteriormente apresentadas, optou-se pela utilização de telhas térmicas metálicas.

A tabela abaixo ilustra as especificações do modelo adotado. A referência apresentada é da marca Dânica, que representa os modelos convencionais disponíveis no mercado e comuns às telhas de mesmas características oferecidas por outros fornecedores.

TABELA 1: Especificações do modelo de telha adotado no projeto

Tabela de Aplicação											
Revestimento face superior/ face inferior	PUR - espessura do núcleo isolante	Isolamento térmico	Uso aparente na face interna	Recomendada para uso sobre laje ou forro (gesso/PVC/madeira)	Uso residencial	Disponível em cores especiais (sob consulta)	Distância entre terças	Sobreposição longitudinal mínima	Comprimento mínimo	Comprimento máximo	Peso próprio aproximado (kg/m ²)
Aço/Aço	20mm	•	•	•	•		2,5m	200mm	2.500mm	8000mm	9,45
	30mm	•	•	•	•	•	3,0m	200mm	2.500mm	8000mm	9,89
	50mm	•	•	•	•	•	3,0m	200mm	2.500mm	8000mm	11,08
Aço/Filme	20mm	•		•	•		1,5m	200mm	2.500mm	7000mm	5,28
	30mm	•		•	•	•	1,5m	200mm	2.500mm	7500mm	5,72
	50mm	•				•	1,5m	200mm	2.500mm	7500mm	6,90

FONTE: Catálogo técnico Dânica - TermoRoof, 2016

A telha utilizada no projeto é composta por uma camada superior de aço na cor branca (pintura de fábrica), núcleo isolante de poliuretano (PUR) de espessura 20mm, e fechamento da camada inferior em filme de PVC. Esta composição garante propriedades de isolamento térmico, indo de encontro às premissas de eficiência energética da Rede ZEMCH, e traz vantagens que aliam o subsistema de cobertura a elementos pré-fabricados que facilitam a implementação da estratégia de CM.

Segundo Vittorino *et al.* (2003 apud DIAS, 2011, p. 15) os materiais que constituem a camada interna da telha termo acústica (neste exemplo, o poliuretano) reduzem a transferência de calor por condução. Esta resistência térmica se dá, por exemplo, pela presença de ar confinado em pequenas células remanescentes no processo de expansão das espumas e isolantes.

Segundo a análise de Dias (2011, p. 42), numa comparação entre seis diferentes tipos de telha (de alumínio, termo acústica, de aço galvanizado, de aço com pintura, termo acústica com PVC e *top steel*²⁸), o poliuretano é o material que apresenta menor valor de condutividade térmica, com 0,03 W/m.K, enquanto uma telha comum de alumínio apresenta condutividade térmica de 201 W/m.K.

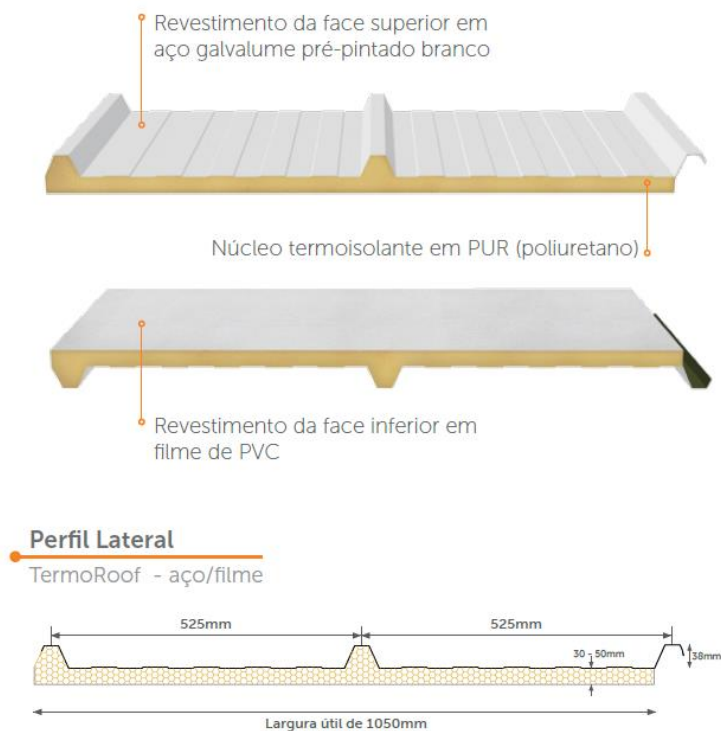
No decorrer da pesquisa, tratando-se de diretrizes de modularidade e pré-fabricação, concluiu-se que, ao aliar o conforto ambiental às possibilidades de

²⁸ “As telhas *Top steel* são chapas trapezoidais compostas por quatro diferentes materiais (tinta, alumínio, asfalto oxidado e aço) distribuídas em sete camadas, totalizando uma espessura de aproximadamente 2 mm.” (DIAS, 2011, p. 16)

industrialização da obra, a telha metálica termo acústica se adapta de maneira satisfatória às premissas do projeto, possibilitando uma montagem do telhado de forma menos artesanal e, portanto, menos conflitante com relação às premissas de industrialização. O que não ocorre ao optar pelo uso das telhas cerâmicas

Outro ponto importante com relação à adoção das telhas metálicas “sanduíche” é a cor a ser aplicada na face externa do componente. Segundo a análise de Dias (2011), de um modo geral, a telha com pintura branca é a que melhor contribui para o bom desempenho térmico da edificação em dias de verão, além também das propriedades acústicas do poliuretano, que reduz os ruídos causados na superfície metálica.

FIGURA 56: Composição e perfil lateral das telhas



FONTE: Catálogo técnico Dânica - TermoRoof, 2016

Além dos pontos apresentados, outra questão importante ao adotar este modelo de telhas para o subsistema de cobertura em desenvolvimento faz referência às dimensões de comprimento mínimo e máximo disponíveis.

Analisando todas as opções de módulos base e módulos de customização propostos, a telha com comprimento mínimo necessário é de 250cm, que equivale exatamente à dimensão mínima fabricada. Enquanto a de comprimento máximo presente nas propostas é de 670cm, também coerente ao comprimento máximo oferecido pela fábrica: 700cm.

Isso significa que, mesmo nos telhados de superfícies maiores, não será necessária sobreposição longitudinal, diminuindo o número de componentes necessários para a composição do sistema; o tempo de montagem e instalação na obra; e a possibilidade de infiltração nos pontos de sobreposição de telhas.

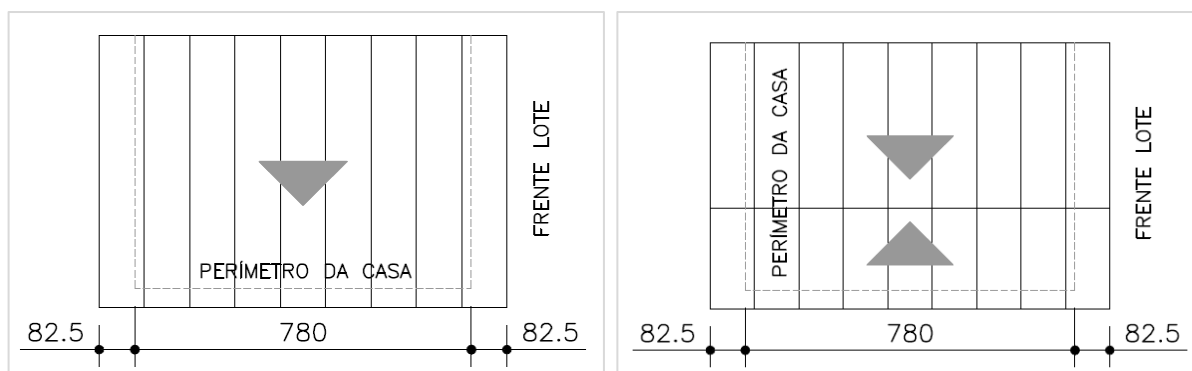
Para as sobreposições transversais, a própria telha prevê um sistema de encaixe embutido no componente. Assim, para que não houvesse a necessidade de gerar cortes de telhas e aumentar os pontos de sobreposição das mesmas, a superfície do telhado foi pensada de modo a seguir a modulação da largura das telhas metálicas: 105cm (largura útil). Dessa forma, foi essa medida a qual condicionou os avanços de beirais em cada uma das opções de base e de customização.

Para que fossem definidas as medidas finais das telhas utilizadas em cada opção proposta, partiu-se do módulo base 1 que, conseqüentemente, indicaria a paginação das telhas do módulo base 3, visto que ambos os telhados possuem caimento no sentido lateral.

Assim, para que não houvesse corte de telhas no sentido transversal, pôde-se concluir que seriam necessárias nove telhas para a composição do telhado do módulo base 1, e dezoito para a composição do telhado do módulo base 3, que é composto por duas águas com caimento para uma calha central.

Essa configuração gerou os beirais das faces da frente e dos fundos do lote com um avanço de 82,5cm.

FIGURA 57: Paginação das telhas - Módulos base 1 e 3



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

A partir desta definição, era necessário verificar qual seria o avanço lateral do beiral, ressaltando que o telhado tem início na parede de divisa do lote, onde não há avanço da cobertura, portanto, o prolongamento da mesma só ocorre do lado no qual se localiza a lavanderia.

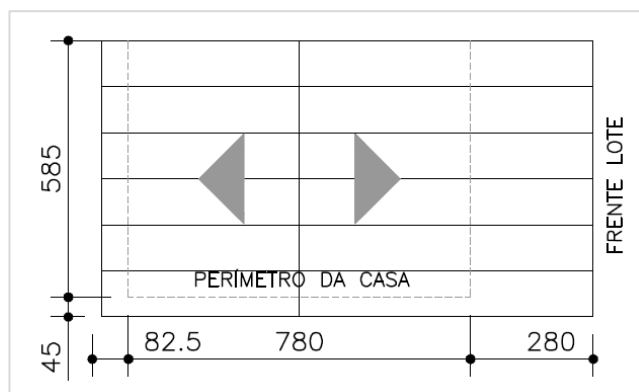
Para que se chegasse a esta dimensão, era necessário checar a modulação das telhas geradas pela paginação das mesmas no telhado do módulo base 2, que é composto no sentido contrário às situações apresentadas anteriormente, ou seja, o caimento das duas águas tem sentido para a frente e para os fundos do lote.

Novamente evitando o corte das telhas, limitou-se o beiral lateral a um avanço de 45cm, gerado pela colocação de seis telhas (inteiras) no sentido da largura da casa. Assim, o telhado do módulo base 2 é composto por seis telhas de 670x105cm, e mais seis de 470x105cm.

As medidas de comprimento foram geradas de forma a possibilitar um avanço de 60cm na cobertura que tem caimento em direção aos fundos do lote, e um prolongamento maior de beiral na fachada principal, conformando uma espécie de varanda necessária para que houvesse uma interface de ligação entre o módulo base e os futuros módulos de customização.

Assim, esta opção de base dispensa o uso da bandeja de fibra de vidro para proteção do acesso principal, visto que este é contemplado pelo próprio prolongamento das telhas.

FIGURA 58: Paginação das telhas - Módulo base 2



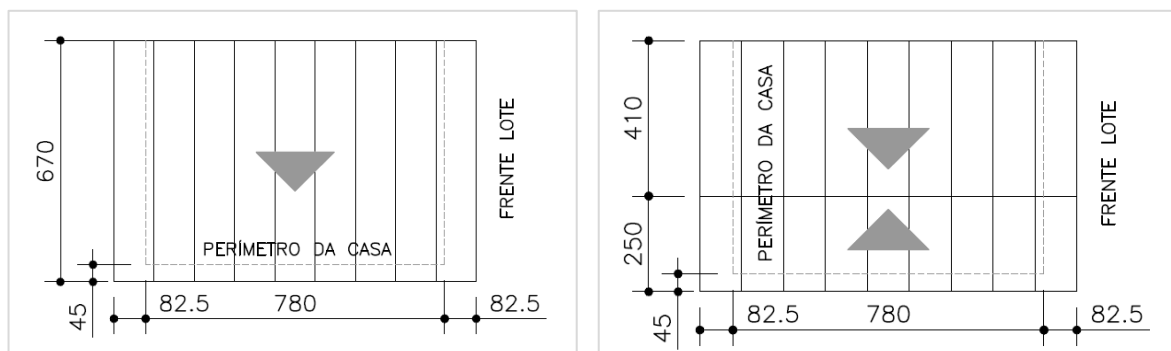
FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Prevendo que as customizações referentes ao dormitório extra e à cobertura da garagem serão anexas à parte da frente dos módulos base, a limitação de telhas ilustrada pela figura acima condicionou não só os avanços de beiral das bases 1 e 3, que para contemplar o prolongamento da cobertura em 45cm foram configuradas por telhas de 670x105cm e 250x105cm, respectivamente, como também a configuração

das telhas de cobertura dos módulos de customização, que deveriam ser restritos ao perímetro de cobertura contemplados pelos módulos base.

Assim, começa a ser viável a utilização de telhas com mesmas dimensões para mais de uma opção de telhado. Como é o caso das telhas de 670cm de comprimento, que compõem tanto o módulo base 1 quanto o módulo base 2.

FIGURA 59: Avanço do beiral lateral - Módulos base 1 e 3



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Definidas as paginações de telhas dos módulos base, o mesmo estudo foi aplicado ao desenvolvimento das coberturas dos módulos de customização. É importante ressaltar que a área a ser coberta faz referência tanto ao dormitório extra quanto à cobertura da garagem, que possuem as mesmas configurações e compõem uma área de 390cm de frente, por 300cm de comprimento. Assim, a dimensão condicionante é esta última, que define o sentido no qual as telhas serão colocadas.

Ao analisar a largura útil de cada telha (105cm), duas unidades não seriam suficientes para cobrir o vão de 300cm (pois totalizariam a cobertura de apenas 210cm de comprimento), e três, apesar de cobrirem uma área de 315cm de comprimento, possibilitariam um avanço de beiral de apenas 15cm.

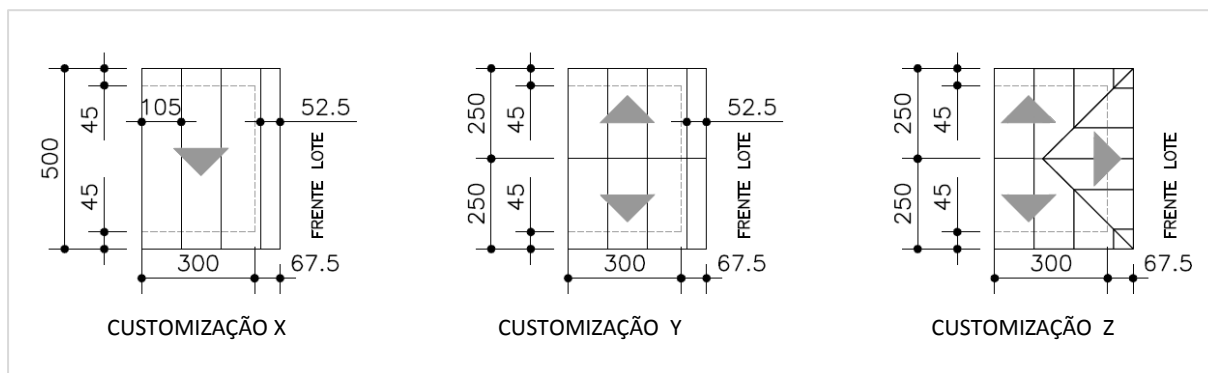
Assim, seguindo as premissas de evitar ao máximo os cortes de telhas, seria necessário utilizar quatro unidades para totalizar o vão do comprimento e gerar um avanço de beiral maior. Entretanto, o avanço da cobertura também seria desproporcional, agora, muito grande, pois teria a dimensão de 120cm.

Dessa forma, a equipe optou por trabalhar com um corte exatamente na metade da largura da telha, gerando assim um componente com 52,5cm de largura, e um

beiral de 67,5cm. Assim, por abranger exatamente meio módulo da telha, pode ser uma opção mais facilmente produzida em série pela própria fabricante.

Já as dimensões dos beirais laterais, foram configuradas devido à definição prévia do avanço de cobertura dos módulos base, ficando limitadas à 45cm de comprimento.

FIGURA 60: Paginação das telhas - Módulos de customização X, Y e Z



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Ao observar as três opções de módulos de customização propostas, pode-se identificar que a customização Z apresenta maior número de recortes nas telhas. Entretanto, por estes serem feitos em um ângulo de 45° , assume-se que as partes remanescentes recortadas das telhas instaladas do lado direito podem ser igualmente utilizadas do lado esquerdo da cobertura, visto que irão gerar componentes espelhados.

Assim, por se tratarem de cortes padrão e que serão repetidos conforme a demanda do empreendimento, é possível encomendar as telhas previamente cortadas. Dessa forma, o componente chega pronto ao canteiro, sem a necessidade do manuseio de materiais de corte que, por não serem tão precisos quando feitos *in loco* e por se tratarem de um material frágil que, se não manuseado com o devido cuidado pode ser danificado, poderiam gerar uma perda desnecessária de material. Assim, através da coerente paginação e modulação das telhas desenvolvida durante o processo de projeto, esta perda pode ser muito reduzida.

A partir da definição da modulação das telhas é possível visualizar claramente como se dá o aproveitamento dos elementos de mesmas dimensões. O Quadro 15 organiza as configurações de telhas tanto dos módulos base quanto das customizações de forma a permitir a visualização das combinações possíveis.

No desenho, telhas representadas pela mesma cor são as que possuem medidas idênticas e podem ser intercambiáveis entre os telhados propostos.

Com o conhecimento dos componentes mais relevantes no processo de projeto do subsistema de cobertura, foi possível avançar para a etapa de modulação do conjunto, onde a partir das premissas definidas até aqui, buscou-se racionalizar o número de componentes dos painéis em LWF.

4.2.3 Composição Modular

Partindo de três opções de módulo base e mais três de módulos de customização, o desafio desta etapa do projeto era fazer com que os componentes utilizados na solução de uma das opções pudessem ser, ao máximo, intercambiáveis entre as outras configurações de cobertura.

Para isso, com a paginação das telhas definidas, era necessário subdividir em módulos os painéis de fechamento dos frontões²⁹ das coberturas.

No primeiro estudo de modulação realizado nesta etapa do projeto, a premissa era otimizar ao máximo as chapas OSB, objetivando gerar o mínimo de perda de material com os recortes aos quais as placas seriam submetidas.

Para isso, partiu-se de uma dimensão condicionante: o comprimento do módulo base, que configurava a maior dimensão da planta, com 7,80 metros.

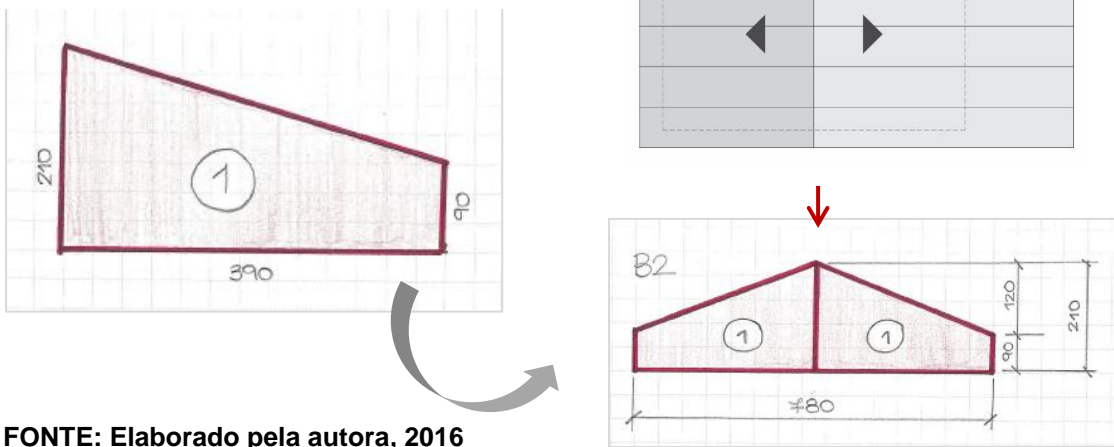
A partir desta medida, foi gerado o primeiro módulo, que equivalia à metade deste total: 390cm. Não coincidentemente, esta dimensão equivale à parede frontal do dormitório extra. Assim, já era possível assimilar mais um componente de mesmo comprimento, com variação na altura.

O primeiro módulo gerado, com o lado de altura maior equivalente a 210cm, se combinado com mais um componente igual, configurava os frontões laterais do módulo base 2.

Ressalta-se que o trabalho de modulação dos componentes e elementos apresentados na pesquisa foi realizado manualmente, a partir de estudos, desenhos e *croquis* que não contaram com o uso de *softwares* para serem desenvolvidos. Este processo permitiu que a equipe entendesse, detalhadamente, as dificuldades e facilidades de se desenvolver componentes modulares. Assim, a experiência influenciou diretamente no apontamento das diretrizes apresentadas como resultado deste trabalho.

²⁹ É importante ressaltar que, partindo das discussões acerca do desempenho térmico da edificação, algumas imagens de estudo aqui apresentadas ilustram os frontões de B1 e B3 com uma esquadria que acompanha o desenho dos mesmos. Entretanto, a fase de modulação das chapas não levou em consideração esta abertura, visto que sua aplicação depende de decisões ainda a serem confirmadas no projeto. Além de que, sua utilização é um fator que configura o frontão como um módulo diferente daqueles que, mesmo compostos pelas mesmas chapas e com o mesmo formato não possuem a abertura.

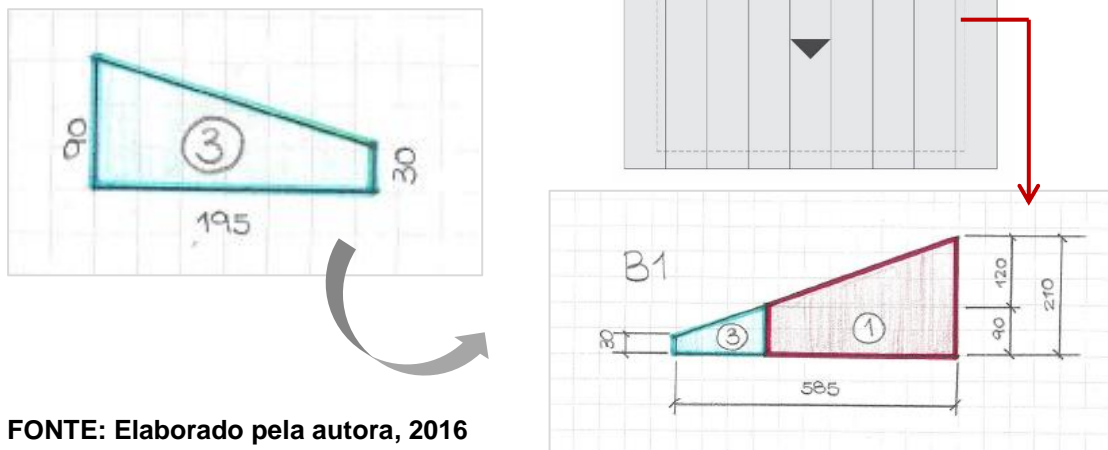
FIGURA 61: Módulo 1 e Composição dos frontões da B2



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Este módulo inicial seria então comum às configurações das bases 1 e 3. Para a composição da base 1, era necessário combiná-lo ao componente de número 3, ilustrado pela imagem abaixo. Este, além de complementar o frontão do primeiro módulo base, quando combinado com mais uma unidade do mesmo módulo, gerava o frontão de duas águas da customização Y.

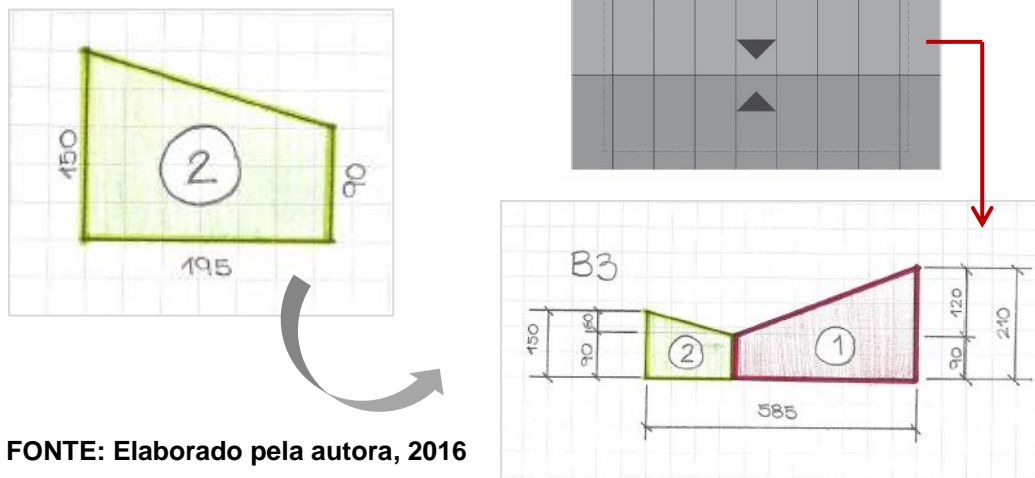
FIGURA 62: Módulo 3 e Composição dos frontões da B1



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Por fim, para a composição dos frontões da base 3, o módulo 1 deveria ser combinado ao módulo 2 (Figura 63). Consequentemente, de mesmo comprimento do módulo 3, entretanto, com alturas diferentes.

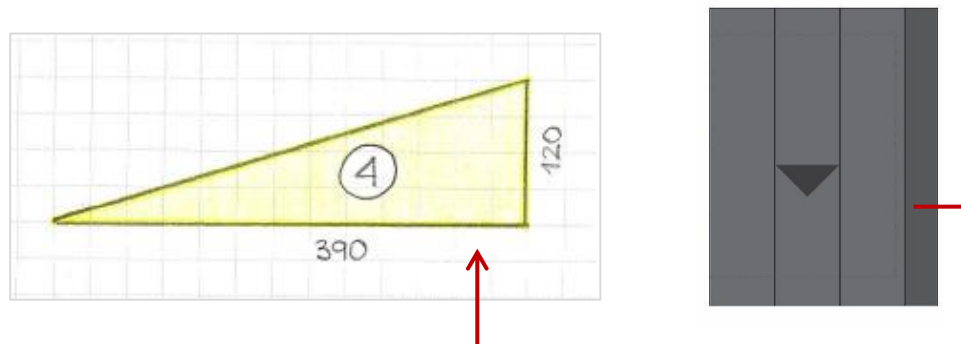
FIGURA 63: Módulo 2 e Composição dos frontões da B3



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

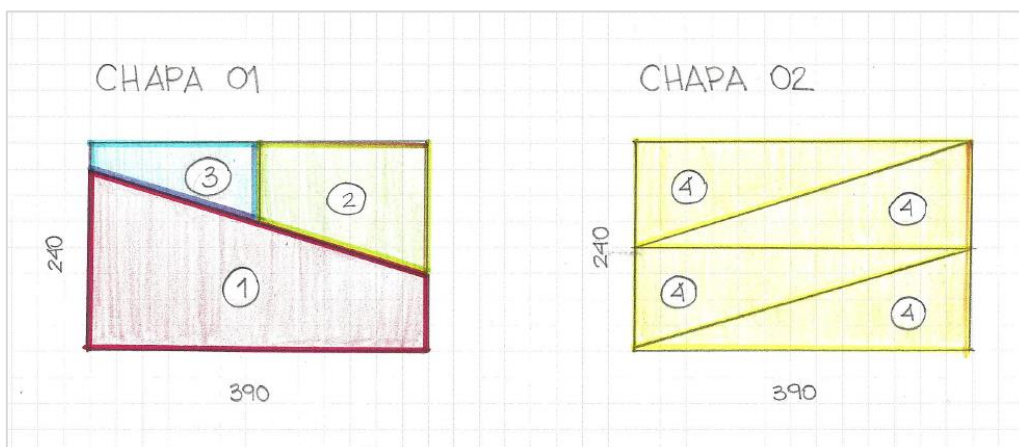
Com relação aos frontões dos módulos de customização, as customizações Y e Z eram contempladas pelo componente 3, já utilizado na composição das bases, enquanto a customização X era configurada por um módulo único (módulo 4).

FIGURA 64: Módulo 4 (módulo único de composição da customização X)



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Neste primeiro estudo de modulação, todas as opções de base e customização eram contempladas por apenas quatro módulos intercambiáveis entre as diferentes possibilidades. As chapas OSB foram utilizadas horizontalmente e, para gerar os módulos, seriam necessárias apenas duas configurações de corte, contempladas por uma placa de 240x390cm.

FIGURA 65: Modulação de corte das chapas OSB - Primeiro estudo

FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Observando a imagem (Figura 65), pode-se verificar que seria possível racionalizar ao máximo a utilização do material, visto que os recortes não iriam gerar nenhuma perda de chapa.

No entanto, em reunião com a equipe de projeto, foi ressaltado que a chapa modulada não se encaixava nas medidas de chapa padrão disponíveis no mercado. Mesmo tendo conhecimento de que não haveria um grande problema com relação à produção, visto que se a demanda fosse grande a fábrica poderia se adaptar às dimensões propostas, o entrave maior era o fato de que módulos com estas dimensões necessitariam de placas de maior espessura, a fim de promover mais rigidez à superfície. E este fato acarretaria custos maiores com relação aos painéis, visto que precisariam ser feitos sob medida e utilizando mais material do que nas placas convencionais.

Assim, foi necessário rever as soluções propostas, configurando uma etapa cíclica da pesquisa em *Design Science Research*, onde a proposta é submetida à verificação e, ao se deparar com entraves deve retornar à etapa de sugestão e experimentação.

Para que o novo estudo fosse iniciado, foram levadas em consideração algumas premissas extraídas desta primeira tentativa:

- Inicialmente deveriam ser consideradas as medidas comerciais dos componentes do sistema disponíveis no mercado;
- Devido a essas dimensões, seria mais coerente trabalhar com a instalação das placas no sentido vertical;
- Era possível propor uma nova modulação partindo das configurações geradas por este primeiro estudo.

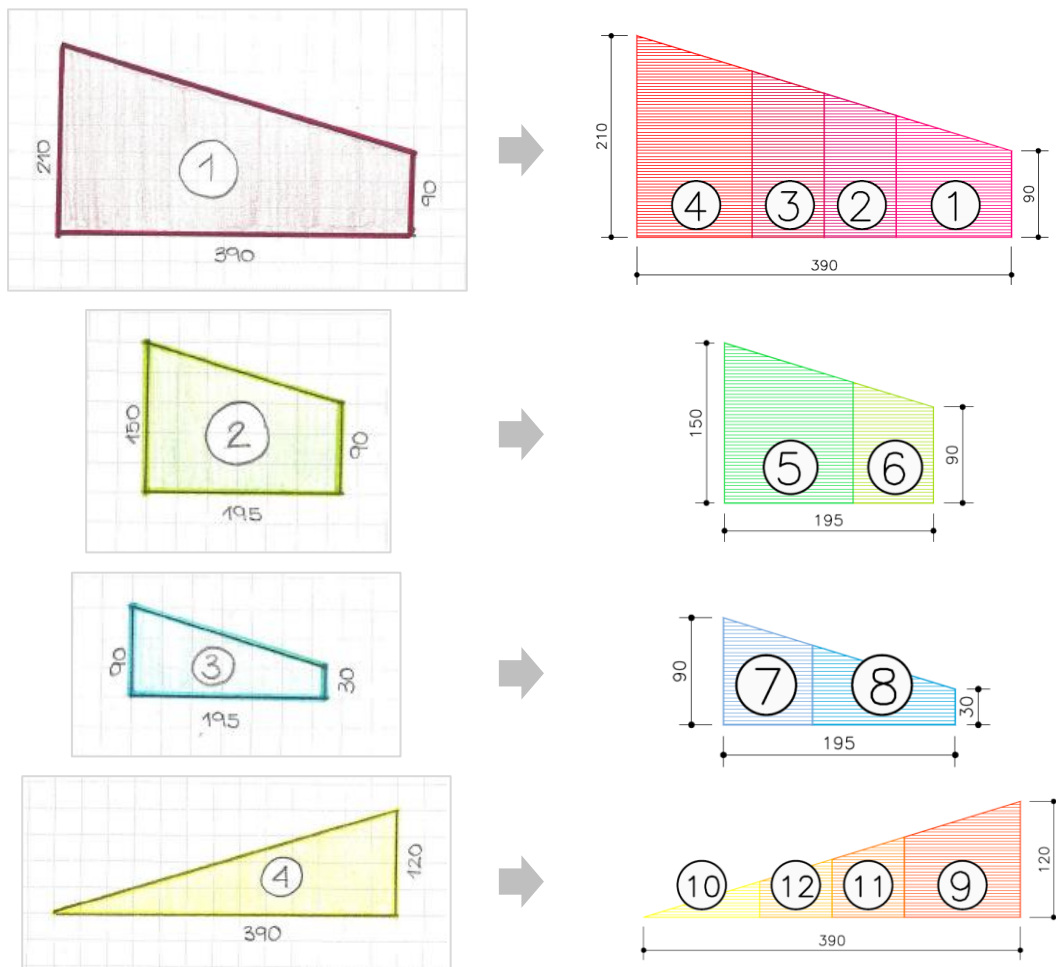
A partir dessas informações, foi possível então gerar uma nova proposta de modulação das chapas OSB e, posteriormente, das placas cimentícias.

Como citado anteriormente, partindo dos componentes disponíveis no mercado, adotou-se o uso de chapas com dimensões de 120x240cm, tanto para as cimentícias, quanto para as chapas de OSB.

4.2.3.1 Proposta adotada para a modulação das chapas OSB

Para que a nova composição fosse proposta, os módulos gerados pelo primeiro estudo foram subdivididos de acordo com a dimensão das novas chapas. Assim, o módulo 1 do estudo anterior foi seccionado em quatro novas partes, enquanto os módulos 2 e 3, foram divididos em duas partes, cada.

Com relação às chapas de composição dos frontões das opções de customização, o antigo módulo 4 foi subdividido em quatro elementos e, assim, com a utilização das chapas 7 e 8 da nova configuração, também era possível compor as customizações Y e Z. Na customização Y, o frontão serviria para o fechamento da parede do dormitório, que configura a fachada da casa, enquanto na customização Z, seria um elemento de fechamento das paredes laterais quando anexas ao módulo base.

FIGURA 66: Reconfiguração dos módulos gerados pelo estudo inicial

FONTE: Elaborado pela autora, 2016

A partir destes elementos, já era possível propor a nova configuração modular dos painéis de fechamento dos frontões referentes às três opções de base e às três opções de customização.

Com base neste segundo estudo de modulação das chapas OSB, foram gerados doze módulos capazes de compor os frontões das três opções de base e das três opções de customização propostas pelo projeto.

Estes módulos compõem seis configurações de corte de chapa (apresentadas no Quadro 16). Para que os cortes fossem propostos, levou-se em consideração a combinação que gerasse a menor quantidade de perda de material.

Devido às dimensões da planta, e para que fosse possível prever o transpasse mínimo de 15 centímetros entre as chapas OSB e as placas cimentícias, os módulos de corte gerados assumem sempre uma das duas medidas padrão: 120cm ou 75cm.

Assim, ao modular os cortes de chapa, em três situações é gerada uma faixa de 45x240cm (representado pela cor cinza na imagem das chapas) que não pode ser aproveitada nos frontões. Entretanto, pode ser utilizada na composição de outros elementos durante a obra, ou mesmo, ainda no processo de produção em fábrica.

Com base em Nogueira (2016), foi elaborada uma tabela de quantificação do consumo e das perdas de material. A tabela faz referência ao número de chapas utilizadas para que fossem gerados todos os módulos necessários de placas OSB tanto para as três opções de base, quanto para as três opções de customização.

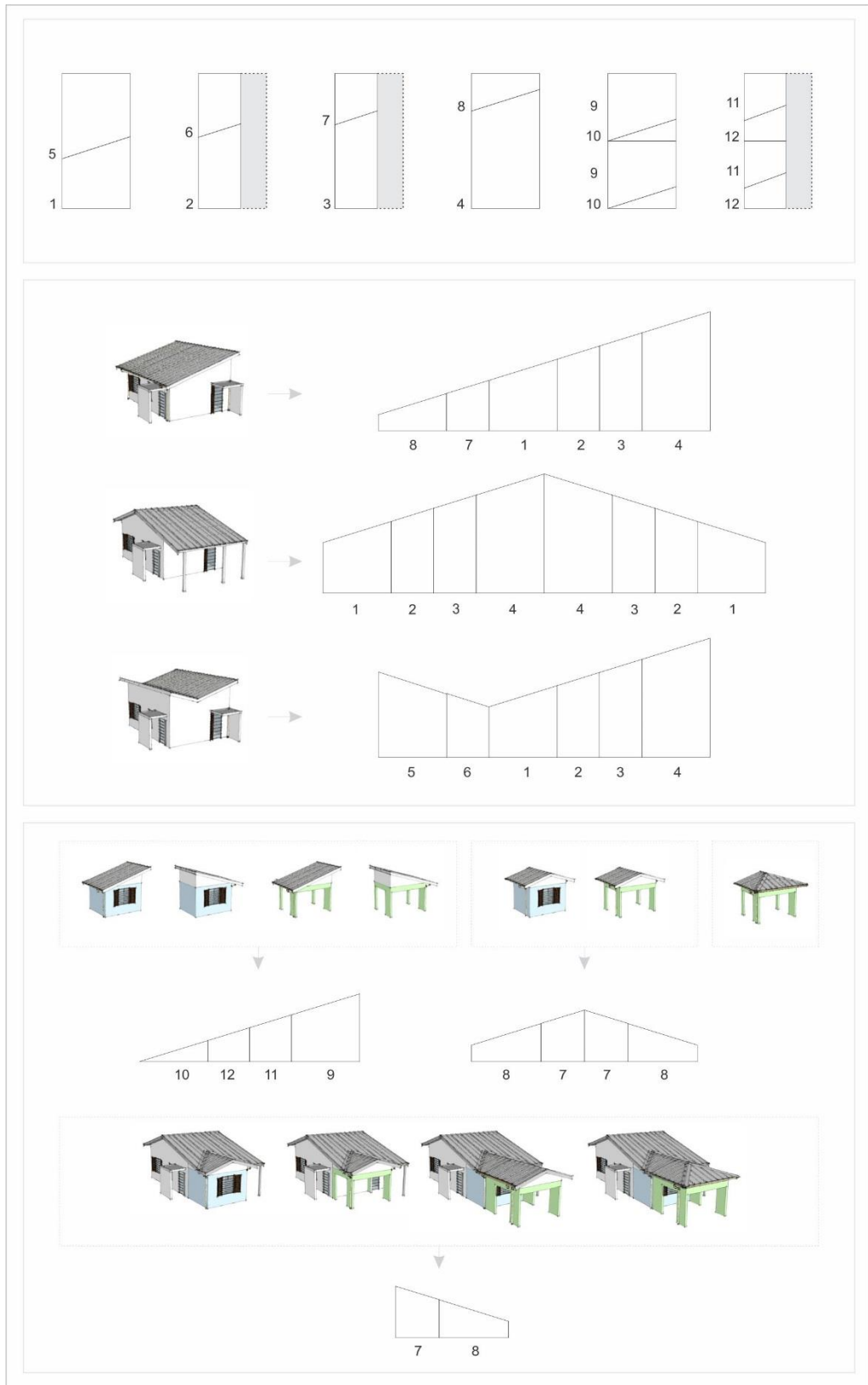
TABELA 2: Quantificação do consumo e das perdas de material - Chapa OSB

COMPONENTE	CONSUMO			PERDA	
	Número de Placas	Placas utilizadas integralmente	Placas não utilizadas integralmente		Porcentagem total
Chapa OSB (0,95x120x240cm)	6	3	3		19%
	Volume (m ³)	Volume (m ³)	Volume utilizado (m ³)	Volume perdido (m ³)	
	0,164	0,082	0,051	0,031	
		Volume utilizado total: 0,133m ³			

FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Ao observar os números, é importante ressaltar que a porcentagem de perda de material é comparada em relação à utilização das chapas para o fechamento dos frontões. Entretanto, não significa que serão descartadas, visto que estes recortes podem ser utilizados em outras situações durante a execução da obra.

QUADRO 16: Chapas OSB – Modulação de cortes e composição dos frontões



FONTE: Elaborado pela autora, 2017

4.2.3.2 Proposta adotada para a modulação das placas cimentícias

A configuração dos cortes das placas cimentícias foi então desenvolvida a partir da modulação proposta para as chapas OSB. Os elementos foram configurados por três larguras padrão: 120cm, 75cm e 60cm, visto que estas dimensões permitiam o transpasse das placas com relação às chapas OSB em todas as situações propostas.

FIGURA 67: Exemplo do transpasse mínimo (15cm) entre as juntas das placas OSB e cimentícias



FONTE: <<http://ekssteel.com.br/album.php?id=7>>

Assim, seguindo a premissa de propor módulos intercambiáveis entre as diferentes opções de cobertura do projeto, só eram propostos novos elementos quando aqueles já utilizados nas opções anteriores não eram compatíveis com a necessidade do desenho.

Os módulos gerados pelas placas cimentícias totalizam dezenove elementos que, quando paginados para corte, resultam em um total de dez configurações de corte de placa.

Assim como na modulação das chapas OSB, as dimensões dos elementos propostos ocasionam três situações onde existe o descarte da faixa de 45x240cm de placa, e duas situações onde a sobra de material gera uma faixa de 11,5x120cm. Essas perdas são quantificadas pela Tabela 3.

TABELA 3: Quantificação do consumo e das perdas de material - Placa Cimentícia

COMPONENTE	CONSUMO			PERDA	
	Número de Placas	Placas utilizadas integralmente	Placas não utilizadas integralmente		Porcentagem total
Placa Cimentícia (0,8x120x240cm)	10	5	5		12%
	Volume (m ³)	Volume (m ³)	Volume utilizado (m ³)	Volume perdido (m ³)	
	0,230	0,115	0,087	0,028	
		Volume utilizado total: 0,202m ³			

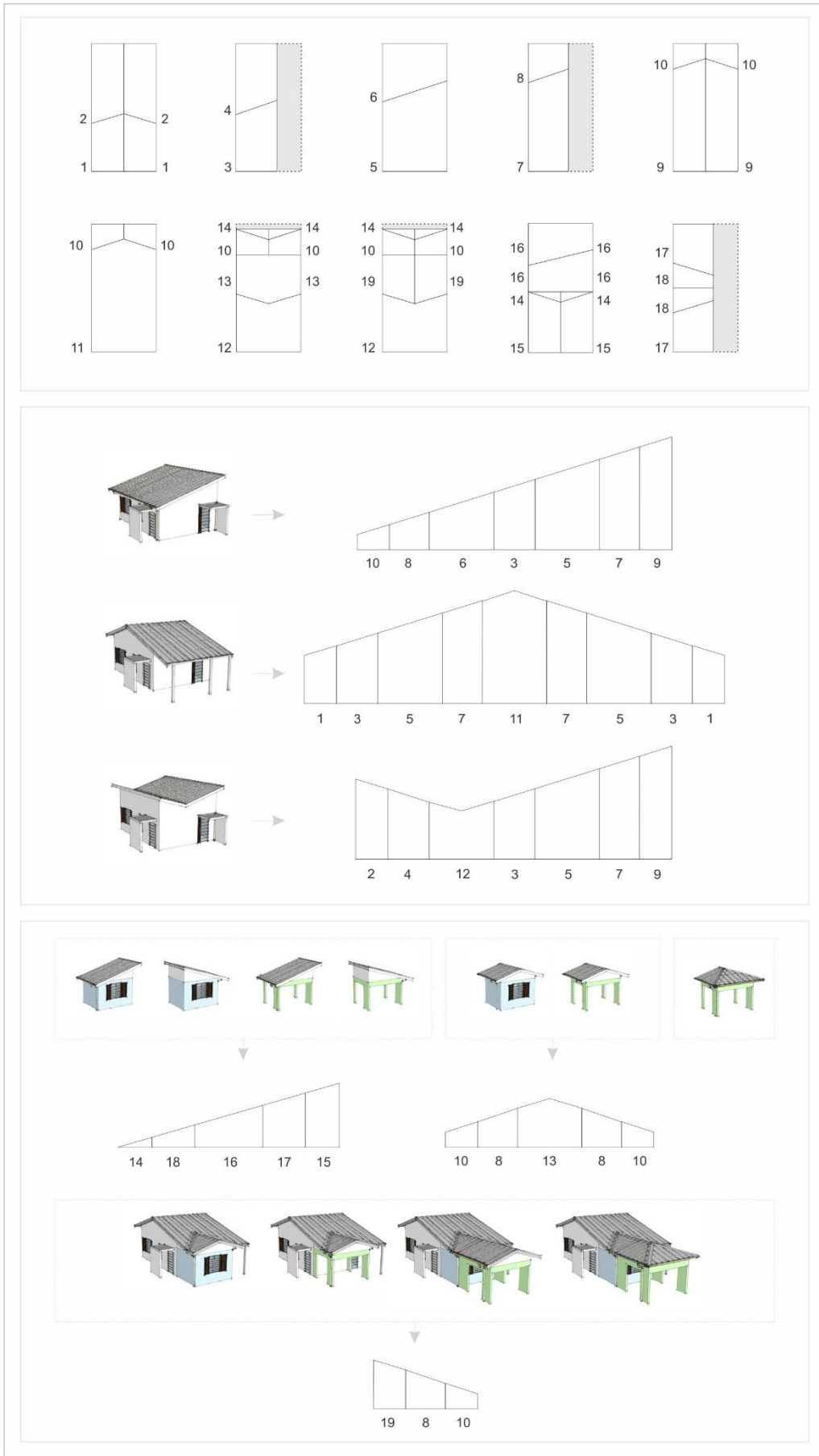
FONTE: Elaborado pela autora, 2016

Novamente, assume-se que estes recortes podem ser reutilizados em outros componentes do sistema durante o processo de produção, visto que tem dimensões compatíveis aos elementos modulados da unidade de habitação.

Assim, verifica-se que, proporcionalmente, a perda maior ocorre nas configurações de corte das chapas OSB. Este resultado foi consequência da prioridade dada à modulação dos componentes gerados pelas placas cimentícias, visto que o material apresenta custos mais elevados e que a perda gerada pela modulação deveria ser minimizada.

O Quadro 17 (próxima página) ilustra a paginação de cortes desenvolvida para as placas cimentícias e as possíveis configurações dos frontões a partir dos módulos intercambiáveis propostos.

QUADRO 17: Placas Cimentícias – Modulação de cortes e composição dos frontões

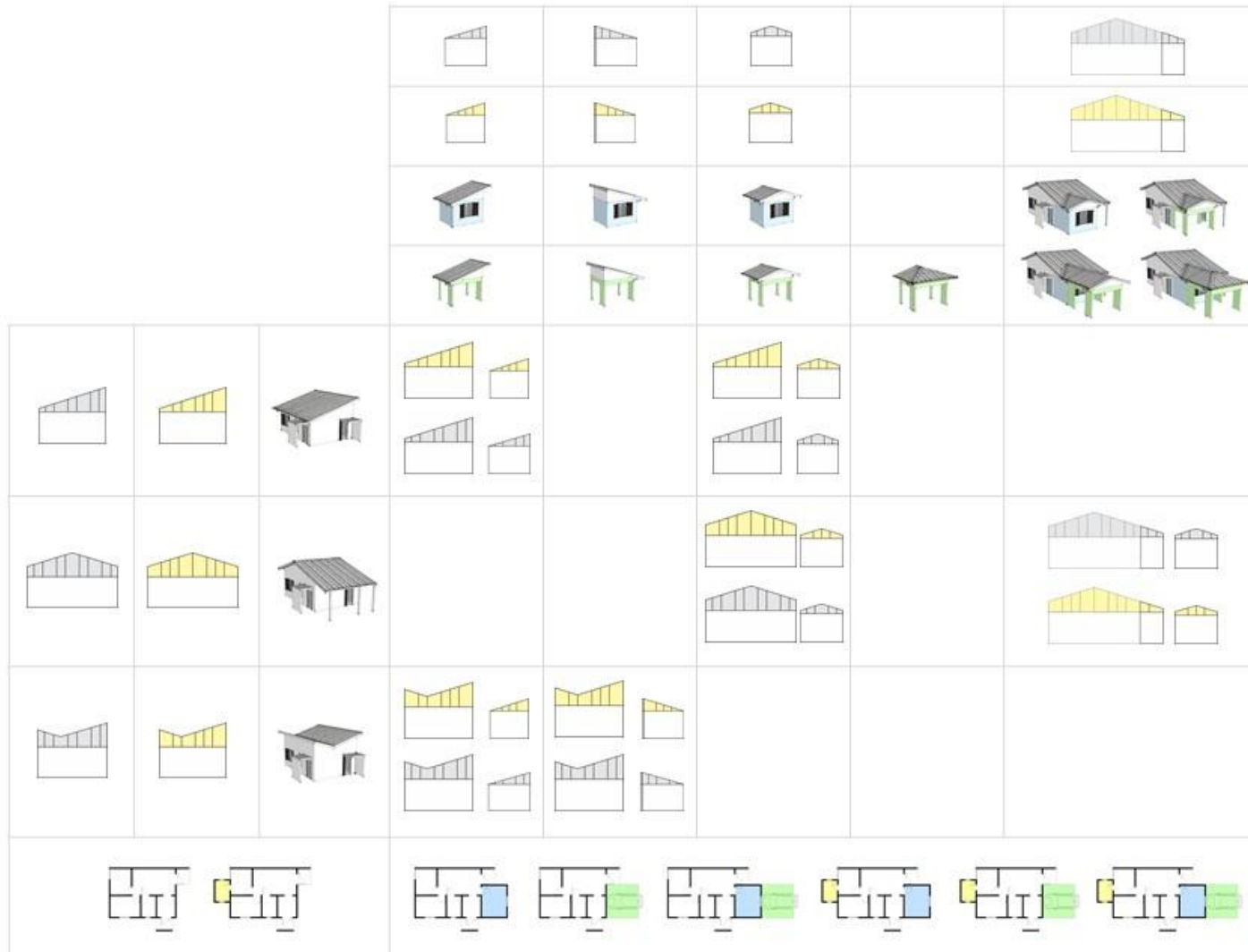


FONTE: Elaborado pela autora, 2017

Com a definição da modulação das chapas que compõem os frontões, tanto as cimentícias quanto as OSB, é possível ter uma visão clara da intercambialidade dos elementos e componentes propostos e das possibilidades de combinação entre os módulos, a partir das imagens organizadas e apresentadas pelo Quadro 18.

Neste, os frontões em amarelo representam as chapas OSB, enquanto os preenchidos pela cor cinza são referentes às placas cimentícias.

QUADRO 18: Modulação frontões – variantes de produto a partir das combinações possíveis



FONTE: Elaborado pela autora, 2017

4.2.4 Considerações finais sobre o estudo de caso

Os números apresentados durante todo o processo mostram que, a partir de uma mesma planta, foi possível gerar uma gama de variantes de produto, devido à estratégia de modularidade aplicada ao processo de desenvolvimento do subsistema de cobertura da unidade habitacional.

A partir disso, o estudo de caso apresentado permite fazer um exercício de análise de quais foram os direcionamentos mais relevantes durante o processo projetual e que assim, apontaram o caminho para a indicação de diretrizes (capítulo seis) voltadas para o desenvolvimento de subsistemas de cobertura modulares, que visem a aplicação da estratégia de customização em massa.

Conclui-se então, que a partir deste processo de design colaborativo e experimentação, é possível chegar a uma configuração de CHIS menos homogênea (Figura 68) e com possibilidades reais de atendimento às necessidades específicas de cada família.

Assim, o estudo de caso cumpre seu papel no processo de pesquisa ao aproximar a teoria disponível acerca do tema aqui abordado à prática projetual voltada para as necessidades habitacionais presentes na realidade da maior parte das cidades brasileiras.

Entende-se, no entanto, que a aplicação da customização em massa não se resume à adoção de estratégias projetuais. Apesar de a resolução do projeto e modularização dos componentes serem etapas relevantes, a opção pela estratégia de CM implica em inúmeros fatores, como por exemplo, a maneira de oferecer as possíveis variantes de produto ao cliente.

A literatura trata desta etapa do processo indicando algumas interfaces facilitadoras de comunicação com o mesmo. Com base em uma revisão de conceitos, Rocha (2011) apresenta como uma destas interfaces o uso dos *choice menus*, que podem assumir termos semelhantes, assim como ressaltado pela autora: *choice boards*, *product configurators* e *toolkits*.

Basicamente, estas interfaces permitem ao cliente uma visualização clara das partes customizáveis do produto, possibilitando que ele faça suas escolhas com

relação às variáveis de componentes, preços e opções de entrega, por exemplo (SLYWORTZKY, 2001 apud ROCHA, 2011).

Ainda com base em Slywortzky (2001) Rocha (2011) destaca algumas barreiras na implementação destas interfaces, ressaltando: a necessidade do alto grau de envolvimento dos clientes no processo; a falta de uma cadeia de suprimentos altamente preparada para atender aos pedidos dos mesmos; e a falta de habilidade dos clientes em se adaptar às interfaces de escolha das customizações (*choice menus*).

Ressalta-se este último ponto visto que, geralmente, os *choice menus* configuram interfaces digitais. Entretanto, é necessário entender quais as necessidades do público alvo.

Um estudo realizado por Imai, Azuma *et al.* (2015) com possíveis moradores de CHIS, mostrou que a utilização de protótipos físicos é uma interface facilitadora de visualização das opções de customização e possíveis variantes de produto.

Assim, entende-se que a combinação entre estas duas interfaces (digital e física) se mostra uma possibilidade viável de transferência das opções aos possíveis moradores das UH apresentadas neste estudo de caso.

Analisando uma possível ordem de apresentação das possibilidades de customização disponíveis, sugere-se que a escolha seja iniciada a partir das opções de planta, visto que as variantes de cobertura se adaptam à flexibilidade do programa de necessidades da casa.

Posteriormente, deve-se apresentar ao cliente as opções de cobertura do módulo base. Partindo desta escolha, as variantes de telhado dos módulos de customização se tornam restritas para a próxima etapa, visto que serão oferecidas apenas aquelas compatíveis ao módulo base escolhido.

A partir disso, podem ser oferecidas as opções de revestimento externo, tipo de telha, entre outros elementos que fazem referência à estética final da unidade.

Entende-se que para que este processo seja aplicado ao PMCMV, ainda existem grandes limitações diretamente ligadas à logística e às normas com as quais o programa é regido atualmente.

Entretanto, a proposta projetual e a estruturação das interfaces de apresentação das variantes de produto ao cliente, são um primeiro passo para que o programa consiga desenvolver uma forma de aplicação da estratégia de CM, no que

diz respeito à distribuição dos lotes de acordo com as escolhas feitas pelas famílias contempladas pelo benefício.

FIGURA 68: Perspectivas do conjunto habitacional proposto com a aplicação da CM



FONTE: Elaborado pela autora, 2016

5 VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE

Este capítulo apresenta os desdobramentos da terceira fase do processo de pesquisa aqui apresentado: a verificação de viabilidade, que faz referência à etapa de avaliação do artefato proposto, apresentada como uma das fases do método DSR.

É importante ressaltar que, para os objetivos do trabalho, se fez necessário verificar tanto as diretrizes (que compõem o resultado da pesquisa, em si), quanto as decisões de projeto aplicadas ao estudo de caso.

Assim, esta verificação se deu em três momentos. O primeiro, com o objetivo de validar as decisões de projeto e verificar a aplicação da modularidade ao mesmo, aproximou a experiência projetual do estudo de caso aos questionamentos acerca da estratégia de modularidade propostos por Gosling *et al.* (2016) (modularidade aplicada às diferentes fases de projeto).

Num segundo momento, foi utilizado o método do painel de especialistas. Primeiramente, discutindo as decisões projetuais nas reuniões internas do Grupo ZEMCH *Brazil*, onde pesquisadores e profissionais multidisciplinares puderam colaborar com o desenvolvimento do projeto e avaliar a viabilidade das decisões tomadas, de acordo com suas experiências na área.

E, numa etapa final da pesquisa, submetendo tanto as decisões de projeto, quanto as possíveis diretrizes à avaliação da empresa parceira, que pode dar um retorno ao processo de pesquisa no que diz respeito à viabilidade de projeto, e à validade dos resultados obtidos.

5.1 Modularidade aplicada às diferentes fases de projeto

A partir do modelo proposto por Gosling *et al.* (2016)³⁰, viu-se a possibilidade de aproximar o estudo de caso apresentado a alguns questionamentos pertinentes acerca da estratégia de modularidade, que acompanham, subsequentemente, as fases do processo de projeto, a fim de verificar a correta aplicação da estratégia e ressaltar sua real necessidade. São eles:

³⁰ Ver Quadro 5 (página 48 deste trabalho).

1. As abordagens de padronização são possíveis e adequadas?
2. Nós entendemos a arquitetura do produto e, o sistema de produção e a cadeia de suprimentos estão aptos?
3. Há algum problema de acesso ou logística no canteiro?
4. Os módulos irão ajudar ou dificultar reconfigurações e ampliações futuras?

Segundo os autores, estes questionamentos acompanham, respectivamente, as quatro fases de desenvolvimento do projeto:

1. **Fase de projeto:** onde ocorrem os estudos iniciais da proposta e o levantamento de requisitos para o mesmo. É nesta etapa onde o projeto começa a ser esboçado em um *grid*, a fim de estimular o raciocínio modular, e também onde se define o tipo de arquitetura do produto.
2. **Fase de pré-construção:** a planta é definida, assim como o processo de produção. Deve-se atentar também com relação às possibilidades da cadeia de suprimentos.
3. **Fase de construção:** esta é a etapa na qual os módulos assumem sua forma física e, assim, deve ser planejada a logística de transporte e montagem do sistema.
4. **Fase de pós-construção:** são disponibilizados módulos que possibilitem a reconfiguração ou ampliação do projeto, agora já executado. A principal proposta desta fase é possibilitar a “flexibilidade em uso”.

Assim, colocados os questionamentos e sua correspondência com as fases de projeto, foi possível respondê-los de acordo com a experiência projetual a qual se fez objeto de estudo desta dissertação.

As abordagens de padronização são possíveis e adequadas?

Ao início deste trabalho foram levantados os requisitos a serem atendidos pela proposta do subsistema de cobertura. São eles: ser um subsistema leve e estanque, passível de pré-fabricação, industrialização, velocidade de montagem, e possibilidade de customização em massa.

Visando o atendimento desses requisitos, viu-se necessária a tentativa de aplicação da estratégia de modularidade à proposta do subsistema de cobertura. Assim, como ilustrado pelo subcapítulo “4.2.2” deste trabalho - Composição Modular - iniciou-se o exercício de desenho dos componentes do subsistema, a fim de verificar a possibilidade de padronização dos recortes de telhas, chapas OSB e placas cimentícias.

Ao fim deste processo, pôde-se constatar que a padronização dos componentes era viável, possível e adequada ao projeto do subsistema que começava a ser proposto, definindo assim o tipo de arquitetura do produto com o qual se estaria lidando no projeto: arquitetura modular.

Nós entendemos a arquitetura do produto e, o sistema de produção e a cadeia de suprimentos estão aptos?

Sim. Esta questão surge em uma etapa muito relevante do projeto, abordado pela literatura como a etapa de definição da planta.

Aproximada ao estudo de caso, esta etapa se manifesta na fase de definição das opções de desenho tanto dos módulos base, quanto dos módulos de customização.

Na revisão de literatura, ao tratar da definição de arquitetura do produto e, posteriormente, dos tipos de arquitetura modular, há a base necessária para o entendimento acerca do tema.

A partir desta abordagem, como já citado no princípio da pesquisa, é reconhecido que o projeto em questão se organiza a partir de uma arquitetura modular do tipo *seccional*, por *barramento* e por *permuta de componentes*, assim como detalhado no subcapítulo “2.3.1” – Tipos de Arquitetura Modular. Dessa forma, é dado o entendimento da arquitetura do produto em desenvolvimento.

Para que fosse avaliado se o sistema de produção e a cadeia de suprimentos estavam aptos à proposta, foram feitos dois contatos com a empresa parceira. O primeiro, na fase inicial do projeto, a fim de entender o sistema de produção.

Este contato, em forma de visita à fábrica, mostrou que, tendo como base o sistema de produção utilizado pela empresa, a cadeia de suprimentos poderia atender perfeitamente à demanda da nova proposta.

Assim, os únicos componentes adicionados ao subsistema, ainda não contemplados pelas coberturas entregues pela empresa parceira, seriam as telhas metálicas termo acústicas que, por serem industrializadas e com uma demanda de dimensões padronizadas, não conformariam nenhuma barreira à cadeia de suprimentos do sistema.

Por fim, para que esta impressão tida na primeira visita à empresa fosse verificada, o projeto, após finalizado, foi submetido ao *painel de especialistas* da mesma, que confirmaram a viabilidade de produção da proposta.

Há algum problema de acesso ou logística no canteiro?

Este questionamento é associado à terceira etapa do projeto: fase de construção. Após os módulos assumirem sua forma física, deve-se planejar a logística de transporte e de montagem (no canteiro) dos mesmos.

Pelo fato do estudo de caso se tratar de um lote hipotético, visto que a proposta de projeto tem o intuito de ser adaptada à terrenos que, possuem características de área semelhantes, devido ao fato de se tratarem de conjuntos habitacionais de baixa renda, mas apresentam suas particularidades, não é possível responder a esta questão de modo específico. Entretanto, algumas resoluções podem ser pontuadas.

Priorizou-se a proposta de módulos bidimensionais, a fim de que a logística de transporte fosse otimizada. Desta forma, ao serem transportados, os módulos não gerariam espaços vazios nos compartimentos de carga, visto que só assumiriam sua forma tridimensional ao serem combinados no canteiro.

Com o aprendizado obtido na visita à empresa parceira, também se sugere que os módulos sejam colocados no compartimento de carga (transporte) na ordem inversa à de montagem no canteiro, ou seja, o módulo que será utilizado por último na obra, deverá ser o primeiro à ser colocado no caminhão, visto que, havendo indisponibilidade de armazenagem dos componentes no lote, seja por falta de espaço

ou de condições adequadas, estes só precisam ser retirados do compartimento de carga conforme forem solicitados para a montagem do subsistema.

Também é importante ressaltar que, a proposta sugere que a estrutura da cobertura seja montada em solo, para então ser içada para o local de instalação. Entretanto, entende-se que, quando as condições não forem adequadas, ou não houver espaço suficiente no canteiro para a realização desta operação, o processo deverá ser feito pelos operários trabalhando em altura.

Mesmo assim, isso não inviabiliza o trabalho com os módulos, visto que, apesar de, ao haver qualquer impossibilidade imposta pelo lote, alguns processos precisarem ser menos industrializados, eles ainda levariam menos tempo de execução – devido aos módulos e à logística de montagem proposta – do que no processo convencional de montagem do subsistema de cobertura.

Por fim, outro ponto a se considerar ao planejar a logística de execução de um projeto composto por elementos pré-fabricados é a distância entre a fábrica e o local da obra, visto que o custo adicional do frete pode inviabilizar empreendimentos muito distantes do centro de produção.

Os módulos irão ajudar ou dificultar reconfigurações e ampliações futuras?

Por fim, o último questionamento proposto faz relação à fase de pós-construção, onde a possibilidade de customização deve ser viável após a entrega do produto (unidade de habitação).

A resposta a esta pergunta coincide com um dos objetivos desta pesquisa, que é possibilitar que a casa acompanhe as mudanças que ocorrem no programa de necessidades de cada família com o passar do tempo.

Desta forma, apesar de o detalhamento das interfaces não ter sido desenvolvido nesta pesquisa³¹, o projeto dos módulos de customização que podem ser anexados ao módulo base, mesmo depois da unidade de habitação finalizada,

³¹ Devido aos desdobramentos do estudo de caso perante o Grupo de Pesquisa, que continuará o desenvolvimento técnico do projeto e, conseqüentemente, das interfaces de ligação entre os módulos propostos.

almejou, desde o princípio, facilitar a ampliação da unidade e promover o menor número de interferências construtivas ao fazê-la.

Assim, analisando os questionamentos que compõem o modelo proposto por Gosling *et al.* (2016) ao aproximar a estratégia de modularidade às fases de projeto, conclui-se uma das fases de verificação de viabilidade da proposta.

A partir das respostas alcançadas, é possível assumir que o projeto apresentado como estudo caso que, por sua vez, se aproxima dos projetos que poderão ser desenvolvidos a partir das diretrizes aqui propostas, conforma aquilo que se pode classificar como uma construção modular.

Esta afirmação, por sua vez, confirma aquilo que a maioria dos autores abordados na revisão de literatura propuseram: a modularidade é condição necessária para a proposta de projetos que almejam alcançar algum nível de customização em massa.

5.2 Verificação de viabilidade a partir do Painel de Especialistas

Assim como abordado anteriormente pelo texto, o painel de especialistas foi uma técnica de pesquisa utilizada em duas fases do processo de investigação.

Inicialmente, em junho de 2016, foram realizadas duas reuniões de verificação das decisões **de projeto** (estudo de caso) com parte dos docentes que compõem o Grupo de Pesquisas ZEMCH *Brazil*.

A primeira, realizada no dia 10/06/2016 contou com a presença de três docentes, mais a pesquisadora, sendo eles: duas docentes do DCCI³² (uma com foco em gestão e processo de produção, e outra com foco em conforto ambiental) e um docente do DAU³³ (foco no projeto arquitetônico).

A segunda, realizada em 15/06/2016 teve a participação da pesquisadora, mais o mesmo docente do DAU, com foco no retorno dado pela terceira participante da reunião: docente do DCCI (coordenadora do Grupo ZEMCH *Brazil*).

³² DCCI - Departamento de Construção Civil (UEL)

³³ DAU - Departamento de Arquitetura e Urbanismo (UEL)

Ressalta-se que as duas reuniões tiveram o mesmo direcionamento e só foram realizadas em dias distintos devido à falta de compatibilidade de agenda de todos os membros do grupo.

A pauta das reuniões teve como foco uma apresentação inicial das decisões de projeto - discutidas anteriormente com a equipe, mas agora formatadas como projeto arquitetônico - feita pela pesquisadora, seguida de uma discussão coletiva abordando quais pontos do projeto estavam de acordo com a proposta, e quais deveriam ser revistos por falta de viabilidade ou pela sugestão de opções mais pertinentes ao projeto.

Durante as reuniões se fez o registro das discussões através de gravações de áudio que, posteriormente, tiveram as principais decisões transcritas no corpo deste trabalho, às quais justificam o processo projetual aqui apresentado.

Ao fim desta etapa verificou-se a viabilidade do **projeto** proposto. Após alguns meses de desenvolvimento do trabalho, foram extraídas as diretrizes aqui colocadas como resultados. Entretanto, era necessária uma etapa de verificação, agora, das **diretrizes** propostas, a fim de completar o ciclo da pesquisa em DSR.

Essa verificação compôs a segunda fase de aplicação da técnica do painel de especialistas. Inicialmente, contatou-se a empresa parceira a fim de agendar uma reunião da pesquisadora com os gestores da mesma.

A reunião, realizada no dia 23/01/2017, na sede da empresa em Curitiba-PR, contou com a presença do Diretor de Engenharia do Produto e da Gerente de Inovação da companhia.

Assim como citado no subcapítulo “3.3 Painel de Especialistas”, a reunião seguiu o seguinte protocolo:

1. Inicialmente a pesquisadora fez uma apresentação do **projeto** desenvolvido como estudo de caso destacando as tomadas de decisão do processo projetual e suas implicações na proposta final;
2. A partir disso, foi aberta a discussão para que os gestores da empresa expressassem suas impressões acerca da proposta (procedimento gravado em áudio);

3. Durante a discussão, através de um quadro de verificação (Anexo C), a pesquisadora validava, ou não, as **diretrizes** propostas, sem apresentá-las aos membros do painel de especialistas;
4. Por fim, as diretrizes foram apresentadas aos gestores que puderam discorrer melhor sobre os pontos abordados.

6 RESULTADOS

A partir do estudo de caso feito durante o processo de pesquisa, foram extraídos alguns direcionamentos projetuais que se mostraram relevantes ao desenvolvimento da proposta abordada.

Face à falta de orientação prática como uma das principais barreiras na abordagem da modularidade e pré-fabricação dos componentes da construção civil, e do avanço na utilização de métodos de construção mais modernos (GOSLING *et al.*, 2016), entende-se que o estudo de “como” abordar a estratégia de customização em massa voltada às habitações se faz relevante e necessário.

Principalmente no cenário nacional, onde tal estratégia se mostra promissora no sentido de reduzir custos e prazos e aumentar a qualidade de projeto e execução de empreendimentos que visam combater o déficit habitacional no país.

Partindo dos direcionamentos elencados durante o processo de projeto e pesquisa, analisou-se quais deles tinham relevância e aplicação válida a outras propostas projetuais, que não ao estudo de caso aqui apresentado.

Desta forma, alcançou-se o objetivo geral desta pesquisa: propor diretrizes para o projeto de subsistemas de cobertura pré-fabricados que possibilitem a customização em massa de unidades de habitação. Assim, são pontuadas a seguir as diretrizes extraídas da análise realizada durante o processo de pesquisa.

6.1 Proposta de Diretrizes para projeto de subsistemas de cobertura modulares com aplicação de CM

Como resultado deste trabalho foram reconhecidas dez diretrizes projetuais. O texto subsequente apresenta cada uma delas detalhadamente. Recomenda-se que, durante o processo de projeto, as diretrizes sejam adotadas seguindo a ordem a qual são apresentadas aqui, visto que acompanham o processo indicado para as definições de projeto, ainda que algumas etapas de decisão sejam cíclicas.

1. Priorizar o uso de telhas industrializadas com dimensões maiores

A primeira diretriz diz respeito a um dos componentes mais representativos do subsistema de cobertura: as telhas. Por serem elas as responsáveis pelo direcionamento das decisões - no que diz respeito à definição de inclinação da cobertura, estrutura do telhado e aparência final do subsistema, por exemplo - é necessário que a decisão pelo tipo de telha a ser utilizado seja feita logo nas fases iniciais de projeto.

Partindo disso, o estudo de caso mostrou que a escolha por telhas com dimensões maiores (no formato de chapas), aqui denominadas pelo termo *telhas industrializadas*, deve ser priorizada, visto que atendem à premissa de velocidade de montagem no canteiro e podem ser produzidas sob medida, possibilitando que, com dimensões pré-definidas em projeto, não seja necessário fazer ajustes em obra - como no caso das telhas cerâmicas - e, conseqüentemente, gerar desperdício de tempo e recursos.

É importante ressaltar que, para projetos de customização em massa, apesar de a prioridade ser dada à escolha das telhas industrializadas, assim como no estudo de caso apresentado, é interessante, sempre que possível, oferecer alternativas para o subsistema de cobertura que contemplem a instalação de outros tipos de telha, sem que ocorram interferências entre os outros subsistemas da UH.

Assim, a gama de variantes de produto e a flexibilidade da proposta pode ser ampliada, atendendo às premissas da estratégia de customização em massa.

Entretanto, é imprescindível que, ao possibilitar o uso de diferentes tipos de telha a uma mesma opção de telhado, sejam consideradas as implicações que isto poderá gerar na logística de produção e montagem do subsistema.

Deve-se atentar para as limitações dos tipos de telha passíveis de aplicação ao projeto, levando em consideração que cada um possui recomendações específicas quanto ao transporte, armazenagem, instalação e manutenção.

Assim, ao oferecer uma gama variável de opções ao cliente final, todo o processo precisa ter sido preparado para suprir as diferentes necessidades das variantes de produto oferecidas.

2. Prever uma paginação de telhas que evite recortes e que, quando houver possam ser reaproveitados em outras situações do projeto

Esta diretriz tem como objetivo a redução no número de variáveis dos módulos, ou seja, a maior padronização dos mesmos. A partir disto, é possível simplificar e diminuir a quantidade de atividades realizadas nos subprocessos de produção dos componentes do subsistema.

Assim, é recomendável que, sempre que forem necessários recortes nos módulos das telhas, como por exemplo no “módulo de customização C” do estudo de caso – onde a proposta do telhado de três águas gera cortes de 45° no encontro das águas e conformação dos espigões da cobertura – seja analisada a possibilidade de utilizar a parte remanescente da telha em outras áreas da cobertura, a fim de reduzir os custos do empreendimento quando analisado em grande escala.

3. Prever a mesma inclinação para todas as opções de telhado propostas para o projeto

A terceira diretriz extraída durante o processo de pesquisa novamente faz referência à padronização dos componentes. Como uma das ferramentas necessárias para a aplicação da estratégia de modularidade ao projeto, a padronização dos componentes e interfaces é essencial para que haja a intercambialidade entre e os módulos e, conseqüentemente, a viabilidade de execução das variantes de produto.

Sabido que a inclinação da cobertura é o ponto de partida para o desenho dos frontões, ao padronizá-la é possível definir a geometria dos componentes intercambiáveis, a fim de que o número de módulos seja reduzido. Assim, será possível utilizá-los nas diferentes variantes de produto propostas.

Quando os requisitos de projeto do subsistema de cobertura contemplam a possibilidade de utilização de diferentes tipos de telha, ao aplicar esta diretriz ao desenvolvimento do mesmo, este ponto deve ser levado em consideração, a fim de que, ao final da proposta, a inclinação adotada seja compatível às variantes.

4. *Priorizar o uso de módulos existentes ao propor novas variantes de produto*

O processo de modulação dos componentes se inicia a partir da definição dos diferentes desenhos de cobertura que irão compor as variantes de produto.

A partir da definição destas opções e, de acordo com as dimensões dos elementos que compõem o subsistema de cobertura, é possível dar início ao processo de desenho modular, padronizando componentes e interfaces de acordo com o tipo de arquitetura modular adotado no projeto.

Em contrapartida, através dessa padronização, novas variantes de produto - ainda não previstas em projeto - podem surgir ao se perceber que a combinação e intercambialidade dos componentes é viável.

Dessa forma, a fim de reduzir o número de variáveis dos módulos e, conseqüentemente, facilitar tanto os processos de produção quanto de montagem dos elementos, é recomendável que a proposta de novas variantes de produto seja feita a partir de módulos já existentes e que, apenas quando não for possível viabilizar a proposta a partir destes, sejam desenhados módulos extra.

Como exemplo, pode-se retornar ao estudo de caso. Após o desenho da opção de cobertura do módulo base 1 (B1), viu-se a possibilidade de utilizar os mesmos módulos de corte das chapas para compor B2. Entretanto, para que o telhado borboleta (B3) pudesse ser adicionado às variantes de produto, além de utilizar estes mesmos módulos (já intercambiáveis entre as outras duas variantes), seria necessário propor dois módulos novos.

5. *Utilizar interfaces de ligação de mesmo tipo*

Partindo do pressuposto de que a modularidade é condição necessária para projetos que almejam alcançar algum grau de customização em massa, entende-se que a proposta das interfaces de ligação entre os módulos é um dos pontos relevantes no desenvolvimento do projeto.

Apesar de não contemplado no estudo de caso, visto que será uma etapa futura de desenvolvimento do mesmo pelo grupo de pesquisa, os tipos de interface sempre permearam as discussões dos projetistas.

Além disso, ao analisar a literatura é possível concluir que pertence às interfaces o papel tão importante de possibilitar a intercambialidade entre os módulos do subsistema.

Ulrich (1995) propõe uma classificação dos subtipos de arquitetura modular, dividindo-os de acordo com as características das interfaces do sistema. Eles podem ser do tipo *slot*, *bus* ou *sectional*³⁴.

Dessa forma, recomenda-se que o projeto do produto seja pautado nas classificações de modularidade do tipo *bus* ou *sectional*, visto que estas são as classificações nas quais as interfaces são de mesmo tipo e permitem a intercambialidade dos módulos entre as variantes de produto. Enquanto a de tipo *slot* apresenta interfaces diversas que, conseqüentemente, inviabilizam esta possibilidade.

6. Definir, logo no início do projeto, o local e o sistema de instalação dos reservatórios de água fria e água quente

É imprescindível que não haja interferência na instalação entre os subsistemas que compõem a cobertura. Visto que os reservatórios de água possuem premissas de instalação devido à pressão hidráulica e posicionamento dos volumes, recomenda-se que a definição de seu local de instalação seja pensada desde o início do projeto.

Este posicionamento influenciará diretamente nas três dimensões do volume da cobertura e, conseqüentemente, nas dimensões dos módulos de vedação dos frontões, estrutura do telhado e telhas que serão projetados nas etapas seguintes.

Aqui se deve atentar, principalmente, à altura (nível) de instalação dos reservatórios, a fim de que o desenho do telhado contemple as áreas de manutenção recomendadas para os mesmos.

³⁴ Ver subcapítulo “2.3.1 Tipos de Arquitetura Modular”.

7. Iniciar a proposta tendo como referência as medidas padrão dos componentes do subsistema disponíveis comercialmente

Definidos o tipo de telha a ser utilizado, a inclinação da cobertura, os tipos de interface do subsistema e o posicionamento dos reservatórios hidráulicos, inicia-se a etapa de modularização do projeto.

Durante o processo projetual apresentado no estudo de caso, foi possível notar que a primeira tentativa de modulação das placas cimentícias e chapas OSB se mostrou inviável, apesar de atender de forma eficaz à premissa de redução de perda de materiais.

Neste caso, o que aconteceu foi o fato de que as dimensões finais das chapas propostas pelo desenho dos módulos, não eram compatíveis às das chapas disponíveis comercialmente.

Entende-se então que, apesar de ser possível a produção de elementos sob medida, essa proposta iria contra a premissa de “flexibilidade em uso” da habitação, visto que, se fosse necessário fazer modificações ou ampliações na unidade, após sua entrega, os componentes utilizados no sistema não seriam encontrados facilmente no mercado.

Outro fator importante para que esta diretriz fosse proposta é o fato de que, sempre que o uso de componentes disponíveis comercialmente é priorizado, evita-se a dependência de um único fornecedor e, então, a possibilidade de oferta e negociação é maior.

8. Simplificar os sistemas de captação de águas pluviais

Ao se trabalhar com unidades de habitação pré-fabricadas, usualmente são adotados sistemas construtivos industrializados e, conseqüentemente, de construção seca.

Como em qualquer obra, o projeto correto de captação e distribuição de águas pluviais é muito relevante para a manutenção da estrutura a longo prazo.

Assim, conclui-se que o uso de calhas embutidas e platibandas deve ser evitado, visto que a manutenção demandada é maior e, conseqüentemente, a possibilidade de surgimento de patologias na UH também.

Dessa forma, recomenda-se, sempre que possível, a utilização de beirais e telhados que direcionem o escoamento da água para longe da estrutura das paredes, optando pela utilização de calhas externas que não interfiram na instalação da estrutura do telhado e das telhas.

Esta recomendação se dá, também, pelo fato de isentar o subsistema de cobertura da proposta de novas interfaces de ligação, visto que, em um sistema mais complexo de captação de águas pluviais, é necessário prever como será a interface entre calhas e telhas gerando, possivelmente, recortes nas mesmas e a proposta de um maior número de módulos variáveis que, sempre que ocorrem, aumentam a complexidade do sistema de produção e da logística de montagem.

9. Considerar a logística de produção, transporte e montagem final do subsistema

Assim como observado na visita feita à fábrica da empresa parceira, o projeto do subsistema de cobertura deve contemplar reflexões acerca da logística de produção, transporte e montagem do subsistema no canteiro, a fim de racionalizar o tempo e os recursos aplicados ao mesmo.

Seguindo essa premissa, ao serem definidas as dimensões dos módulos devem ser levados em consideração:

Quanto à logística de produção: as possibilidades oferecidas pelo maquinário e sistema de produção disponíveis, visando não propor um projeto no qual a execução será inviabilizada pela fábrica. Ou seja, antes de dimensionar os módulos, o projetista deve ter conhecimento das limitações impostas pelo sistema de produção disponível, a fim de que eles não possuam dimensões maiores do que as atendidas pelo maquinário da fábrica, e nem muito pequenas, às quais sejam de produção inviável ao sistema.

Quanto à logística de transporte: a capacidade do compartimento de carga no qual serão transportados os módulos até o local da obra, atentando-se para que as dimensões máximas dos mesmos não excedam a capacidade do compartimento, e para que o espaço interno deste seja otimizado, evitando configurações de módulos que, para serem transportados, gerem muitos espaços vazios no compartimento.

Além deste ponto, ao se tratar da logística de transporte dos componentes pré-fabricados, ressalta-se novamente que deve ser analisada - na etapa inicial de concepção do projeto - a viabilidade do custo do frete de acordo com a distância entre a implantação do empreendimento e a fábrica.

Quanto à logística de montagem: as condições do canteiro, que fazem referência à possibilidade, ou não, de armazenagem dos módulos no local da obra e à viabilidade, ou não, de montagem da estrutura em solo, para posterior içamento do subsistema.

É importante ressaltar que a logística de montagem e a possibilidade de armazenagem dos módulos no canteiro tem relação direta com o porte do empreendimento, ou seja, o número de unidades a serem entregues. Um empreendimento de maior porte deve ser planejado de forma que o local de armazenagem dos módulos no canteiro esteja previsto desde o início.

Ao refletir acerca destas premissas, é possível definir as estratégias que serão adotadas para a montagem do subsistema nas diferentes configurações de terrenos possíveis.

10. Evitar construções na divisa do lote

Apesar de ser uma decisão prevista na fase de definição da planta, ela condiciona a maior parte das decisões relacionadas ao desenvolvimento do projeto do subsistema de cobertura.

Recomenda-se que as construções adotem recuos em todas as laterais do terreno, a fim de possibilitar a configuração de coberturas com beirais.

Esta premissa faz referência à sétima diretriz aqui apresentada - *simplificar os sistemas de captação de águas pluviais* - a fim de tornar o subsistema de cobertura mais estanque, evitando o contato dos painéis das paredes com a água - premissa particularmente importante ao adotar o sistema LWF.

Outro ponto positivo ao distanciar a edificação da divisa do lote, é o fato de que as faces da unidade não ficam desprotegidas. Novamente, através dos beirais, é possível prover maior conforto térmico no interior da edificação, e proteger tanto as faces externas quanto a estrutura dos painéis que compõem as paredes da casa.

O fato de o estudo de caso ter proposto uma unidade de habitação que é contrária a esta diretriz, foi de extrema importância para que as consequências apresentadas no desenvolvimento da pesquisa pudessem ser reconhecidas, e para que fosse avaliada a real importância desta recomendação.

7 CONCLUSÕES

A pesquisa apresentada teve como objetivo a proposta de diretrizes para o projeto de subsistemas de cobertura pré-fabricados visando a customização em massa de unidades de habitação unifamiliares.

Durante o processo de investigação, concluiu-se que para atingir este objetivo era imprescindível compreender os princípios de arquitetura e modularidade do produto, a fim de transferi-los ao estudo em questão.

Assim, surge ainda como uma das contribuições teóricas da pesquisa a indagação sobre a correta classificação dos tipos de arquitetura modular do produto aplicada ao ambiente construído. Sugere-se para pesquisas futuras, explorar a teoria acerca do tema, a fim de que seja possível tratar, com exatidão, de tais classificações relacionadas à edificação como produto.

A partir destas discussões, entende-se que a modularidade é condição necessária aos projetos que almejam certo grau de customização em massa. Diante dos preceitos desta estratégia possibilitou-se a simplificação e padronização dos elementos que, então, puderam efetivamente tornar-se módulos componentes do subsistema.

Conclui-se que a intercambialidade entre os módulos e a redução no número de variáveis dos mesmos simplificam os processos de produção, transporte e montagem do subsistema e favorecem o atendimento às necessidades específicas dos clientes, reduzindo custos e prazos para que sejam competitivos àqueles dos mercados de produção em massa.

Aqui se destaca a dualidade de dois termos que compõem os resultados desta pesquisa: modularidade e customização. Enquanto a modularidade é um fator que favorece diretamente a fábrica (produção) - ressaltando que o resultado efetivo da aplicação da estratégia se dá na produção em grande escala - a customização é condição relacionada ao favorecimento do cliente.

Assim, conclui-se que a adoção da customização em massa é uma prática de benefícios bilaterais visto que, além da simplificação dos processos de projeto e produção, atende às premissas do contexto social, possibilitando a oferta de variantes de produto que atendam às necessidades de diferentes famílias. Diferentemente do ocorre nos modelos atuais de projetos de assistência habitacional, quando precisam se adaptar a um padrão estabelecido para combater o déficit habitacional no país.

Entende-se que a oferta de variantes do subsistema de cobertura possui o objetivo de agregar, prioritariamente, valor àquilo que é percebido pelo cliente, que tem autonomia para exprimir identidade no espaço ao qual se faz sua moradia, e liberdade para que as mudanças futuras ocorridas no programa de necessidades da casa sejam acompanhadas por todos os subsistemas da unidade de habitação.

Foi proposto, desde o início deste estudo, o objetivo de agregar qualidade às unidades de habitação produzidas em série. Assim, a modularidade e a customização em massa mostraram ser as estratégias facilitadoras para que este objetivo fosse alcançado.

O que se destaca até aqui é uma conclusão clara do trabalho e da prática projetual: a importância de se ter o foco na qualidade dos projetos propostos, independentemente das restrições financeiras impostas ao empreendimento.

A ideia abordada e defendida pela pesquisa é de que se deve prover qualidade nas decisões projetuais em todos os âmbitos nos quais seja possível atuar: dimensionamentos, fluxos, conforto ambiental, expansão do programa de necessidades, possibilidade de customização, etc.

Nesta discussão destaca-se também o papel importante da utilização da estratégia do design colaborativo, que faz alusão exatamente à importância de se discutir o projeto em todas as áreas do conhecimento. Ao descrever este processo de tomadas de decisão, buscou-se contribuir com o debate sobre metodologia de projeto, que se faz constante ao meio no qual atuam os projetistas.

No decorrer do texto evidencia-se a necessidade da pré-fabricação e dos requisitos de industrialização aplicados à construção civil, a fim de atingir os objetivos aqui propostos. Entende-se que a adoção de sistemas de construção seca se faz necessária.

Assim, ressalta-se que, independentemente do sistema construtivo adotado (dentro do grupo dos sistemas pré-fabricados), os esforços empregados na fase projetual, de compreensão da arquitetura do produto e de modularização dos componentes do subsistema são os grandes responsáveis por ganhos de produção e qualidade das unidades habitacionais.

Naturalmente, quanto mais limpo, padronizado e inteligente for o sistema construtivo adotado, maior será a qualidade de produção e montagem dos diversos subsistemas que compõem uma unidade de habitação.

Dessa forma, conclui-se que os esforços empregados no processo, a fim de viabilizar a customização em massa, geram resultados consistentes no que diz respeito tanto à otimização dos processos de produção, quanto ao aumento na qualidade do produto que será entregue ao cliente final.

Assim, espera-se que as diretrizes obtidas como resultado deste trabalho sejam utilizadas como um guia facilitador para aqueles que almejam trabalhar com a concepção de subsistemas de cobertura pré-fabricados, através do emprego da modularidade e da consequente possibilidade de oferta da customização em massa.

7.1 Sugestões para estudos futuros

A fim de complementar a geração de conhecimento almejada por este trabalho, sugere-se como foco de pesquisas futuras relacionadas ao tema aqui abordado:

- Estudo com foco na precificação das diferentes variantes de produto, levando em consideração o custo dos componentes do subsistema de cobertura, e avaliando quais fatores apresentam valor mais elevado ao propor projetos de telhados passíveis customização em massa;
- Investigação acerca das interfaces de ligação entre os módulos propostos para os subsistemas de cobertura pré-fabricados;
- Investigação acerca das interfaces de apresentação (*choice menus*) das variantes de produto a serem oferecidas ao cliente final;
- Desenvolvimento de estudos que avaliem o retorno dado pelo público alvo acerca da possibilidade de escolha entre variantes de produto referentes aos subsistemas de cobertura.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 5626**: Instalação Predial de Água Fria. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: [s.n.], 1998.

AGÊNCIA UEL de Notícias. **Casa construída a seco é montada em três horas no CTU**, 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/com/agenciaueldenoticias/index.php?arq=ARQ_not&FWS_Ano_Edicao=1&FWS_N_Edicao=1&FWS_Cod_Categoria=2&FWS_N_Texto=18072>. Acesso em: 22 Junho 2016.

ARAGÃO, D. L. L. J. D. **Subsídios para aplicação do Custeio-Meta na etapa de concepção de unidades habitacionais de interesse social no âmbito do PMCMV**. Londrina: UEL, 2014. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento).

BARROS, A. D. A. Hábitos no habitar. Hábitos de morar e a criação do espaço arquitetônico. **Vitruvius**, São Paulo, v. 057.04, n. ano 12, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/12.057/4386>>.

BERKE, D. Pensamentos sobre o cotidiano. In: SYKES, A. K. **O campo ampliado da Arquitetura**: Antologia teórica (1993-2009). Tradução de Denise Bottmann. São Paulo: Cosac Naify, 1997.

BLACHÈRE, G. **Tecnologías de la construcción industrializada**. Barcelona: Gustavo Gili, 1978. 168 p.

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento**. 2ª. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1972.

CAIXA. Números do Programa Minha Casa Minha Vida. Caixa Econômica Federal, 2015. Disponível em: <<http://mcmv.caixa.gov.br/numeros/>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

CERÁVOLO, F. **A pré-fabricação em concreto armado aplicada à conjuntos habitacionais no Brasil**: o caso do conjunto habitacional Zezinho Magalhães Prado. São Carlos: EECS/USP, 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo).

CIRQUEIRA, C. B. D. R. P. **A coordenação modular como ferramenta de projeto de arquitetura e levantamento de componentes normatizados no mercado da construção civil do distrito federal**. Brasília: UNB, 2015. 117 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura).

CONCEIÇÃO, P. A.; IMAI, C.; URBANO, M. R. Captura e Hierarquização de Requisitos do Cliente de Habitação de Interesse Social a partir da Avaliação Pós-ocupação e da Técnica de Preferência Declarada. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 1, jan./jun. 2015.

CONCEIÇÃO, P. D. A. **Método para classificação de famílias visando à adoção da customização em massa por segmentos na habitação de interesse social**. Londrina: [s.n.], 2015. 160f p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo).

DA SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass Customization: Literature Review and Research Directions. **International Journal Production Economics**, v. 72, p. 1-13, 2001.

DAVIS, S. M. **Future Perfect**. [S.l.]: Addison Wesley, 1987. 243 p.

DAVIS, S. M. From Future Perfect: Mass Customizing. **Planning Review**, v. 17, p. 16-21, 1989.

DI SIVO, M.; ANGELUCCI, F. Mass customization process for the Social Housing. Potentiality, critical points, research lines. **Techne**, v. 4, p. 132-137, 2012.

DIAS, A. D. S. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

EGGEN, Ø. Modular product development: A review of modularization objectives as well as techniques for identifying modular product architectures, presented in a unified model. **Norwegian University of Science and Technology**, Norway, p. 1-12, 2013.

FAITHFULL, P. T.; BALL, R. J.; JONES, R. P. An investigation into the use of hardware-in-the-loop simulation with a scaled physical prototype as an aid to design. **Journal of Engineering Design**, v. 12, p. 231-243, 2001.

FERNANDES, A. P. S. **Habitação (colectiva) modular pré-fabricada: Considerações, origens e desenvolvimento**. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009. 212 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura).

FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio século XX: o dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FIORELLI, J. **Sistema de cobertura modular em madeira de reflorestamento, chapa de partículas e telha reciclada à base de embalagens longa vida para aplicação em construções rurais**. São Carlos: USP, 2009. 181 p. Pós-doutorado em Engenharia de Estruturas.

FLOYD, C. A. A systematic look at prototyping. In: BUDDE, R.; KUHLENKAMP, K.; ZULLIGOHOVEN, H. **Approaches to prototyping**. Berlim: Springer-Verlag, 1984. p. 12-20.

FONYAT, M. D. A. R. **A Pré-fabricação e o Projeto de Arquitetura**. Porto Alegre: UFRGS, 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura).

GILMORE, J.; PINE, J. The Four faces of Mass Customization. **Harvard Business Review**, Boston, v. 75, p. 91-101, jan/fev 1997.

GOSLING, J. et al. Defining and Categorizing Modules in Building Projects: An International Perspective. **J. Constr. Eng. Manage**, 2016. 1-11.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: Uma abordagem atualizada**. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

GROPIUS, W. **Bauhaus: Nova Arquitetura**. 2ª. ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1972.

GUADANHIM, S. J. et al. **A Design Process Proposal to Brazilian Government's Social Housing Program**. ZEMCH International Conference. Lecce: [s.n.]. 2015.

HIROTA, E. H. **Projeto de Pesquisa - Processo de projeto de empreendimento habitacional de interesse social com conceitos de customização em massa e eficiência energética: diretrizes e proposta metodológica**. UEL. Londrina, p. 22. 2014.

IMAI, C. et al. O modelo tridimensional físico como instrumento de simulação na habitação social. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, p. 7-19, jul./dez. 2015.

LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. Customizing customization. **Sloan Management Review**, p. 21-30, 1996.

LEITE, F. L. **Contribuições para o Gerenciamento de Requisitos do Cliente em Empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. Civil, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia.

LUKKA, K. The Key Issue of Applying the Constructive Approach to Field Research. **Management Expertise for the New Millenium. In Commemoration of the 50th Anniversary of the Turku School of Economics and Business Administration**, v. A-1, p. 113-128, 2000.

MARICATO, E. O Ministério das Cidades e a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano. Políticas Sociais - acompanhamento e análise, Brasília, v. 12, Fevereiro 2006. Disponível em: <http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/politicas_sociais/ensaio2_ministerio12.pdf>. Acesso em: 06 out. 2015.

MASCARÓ, L. E. R. D. Coordinación modular? Qué és? **Summa**, Buenos Aires, v. 103, p. 20-21, Agosto 1976.

MEDEIROS, S. R. F. Q. D. **BNH: outras perspectivas**. Anais da I Conferência Nacional de Políticas Públicas. Natal: [s.n.]. 2010. p. 1-15.

MONTENEGRO FILHO, R. A. D. L. **Pré-fabricação e a obra de Eduardo Kneese de Mello**. São Paulo: USP, 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo).

NOGUCHI, M. **Mass Custom Home: The "Mass Custom Design" Approach to the Delivery of Quality Affordable Homes**, 2003. Disponível em: <<http://www.masscustomhome.com/>>. Acesso em: 18 maio 2015.

NOGUCHI, M. **Japanese Manufacturers "Cost-Performance" Marketing Strategy for the Delivery of Solar Photovoltaic Homes**. Solar World Congress ISES 2005. Orlando: [s.n.]. 2005. p. 6-12.

NOGUEIRA, C. F. B. **Diretrizes de projeto para a redução de perdas na produção em massa de painéis de vedação pré-fabricados em sistemas de construção a seco**. Londrina: UEL, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações).

OLIVEIRA, P. P. **Efeitos do número de unidades no desempenho da Habitação e Interesse Social: O caso de Moradias isoladas e concentradas no município de Santiago** -

RS. Porto Alegre: UFRGS, 2012. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional).

ORTENZI, A. **A fibra de vidro em matrizes poliméricas e cimentícias e seu uso estrutural em construção civil**: o estado da arte. São Carlos: UFSCar, 2007. 205f p. Dissertação (Mestrado).

OXLEY WOODS. Disponível em: <oxleywoods.mk>. Acesso em: 23 maio 2015.

PINE II, B. J. **Personalizando Produtos e Serviços**: customização maciça. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1994. 334 p.

PINHEIRO, J. D. Q.; FARIAS, T. M.; ABE-LIMA, J. Y. Painel de Especialistas e Estratégia Multimétodos: Reflexões, Exemplos, Perspectivas. **Psico**, Porto Alegre, v. 44, p. 184-192, abr./jun. 2013.

ROCHA, C. G. D. **A conceptual framework for defining customisation strategies in the house-building sector**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. Tese (Doutorado em Engenharia).

ROCHA, C. G. D. et al. **Design Science Research in Lean Construction**: Process and Outcomes. Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. [S.l.]: [s.n.]. 2012.

SAFFARO, F. A. **Uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. Florianópolis: UFSC, 2007. 237 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil).

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. D. Steel Framing: Arquitetura. In: SANTIAGO, A. K. **Série Manual de construções em Aço**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2012. p. 151.

SILVA, F. B. D. Wood frame - construções com perfis e chapas de madeira. **Téchne**, n. 161, Agosto 2010.

SPIRA, J. Mass customization trough training at Lutron Electronics. **Computer Industry**, p. 171-174, 1996.

TILLMANN, P. A. **Diretrizes para a Adoção da Customização em Massa na Construção Habitacional para Baixa Renda**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

TRAVERSO, G.; FORMOSO, C. T. **Contributions for the customization of social housing projects based on the interventions undertaken by dwellers after occupation**. ZEMCH 2014 International Conference. [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 64-74.

TUMELERO, G. **Estanqueidade na Interface de Conexão entre Esquadrias de Alumínio e Painéis do Sistema Construtivo Wood Frame**. Londrina: UEL, 2016. 144 p. Dissertação de Mestrado (Programa Associado de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo).

ULRICH, K. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research Policy**, n. 24, p. 419-440, 1995.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 2ª. ed. Londres: McGraw-Hill, 2000.

VAISHNAVI, V. K.; KUECHLER, W. J. **Design Science Research Methods and Patterns Innovating Information and Communication Technology**. [S.l.]: Taylor & Francis Group, 2007.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. Design Science Research in Information Systems, 20 jan. 2004. Disponível em: <<http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, March 2004. 219-246.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. **Analysis of house production in Japan and Brazil, and technological stagnation of the sector**. ZEMCH 2014 International Conference. [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 76-86.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YOKOTA, A. A. **Aplicação do Custeio-Meta no Processo de Projeto em Habitação de Interesse Social**. Campinas: Unicamp, 2015. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

APÊNDICE A

Exemplos de aplicação da CM em empreendimentos residenciais

Para ilustrar a aplicação da estratégia da CM ao projeto arquitetônico e às práticas da construção civil, foram levantados alguns exemplos durante o processo de pesquisa. Dois deles são apresentados a seguir. O critério de escolha dos casos foi a importância do projeto em seu meio de inserção e a busca por diferentes situações da tentativa de aplicabilidade da CM.

Oxley Woods | Rogers Stirk Harbour + Partners (RSHP) | 2007

FIGURA 69: Perspectiva externa do conjunto habitacional Oxley Woods



FONTE: Rogers Stirk Harbour + Partners

Fruto de um concurso governamental, este projeto tinha o objetivo de desenvolver um conjunto habitacional onde aproximadamente 30% das casas deveriam ter um custo de até £60 000.³⁵ O objetivo foi atingido, e das 145 residências, 56 (o equivalente a 38%) são de baixo custo.

Desenvolvido pelo escritório do arquiteto Richard Rogers, o complexo fica localizado próximo à Milton Keynes, na Inglaterra. As premissas projetuais buscavam atender aos requisitos de sustentabilidade e eficiência energética, além de desenvolver casas pré-fabricadas em um tempo de entrega reduzido.

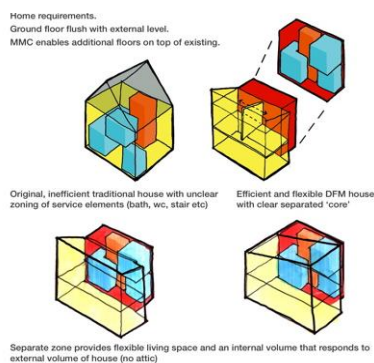
³⁵ Este é um valor baixo no contexto do Reino Unido, onde o projeto foi concebido e construído, e caracterizava, na época, o perfil de habitações mais acessíveis.

O sistema utilizado para a construção das casas foi o Homeshell³⁶ combinado à utilização de painéis do sistema LWF, que agrega baixo custo às residências e, portanto, dá suporte aos programas de habitação de interesse social.

Além disso, as opções de customização e flexibilidade eram conceitos indispensáveis ao projeto. Foram desenvolvidos 16 padrões diferentes para as casas - com opções disponíveis de dois, três, quatro ou cinco quartos - que poderiam ser facilmente adaptados às diferentes fases da vida dos futuros moradores.

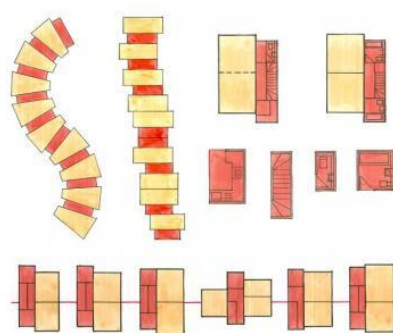
Na concepção do projeto, os arquitetos dividiram a casa em “zonas de serviços” e “zonas de estar”, propondo uma nova organização espacial dos ambientes que provia flexibilidade na planta e, como resultado, gerava a solução formal das residências.

FIGURA 70: Diagrama de setorização das “zonas de serviço” e “zonas de estar”



FONTE: Rogers Stirk Harbour + Partners

FIGURA 71: Estudo de customização de planta e implantação das unidades



FONTE: Rogers Stirk Harbour + Partners

Neste exemplo, a tecnologia construtiva adotada, por ser pré-fabricada, facilitou a oferta de opções de customização apresentadas no projeto. Entretanto, algum tempo após a entrega das casas, o conjunto começou a apresentar uma série de patologias que incluem, principalmente, problemas relacionados a vazamentos e infiltrações³⁷.

³⁶ Desenvolvido à partir de um sistema de construções chamado Insulshell, de autoria da Sheffield Insulations Group (SIG) e Coxbench. Além de Oxley Woods, o Velódromo Olímpico de Londres de 2012 também fez uso deste sistema em sua construção.

³⁷ Informação obtida através da reportagem do site de notícias *The Guardian*: <<https://www.theguardian.com/business/2014/oct/07/architect-richard-rogers-5m-legal-claim-leaky-houses-oxley-woods>> Acesso em: Julho de 2016.

As principais causas identificadas para o desencadeamento de tais problemas foram relacionadas à má vedação das esquadrias e do sistema de cobertura, o que interferiu diretamente no desempenho dos painéis em madeira que, ao terem contato com a água, começaram a apresentar patologias.

Por este motivo, este caso se apresenta como referência fundamental para o desenvolvimento da pesquisa, visto que, apesar de utilizar um subsistema de cobertura³⁸ altamente industrializado e pré-fabricado, pode-se observar que, combinado à estrutura em LWF, todo o cuidado relacionado aos problemas de contato da madeira com a água é necessário, indicando que a utilização de beirais e outros elementos de proteção do sistema construtivo adotado se mostraram ser atributos indispensáveis ao subsistema de cobertura que foi proposto pelo trabalho.

FIGURA 72: Detalhe da manta utilizada na cobertura e das patologias apresentadas nos painéis de madeira



FONTE: <www.architectsjournal.co.uk/News/what-went-wrong-at-oxley-woods/8662623.article> Acesso em: Julho de 2016

³⁸ O subsistema de cobertura adotado utilizou, ao invés de telhas, um acabamento feito com manta impermeabilizante.

A experiência das casas pré-fabricadas japonesas

Quando se fala em customização em massa aplicada ao mercado de construções residenciais, pode-se afirmar que o Japão é um dos países que mais se destaca no cenário mundial. Tecnologia e design de qualidade vêm sendo notados em sua produção habitacional mais recente.

FIGURA 73: Residências de CM pela Sanyo Homes



FONTE: Noguchi, 2005

Exemplos de inovação tecnológica e pré-fabricação, algumas empresas atuantes no mercado japonês são pioneiras na técnica da produção seriada com inserção do atendimento às diferentes necessidades de cada cliente. Destacam-se como referência algumas dessas empresas: *Daiwa House*, *Toyota Home Corporation*, *Sekisui House*, *Sanyo Homes* e *PanaHome*.

Dentre outros atuantes no mercado, esses grupos oferecem um sistema semelhante: disponibilizam alguns modelos de residência padrão, e permitem que o cliente customize, dentro de certas opções fechadas, a sua futura casa. Entretanto, algumas características são particulares ao sistema oferecido por cada grupo, o que se traduz no resultado final do produto oferecido.

“De acordo com Barlow e Ozaki (2003), as empresas japonesas adotam diferentes estratégias de customização em massa [...] Por exemplo, a Toyota Home produz uma gama final de módulos que podem ser encontrados em qualquer lugar do Japão [...] A Sekisui House usa personalização sob medida, contrastando com as anteriores: ela oferece componentes padronizados e submontagem, que são então utilizados para configurar os requisitos do cliente no local.” (TRAVERSO e FORMOSO, 2014, p. 66).

Segundo Vivan e Paliari (2014), a capacidade de customização das casas japonesas é notável, pois elas são fabricadas em linhas de montagem, onde muitas das atividades são padronizadas e altamente automatizadas. Isto confirma o caráter indissociável da estratégia aos moldes de industrialização discutidos no decorrer desta pesquisa.

ANEXO A

Especificações mínimas para o projeto de unidades habitacionais vinculadas ao Programa Minha Casa, Minha Vida³⁹.

³⁹ O primeiro documento apresentado é referente à revisão feita em 2016 pelo Governo Federal. Subsequente, apresentam-se as restrições anteriores que destacam alguns pontos não modificados nesta revisão mais recente.

EDIFICAÇÕES Aprovada pela Portaria N°146 de 26 de abril de 2016		
Projeto	Unidade habitacional com sala / 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas / cozinha / área de serviço / banheiro.	
DIMENSÕES DOS CÔMODOS (Estas especificações não estabelecem área mínima de cômodos, deixando aos projetistas a competência de formatar os ambientes da habitação segundo o mobiliário previsto, evitando conflitos com legislações estaduais ou municipais que versam sobre dimensões mínimas dos ambientes, sendo porém obrigatório o atendimento à NBR 15.575, no que couber)		
Dormitório casal	Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m.	
Dormitório duas pessoas	Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,80 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50 m). Circulação mínima entre as camas de 0,80 m. Demais circulações mínimo de 0,50 m.	
Cozinha	Largura mínima da cozinha: 1,80 m. Quantidade mínima: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); e geladeira (0,70 m x 0,70 m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.	
Sala de estar/refeições	Largura mínima sala de estar/refeições: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e Estante/Armário TV.	
Banheiro	Largura mínima do banheiro: 1,50 m. Quantidade mínima: 1 lavatório sem coluna, 1 vaso sanitário com caixa de descarga acoplada, 1 box com ponto para chuveiro – (0,90 m x 0,95 m) com previsão para instalação de barras de apoio e de banco articulado, desnível máx. 20 mm; Assegurar a área para transferência ao vaso sanitário e ao box.	
Área de Serviço	Dimensão mínima da área de serviço interna: 3 m ² . Quantidade mínima: 1 tanque (0,52 m x 0,53 m) e 1 máquina (0,60 m x 0,85 m). Garantia de acesso frontal para tanque e máquina de lavar.	
Em Todos os Cômodos	Espaço livre de obstáculos em frente às portas de no mínimo 1,20 m. Deve ser possível inscrever, em todos os cômodos, o módulo de manobra sem deslocamento para rotação de 180° definido pela NBR 9050 (1,20 m x 1,50 m), livre de obstáculos.	
Ampliação - casas	A unidade habitacional deverá ser projetada de forma a possibilitar a sua futura ampliação sem prejuízo das condições de iluminação e ventilação natural dos cômodos pré existentes.	
CARACTERÍSTICAS GERAIS		
Área útil (área interna sem contar áreas de paredes)	Casas	A área mínima de casa deve ser a resultante das dimensões mínimas atendendo o mobiliário mínimo definido nestas especificações mínimas, considerando-se dois dormitórios, sala de estar/refeições, cozinha, banheiro e circulação, não podendo ser inferior à 36,00 m ² , se área de serviço externa, ou 38,00 m ² , se a área de serviços for interna.
	Apartamentos	A área mínima de apartamento deve ser a resultante das dimensões mínimas atendendo o mobiliário mínimo definido no item 1 destas especificações mínimas, considerando-se dois dormitórios, sala de estar/refeições, cozinha, banheiro, área de serviço e circulação, não podendo ser inferior à 41,00 m ² .
Pé direito mínimo	Pé direito mínimo de 2,50 m, admitindo-se 2,30 m no banheiro. Adotar pé-direito maior quando o Código de Obras ou leis municipais assim estabelecerem.	
Cobertura	Casas térreas	Conforme NBR 15.575. Sobre laje, em telha com estrutura de madeira ou metálica. No caso de opção por beiral, este deverá ter no mínimo 0,60m ou 0,10 m maior que a calçada, o que for maior, com previsão de solução que evite carreamento do solo pelas águas pluviais. Vedado o uso de estrutura metálica quando o empreendimento estiver localizado em regiões litorâneas ou em ambientes agressivos a esse material. No caso de área de serviço externa, a cobertura deverá ser em toda a área, nas mesmas especificações da UH. Em caso de emprego de telhas cerâmicas esmaltadas, de concreto ou de fibrocimento, utilizar telhas de cor clara.

Cobertura	Apartamentos	Conforme NBR 15.575. Sobre laje, em telha com estrutura de madeira ou metálica. No caso de fibrocimento, a cobertura deverá estar embutida em platibanda. No caso de opção por beiral, este deverá ter no mínimo 0,60m ou 0,10 m maior que a calçada, o que for maior, com previsão de solução que evite carreamento do solo pelas águas pluviais. Vedado o uso de estrutura metálica quando o empreendimento estiver localizado em regiões litorâneas ou em ambientes agressivos a esse material. Em caso de emprego de telhas cerâmicas esmaltadas, de concreto ou de fibrocimento, utilizar telhas de cor clara.
Paredes		Parede em bloco cerâmico ou de concreto com espessura mínima de 14 cm, desconsiderando os revestimentos, ou solução equivalente que comprove desempenho mínimo, conforme NBR 15.575. Em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8 pintura das paredes externas predominantemente em cores claras (absortância solar abaixo de 0,4) ou acabamentos externos predominantemente com absortância solar abaixo de 0,4. Cores escuras admitidas em detalhes.
Parede de geminação		Espessura mínima de 14 cm, desconsiderando os revestimentos, ou solução equivalente que comprove desempenho mínimo, conforme NBR 15.575.
Revestimento interno e áreas comuns (exceto áreas molhadas)		Em gesso, chapisco e massa única ou em emboço e reboco, ou ainda em concreto regularizado e plano, adequados para o acabamento final em pintura, admitindo-se solução equivalente que comprove desempenho mínimo, conforme NBR 15.575.
Revestimento externo		Em concreto regularizado e plano, com chapisco e massa única ou emboço e reboco, adequados para o acabamento final em pintura, admitindo-se solução equivalente que comprove desempenho mínimo, conforme NBR 15.575.
Revestimento áreas molhadas		Azulejo com altura mínima de 1,50m em todas as paredes da cozinha, área de serviço interna à edificação e banheiro e em toda a altura da parede na área do box. Nas áreas de serviço externas à edificação, o azulejo deverá cobrir no mínimo a largura correspondente ao tanque e a máquina de lavar roupas (largura mínima de 1,20m).
Portas e ferragens		Portas de acesso e internas em madeira. Em regiões litorâneas ou meio agressivo, admite-se no acesso à unidade porta de aço ou de alumínio, desde que não possuam vidros em altura inferior à 1,10 m em relação ao piso acabado e que sejam consideradas "conformes" pela certificação no PSQ/PBQP-H. Batente em aço ou madeira desde que possibilite a inversão do sentido de abertura das portas. Vão livre entre batentes de 0,80 m x 2,10 m em todas as portas (folha da porta de 82cm). Previsão de área de aproximação para abertura das portas de acesso (0,60 m interno e 0,30 m externo). Maçanetas de alavanca devem estar entre 0,90 m a 1,10 m do piso. Em tipologia de casa prever ao menos duas portas de acesso, sendo 01 (uma) na sala para acesso principal e outra para acesso de serviço na cozinha/área de serviço.
Janelas		Previstas em todos os vãos externos, com vão mínimo de 1,50 m ² nos quartos e 2,00 m ² na sala, deverão ser completas e com vidros, sem folhas fixas e que atenda aos critérios mínimos de ventilação e iluminação previstos na NBR 15.575 e legislação municipal. vedada a utilização de aço em regiões litorâneas. Em regiões litorâneas ou meio agressivo, admitem-se janelas em aço ou alumínio, desde que consideradas "conformes" pela certificação no PSQ/PBQP-H. É obrigatório o uso de vergas e contravergas com transpasse mínimo de 0,30m, além de peitoril com pingadeira e transpasse de 2cm para cada lado do vão, ou solução equivalente que evite manchas de escorrimento de água abaixo do vão das janelas. É vedado o uso de cobogós em substituição às esquadrias. Em todas as zonas bioclimáticas as esquadrias de dormitórios devem ser dotadas de mecanismo que permita o escurecimento do ambiente com garantia de ventilação natural. Este mecanismo deve possibilitar a abertura total da janela para a entrada de luz natural quando desejado. Em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 7 e 8 as aberturas da sala deverão prever recurso de sombreamento (veneziana, varanda, brise, beiral, anteparo ou equivalente).
Pisos		Obrigatório piso e rodapé em toda a unidade, incluindo o hall e as áreas de circulação interna. O piso deve ser assentado sobre contrapiso impermeável com espessura mínima de 3,00 cm. O revestimento deve ser em cerâmica esmaltada PEI 4, com índice de absorção inferior a 10% e desnível máximo de 15mm. Para áreas molháveis e rota de fuga, o coeficiente de atrito dinâmico deve ser superior a 0,4. Admite-se solução diversa desde que comprove desempenho mínimo, conforme NBR 15.575.
PINTURAS - obedecer à NBR 15.575		
Paredes Internas (exceto áreas molhadas)		Tinta PVA.
Paredes áreas molhadas		Tinta acrílica.
Paredes externas		Tinta acrílica ou textura impermeável. Em unidades situadas nas Zonas Bioclimáticas 3 a 8, prever pintura de paredes externas predominantemente em cores claras (absortância solar abaixo de 0,4).

Tetos	Tinta PVA.
Esquadrias	Em esquadrias de aço, esmalte sobre fundo preparador. Em esquadrias de madeira, esmalte ou verniz.
LOUÇAS E METAIS	
Lavatório	Louça sem coluna, com dimensão mínima de 30x40cm, sifão, e torneira metálica cromada com acionamento por alavanca ou cruzeta. Acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
Bacia Sanitária	Bacia sanitária com caixa de descarga acoplada com sistema de duplo acionamento, não sendo admitida caixa plástica externa.
Tanque	Capacidade mínima de 20 litros, de concreto pré-moldado, PVC, louça, inox, granilite ou mármore sintético com torneira metálica cromada com acionamento por alavanca ou cruzeta com arejador. Acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
Pia cozinha	Bancada de 1,20 m x 0,50 m com cuba de granito, mármore, inox, granilite ou mármore sintético, torneira metálica cromada. Torneira e acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS / TELEFÔNICAS	
Pontos de tomadas elétricas	Deverão atender à NBR NM 60.669/2004 e NBR 5410/2004 com no mínimo 4 na sala, 4 na cozinha, 2 na área de serviço, 2 em cada dormitório, 1 tomada no banheiro e mais 1 ponto elétrico para chuveiro. As tomadas deverão ser independentes (1 tomada por caixa) e não podem ser instaladas junto ao interruptor.
Pontos de iluminação nas áreas comuns	Plafon simples com soquete para todos os pontos de luz. Instalar luminária completa e com lâmpada fluorescentes com Selo Procel ou ENCE nível A no PBE para as áreas de uso comum. Instalação de sistema automático de acionamento das lâmpadas - minuteria ou sensor de presença - em ambientes de permanência temporária.
Pontos diversos	1 ponto de telefone, 1 de campainha (completa e instalada), 1 ponto de antena (tubulação seca) e 1 ponto de interfone (completo e instalado), 1 ponto de rede lógica (cabeadado).
Interfone	Instalar sistema de porteiro eletrônico.
Circuitos elétricos	Prever circuitos independentes para iluminação, tomadas de uso geral, tomadas de uso específico para cozinha e para o chuveiro, dimensionados para a potência usual do mercado local. Prever DR e ao menos 04 (quatro) posições de disjuntor vagas no Quadro de Distribuição.
Geral	Tomadas baixas a 0,40 m do piso acabado, interruptores, interfones, campainha e outros a 1,00 m do piso acabado.
DIVERSOS	
Vagas	Vagas de garagem conforme definido na legislação municipal.
Proteção da alvenaria externa - casa	Em concreto com largura mínima de 0,50 m. Nas áreas de serviço externas, deverá ser prevista calçada com largura mínima de 1,30 m e comprimento mínimo de 2,40 m na região do tanque e máquina de lavar
Máquina de Lavar	Prever solução para instalação de máquina de lavar roupas, com ponto elétrico, hidráulica e saída de esgoto exclusivos.
Elevador	Para edificação acima de dois pavimentos, deve ser previsto e indicado na planta o espaço destinado ao elevador e informado no manual do proprietário. O espaço deve permitir a execução e instalação futura do elevador. Não é necessária nenhuma obra física para este fim. No caso, do espaço previsto para futura instalação do elevador, estar no interior da edificação, a estrutura deverá ser executada para suportar as cargas de instalação e operação do equipamento.
TECNOLOGIAS INOVADORAS	
Sistemas Inovadores	Serão aceitas tecnologias inovadoras de construção homologadas pelo SINAT
Placas informativas para Sistemas Inovadores	Deverão ser instaladas placas informativas nas edificações de empreendimentos em condomínios nos casos de utilização de alvenaria estrutural ou sistemas inovadores.
DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES DE ÁGUA	
Válvula de descarga	Válvula de descarga com duplo acionamento

Torneiras	Instalação de torneiras com arejador incorporado, com limitação de vazão; ou Instalação de torneiras com arejador incorporado sem limitação de vazão e instalação de restritor de vazão, na saída da tubulação (onde houver flexível, antes dele). Restringir a vazão em 4 l/min para torneiras de lavatório e em 6 l/min para torneiras de pia de cozinha e tanque.
Projeto hidráulico	Pressão estática máxima no sistema = 30 mca; Limitação de vazões no dimensionamento sistema: - ducha: 12 l/min - torneiras de pia de cozinha e tanque: 6 l/min - torneiras de lavatório: 4 l/min - alimentação de bacia de descarga: 9 l/min Onde houver chuveiro elétrico não há necessidade de instalação de dispositivos economizadores.
CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	
Ventilação Cruzada	Em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 7 e 8 garantia de ventilação cruzada em unidades unifamiliares - escoamento de ar entre pelo menos duas fachadas diferentes, opostas ou adjacentes. Recomendada em unidades multifamiliares.
Ventilação Noturna	Em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 7 e 8 garantia de ventilação noturna com segurança em ambientes de longa permanência - dormitórios e sala - de unidades uni e multifamiliares. Utilização de dispositivos com possibilidade de fechamento em períodos frios (peitoril ventilado, veneziana ou bôsculas).
Ventilador de teto	Em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 7 e 8 instalação de ventilador de teto com Selo Procel em ambientes de longa permanência - dormitórios e sala.
ACESSIBILIDADE E ADAPTAÇÃO	
Unidades adaptadas	Disponibilizar unidades adaptadas ao uso por pessoas com deficiência, de acordo com a demanda, com kits de adaptação conforme especificado no site www.cidades.gov.br


 Ministério das
Cidades

 Programa Minha Casa Minha Vida / FDS
Especificações Mínimas

TABELA II
Casa* / Sobrado (Para contratação com valor máximo de aquisição da unidade de acordo com a Tabela II do item 8.4 do Anexo da Instrução Normativa N° 45, de 09 de novembro de 2012).**

Projeto	Casa com sala / 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas / cozinha / área de serviço (externa) / banheiro.
DIMENSÕES DOS CÔMODOS (Estas especificações não estabelecem área mínima de cômodos, deixando aos projetistas a competência de formatar os ambientes da habitação segundo o mobiliário previsto, evitando conflitos com legislações estaduais ou municipais que versam sobre dimensões mínimas dos ambientes)	
Dormitório casal	Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m.
Dormitório duas pessoas	Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,80 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50 m). Circulação mínima entre as camas de 0,80 m. Demais circulações mínimo de 0,50 m.
Cozinha	Largura mínima da cozinha: 1,60 m. Quantidade mínima: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); e geladeira (0,70 m x 0,70 m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.
Sala de estar/refeições	Largura mínima sala de estar/refeições: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e Estante/Armário TV.
Área de Serviço	Quantidade mínima: 1 tanque (0,52 m x 0,53 m) e 1 máquina (0,60 m x 0,65 m).
CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Área útil (área interna sem contar áreas de paredes)	32,00 m ²
Pé direito mínimo	Observar a orientação municipal vigente ou adotar as dimensões mínimas previstas na Norma de Desempenho quando o município não regulamentar o assunto.
Cobertura	Em telha cerâmica/concreto com forro ou de fibrocimento (espessura mínima de 5mm) com laje, sobre estrutura de madeira ou metálica.
Revestimento Interno	Massa única, gesso (exceto banheiros, cozinhas ou áreas de serviço) ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento Externo	Massa única ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento Áreas Molhadas	Azulejo com altura mínima de 1,50 m em todas as paredes do banheiro, cozinha e área de serviço.
Revestimento áreas comuns	Massa única, gesso ou concreto regularizado para pintura.
Portas e Ferragens	Portas internas em madeira. Admite-se porta metálica no acesso à unidade. Portas externas de 0,80m x 2,10m. Portas dos banheiros e dos quartos com largura de 0,80m para o caso de unidades adaptadas para portadores de necessidades especiais.
Janelas	Completa, de alumínio para regiões litorâneas (ou meios agressivos) e de aço ou pvc para demais regiões.
Pisos	Cerâmica esmaltada em toda a unidade, com rodapé.
Ampliação da UH	Os projetos deverão prever a ampliação das casas.
PINTURAS	
Paredes internas	Tinta PVA.
Paredes áreas molhadas	Tinta acrílica.
Paredes externas	Tinta acrílica ou textura impermeável.
Tetos	Tinta PVA.
Esquadrias	Em esquadrias de aço, esmalte sobre fundo preparador. Em esquadrias de madeira, esmalte ou verniz.
LOUÇAS E METAIS	
Lavatório	Louça sem coluna e torneira metálica cromada.
Vaso Sanitário	Louça com caixa de descarga acoplada.
Tanque	Capacidade mínima de 20 litros, de concreto pré-moldado, PVC, granilite ou mármore sintético com torneira metálica cromada.
Pia cozinha	Bancada de 1,20 m x 0,50 m com cuba de granilite ou mármore sintético, torneira metálica cromada.
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS / TELEFÔNICAS	
Número de pontos de tomadas elétricas	2 na sala, 4 na cozinha, 2 na área de serviço, 2 em cada dormitório, 1 tomada no banheiro e mais 1 tomada para chuveiro elétrico.
Número de pontos diversos	1 ponto de telefone, 1 ponto de antena e 1 ponto de interfone (em condomínio)
Número de circuitos	Prever circuitos independentes para chuveiro (dimensionado para a potência usual do mercado local), tomadas e iluminação.
Interfone	Instalar sistema de porteiro eletrônico (em condomínio).



Ministério das
Cidades



Programa Minha Casa Minha Vida / FDS
Especificações Mínimas

TABELA II

Casa* / Sobrado** (Para contratação com valor máximo de aquisição da unidade de acordo com a Tabela II do item 8.4 do Anexo da Instrução Normativa N° 45, de 09 de novembro de 2012).	
DIVERSOS	
Reservatório	Caixa d'água de 500 litros ou de maior capacidade quando exigido pela concessionária local. Para reservatório elevado de água potável, em condomínio, prever instalação de no mínimo 2 bombas de recalque com manobra simultânea.
Vagas	Vagas de garagem conforme definido na legislação municipal.
Cercamento do condomínio	Alambrado com baldrame e altura mínima de 1,80 m no entorno do condomínio.
Proteção da alvenaria externa	Em concreto com largura de 0,50 m ao redor da edificação.
Calçadas para circulação interna no condomínio	Largura mínima de 0,90 m.
Máquina de Lavar	Prever solução para máquina de lavar roupas (ponto elétrico, hidráulica e de esgoto).
Equipamento de lazer / uso comunitário	Obrigatório para empreendimentos em condomínio, com 60 UH ou mais, devendo prever recursos de, no mínimo, 1% da soma dos custos de infraestrutura e edificações. Considerado o valor destinado para este item, serão produzidos os equipamentos a seguir especificados, obrigatoriamente nesta ordem: centro comunitário; espaço descoberto para lazer/recreação infantil; e quadra de esportes. Em condomínio, obrigatória a execução de depósito de lixo e local para armazenamento de correspondência.
TECNOLOGIAS INOVADORAS	
	São aceitas as tecnologias inovadoras testadas e aprovadas conforme a Norma de Desempenho - NBR-15.575 e homologadas pelo SINAT ou que comprovarem desempenho satisfatório junto à CAIXA.
SUSTENTABILIDADE	
	Medição individualizada de água e gás (ou sistema de botijão individualizado).
INFRAESTRUTURA	
	Pavimentação definitiva, calçadas, guias, sarjetas e sistema de drenagem.
	Sistema de abastecimento de água.
	Solução de esgotamento sanitário.
	Iluminação pública.
	Executada a Energia elétrica que é de responsabilidade da distribuidora, nas condições estabelecidas na Resolução N° 414, de 09 de setembro de 2010, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.
ACESSIBILIDADE E ADAPTAÇÃO	
Áreas de uso comum	Deverá ser garantida a rota acessível em todas as áreas públicas e de uso comum no empreendimento. Orientações disponíveis na Cartilha de Acessibilidade a Edificações e Espaços e Equipamentos Urbanos, elaborada pela CAIXA.
Unidades adaptadas	Disponibilizar unidades adaptadas ao uso por pessoas com deficiência, com mobilidade reduzida e idosos, de acordo com a demanda, com kits específicos devidamente definidos. Na ausência de legislação municipal ou estadual que estabeleça regra específica, disponibilizar no mínimo 3% das UH.
OBSERVAÇÕES	
	* Edificação residencial unifamiliar de um pavimento.
	** Edificação residencial unifamiliar em mais de um pavimento.

ANEXO B

Ata da visita feita à empresa parceira em 02 de Fevereiro de 2016.

VISITA À EMPRESA PARCEIRA DE TECNOLOGIA

DATA: 02/02/2016 **LOCAL:** Escritório da empresa e Fábrica (Curitiba | Araucária - PR)

MEMBROS PRESENTES:

1. Carina Barros Nogueira (mestranda ENGES)
2. Hana El Ghoz (mestranda PPU)
3. C. F. (Gerente de Engenharia de Operações)
4. K. D. (Responsável pela elaboração e compatibilização dos projetos de produção)
5. P. M. (Diretor de Engenharia de Produto)

Agendada com antecedência, a visita foi proposta com o intuito de esclarecer alguns questionamentos técnicos e também referentes à gestão da empresa, a fim de aproximar as decisões de projeto aos procedimentos de produção do sistema construtivo oferecido pela mesma, o wood frame.

A visita foi dividida em duas etapas: a primeira, durante o período da manhã, aconteceu na sede administrativa da Tecverde, localizada na Rua Otto Willi Michaelis, 330 B - Butiatuvinha, Curitiba. No escritório, conversamos com o arquiteto P. M. (Diretor de Engenharia de Produto), que esclareceu as dúvidas mais gerais com relação ao funcionamento da empresa e das particularidades do sistema construtivo.

A segunda etapa, no período da tarde, foi realizada no núcleo industrial da empresa, localizado na Rua Pedro de Alcântara Meira, 1195 - Fazenda Velha - Araucária (Região Metropolitana de Curitiba). A visita à fábrica foi guiada pelo Gerente de Engenharia de Operações, C. F., e pelo Responsável pela elaboração e compatibilização dos Projetos de Produção, K. D. A visita foi seguida por uma reunião informal para o esclarecimento das dúvidas remanescentes.

Ao fim do dia, estreitou-se a parceria da empresa com as intenções do projeto ZEMCH, onde os gestores se mostraram abertos para conversas futuras (presenciais ou com o auxílio das tecnologias de comunicação) e troca de conhecimento contínuo.

OBS.: Não foram permitidos registros de imagens (fotografias ou vídeos) no local. O registro da visita foi feito através de anotações das pesquisadoras e gravação de áudio durante a reunião que aconteceu no período da manhã com o arquiteto P. M.

TÓPICO 01: Visita à sede administrativa (reunião com o Diretor de Engenharia de Produto – P. M.)

O arquiteto P. M. iniciou a reunião explicando como é desenvolvido o projeto arquitetônico dentro dos procedimentos da empresa. Basicamente, o arquivo chega à Tecverde na fase de aprovação legal do projeto. A partir daí, a equipe de projetistas faz a adaptação necessária para que o projeto se adeque ao sistema construtivo proposto.

A equipe é composta por arquitetos, engenheiros civis, elétricos e hidráulicos, entre outros. Pedro ressaltou que até pouco tempo, os projetos complementares mais complexos eram terceirizados por outros profissionais. Agora, no entanto, a equipe agregou profissionais especializados nas áreas multidisciplinares para que toda a fase de projetos complementares e compatibilização pudesse ser realizada pela empresa.

Já no início da conversa, o arquiteto ressaltou que o público alvo da empresa foi redirecionado. A corporação, que surgiu oferecendo a ideia de adaptar qualquer projeto (normalmente das classes média e alta) para o sistema construtivo oferecido, hoje dá prioridade para os empreendimentos de habitações de baixa renda, vinculados principalmente ao PMCMV.

A justificativa para essa mudança de foco, foi o fato de que agora o sistema construtivo já é aprovado pela CEF para os empreendimentos do PMCMV. Além do fato de que a pré-fabricação de modelos produzidos em série se mostra muito mais viável logística e financeiramente do que a adaptação do sistema de produção para atender à um projeto específico que não será repetido novamente.

Segundo P. M., uma das principais vantagens de se construir HIS em wood frame, é o fato de que, finalizada, a unidade habitacional apresenta um custo total de 5 à 10% menor do que quando construída utilizando-se do sistema convencional em alvenaria.

As etapas de projeto até o encaminhamento à fase de produção, podem ser melhor compreendidas através do esquema apresentado a seguir:

ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE PRODUÇÃO



Esquema estruturado a partir das informações obtidas na visita à empresa (2016)

No decorrer da reunião, o arquiteto também ressaltou algumas questões técnicas que interferem diretamente no desenvolvimento dos projetos e do produto final. Segundo ele, as questões de logística são um dos principais desafios à serem superados no decorrer do processo de produção e de obra (montagem no canteiro).

Primeiro porque o maquinário disponível se limita à painéis contínuos de até 11m de comprimento, aproximadamente. Segundo, devido ao custo e às condições de transporte dos painéis no trajeto da fábrica até o canteiro. Ou seja, mesmo que a indústria possibilitasse a produção de painéis de maiores dimensões, o transporte não seria viável, pois se limita às dimensões das carretas disponíveis no mercado. Dessa forma, a largura máxima do painel é limitada em 3,20m. Durante o trajeto, os painéis são acomodados sobrepostos horizontalmente, por ser a opção mais viável com relação ao custo. No entanto, não com relação à qualidade, visto que os impactos das vibrações durante o transporte são mais suscetíveis quando estão acomodados sobrepostos do que se estivessem alinhados verticalmente.

Ao aprofundarmos a discussão com relação aos padrões adotados para empreendimentos de HIS, P. M. ressaltou algumas dimensões *standard* utilizadas pela empresa. No caso do pé-direito, normalmente são adotadas chapas de OSB com 252cm de altura que, após os processos de produção geram um pé-direito livre de 2,50m.

Com relação às espessuras do painel acabado (etapa industrial), geralmente são de 13,5cm (para habitações de baixa renda) ou 18,5cm (para projetos especiais).

Quanto às estruturas de cobertura (telhados), os elementos que são enviados ao canteiro prontos (pré-fabricados) são as tesouras. O restante do sistema é montado no local. Geralmente, as telhas mais utilizadas ainda são as cerâmicas que, mesmo com bom desempenho térmico, exigem a instalação de um forro com isolamento de 90mm de lã de vidro. As experiências com a utilização de telhas de PVC, segundo o arquiteto, não foram positivas, visto a demanda de isolamento necessário para o sistema e a fragilidade do material.

P. M. ressaltou que a modulação de um sistema de cobertura é possível. No entanto, muitas vezes não é viável logisticamente, pois muitos terrenos não oferecem condições espaciais propícias para que se esquematize um sistema de montagem dos módulos pré-fabricados.

Finalizando a reunião, ele ressaltou que para um bom desempenho dos sistemas de cobertura, é necessário prever: (1) o uso de uma telha de qualidade; (2) a instalação de uma manta de subcobertura aluminizada; e (3) a aplicação de, no mínimo, 90mm de lã de vidro no isolamento do forro.

Outro ponto da discussão que merece ser ressaltado, é o fato de que a linha de produção da fábrica é totalmente adaptável ao projeto que será executado. Dessa forma, o arquiteto afirmou que trabalhar com vários projetos diferenciados ao mesmo tempo acaba sendo uma dificuldade para a produção. Assim, acabou se consolidando um dos pontos que levaram a empresa a redirecionar seu foco às produções em massa de habitações voltadas à empreendimentos de interesse social.

TÓPICO 02: Visita à fábrica (reunião com o Gerente de Engenharia de Operações - C. F., e com o Responsável pela elaboração e compatibilização dos Projetos de Produção – K. D.)

Logo que chegamos à fábrica, C. F. e K. D. fizeram uma breve apresentação sobre os detalhes do sistema construtivo em wood frame, exemplificando as técnicas do sistema a partir de painéis reais produzidos na fábrica com as camadas de painel expostas.

A partir daí, iniciamos a visita guiada ao setor de produção, onde cada etapa foi cuidadosamente explicada. Para que haja melhor compreensão do sistema de produção, é necessário levantarmos alguns pontos importantes:

1. Os painéis possuem denominações específicas para as superfícies internas e externas. As internas (acabamento em placas de gesso) são chamadas de “LADO L”, enquanto as externas (acabamento em placa cimentícia ou sistema EIFS), são chamadas de “LADO R”.
2. As estações de produção (“mesas”) possuem 10m de comprimento, e funcionam no sistema “*butterfly*”, onde o painel, após finalizada a etapa de montagem de um dos lados, é tombado (através da inclinação das mesas

posicionadas paralelamente que fazem um movimento de fechamento uma em direção à outra – semelhante ao das asas de uma borboleta, e daí o nome “*butterfly*”) para que o outro lado possa ser trabalhado.

3. Os painéis são produzidos no sistema de “*multiwalls*”, onde diferentes painéis de dimensões menores começam a ser fabricados como uma mesma peça contínua e, em um certo ponto do processo, são divididos. Segundo os gestores, essa é uma forma de otimizar o processo do maquinário disponível.

Com relação aos sistemas de cobertura, não havia material sendo produzido na fábrica no dia da visita. O arquiteto K. D. afirmou que o que se produz na fábrica são apenas as tesouras, complementando a informação a nós adiantada no período da manhã. E mesmo assim, todas são feitas através de processo manual, sem a utilização de um maquinário específico.

O arquiteto ainda ressaltou que em muitos projetos, os sistemas de cobertura são terceirizados por outras empresas especializadas, dependendo da complexidade da estrutura proposta.

ANEXO C

VERIFICAÇÃO DAS DIRETRIZES ATRAVÉS DO PAINEL DE ESPECIALISTAS

DATA: 23/01/2017 **LOCAL:** Escritório da empresa parceira (Curitiba - PR)

MEMBROS PRESENTES:

1. C. S. (Gerente de Inovação)
2. Hana El Ghaz (mestranda PPU)
3. P. M. (Diretor de Engenharia de Produto)

DIRETRIZ		VALIDADA PELO PAINEL DE ESPECIALISTAS		
		SIM	NÃO	PARCIAL
1	Priorizar o uso de telhas industrializadas com dimensões maiores	X		
2	Prever uma paginação de telhas que evite recortes e que, quando houver possam ser reaproveitados em outras situações do projeto	X		
3	Prever a mesma inclinação para todas as opções de telhado propostas para o projeto	X		
4	Priorizar o uso de módulos existentes ao propor novas variantes de produto	X		
5	Utilizar interfaces de ligação de mesmo tipo	X		
6	Definir, logo no início do projeto, o local e sistema de instalação dos reservatórios de água fria e água quente	X		
7	Iniciar a proposta tendo como referência as medidas padrão dos componentes do subsistema disponíveis comercialmente	X		
8	Simplificar os sistemas de captação de águas pluviais	X		
9	Considerar a logística de produção, transporte e montagem final do subsistema	X		
10	Evitar construções na divisa do lote			X
OBSERVAÇÕES / POSSÍVEIS NOVAS DIRETRIZES				
8	Os gestores frisaram esta diretriz, visto que a prioridade é a utilização de beirais evitando, sempre que possível, o adicional de calhas, espigões e água furtada aos subsistemas de cobertura, pois representam um adicional de custo significativo.			
9	A diretriz acerca da logística de produção, transporte e montagem do subsistema no canteiro foi um dos pontos mais discutidos pelo painel de especialistas. Assim, admite-se seu grau de importância e a necessidade de considerá-la desde as fases preliminares do projeto.			
10	Os profissionais ressaltaram que, ao propor casas isoladas no lote, a premissa de evitar construções na divisa é válida. Entretanto, a proposta de UH geminadas é uma das mais adotadas pela empresa, principalmente nos empreendimentos de HIS. Assim, os especialistas frisaram que para a realidade da empresa e, conseqüentemente, do mercado atual, esta é uma diretriz que poderia ser adotada apenas em alguns casos.			