

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb)
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU)



Dissertação

Fabricação Digital, Parametria e Co-Design:
Relato de experiência de requalificação de HIS

Eduardo Ductra Bortolotti

Pelotas, 2024

Eduardo Ductra Bortolotti

Fabricação Digital, Parametria e Co-Design:
Relato de experiência de requalificação de HIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, na linha de pesquisa Gráfica Digital Aplicada à Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof. Dra. Rafaela Bortolini
Coorientadora: Prof. Dra. Luisa Rodrigues Felix Dalla Vecchia

Pelotas, 2024.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

B739f Bortolotti, Eduardo Ductra

Fabricação digital, parametria e co-design [recurso eletrônico] : relato de experiência de requalificação de HIS / Eduardo Ductra Bortolotti ; Rafaela Bortolini, orientadora ; Luisa Rodrigues Félix Dalla Vecchia, coorientadora. — Pelotas, 2024.

156 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Fabricação digital. 2. Habitação de interesse social. 3. Habitação evolutiva. 4. Módulos adaptativos. I. Bortolini, Rafaela, orient. II. Vecchia, Luisa Rodrigues Félix Dalla, coorient. III. Título.

CDD 728.1

Elaborada por Michele Lavadouro da Silva CRB: 10/2502

Eduardo Ductra Bortolotti

Fabricação Digital, Parametria e Co-Design:
Relato de experiência de requalificação de HIS

Dissertação como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 11/12/2023

Banca examinadora:

Profa. Dra. Rafaela Bortolini (Orientadora)
Doutora em Engenharia da Construção pela Universidade Politècnica da Catalunya.

Profa. Dra. Luisa Rodrigues Felix Dalla Vecchia (Coorientadora)
Doutora em Environmental Design pela Universidade de Calgary.

Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva
Doutora em Filosofia e Ciência da Educação pela Universidade de Zaragoza.

Profa. Dra. Cynthia Hentschke
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Profa. Dra. Nirce Saffer Medvedovski
Doutora em Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo.

Resumo

BORTOLOTTI, Eduardo Ductra. **Fabricação Digital, Parametria e Co-Design: Relato de experiência de requalificação de HIS.** 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

A falta de pluralidade em projetos de Habitações de Interesse Social (HIS), relacionada à composição familiar e suas modificações ao longo do tempo, evidencia a padronização dos projetos destinados às comunidades mais carentes. Como consequência, os moradores recorrem a processos autoconstruídos e sem acompanhamento técnico por profissional habilitado. Tais processos resultam em ambientes ineficientes quanto ao seu funcionamento. Na tentativa de explorar as alternativas ao problema, surge o potencial da Fabricação Digital (FD), a qual permite uma produção customizada com custos de uma produção em série. Projetos habitacionais a partir do corte *Computer Numeric Control* (CNC) em chapas de madeira são uma alternativa aos novos moldes produtivos na construção civil, mediante o uso da FD. Ademais, pouco tem sido explorado sobre o tema da abordagem associativa da HIS evolutiva com a fabricação digital. O objetivo deste trabalho é a proposição de um *script* paramétrico digital capaz de gerar módulos adaptativos de ambientes, destinados às residências de interesse social, para posterior fabricação por meio do corte CNC. A metodologia adotada é fundamentada nos princípios da *Design Science Research* (DSR). Os procedimentos metodológicos foram realizados em três etapas: compreensão do problema; construção e aplicação da solução e posteriormente reflexões trazidas pela pesquisa e pelo artefato desenvolvido. Como resultados, o trabalho visa proporcionar uma alternativa, usando técnicas construtivas contemporâneas, às famílias inseridas em programas de HIS que gostariam de adaptar suas moradas por meio de expansões. As consequências deste trabalho podem ser conectadas as melhorias formais, ligadas a funcionalidade do programa arquitetônico, bem como o bem-estar dos moradores ao abordar a importância do planejamento ambiental e fatores como a orientação solar. Como conclusão, se percebe os benefícios que a pesquisa poderá proporcionar: as limitações acerca do dimensionamento mínimo e padronizações não serão mais um obstáculo no cotidiano destas famílias. Outro ponto a destacar, é a agilidade construtiva do sistema, ao promover a pré-fabricação, fator que irá gerar um canteiro de obras limpo, além de edificações mais sustentáveis, visto que o material a ser usado poderá ser reciclado futuramente.

Palavras-chave: Fabricação Digital; Habitação de Interesse Social; Habitação Evolutiva; Módulos Adaptativos.

Abstract

BORTOLOTTI, Eduardo Ductra. **Digital Fabrication, Parametric and Co-Design: Social Housing report of requalification.** 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

The lack of plurality in the design phase in the context of Social Housing, related to the composition of families and its evolution through time, shows the standardization of designs for vulnerable communities. As a result, the residents engage in a self-construction process without technical supervision. Such processes result in inefficient and unhealthy spaces. In exploring alternatives to the problem, the potential of Digital Fabrication (DF) is known, it allows customized production with costs of standardized production. Housing projects through the Computer Numeric Control (CNC) process using wooden boards are an alternative in construction, a new way of production associated with DF. Furthermore, DF linked to adaptive social housing hasn't been explored much. The goal of this research is to propose a parametric script capable of generating modules to be digitally fabricated and used in social housing programs. The methodology used in the research is based on Design Science Research (DSR). The methodological procedures are divided in three steps: understanding of the problem; building and applying the solution; and finally, reflections from the research and the artifact developed. Results include an alternative, through digital fabrication, for families who desire to expand their houses. The consequences of this research can be linked to formal improvements (architectural program), such as welfare improvements of the residents, through the importance of architectural planning, addressing themes like solar orientation and natural ventilation. To conclude, the benefits aimed in this research are exposed: the standardization of the minimum size dwellings in social housing programs is no longer an obstacle for those families. Another advantage is the agility in the construction process through pre-fabrication when compared to traditional building systems resulting in a clean site and sustainable buildings, because the material can be recycled.

Keywords: Digital Fabrication; Social Housing; Adaptive Modules.

Lista de Figuras

Figura 2.1: HIS do conjunto Anglo, em Pelotas.....	23
Figura 2.2: A esquerda diagrama de Fischer e Herr (2001) sobre sistemas generativos. A direita diagrama de Mitchell acerca do processo avaliativo de soluções.....	28
Figura 2.3: <i>Progetti di strutture per lo sport</i>	30
Figura 2.4: Parâmetro Arc.....	31
Figura 2.5: A esquerda planta baixa da Villa Malcotenta, e a direita planta da mesma edificação, gerada por meio da <i>shape grammar</i>	32
Figura 2.6: Cortadora a laser.....	44
Figura 2.7: A esquerda diagramas de configurações a partir do pórtico. A direita imagem da Casa Revista executada.....	47
Figura 2.8: Imagens do WikiLab.....	48
Figura 2.9: Imagem isométrica (em cima) e planta baixa do modelo de habitação, nos critérios do programa MCMV (abaixo)	49
Figura 2.10: Imagem realista da habitação proposta.....	51
Figura 2.11: Em cima, sistema original. Abaixo, sistema proposto.....	51
Figura 2.12: Encaixe proposto na Casa Nordeste.....	52
Figura 3.1: Delineamento da pesquisa.....	58
Figura 3.2: Esquemas isométricos de ambientes a serem trabalhados	59
Figura 3.3: Esquema de desenvolvimento da pesquisa	61
Figura 3.4: Segmentação das moradias de acordo com suas tipologias e quadras.....	63
Figura 4.1: Localização do Loteamento Anglo (em vermelho) na malha urbana de Pelotas.....	66
Figura 4.2: Planta baixa da habitação fita, localizada no conjunto Anglo.....	67
Figura 4.3: Nuvem de palavras das demandas.....	68

Figura 4.4: Nuvem de palavras dos pontos positivos.....	69
Figura 4.5: Nuvem de palavras dos pontos negativos.....	69
Figura 4.6: Fachada original sem modificações de acréscimos.....	70
Figura 4.7 :Fachada original sem modificações de acréscimos.....	70
Figura 4.8: Fechamento do pátio frontal.....	70
Figura 4.9: Residências analisadas, em relação ao todo (89 unidades de HIS).....	74
Figura 4.10: Ampliações de residências PAC.....	74
Figura 4.11: Tipologia de ampliações.....	75
Figura 4.12: Residência adaptada para acomodar um comércio como fonte de renda.....	76
Figura 4.13: Residência analisada.....	77
Figura 4.14: Levantamento fotográfico da área de serviço.....	77
Figura 4.15: Levantamento fotográfico da sala de estar.....	78
Figura 4.16: Levantamento fotográfico da cozinha.....	78
Figura 4.17: Levantamento fotográfico da cozinha.....	79
Figura 4.18: Levantamento fotográfico da cozinha.....	79
Figura 4.19: Antiga parede com janela.....	80
Figura 4.20: Novo dormitório.....	81
Figura 4.21: Dormitório com parede apresentando sinais de mofo.....	81
Figura 4.22: Planta baixa referente ao levantamento realizado junto com a mestranda Carolina de Mesquita Duarte. As adaptações necessárias foram feitas pelo autor para a dissertação.....	81
Figura 5.1: Mobiliário impresso em 3D.....	82
Figura 5.2: Esquematização do encaixe à esquerda. A direita encaixe do módulo de parede no <i>pegboard</i>	83
Figura 5.3: Esquematização da residência original com uma possibilidade de expansão.....	83
Figura 5.4: Maquete sendo manuseada pelo morador.....	85
Figura 5.5: Maquete desenvolvida pelo morador.....	85

Figura 5.6: Maquete desenvolvida pelo morador, com zoneamento de cores....	86
Figura 5.7: Planta Baixa Construir/Demolir.....	86
Figura 5.8: Maquete desenvolvida pelo morador, com demarcação da circulação até o pátio.....	87
Figura 5.9: Etapa 1 - Parâmetros do lote.....	88
Figura 5.10: Parâmetro correspondente a delimitação do lote.....	88
Figura 5.11: Parâmetro correspondente a delimitação do lote.....	88
Figura 5.12: Superfície do lote gerada.....	89
Figura 5.13: Inserção da moradia e do telhado.....	89
Figura 5.14: Parâmetro correspondente a delimitação da residência existente.....	90
Figura 5.15: Parâmetro correspondente a delimitação da residência existente.....	90
Figura 5.16: Delimitações acerca da correlação entre larguras da edificação e lote.....	91
Figura 5.17: Perímetro da moradia gerada.....	91
Figura 5.18: Parâmetro correspondente a extrusão da laje existente.....	91
Figura 5.19: Parâmetro correspondente a extrusão das paredes existentes.....	92
Figura 5.20: Volumetria da casa em verde (paredes e laje) com a volumetria do terreno, em vermelho.....	92
Figura 5.21: Parâmetro correspondente ao telhado.....	93
Figura 5.22: Continuação do parâmetro correspondente ao telhado.....	93
Figura 5.23: Parâmetro correspondente ao telhado.....	94
Figura 5.24: Volumetria da casa em verde com o telhado, beiral e cumeeira.....	94
Figura 5.25: Etapa 4 – Fenestrações.....	95
Figura 5.26: <i>Sliders</i> numéricos correspondentes as portas e janelas.....	95
Figura 5.27: Subtração de elementos sólidos correspondente as janelas e portas.....	96
Figura 5.28: Volumetria da casa com as janelas e portas inseridas.....	96

Figura 5.29: Na ilustração a esquerda, ocorreu o conflito na porta. Já no esquema a direita, o conflito resultou em um quarto sem janela.....	97
Figura 5.30: Etapas 6 - Manipulação do telhado e altura da cumeeira.....	97
Figura 5.31: <i>Sliders</i> correspondente a delimitação volumétrica da expansão....	98
Figura 5.32: <i>Script</i> correspondente a delimitação volumétrica da expansão.....	98
Figura 5.33: Modelo isométrico com delimitação da dimensão da expansão em vermelho.....	99
Figura 5.34: <i>Slider</i> correspondente a altura da expansão.....	99
Figura 5.35: Largura do pórtico definida pelo projetista.....	100
Figura 5.36: Seção do algoritmo correspondente a forma do pórtico.....	100
Figura 5.37: Segmentação e distribuição equidistante dos pórticos.....	100
Figura 5.38: Modelo isométrico com delimitação dos pórticos em verde.....	101
Figura 5.39: Modelo isométrico com a expansão em vermelho.....	102
Figura 5.40: Etapa 7.....	102
Figura 5.41: <i>Sliders</i> numéricos correspondentes as esquadrias. J3 desativada.....	103
Figura 5.42: Modelo isométrico com a expansão em vermelho com duas janelas em roxo.....	103
Figura 5.43: Divisões de travamento no comprimento do módulo.....	104
Figura 5.44: Divisões de travamento na largura do módulo.....	104
Figura 5.45: Criação dos <i>Center Boxes</i> a partir dos pontos obtidos pela divisão das curvas.....	105
Figura 5.46: Em vermelho a expansão e em verde os travamentos verticais....	105
Figura 5.47: Primeira parte da programação de criação dos encaixes.....	106
Figura 5.48: Segunda parte da programação de criação dos encaixes.....	106
Figura 5.49: Estruturação do pórtico com segmentação.....	107
Figura 5.50: Dimensões dos encaixes.....	108
Figura 5.51: Terceira parte da programação de criação dos encaixes.....	108
Figura 5.52: Quarta parte da programação de criação dos encaixes.....	108
Figura 5.53: Pórtico já com os encaixes tipo macho-fêmea.....	109

Figura 5.54: Quinta parte da programação de criação dos encaixes.....	110
Figura 5.55: Duas peças com encaixes e recortes dos travamentos horizontais.....	110
Figura 5.56: Duas peças com encaixes e recortes dos travamentos horizontais.....	110
Figura 5.57: Otimização dos componentes do pórtico na folha de corte.....	111
Figura 5.58: Peças planificadas individualmente. Peças referentes a um pórtico.....	111
Figura 5.59: Exemplo de planificação de uma face: recortes das chapas com os perímetros das esquadrias.....	111
Figura 5.60: Carta Solar com a edificação existente em cinza, lote em branco e expansão em vermelho.....	113
Figura 5.61: Programação usada com o <i>plugin</i> LadyBug.....	113
Figura 5.62: Recorte do componente HOY, com as manipulações de mês, dia e hora.....	113
Figura 5.63: Recorte do componente <i>DirectSunHours</i>	114
Figura 5.64: Isométrica referente a análise de insolação. As faces amarelas recebem radiação solar, enquanto as azuis não. Os recortes retangulares azuis representam o recorte das janelas.....	114
Figura 5.65: Aba no Grasshopper para iniciar a conexão.....	115
Figura 5.66: Conexão entre os programas. As funções permitem iniciar e pausar a ligação, enviar mudanças feitas no ArchiCad para o Grasshopper e bloquear/desbloquear modificações em elementos.....	116
Figura 5.67: Abas do <i>plugin</i> ArchiCad no Grasshopper.....	116
Figura 5.68: Isométrica das paredes feita a partir do <i>plugin</i> de interoperabilidade.....	117
Figura 5.69: Programação para execução de uma parede.....	117
Figura 5.70: Programação para a inserção da janela.....	118
Figura 5.71: Isométrica do volume gerado, com inserção da janela.....	118

Figura 5.72: Aba do programa ArchiCad, com destaque em vermelho nas ferramentas de edição de tipo, largura e altura da esquadria.....	119
Figura 5.73: Aba de ferramenta Design correspondente a interoperabilidade com o ArchiCad.....	120
Figura 5.74: Classificação das ferramentas associada ao uso de cada programa.....	121
Figura 5.75: Importação por meio do IFC.....	122
Figura 5.76: Planta baixa da residência em análise.....	123
Figura 5.77: Isométrica da expansão referente as duas primeiras simulações.....	124
Figura 5.78: Planta baixa do uso da expansão como área de refeição e espaço para máquina de lavar roupa.....	124
Figura 5.79: Planta baixa do uso da expansão como dormitório.....	124
Figura 5.80: Isométrica da terceira proposição de expansão.....	125
Figura 5.81: Planta baixa do uso da expansão na terceira proposição.....	126
Figura 5.82: Isométrica da quarta proposição de expansão. Em amarelo projeção do volume a ser acrescentado pelo morador.....	127
Figura 5.83: Planta baixa do uso da expansão na quarta proposição.....	127
Figura 5.84: Isométrica da quinta proposição de expansão. Em vermelho o volume funciona como espaço para refeições e máquina de lavar roupa. Em rosa o volume é correspondente ao dormitório. O tracejado vermelho representa a nova janela no dormitório da pré-existência.....	128
Figura 5.85: Planta baixa do uso da expansão na quinta proposição.....	128
Figura 5.86: Corte esquemático.....	129
Figura 5.87: Questionamento sobre a facilidade em uso do script desenvolvido.....	130
Figura 5.88: Questionamento sobre a potencialidade de aplicação do algoritmo em HIS, com participação da comunidade nas novas ferramentas de produção.....	130

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Os princípios da DSR.....	55
Tabela 4.1: Composição familiar.....	71
Tabela 4.2: Moradores em uma composição familiar.....	72
Tabela 4.3: Renda familiar.	73
Tabela 4.4: Tipologia familiar associada a frequência de expansões.....	75

Lista de Abreviaturas e Siglas

AT	Assessorias Técnicas
ATHIS	Assessorias Técnicas de Habitação de Interesse Social
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BNH	Banco Nacional de Habitação
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CM	Construções Modulares
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
DINC	Casal sem filhos
DP	Desenho Paramétrico
DSR	<i>Design Science Research</i>
FD	Fabricação Digital
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HIS	Habitação de Interesse Social
IAPS	Institutos de Aposentadoria e Pensão
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
MCMV	Minha Casa Minha Vida
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCD	Pessoa com Deficiência
PFA	<i>Product Family Architecture</i>
SFH	Sistema Financeiro de Habitação
SG	Sistema Generativo
SM	Sistemas Modulares
TPED	Teoria e Projeto na Era Digital

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Problema de pesquisa	12
1.2	Justificativa	15
1.3	Pressuposto	16
1.4	Objetivo geral.....	17
1.5	Objetivos específicos	17
1.6	Delimitações.....	17
1.7	Estrutura da dissertação	18
2	Referencial Teórico	20
2.1	Contextualização da Habitação de Interesse Social	20
2.1.1	Habitação de Interesse Social	20
2.1.2	Flexibilização do processo de morar.....	23
2.2	Sistemas generativos	26
2.2.1	Parametrização.....	29
2.2.2	Gramática da Forma	31
2.3	Customização em massa: uma alternativa mediante as novas tecnologias produtivas	33
2.3.1	Produção customizada como alternativa à produção em massa	34
2.3.2	Pré-Fabricação e a Modulação	37
2.3.3	Fabricação Digital	40
2.3.4	A fabricação Digital e o sistema de produção <i>Computer Numeric Control</i> (CNC)	43
2.3.5	O sistema CNC no contexto habitacional	44
2.3.6	Encaixes	51
2.4	Conclusão do capítulo.....	53
3	Metodologia.....	54
3.1	Delimitação do objeto de estudo	59
3.2	Compreensão do problema.....	61

3.3	Construção e aplicação da solução	63
3.4	Análises e reflexões	64
4	Análise de Dados – o Loteamento PAC-Anglo.....	66
4.1	Breve contexto	66
4.2	Análise gerais das demandas, pontos positivos e negativos	67
4.3	Cruzamento e análise de dados socioeconômicos	70
4.4	Cruzamento e análise de dados das moradias	73
4.5	Caracterização do estudo de caso.....	76
4.6	Conclusão do capítulo.....	81
5	RESULTADOS	82
5.1	Co-Design junto aos moradores.....	82
5.2	Desenvolvimento do <i>Script</i>	87
5.2.1.	Terreno	87
5.2.2.	Pré-existência	89
5.2.3.	Ampliação	96
5.2.4.	Delimitação dos perfis.....	99
5.2.5.	Peças, encaixes e documentação	104
5.2	Análises de insolação	112
5.4	Compatibilização do script com ferramentas BIM	115
5.4	Simulações no estudo de caso	122
5.5	Aplicação e avaliação externa	129
6	Considerações Finais	131
7	Referências	135

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o escopo da pesquisa, incluindo a problematização para o desenvolvimento deste trabalho, a justificativa, o pressuposto, os objetivos da pesquisa, bem como as delimitações e a estruturação dos capítulos.

1.1 Problema de pesquisa

Desde a constituição de 1988, no Brasil a moradia se tornou um direito. No entanto, a parcela populacional mais carente enfrenta dificuldades na aquisição habitacional. Os altos preços imobiliários, o elevado custo de vida, dentre inúmeros fatores sociais e econômicos dificultam cada vez mais a aquisição da moradia própria (Backheuser; Campos, 2020; Santos; Martins, 2019).

Países emergentes, como é o caso do Brasil, enfrentam um dilema habitacional: o Estado delega o seu dever de promover moradia digna às empresas privadas, atuando como facilitador. A responsabilidade repassada as construtoras e incorporadoras torna o direito básico de morar em uma mercadoria, pois programas como o Minha Casa Minha Vida (MCMV) e o Casa Verde e Amarela focam na implementação quantitativa de unidades habitacionais. Estas moradias, designadas como faixas de renda mais baixas, apresentam projetos mínimos, que desconsideram quaisquer condições bioclimáticas ou individualidade no produto entregue, bem como se localizam em zonas afastadas da infraestrutura urbana e da oferta de empregos (Backheuser; Campos, 2020; Santos; Martins, 2019).

Muitos projetos de Habitação de Interesse Social (HIS) existentes são pensados em uma composição familiar já pré-estabelecida. A pluralidade familiar presente no estilo de vida contemporâneo é desconsiderada durante as etapas de projeto (Hentschke et al., 2020). Outro ponto a ressaltar é o dimensionamento mínimo entregue por estes projetos. A redução de área é uma tentativa de

minimizar os custos, todavia, os cômodos acabam sendo subdimensionados às necessidades do morador, aos mobiliários existentes e disponíveis no mercado (Kerkhoff, 2017).

Em decorrência da deficiência no programa arquitetônico padronizado entregue às comunidades inseridas em habitações de interesse social, a população recorre a processos de autoconstrução. Tais ações auto construtivas tentam contornar os problemas encontrados na habitação mínima, criando novos cômodos e aumentando os existentes. No entanto, a falta de conhecimento técnico muitas vezes resulta em ambientes insalubres, mal iluminados, que não atendem padrões de ergonomia e conforto dos usuários (Jorge et al., 2020; Mororó et al., 2016a).

Além disso, relatos de trabalhos que utilizaram Avaliações Pós-Ocupação, como metodologia de avaliação em conjuntos habitacionais de HIS (Backheuser; Campos, 2020; Bonatto; Miron; Formoso, 2011; Mororó et al., 2016a) expressam a insatisfação e falta de identidade dos moradores com o que lhes foi entregue, resultando na realização de modificações pelos moradores, sem acompanhamento técnico. Dentre as principais modificações realizadas é possível ressaltar: ampliações de cozinhas, devido a não acomodação de seus eletrodomésticos e uma zona de refeição; troca de revestimento nas áreas de permanência e externas; intervenções nas fachadas; adição de elementos de proteção, como grades e muros; criação de garagens; modificação no *layout* de áreas de serviço; acréscimos de banheiro; adições de quartos ou salas (Brandão, 2011; Hentschke, 2014).

Em vista disso, é possível destacar que os principais motivos para a necessidade da adaptação são aspectos estéticos, de individualização e de funcionalidade. Os ambientes com área reduzida, bem como mudança na composição familiar são fatores que evidenciam a importância de propostas arquitetônicas que permitam a flexibilização futura da moradia: alteração de uso de cômodos, bem como o acréscimo de ambientes, de acordo com as necessidades do morador. Adotando o conceito de habitação flexível, a lacuna

ocasionada pela falta de contato com o projetista pode ser minimizada mediante um determinado grau de liberdade durante a fase de uso da edificação, ao contemplar a pluralidade do núcleo familiar e seu estilo de vida (Brandão, 2011).

Para viabilizar a aplicação do conceito de habitação flexível e como alternativa à produção em massa (implementação em larga escala de um determinado produto), a customização em massa surge como alternativa, pois propicia a produção que atenda às necessidades individuais a custos e tempo de uma produção padronizada e repetitiva (Hentschke et al., 2014). As novas tecnologias apresentam papel fundamental nos novos processos produtivos e no desenvolvimento de ferramentas de precisão voltadas a customização em massa (Noguchi; Hernández-Velasco, 2005). Neste contexto, a fabricação digital (FD) na arquitetura emerge por meio de processos aditivos ou subtrativos, tendo como exemplo o corte *Computer Numeric Control* (CNC), o qual propicia o mesmo custo-benefício para soluções diversas e únicas ou respostas arquitetônicas iguais (Kolarevic, 2001).

A apropriação de tecnologias e metodologias projetuais, interligadas à fabricação digital, podem apresentar avanços significativos para comunidades inseridas no contexto de interesse social. Junto a isso, assessorias técnicas (AT) podem amparar a produção espacial com ações de cunho potencializador à autonomia. Assessorias técnicas são processos que assistem comunidades, por meio de oficinas com métodos flexíveis e adaptados ao contexto local, que estimulem novas habilidades na área da construção civil (Borel, 2020). Partindo desta metodologia, se propõe a integração da comunidade e o ganho de conhecimento técnico básico, em arquitetura, para que estes indivíduos possam ser capazes de tomar decisões acerca da flexibilização de suas moradias.

A customização em massa aplicada à arquitetura é frequentemente atrelada a sistemas produtivos industrializados. Entretanto, ao aplicar a estratégia produtiva em HIS, o foco é direcionado a métodos e tecnologias convencionais (Hentschke et al., 2020; Mororó et al., 2016b; Noguchi; Hernández-Velasco, 2005; Vecchia, 2021). Ademais, propostas e pesquisas que interconectem à

fabricação digital e a moradia de interesse social são escassas. As publicações acerca da produção habitacional pelo intermédio do corte CNC, que possibilite construções eficientes, sustentáveis e de fácil adaptação, envolvem duas linhas: teste de prototipagem dos componentes e montagem dos encaixes (Backheuser; Campolongo, 2017; Campolongo; Vincent, 2018; Griz; Queiroz; Nome, 2017; Mendonça; Passaro; Henriques, 2018; Nardelli, 2014; Paio, 2014); proposição projetual e soluções arquitetônicas para a criação de uma moradia (Backheuser; Campos, 2020; Nardelli; Backheuser, 2016; Passaro; Rohde, 2016). Todavia, o uso da fabricação digital para a proposição de ambientes flexíveis em habitações de interesse social ainda não foi estudado.

É perceptível a lacuna deixada pela falta de pesquisas exploratórias no contexto de flexibilização da moradia. Tal fator direciona este estudo ao viés propositivo projetual: associação das técnicas de fabricação digital às unidades de Habitação de Interesse Social já existentes. Para que seja tangível esse objetivo, o trabalho se concentra na criação de ambientes expansíveis, que atendam às necessidades dos moradores durante o ciclo de vida de suas moradias existentes, mediante à FD. A proposta de estudo, até então, não encontra quaisquer referências bibliográficas acerca do tema, expondo seu potencial de estudo.

1.2 Justificativa

A pesquisa é justificada pela lacuna do conhecimento acerca do uso da fabricação digital e do sistema de corte CNC, no processo de flexibilização da habitação de interesse social, durante o ciclo de uso da unidade. O sistema de construção por meio do corte CNC vem ganhando espaço, tendo em vista que permite processos de construção e pré-fabricação rápidos, sustentáveis e menos onerosos, quando comparados às soluções tradicionais. Kolarevic e Duarte (2019) ressaltam a importância e os benefícios da evolução e implementação de novas tecnologias no ciclo projetual e construtivo, pois o desenvolvimento de

novas alternativas ocasiona em resultados rápidos, eficazes, econômicos e sustentáveis.

A justificativa social sobre o tema, incide na questão da relevância aos moradores de HIS, pois a pesquisa permite explorar a potencialidade de soluções arquitetônicas adequadas às necessidades de expansão das moradias. Logo, o *script* de programação visual visa oferecer alternativas às expansões, de forma mais prática e sustentável para as comunidades menos favorecidas economicamente, contempladas com unidades habitacionais de interesse social. Comunidades carentes, as quais se encontram a margem do projeto arquitetônico e dos processos de decisões acerca de suas casas.

Portanto, a necessidade do trabalho é correlatada a pouca inovação no âmbito de processos flexíveis em HIS e a potencialidade exploratória da fabricação digital, auxiliando famílias de baixa renda. A pesquisa proporciona a sociedade uma solução projetual adaptável, que permita a melhor funcionalidade e reversibilidade habitacional, com o auxílio de projetistas nas fases de desenvolvimento e execução realizada pelos próprios moradores e pela comunidade.

1.3 Pressuposto

Esta pesquisa parte do pressuposto de que os módulos adaptativos poderão ser empregados em diversas habitações de interesse social, visando maior capacidade de inovação e de customização em massa. Kolarevic e Duarte (2019) destacam a potencialidade dos princípios da customização em massa associada aos processos de fabricação digitais. Os processos associados à fabricação digital permitem artefatos personalizados, flexíveis e de baixo valor agregado. Os autores afirmam que o avanço tecnológico atual permite tais metodologias projetuais, porém não são implementadas por lacuna cultural da população e falta de difusão acerca do tema na comunidade, até então leiga. Tal pressuposto gera a pergunta a ser respondida nesta pesquisa:

- Como realizar a proposição de módulos adaptativos para expansão de HIS existentes?

1.4 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em criar um *script* de programação capaz de gerar módulos adaptativos que permitam a expansão de HIS já existentes, por meio do uso da fabricação digital através do corte CNC.

1.5 Objetivos específicos

Em vista da identificação do objetivo principal foram identificados os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar os parâmetros para flexibilização da moradia e definir os que serão usados para a proposição arquitetônica.
- b) Elaborar um *Script* Paramétrico em *software* de programação visual capaz de auxiliar projetistas na modulação dos ambientes propostos;
- c) Avaliar o uso de ferramentas *Building Information Modeling* (BIM), no processo de documentação;
- d) Simular a implantação dos módulos em um lote, visando exemplificar a viabilidade de implantação da proposta.

1.6 Delimitações

A pesquisa foi delimitada ao loteamento PAC-Anglo no município de Pelotas, Rio Grande do Sul. Os fatores para a delimitação do trabalho foram: existência de pesquisas e publicações acerca das Habitações de Interesse Social, do loteamento PAC-Anglo; o trabalho da aluna de mestrado da Universidade Federal de Pelotas Carolina de Mesquita Duarte (Avaliação integrada considerando o transporte de umidade e calor em superfícies internas de fechamento vertical.), no loteamento, possibilitando a troca de informações

entre as pesquisas; bem como projetos de extensão existentes no local, coordenados pela professora Dra. Nirce Saffer Medvedovski (Direito à cidade e habitação: Condicionantes institucionais e normativas para a implementação de políticas (programas e projetos) de urbanização de favelas no município de Pelotas RS. Avaliação do ciclo recente).

A escolha da residência para estudo de caso, levou em consideração o material de levantamento, compartilhado com a pesquisa da mestranda Carolina, além da maior disponibilidade e cooperação em participação das atividades e entrevistas dos moradores da unidade.

1.7 Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em seis capítulos, descritos abaixo:

Capítulo 1 – Introduz ao leitor a pesquisa e delimita o tema, apresentando o problema de pesquisa, justificativa, lacuna do conhecimento, objetivos gerais e específicos.

Capítulo 2 – Este capítulo aborda o conhecimento necessário para o entendimento da pesquisa. Os temas explanados estão relacionados a habitação de interesse social, processo de flexibilização da moradia, sistemas generativos de projeto e fabricação digital associada à arquitetura.

Capítulo 3 – Neste capítulo é explicada a abordagem metodológica *Design Science Research*, adotada na pesquisa, além dos procedimentos usados e os instrumentos projetivos escolhidos para o desenvolvimento da pesquisa e as delimitações.

Capítulo 4 – O capítulo apresenta a primeira parte das etapas a serem desenvolvidas, referente à compreensão do problema. Um estudo de caso foi realizado no Loteamento PAC-Anglo, em Pelotas, bem como o relato de caso de uma moradia que sofreu com processos de expansão e suas consequências. Uma análise a partir de dados coletados e levantamento fotográfico é realizada, com a intenção de introduzir ao leitor os problemas mais comuns encontrados em processos autogeridos.

Capítulo 5 – O capítulo está segmentado nas seguintes etapas de construção da solução e aplicação da solução: a primeira seção é composta pelo desenvolvimento de uma atividade voltada ao Co-Design junto aos moradores; já a segunda seção é voltada ao processo de desenvolvimento do artefato desta pesquisa (*script* paramétrico). Para a terceira e quarta parte são retratadas análises de interoperabilidade com ferramentas BIM, suas potencialidades e fragilidades associados ao *script* desenvolvido. Já as etapas de análise e reflexão são realizadas mediante simulações na moradia escolhida para estudo de caso.

Capítulo 6 – O último capítulo aborda as conclusões e as considerações finais acerca do tema desenvolvido nesta pesquisa. A seção visa estabelecer relações com o capítulo anterior e diretrizes para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contextualização da Habitação de Interesse Social

2.1.1 Habitação de Interesse Social

A Habitação de Interesse Social (HIS) está fundamentada em suprir a necessidade da parcela populacional com dificuldade em obter moradia digna. Tal fator tem origem no processo do êxodo rural e da rápida industrialização, em um país que não estava preparado para fornecer moradias salubres a uma enorme parcela de pessoas vindas do campo. Estes fenômenos estão conectados, tendo em vista que estas pessoas vieram para os núcleos urbanos na procura de empregos nas fábricas e de melhores condições de vida (Bonduki, 2017; Reis; Lay, 2010).

O tema habitação popular, associada a casa própria, é introduzido na esfera pública na era Vargas (1930-1945). Os conceitos referentes à pauta apresentavam caráter sanitarista e moralista acerca das moradas de aluguel: apresentavam condições insalubres, abrigavam múltiplas famílias, com tendências a criação de espaços de promiscuidade e desvio moral (Albuquerque, 2006). Como alternativa às condições de habitação da classe operária, os Institutos de Aposentadoria e Pensão (IAPS), vislumbrando benefícios aos seus assegurados, passam a financiar e investir, por meio do controle federal, na construção de habitações de interesse social conhecidas como vilas operárias (Rubin; Bolfe, 2014).

Nos anos 1960, o governo federal introduz mecanismos financeiros para dar suporte aos programas habitacionais: o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e o Sistema Financeiro de Habitação (SFH). Os programas se consolidaram mediante a transferência de um percentual dos saldos das poupanças dos trabalhadores, para o Banco Nacional de Habitação (BNH). No entanto, os dois programas tiveram seus recursos investidos na aquisição e financiamento de moradias voltadas às classes médias e altas, além de obras

de infraestruturas. Esta decisão é justificada por esta parcela populacional permitir o retorno financeiro aos cofres públicos dos valores fornecidos, algo que em classes mais baixas ocasionariam em prejuízos e inadimplências (Albuquerque, 2006).

O país nos anos 80 enfrenta obstáculos no financiamento popular em virtude dos impactados da crise econômica, da resseção e da inflação. Como consequência, o governo federal encerra as atividades do SFH com o fechamento do BNH. Os ativos do BNH foram transferindo à Caixa Econômica Federal. O Banco Nacional de Habitações, durante o exercício de vinte anos, proporcionou apenas um terço das obras realizadas destinadas à parcela mais carente (Albuquerque, 2006).

Com o estabelecimento da Constituição Federal, em 1988, o governo introduz a questão da moradia como um direito básico, tal como a obrigatoriedade do Plano Diretor em municípios com mais de 20 mil habitantes. Dois anos mais tarde, em 1990, sob o governo Collor, a situação econômica do Brasil apresentava níveis críticos de indivíduos morando em situação de precariedade. Mais de sessenta milhões de cidadãos estavam vivendo nas ruas. Como tentativa de frear a situação do período, o capital destinado ao setor de habitação popular foi redirecionado à iniciativa privada. Circunstância que prevaleceu até 1995, abrindo espaço para uma nova linha de financiamentos de habitação, a partir do FGTS, com a criação da Política Nacional de Habitação e programas como o Pró-Moradia e o Programa de Arrendamento Residencial (PAR) (Rubin; Bolfe, 2014).

O governo Lula, iniciado em 2003, voltou sua atenção à parcela marginalizada da sociedade, com a destinação de recursos do FGTS e de verbas orçamentárias para programas habitacionais da população de baixa renda. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) anunciado em 2007, promoveu obras em habitação para família com até três salários-mínimos, além de melhorias em setores de infraestrutura, saneamento e urbanização em assentamentos precários. Já em 2009, O programa Minha Casa Minha Vida

(MCMV) é instaurado e continuado no governo Dilma, com intuito de fomentar a economia do país, subsidiando a aquisição da casa própria às famílias de baixa renda e a facilitação do acesso às famílias de classe média (Rubin; Bolfe, 2014).

O programa MCMV atendia, na Faixa 1, famílias com renda até R\$1800 reais, com financiamento de até 120 meses e parcelas variando R\$80 a R\$270, subsidiado pelo governo federal. O projeto também proporcionava linha de créditos para aquisição, a juros baixos, para famílias com renda de até R\$7000 (Brasil, 2020; Caixa Econômica Federal, [S.D.]). Em 2013 foi o ápice do número de investimento habitacionais na faixa 1. Em contrapartida, os menores índices são registrados em 2019 e 2020 respectivamente (Brasil, 2020). Em agosto de 2020 o programa teve seu encerramento, sendo substituído pelo programa Casa Verde e Amarela. Em 2023, com o terceiro mandato do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, o programa Minha Casa Minha Vida é reestabelecido, com o retorno da assistência à população inserida na faixa 1, agora com renda de até R\$2640 reais. O governo pretende entregar mais de dois milhões de habitações até o fim de 2026 (Caixa Econômica Federal, [S.D.]).

Rubin e Bolfe (2014) destacam que os programas, por mais que atendam a população carente, ainda são um problema:

A problemática urbana é tratada por diversos autores que consideram a situação de difícil solução. O espaço urbano brasileiro é ocupado de forma desequilibrada, onde a especulação imobiliária prevalece sobre a função social do solo urbano e da cidade como um todo (RUBIN; BOLFE, p. 211).

O papel do estado é de facilitador e não promotor de moradas. Mesmo entregando inúmeras moradias às famílias em situações de assistência, este feito é realizado por intermédio de empresas privadas. A macro cadeia econômica se faz valer de um processo em que empresas privadas (construtoras e incorporadoras) são incentivadas a realizarem empreendimentos de HIS, visando o lucro. Tal situação é comum e encontrada em países em desenvolvimento, como Brasil (Minha Casa Minha Vida), Argentina (Programa de Crédito Argentino do Bicentenário para a Vivenda Única Familiar), Colômbia

(Vivenda de Interesse Social) e México (Está é sua Casa) (Backheuser; Campos, 2020).

Backheuser e Campos (2020) descrevem estes programas pelo âmbito quantitativo e homogeneizador, ao repetirem constantemente unidades, sem quaisquer modificações nas propostas arquitetônicas (figura 2.1). As unidades desconsideram a pluralidade familiar, os fatores bioclimáticos regionais, como o clima das regiões brasileiras, e os fatores locais, como a orientação solar. Outro déficit encontrado no MCMV são os problemas urbanísticos, pois a busca por terrenos baratos, como investimentos, leva as comunidades carentes as periferias das cidades. A implantação destes conjuntos cria obstáculos na vida cotidiana dos moradores, tendo como exemplo a complexa jornada de locomoção ao trabalho e ao núcleo urbano.



Figura 2.1: HIS do conjunto Anglo, em Pelotas, RS. Fonte: Dutra, 2017.

2.1.2 Flexibilização do processo de morar

O modelo usado para a composição projetual de uma HIS é fundamentado na composição familiar tradicional: mãe, pai e dois filhos. No entanto, as composições familiares brasileiras apresentam modelos diversificados. As famílias que mais predominam nas comunidades de baixa

renda são aquelas compostas por uma mãe solo, estendidas (com parentes coabitando) e casais sem filhos. É visível que a falta de pluralidade nos modelos de moradias entregues para estas comunidades se torna ineficiente em suprir às necessidades básicas da família em questão (Backheuser; Campos, 2020). Peña e Brandão (2014) descrevem a morada como um ambiente que deve proporcionar conforto, lazer e estabilidade, fazendo com que os residentes se conectem como partes complementares da moradia ao realizarem suas atividades rotineiras.

Outro aspecto que fragiliza os moldes tradicionais de HIS, é a construção de “habitações mínimas”. O termo pode ser correlatado originalmente ao século XX, com soluções racionais de funcionalidade e dimensionamentos eficientes, que apresentavam caráter qualitativo (Backheuser; Campos, 2020). Entretanto, no Brasil este conceito está associado a redução de custos em projetos habitacionais sociais, ocasionando na incapacidade em suprir às necessidades dos moradores (Jorge et al., 2020). A exagerada redução das áreas¹ proporciona conflitos espaciais: múltiplos mobiliários presentes no cotidiano de uma família residente de HIS provem de doações, sem que seja possível a adequação aos cômodos de suas habitações; quando comprados, o mercado não oferece uma ramificação de móveis destinados às HIS, fazendo com que os moradores procurem por soluções para implantação e uso dentro dos espaços mínimos que lhes foram entregues (Kerkhoff, 2017; Silva; Nunes; Medvedovski, 2021). Ao analisar o quesito econômico como justificativa, Peña e Brandão (2014) ressaltam que a redução em área útil não reduz nas mesmas proporções o valor final, sendo importante o planejamento arquitetônico e não o contingenciamento de áreas.

¹ A portaria número 660 do Ministério das Cidades, 14 de novembro de 2018, estabelece diretrizes ao dimensionamento de uma HIS. É possível destacar a área estipulada variante para casas convencionais entre 36m² e 38m², a depender do posicionamento da área de serviço, 39m² para apartamentos e casas sobrepostas. Ademais, a portaria estabelece o parâmetro vinculado a ampliação: oportunidade da expansão dos cômodos sem que seja reduzida a qualidade do empreendimento, sem quaisquer debates aprofundados acerca do tema (Brasil, 2018).

Em decorrência das incompatibilizações citadas, bem como questões estéticas e de definição territorial, os usuários acabam por realizar alterações em suas moradias. As alterações mais comuns entre projetos de HIS podem ser elencadas: ampliação de cozinhas e áreas de serviço, para acomodar o mobiliário; acréscimo de banheiros; criação de dormitórios; troca de revestimentos; fechamentos e alterações na fachada (Brandão, 2011; Hentschke, 2014). A necessidade destes espaços de forma mais adequada à realidade familiar, ocasiona em processos de autoconstrução, sem quaisquer acompanhamento técnico ou noções relacionadas ao dimensionamento, ergonomia, iluminação e ventilação naturais, ocasionando, muitas vezes, em espaços insalubres e de difícil permanência (Kapp; Cardoso, 2013).

A flexibilidade habitacional é uma abordagem fundamental na arquitetura, tendo como pressuposto de que a vida humana muda de acordo com fatores: internos, como as diversidades culturais e a modificação da estrutura familiar; e externos, expressos pela falta de contato entre o arquiteto com as necessidades do usuário final (Brandão, 2011; Gharavi Alkhansari, 2018).

Uma residência recebe a denominação de polivalente ou evolutiva a partir da determinação de como seus ambientes foram propostos, para que seja tangível os acréscimos de funções, a alteração de usos e ocupação. A residência evolutiva apresenta como preceitos de definição a modificação e reestruturação do projeto original, durante o uso, mediante processos flexíveis de construção (Jorge Et Al., 2020; Peña; Brandão, 2014).

Os processos flexíveis em moradias possibilitam o caráter de liberdade, que surge na diversificação e inclusão dos modos de vida de cada família. Dentre os conceitos abordados por flexibilização, é plausível descrever a própria flexibilização, a adaptabilidade, aplicabilidade e a junção/desmembramento (Brandão, 2006, 2011).

A flexibilização propriamente dita é correlatada ao conceito relacionado a planta livre e novos arranjos de configuração em diferentes *layouts*. A adaptabilidade é conectada à descaracterização funcional dos cômodos,

permitindo a redistribuição e reconfiguração de atividades e usos, com o emprego de móveis facilmente realocáveis. Esta característica é vinculada a uma planta com pouca hierarquia e sem cômodos com funções pré-definidas. O termo ampliabilidade é referente à adição de novos cômodos, internamente ou externos à unidade residencial. Dentre as propriedades da habitação evolutiva, a propriedade estudada nesta pesquisa é a ampliabilidade. Já as definições de junção e desmembramento são referidas a uma residência que pode ser desmembrada em duas ou mais unidades, ou pelo processo inverso de união (Brandão, 2006).

2.2 Sistemas generativos

Nos anos 1950 e 1960, atrelados ao desenvolvimento da informática, pesquisa operacional e da inteligência artificial, surgem os primeiros estudos de um sistema generativo (SG), com viés a solucionar problemas (Celani; Vaz; Pupo, 2013). Um SG pode ser caracterizado como um método indireto, no qual o projetista não está preocupado com a resolução da problemática em um contexto determinado, mas na criação de uma metodologia para atender problemas semelhantes em contextos diferentes (Celani, 2011). Mitchell (1975) utiliza o livro *As viagens de Gulliver*, escrito por Jonathan Swift no século XVIII, como forma de exemplificar um SG: a partir de um sistema generativo seria possível realizar a combinação aleatória de todas as palavras, gerando todos os livros existentes, aqueles a serem escritos e ainda textos sem quaisquer significados (Celani; Vaz; Pupo, 2013).

O uso de sistemas generativos aplicados na arquitetura pode ser encontrado nas obras de Palladio, no século XVI. O arquiteto faz o uso de regras de proporção associada aos cômodos, bem como suas distribuições espaciais no edifício (Celani; Vaz; Pupo, 2013). No século XIX os textos da *École Polytechnique* e da *École des Beaux-Arts* revelam um sistema de exploração de um determinado vocabulário de elementos, a serem combinados entre si visando a geração de formas arquitetônicas (Mitchell, 1975).

Antonio Gaudi ao projetar edificações como a igreja da Sagrada Família e a Capela Guell, também faz apropriação do uso dos sistemas generativos na arquitetura. O arquiteto catalão pendurou em arames, pesos para que à medida em que estes elementos fossem manipulados, assumissem diferentes formas até o ponto de estabilidade estática. A análise dos fios, viabilizou a compreensão de que ao rotacionar tais elementos, seriam obtidas estruturas semelhantes as abóbodas (Mitchell, 1975), conhecidas como catenárias² (Nonell, 1990).

Com função exploratória, por gerar inúmeras alternativas, os SGs podem ser classificados em três situações (Celani; Vaz; Pupo, 2013). A primeira é a otimização de solução de problemas, voltada às problemáticas projetuais que surgem repetidamente, mas não existe uma metodologia pré-estabelecida para o encontro de respostas. Sendo assim, se faz necessário a geração de múltiplas variantes, visando suprir o problema. A segunda é descrita como a criação de famílias de objetos, muito presente nos âmbitos do design e da pré-fabricação. Esta situação é caracterizada pela similaridade entre soluções, pois apresentam pequenas divergências entre si. A última classificação é segmentada para a exploração, destinada aos projetos que apresentam critérios mal definidos. Como consequência da indefinição programática, a melhor alternativa é a busca exploratória, com intuito de encontrar a solução mais adequada (Celani; Vaz; Pupo, 2013).

Celani *et al.* (2013) discursam acerca das definições de problema bem e mal definido. Para os autores, o problema que possui apenas uma ou um mínimo grupo de soluções, é aquele bem definido. Entretanto, quando se faz presente múltiplas alternativas, a problemática passa a ter caráter mal definido. Na arquitetura é comum a repetição do padrão mal definido, expondo a necessidade em encontrar justificativas, uma delas baseada na compartimentalização dos problemas.

² Estruturas funiculares de alto desempenho, concebidas para projetos de geometrias complexas (Pires; Pereira, 2017).

Caso os responsáveis pelo projeto não realizem a compartimentação dos parâmetros necessários, o sistema generativo tenderá a gerar soluções de maneira exaustiva, fazendo fundamental o uso de procedimentos avaliadores. Uma alternativa para evitar a produção exaustiva de soluções é a geração aleatória. Para compreender essa definição, é possível a comparação com o processo de seleção natural no reino animal. O cruzamento de indivíduos resulta na transposição genética aleatória de genes às proles. Como consequência à combinação de material genético dos pais, novas características são originadas nos filhos. Aqueles indivíduos que não se adaptarem ao meio em decorrência da combinação dos genes paternos, são eliminados naturalmente, não passando estas combinações de genes as novas gerações (Celani; Vaz; Pupo, 2013).

Uma ilustração avaliadora pode ser observada na figura 2.2 abaixo: o espaço de soluções tangíveis de um problema mal definido (i) compreende um grupo de respostas satisfatórias (s), que por sua vez, tem inserido o conjunto de boas soluções (b) (Celani; Vaz; Pupo, 2013).

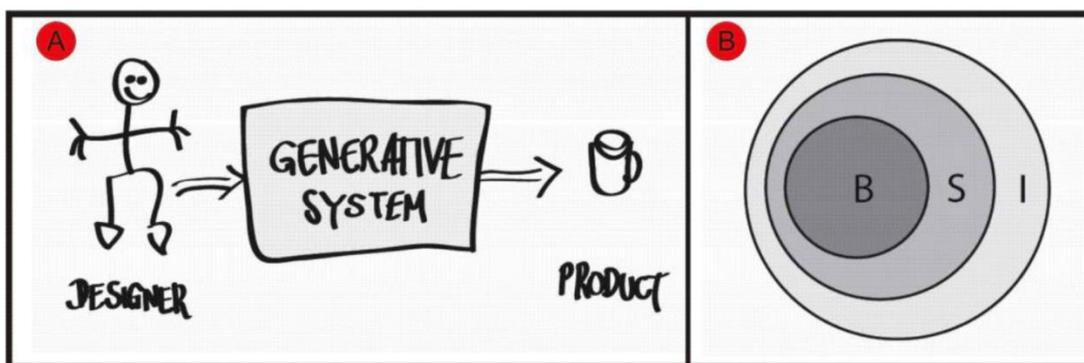


Figura 2.2: A esquerda diagrama de Fischer e Herr (2001) sobre sistemas generativos. A direita diagrama de Mitchell acerca do processo avaliativo de soluções. Fonte: Celani; Vaz; Pupo, 2013.

Os SGs podem ser distribuídos em duas classes: sistemas baseados na lógica e sistemas inspirados na biologia (Knight, 2011). Os sistemas lógicos utilizam operações como simetria, combinação, teoria, grafos, parametrização (fundamentado na substituição de valores) e a gramática da forma (regras

definidas pelo projetista a serem aplicadas no projeto). Já os sistemas biológicos, são os fractais, autômatos celulares, algoritmos genéticos e algoritmos evolutivos (Celani; Vaz; Pupo, 2013). Dentre os sistemas mais adequados a pesquisa, que permitem a fácil modificação e criação de critérios pré-estabelecidos de projeto, foram selecionados dois para aprofundamento: parametrização e gramática da forma.

2.2.1 Parametrização

O aprimoramento tecnológico fomentou novas ferramentas projetivas, conhecidas como *Computer Aided Design* (CAD), *softwares* de desenho bidimensional e tridimensional. A vantagem dos programas CAD aos desenhos manuais está relacionada com a facilitação da correção de erros e alterações, bem como o maior entendimento do objeto final. Junto a formalidade representativa do projeto em arquitetura, emergem novas formas de fabricação *Computer Aided Manufacturing* (CAM) (Kolarevic, 2001; Pinto; Pupo, 2015).

Dentre as formas de projetar, o Desenho Paramétrico (DP) permite ao projetista conceber formas por meio de um SG de criação de regras e de composição algorítmica (Brod; Silva, 2011). O DP possibilita a flexibilidade formal mediante conexões entre geometrias, expressões matemáticas e materialidade, além da chance de alteração mediante a modificação de um ou mais parâmetros (valores atribuídos a uma variável) (Brod; Silva, 2011; Fagundes, 2019; Pinto; Pupo, 2015). Como exemplo, desta definição, o ato de desenhar uma linha por meio de um SG, necessita de uma série de pensamentos de lógica e operações matemáticas para que a linha seja realizada no ambiente de modelagem virtual (Burry; Burry, 2010). O modelo tradicional de projeto tende a obsolescência, pois a modelagem paramétrica, como forma projetual variável, surge como ferramenta a substituir tais técnicas estáticas (Kowaltowski et al., 2011).

Ademais, os processos iniciais de projeto paramétrico em arquitetura são datados de 1940, quando o arquiteto Luigi Moretti discorre, pela primeira vez,

em seu livro o termo “*Architettura Parametrica*”. O arquiteto italiano realizou pesquisas retratando o termo a interdisciplinaridade do design arquitetônico com equações paramétricas. Como resultado a estas investigações, Moretti apresenta o modelo “*Progetti di strutture per lo sport e lo spettacolo*” (figura 2.3), regido por dezenove parâmetros (Heidari et al., 2018; Redazione, 2015).

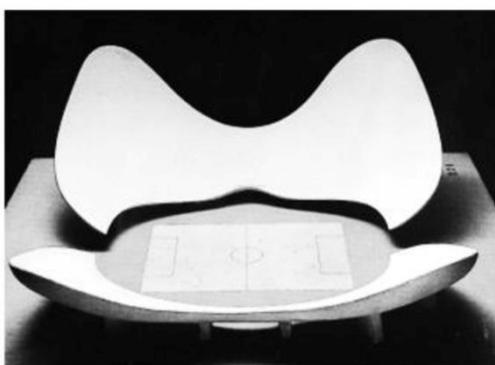


Figura 2.3: *Progetti di strutture per lo sport*. Fonte: Redazione, 2015.

Alguns *softwares* de modelagem paramétrica introduziram a programação visual para a representação de algoritmos, através de caixas contendo os algoritmos que podem ser ligadas entre si permitindo perceber visualmente o fluxo de informações na programação. Esta técnica permite a geração de objetos de forma mais intuitiva pelo projetista, se comparada a um ambiente unicamente textual. Dentre os programas direcionados ao desenho paramétrico associado à programação visual é possível elencar o *plug-in* Grasshopper para Rhinoceros, e Dynamo para Autodesk Revit, ambos gerando *scripts* mediante componentes diagramados e intuitivos (Celani; Vaz, 2011).

O programa Rhinoceros Grasshopper apresenta uma interface intuitiva e de fácil navegação: uma barra de comando onde são encontrados os blocos de programação em seus componentes necessários para a criação do algoritmo. Eles estão distribuídos em categorias funcionais, tipológicas, e subcategorias específicas, que visam a facilitação da leitura dos itens. Estes componentes, em sua maioria, possuem os parâmetros de dado de entrada a esquerda,

representando a entrada de informação, e dados de saída a direita, referente a saída de informação.

Como exemplo, o parâmetro arco necessita das informações de entrada: plano, raio e ângulo; já os parâmetros de saída são: o próprio arco e o comprimento deste, com o intuito de serem conectados a demais componentes. A figura 2.4 mostra como o conjunto de informações funciona mediante a programação visual: os *sliders* numéricos podem ser modificados para atender as necessidades do projetista, bem como as informações de saída são de fácil entendimento.

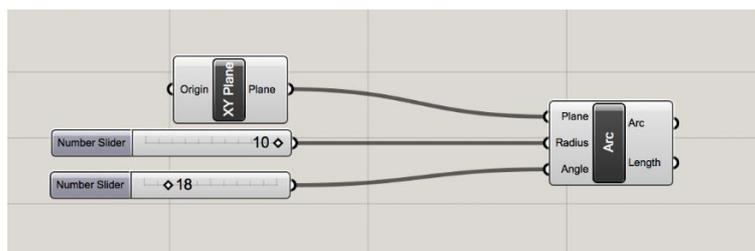


Figura 2.4: Parâmetro Arc. Fonte: Autor, 2022.

2.2.2 Gramática da Forma

Shape Grammar ou Gramática da Forma é um sistema de geração de formas mediante a predefinição de regras (Celani et al., 2006). A gramática da forma surgiu por intermédio de dois engenheiros, George Stiny e Jim Gips (1972) acerca da teoria do matemático Emil Post (1943) (Celani et al., 2006; Knight; Stiny, 2001). O sistema proposto por Post era fundamentado na substituição de símbolos por letras, dando origem a uma nova sequencial de caracteres. A sintetização do conceito de Gramática da Forma pode ser segmentada em duas classificações: generativa, a qual é possível a geração de frases e desenho a partir da substituição de um símbolo inicial; e analítica, que afirma se um elemento pertence ou não a um grupo de determinada linguagem (Celani et al., 2006).

Emergindo dos avanços nos anos 1940 e 1950, Stiny e Gips introduzem a *Shape Grammar*, um dos primeiros programas computacionais capaz de se apropriar da teoria da substituição de textos e símbolos, para a criação de designs (Knight; Stiny, 2001). A concepção inicial era criar um sistema para ser aplicado em obras de esculturas e pinturas, para que os artistas estipulassem regras de composição, as combinando para originar uma vasta gama de resultados (Celani et al., 2006).

Na arquitetura, esta linguagem da forma pode ser encontrada nas obras de Palladio mediante uma série de regras compositivas e construtivas. A caracterização do estilo palladiano é encontrada na sistematização hierárquica da geometria, em planta baixa do primeiro andar, variando apenas na distribuição da sacada, conforme a figura 2.5. As obras de Palladio, a exceto duas, podem ser arranjadas por um eixo central. As planificações, a nível de planta destas edificações, podem ser geradas em oito estágios: (1) definição de uma malha, (2) definição das paredes externas, (3) *layout* dos cômodos, (4) definição das paredes internas, (5) entradas principais, (6) ornamentação exterior, (7) fenestrações e (8) finalização. Partindo desta sistematização construtiva é plausível a criação de novos projetos palladianos baseados no uso da gramática da forma (Stiny; Mitchell, 1978).

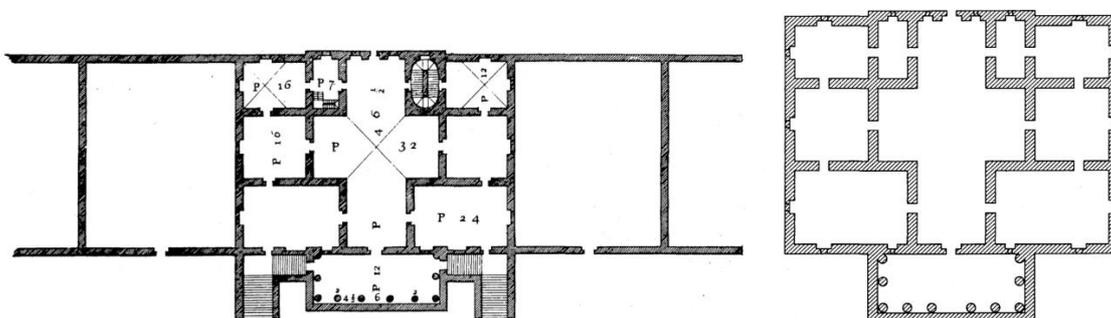


Figura 2.5: A esquerda planta baixa da Villa Malcotenta, e a direita planta da mesma edificação, gerada por meio da *shape grammar*. Fonte: Stiny; Mitchell, 1978.

A gramática da forma está inserida no âmbito do *computacional design*, no entanto o termo usado não está correlatado ao uso exclusivo de programas computacionais, mas sim ao uso da lógica e matemática. Na língua nativa, a palavra *computation* é associada ao processamento informativo e de raciocínio humano, beneficiado pelos avanços atuais de *softwares* e pesquisas de automatização na área (Celani et al., 2006).

A construção de uma gramática da forma necessita de três parâmetros: (1) elemento a ser aplicado a regra, (2) regramento de construção baseado em operações euclidianas e (3) operações booleanas (Verkerk, 2014). As operações euclidianas podem ser aplicadas em diferentes escalas e tipologias formais, abrangendo as seguintes modificações: transação, rotação, espelhamento, escala e identidade. Já as operações booleanas são usadas para aplicar as transformações euclidianas nas formas, conhecidas como: adição, subtração, produto e diferença de simetria (Verkerk, 2014).

Com o decorrer do tempo, novos pesquisadores complementaram as definições e características de gramática da forma, apontando variações: gramática da forma analítica, gramática pré-definida, gramática com marcadores, gramática da cor e gramática paramétrica. A gramática paramétrica permite a flexibilização dos condicionantes de valores, a serem estipulados e definidos na implantação, gerando uma pluralidade de resultados (Celani et al., 2006).

2.3 Customização em massa: uma alternativa mediante as novas tecnologias produtivas

Antes de entrar no tema da sessão, será feita a conceituação e caracterização dos temas: produção em massa, customização em massa e pré-fabricação na arquitetura. O intuito é proporcionar melhor entendimento de assuntos abordados no decorrer do capítulo.

O termo produção em massa está associado à produção e implementação de um determinado produto em larga escala (Hentschke et al., 2014). Já a customização em massa permite a modificação de componentes de um produto, com o intuito de criar objetos que atendam as necessidades individuais dos usuários a custos de produção em massa (Hart, 1995; Piller, 2017).

A pré-fabricação está associada a elementos ou partes de uma construção que são produzidas e transportadas para o local da obra, ademais esses componentes podem ser confeccionados no próprio canteiro de obra. Para posterior montagem dos componentes, resultando no objeto artefato final. Dentre as vantagens do uso desta técnica estão a rapidez, precisão e custo-benefício (Araghi, 2017; Bonvoisin et al., 2016; Ghannad; Lee, 2022).

A pré-fabricação pode ser dividida em dois segmentos: fechada, relacionada ao modelo produtivo Fordismo; e aberta, associada à produção de elementos com diferentes dimensões, funcionalidades e tipologia que interagem entre si, para posteriormente resultar em um produto final (Araghi, 2017; Bonvoisin et al., 2016; Ghannad; Lee, 2022).

Na arquitetura, a pré-fabricação pode ser classificada em categorias, de acordo com o seu tipo. A primeira categoria abrange as Construções Modulares, que corresponde a pré-fabricação de volumes que farão parte do edifício (cozinha, quartos, banheiros e outros cômodos). Estes elementos podem representar a totalidade da construção, necessitando apenas a instalação no lote, ou parcial. Já os sistemas de componentes são peças ou kits de peças fabricados e transportados ao local para serem montados de diversas maneiras. Os kits são painéis pré-cortados, transportados para que o próprio proprietário execute a montagem (Araghi, 2017).

2.3.1 Produção customizada como alternativa à produção em massa

No final da década de 1980 e início de 1990, a empresa do ramo de máquinas fotográficas e acessórios, Kodak, apresentou um grande sucesso econômico em suas mãos: lançamento de um produto base e três modelos

adicionais, criados a partir de componentes comuns e processos de produção similar. A estratégia de flexibilização se fez um grande triunfo pois permitiu atingir diversos nichos de clientes, sem que os impactos monetários da produção fossem repassados ao consumidor final. Tudo isso devido a agilidade, produção em quantidade e custo reduzido de fabricação. A estratégia é conhecida como customização em massa (Robertson; Ulrich, 1998).

A customização em massa corresponde à eficiência da produção em massa, por meio de tecnologias e sistemas capazes de proporcionar produtos e serviços que sejam confeccionados atendendo às necessidades individuais (Piller, 2017). No entanto, apesar de, teoricamente, a customização em massa permitir a criação utópica de qualquer produto, dificilmente este objetivo será atingido. Tal fator é correlatado ao escopo de ramificações limitadas dentro dos padrões de produção de uma determinada empresa (Hart, 1995).

Esta estratégia de negócios visa atender economicamente os desejos de um consumidor final, sem destoar dos custos da produção padrão. Empresas que oferecem esta estratégia, entregam uma vasta gama de produtos, aumentando a probabilidade de atender satisfatoriamente a grande parcela da população (Pine, 1993). A produção ocorre subdividida em duas conjunturas: fabricação padrão de componentes ou produtos semifinalizados com a máxima repetição, contemplada pela similaridade em designs; processo de construção e adaptação do produto atendendo as necessidades do usuário, mediante os elementos pré-fabricados anteriormente (Blecker; Abdelkafi, 2006; Jiao; Ma; Tseng, 2003).

A customização em massa pode ser associada ao Co-design. O Co-design é um processo de produção, onde artefatos ou serviços são produzidos com a participação do consumidor final (Piller, 2017). O usuário realiza combinações, modificações e altera as configurações do produto fornecido. Portanto, uma das exigências para esta estratégia são sistemas eficientes de interação: conexão entre as predefinições da fabricante com as necessidades

do cliente em um ambiente de visualização eficaz e de fácil compreensão (Piller, 2017).

Propostas acerca do Co-design podem ser encontrados em *websites* focados na proposição de moradias. Esta ideia vem do final do século XX, onde se esperava que no século atual esse tipo de projeto fosse mais difuso. Situação que não aconteceu devido a sociedade atual não se engajar na participação do processo de Co-Design. O site “*Design Your Own Home*” permitia ao usuário criar geometrias e posteriormente definir os materiais a serem empregados. Já o site “*Resolution: 4 Architecture*” possibilita a criação de casas populares por meio de módulos pré-definidos (Kolarevic; Duarte, 2019). Durante o decorrer desta sessão, será dado mais um exemplo desta metodologia associada, porém vinculada aos processos de fabricação contemporâneos.

Os produtos oriundos da customização em massa podem ser classificados de acordo com a unidade de customização: binários, categóricos, ordinais, discretos e métricos. A classe binária, como o próprio nome remete, corresponde à aceitação ou não da customização do item. A classificação categórica é associada a objetos sem valores numéricos e quantitativos, como cores e acabamentos. Na categoria ordinal possuem ordem, porém sem tamanho numérico, exemplificado por produtos com dimensões distintas. Para a classe discreta, os objetos apresentam valores quantificados, mas com variações limitadas (máximo e mínimo). Na última categoria, os artefatos métricos se assemelham aos discretos, porém não apresentam valores restritos (Rocha, 2011).

A criação de produtos genéricos, correspondentes ao mesmo processo e tecnologias de fabricação, com diferenciações de design são conhecidos como *Product Family Architecture* (PFA). Algumas das características dos PFAs são: a comum estrutura; ramificações de atributos pré-estabelecidos; separação do objeto em módulos que possam interagir entre si; conjunto de regras que atendam às necessidades dos usuários finais e os parâmetros técnicos disponíveis. Outro conceito associado aos PFAs é a Plataforma de Produtos,

referente às partes que se repetem para formarem uma PFA. Esta padronização viabiliza a produção customizada em larga escala (Jiao; Ma; Tseng, 2003).

A customização em massa e a criação de famílias aplicadas ao setor habitacional necessitam de dois procedimentos: o primeiro envolvendo o produto, fazendo referência aos componentes que farão parte da habitação; e outro englobando o serviço, caracterizado pela etapa de design e construção da moradia. No processo de customização a participação do indivíduo, o qual se destina o produto, é fundamental. No entanto, a visualização pode ser dificultada pela falta de compreensão do mesmo, ocasionando na necessidade de maiores informações obtidas pela interação com modelos e protótipos (Noguchi; Hernández-Velasco, 2005).

2.3.2 Pré-Fabricação e a Modulação

O conceito de módulo na arquitetura surgiu na época da escola vanguardista Bauhaus, onde a padronização era associada ao pensamento racional na produção industrial de edificações. Módulo, no pensamento da época, remetia a blocos ou unidades espaciais, como sala, cozinha, quarto e banheiro. Um módulo faz parte de um sistema, onde possui função determinada, a qual permite o agrupamento de n módulos de diversas funcionalidades para obter o produto final. Partindo deste pressuposto, os arquitetos poderiam criar projetos a partir da combinação e distribuição de módulos no lote (Nunes et al., 2014).

Dentre as possibilidades de pré-fabricação na arquitetura contemporânea, é possível elencar um artefato que é produzido por meios industriais tecnológicos, como é o caso da fabricação digital, para posteriormente serem entregues e executados em outro local, como destacado nesta pesquisa. As vantagens destes processos englobam quesitos financeiros, reduzindo custos e funcionários ao eliminar a mão de obra não especializada e menos produtivas, encontrada nos modelos construtivos tradicionais. A produção de unidades arquitetônicas mediante a pré-fabricação exterior ao sítio podem ser

denominadas por Construções Modulares (CM) (Araghi, 2017; Bonvoisin et al., 2016; Ghannad; Lee, 2022).

As CMs estão sendo implementados na construção civil, visando melhorar a produtividade e lucratividade no setor, constantemente associados aos processos de customização em massa. Tais objetos oriundos das CMs podem ser produzidos na sua totalidade ou em parcelas. Uma construção totalmente modular é fabricada exterior ao lote, sendo implantada no sítio e pronta para uso após as conexões com as redes elétricas e hidráulicas. Como as construções totalmente modulares, as construções parciais são executadas da mesma maneira, entretanto necessitam de junções e elementos conectores entre as partes da edificação existente, as quais são pensadas na fase de desenvolvimento do projeto (Ghannad; Lee, 2022).

Construções Modulares são tecnológicas e estão associadas ao meio de transporte, peso, tipo de montagem e custo de execução *in-loco*. A modularização permite organizar um objeto complexo por meio da decomposição e recombinação de elementos independentes. Os elementos que serão montados são categorizados como “kits de partes”. A fabricação digital auxilia na otimização dos custos e redução no desperdício de materiais dos kits, pois permite a racionalização para a pré-fabricação de acordo com a necessidade, ao gerar peças modulares específicas para cada situação (Ghannad; Lee, 2022; Ulrich, 1995).

Ulrich (1995) apresenta dois conceitos sobre os módulos: *Component-Sharing* e *Cut-to-Fit*. *Component-Sharing* pode ser associada aos componentes comuns usados em diversos projetos, os quais funcionam como base para o desenvolvimento do produto final. Um exemplo desta situação são os núcleos de circulação vertical, que muitas vezes funcionam como delimitadores de projetos. Já o sistema *Cut-to-Fit* altera dimensões (comprimentos, largura e altura) dos módulos para fazer a combinação com demais modulações. Por se tratar de um processo que se inicia com a troca de informação com o cliente, se tem maior potencial de customização e modularização (Ulrich, 1995). O design

paramétrico pode ser um exemplo, pois ao alterar um valor referente ao objeto, os demais valores podem ser afetados e automaticamente ajustados.

É possível classificar, com menor capacidade de customização, as arquiteturas modulares em três sub-categorias: *Slot*, *Bus* e *Sectional*. O sistema *Slot*, ou de encaixe, apresenta componentes divergentes, que não conseguem interagir entre si. Um exemplo é o sistema de rádio em um automóvel, que faz parte do painel, porém com funções e funcionamento diferente dos demais equipamentos. Já o sistema *Bus*, ou ônibus, possui um componente que conecta os demais, por meio de uma interface comum. Como exemplo, uma CPU de um computador pode se conectar a diversos periféricos de diferentes formatos e marcas. O sistema *Sectional* é formado por componentes com as mesmas interfaces, sem que um elemento precise unir os demais. Uma modulação de estofado pode ser exemplificada, pois é tangível criar n variações, com dimensões e tipologias diversas (módulos retráteis, fixos, *chaise*, com e sem encosto) (Ulrich, 1995).

Mediante inúmeros cenários que os tipos de Construções Modulares possibilitam, a participação do usuário se torna indispensável. A troca de informações e necessidades entre projetistas e consumidores permite a criação de um sistema de Co-Design. A participação do público generalista em processos de modularização e customização em massa está associada às dificuldades em que as barreiras são impostas ou não pelas empresas, tecnologias e incentivos federais (se tratando de HIS). Fatores socioeconômicos, culturais e limitações acerca das tecnologias tangenciam as famílias à insegurança na hora de optarem por novas alternativas na construção civil. As potencialidades destes sistemas garantem benefícios à cidade e para os núcleos familiares, porém, é necessário que tais tecnologias sejam difundidas com o intuito de que a comunidade busque novas alternativas aos problemas habitacionais enfrentados (Griz; Queiroz; Nome, 2017; Vecchia, 2022).

2.3.3 Fabricação Digital

Os setores aeroespaciais e automobilísticos desenvolveram, na segunda metade da década de 1950, tecnologias produtivas associadas à Fabricação Digital (FD): produção de objetos físicos a partir de modelos digitais e equipamentos controlados numericamente (Kolarevic, 2001). Com os avanços trazidos aos *softwares*, a difusão do modelo produtivo atinge novos setores, dentre eles a arquitetura, popularizando-se nas últimas duas décadas. O projetista possui o domínio e as ferramentas para o desenvolvimento tridimensional do projeto, o qual terá seu processo produtivo automatizado na produção de peças e componentes para a montagem do edifício (Borges, 2016). Formas arquitetônicas, até então caras e de difícil execução, nos moldes usuais, vislumbram novas oportunidades proporcionadas pelo rompimento do paradigma construtivo tradicional, graças as novas ferramentas de fabricação (Kolarevic, 2001).

A fabricação digital pode ser classificada em dois momentos distintos, ao longo do seu desenvolvimento. O momento interligado a disseminação de tais técnicas de fabricação, associado a um caráter de preocupação, por parte dos arquitetos, e posteriormente na manipulação da forma e no modo com o qual o objeto foi produzido (Arantes, 2012). Este primeiro ápice é caracterizado pela complexidade da forma, simbolismo e pesquisas estilísticas. Já no segundo momento, penalizado pelos reflexos mundiais da crise de 2008, a fabricação digital desvia o foco, para projetos e pesquisas que permitissem processos produtivos de fluxo contínuos, com bom desempenho material, baixo custo, redução nos desperdícios de matéria prima, bem como a importância e análises das condições ambientais (Borges, 2016).

É indispensável ao se debater sobre FD, correlacionar o tema com a customização em massa. A FD permite que artefatos, antes onerosos de serem construídos, sejam fabricados mais facilmente. Tal fator se deve a conexão da geometria manipulada com o maquinário. Dentro dos conceitos de customização em massa, outro ponto de importância é o Co-design (Kolarevic; Duarte, 2019).

Com o intuito de permitir a participação do usuário na proposição projetual, os arquitetos Fabio Gramazio e Matthias Kohler propõem o projeto interativo de uma mesa, a “*mTable*” (2002). O intuito era avaliar a participação cultural no processo de customização. O cliente poderia acessar o aplicativo disponibilizado pelo celular, e modificar o design da mesa. Com a rápida visualização, cabia ao usuário definir a cor, a quantidade de deformações, dimensões e materialidade. Posteriormente, o artefato era enviado à produção por FD, sem aumentar os preços por se tratar de um produto único (Kolarevic; Duarte, 2019).

A FD permite potencializar os processos industrializados da construção civil (He et al., 2021). A etapa intermediária de produção é eliminada nos objetos produzidos por esta técnica. Característica, em virtude dos artefatos físicos serem produzidos a partir de modelos digitais, fabricados em máquinas controladas por computadores (Borges, 2016).

Os processos de fabricação digital podem ser subtrativos ou aditivos. Como uma rápida exemplificação, duas técnicas podem ser citadas, o corte CNC (subtração) e a impressão 3D (adição) (He et al., 2021).

Como uma ramificação da FD, visando à interconexão de altas tecnologias com metodologias convencionais no canteiro de obra, surge um novo conceito. Esta segmentação recebe a denominação de “*high-low*”. A conceituação para o termo é expressa pelas palavras: “*high*” representando a alta tecnologia e sistemas computacionais de fabricação; “*low*” associado a mão de obra convencional, responsáveis pela execução de projetos desenvolvidos pela FD (Locatelli et al., 2018; Sperling; Herrera, 2015).

Mesmo com a possibilidade da fabricação inteiramente automatizada no canteiro de obras, a implementação construtiva é feita mediante o “*high-low*”, devido à questão monetária: a mão de obra convencional é economicamente mais viável que a automatização completa. Como outro expoente deste procedimento híbrido, se tem a construção da Sagrada Família (1882-atualmente), em Barcelona. A produção no canteiro de obras das formas de

concreto são customizadas, mediante técnicas altamente tecnológicas, porém as demais etapas são realizadas pela mão de obra convencional (Borges, 2016).

Com os avanços nas tecnologias produtivas associadas à fabricação digital, os sistemas de troca de informações também necessitam de otimizações. Uma tecnologia que pode ser associada à FD, visando à otimização de processos construtivos e projetuais, bem como a redução do uso de matérias primas, custos e tempo de documentação é o *Building Information Modeling* (BIM) (He et al., 2021). BIM é uma metodologia projetual que permite o conjunto de processos para produzir, comunicar, analisar, documentar, validar o desempenho de edificações por meio de modelos virtuais de construção e até mesmo gerenciar o pós ocupação (Eastman; Teicholz; Sacks, 2011; Succar, 2009).

O BIM vem promovendo a troca informativa entre projetistas de diversas áreas, além da troca de informação entre *softwares* de projeto com os programas produção. Porém, os sistemas atuais ainda apresentam algumas incertezas acerca da compatibilização de informações, as quais vão surgindo à medida que novos avanços e técnicas são propostas (He et al., 2021; Succar, 2009; Yin et al., 2019).

Outra incerteza das edificações fabricadas digitalmente pode ser exemplificada pelo sistema de impressão 3D. O processo de impressão 3D é fundamentado na sobreposição de camadas do material e liberdade formal. No entanto, questões estruturais devem ser aprofundadas. Ao associar BIM com a impressão 3D de residências é possível obter total controle de orçamentos, análises de custos (visualização 5D), documentação e cronograma de execução (visualização 4D). Entretanto, as incertezas são evidenciadas em questões como: misturas cimentícias, segurança, resposta do clima local e compatibilidade com sistemas complementares. A mistura a base de cimento deve ser estudada e testada para apresentar alta durabilidade, estabilidade, bom isolamento termo acústico e resistência ao fogo (Pessoa; Guimarães, 2020).

Como tentativa na redução das falhas que surgem em processos de construção de objetos pela FD, o cliente ou usuário devem ser introduzidos nas fases conceituais e de planejamento do projeto. Pois, quando não se há compreensão do sistema construtivo, suas restrições e suas peculiaridades projetuais, as chances de haver cancelamentos no empreendimento aumentam. Projetos que integram as partes responsáveis pela execução e clientes (necessidades do usuário) apresentam melhores resultados que aqueles feitos sem a integração destes grupos (Ng; Graser; Hall, 2021).

O setor de mobiliário já faz uso de ferramentas de produção associadas a fabricação digital e ao corte CNC. As empresas que associam a FD com o *Building Information Modeling* apresentam como vantagem a rápida modulação. Esta modulação se dá por meio da alteração de dimensões (largura, comprimento e altura) com base nos catálogos pré-definidos dos fabricantes com as necessidades e ambientes dos usuários. Contudo, a parte de exportação de informações ainda é limitada. Existem dificuldades sobre o poder de processamento dos computadores para esta tarefa, bem como a de não leitura em determinadas peças para cortes. Estes componentes necessitam que os projetistas os exportem novamente (Hamid; Tolba; El Antably, 2018; Pereira; Coeli, 2019).

2.3.4 A fabricação Digital e o sistema de produção *Computer Numeric Control* (CNC)

O maquinário *Computer Numeric Control* (CNC) é classificado de acordo com o sistema produtivo: adição, formação e subtração. O método aditivo é fundamentado na sobreposição de material em camadas, destacando a impressão 3D. O sistema de formação é baseado na modelagem de chapas e tubos. O último método, a ser usado nesta pesquisa, é o de subtração, fundamentado no corte e remoção de material de um determinado elemento, como o caso de chapas de madeira. Para esta metodologia, é possível destacar

máquinas de cortes a laser, corte de plasma e corte a jato de água (Nardelli, 2014).

A máquina CNC de corte a laser apresenta funcionamento mediante o uso de um feixe ultravioleta de alta intensidade aliado a um jato pressurizado de dióxido carbônico, controlados por coordenadas nos eixos X e Y. Os equipamentos de corte a laser possuem espessura máxima de corte em valores próximos de 13cm (Kolarevic, 2001). A figura 2.6 ilustra uma cortadora a laser: feixe laser é ilustrado por A; conjunto de espelho (B); lente (C); entrada de ar (D); feixe de focagem ótica (E); regulagem do feixe de corte (F); área destinada ao material (G); suporte de apoio ao material (H) (Barbosa, 2013);

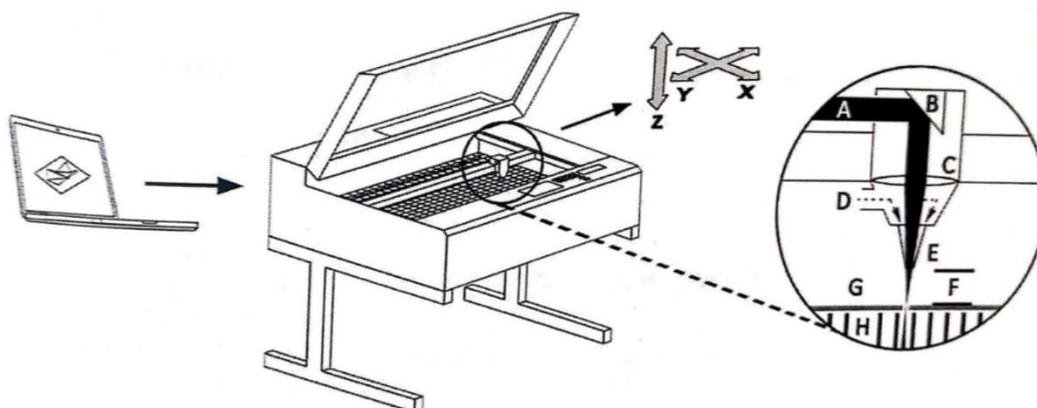


Figura 2.6: Cortadora a laser. Fonte: Barbosa, 2013.

2.3.5 O sistema CNC no contexto habitacional

Antes de entrar no papel da fabricação digital no contexto habitacional, é necessário a explanação da difusão das técnicas produtivas com a população. A FD cada vez mais se torna fenômeno emergente. O incentivo e busca por equipamentos mais eficientes, baratos e que convidem a população a ter interesse no tema, faz com que novos ambientes direcionados à FD surjam. No Brasil, é tangível elencar: os Laboratórios de Fabricação Digital (*FabLabs*),

voltados ao público generalista; a rede FabLab Livre SP³; o OLABI *Makerspace*⁴, voltado ao ensino de programação e robótica a crianças (Passaro; Rohde, 2016); e o Laboratório de Fabricação Digital da Universidade Federal de Pelotas.

Ademais, é importante ressaltar a importância dos códigos abertos: sistema de compartilhamento de informação, promovendo o livre acesso e adaptação de projetos existentes. As tecnologias de códigos abertos são direcionadas na contramão do sistema manufatureiro, pois é possível a criação e modificação de objetos pelo próprio usuário final (Griz; Queiroz; Nome, 2017). A relação entre o design aberto e a cadeia produtiva é mediada pelos *makerspaces* e *FabLabs*: espaços comunitários de colaboração equipados com o maquinário necessário as mais diversas experimentações, incentivando a autonomia e a busca por novos conhecimentos. A abordagem defendida por estes espaços é a de design global, produzido localmente (Priavolou; Niaros, 2019).

Entrando na abordagem residencial, a FD permite uma estratégia de customização em massa mediante código aberto. A metodologia permite a substituição do sistema de produção em série, sem quaisquer amparos às necessidades familiares individuais. As respostas geradas por meio de soluções tangenciais à FD são adaptáveis, únicas, sustentáveis, econômicas, além de otimizadas durante a fabricação e o uso (Benros et al., 2011). Griz et al. (2017) também idealizam a futura facilidade em promover assistência técnica e soluções arquitetônicas ao público geral, ao associar a FD com a customização em massa.

³ Rede de treze laboratórios de fabricação digital livre, no município de São Paulo. Desenvolvidos mediante uma parceria entre a Secretária Municipal de Inovação e Tecnologia da Prefeitura municipal de São Paulo e o Instituto de Tecnologia Social – ITS Brasil (FABLAB LIVRE SP, [s.d.]).

⁴ Organização sem fins lucrativos, criada em 2014, na cidade do Rio de Janeiro. A instituição se dedica ao ensino de novas tecnologias, criatividade e inovação social (Olabi, [s.d.]).

Os arquitetos Alastair Parvin e Nick Lerodiamonou, no ano de 2011, desenvolveram um sistema de autoconstrução, mediante o uso de chapas derivadas da madeira, o corte CNC e o sistema de código aberto para a produção de habitações. A proposta ficou conhecida como *Wikihouse*: um site *online* onde o modelo base habitacional, com os respectivos cortes e encaixes, é disponibilizado a arquitetos, engenheiro e designers (Mendonça; Passaro; Henriques, 2018). O intuito dos fundadores do projeto é a adaptação projetual em diversas localidades do globo, por meio de uma metodologia construtiva habitacional mais acessível financeiramente (Priavolou; Niaros, 2019).

No Brasil, os projetos habitacionais propostos fabricados digitalmente, em sua maioria, são vinculados as universidades e projetos de pesquisa exploratórios, divididos em dois grupos: com foco em prototipagem e montagem dos componentes (Backheuser; Campolongo, 2017; Campolongo; Vincent, 2018; Griz; Queiroz; Nome, 2017; Mendonça; Passaro; Henriques, 2018; Nardelli, 2014; Paio, 2014); proposição de projetos arquitetônicos completos (BACKHEUSER; CAMPOS, 2020; Nardelli; Backheuser, 2016; Griz; Queiroz; Nome, 2017; Passaro; Rohde, 2016).

O trabalho de conclusão de curso Casa Revista, da aluna Clarice Rohde, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), foi um destes experimentos exploratórios do sistema de corte CNC na produção de moradas. A denominação oriunda da proposta pensada pela arquiteta: uma revista que visa suprir a demanda habitacional da população mais necessitada, estimulando a autoconstrução. Também é possível encontrar no folhetim manuais de construção, bem como instruções aos projetos complementares (água e eletricidade) (Passaro; Rohde, 2016).

Após a definição do espaçamento entre os pórticos, foi estabelecido o perfil estrutural dos mesmos: alturas diferentes permitindo a recombinação e expansão entre eles (figura 2.7). Para a construção em escala real, foi escolhido um modelo de telhado com duas águas, permitindo a instalação de uma janela alta. A técnica visa o efeito chaminé: a massa de ar frio entra pelas fenestrações

mais baixas, enquanto a massa de ar quente sai pela janela superior. Outros dois elementos termorreguladores típicos da cultura brasileira inseridos foram o beiral e a varanda (Passaro; Rohde, 2016).



Figura 2.7: A esquerda diagramas de configurações a partir do pórtico. A direita imagem da Casa Revista executada. Fonte: Passaro; Rohde, 2016.

O protótipo foi executado em frente a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Para o assentamento no solo foram utilizados blocos de concreto permeável, nas dimensões 40x40x10cm. O projeto usou chapas de compensado de 18mm, tanto nos elementos estruturais quanto de vedações. Por questões de estabilidade, a montagem foi iniciada pelos dois pórticos centrais, travados horizontalmente em distâncias de 120cm (maior dimensão da chapa). Foi perceptível a falta de rigidez ao notar que era possível movimentar a unidade. Imprevisto que foi solucionado ao colocar as chapas de fechamento vedante da casa (Passaro; Rohde, 2016).

Como alternativa projetual ao clima tropical, foram utilizadas telhas plásticas na cobertura e nas paredes, fixadas por parafusos, como a aplicação de verniz impermeabilizante. Todavia, após algum período exposto as intempéries, a construção demonstrou que tal solução não foi em sua totalidade eficiente. Para prolongar a durabilidade, é aconselhável a aplicação de manta impermeabilizadora (fibra de vidro ou resina), similar ao processo de

impermeabilização de barcos. Também é viável a substituição do OSB por compensado naval, material resistente à água, porém os custos serão mais elevados (Passaro; Rohde, 2016).

Outra iniciativa desenvolvida partindo dos princípios do corte CNC foi o WikiLab (figura 2.8), desenvolvido pela Universidade Federal do ABC (UFABC). O projeto executado em 2017, diferentemente da Casa Revista, abriga um espaço ativo de reuniões e de *Makerspace*. A proposição tira partido de uma mistura de soluções arquitetônicas do *High-Low*: parede hidráulica em alvenaria e demais espaços fabricados digitalmente. Algumas das semelhanças entre o projeto da arquiteta Clarice são encontradas. Tais características são o uso de blocos de concreto como niveladores e o recobrimento das faces externas. A criação de uma pele externa sobre as chapas de madeira, com painéis de polipropileno e fibrocimento, permite a proteção contra intempéries (Uncreated, [s.d.]).



Figura 2.8: Imagens do WikiLab. Fonte: Uncreated.

Duas propostas exploratórias foram desenvolvidas, com enfoque no programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), pela Universidades Presbiteriana Mackenzie. Os projetos foram concebidos pelo grupo de pesquisa Teoria e Projeto na Era Digital (TPED), com apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). A primeira pesquisa teve enfoque na criação de pórticos estruturais. O estudo tinha como objetivo na experimentação de encaixes, espessuras de

chapas de OSB e suas respectivas resistências mecânicas. Ademais, no segundo projeto, questões como dimensionamento, montagem em escala real do pórtico, tempo de produção e custos foram aprofundadas (Campolongo; Vincent, 2018).

O modelo (figura 2.9), seguindo as diretrizes do programa MCMV, foi produzido, com área de 36m², distribuídos em: dois quartos, sala, cozinha, área de serviço, banheiro e uma varanda. Após o processo de usinagem e montagem, os pesquisadores constataram empecilhos para a execução de uma habitação completa. Os motivos estariam vinculados a quantidade de chapas (417 painéis), com o tempo de produção (52 dias), bem como a questão financeira, pois o valor médio da proposta, cotado no ano de 2015, seria de R\$ 30.541,00 (Nardelli; Backheuser, 2016).

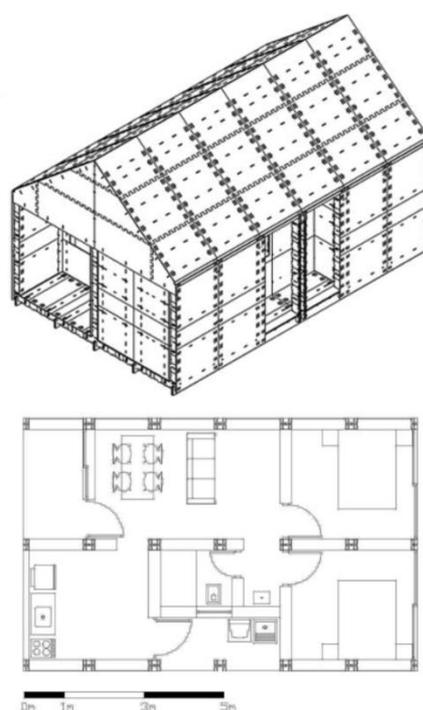


Figura 2.9: Imagem isométrica (em cima) e planta baixa do modelo de habitação, nos critérios do programa MCMV (abaixo). Fonte: Nardelli; Backheuser, 2016.

Outro projeto exploratório é a Casa Nordeste. Ele é focado no uso de chapas de compensado naval. A escolha do material leve foi feita devido a facilidade em ser manuseado no canteiro de obra e por suas propriedades estruturais. Outro ponto abordado pelos pesquisadores para a escolha do material, foram pesquisas pós-ocupação em ambientes que avaliavam a presença da madeira, bem-estar dos ocupantes e a sua satisfação. Os entrevistados destacam estes ambientes como iluminados, agradáveis, modernos, aquecidos e saudáveis (Griz; Queiroz; Nome, 2017).

O projeto é concebido partindo da modulação de chapas de compensado naval encontradas no mercado brasileiro, com dimensão de 2,20 metros X 1,60 metros. Os ambientes são múltiplos destes valores, com o intuito de otimizar o uso de chapas. Assim como o projeto da Casa Revista, os pórticos estruturais são distribuídos uniformemente ao longo da edificação. A estratégia de sustentação abordada pelos pesquisadores está na junção de perfis de pórticos, alternando a orientação da fibra da madeira, gerando um pórtico robusto e resistente (Griz; Queiroz; Nome, 2017).

Uma das alternativas propostas neste projeto (figura 2.10), que se diferem das citadas anteriormente, é acerca das fundações. O sistema desenvolvido utiliza macacos hidráulicos para distribuir o peso uniformemente ao longo do terreno. No entanto, esta estratégia nunca foi executada *in loco*, para que fosse possível validar a eficiência do sistema usado. Ademais, este sistema pode se tornar oneroso a depender do tipo de habitação que está sendo proposta (Griz; Queiroz; Nome, 2017).



Figura 2.10: Imagem realista da habitação proposta. Fonte: Griz; Queiroz; Nome, 2017.

2.3.6 Encaixes

O grupo de pesquisa TPED trabalhou na adaptação e simulações mecânicas do pórtico estrutural do sistema *Wikihouse* em chapas de OSB. A pesquisa teve o enfoque na simulação e comparação entre dois modelos, conforme a figura 2.11: o original, composto por duas chapas distantes entre si; o proposto, com a união destas duas chapas (Campolongo; Vincent, 2018).

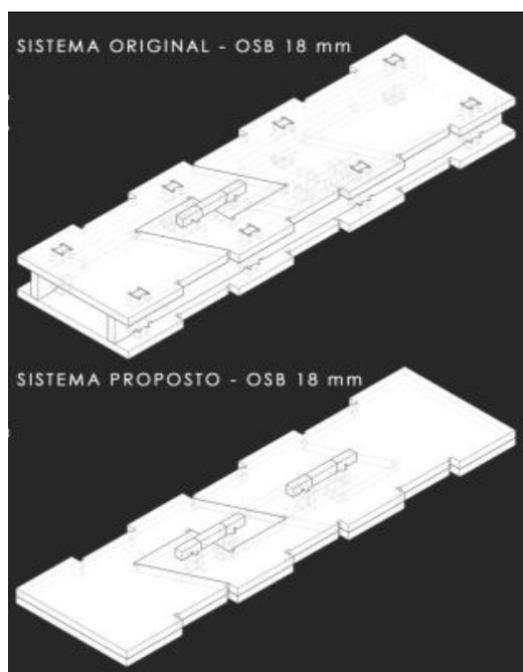


Figura 2.11: Em cima, sistema original. Abaixo, sistema proposto. Fonte: Campolongo; Vincent, 2018.

Após as prototipagens o grupo de pesquisa constatou que ambos os sistemas apresentavam valores similares aos testes de resistência a flambagem (compressão axial). Já o sistema proposto apresentou valores inferiores para os testes de compressão, quando comparado ao sistema original. De acordo com os testes, para funcionarem com elemento estrutural no desenvolver de moradias, a partir do sistema CNC, a melhor alternativa continua sendo o sistema original. Outro ponto a ressaltar é a posição das peças: o desalinhamento aumenta a rigidez em relação aos esforços laterais (Campolongo; Vincent, 2018).

Griz et al. (2017) propõe na Casa Nordeste um sistema de encaixes mais simplificado, por meio da intersecção das chapas. Como ilustrado pela figura 2.12, o sistema se diferencia da metodologia proposta por Campolongo e Vincent (2018) nos seguintes pontos: utilização de sobreposição de chapas, sem encaixes angulares; uso de parafusos metálicos e componentes em compensado naval, distribuídos mais simplificados, com o intuito de união dos múltiplos perfis do pórtico. No entanto, a pesquisa não avançou para a fase de testes, como os realizados pelo TPED, deixando a lacuna do conhecimento acerca da exequibilidade prática dos encaixes propostos.

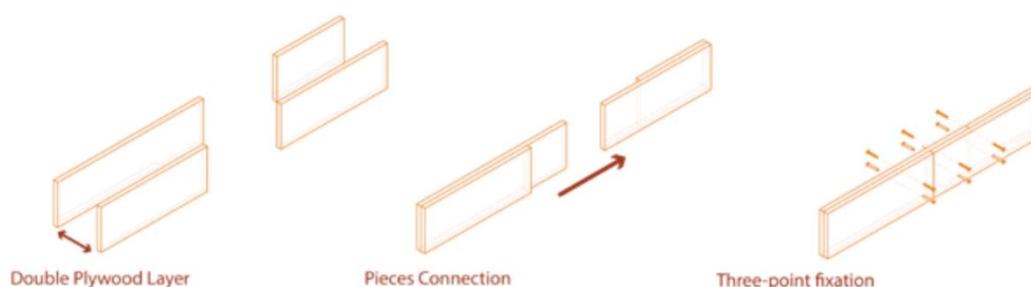


Figura 2.12: Encaixe proposto na Casa Nordeste. Fonte: Griz; Queiroz; Nome 2017.

Outra pesquisa acerca do tema, também desenvolvida pelo TPED, testou encaixes semicirculares, em um sistema macho-fêmea. O grupo tinha como objetivo validar a exequibilidade destes recortes, pois o tempo de usinagem era

menor em relação ao sistema original, além de usar menos material. Porém, por ser apenas um sistema macho-fêmea baseado na fricção dos componentes, as peças não poderiam apresentar folgas entre elas. Este sistema foi descartado pois o processo de montagem se mostrou complicado e de difícil execução (Backheuser; Campolongo, 2017).

2.4 Conclusão do capítulo

Neste capítulo foram abordados temas como o processo de flexibilização em HIS, em virtude do subdimensionamento das unidades. A falta de pluralidade e padronização em projetos habitacionais, ao desconsiderar a pluralidade familiar, ocasiona em processos de autoconstrução pelos próprios moradores. Processos, os quais visam suprir as carências projetuais. Logo, a importância da moradia flexível é evidenciada ao longo do capítulo.

Outro ponto a destacar é a customização em massa, que permite resultados personalizados com custos de produção em massa. A fabricação digital se mostra como uma ferramenta poderosa ao ser associadas aos processos de customização em massa. Cada vez mais os FabLabs vêm ganhando espaço na sociedade contemporânea. A tendência atual é de maior democratização da informação, onde os usuários podem fazer o *download* de um arquivo, modifica-lo para atender suas necessidades, e posteriormente imprimir-lo ou corta-lo a laser.

Por isto tudo, no próximo capítulo, será abordado os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento da pesquisa e a criação do artefato.

3 METODOLOGIA

A abordagem metodológica adotada nesta pesquisa é denominada *Design Science Research* (DSR) (Holmström; Ketokivi; Hameri, 2009; March; Smith, 1995). A metodologia permite ao pesquisador criar um fenômeno artificial com o intuito de atingir uma solução ao problema real definido. A investigação desenvolvida na abordagem *Design Science Research* é de caráter exploratório e de explicação (March; Smith, 1995).

A abordagem hipotética-dedutiva da DSR permite aos pesquisadores avaliarem e posteriormente tomarem decisões acerca do artefato desenvolvido. A pesquisa exploratória de avaliação gerencia problemas mediante obstáculos, até então não explorados. Desta forma, a metodologia DSR tem três objetivos: explorar novas soluções, explicar o processo exploratório e melhorar o processo de solução do problema. O artefato passa por um processo de incubação para posteriormente um processo de refinamento, visando a otimização para implementação, bem como a interação desenvolvida entre o design e sua avaliação de funcionalidade (Holmström; Ketokivi; Hameri, 2009). Hameri (2009) destaca na tabela 3.1 os objetos, finalidades e conhecimentos presentes na DSR.

Tabela 3.1: Os princípios da DSR.

	Incubação da Solução	Refinamento da Solução
Objetivo	Desenvolver um design inicial;	Refinamento do design proposto;
Finalidade	Identificar objetivos importantes e possíveis soluções; Análise de assuntos semelhantes;	Implementação do design; Confirmação das intenções; Interação entre design e avaliação;
Conhecimento	Pragmático (prático); Subjetivo;	Pragmático (prático); Subjetivo e intersubjetivo;

Fonte: Hameri, 2009.

O design de produtos associado as soluções de problemas são peças fundamentais para designers, arquitetos e planejadores urbanos, que trabalham com a criação de itens voltados às pessoas. Por meio da DSR eles conseguem avaliar a funcionalidade do artefato desenvolvido. A *Design Science Research* consiste na construção e avaliação de tais objetos. Avanços mediante a metodologia são atingidos quando novas tecnologias, mais eficientes, podem ser implementadas no cotidiano da população (Holmström; Ketokivi; Hameri, 2009; Lacerda et al., 2013).

Na DSR é necessário identificar o problema, bem como objetivos e metas para um resultado satisfatório. A partir da compreensão da problemática, uma revisão de literatura deve ser feita, com o intuito de analisar soluções já existentes. O artefato a ser desenvolvido pode ser descrito como objeto com funções, discutidas durante sua concepção. Também é tangível elencar a característica de serem pontos de encontro entre a interface criada e o ambiente

externo (objetivo para os usuários) (Holmström; Ketokivi; Hameri, 2009; Lacerda et al., 2013).

Os artefatos podem ser classificados em: Constructos, Modelos, Métodos e Instanciações. Os Constructos formam vocabulários de domínio, constituídos por conceitos que descrevem problemas, bem como soluções para os próprios. O Modelo é um conjunto de proposições entre os constructos, para a aplicação da solução, por meio de relações de compreensão e domínio. Modelos representam situações de problema-solução como um conjunto de dados formais. Para a DSR os modelos têm preocupação com a utilização: um modelo de dados é útil à medida que permite criar sistemas geradores de solução. Métodos são classificados como conjuntos de passos para executar uma tarefa relacionada aos modelos. Já as Instanciações são as concretizações dos artefatos, demonstrando a viabilidade e eficiência do modelo (Lacerda et al., 2013; March; Smith, 1995).

Nesta pesquisa, a metodologia DSR foi usada para compreender o problema, organizar o desenvolvimento ao longo da dissertação e propor soluções à problemática. A abordagem é segmentada em três etapas: compreensão do problema; construção e aplicação da solução; análise e reflexão. A compreensão está relacionada ao entendimento da problemática tratada, formalizando o problema e as soluções. Após a caracterização do ambiente externo, o pesquisador constrói o artefato, visando atender as demandas definidas da problemática, com caráter mais próximo a realidade. A avaliação é um processo de análise do artefato, com base nos resultados esperados e naqueles obtidos. Já as análises e reflexões formalizam o processo desenvolvido e o comunicam aos demais profissionais (Lacerda et al., 2013).

O problema real desta pesquisa é a necessidade de flexibilização dos espaços em habitações de interesse social existentes. Tais ambientes apresentam potencialidades exploratórias ao serem associados a processos de fabricação digital, pois podem tangenciar a maior agilidade, canteiro construtivo mais limpo e montagem pelos próprios moradores. Portanto, o artefato a ser

produzido é o desenvolvimento do *script* responsável por gerar os módulos adaptativos a serem fabricados por intermédio do corte CNC, destinados às HIS. O delineamento da pesquisa pode ser observado na Figura 3.1.

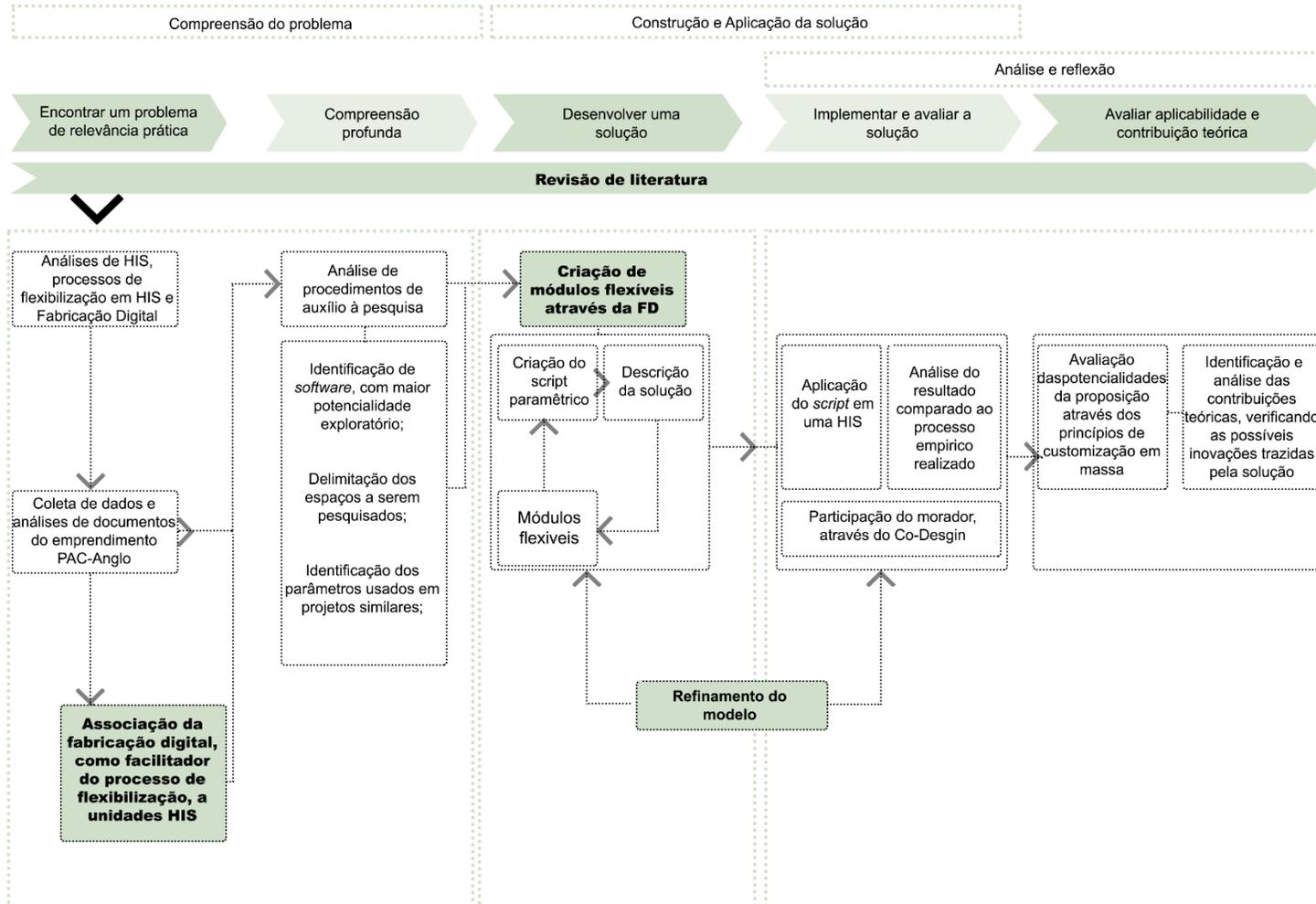


Figura 3.1: Delineamento da pesquisa. Fonte: Autor, 2022.

3.1 Delimitação do objeto de estudo

A escolha dos ambientes trabalhados foi baseada em autores que discorrem acerca do tema e entrevistas com os moradores. Brandão (2011) e Hentschke (2014) discorrem sobre os ambientes com maior incidência de autoconstrução em HIS: intervenção em fachada, com personificações, acréscimos de muros e grades; ampliação da cozinha; acréscimo e mudança de *layout* da área de serviço; acréscimo de local para comércio; acréscimo de espaço de estudos, quartos e banheiros; provisão de armários adicionais; alteração na diagramação sala-cozinha; acréscimo de uma sala para televisão; troca de revestimento nas salas, cozinhas e dormitórios; troca de revestimento na área externa.

Com base explanatória nos cômodos, dois foram selecionados para enfoque e proposição arquitetônica, conforme mostra a figura 3.2: expansão da cozinha e área de refeição; quarto, atendendo a evolução da composição familiar ao longo do tempo.

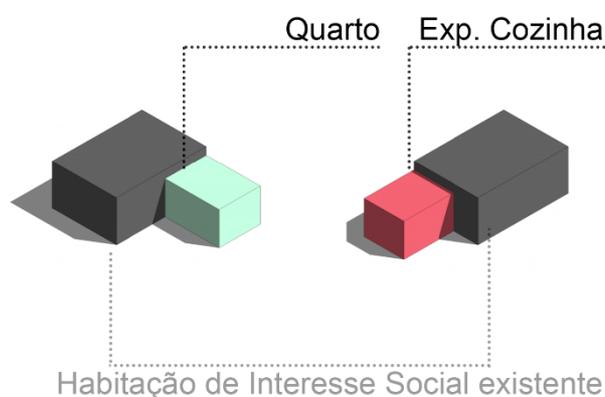


Figura 3.2 Esquemas isométricos de ambientes a serem trabalhados. Fonte: Autor, 2022.

Já para a delimitação do ciclo de processo que engloba a concepção, o desenvolvimento, a pré-fabricação e a execução, a pesquisa poderá ser associada ao sistema de Co-Design. Esta dissertação busca gerar ferramentas para a criação deste sistema de Co-Design, para que futuramente, arquitetos e universidades possam se apropriar das contribuições ao implementarem, junto com moradores de HIS, as expansões. O sistema permite a participação do usuário na elaboração do artefato ao lado dos responsáveis técnicos. A pré-

fabricação está vinculada a projetos confeccionados em fábricas e entregues no local de execução, sem grandes intervenções no canteiro de obra (Araghi, 2017; Cardoso; Lopes, 2022). Já Co-Design pode ser associado aos projetos de Assessorias Técnicas de Habitação de Interesse Social (ATHIS)(Griz; Queiroz; Nome, 2017).

O papel dos arquitetos inseridos em programas ATHIS é de buscar soluções para os obstáculos enfrentados por determinadas famílias, incapazes de solucionar seus problemas sozinhas. As famílias que desejem realizar expansões em suas residências, de forma rápida e menos onerosa, poderão entrar em contato com arquitetos e escritórios em sua proximidade. Programas privados, promovidos entre arquitetos, escritórios, empresas e até mesmo com o incentivo do Governo Federal e de *Startups* que já atuam desta forma.

O programa Vivenda é uma colaboração com a iniciativa privada, que busca financiar a juros baixos, reformas em HIS. O empreendimento Ecolar constrói casas ecológicas para famílias de baixa renda, com subsídios de empresas e trabalho voluntário. Já o Inova Urbis desenvolve projetos arquitetônicos a famílias de baixa renda, com os profissionais financiados pela empresa Leroy Merlin, em troca do uso dos produtos vendidos pela patrocinadora. Vale ressaltar, que tais itens não extrapolam o limite financeiro de cada família (Cardoso; Lopes, 2022).

Com isto, esta pesquisa propõe o sistema de Co-Design atrelado a pré-fabricação, conforme a imagem 3.3. Este processo se divide em etapas:(1) Necessidade de renovações nas HIS, e busca por alternativas para de suprir tal carência construtiva. As famílias entram em contato com arquitetos ou Universidades de Arquitetura, buscando alternativas no processo de expansão de suas moradias. Uma vantagem da inserção de Universidades no sistema é a maior facilidade com que projetos de extensão chegam na comunidade, permitindo melhor divulgação do objeto de estudo desenvolvido. (2) Mediante entrevistas com os indivíduos, os responsáveis técnicos conseguem manipular de forma ágil o *script* desenvolvido, para chegar na solução desejada. (3) O próximo passo é o envio das peças, já documentadas, para fabricação. O processo de fabricação pode ser feito nas próprias instituições ou em fábricas parceiras, para que os componentes possam ser enviados para as residências.

Posteriormente, o ensino do processo de montagem, permite que os próprios moradores de executarem suas construções, no canteiro de obra.

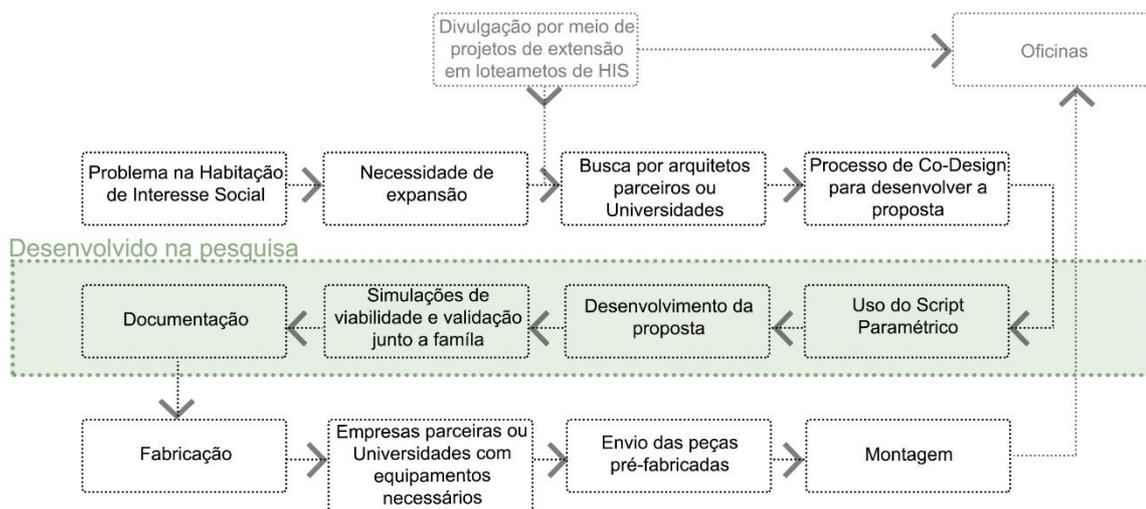


Figura 3.3: Esquema de desenvolvimento da pesquisa. Fonte: Autor, 2023.

A pesquisa está cadastrada na Plataforma Brasil com titulação Estudo de Processos para a CustomiZação em Massa de Projetos para Habitações de Interesse Social (CZA+) CAAE 68242923.7.0000.5317. A aprovação do conselho de ética possibilitou a realização das entrevistas, bem como a atividade de Co-Desing realizada com moradores de HIS.

3.2 Compreensão do problema

Esta pesquisa é desenvolvida mediante referências bibliográficas acerca do tema e da problematização. Na primeira fase foi introduzido o referencial teórico para a concepção do artefato. Em seguida, os ambientes a serem aprofundados no estudo, e processos de desenvolvimento foram delimitados. Esta fase também compreendeu a análise de *softwares* para criação de *scripts* paramétricos, bem como do treinamento do pesquisador nos *softwares* selecionados.

O processo de criação do *script* paramétrico visa à facilidade na manipulação pelo projetista dos parâmetros, com caráter mais intuitivo. Partindo deste ponto, o *software* escolhido para esta pesquisa levou em consideração os

seguintes fatores: programação visual; facilidade em obter tutoriais *online*; disciplinas na grade curricular do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas; fácil conexão com os processos de fabricação digital e licenças estudantis. A ferramenta escolhida para o manuseio do *script* nesta pesquisa foi o *software* Rhinoceros Grasshopper versões 6 e 7.

A fase de compreensão também envolveu análises no Loteamento PAC-Anglo, no município de Pelotas, acerca dos perfis dos moradores, suas necessidades e um estudo de caso como embasamento da pesquisa. Durante o mês de outubro de 2021, foi realizado o Diagnóstico Rápido Urbano Participativo sob o amparo do Núcleo de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Naurb), no loteamento PAC-Anglo. O intuito da atividade foi a realização de questionários para avaliar questões técnicas das moradias (como conforto durante as épocas mais críticas do ano, pontos elétricos, hidráulicos, dentre outros), bem como parâmetros sociais para caracterização dos moradores (tipologia familiar, renda e quantidade de moradores).

O instrumento da coleta de dados foi dividido em três sessões (Anexo I). A primeira parte enfatizava pontos positivos e negativos do loteamento e das habitações. Foram incluídas questões relacionadas ao conforto das unidades no verão e inverno, estratégias usadas pelos moradores para minimizar o desconforto, destino do lixo, interesse em oficinas de reciclagem e oficinas de trabalhos manuais voltados as moradias (portas e forros com caixas de leite para melhorar o conforto térmico). A segunda parte era composta por informações socioeconômicas, como a composição familiar, quantos indivíduos residem juntos, renda e auxílios provenientes como fonte de renda. A terceira sessão enfatizava itens de caráter arquitetônico e técnico, analisados pelo entrevistador. Pontos como a situação das esquadrias, tipo de piso, tipo de teto, pintura, revestimentos, pontos elétricos, pontos hidráulicos, acúmulo de resíduos e limpeza de cada cômodo foram avaliados, além das reformas (ampliações) de ambientes criados pelos moradores.

As moradias foram divididas em grupos, conforme a figura 3.4 abaixo, para facilitar a organização e aplicação das entrevistas. O conjunto habitacional apresenta 89 casas de tipologia PAC e 63 casas de tipologia não PAC. As pertencentes ao grupo PAC estão segmentadas em 6 grupos (amarelo, laranja,

rosa, roxo, marrom e azul claro), enquanto as não PAC estão segmentadas em 4 grupos (verde claro, azul escuro, verde escuro e vermelho).



Figura 3.4: Segmentação das moradias de acordo com suas tipologias e quadras. Fonte: Núcleo de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, 2021.

Os dados obtidos por meio do Diagnóstico Rápido Urbano Participativo, posteriormente foram sistematizados para o desenvolvimento desta pesquisa. A análise realizada para este trabalho extraiu os dados socioeconômicos das famílias, bem como a percentagem de moradias que tiveram processos de expansão realizado pelos moradores. Gráficos e tabelas explicam os resultados no decorrer do trabalho.

3.3 Construção e aplicação da solução

Correspondendo ao processo de aplicação da solução, o segundo momento é voltado ao processo de Co-Design junto ao morador, desenvolvimento dos parâmetros e a simulação do artefato arquitetônico.

Uma atividade piloto que visa que os moradores manipulem e configurem expansões na HIS original, mediante o Co-Design baseado na Experiência (CDBE) (Graton; Mandola; Imai, 2022) foi realizada. O intuito foi fomentar o debate acerca da participação e resposta da comunidade ao ser inserida na etapa projetual de moradias implementadas em programas de customização em massa. O CDBE é uma metodologia participativa com foco no usuário, visando identificar suas necessidades. Como produto da metodologia, é tangível o

desenvolvimento de um processo ou produto pelos usuários em sessões de Co-Design em grupo. Porém, um dos entraves do uso desta modalidade é o nível de abstração necessário dos participantes, tendo em vista que muitos não compreendem a linguagem bidimensional. Neste quesito, o modelo tridimensional permite a maior compreensão e melhores retornos (Graton; Mandola; Imai, 2022).

Para o desenvolvimento do *script* os parâmetros foram considerados com base no referencial teórico com adaptações, e vivência no campo da arquitetura, por meio das experiências com levantamentos, elaboração de projetos, regularizações e entrevistas com clientes. Tal combinação, possibilitou uma rápida diagramação de quais pontos seriam cruciais ao projeto, bem como seu funcionamento esquemático deveria seguir. Estes parâmetros são brevemente explicados, de forma a apresentar uma justificativa de suas escolhas.

3.4 Análises e reflexões

O terceiro momento é destinado às análises e reflexões da pesquisa. Esta etapa vislumbra analisar as potencialidades da customização em massa e a fabricação digital (Hentschke et al., 2020; Jiao; Ma; Tseng, 2003; Kolarevic, 2001; Noguchi; Hernández-Velasco, 2005) através do objeto desenvolvido na pesquisa.

A situação de implantação a ser estudada se dá mediante a delimitação de uma HIS, no Conjunto Habitacional PAC-Anglo, em Pelotas, que já sofreu com processo de flexibilização. A intenção é simular o processo de modificação da construção, caso este tivesse sido realizado por meio do objeto de estudo proposto. A moradia foi selecionada durante a fase de compreensão, quando foram coletados os dados no loteamento. Os fatores de escolha foram: processos de expansão realizados pelos moradores; e a participação de outra mestrandia nesta mesma residência, com sua pesquisa voltada a área de conforto, possibilitando a troca de informações; materiais de levantamento já existentes; e maior participação dos moradores da residência, quando comparados aos demais residentes da comunidade.

Nesta etapa o modelo proposto será validado considerando dois *constructos*: utilidade e facilidade de uso. Um modelo é validado por meio de resultados úteis para comunicar e resultar um sistema de informações. March e Smith (1995) defendem a avaliação através do impacto que o artefato pode proporcionar ao ambiente e aos usuários. O processo de validação se dá por meio de plantas baixas esquematizadas e suas descrições com o intuito de demonstrar a utilidade do objeto desenvolvido através da sua aplicação (Lacerda et al., 2013). Também será feita a análise e avaliação de respostas com profissionais e estudantes, mediante experimentação do *script* desenvolvido.

4 ANÁLISE DE DADOS – O LOTEAMENTO PAC-ANGLO

4.1 Breve contexto

O loteamento PAC-Anglo se insere na malha urbana de Pelotas (figura 4.1), na região dos desativados frigoríficos Anglo e Rio Grande (1940-1979). O processo de apropriação das terras ao entorno das construções se deu junto a ocupação das margens do Canal Pepino. Tal fator tem origem no declínio socioeconômico da região portuária e ocupação da área pelas famílias dos funcionários e seus descendentes. Como consequência da falta de recursos econômicos, as construções apresentavam caráter informal, precário e de insalubridade. A região foi inserida no programa PAC-Farroupilha, buscando requalificação de espaços urbanos precários e solver problemas habitacionais. A iniciativa recebeu a denominação PAC-Anglo ou Loteamento Anglo (Jorge et al., 2017).

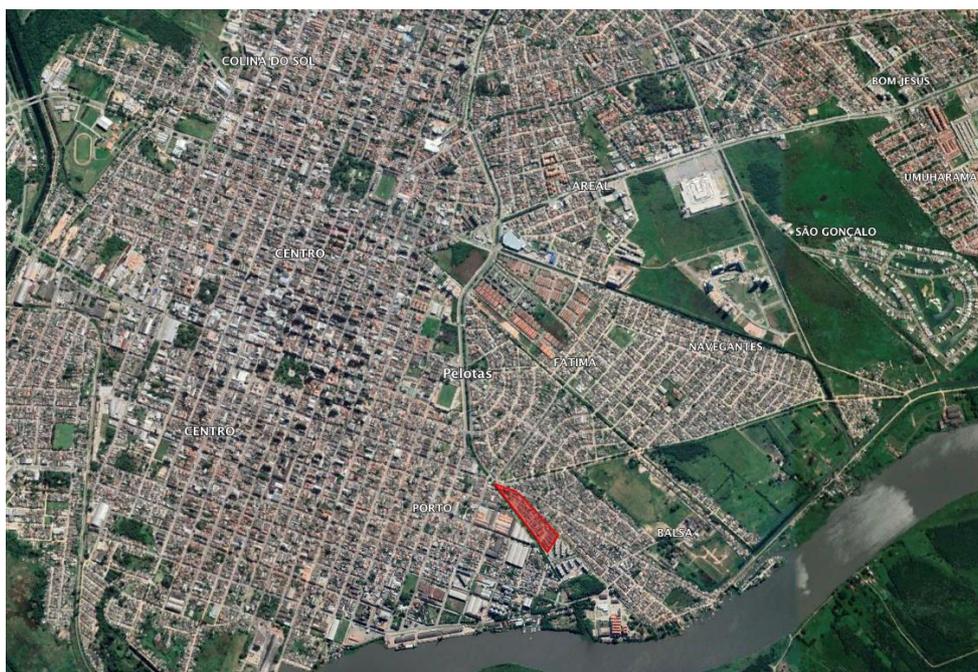


Figura 4.1: Localização do Loteamento Anglo (em vermelho) na malha urbana de Pelotas.

Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2022.

O PAC-Anglo possibilitou a aquisição dos lotes dos antigos frigoríficos, para que a população permanecesse no local, sem a necessidade de ser realocada em zonas afastadas do centro. O empreendimento proveu à

comunidade local em torno de 90 moradias, a partir do pré-dimensionamento mínimo com uma área de 36,90m², dispostos na tipologia fita e casas geminadas. Cada morada apresentava o programa de dois dormitórios, um banheiro e sala integrada a cozinha, bem como pátio aos fundos e recuo frontal de 1,5 metros, representados na figura 4.2. Ademais, o dimensionamento mínimo foi incapaz de suprir as diversas necessidades familiares, incumbindo em processos de autoconstrução, realizados pelos próprios moradores sem quaisquer conhecimentos técnicos. Os processos mais comuns foram: personificação, demolição, ampliação e expansão de novos cômodos. Em alguns casos foram inseridos comércios junto as fachadas das vivendas, em função da necessidade de renda extra (venda de churrasquinho, bar, lanchonete, sapataria e venda de doces) (Jorge et al., 2017).

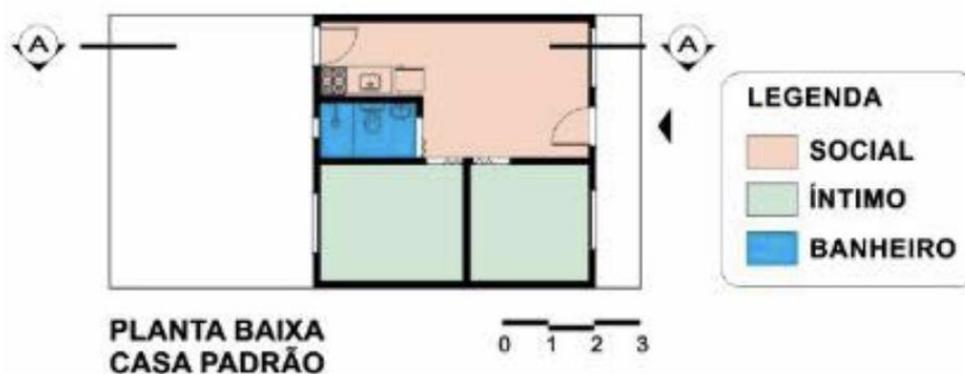


Figura 4.2: Planta baixa da habitação fita, localizada no conjunto Anglo. Fonte: Jorge et al., 2017.

4.2 Análise gerais das demandas, pontos positivos e negativos

Com o levantamento dos pontos positivos, negativos e demandas dos moradores foi criada uma nuvem de palavras acerca das moradias. A nuvem de palavras é uma estratégia que permite a melhor visualização ao destacar os pontos mais citados. Dentre as principais demandas, como apresentado na figura 4.3, está a necessidade de adição térrea em virtude do número de moradores em uma unidade habitacional. Outro ponto levantado foi a necessidade de revestimento no piso, pois a situação que muitas residências se encontram é de apresentarem apenas o contrapiso. O terceiro ponto que mais

foi citado foi a substituição de esquadrias, em decorrência de muitas estarem danificadas ou sem vidro, sendo consertadas de caráter improvisado por papelões e retalhos de madeiras.

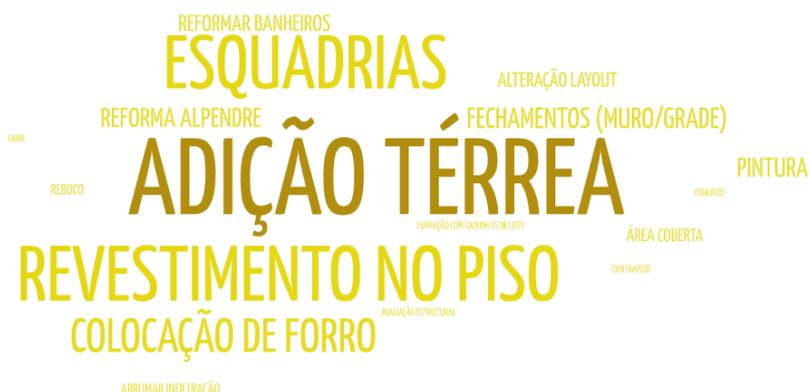


Figura 4.3: Nuvem de palavras das demandas. Fonte: Núcleo de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, 2021.

Os pontos positivos e negativos apresentam uma peculiaridade: ambos ressaltam o tamanho das moradias, como expressos nas figuras 4.4 e 4.5. Essa situação pode ser justificada pela composição familiar e números de membros em uma unidade. Famílias com maiores números de moradores terão como suas prioridades a necessidade por expandir a morada para acomodar os membros. Estes processos construtivos são empíricos e com recursos mínimos. Em decorrência destes fatores, as ampliações acabam sendo executadas com caráter precários, muitas vezes sem piso, sem forro, com esquadrias danificadas ou até mesmo sem fenestrações para iluminação natural e ventilação. No quesito dos pontos positivos, é notada a satisfação dos entrevistados com a posse de sua propriedade, em consequência de muitos vivenciarem situações irregulares ou em habitações insalubres até serem designados a estas unidades. Já ao tratar dos pontos negativos, os entrevistados foram mais incisivos ao apresentarem suas respostas. Eles apresentam insatisfação com a tipologia da moradia, deficiência de *layout*, esquadrias defeituosas, problemáticos ou por vezes a ausência delas, além do dimensionamento da unidade.



Figura 4.4: Nuvem de palavras dos pontos positivos. Fonte: Núcleo de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, 2021.



Figura 4.5: Nuvem de palavras dos pontos negativos. Fonte: Núcleo de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, 2021.

As figuras 4.6 e 4.7 são registros das fachadas originais, sem modificações de acréscimos, enquanto os moradores da casa correspondente a figura 4.8 realizaram o fechamento do pátio frontal. O fechamento foi realizado por meio de uma parede em alvenaria e materiais improvisados (tábuas de madeiras e telhas de fibrocimento). A intenção foi proporcionar um espaço anexo à sala para que os ocupantes pudessem sentar e ter maior privacidade na comunidade.



Figura 4.6: Fachada original sem modificações de acréscimos. Fonte: Autor, 2021.



Figura 4.7 :Fachada original sem modificações de acréscimos. Fonte: Autor, 2021.



Figura 4.8: Fechamento do pátio frontal. Fonte: Autor, 2021.

4.3 Cruzamento e análise de dados socioeconômicos

As análises do cruzamento dos resultados foram realizadas pelo *software* estatístico R. Como este estudo tem enfoque em moradias de programas de habitação de interesse social padronizadas, as casas não PAC não foram consideradas no cruzamento e interpretação dos dados. Os dados obtidos não são significativos para o teste de QUI-Quadrado, sendo exclusivos a região analisada. A tabela 4.1 apresenta os tipos de família presentes no loteamento PAC-Anglo. A coluna da esquerda apresenta a tipologia familiar enquanto a

coluna da direita a frequência que os valores se repetem. A classificação para a compilação dos dados é expressa por famílias: parentais (sem pais na moradia); monoparental (pai ou mãe com filhos); monoparental expandida (pai ou mãe com filhos e parentes); nuclear (pai e mãe com filhos); nuclear expandida (pai, mãe, filhos e parentes); DINC (casal sem filhos) com coabitação (parentes ou amigos). Os resultados expressam que o predomínio, no loteamento analisado, é famílias nucleares (26,67%) seguidas por composições monoparentais (16,67%).

Tabela 4.1: Composição familiar.

Tipo família	Frequência %	Número de famílias
Aparental	10,00	7
Monoparental	16,67	12
Monoparental expandida	13,33	9
Nuclear	26,67	17
Nuclear expandida	13,33	9
DINC + Coabitação	03,33	3
Não informado	16,67	12
Total	100	69

Fonte: Autor, 2022.

Questões quantitativas foram elaboradas, acerca de quantos moradores residem em cada habitação (tabela 4.2). A tabela é dividida em três colunas: a esquerda a tipologia familiar, no centro o número de moradores na unidade e a direita a frequência que a tipologia familiar associada ao número de moradores se repete. Os dados mostram que as moradias com menos moradores são as parentais, que variam de um a três habitantes. No entanto, as famílias com maiores números de residentes são as monoparentais expandidas, nucleares e nucleares expandidas. As monoparentais expandidas têm de seis a nove moradores acomodados em uma habitação de interesse social, projetada para quatro pessoas. Já naquelas famílias compostas por ambos os pais e filhos, o predomínio é de três a oito indivíduos. Dentre as trinta famílias analisadas, 10% são famílias nucleares compostas por sete indivíduos. As famílias nucleares expandidas também chamam a atenção, apresentando até onze indivíduos coabitando uma mesma moradia.

Tabela 4.2: Moradores em uma composição familiar.

Tipo família	Número moradores	Frequência de repetição %
Aparental	01	06,67
Aparental	03	03,33
Monoparental	02	13,33
Monoparental	05	03,33
Monoparental expandida	06	06,67
Monoparental expandida	08	03,33
Monoparental expandida	09	03,33
Nuclear	03	03,33
Nuclear	05	06,67
Nuclear	07	10,00
Nuclear	08	06,67
Nuclear expandida	05	03,33
Nuclear expandida	06	03,33
Nuclear expandida	07	03,33
Nuclear expandida	11	03,33
DINC + Coabitação	03	03,33
Não informado	-	16,67
Total	89	-

Fonte: Autor, 2022.

A análise de renda destas famílias é vista na tabela 4.3. A tabela é segmentada a partir da tipologia familiar e classificação de renda. As famílias nucleares com até um salário-mínimo são as que aparecem com maior frequência, seguidas das nucleares expandidas com renda de até dois salários mínimos. Como expresso na tabela anterior, as habitações de famílias nucleares apresentam até oito indivíduos na moradia. Ademais, se tem o predomínio de sete moradores, dos quais cinco são filhos, vivendo mediante uma remuneração de até um salário-mínimo. Já as famílias nucleares expandidas têm renda superior, de até dois salários-mínimos, muitas vezes em decorrência da complementação da renda pelo parente que faz parte da coabitação. Existem famílias monoparentais e monoparentais expandidas que sobrevivem com meio salário-mínimo, vindo de trabalhos temporários e auxílios do governo. A renda dos moradores das unidades PAC no loteamento não ultrapassa os dois salários-mínimos, mostrando a dificuldade em obter melhores condições de habitação.

Tabela 4.3: Renda familiar.

Tipo família	Renda (%)		
	Até meio salário mínimo	Até um salário mínimo	Até dois salários mínimos
Aparental	00,00	03,80	07,70
Monoparental	03,80	07,70	07,70
Monoparental expandida	07,70	03,80	07,70
Nuclear	00,00	23,10	11,50
Nuclear expandida	00,00	00,00	15,40
Total %	11,5	38,5	50

Fonte: Autor, 2022.

*valores referentes as casas analisadas.

**A renda da tipologia DINC + Coabitação não foi informada pelos moradores.

4.4 Cruzamento e análise de dados das moradias

A figura 4.9 expressa o número de residências analisadas e não analisadas. Já figura 4.10 demonstra o percentual de moradias que possuem ou não ampliação, feitas sob porcentagem do total de 69 unidades PAC analisadas.

Ao todo 43,50% das habitações analisadas tiveram processos de ampliação realizados pelos moradores. Os resultados ainda podem representar variações em virtude de 22,5% das residências não terem participado do levantamento. Fator atribuído aos dias e turnos de aplicação, que em sua maioria se sobrepõe aos turnos de trabalho.

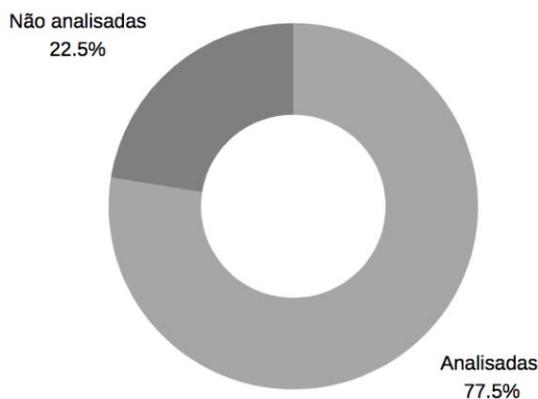


Figura 4.9: Residências analisadas, em relação ao todo (89 unidades de HIS). Fonte: Autor, 2022.



Figura 4.10: Ampliações de residências PAC. Fonte: Autor, 2022.

As análises acerca do tipo de ambiente expandido mostram a predominância do dormitório como uma necessidade (figura 4.11). A figura apresenta a percentagem em relação as unidades analisadas. O maior percentual de obras de acréscimos foi destinado para dormitório, totalizando 42,90%. Apenas um banheiro PCD foi acrescido. Outros cômodos que foram identificados com maior frequência ao loteamento são: cozinha, depósito e lavadeira. No gráfico é visível a construção de ambientes temporários: casinhas de brinquedo; varais cobertos e canis; ou que apresentam apenas uma repetição como é o caso de churrasqueira, ambientes comerciais e até mesmo um centro de umbanda.

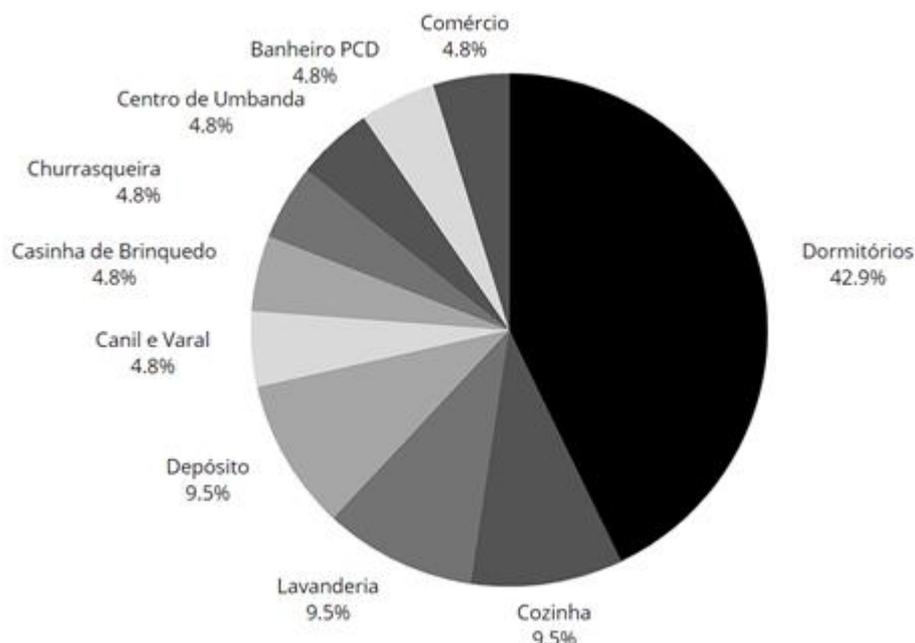


Figura 4.11: Tipologia de ampliações. Fonte: Autor, 2022.

A tabela 4.4 apresenta o cruzamento entre os dados de tipologia familiar com frequência de expansões. As famílias nucleares são as que mais realizam obras expandindo suas habitações. O dado pode ser correlatado ao número de filhos destas famílias, tendo em vista que nas tabelas anteriores, tais tipologias apresentavam os maiores números de moradores. Em segundo lugar estão as famílias monoparentais. Tal fator pode estar relacionado não exclusivamente a quantidade de moradores na unidade, mas com a necessidade de complementação da renda, criando e adaptando suas moradias em comércios locais (figura 4.12). Em terceiro estão as famílias monoparentais expandidas, que apresentam número de moradores variantes entre seis e nove indivíduos coabitando o mesmo espaço. Esta condição pode estar atribuída a possível necessidade das adaptações em criação de novos cômodos.

Tabela 4.4: Tipologia familiar associada a frequência de expansões.

Tipo família	Frequência de expansões %
Aparental	03,70
Monoparental	25,93
Monoparental expandida	18,53
Nuclear	33,33
Nuclear expandida	14,81
DINC + Coabitação	03,70

Fonte: Autor, 2022.



Figura 4.12: Residência adaptada para acomodar um comércio como fonte de renda. Fonte: Autor, 2021.

4.5 Caracterização do estudo de caso

Para o estudo de caso, foi selecionada uma moradia (figura 4.13). O levantamento técnico foi realizado no mês de fevereiro de 2022. O levantamento foi realizado em conjunto com a mestranda Carolina de Mesquita Duarte. A residência foi selecionada por já ter um levantamento arquitetônico, desenvolvido para outra pesquisa⁵. Outro fator determinante na escolha, foi a maior facilidade de comunicação e participação com os moradores, quando comparados aos demais residentes do loteamento, que dificilmente participam de atividades como esta. A tipologia PAC original apresenta dois quartos, um banheiro e sala com cozinha integrada, distribuídos em menos de 37m². Alguns apontamentos acerca das expansões serão retratados, bem como suas consequências funcionais.

⁵ Dissertação de Mestrado da aluna Carolina de Mesquita Duarte, da Universidade Federal de Pelotas. Título: Avaliação integrada considerando o transporte de umidade e calor em superfícies internas de fechamento vertical. Orientador: Eduardo Grala da Cunha.



Figura 4.13: Residência analisada. Fonte: Autor, 2022.

A primeira modificação visível é o fechamento do pátio frontal, com o acréscimo de um muro e cerca. Como resultado, foi criado um espaço de varanda aos moradores, além de proporcionar maior segurança. Ademais, a sala com cozinha original foi modificada como é possível observar na figura 4.14. Onde antes se tinha o espaço de cozinha, agora é designado à área de serviço. Os moradores criaram uma parede separando os ambientes, a antiga sala e a nova área de serviço. Pelo levantamento fotográfico é possível observar o estado de deterioração do piso. Na sala de estar, o espaço reduzido cria situações de conflito com os móveis da família. A disposição do mobiliário, conforme a figura 4.15, impede a circulação de ar, bem como a entrada de iluminação natural.



Figura 4.14: Levantamento fotográfico da área de serviço. Fonte: Autor, 2022.

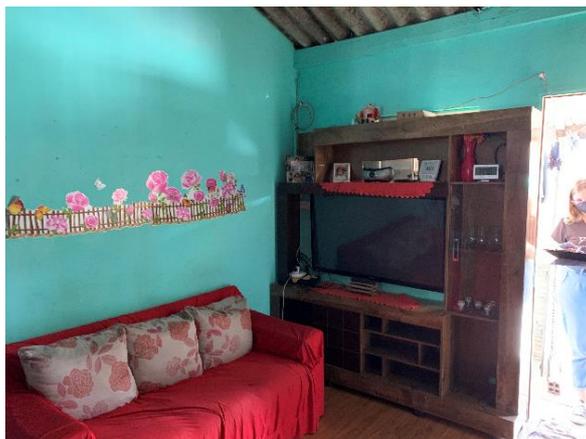
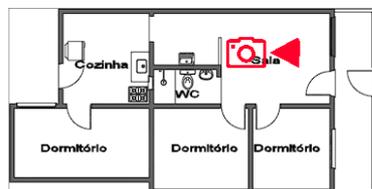


Figura 4.15: Levantamento fotográfico da sala de estar. Fonte: Autor, 2022.

Para acomodar o mobiliário necessário a cozinha foi construída aos fundos do lote (figuras 4.16, 4.17 e 4.18). Um dos pontos que chama a atenção é a janela do banheiro estar inserida dentro do cômodo, obstruindo a ventilação e iluminação natural. Ademais, esta situação pode não ser um conflito tão grave, tendo em vista as necessidades funcionais da família: um espaço para cozinhar as refeições e a disposição da mesa. O ambiente apresenta pé-direito baixo forrado com PVC e paredes revestida com cerâmicas de tipologias diferentes. A parede lateral não está totalmente recoberta por cerâmicas tendo a alvenaria exposta. O sistema de ralos de drenagem do antigo pátio permanece no meio da nova cozinha.



Figura 4.16: Levantamento fotográfico da cozinha. Fonte: Autor, 2022.

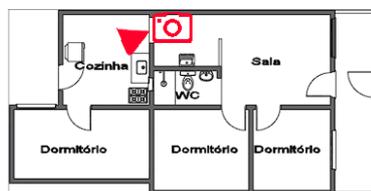


Figura 4.17: Levantamento fotográfico da cozinha. Fonte: Autor, 2022.

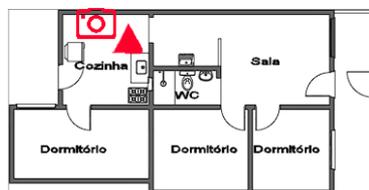


Figura 4.18: Levantamento fotográfico da cozinha. Fonte: Autor, 2022.

O dormitório frontal não apresentou grandes mudanças de *layout*. No entanto, o segundo dormitório original foi incapaz de acomodar os membros da família. Como consequência, um terceiro cômodo foi construído dos fundos do lote. O conflito funcional para esta construção resultou em um dos quartos sem janela, ocasionando em um ambiente mal ventilado, úmido e sem iluminação natural (figura 4.19). O terceiro quarto (figura 4.20), acessado pela cozinha, apresenta piso inacabado, sem revestimento. A disposição da janela proposta, a partir de um poço de luz não é adequada, pois não permite que a radiação solar penetre no ambiente. Foi constatado manchas de mofo na parede (figura 4.21). Na figura 4.22, é possível observar em planta baixa, as modificações feitas pelos moradores.



Figura 4.19: Antiga parede com janela. Fonte: Autor, 2022.



Figura 4.20: Novo dormitório. Fonte: Autor, 2022.



Figura 4.21: Dormitório com parede apresentando sinais de mofo. Fonte: Autor, 2022.

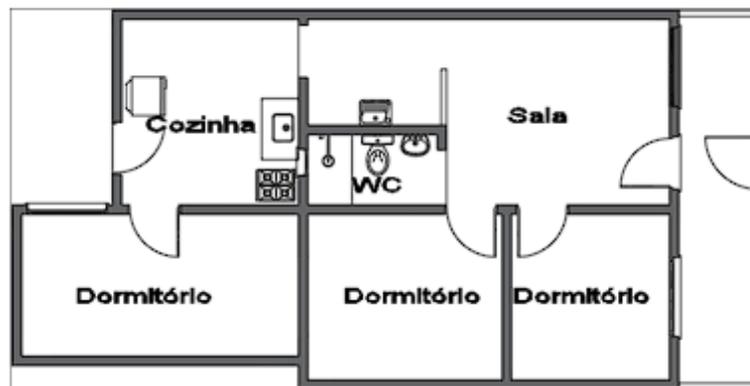


Figura 4.22: Planta baixa referente ao levantamento realizado junto com a mestranda Carolina de Mesquita Duarte. As adaptações necessárias foram feitas pelo autor para a dissertação.

Fonte: Autor, 2022.

4.6 Conclusão do capítulo

Neste capítulo foram abordados estudos e análises com a intenção de embasar a pesquisa. As entrevistas no loteamento deixaram evidente a relação das famílias com as residências e a necessidade de expansões. Retratada como demanda, bem como ponto positivo e negativo, a expansão térrea está presente nas nuvens de palavras. Fator negativo que decorre do dimensionamento mínimo. Em contrapartida como fator positivo, a propriedade de suas residências, pois os moradores viviam de forma irregular e sem a posse de suas casas.

Outro fator significativo para a pesquisa é a caracterização da tipologia familiar predominante. As composições nucleares tomam espaço, destacando as famílias com até oito residentes. Estas famílias são as que mais realizam expansões nas residências, na necessidade de suprir a carência de dormitórios, espaço na cozinha e área de serviço.

Por isto tudo, no próximo capítulo, será abordado a construção do artefato desta pesquisa, o *script* paramétrico, bem como a introdução do Co-Design aos moradores.

5 RESULTADOS

5.1 Co-Design junto aos moradores

Um modelo físico foi desenvolvido para trabalhar junto aos moradores do loteamento PAC-Anglo, de forma lúdica, as proposições e alternativas à flexibilização da moradia por meio das suas visões e vivências de um espaço funcional. O objetivo desta atividade foi embasado na introdução do modelo de Co-Design aos moradores. A ideia foi que o modelo pudesse ser manuseado e transportado até a localidade. O modelo foi cortado a laser, em chapas de *Medium Density Fiberboard* (MDF). O artefato foi desenvolvido na escala 1/25, para permitir o uso de mobiliários já impressos tridimensionalmente para outra atividade extensionista da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPel⁶. Com o uso da mobília disponibilizada (figura 5.1), é possível diagramar e melhor compreender os espaços, suas circulações e disposições dentro dos cômodos. Os móveis atendem o padrão de dimensões disponível em catálogos de fabricantes e lojas.



Figura 5.1: Mobiliário impresso em 3D. Fonte: Autor, 2023.

⁶ COSTA, Vinicius Kruger da; SILVA, Adriane Borda da; TAVARES, Tatiana Aires. MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÕES EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS.. In: **Anais** Graphica 2022: XIV International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design. Anais...Seropédica(RJ) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/graphica2022/522539-MESA-TANGIVEL-INTERATIVA--IMPLEMENTACAO-E-EXPERIMENTACOES-EM-ESPACOS-CULTURAIS-E-EDUCATIVOS>. Acesso em: 29/01/2024

A proposta foi dividida em duas partes: a casa original e a expansão. O projeto das habitações consistia em dois quartos, um banheiro e sala integrada com a cozinha. Um módulo *pegboard* de encaixes foi desenvolvido, partindo de autores como Imai (2009) e Zalite e Imai (2017) para que os moradores pudessem criar expansões e avaliar suas consequências na residência original. Os encaixes, conforme imagem 5.3, foram desenvolvidos

para essa pesquisa, criando módulos de encaixe macho-fêmea. Os módulos de parede foram pensados para três situações: paredes de vedação, paredes com janelas e paredes com portas. Nas figuras 5.3 e 5.4 é possível ver a esquematização da maquete proposta.

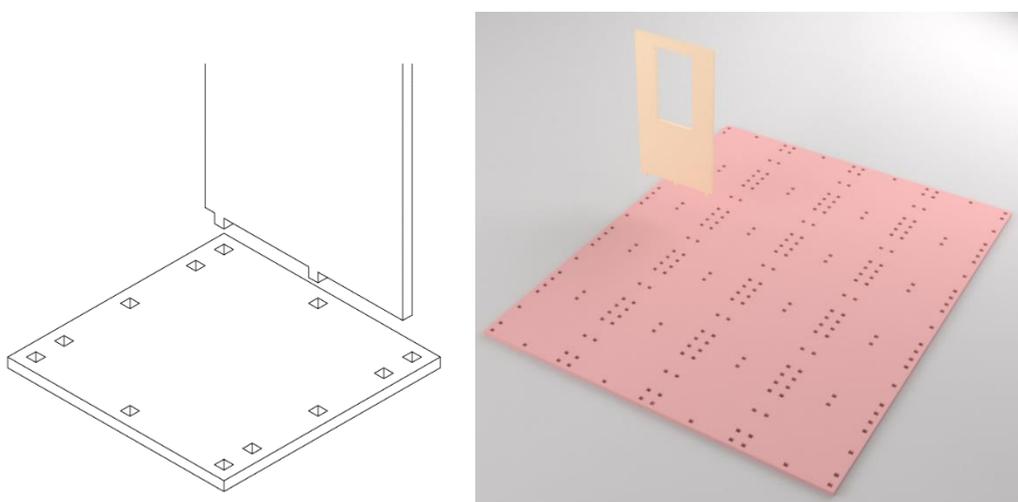


Figura 5.2: Esquematização do encaixe à esquerda. A direita encaixe do módulo de parede no *pegboard*. Fonte: Autor, 2023.

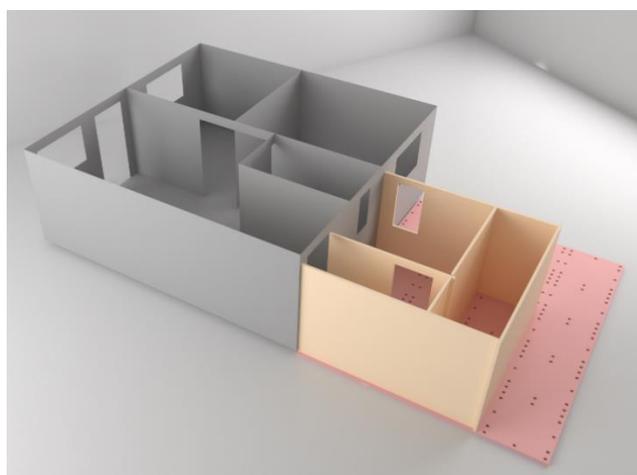


Figura 5.3: Esquematização da residência original com uma possibilidade de expansão. Fonte: Autor, 2023. Apenas um morador

demonstrou interesse em participar da atividade. As ações extensionistas na comunidade, na época da implementação da atividade (agosto de 2023), não estavam com o mesmo ritmo das atividades realizadas em 2021, não havia mutirões e número significativo de entrevistadores. A família do participante tem caráter nuclear, composta pelo pai, pela mãe, duas filhas menores e dois filhos adolescentes.

Atualmente, dentre as dificuldades que eles enfrentam, a falta de quartos para os filhos é um dos principais pontos. Os moradores também notam a dificuldade no espaço de uso social da casa, composto pela sala e pela cozinha, em atender a família de seis. A mesa não consegue comportar todos os integrantes em uma refeição cotidiana, bem como não há espaço para máquina de lavar dentro da residência.

A partir do modelo tridimensional preparado, o entrevistado pode adaptar a residência original, de forma que melhor lhe interessasse. O retorno foi satisfatório, pois com o uso do mobiliário 3D, houve uma facilidade na expressão das necessidades e diagramação de um *layout* capaz de saciar as lacunas funcionais do projeto original. A mobília usada tem uma variedade limitada de peças, portanto, alguns móveis foram adaptados visualmente pelo morador durante a execução da entrevista.

A resposta ao processo de Co-Design proposto, dada pelo entrevistado, pode ser vista nas figuras 5.4 e 5.5. Como solução à falta de espaço para os eletrodomésticos e a mesa, o morador optou por remover o banheiro original, aumentando a área social. Os dois quartos originais foram destinados aos filhos. Para o casal, optou-se por criar um dormitório aos fundos do lote. O banheiro foi reposicionado, junto a expansão criada. Na figura 5.6, a maquete foi zoneada: azul para os dormitórios, vermelho para sala e cozinha e amarelo para o banheiro. Já a figura 5.7 apresenta uma planta baixa de construir e demolir, representando as alterações.



Figura 5.4: Maquete sendo manuseada pelo morador. Fonte: Autor, 2023.

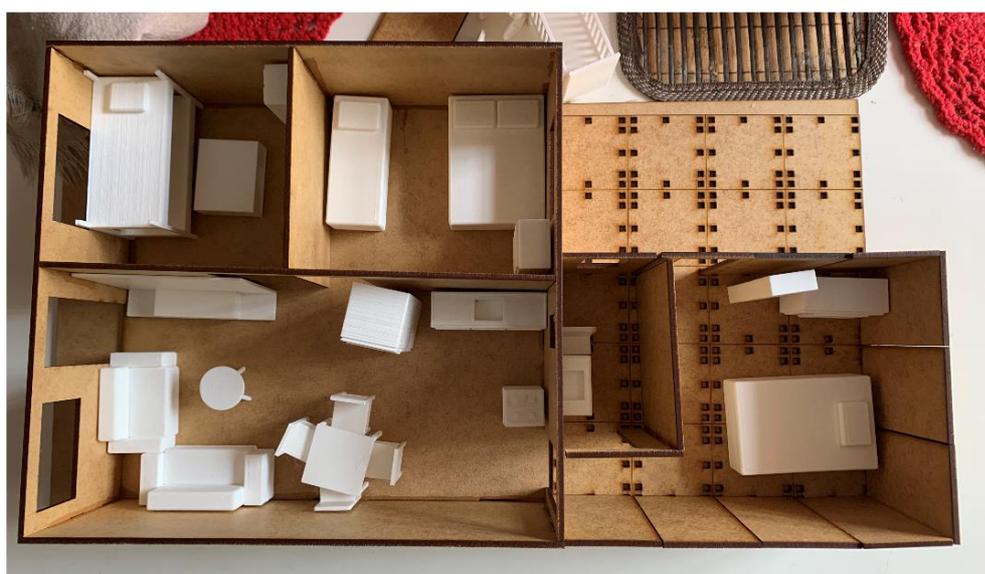


Figura 5.5: Maquete desenvolvida pelo morador. Fonte: Autor, 2023.

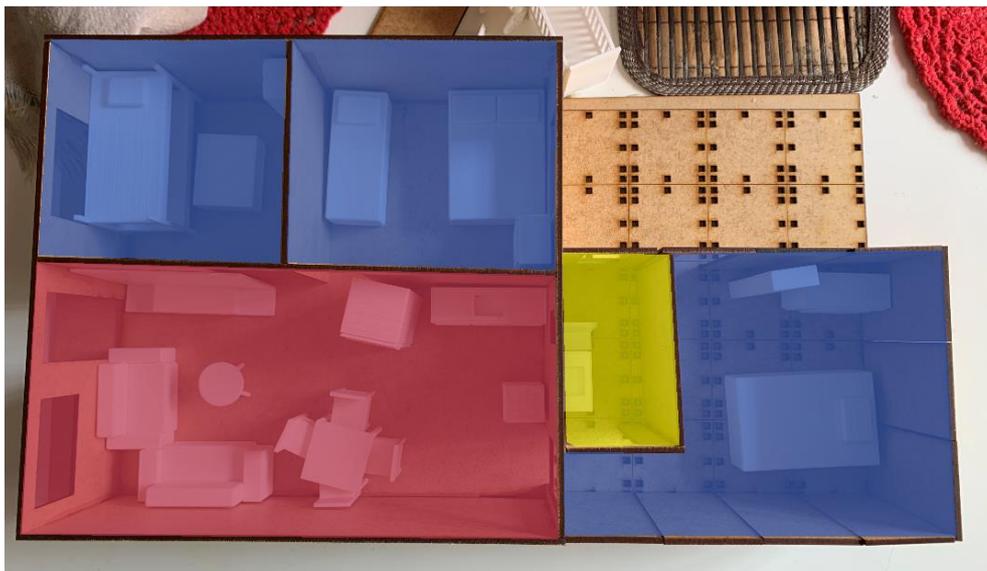


Figura 5.6: Maquete desenvolvida pelo morador, com zoneamento de cores. Fonte: Autor, 2023

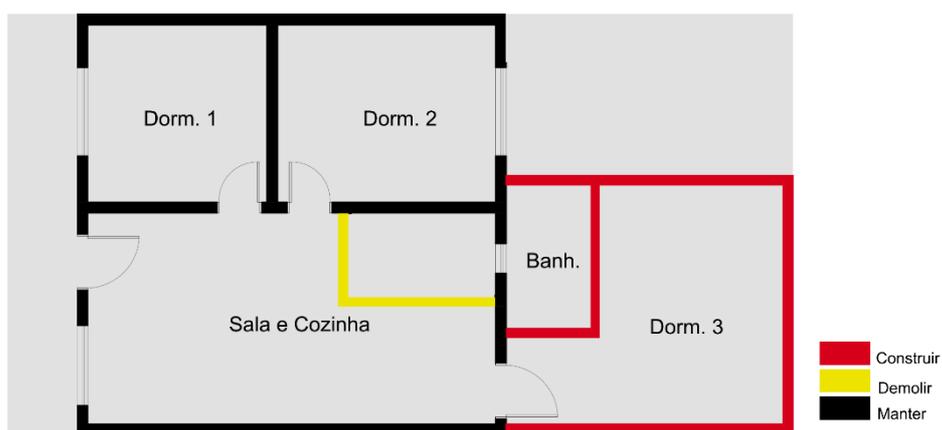


Figura 5.7: Planta Baixa Construir/Demolir. Fonte: Autor, 2023

A circulação criada apresenta alguns conflitos: o acesso ao banheiro e ao pátio ficaram dentro do quarto do casal, conforme a figura 5.8. Quando questionado sobre essa situação, o participante justificou que não via problema em ter ambos acessos pelo quarto. Situação justificada em virtude do pouco espaço na construção atual, os pais já dormem no mesmo quarto que suas filhas. Portanto, a situação de acessar um cômodo por meio de outro é vista como aceitável dentro daquela realidade familiar. Outro ponto expresso pelo morador, foi a sua vontade de ter uma suíte.

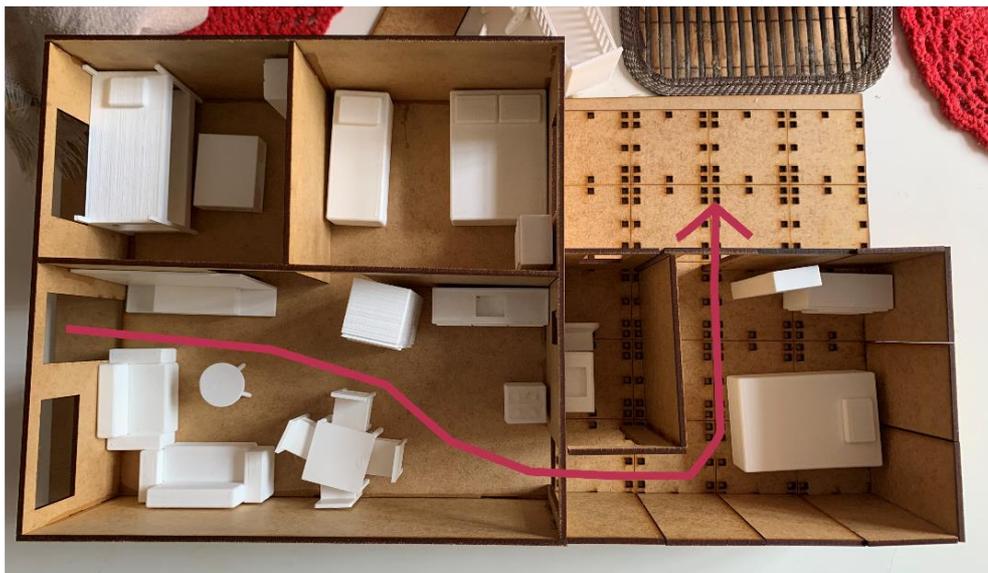


Figura 5.8: Maquete desenvolvida pelo morador, com demarcação da circulação até o pátio.

Fonte: Autor, 2023.

5.2 Desenvolvimento do *Script*

Para o desenvolvimento do *script*, o projetista deve considerar parâmetros existentes e novos. O objetivo proposto é que o projetista possa usar o *script* em qualquer loteamento, tendo em vista esse fator, o algoritmo foi dividido em partes: modelagem do terreno; manipulação da pré-existência; ampliação; geração dos perfis; e documentação.

5.2.1. Terreno

Na primeira etapa, foram levantados os parâmetros com relação ao lote, tangenciando a delimitação do perímetro para posteriormente a inserção da moradia existente e o anexo a ser desenvolvido. Conforme a figura 5.9, a largura e o comprimento são estipulados mediante manipulação dos *sliders* numéricos. A malha representa a possibilidade da delimitação da área do terreno, indicado na figura pela hachura cinza.

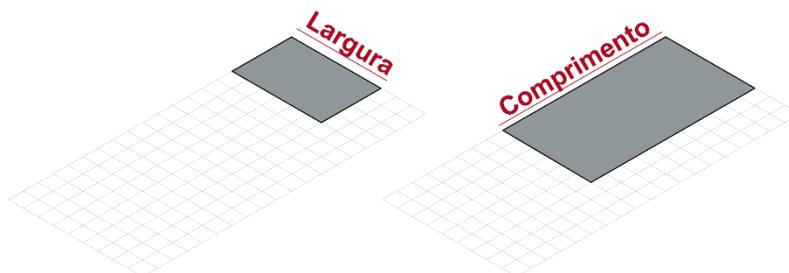


Figura 5.9: Etapa 1 - Parâmetros do lote. Fonte: Autor, 2022.

Por análises em HIS e conjuntos habitacionais, a tipologia mais encontrada de moradias são as térreas, com pátios nos fundos e na frente, bem como o telhado de duas águas. Os pátios são usados pelos moradores para criarem expansões à medida que surgem as necessidades, seja por aumento do núcleo familiar ou para acrescentar um comercio como fonte de renda.

Para a delimitação do terreno, conforme a figura 5.10, um conjunto de linhas no plano X foram geradas, com o intuito de criar uma curva para consequentemente a criação de uma superfície de quatro pontos. Os *sliders* numéricos (figura 5.11) conectados ao componente superfície de 4 pontos possibilitam a delimitação da largura e comprimento do lote, bem com a distância para o recuo frontal da edificação. Como consequência, se tem a criação da superfície correspondente ao lote (figura 5.12).

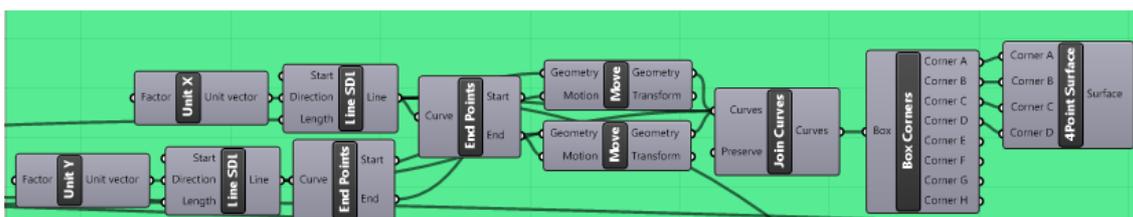


Figura 5.10: Parâmetro correspondente a delimitação do lote. Fonte: Autor, 2023.



Figura 5.11: Parâmetro correspondente a delimitação do lote. Fonte: Autor, 2023.

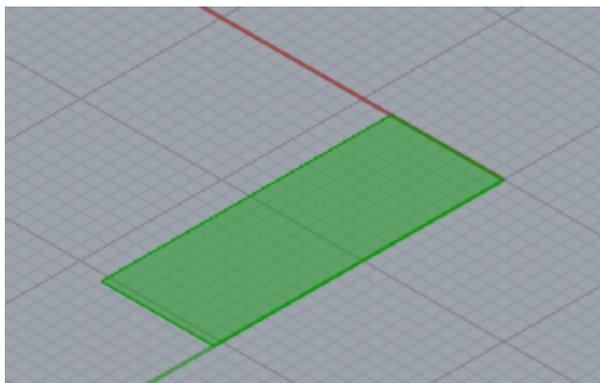


Figura 5.12: Superfície do lote gerada. Fonte: Autor, 2023.

5.2.2. Pré-existência

Para a segunda etapa, as dimensões da residência existente são inseridas no *software*. Semelhante ao processo anterior, o volume externo da moradia é inserido pela manipulação dos *sliders* numéricos. Com esta manipulação, é possível ajustar a largura, o comprimento e a altura da pré-existência. Logo em seguida (etapa 3), o projetista é responsável por inserir a altura da cumeeira. O telhado padrão configurado é de duas águas, com inclinação calculada automaticamente a partir das alturas pré-definidas. A exemplificação esquemática pode ser visualizada na figura 5.13:

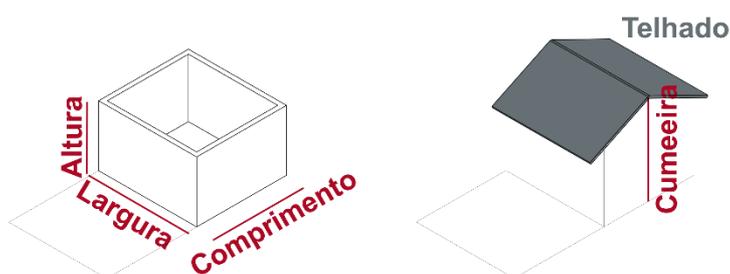


Figura 5.13: Inserção da moradia e do telhado. Fonte: Autor, 2022.

O delineamento da residência existente, para fins explicativos, foi segmentado em momentos. No primeiro momento, partir da linha de recuo frontal, novos conjuntos de linhas foram criadas, visando a delimitação do perímetro da casa existente. O componente usado foi *line SDL* (*start, direction e length*), conforme imagem 5.14. Os *sliders* (figura 5.15) conectados a esta parte do *script* permitem a mudança no comprimento e largura da casa (em caso de

haver recuos laterais). O componente juntar curvas permite que as linhas geradas sejam transformadas em uma polyline.

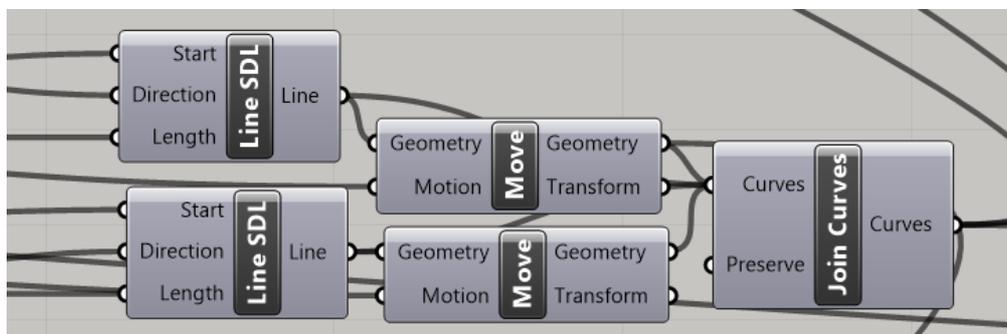


Figura 5.14: Parâmetro correspondente a delimitação da residência existente. Fonte: Autor, 2023.



Figura 5.15: Parâmetro correspondente a delimitação da residência existente. Fonte: Autor, 2023.

Para que houvesse a limitação e correlação entre as dimensões do terreno e da moradia, a ferramenta “menor que” (*Smaller Than*) foi associada ao filtro de fluxo (*Stream Filter*). Os dados de entrada são conectados à largura da casa e do terreno, respectivamente. O dado de entrada *Gate* (*Stream Filter*) recebe o dado de saída *smaller than*. Posteriormente, os dois dados de entrada, com as mesmas ligações da largura da casa e do terreno são inseridos na ferramenta *stream filter*, conforme a figura 5.16. Com esta lógica na programação, o responsável pela manipulação do *script* não consegue criar uma residência ultrapassando a delimitação do lote. Na figura 5.17, a delimitação em vermelho corresponde ao terreno, enquanto o perímetro em verde às linhas da residência existente.

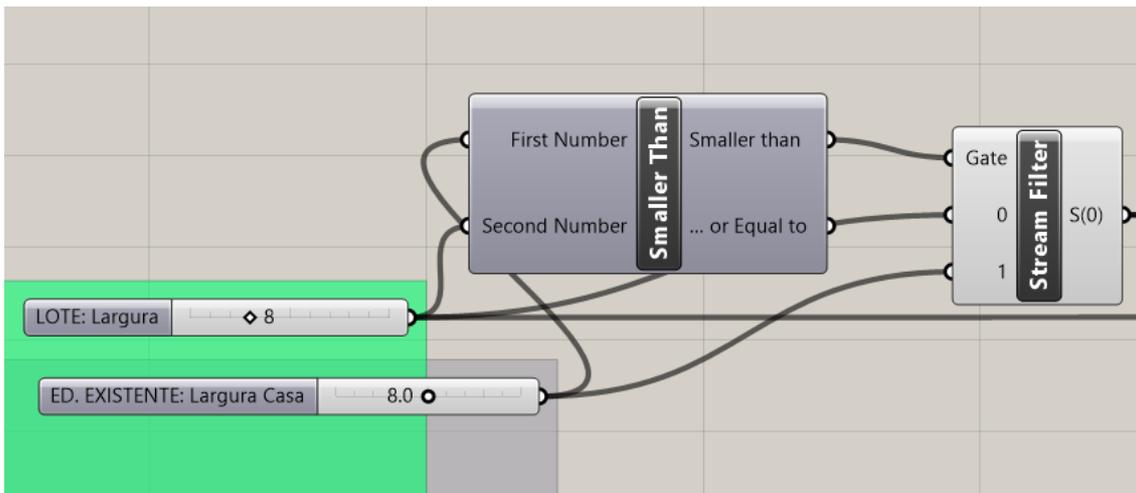


Figura 5.16: Delimitações acerca da correlação entra larguras da edificação e lote. Fonte: Autor, 2023.

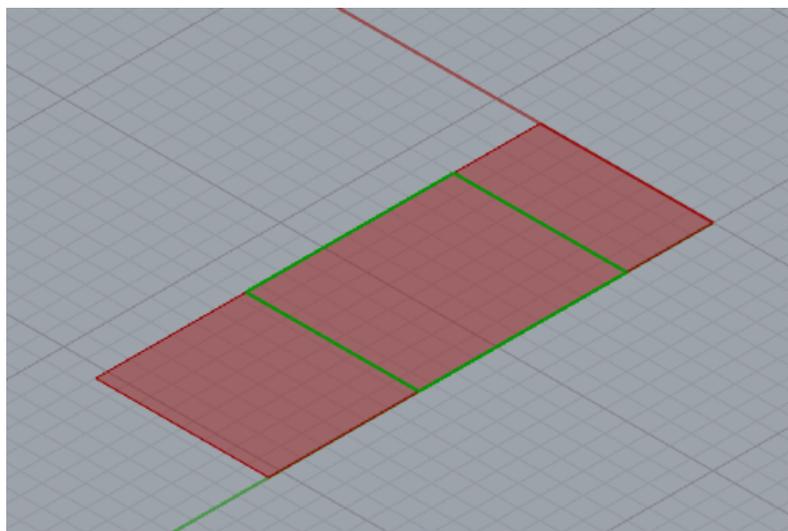


Figura 5.17: Perímetro da moradia gerada. Fonte: Autor, 2023.

No segundo momento, com o perímetro da residência existente e inseridos no *script*, foi possível usar o componente extrusão para criar a laje. A altura desta é definida por meio de um *slider*, separado e nomeado com a função correspondente, facilitando a visualização pelo responsável (figura 5.18).



Figura 5.18: Parâmetro correspondente a extrusão da laje existente. Fonte: Autor, 2023.

Posteriormente, por meio do comando *Offset Curve*, os perímetros das paredes são inseridos ao modelo (figura 5.19). As paredes são obtidas por meio da delimitação da superfície correspondente ao componente laje. O componente usado em sequência cria uma superfície delimitada a partir da *polyline* provinda das curvas de perímetro da residência. Com a ferramenta separar superfície, a volumetria das paredes é obtida, porém, é com o comando extrusão que o modelo recebe a volumetria tridimensional. As espessuras e alturas das paredes usadas para essa parte podem ser obtidas por levantamento *in loco*, ou serem aproximada, mediante plantas ou representações gráficas existentes. O resultado, até o momento, é de um volume referente à moradia e lote, com dimensões e componentes estruturais (lajes) e de vedação (paredes), conforme a figura 5.20.

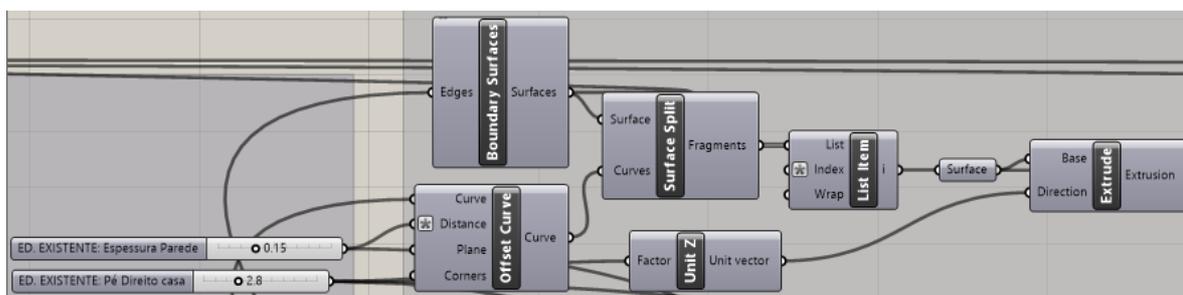


Figura 5.19: Parâmetro correspondente a extrusão das paredes existentes. Fonte: Autor, 2023.

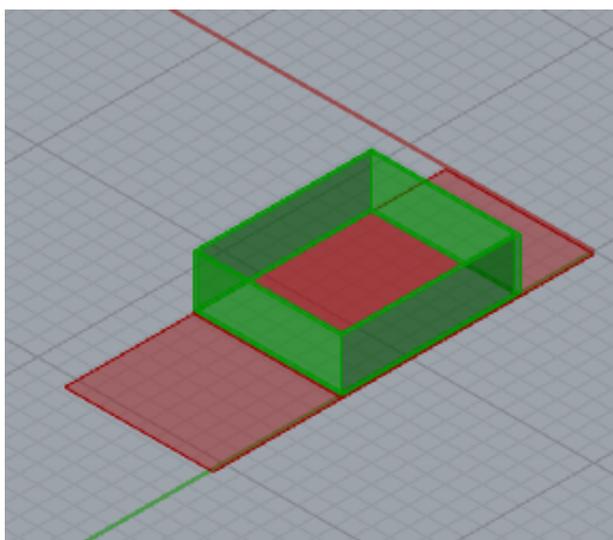


Figura 5.20: Volumetria da casa em verde (paredes e laje) com a volumetria do terreno, em vermelho. Fonte: Autor, 2023.

Posteriormente, a parte desenvolvida no *script* corresponde ao telhado. Nesta etapa os elementos desenvolvidos foram o número de águas do telhado, altura da cumeeira, beiral e as paredes para fechamento laterais. Os componentes usados foram linhas e curvas associadas a superfícies, conforme as imagens 5.21 e 5.22. As curvas correspondentes ao perímetro do volume extrudado foram desconstruídas, para obter os 4 pontos de extremidades. Com estes pontos, novas linhas foram introduzidas ao modelo. O objetivo foi encontrar o ponto central da edificação para criar o caimento do telhado, bem como acrescentar o beiral. Os valores relacionados aos itens citados são inseridos manualmente, mediante os *sliders* numéricos. O resultado foram *polylines* representando o telhado, já com sua inclinação, que posteriormente foram transformadas em superfícies e extrudadas, dando espessura à maquete.

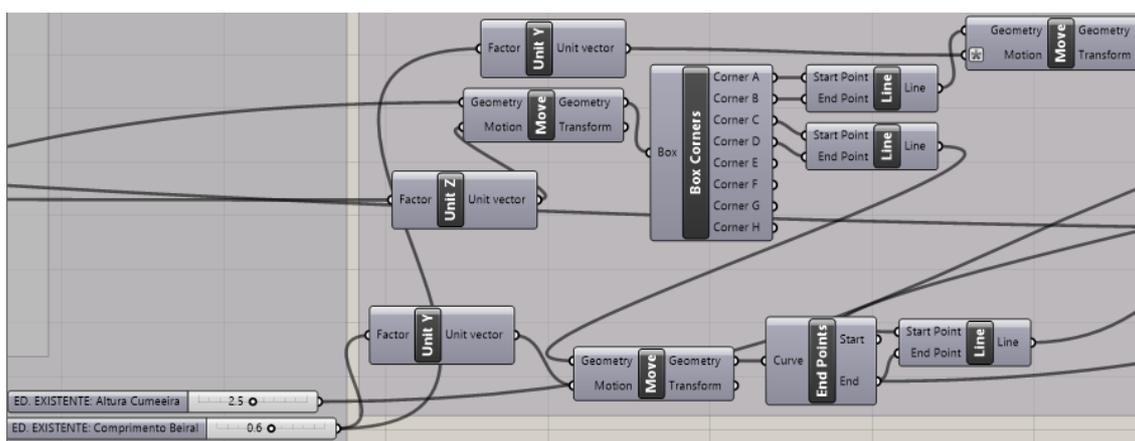


Figura 5.21: Parâmetro correspondente ao telhado. Fonte: Autor, 2023.

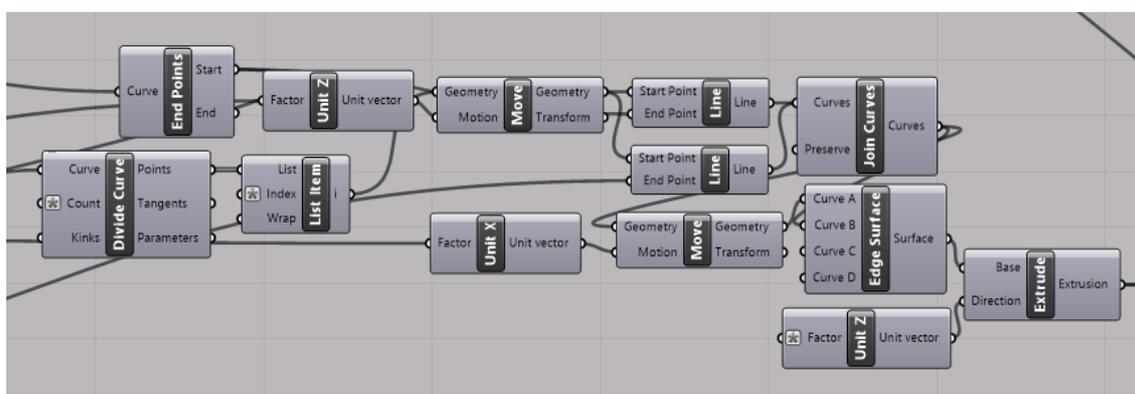


Figura 5.22: Continuação do parâmetro correspondente ao telhado. Fonte: Autor, 2023.

Para o fechamento entre o telhado e a volumetria retangular da moradia, por meio da subtração de elementos sólidos, a parede de acabamento com o telhado é gerada automaticamente (figura 5.23). Na figura 5.24 O modelo é gerado instantaneamente com a inserção dos parâmetros. Vale ressaltar que nesta etapa, cabe ao projetista as seguintes definições: largura do beiral, altura da cumeeira e quantidade de águas.

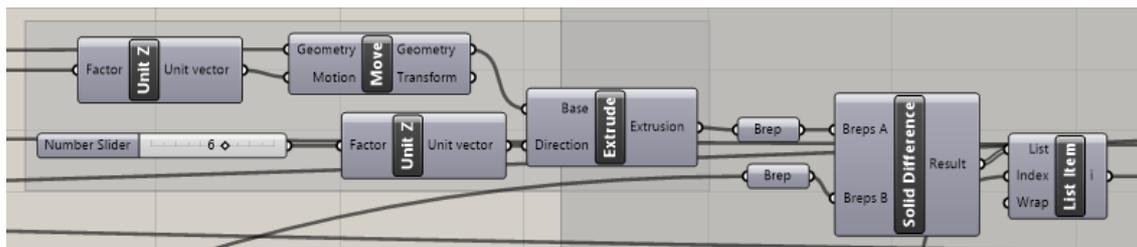


Figura 5.23: Parâmetro correspondente ao telhado. Fonte: Autor, 2023.

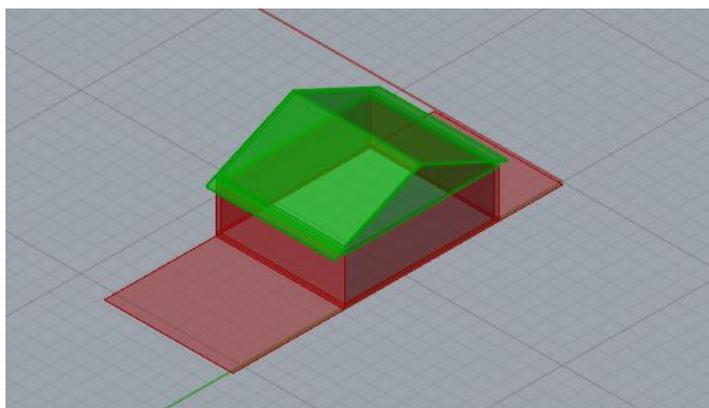


Figura 5.24: Volumetria da casa em verde com o telhado, beiral e cumeeira. Fonte: Autor, 2023.

Na etapa 4 (figura 5.25), as fenestrações existentes da habitação deverão ser inseridas. O objetivo é que a manipulação da expansão a ser proposta, interaja com os elementos (portas e janelas) existentes, mostrando ao projetista e aos moradores possíveis conflitos. O *script* apresentara os seguintes itens tangíveis de serem ligados e desligados: porta e janelas. Esta questão permite que em caso de não haver um dos elementos, o modelo se assemelhe à realidade. Ambos os elementos tem a possibilidade de alteração dos parâmetros acerca da posição, altura, largura e peitoril para janelas.



Figura 5.25: Etapa 4 - Fenestrações. Fonte: Autor, 2022.

Mediante a inserção de um ponto na extremidade da residência e a subtração de sólidos, as janelas e portas são geradas: o projetista usa o *slider* numérico para movimentar, no eixo da parede, esse ponto na distância correspondente à posição real da porta ou janela. A partir deste ponto, é inserido a largura, altura e altura de peitoril (em caso de janelas), conforme a figura 5.26. As fenestrações são criadas no modelo 3D. Por meio das *polylines*, elementos do tipo superfícies são criados e extrudados, sendo transformados em elementos sólidos (*breps*), conforme a figura 5.27. A função destes elementos é gerar a interseção para posteriormente a subtração de entre dois ou mais *breps*: fenestrações com a volumetria da residência.



Figura 5.26: Sliders numéricos correspondentes as portas e janelas. Fonte: Autor, 2023.

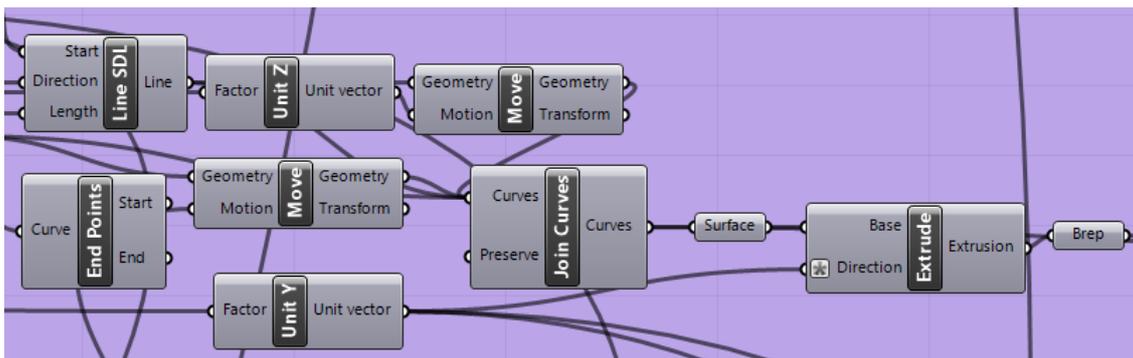


Figura 5.27: Subtração de elementos sólidos correspondente as janelas e portas. Fonte: Autor, 2023.

Como exemplificação, se a porta existente estiver a 50cm da extremidade da parede, o projetista coloca no *slider*, correspondente a esse parâmetro, o valor de 0.50m e partindo deste ponto insere a largura e altura da porta, gerando a fenestração no modelo (figura 5.28).

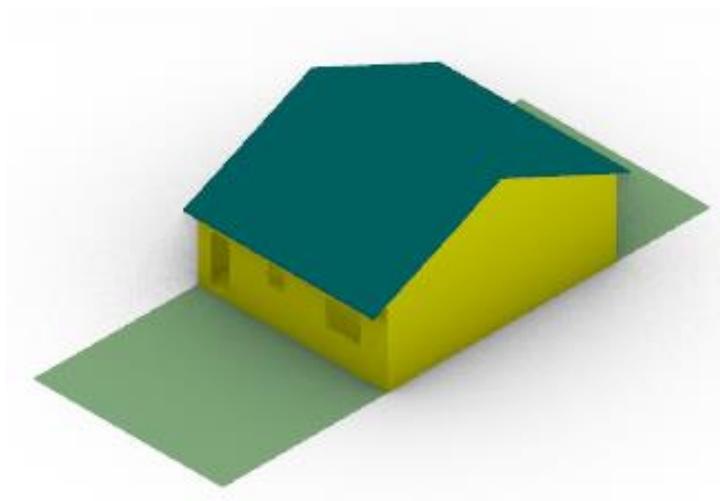


Figura 5.28: Volumetria da casa com as janelas e portas inseridas. Fonte: Autor, 2023.

5.2.3. Ampliação

Após a definição do ambiente que a família deseja expandir, a quinta etapa parte da definição de um ponto base, em uma das extremidades do lote. A partir deste ponto, todas as manipulações, na forma, para a implantação da expansão, serão feitas tendo sua origem nele. Logo após, o projetista irá definir,

junto com os moradores, as dimensões (largura e comprimento) do ambiente a ser proposto através dos *sliders* numéricos. Nesta etapa a visualização se torna importante, pois através dela os indivíduos leigos terão noção de eventuais conflitos, situações a serem resolvidas, possibilidades de configurações formais, possibilidades da disposição dos mobiliários já existentes e questões relacionadas a insolação e ventilação. Um exemplo, como expresso pela figura 5.29, é a criação de cômodos da residência original sem ventilação e iluminação, algo comum em projetos de acréscimos em HIS.

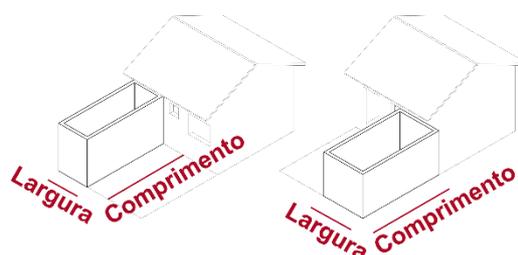


Figura 5.29: Na ilustração a esquerda, ocorreu o conflito na porta. Já no esquema a direita, o conflito resultou em um quarto sem janela. Fonte: Autor, 2022.

Para evitar alguns dos problemas encontrados na etapa anterior, a etapa 6 é destinada a tentativa de manusear a altura do telhado, bem como a quantidade de águas. Ao exemplificar (figura 5.30) a situação em que o dormitório teve sua janela original obstruída, a expansão proposta tem o princípio de um telhado de duas águas e com altura mais baixa. Como consequência, se tem a possibilidade de instalar uma janela alta no dormitório original.



Figura 5.30: Etapas 6 - Manipulação do telhado e altura da cumeeira. Fonte: Autor, 2022.

Assim como na pré-existência, o primeiro passo a ser definido na expansão corresponde a largura e comprimento do módulo. As dimensões são inseridas nos *sliders* (figura 5.31), resultando na base da expansão. Para evitar o desnível entre a casa e o módulo a ser expandido, uma *polyline* dá origem em uma superfície que é extrudada com a altura correspondente ao desnível. A figura 5.32 mostra a sessão do *script* correspondente. A figura 5.33 é uma vista isométrica, com a edificação existente em branca, e com a base da expansão em vermelho.



Figura 5.31: *Sliders* correspondente a delimitação volumétrica da expansão. Fonte: Autor, 2023.

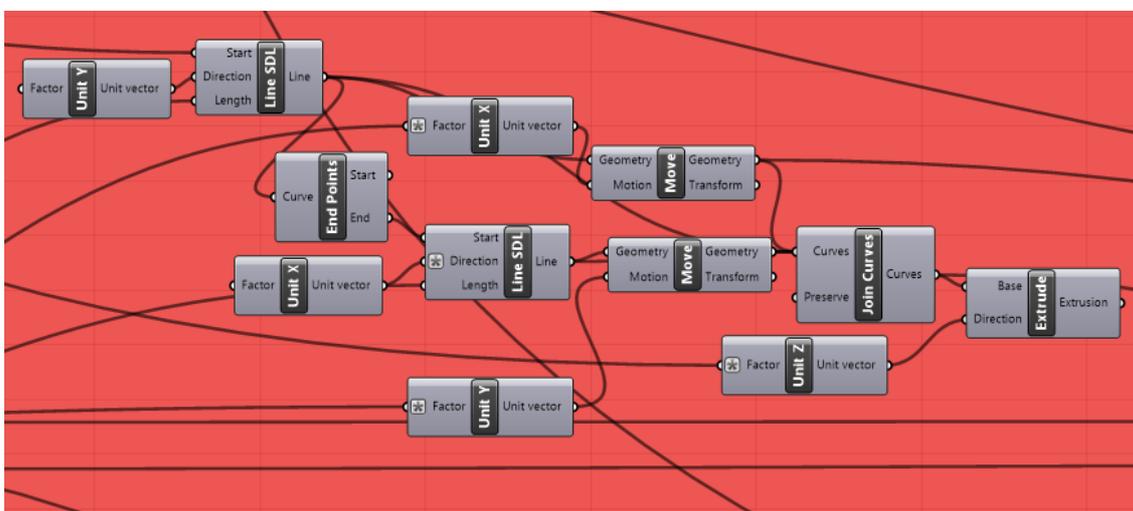


Figura 5.32: *Script* correspondente a delimitação volumétrica da expansão. Fonte: Autor, 2023.

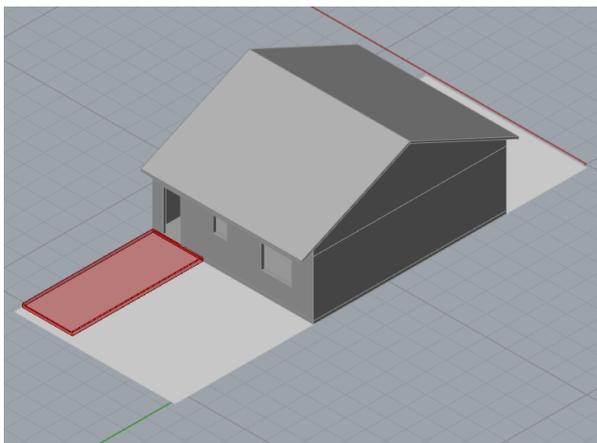


Figura 5.33: Modelo isométrico com delimitação da dimensão da expansão em vermelho.

Fonte: Autor, 2023.

5.2.4. Delimitação dos perfis

O próximo passo é a delimitação da estrutura dos pórticos. Diferentemente de uma construção convencional, esta tipologia requer que a construção seja executada por meio de pórticos. Estes elementos, além do caráter estrutural, funcionam como conectores do fechamento e travamento horizontal da edificação. O projetista define a altura desejada ao módulo mediante a manipulação do *slider* numérico, conforme a figura 5.34. O algoritmo irá gerar automaticamente o perímetro do pórtico.



Figura 5.34: *Slider* correspondente a altura da expansão. Fonte: Autor, 2023.

Para a delimitação do perfil dos pórticos, os 4 pontos perimetrais da base extrudada são extraídos. Com isto, é possível realizar a movimentação no eixo vertical e já pré-definir a posição considerando a inclinação do telhado para o projeto, com valor de 15%. Após o posicionamento dos pontos, eles são unidos criando uma *polyline*. A ferramenta *offset curve* permite criar uma superfície delimitadora correspondente ao pórtico com sua largura definida pelo projetista. Neste *script*, uma largura pré-definida de 15cm foi ajustada, porém cabe ao

projetista definir a informação no *slider*. Para que o elemento receba o caráter tridimensional, a extrusão, com a espessura das chapas e distância entre si, criando pórticos ocós, é realizada. Tais passos podem ser vistos nas figuras 5.35 e 5.36.



Figura 5.35: Largura do pórtico definida pelo projetista. Fonte: Autor, 2023.

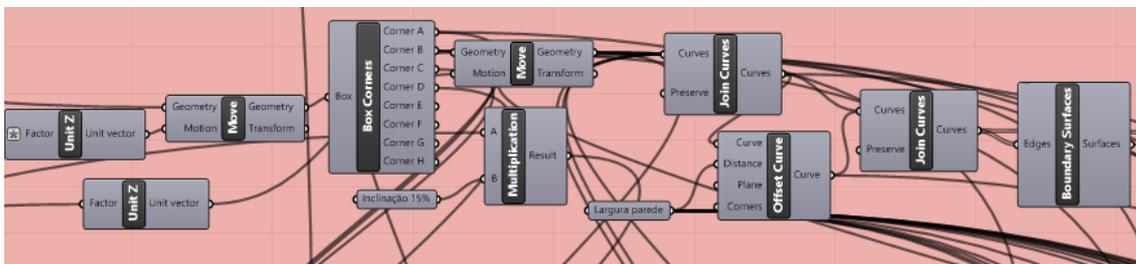


Figura 5.36: Seção do algoritmo correspondente a forma do pórtico. Fonte: Autor, 2023.

Para que haja sustentação na expansão, os pórticos estruturais devem ser distribuídos igualmente pela largura. A distribuição é automatizada pelo algoritmo, fazendo com que o designer responsável necessite apenas inserir a quantidade de pórticos desejadas. Com isso, o comando *curve array* multiplica os elementos sólidos em uma curva segmentada em distâncias iguais, conforme a figura 5.37. Na figura 5.38 os pórticos, elementos em verde, estão distribuídos igualmente pelo comprimento do módulo. O chão da expansão está delimitado pela cor branca, encaixado nos pórticos e afastado do contato direto com o solo.

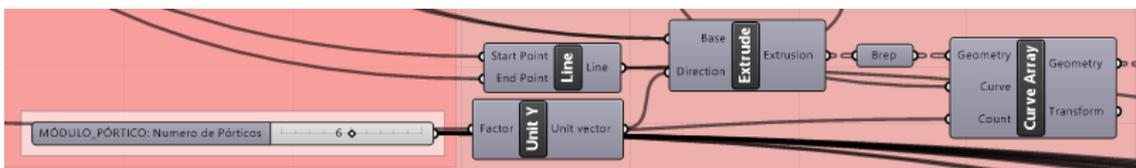


Figura 5.37: Segmentação e distribuição equidistante dos pórticos. Fonte: Autor, 2023.

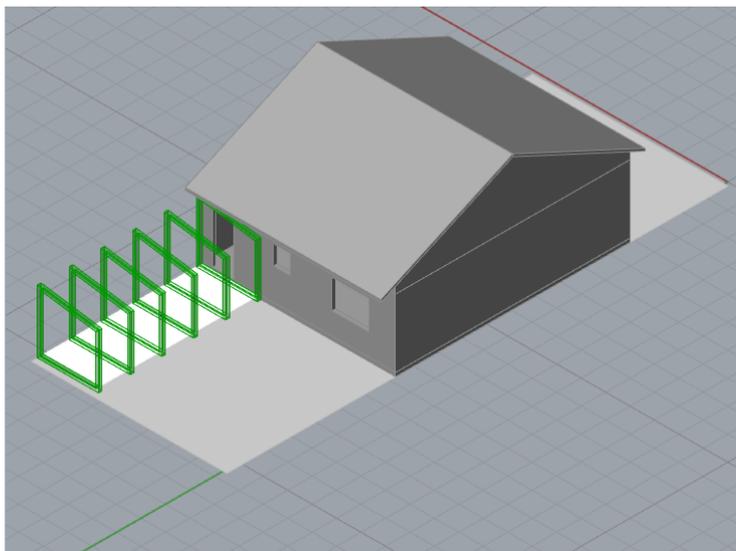


Figura 5.38: Modelo isométrico com delimitação dos pórticos em verde. Fonte: Autor, 2023.

A vedação é dividida em paredes externas e internas. Por se tratar de vedações ocas, que serão fixadas nos pórticos e cortadas em máquinas CNC, elas foram desenvolvidas por superfícies, facilitando a posterior planificação. Com as *polylines* que deram origem ao perímetro do pórtico, as paredes paralelas a eles, foram feitas a partir da ferramenta superfície delimitadora, com auxílio do *offset*, movidas nas extremidades inicial e final. As paredes laterais foram desenvolvidas com a extração dos pontos iniciais e finais do comprimento da expansão, bem como os pontos de altura. As paredes são unidas em um *brep* para posterior subtração das esquadrias. Na figura 5.39, a expansão está representada pelo volume em vermelho.

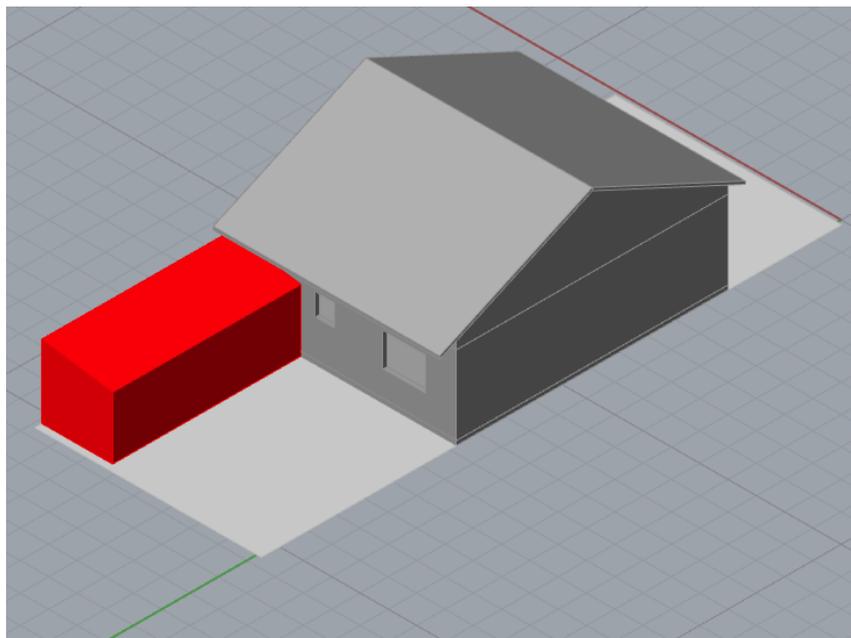


Figura 5.39: Modelo isométrico com a expansão em vermelho. Fonte: Autor, 2023.

A etapa 7 é voltada a inserção das portas e janelas, conforme exemplificação da figura 5.40. Assim como na etapa 4, o projetista poderá inserir portas e janelas a partir da definição de pontos bases nos eixos das paredes e pela modificação dos *sliders* numéricos. Será exequível a alteração da posição em relação a parede, altura e largura da esquadria, bem como peitoril para janelas. Com esta flexibilidade, caso a família já tenha alguma esquadria que deseja usar ou comprar, as dimensões serão exatas para que ocorra o encaixe.

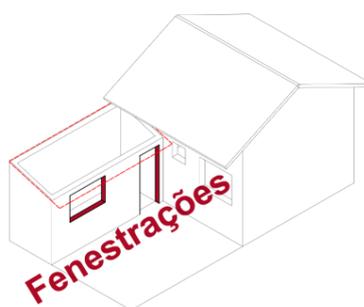


Figura 5.40: Etapa 7. Fonte: Autor, 2022.

Assim como na pré-existência, as fenestrações são geradas por meio de linhas, superfícies e subtração de sólidos. Cabe ao projetista definir a largura, comprimento, peitoril e posição em relação a face desejada. Caso seja necessário, o modelo permite ativar mais de uma janela, até atingir os

parâmetros desejados pela família. A ligação entre a residência e expansão é subtraída automaticamente. A figura 5.41 mostra as dimensões da esquadria, definidas nos *sliders* numéricos. Para a primeira esquadria o designer define a posição em relação ao ponto inicial da face trabalhada (distância da extremidade). Para as demais, ele define apenas as distâncias entre esquadrias, a partir da primeira janela. Em caso de não haver necessidade de três fenestrações, como exemplificado na figura 5.41, é possível desativar o parâmetro, sem que interfira nos demais componentes. A figura 5.42 representa a expansão em vermelho, com duas janelas em roxo.



Figura 5.41: *Sliders* numéricos correspondentes às esquadrias. J3 desativada. Fonte: Autor, 2023.

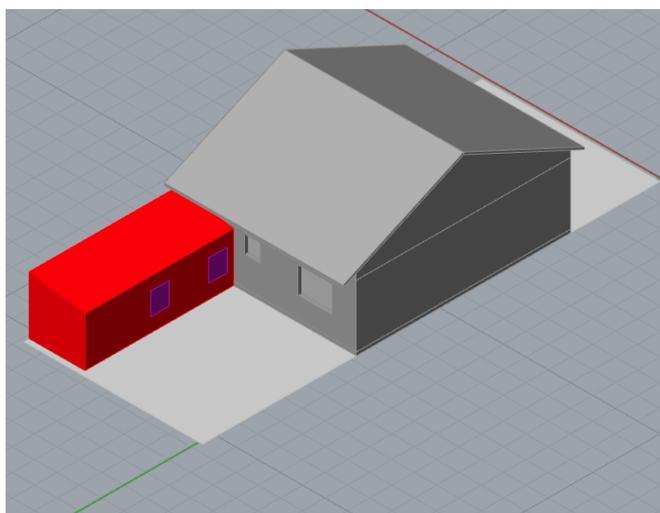


Figura 5.42: Modelo isométrico com a expansão em vermelho com duas janelas em roxo.

Fonte: Autor, 2023.

5.2.5. Peças, encaixes e documentação

Na oitava etapa, se tem todo o *script* responsável para segmentação da construção em partes para o corte a laser. A criação de perfis de estruturação, vedação pelas placas e encaixes foram desenvolvidos nessa etapa. A ideia é que o próprio programa já realize estas funções, evitando que o projetista perca tempo, podendo focar na parte de volumetria e funcionalidade com as famílias.

Como mencionado anteriormente, esta tipologia de construção requer travamentos horizontais entre os pórticos. Estes componentes foram automatizados no algoritmo: as quatro curvas que compõe o perímetro do pórtico foram desconstruídas e segmentadas em valores que podem ser alterados pelos usuários. Com isto, caixas centrais (*center boxes*) são criadas nestes pontos, classificadas no programa como *breps*. As janelas e fenestrações desenvolvidas durante as etapas anteriores são subtraídas com a ferramenta de diferença entre sólidos, capaz de gerar a subtração entre dois *breps* (a expansão e os travamentos horizontais). O resultado deste processo é um *brep*. Nas figuras 5.43 a 5.46 é tangível visualizar o processo no *script*. Já a figura demonstra a posição dos travamentos em relação a volumetria da expansão proposta.

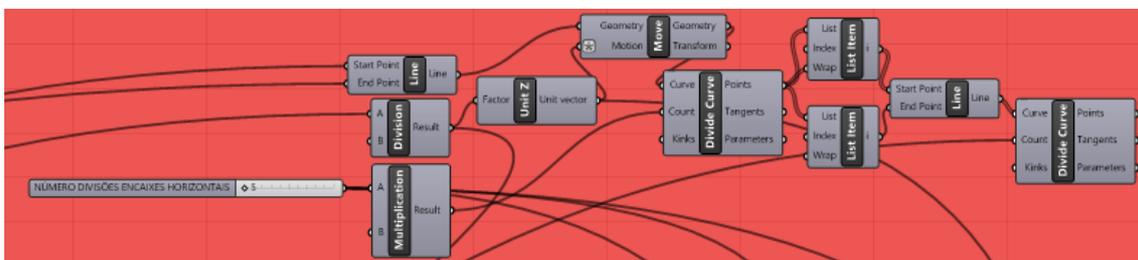


Figura 5.43: Divisões de travamento no comprimento do módulo. Fonte: Autor, 2023.

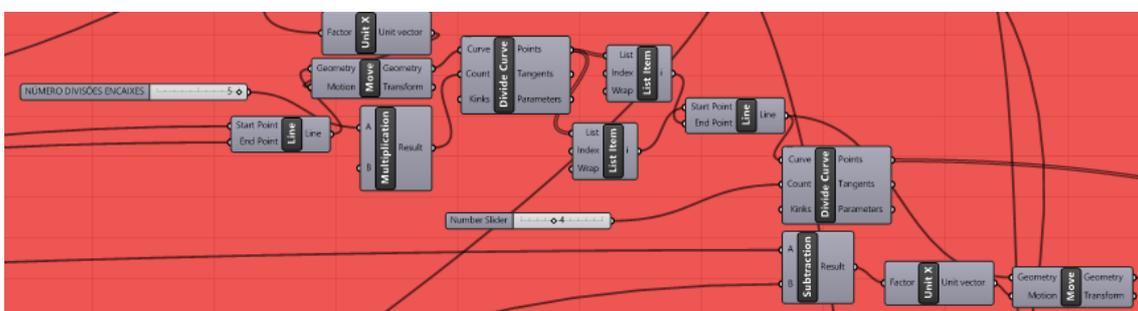


Figura 5.44: Divisões de travamento na largura do módulo. Fonte: Autor, 2023.

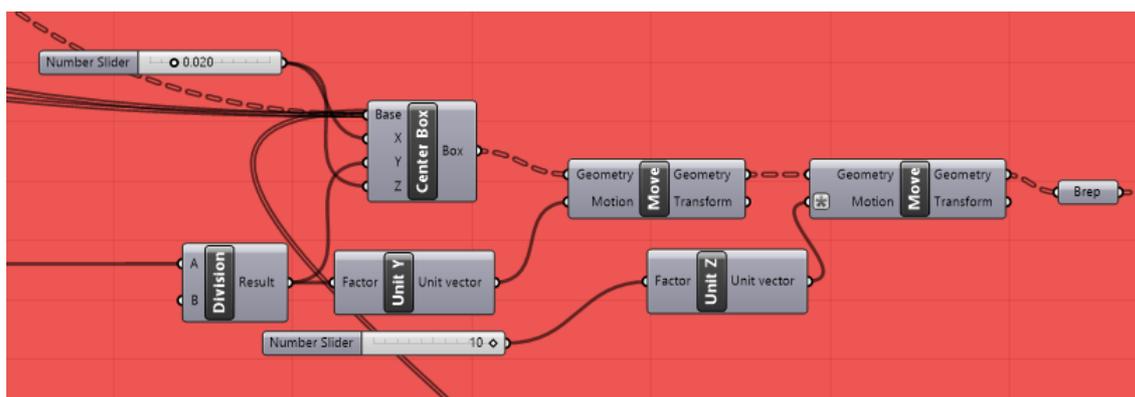


Figura 5.45: Criação dos *Center Boxes* a partir dos pontos obtidos pela divisão das curvas.

Fonte: Autor, 2023.

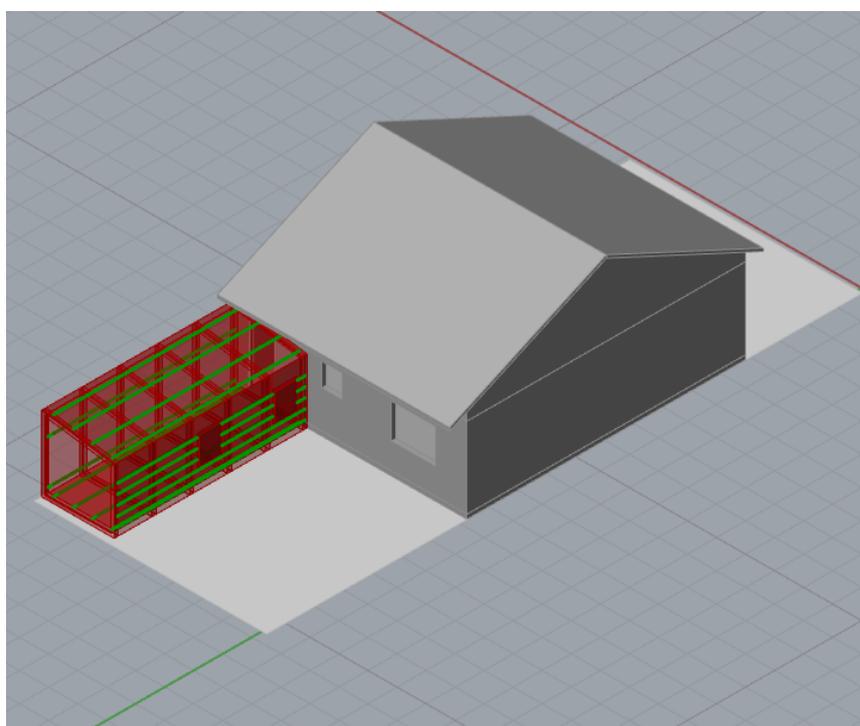


Figura 5.46: Em vermelho a expansão e em verde os travamentos verticais. Fonte: Autor, 2023.

Os encaixes do tipo macho-fêmea foram desenvolvidos com o auxílio da extensão *Pufferfish*, capaz de gerar transformações, mapeamentos, divisões e operações, com maior controle pelo usuário, em curvas. Para o desenvolvimento dos encaixes, o primeiro passo foi explodir a curva correspondente ao perímetro do pórtico, criando divisões equidistantes. Os pontos obtidos foram vetorizados e tiveram seus planos ajustados, criando retângulos, com origem no ponto central. O dado de saída da ferramenta retângulo foi conectado ao dado de entrada região (*region*) do componente aparar (*trim*). O *input curve* foi ligado ao perímetro do pórtico. Com isso o dado de saída, com a espessura do pórtico

permite obter, mediante curvas, os pontos iniciais e finais, criando linhas entre tais pontos. Ademais, estes retângulos também funcionarão como planos de corte para a separação das peças. As figuras 5.47 e 5.48 demonstram essa parte da programação.

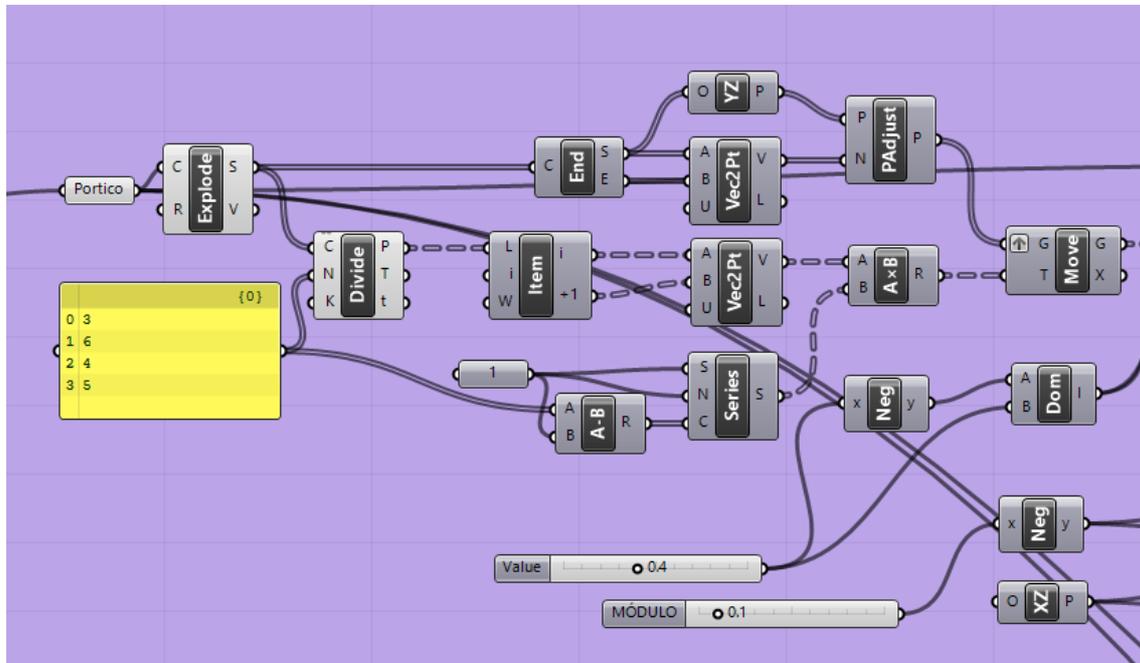


Figura 5.47: Primeira parte da programação de criação dos encaixes. Fonte: Autor, 2023.

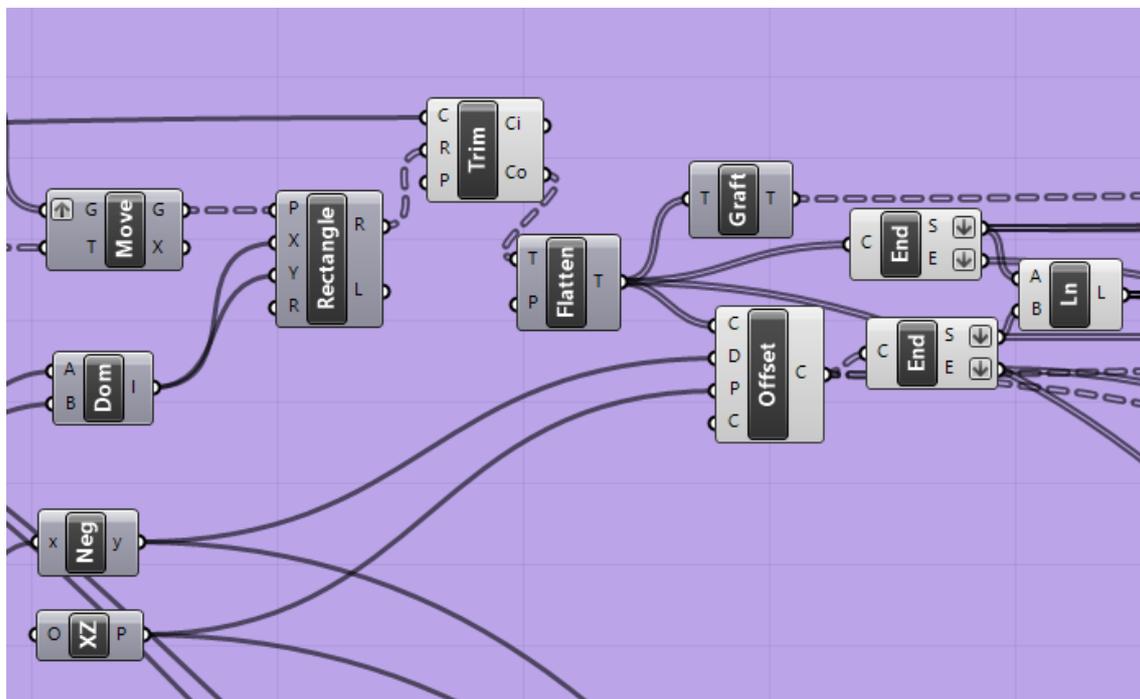


Figura 5.48: Segunda parte da programação de criação dos encaixes. Fonte: Autor, 2023.

Na figura 5.49 é visível a estruturação do pórtico e os planos de retângulos, ambos em vermelhos. As linhas em verde, internas ao pórtico, representam as curvas que ligam os pontos iniciais e finais do perímetro do pórtico e seu *offset*.

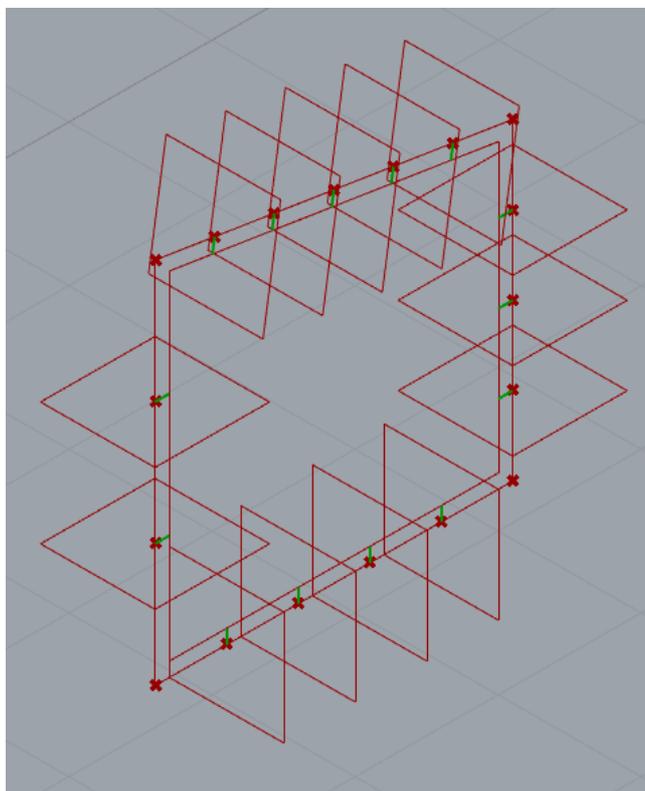


Figura 5.49: Estruturação do pórtico com segmentação. Fonte: Autor, 2023.

Posteriormente, os pontos foram rotacionados 90° e movidos. Essa movimentação permite criar a largura e o tamanho dos encaixes, que podem ser modificados, conforme figura 5.50. Por meio da movimentação dos pontos, as curvas dos encaixes foram feitas e mescladas em uma única reta. O componente mesclar (*merge*) reúne as *polylines* de perímetro do pórtico com as curvas dos encaixes (figuras 5.51 a 5.53).



Figura 5.50: Dimensões dos encaixes. Fonte: Autor, 2023.

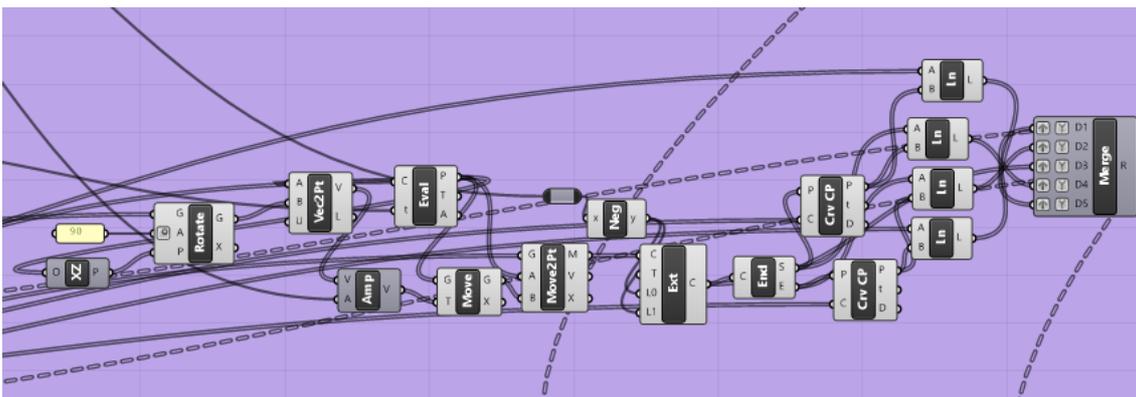


Figura 5.51: Terceira parte da programação de criação dos encaixes. Fonte: Autor, 2023.

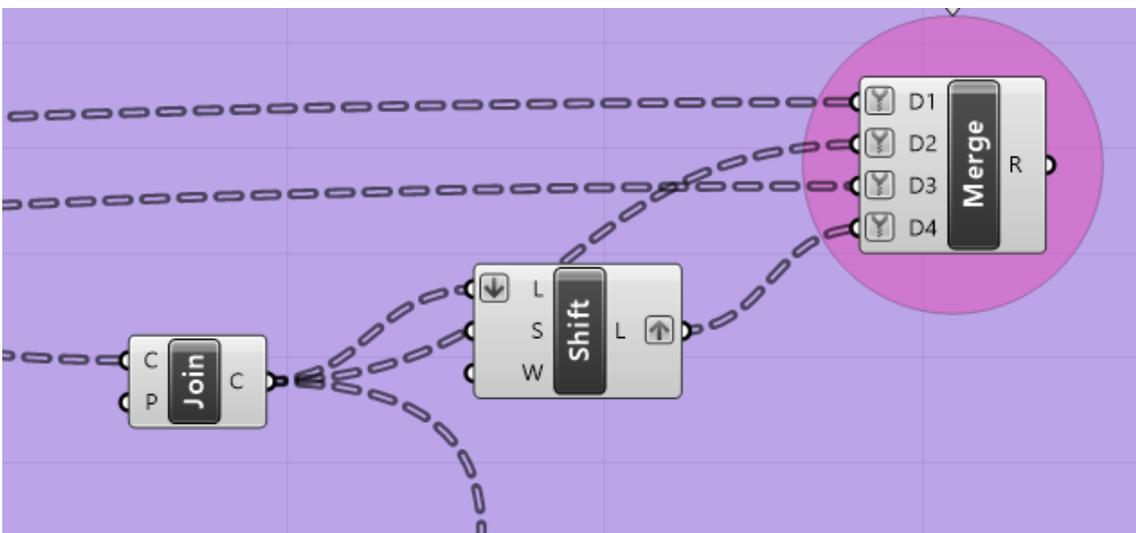


Figura 5.52: Quarta parte da programação de criação dos encaixes. Fonte: Autor, 2023.

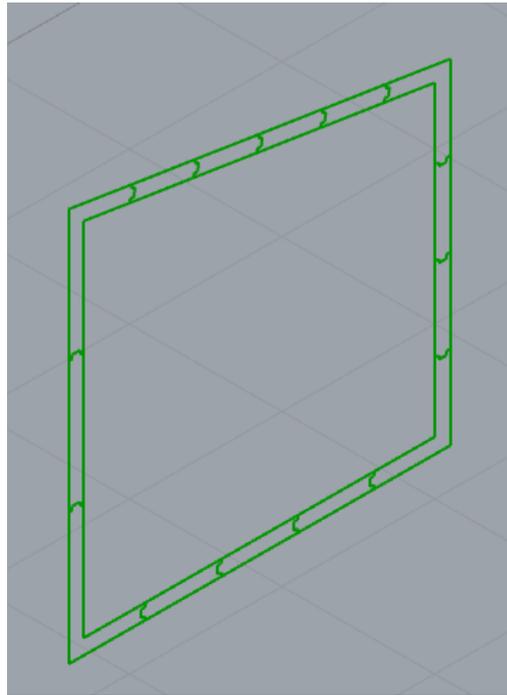


Figura 5.53: Pórtico já com os encaixes tipo macho-fêmea. Fonte: Autor, 2023.

No entanto, é preciso gerar a interseção entre os pórticos e os travamentos, criando os encaixes e planificações para o corte. A superfície do pórtico atua como *input shape* do componente cortar sólido. Já o dado de entrada *cutters* recebe a ligação do *brep* gerado com os travamentos verticais. A figura 5.54 demonstra o processo. Para planificar as peças, é necessário que elas estejam separadas entre si. Portanto, o componente separar superfície (*split surface*) foi usado. No entanto, algumas peças não foram separadas, devido ao tamanho, fazendo necessário criar um parâmetro de seleção por área (*smaller than*). As figuras 5.55 e 5.56 mostram duas peças separadas no programa para visualização, com encaixes e recortes para travamentos horizontais da expansão.

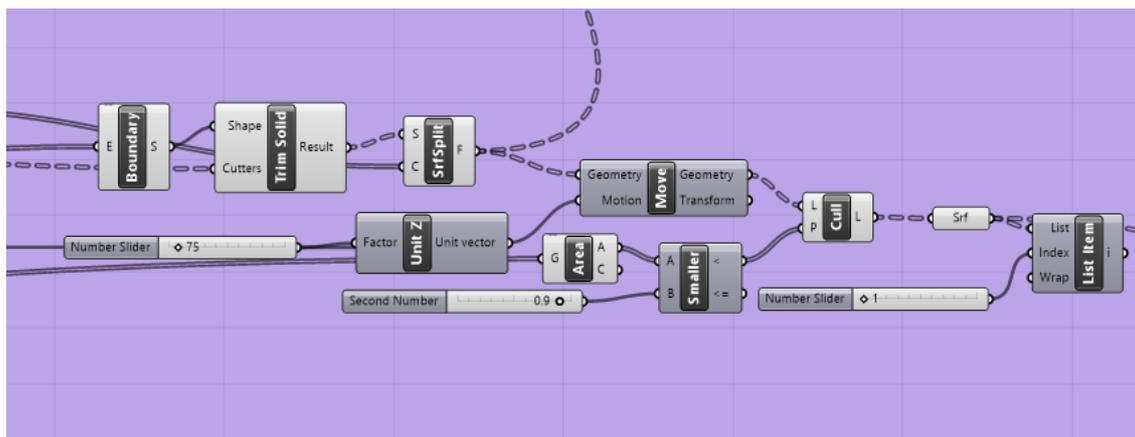
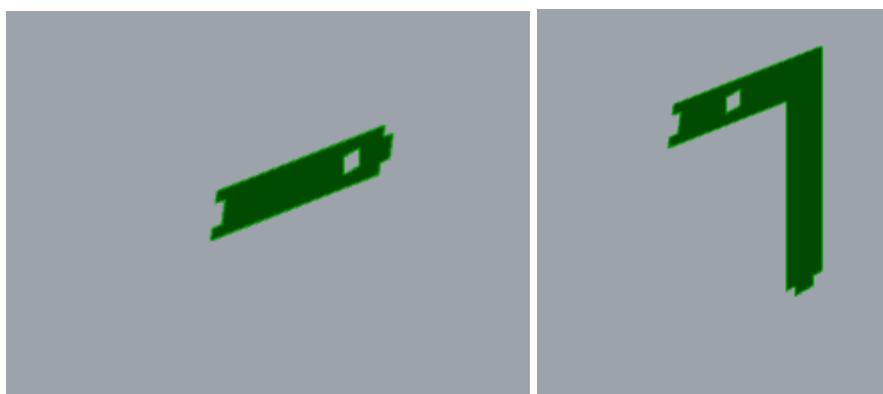


Figura 5.54: Quinta parte da programação de criação dos encaixes. Fonte: Autor, 2023.



Figuras 5.55 e 5.56: Duas peças com encaixes e recortes dos travamentos horizontais. Fonte: Autor, 2023.

Assim como para o desenvolvimento dos encaixes, outra extensão, com função de otimização dos componentes nas chapas de corte, foi usada. A extensão se chama *Open Nest* (figura 5.57). Uma chapa com 2700x1700mm foi definida como folha de corte. As geometrias do pórtico foram obtidas partir dos componentes, originados da etapa anterior, como lista de itens. O espaçamento definido foi de 2cm entre as peças. As demais peças, com maiores dimensões, como fechamentos e coberturas, foram planificadas separadamente, pois cada uma ocupa uma chapa de compensado (figuras 5.58 e 5.59). Por conseguinte, as peças planificadas se encontram prontas para o corte CNC.

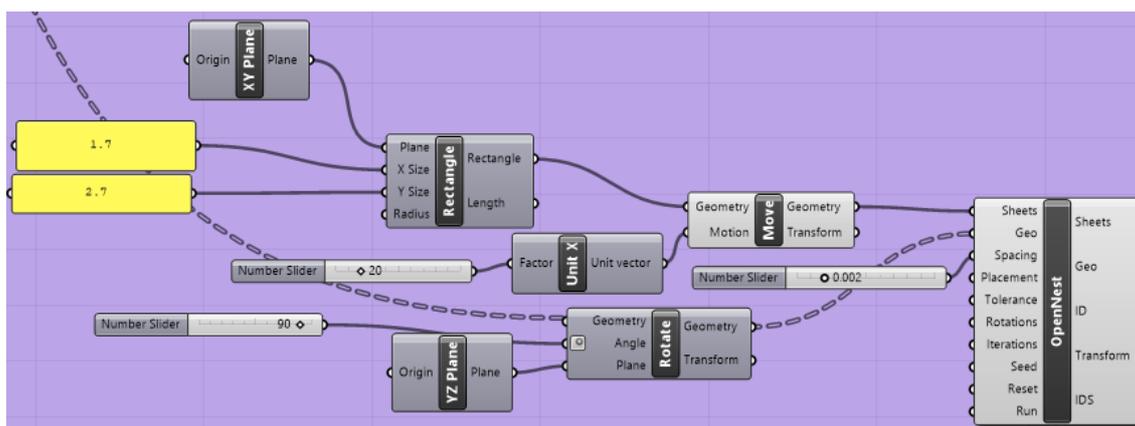


Figura 5.57: Otimização dos componentes do pórtico na folha de corte. Fonte: Autor, 2023.

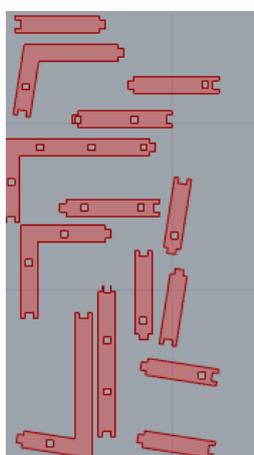


Figura 5.58: Peças planificadas individualmente. Peças referentes a um pórtico. Fonte: Autor, 2023.

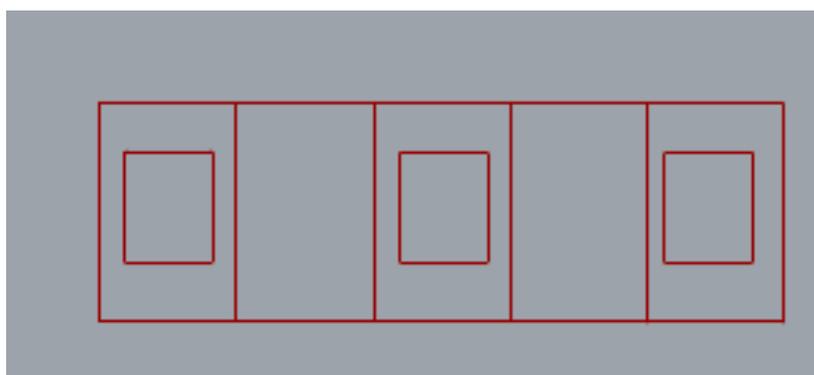


Figura 5.59: Exemplo de planificação de uma face: recortes das chapas com os perímetros das esquadrias. Fonte: Autor, 2023.

Na etapa de execução, cabe aos moradores realizarem a montagem da expansão. Outro ponto destinado aos moradores é a aplicação da cobertura, com fixação, por meio de parafusos, nas chapas superiores do módulo. Para a

vedação das paredes, se recomenda o uso de telha de policarbonato ou placas cimentícias, as quais podem ser manuseadas e cortadas no próprio local.

5.2 Análises de insolação

Para análises acerca da insolação o *plugin LadyBug* foi usado. Ele é uma extensão com foco em estudos climáticos, insolação, trajetória solar, microclima, ganhos energéticos e afins. A ferramenta é mais complexa, quando comparada aos outros *plugins* usados. Sua execução demanda mais memória de processamento do computador, limitando o uso em qualquer equipamento. Outro ponto com dificuldade encontrado na pesquisa, foi sua instalação. Múltiplas tentativas tiveram de ser feitas. O erro reportado era que a extensão não havia conseguido instalar todos os arquivos necessários. A solução encontrada foi baixar os programas em um segundo computador, com menos memória e poder de processamento, resultando em um fluxo de trabalho mais lento e inúmeros travamentos.

Os dados climáticos são obtidos a partir de arquivos do tipo *EnergyPlus Weather File* (EPW). Estes arquivos são disponibilizados *online* e apresentam dados das principais cidades ao redor do mundo. O formato EPW é um padrão usado internacionalmente para armazenamento e conversão de dados meteorológicos.

O arquivo EPW é importado para dentro do arquivo Grasshopper e vinculado, como dado de entrada, ao componente *importEPW*, que funciona como componente básico a qualquer análise climática. O componente caminho solar (*SunPath*) cria a carta solar de qualquer localidade, conforme figura 5.60. Os principais dados de entradas usados são: norte, com ângulo variável; e HOY, referente a mês, dia e hora do ano. Com isto o projetista consegue manipular a hora, dia e mês ou um determinado período que deseja analisar os dados. O *script* pode ser visualizado nas figuras 5.61 e 5.62.

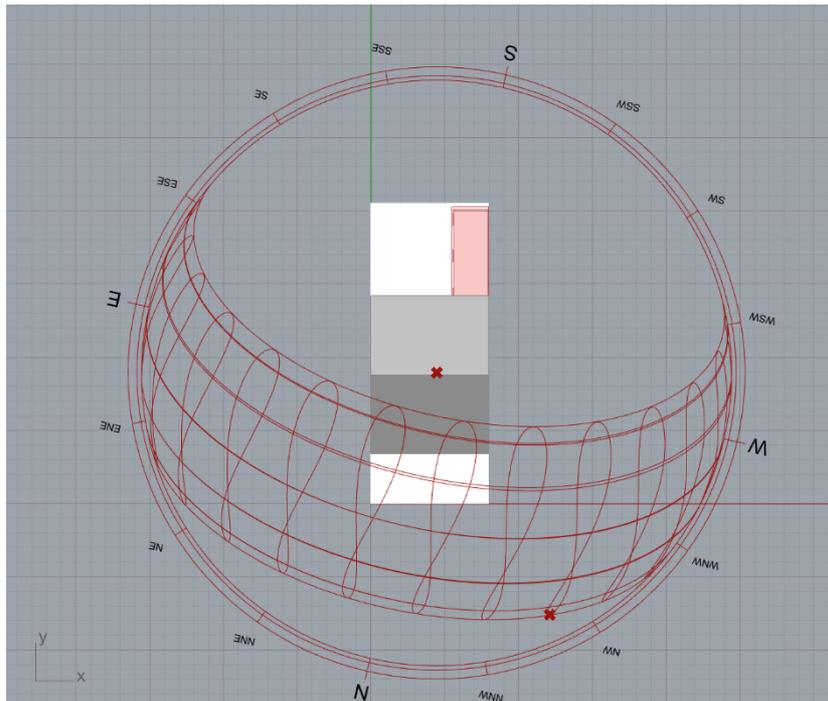


Figura 5.60: Carta Solar com a edificação existente em cinza, lote em branco e expansão em vermelho. Fonte: Autor, 2023.

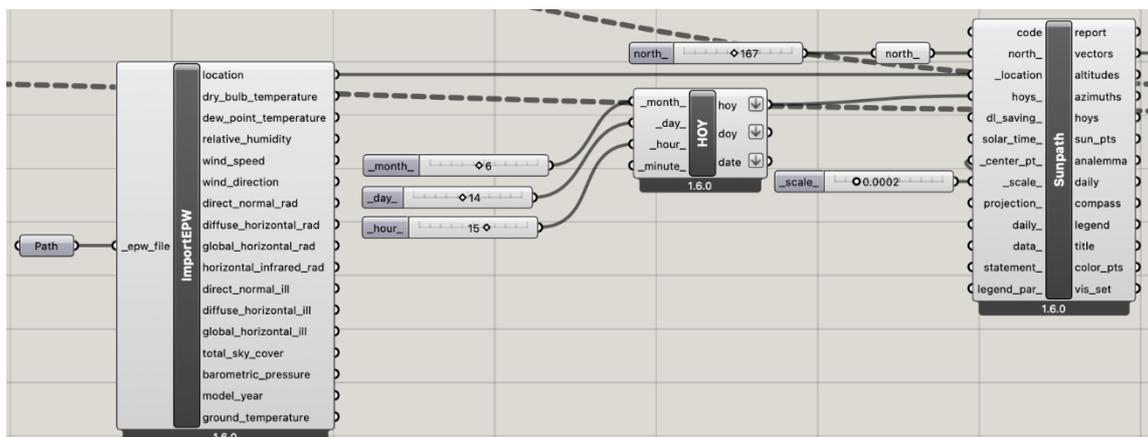


Figura 5.61: Programação usada com o *plugin* LadyBug. Fonte: Autor, 2023.

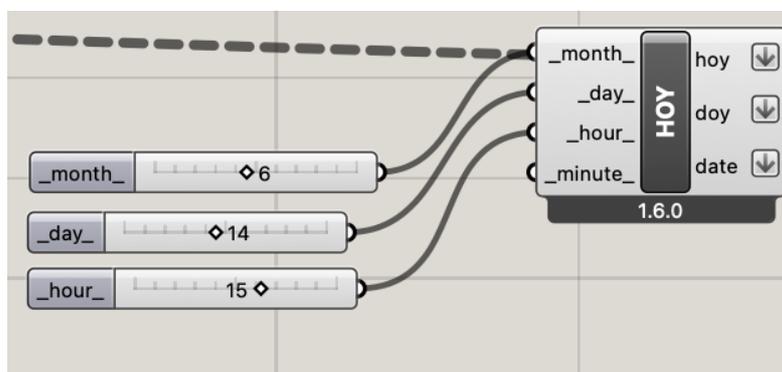


Figura 5.62: Recorte do componente HOY, com as manipulações de mês, dia e hora. Fonte: Autor, 2023.

A intenção desta pesquisa não é criar estudos detalhados sobre os fatores bioclimáticos. Por se tratar de um artefato desenvolvido mediante o Co-Desgin, com moradores de HIS, que carecem de conhecimentos técnicos, o estudo de insolação se dá de forma básica. O componente usado foi o *DirectSunHours* (horas de sol diretas) (figura 5.63). O *script* fornece duas respostas: em azul as faces que não receberão sol, e em amarelo as faces que receberão radiação solar. A figura 5.64 demonstra a exemplificação. O responsável pelo manuseio da programação pode manipular os parâmetros de dia, hora e mês, avaliando a incidência conforme desejar. Para o morador, a diagramação simplificada sobre as faces que receberão ou não radiação solar, apresenta uma fácil compreensão com caráter didático e lúdico.

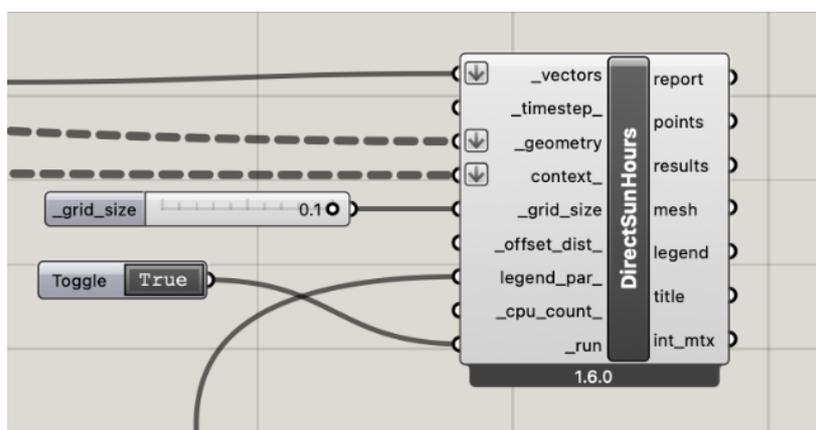


Figura 5.63: Recorte do componente *DirectSunHours*. Fonte: Autor, 2023.

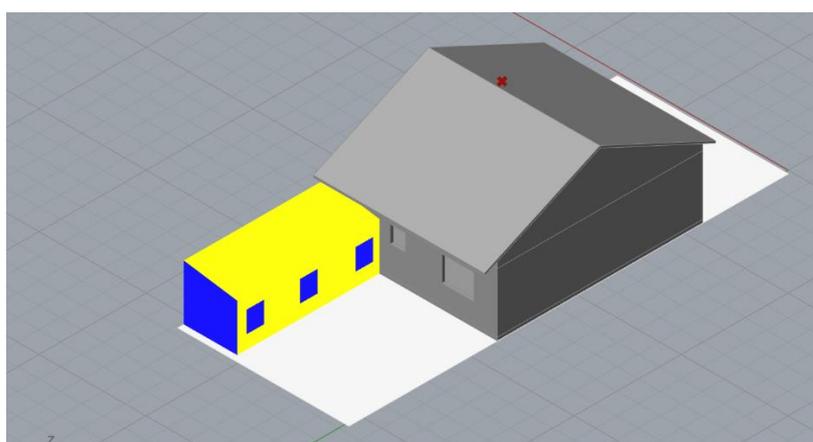


Figura 5.64: Isométrica referente a análise de insolação. As faces amarelas recebem radiação solar, enquanto as azuis não. Os recortes retangulares azuis representam o recorte das janelas. Fonte: Autor, 2023.

5.4 Compatibilização do script com ferramentas BIM

A tecnologia BIM escolhida foi o programa Graphisoft Archicad. As razões pela escolha foram o maior domínio no programa, licença estudantil e ferramentas nativas do Grasshopper e ArchiCad de interoperabilidade. O objetivo desta etapa foi de avaliar os potenciais mediante o uso destes dois programas. Ainda na fase de projeto, a intenção é que o *software* BIM possibilite ao projetista criar *layouts* com o mobiliário, facilitando a visualização e validação da proposta junto ao morador. A fase de documentação, proposta nesta pesquisa, é voltada a criação de plantas baixas, cortes e fachadas, quando necessários. Com isso, o arquiteto possibilitará a fácil compreensão pelos moradores, de suas residências com os módulos propostos, além do material técnico necessário para execução.

O primeiro passo para a interoperabilidade foi baixar a extensão que permite a conexão entre os programas em tempo real. A ferramenta é disponibilizada pela Graphisoft. As figuras 5.65 e 5.66 mostram como a conexão é feita. Já a figura 5.67 demonstra a barra de ferramentas que foi acrescentada no Grasshopper. Nesta aba, novos componentes se referem aos elementos construtivos e documentação, de forma similar ao programa ArchiCad. As classificações são divididas em Design, Desconstruir, Documentos, Extrair Configurações, *Input*, Parâmetros e Configurações.

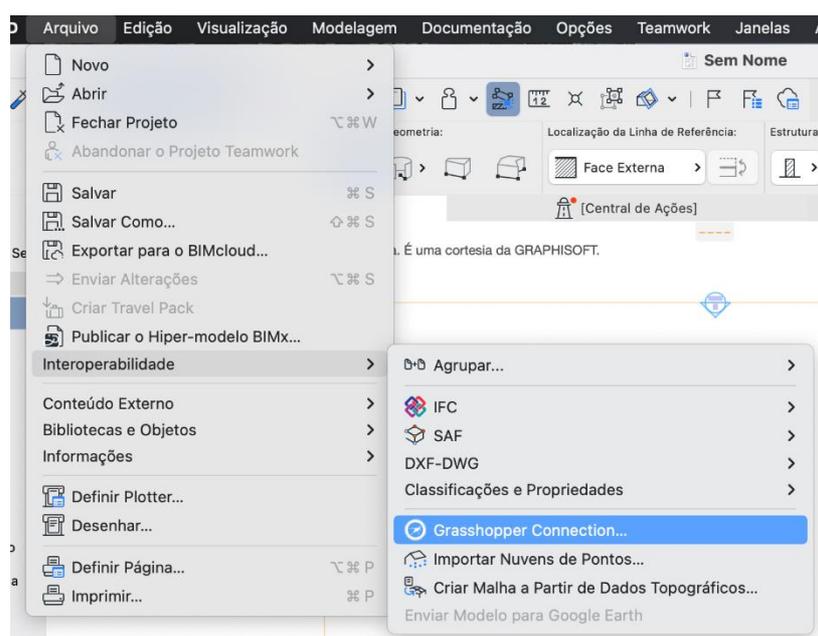


Figura 5.65: Aba no Grasshopper para iniciar a conexão. Fonte: Autor, 2023.

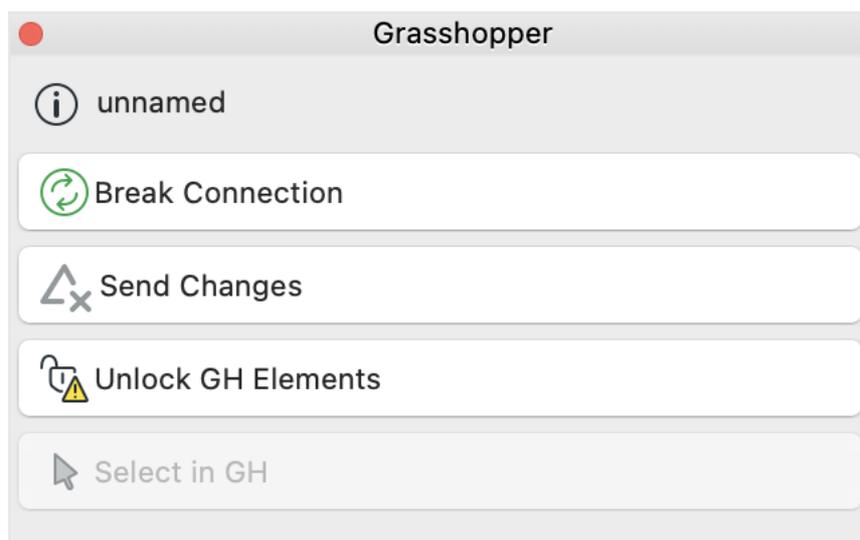


Figura 5.66: Conexão entre os programas. As funções permitem iniciar e pausar a ligação, enviar mudanças feitas no ArchiCad para o Grasshopper e bloquear/desbloquear modificações em elementos. Fonte: Autor, 2023.

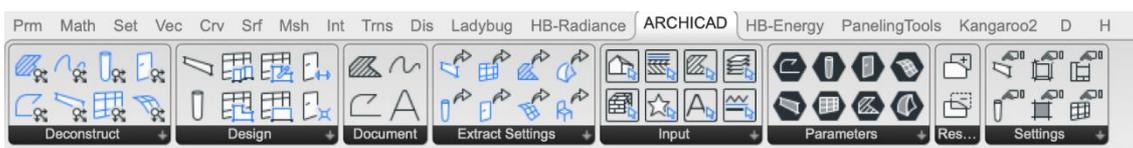


Figura 5.67: Abas do *plugin* ArchiCad no Grasshopper. Fonte: Autor, 2023.

O primeiro ponto a ser analisado, é que o modelo desenvolvido, até então não pode ser usado. Fator que ocorre em virtude da limitação do programa em aceitar apenas os componentes nativos. Como exemplo, para a criação da parede, ela precisa ser feita a partir do componente parede, na aba ArchiCad.

Na figura 5.68, as paredes do módulo de expansão foram recriadas, gerando retrabalho. Foi necessário a criação de curvas para a extrusão em paredes. Com isto o projetista consegue controlar a largura, altura e materialidade de cada parede. As quatro paredes tiveram de ser executadas separadamente. A figura 5.69 mostra o recorte da programação para a criação de uma única parede.

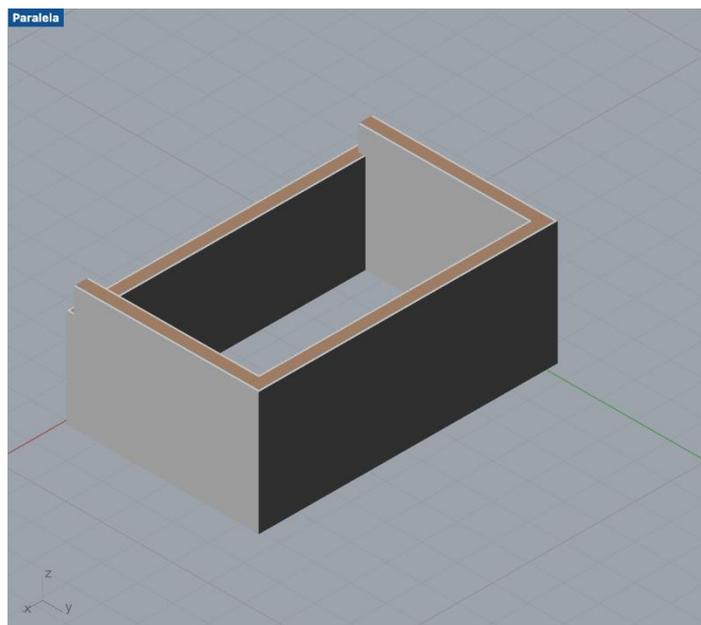


Figura 5.68: Isométrica das paredes feita a partir do *plugin* de interoperabilidade. Fonte: Autor, 2023.

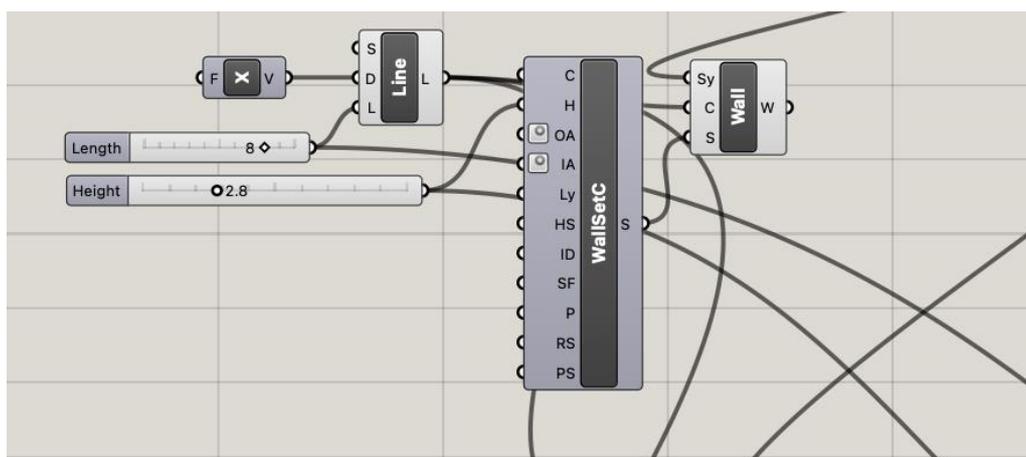


Figura 5.69: Programação para execução de uma parede. Fonte: Autor, 2023.

Após a criação do volume de paredes, a cobertura foi executada. A estrutura gerada com o componente telhado necessita de ajustes. Tais ajustes são feitos exclusivamente no ArchiCad. Fator que se assemelha quando o componente janela foi inserido na programação. No Grasshopper é possível manipular a posição de inserção, materialidade e altura de peitoril (figura 5.70). Parâmetros como altura e largura devem ser modificados diretamente no ArchiCad. A figura 5.71 demonstra a inserção da esquadria no modelo tridimensional no Grasshopper, enquanto a figura 5.72 corresponde a aba de edição de esquadrias dentro do programa BIM.

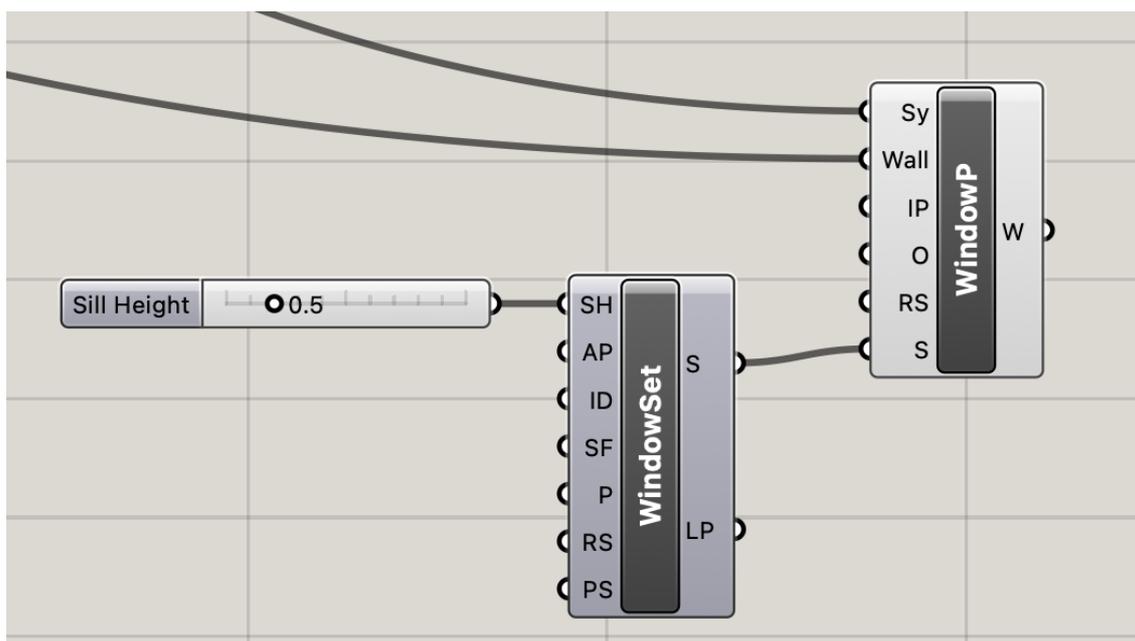


Figura 5.70: Programação para a inserção da janela. Fonte: Autor, 2023.

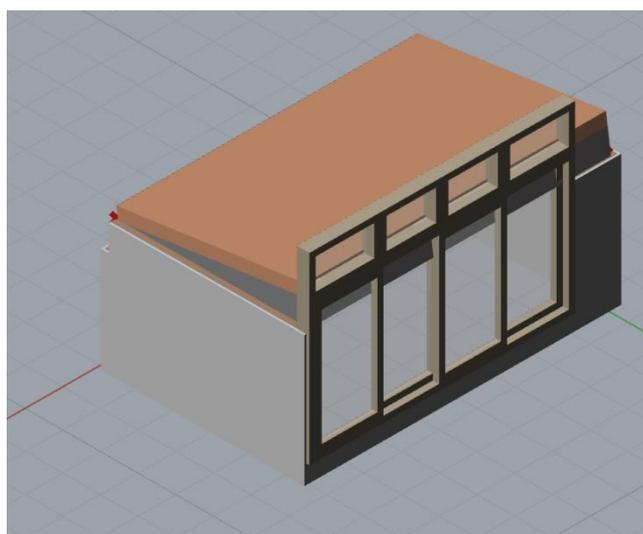


Figura 5.71: Isométrica do volume gerado, com inserção da janela. Fonte: Autor, 2023.

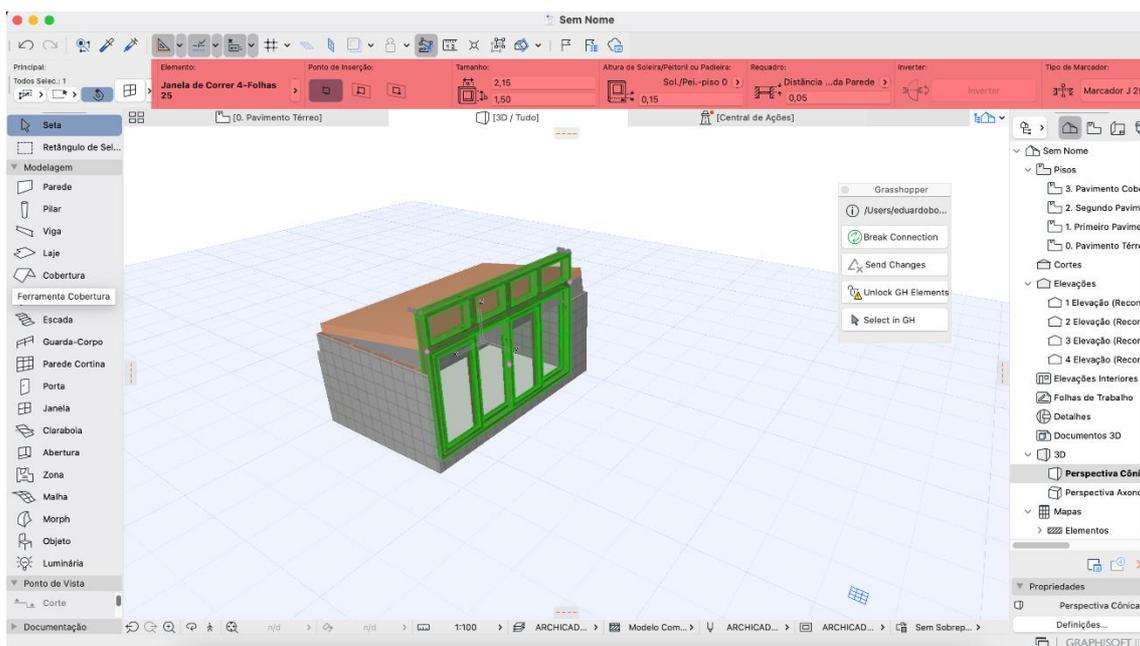


Figura 5.72: Aba do programa ArchiCad, com destaque em vermelho nas ferramentas de edição de tipo, largura e altura da esquadria. Fonte: Autor, 2023.

É visível a falta de ferramentas, por parte da aba ArchiCad, que permitam a melhor manipulação da forma. Os componentes da aba Design (figura 5.73) são limitados. Esta aba é responsável pela criação de elementos construtivos e objetos. Para a construção de uma parede existem apenas três opções, que necessitam de uma curva no plano XY para a extrusão. Bem como a criação de vigas, onde só é permitido a criação de vigas longitudinais. Já a aba configurações é responsável pelas configurações de cada elemento. Ainda usando a construção de uma parede como exemplo, os dados de entrada disponíveis são: composição, altura, camada, ID, função estrutural e situação de renovação. Ao entrar no componente de janela, a diferenciação é na ausência dos dados de entrada acerca da camada, composição e altura. Já a entrada correspondente ao peitoril é acrescida. Não existe entrada para a definição de altura e largura da esquadria, que deve ser feita dentro do *software* BIM.

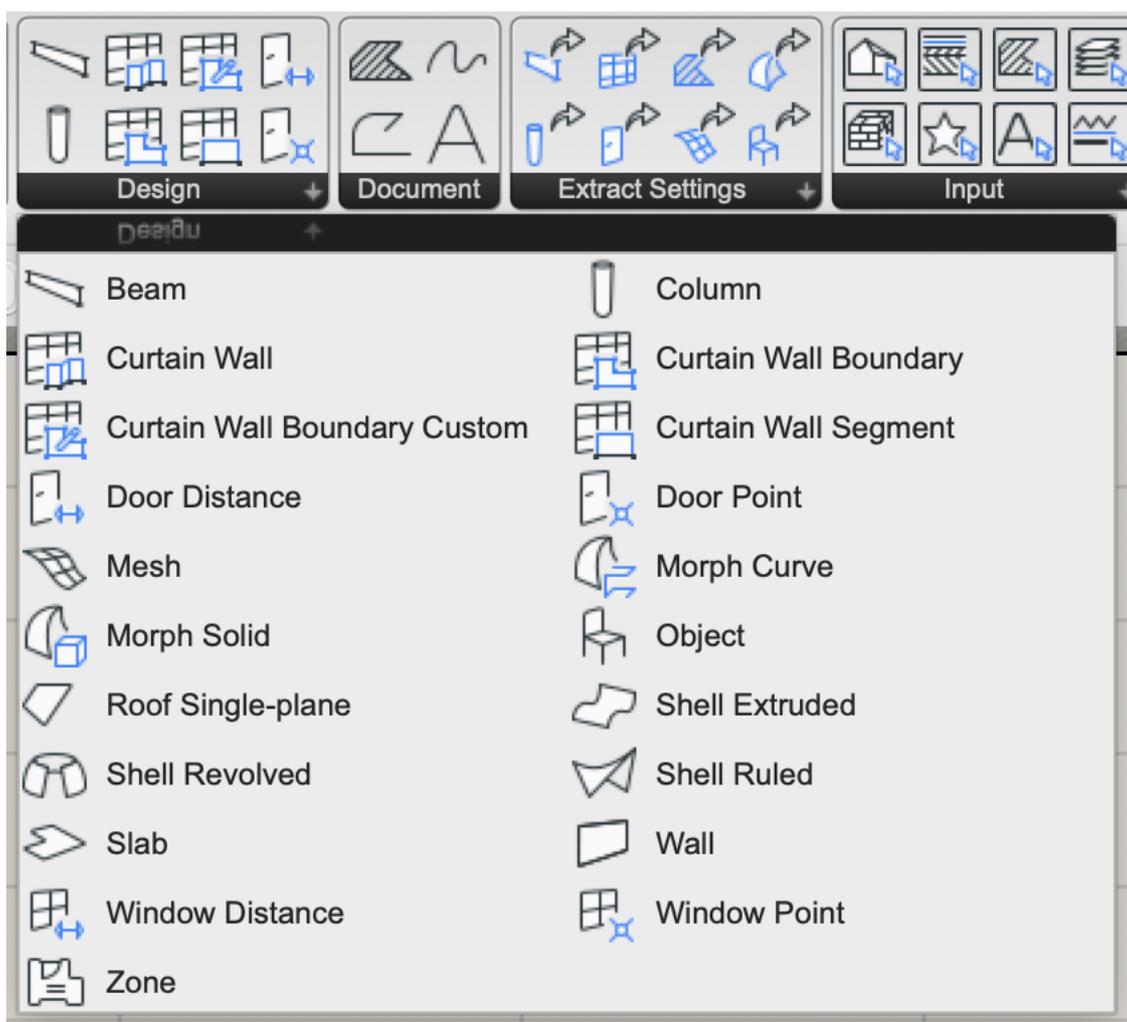


Figura 5.73: Aba de ferramenta Design correspondente a interoperabilidade com o ArchiCad.

Fonte: Autor, 2023.

O uso da ferramenta BIM para diagramação simultânea de *layouts*, estudo de radiação solar e documentação se torna ineficiente, tendo em vista que todo o processo deve ser refeito para que tais itens possam ser gerados. Vale ressaltar, que a documentação para o corte das peças é gerada pelo Grasshopper. A figura 5.74 apresenta a esquematização visual entre os métodos.

Descrição	Grasshopper	Grasshopper associado ao ArchiCad
Parametrização da forma		
Cobertura		
Esquadrias		
Estrutura dos Pórticos		
Encaixes		
<i>Layout</i>		
Documentação		
Estudos de Insolação		

	Satisfatório
	Difícil Manipulação
	Insatisfatório ou Ausente

Figura 5.74: Classificação das ferramentas associada ao uso de cada programa. Fonte: Autor, 2023.

Por meio do formato de arquivo neutro, o *Industry Foundation Classes* (IFC), foram feitas tentativas para exportar o arquivo para o ArchiCad. Entretanto, os resultados foram insatisfatórios, pois o modelo apresentava defeitos e era difícil trabalho. Os componentes, como portas, paredes, telhado e lote não permaneciam na posição de origem, em relação ao arquivo exportado do Grasshopper. A figura 5.75 mostra os componentes desordenados ao serem importados para o *software* BIM.

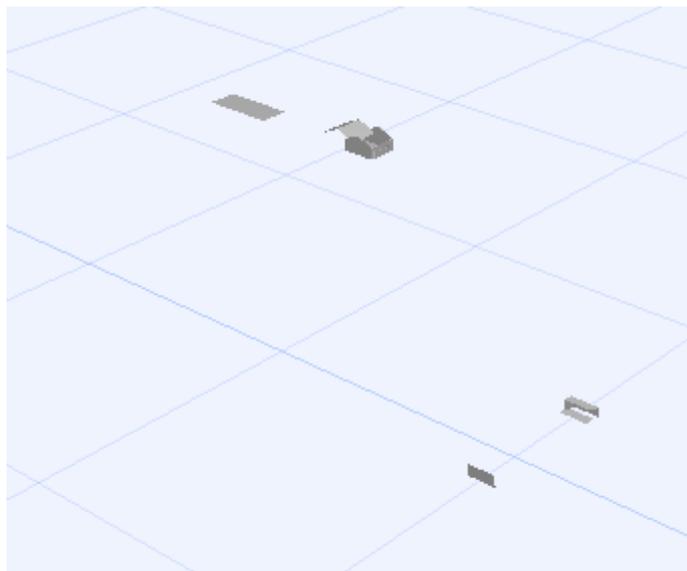


Figura 5.75: Importação por meio do IFC. Fonte: Autor, 2023.

5.4 Simulações no estudo de caso

A residência escolhida para a realização das simulações, referentes às análises e reflexões desta pesquisa, foi direcionada a uma moradia que já sofreu com o processo de expansão pelos próprios moradores. Com isto, é possível avaliar e propor alternativas de distribuição funcional. Como mencionado nos capítulos anteriores, a residência selecionada teve as seguintes modificações: reorganização do espaço da cozinha, funcionando como área de serviço, devido à falta de espaço para acomodar máquina de lavar roupa; acréscimo de uma nova cozinha aos fundos, deixando o banheiro existente sem ventilação natural, propiciando umidade e mofo; adição de um quarto, que obstruiu a janela do dormitório original. A figura 5.76 apresenta o levantamento arquitetônico da moradia.

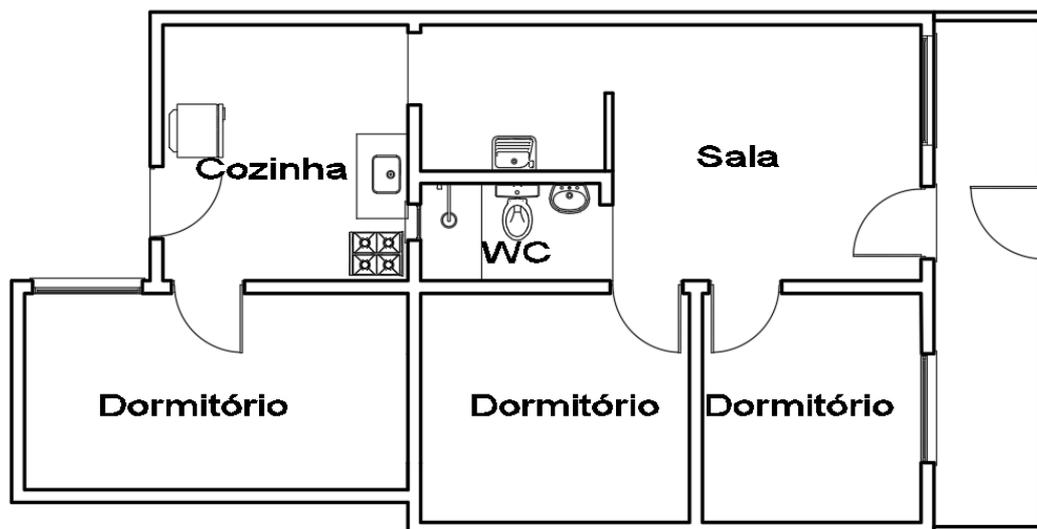


Figura 5.76: Planta baixa da residência em análise. Fonte: Autor, 2023.

Cinco simulações foram realizadas, visando expor novas possibilidades de *layout* criadas por meio do *script* desenvolvido. As duas primeiras proposições apresentam o mesmo volume, expresso pela figura 5.77. Ele foi pensado para que a janela do banheiro não tivesse obstrução, evitando a umidade e o mofo no cômodo. Com isto, apenas um dos ambientes foi simulado nessa proposta. A figura 5.78 apresenta o *layout* de um espaço para área de refeições para quatro e espaço para máquina de lavar roupa. Os equipamentos e eletrodomésticos podem ser realocados na cozinha original da residência, tendo em vista que o problema de falta de espaço para máquina de lavar roupa e mesa foram solucionados mediante o módulo. Já na figura 5.79, a expansão tem como finalidade um dormitório. Foi possível posicionar uma cama de solteiro, guarda-roupa e mesa de estudos. A posição da janela e porta de acesso ao pátio permitem que haja iluminação e ventilação adequada, tanto para o módulo de expansão quanto para os cômodos da pré-existência.

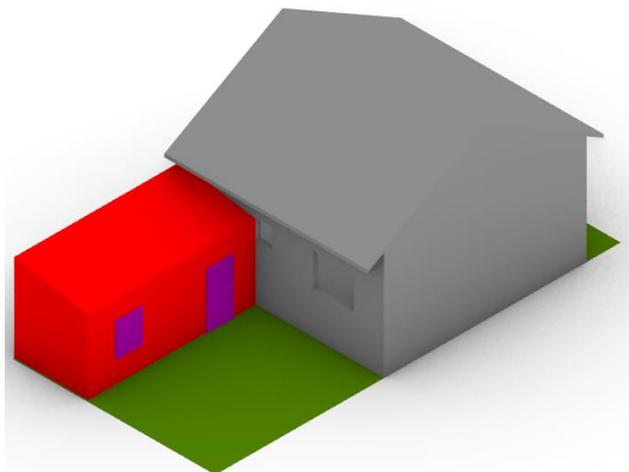
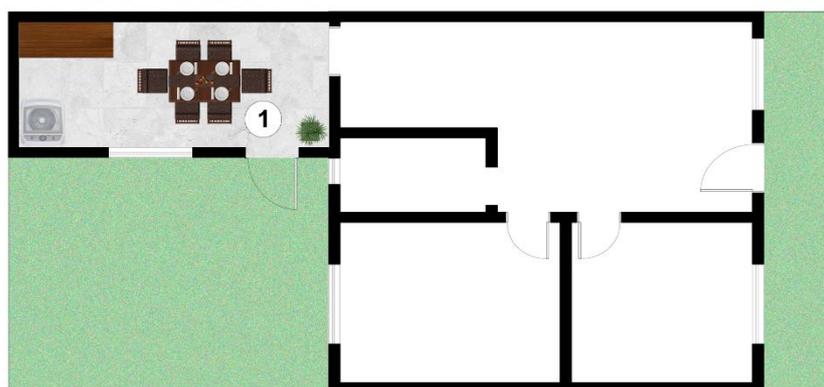
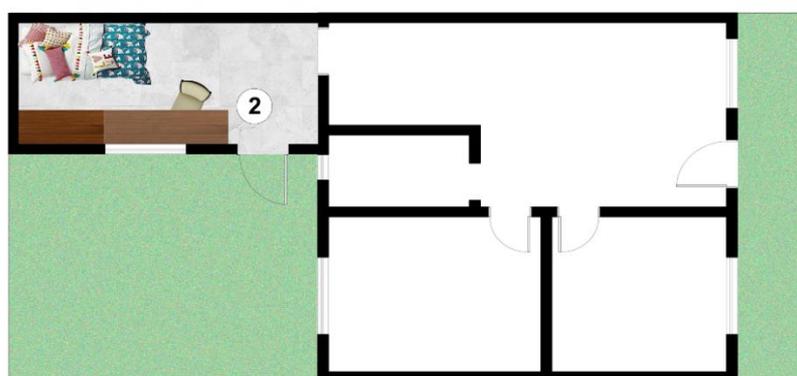


Figura 5.77: Isométrica da expansão referente as duas primeiras simulações. Fonte: Autor, 2023.



① Área para mesa e máquina de lavar roupa

Figura 5.78: Planta baixa do uso da expansão como área de refeição e espaço para máquina de lavar roupa. Fonte: Autor, 2023.



② Dormitório

Figura 5.79: Planta baixa do uso da expansão como dormitório. Fonte: Autor, 2023.

Na terceira simulação (figura 5.80), dois módulos de expansão foram propostos: um para área de refeições e outro para acomodar a mesa e máquina de lavar roupa. A posição das expansões permite criar um pátio interno, onde os ambientes propostos e os existentes ventilam. Na figura 5.81, a planta baixa permite a visualização da distribuição espacial. Assim como na proposição anterior, o dormitório foi dimensionado para acomodar uma cama de solteiro, guarda-roupa e mesa de estudos. Já a área para mesa, que também acomoda quatro pessoas, uma máquina de lavar roupa e até mesmo um tanque foram posicionados.

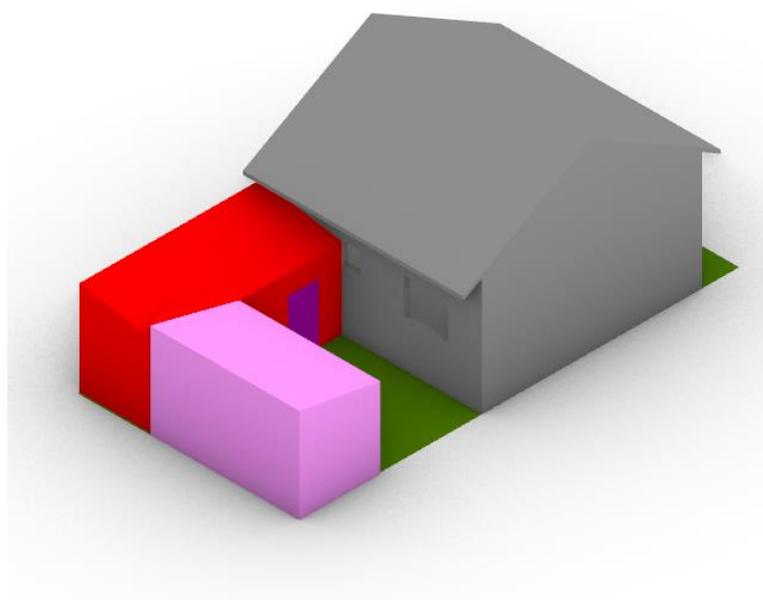


Figura 5.80: Isométrica da terceira proposição de expansão. Fonte: Autor, 2023.



- ① Área para mesa e espaço para máquina de lavar roupa
- ② Dormitório

Figura 5.81: Planta baixa do uso da expansão na terceira proposição. Fonte: Autor, 2023.

Para a quarta simulação apenas um módulo foi proposto por meio do *script* desenvolvido. A expansão fica localizada aos fundos do lote, e tem como propósito funcionar como dormitório. Com o posicionamento da expansão nos fundos, os moradores podem criar um espaço para a mesa de refeições. Este espaço, delimitado em amarelo na figura 5.82, pode ser construído, caso o morador deseje, com métodos convencionais (alvenaria ou madeira) e fechado com portas de vidro que permitam o acesso ao pátio, a ventilação natural quando aberta e a iluminação natural. Outra possibilidade é apenas cobrir o espaço entre a pré-existência e o módulo, criando uma varanda. Na figura 5.83, se tem a planta baixa correspondente a expansão. O pátio interno possibilita que os dois quartos, o banheiro e a área para mesa tenham ventilação e iluminação natural.

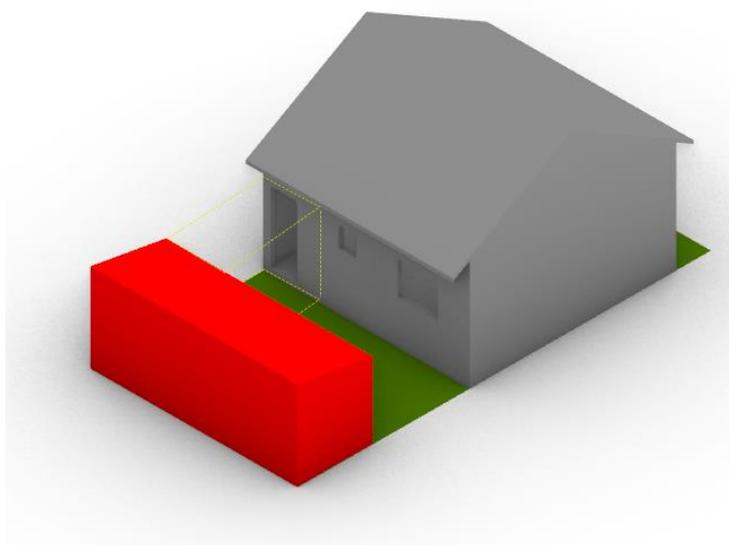


Figura 5.82: Isométrica da quarta proposição de expansão. Em amarelo projeção do volume a ser acrescentado pelo morador. Fonte: Autor, 2023.

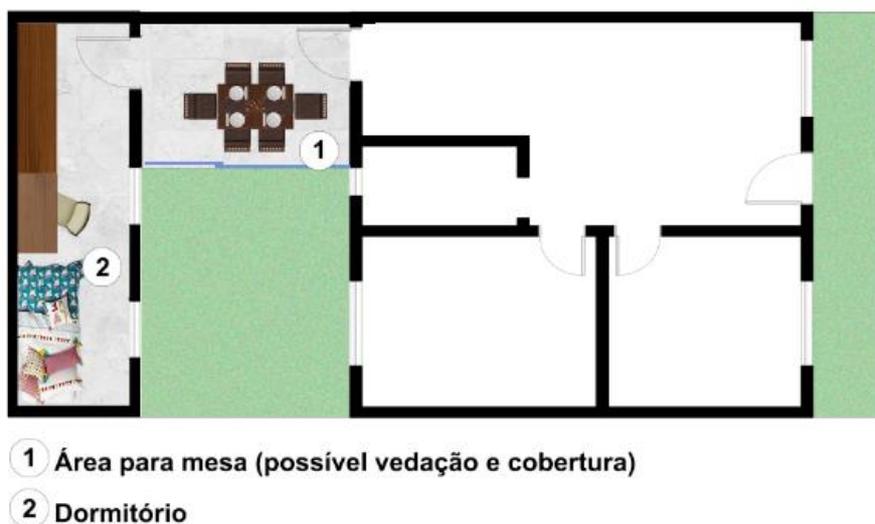


Figura 5.83: Planta baixa do uso da expansão na quarta proposição. Fonte: Autor, 2023.

Na última proposição, dois módulos foram diagramados. Esta opção se assemelha com as modificações realizadas, porém, para permitir a ventilação dos dois dormitórios, na figura 5.84, o módulo em rosa foi projetado com altura mais baixa, permitindo a instalação de uma janela alta no quarto da casa original. Assim, ambos os dormitórios apresentam ventilação e iluminação natural, ainda que com caráter reduzido. Está proposição projetual não é a mais recomendada entre as cinco, porém pode ser vista como uma solução funcional ao quesito

espaço com parâmetros de conforto natural mínimos. A planta baixa pode ser vista na figura 5.85. Ademais, um corte esquemático (figura 5.86) ilustra a diferença de alturas entre as edificações: o volume em vermelho representa a expansão com altura mais baixa, com o intuito de funcionar como dormitório.

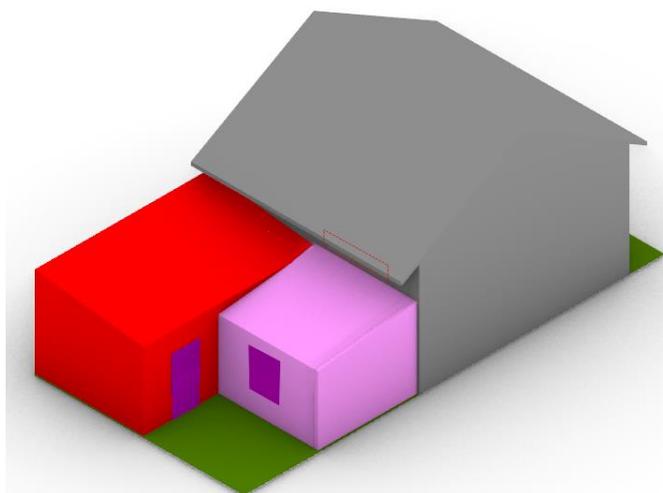


Figura 5.84: Isométrica da quinta proposição de expansão. Em vermelho o volume funciona como espaço para refeições e máquina de lavar roupa. Em rosa o volume é correspondente ao dormitório. O tracejado vermelho representa a nova janela no dormitório da pré-existência.

Fonte: Autor, 2023.

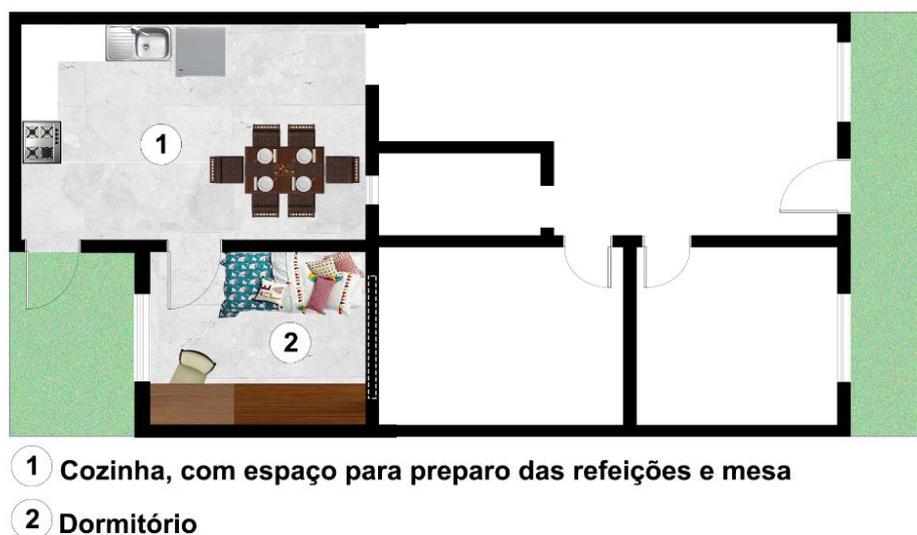


Figura 5.85: Planta baixa do uso da expansão na quinta proposição. Fonte: Autor, 2023.

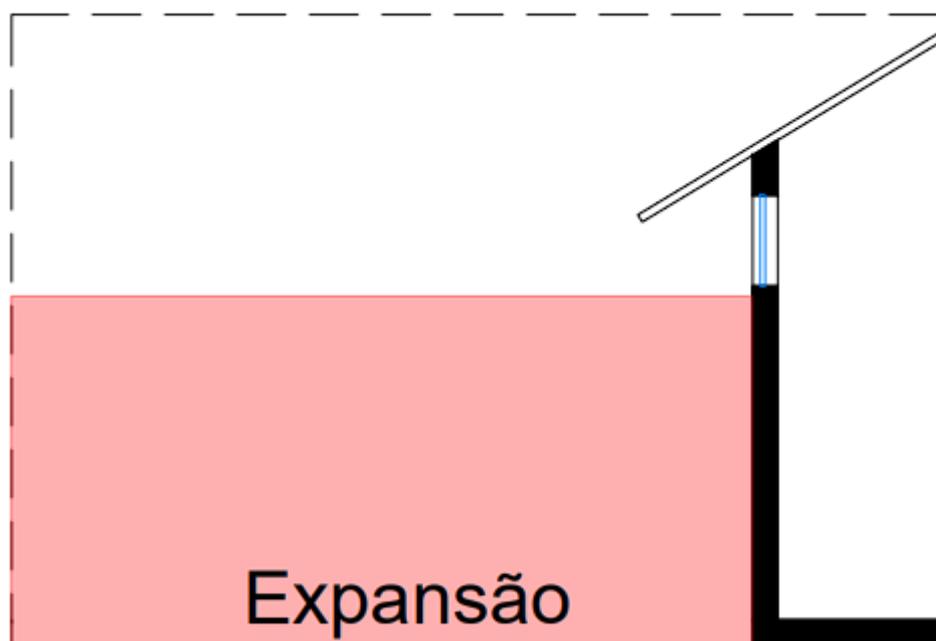


Figura 5.86: Corte esquemático. Fonte: Autor, 2023.

5.5 Aplicação e avaliação externa

Para concluir a pesquisa, e obter *feedbacks* do *script* desenvolvido, foi solicitada a participação de alguns arquitetos. Ao todo, seis arquitetos, dentre alunos do programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, e profissionais atuantes no mercado da construção civil, participaram da entrevista e puderam manipular o algoritmo para criar simulações.

Após a manipulação do *script*, três perguntas foram feitas aos arquitetos: facilidade do manuseio do *script*; potencialidade de aplicar o algoritmo em projetos de habitação de interesse social; inovação do sistema desenvolvido através do corte CNC para aplicação em HIS. Os resultados podem ser vistos nas figuras abaixo.

A figura 5.87, corresponde a facilidade com que os usuários usaram o *script* no *software* Grasshopper. Metade dos arquitetos tiveram facilidade no uso dos *sliders* numéricos para a proposição de uma expansão em HIS. Já a figura 5.88 retrata a potencialidade, na perspectiva dos profissionais, em aplicar a metodologia desenvolvida, envolvendo novas ferramentas de produção, em loteamentos de interesse social. Este questionamento trazido aos arquitetos foi

acerca de fatores como a viabilidade financeira, processo de montagem e processo de Co-Design.

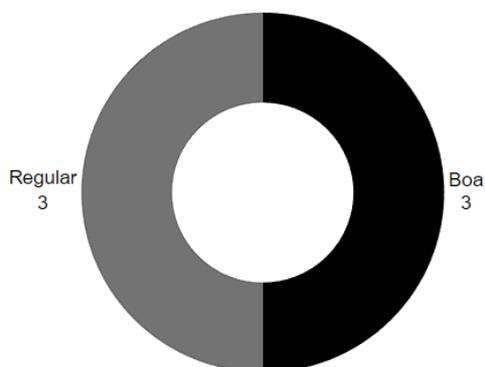


Figura 5.87: Questionamento sobre a facilidade em uso do *script* desenvolvido. Fonte: Autor, 2024.

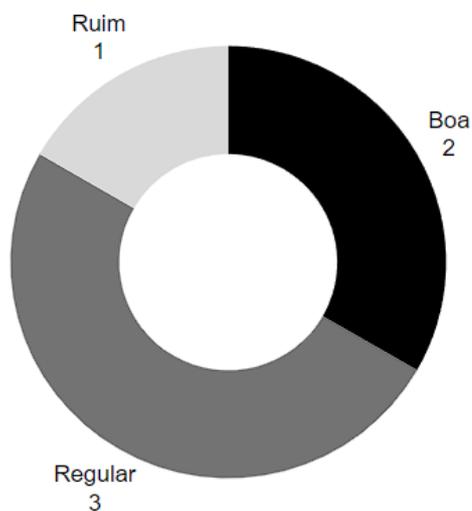


Figura 5.88: Questionamento sobre a potencialidade de aplicação do algoritmo em HIS, com participação da comunidade nas novas ferramentas de produção. Fonte: Autor, 2024.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa evidenciou fatores significativos referentes a problemática da adoção de projetos padronizados para famílias que vivem em habitações de interesse social. O perfil socioeconômico do conjunto PAC-Anglo e as necessidades arquitetônicas que os moradores deste loteamento enfrentam, serviram para embasar a problemática deste trabalho. Os dados mostram que a maior parte das famílias são nucleares, expandidas e monoparentais expandidas. Grande parte das composições familiares que residem nas moradias são composta por mais membros do que o projeto foi pensado. Tal fator leva com que os quartos, já pequenos, sejam compartilhados por mais que duas pessoas. Como consequência, expansões sem acompanhamento técnico são realizadas, na tentativa de suprir um problema. Algumas moradias ainda abrigam comércios como fonte de renda.

A pesquisa sobre fabricação digital apontou que a mesma permite inovação e respostas aos processos de customização em massa similares aos projetos feitos com os princípios da produção em massa. Os artefatos produzidos mediante a implementação das novas tecnologias no setor construtivo beneficiam os usuários com soluções rápidas e menos onerosas. Com isto, as potencialidades do uso do corte CNC em chapas de madeira ou compensado podem aprimorar a qualidade de vida, ao adaptar HIS, que não são projetos pensados para as necessidades de cada núcleo familiar.

Para o desenvolvimento do algoritmo, no primeiro momento os parâmetros relacionados a flexibilização da moradia foram identificados, com o intuito de auxiliar na elaboração do *script* paramétrico. Após a elaboração do objeto de estudo, a compatibilização e o processo de documentação foram analisados por meio de ferramentas *Building Information Modeling*. Posteriormente, como resultado, simulações em uma residência que sofreu com o processo de expansão realizado pelos moradores permitiu a validação e exemplificação do *script*.

O uso do *script* desenvolvido permite que projetistas manipulem as necessidades de expansões de famílias que residem em residências de interesse social de forma ágil. O artefato desenvolvido mostra visualmente aos moradores leigos uma simulação tridimensional da construção que poderá vir a

ser feita. O responsável pela manipulação gera possibilidades de cômodos, bem como possíveis problemas relacionados a execução, ventilação e insolação. As peças e componentes estruturais são automaticamente geradas pelo *software*.

Para que o *script* desenvolvido possa ser implementado em comunidades carentes, uma cadeia deve ser pensada: ações extensionistas e de capacitação devem ser levadas às comunidades, mostrando as potencialidades do sistema construtivo e da importância do acompanhamento técnico; capacitação dos profissionais que irão manipular o algoritmo; participação de universidades e empresas parceiras; uma cadeia capaz de englobar fábricas e empresas com o maquinário de corte CNC, em uma parceria com os órgãos públicos.

Ademais, com esta pesquisa ficou evidenciado que o uso de ferramentas BIM, capazes de gerar maiores otimizações aos projetistas, quando associadas ao desenho paramétrico e um sistema construtivo diferente do convencional, apresentam falhas.

O fluxo de trabalho, ao associar as duas ferramentas, se torna confuso. A figura 6.1 representa uma diagramação deste ciclo. Para conciliar os programas, o projetista deve fazer uso simultâneo de ambos. Componentes básicos são inseridos no Grasshopper, enquanto manipulações mais complexas e ajustes devem ser feitos no ArchiCad. Após estas modificações, o profissional responsável deve voltar ao programa de desenho paramétrico para fazer mais modificações.

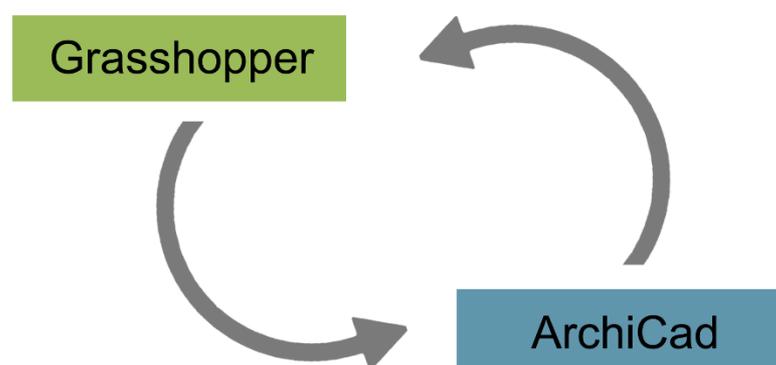


Figura 6.1: Ciclo de interações simultâneas de projeto entre Grasshopper e ArchiCad. Fonte: Autor, 2023.

Ademais, outro ponto negativo encontrado é correlatado com a limitação do sistema construtivo. Apesar de ser possível modificar o material a ser aplicado em um determinado componente, o sistema de execução ainda se torna um delimitador. Uma moradia construída a partir do corte CNC é estruturada por meio de pórticos, chapas de madeira ou compensado e encaixes. O *plugin* de interoperabilidade não permite a criação dos pórticos nem a confecção dos encaixes das peças.

A escolha de uma ferramenta de desenho paramétrico para a concepção dos módulos expansíveis foi feita pela praticidade. Por meio da modificação de *sliders* numéricos o projetista consegue manipular a forma, tanto da pré-existência, quanto da expansão, de maneira rápida e pouco trabalhosa. O algoritmo desenvolvido já proporciona a estrutura, peças, encaixes e planificações automáticas.

Outro ponto que vale ser mencionado são as análises de insolação: a versão 6 do Rhino Grasshopper teve que ser atualizada, pois problemas no instalador da extensão, responsável por análises climáticas, foram surgindo. Um fator negativo, pois o *software* é pago, necessitando de verba para sua aquisição. A versão 6 pouco se difere da 7, podendo ser um gasto não justificável.

Acerca das necessidades arquitetônicas, a comunidade deixa evidente dormitórios como um dos pontos abordados. Através da atividade de Co-Design os moradores puderam realizar modificações conforme seus anseios. Alguns conflitos funcionais, que para profissionais podem ser empecilhos, quando trazidos para comunidades mais carentes, não são vistos como problemas. Como exemplo, acessar o banheiro e pátio por meio de um dormitório: para a família é algo cotidiano, visto que a atual situação é semelhante ou pior.

Uma das dificuldades enfrentadas na pesquisa foi a participação ativa da comunidade. Poucos moradores se dispuseram a participar das pesquisas e atividades. Quando haviam mais atividades de extensão na comunidade, mutirões de entrevistas e oficinas, havia maior colaboração, pois era perceptível que tais atividades trariam melhorias para aquela comunidade. Ao trabalhar de forma mais isolada, como foi o caso da atividade de Co-Design, a participação dos moradores foi pouca e sem muito interesse. Porém, mesmo uma simples atividade que permita ao morador modificar sua residência já traz a troca de

conhecimento entre ele e o profissional, bem como aumenta seu empoderamento e capacidade de questionar soluções que antes poderiam ser consideradas aceitáveis.

Acerca das limitações, alguns pontos podem ser explorados em pesquisas futuras: compatibilização com programas BIM e integração do sistema de Co-Design, e novas técnicas construtivas às comunidades de HIS. A compatibilização com ferramentas de *Building Information Modeling* devem permitir o rápido manuseio da forma, e possibilitar ao morador ter uma compreensão em planta baixa da disposição funcional da residência. Mesmo que o intuído do residente seja a construção com técnicas convencionais, ele será capaz de observar e analisar hipóteses e soluções funcionais relacionadas a expansão. Acerca do segundo ponto, ainda faltam atividades que levem informação às comunidades. Seja sobre novos sistemas construtivos ou *softwares* que podem ser usados em habitações de interesse social. Ações extensionistas podem instigar os moradores. Estas ações podem partir de escalas menores, como a composição de pequenos mobiliários fabricados digitalmente (abajures, mesas, prateleiras, dentre outros).

Após a realização da atividade de Co-Design com moradores do loteamento Anglo, ficou evidenciada que esta pesquisa tem um caráter capaz de construir uma base para posteriormente levar as novas tecnologias ao canteiro de obra. A difícil participação dos moradores mostrou que para atingir objetivos maiores, como a proposição de módulos arquitetônicos fabricados por meio do corte CNC, objetos em escala menor devem ser introduzidos antes, como mobiliários e objetos de uso cotidiano. A introdução vai permitir a difusão do conhecimento e instigar as potencialidades em maior escala.

A pesquisa desenvolvida poderá servir de base para que futuros pesquisadores aprimorem o *script*, com o intuito de ser difundido em diversos loteamentos de HIS espalhados pelo país. Outro ponto que pode ser beneficiado com esta pesquisa, é a criação de sites, aplicativos e plataformas de customização de residências para a moradias de interesse social. Vale ressaltar a importância do arquiteto em tais comunidades. Os avanços da tecnologia podem proporcionar que profissionais da construção civil alcancem mais famílias com problemas habitacionais, buscando trazer soluções aos problemas vivenciados.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Maria Do Carmo. Participação Popular nas Políticas Públicas. **Instituto Pólis**, [S. l.], p. 126, 2006.

ARAGHI, Salman Khalili-Araghi. **Understanding Customers' Behavioral Intention toward Dimensional Customization System**. 2017. [S. l.], 2017. DOI: 10.11575/PRISM/28559. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14639947.2011.564813><http://dx.doi.org/10.1080/15426432.2015.1080605><https://doi.org/10.1080/15426432.2015.1080605>http://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/abaj102&div=144&start_page=26&collectio.

ARANTES, Pedro Fiori. Arquitetura na era digital-financeira: Desenho, Canteiro e Renda da Forma. [s.l.] : Editora 34, 2012.

BACKHEUSER, Luiz Alberto; CAMPOS, Paulo Fonseca De. Algoritmos participativos: Metodologia para a customização arquitetônica. **Revista V!rus**, [S. l.], n. 20, 2020. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus20/?sec=4&item=10&lang=pt>.

BACKHEUSER, Luiz Alberto Fresl; CAMPOLONGO, Eduardo Luisi Paixão Silva. Experimentação prática de encaixes em fabricação digital subtrativa. *In: XXI CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2017*, Concepción. **Anais [...]**. Concepción p. 1–5.

BARBOSA, Wilson. **Do projeto à fabricação: um estudo de aplicação da FABRICAÇÃO DIGITAL no processo de produção arquitetônica**. 2013. Unicamp, [S. l.], 2013.

BENROS, Deborah; GRANADEIRO, Vasco; DUARTE, Jose; KNIGHT, Terry. Automated design and delivery of relief housing: The case of post-earthquake haiti. **Designing Together: CAADFutures 2011 - Proceedings of the 14th International conference on Computer Aided Architectural Design**, [S. l.], p. 247–264, 2011.

BLECKER, Thorsten; ABDELKAFI, Nizar. Complexity and variety in mass customization systems: Analysis and recommendations. **Management Decision**, [S. l.], v. 44, n. 7, p. 908–929, 2006. DOI: 10.1108/00251740610680596.

BONATTO, Fernanda Sbaraini; MIRON, Luciana Inês Gomes; FORMOSO, Carlos Torres. Avaliação de empreendimentos habitacionais de interesse social

com base na hierarquia de valor percebido pelo usuário. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 67–83, 2011. DOI: 10.1590/s1678-86212011000100006.

BONDUKI, Nabil Georges. **Origens da habitação social no Brasil: Arquitetura moderna, Lei do Inquilinato e difusão da casa própria**. [s.l.] : Estação Liberdade, 2017.

BONVOISIN, Jérémy; HALSTENBERG, Friedrich; BUCHERT, Tom; STARK, Rainer. A systematic literature review on modular product design. **Journal of Engineering Design**, [S. l.], v. 27, n. 7, p. 488–514, 2016. DOI: 10.1080/09544828.2016.1166482.

BOREL, Mariana. **POLÍTICAS PÚBLICAS DE ASSESSORIA TÉCNICA EM ARQUITETURA E URBANISMO: práticas na direção da autonomia** **POLÍTICAS PÚBLICAS DE ASSESSORIA TÉCNICA EM ARQUITETURA E URBANISMO : práticas na direção da autonomia** Belo Horizonte Universidade Federal de Minas Gerais, , 2020.

BORGES, Marina Ferreira. Fabricação digital no Brasil e as possibilidades de mudança de paradigma no setor da construção civil. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 79–91, 2016. DOI: 10.1590/s1678-86212016000400106.

BRANDÃO, Douglas Queiroz. **Habitação Social Evolutiva: Aspectos construtivos, diretrizes para projetos e proposição de arranjos espaciais flexíveis**. Cuiabá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, 2006.

BRANDÃO, Douglas Queiroz. Disposições técnicas e diretrizes para projeto de habitações sociais evolutivas. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 73–96, 2011. DOI: 10.1590/s1678-86212011000200006.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Portaria Nº 660, de 14 de novembro de 2018** Brasília, 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803.

BRASIL. **Relatório de Avaliação Programa Minha Casa Minha Vida**, 2020.

BROD, Gustavo Alcantara; SILVA, Adriane Borda Almeida Da. CONHECIMENTOS ENVOLVIDOS NO ENSINO/APRENDIZAGEM DE DESENHO PARAMÉTRICO EM CONTEXTO DE ARQUITETURA. In: XV ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO UFPEL 2011, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.]

BURRY, Jane; BURRY, Mark. **The New Mathematics of Architecture**. 1ª ed. [s.l.] : Thames and Hudson, 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha Casa Minha Vida - Habitação Urbana**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 14 jun. 2021a.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Casa Verde e Amarela - Habitação Urbana - Recursos FGTS**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/casa-verde-e-amarela/urbana/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 14 jun. 2021b.

CAMPOLONGO, Eduardo Luisi Paixão Silva; VINCENT, Charles C. Optimization of a constructive system of subtractive digital fabrication: Prototypes and tests of a fitting system. *In: XXII CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2018*, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos p. 1–8. DOI: 10.5151/sigradi2018-1435.

CARDOSO, Fernanda Simon; LOPES, João Marcos de Almeida. Assessoria e Assistência Técnica para Habitação de Interesse Social: do discurso à construção da prática profissional. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 1–24, 2022. DOI: 10.22296/2317-1529.rbeur.202210pt.

CELANI, Gabriela. Algorithmic Sustainable Design. **Vitruvius**, [S. l.], p. 4–7, 2011. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/index.php/revistas/read/resenhasonline/10.116/3995Celani>.

CELANI, Gabriela; CYPRIANO, Débora; GODOI, Giovana DE; VAZ, Carlos Eduardo V. A Gramática Como De Análise E Arquitetura. **Conexão – Comunicação e Cultura, UCS, Caxias do Sul**, [S. l.], v. 5, n. 10, p. 181–197, 2006.

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos; PUPO, Regiane. Sistemas Generativos de Projeto: Classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 22–39, 2013. Disponível em: <https://rbeg.net/artigos/artigo2.pdf>.

CELANI, Maria Gabriela Caffarena; VAZ, Carlos Eduardo Verzola. Scripts em CAD e ambientes de programação visual para modelagem paramétrica: uma comparação do ponto de vista pedagógico. *In: V TIC 2011*, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.] p. 13.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael. **Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2. ed. [s.l.] : Wiley, 2011.

FabLab Livre SP. [s.d.]. Disponível em: <https://www.fablablivresp.prefeitura.sp.gov.br/o-que-e>. Acesso em: 7 jul. 2021.

FAGUNDES, Cristian Vinicius Machado. **SISTEMA GENERATIVO COMO FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO EXPLORATÓRIO DO DESIGN DE PRODUTO** Porto Alegre Universidade Federal do Rio Grande do Sul, , 2019.

GHANNAD, Pedram; LEE, Yong Cheol. Automated modular housing design using a module configuration algorithm and a coupled generative adversarial network (CoGAN). **Automation in Construction**, [S. l.], v. 139, n. March 2021, 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104234.

GHARAVI ALKHANSARI, Maryam. Toward a convergent model of flexibility in architecture. **Journal of Architecture and Urbanism**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. 120–133, 2018. DOI: 10.3846/jau.2018.6241.

GRATON, Fernando Gargantin; MANDOLA, Juliana Bambini; IMAI, César. Ferramenta Físico-Digital No Auxílio Ao Co-Design Em Ambientes De Saúde: Uma Simulação Exploratória Physical-Digital Tool To Support Co-Design in Healthcare Environments: an Exploratory Simulation Abstract: **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S. l.], v. 17, n. 4, 2022.

GRIZ, Cristiana; QUEIROZ, Natália; NOME, Carlos. Edificação Modular: Estudo de caso e protótipo de um sistema construtivo de código aberto utilizando prototipagem rápida. *In*: XXI CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2017, Concepción. **Anais [...]**. Concepción p. 1–8. DOI: 10.5151/sigradi2017-042.

HAMID, Montasser; TOLBA, Osama; EL ANTABLY, Ahmed. BIM semantics for digital fabrication: A knowledge-based approach. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 91, n. October 2016, p. 62–82, 2018. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.02.031. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.031>.

HART, Christopher. Mass customization: Conceptual underpinnings, opportunities and limits. **International Journal of Service Industry Management**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 36–45, 1995. DOI: 10.1108/09564239510084932.

HE, Rui; LI, Mingkai; GAN, Vincent J. L.; MA, Jun. BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 278, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123505.

HEIDARI, A.; SAHEBZADEH, S.; SADEGHFAR, M.; TAGHVAEI, Erfanian. PARAMETRIC ARCHITECTURE IN IT'S SECOND PHASE OF EVOLUTION A.

Journal of Building Performance, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 13–20, 2018.

HENTSCHKE, Cynthia dos Santos. **Método para identificar atributos customizáveis na habitação baseado no modelo conceitual Cadeia Meios-Fim**. 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2014.

HENTSCHKE, Cynthia dos Santos; TILLMANN, Patricia André; FORMOSO, Carlos Torres; MARTINS, Vera Lúcia Milani; ECHEVESTE, Marcia Elisa Soares. Using conjoint analysis to understand customer preferences in customized low-income housebuilding projects. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 247–262, 2020. DOI: 10.1590/s1678-86212020000100372.

HENTSCHKE, Cynthia S.; FORMOSO, Carlos T.; ROCHA, Cecília G.; ECHEVESTE, Marcia E. S. A method for proposing valued-adding attributes in customized housing. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 9244–9267, 2014. DOI: 10.3390/su6129244.

HOLMSTRÖM, Jan; KETOKIVI, Mikko; HAMERI, Ari Pekka. Bridging practice and theory: A design science approach. **Decision Sciences**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009. DOI: 10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x.

IMAI, C. O processo projetual e a percepção dos usuários: o uso de modelos tridimensionais físicos na elaboração de projetos de habitação social. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 105–118, 2009. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/7410>. Acesso em: 26 fev. 2024.

JIAO, Jianxin; MA, Qin Hai; TSENG, Mitchell M. Towards high value-added products and services: Mass customization and beyond. **Technovation**, [S. l.], v. 23, n. 10, p. 809–821, 2003. DOI: 10.1016/S0166-4972(02)00023-8.

JORGE, Liziane de Oliveira; MEDVEDOVSKY, Nirce Saffer; SANTOS, Synthia; JUNGES, Paula; SILVA, Fabiola Nunes Da. A transformação espontânea das unidades habitacionais do loteamento Anglo em Pelotas/ RS: Reflexões sobre a urgência do conceito de Habitação Social Evolutiva. **Cadernos Proarq**, [S. l.], n. 29, p. 122–153, 2017. Disponível em: <http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/en/paginas/edicao/29>.

JORGE, Liziane de Oliveira; SCHERER, Rafaela; MEDVEDOVSKI, Nirce Saffer; NOGUEIRA, Emily Schiavinattoo; XAVIER, Aline de Moura Ribeiro. AÇÃO DE EXTENSÃO – CADERNO DE RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS PARA HABITAÇÃO SOCIAL EVOLUTIVA. **EXPRESSA EXTENSÃO**, [S. l.], v. 3, p. 150–163, 2020.

KAPP, Silke; CARDOSO, Adauto Lúcio. **Marco teórico da Rede Finep de Moradia e Tecnologia Social – Rede Morar T.S.Risco: Revista de Pesquisa**

em **Arquitetura e Urbanismo (Online)**, 2013. DOI: 10.11606/issn.1984-4506.v0i17p94-120.

KERKHOFF, Hélien Vanessa. **Mobiliário para Habitação de Interesse Social: conflitos, percepção e satisfação dos usuários**. 2017. Universidade Federal de Pelotas, [S. l.], 2017.

KNIGHT, Terry. **Palestra sobre “Shape Grammars: visual computing”, proferida na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**. Campinas

KNIGHT, Terry; STINY, George. Classical and non-classical computation. **Information Technology**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 355–372, 2001. DOI: 10.1006/jaer.2001.0737.

KOLAREVIC, Branko. Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. **19th eCAADe Conference Proceedings**, [S. l.], n. Architectural Information Management, p. 117–123, 2001.

KOLAREVIC, Branko; DUARTE, José Pinto. **Mass Customization and Design Democratization**. [s.l.] : Routledge, 2019.

KOWALTOWSKI, Doris K.; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PETRECHE, João R. D.; FABRÍCIO, Márcio M. **Processo de Projeto em Arquitetura: da teoria à tecnologia**. 1ª ed. [s.l.] : Editora Oficina de Textos, 2011.

LACERDA, Daniel Pacheco; DRESCH, Aline; PROENÇA, Adriano; ANTUNES JÚNIOR, José Antônio Valle. **Design Science Research: Método de pesquisa para a engenharia de produção** Gestao e Producao São Carlos, 2013. DOI: 10.1590/S0104-530X2013005000014.

LOCATELLI, Daniel; DE PAULA, Adalberto; OMENA, Thiago Henrique; LARA, Arthur. High-Low as expression of the Brazilian digital fabrication. [S. l.], p. 718–723, 2018. DOI: 10.5151/sigradi2018-1797.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995. DOI: 10.1016/0167-9236(94)00041-2.

MENDONÇA, David; PASSARO, Andrés; HENRIQUES, Gonçalo Castro. WikiHouse: A Generative and parametric tool to customize curved geometries. In: XXII CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2018, São Carlos. **Anais** [...]. São Carlos p. 1–5. DOI: 10.5151/sigradi2018-1785.

MITCHELL, W. J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 127–150, 1975. DOI: 10.1068/b020127.

MORORÓ, Mayra Soares de Mesquita; ROMCY, Neliza Maria e Silva; CARDOSO, Daniel Ribeiro; NETO, José de Paula Barros. Proposta paramétrica para projetos sustentáveis de Habitação de Interesse Social em ambiente BIM. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 27–44, 2016. a.

MORORÓ, Mayra Soares de Mesquita; ROMCY, Neliza Maria e Silva; CARDOSO, Daniel Ribeiro; NETO, José de Paula Barros. Proposta paramétrica para projetos sustentáveis de Habitação de Interesse Social em ambiente BIM. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 27–44, 2016. b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000400103>.

NARDELLI, Eduardo Sampaio. Fabricação Digital na Produção de Habitação de Interesse Social no Brasil. *In*: XVIII CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2014, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 350–353. DOI: 10.5151/despro-sigradi2014-0070. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2014_291.content.pdf.

NARDELLI, Eduardo Sampaio; BACKHEUSER, Luiz Alberto Fresl. Sistema Wikihouse aplicado ao Programa Minha Casa Minha Vida. *In*: XX CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2016, Buenos Aires. **Anais [...]**. Buenos Aires p. 1–4.

NG, Ming Shan; GRASER, Konrad; HALL, Daniel Mark. Digital fabrication, BIM and early contractor involvement in design in construction projects: a comparative case study. **Architectural Engineering and Design Management**, [S. l.], p. 1–17, 2021. DOI: 10.1080/17452007.2021.1956417. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1956417>.

NOGUCHI, Masa; HERNÁNDEZ-VELASCO, Carlos R. A “mass custom design” approach to upgrading conventional housing development in Mexico. **Habitat International**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 325–336, 2005. DOI: 10.1016/j.habitatint.2003.11.005.

NOME, Carlos A.; QUEIROZ, Natália. Casa Nordeste: Project Manual. [S. l.], n. November, 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.23995.85285.

NONELL, Juan BaSSegoda. La construcción tradicional en la arquitectura de

Gaudí. **Informes de la Construcción**, [S. l.], v. 42, n. 408, p. 9–14, 1990. DOI: 10.3989/ic.1990.v42.i408.1424.

NUNES; Fabiano de Lima; VINÍCIUS, Mauro; ANTUNES, Júnior; VALLE, José Antônio. Modularização - Conceitos , Abordagens. **Tecnologia e Tendências**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 1–22, 2014.

PAIO, A. Contemporary living patterns in mass housing in Europe: From collaborative design to digital fabrication. **First OIKONET International Conference GLOBAL DWELLING**, [S. l.], 2014. DOI: 10.13140/2.1.5002.0163.

PASSARO, Andrés; ROHDE, Clarice. **Casa Revista: arquitetura de fonte aberta** **Gestão e Tecnologia de Projetos** São Carlos, 2016. DOI: 10.5151/despro-sigradi2015-30043.

PEÑA, Arlene Ramírez; BRANDÃO, Douglas Queiroz. Habitações de Interesse Social evolutivas: análise de projetos flexíveis quanto à construtibilidade no momento de ampliação. *In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2014*, Maceió. **Anais** [...]. Maceió p. 1993–2002. DOI: 10.17012/entac2014.248.

PEREIRA, Stehling Miguel; COELI, Ruschel Regina. A sustainable process for mass customization in the woodworking industry. **Sustainable Construction Materials and Technologies**, [S. l.], v. 1, n. January, 2019. DOI: 10.18552/2019/idscmt5039.

PESSOA, Sofia; GUIMARÃES, Ana Sofia. The 3D printing challenge in buildings. **E3S Web of Conferences**, [S. l.], v. 172, p. 1–7, 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202017219005.

PILLER, Frank T. Mass Customization : Reflections on the State of the Concept Mass Customization : Reflections on the State of the Concept. [S. l.], n. October 2004, 2017. DOI: 10.1007/s10696-005-5170-x.

PINE, Joseph. **Mass Customization: The New Frontier in Business Competition**. 1ª ed. [s.l.] : Harvard Business Review Press, 1993.

PINTO, Yuri Assis; PUPO, Regiane. Explorando a ferramenta de programação em design: um estudo sobre grasshopper. *In: XIX CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2015 2015*, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 686–690. DOI: 10.5151/despro-sigradi2015-110392.

PIRES, Janice de Freitas; PEREIRA, Alice Theresinha Cybis. Modelagem Paramétrica da Geometria Complexa de Estruturas Regenerativas na

Arquitetura. *In*: CONGRESSO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2017, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 64–71. DOI: 10.5151/sigradi2017-011.

PRIAVOLOU, Christina; NIAROS, Vasilis. Assessing the Openness and Conviviality of Open Source Technology: The Case of the WikiHouse. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 11, n. 17, p. 1–16, 2019. DOI: 10.3390/su11174746.

REDAZIONE. **RICERCHE di Luigi Moretti in ARCHITETTURA.Studio**. 2015. Disponível em: <http://www.arcduecitta.it/2015/12/studio-di-ricerche-di-luigi-moretti-in-architettura/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

REIS, Antônio Tarcísio da Luz; LAY, Maria Cristina Dias. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 99–119, 2010. DOI: 10.1590/s1678-86212010000300007.

ROBERTSON, David; ULRICH, Karl. Planning for Product Platforms. **Sloan management review**, [S. l.], 1998. Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/article/planning-for-product-platforms/>.

ROCHA, Cecília Gravina Da. **A conceptual framework for defining customisation strategies in the house- building sector**. 2011. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2011.

RUBIN, Graziela Rossatto; BOLFE, Sandra Ana. O Desenvolvimento Da Habitação Social No Brasil. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 201–213, 2014. DOI: 10.5902/2179460x11637.

SALVADOR, Fabrizio; HOLAN, Pablo Martin De; PILLER, Frank. Cracking the Code of Mass Customization | MIT Sloan Management Review. **MIT Sloan Management Review**, [S. l.], v. 50, n. July, p. 71–78, 2009.

SANTOS, Laini; MARTINS, Isabela. Políticas habitacionais e a segregação socioespacial no Brasil: uma análise à luz do programa Minha Casa Minha Vida. *In*: II SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA 2019, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo p. 436–440. DOI: 10.5151/singeurb2019-61.

SILVA, Adriane Borda Almeida Da; NUNES, Cristiane dos Santos; MEDVEDOVSKI, Nirce Saffer. ENTRE O VIRTUAL E O TANGÍVEL Parametria de mobiliário para promover processos colaborativos em contextos de habitação de interesse social. **Revista Pixo**, [S. l.], v. 5, n. 17, p. 194–213, 2021.

SPERLING, David M.; HERRERA, PABLO C. **Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America**. SÃO CARLOS: Instituto de Arquitetura e Urbanismo, 2015.

STINY, G.; MITCHELL, W. J. The Palladian grammar. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 5–18, 1978. DOI: 10.1068/b050005.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.

ULRICH, Karl. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research Policy**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 419–440, 1995. DOI: 10.1016/0048-7333(94)00775-3.

UNCREATED. **WikiLab**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.uncreated.net/?page=wikilab>. Acesso em: 28 jul. 2021.

VECCHIA, Luisa Rodrigues Felix Dalla. **The use of Mass Customization to Improve Environments in Social Housing Neighbourhoods in Brazil**. 2021. University of Calgary, [S. l.], 2021.

VECCHIA, Luisa Rodrigues Felix Dalla. **SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA PARA A MELHORIA DA QUALIDADE PROJETUAL DE AMPLIAÇÕES DE CASAS NO CONTEXTO DE HIS**Gestão & Tecnologia de Projetos São Carlos, 2022.

VERKERK, Nina M. **A general understanding of shape grammar for the application in architectural design** Faculty of Architecture, Urbanism and Building Sciences, the Netherlands, , 2014.

YIN, X.; LUI, H.; CHEN, Y.; M AL-HUSSEIN. Building information modelling for off-site construction: review and future directions. **ConStruct**, [S. l.], p. 72–91, 2019.

ZALITE, Marcela Gomes de Albuquerque; IMAI, César. O modelo físico ajustável para a identificação das prioridades dos usuários de habitação de interesse social. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 20-31, mar. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649670>>. Acesso em: 09 set. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i1.8649670>

Anexos

Anexo I – Questionário de Diagnóstico Rápido Urbano Participativo PAC- Anglo

TERMO DE CESSÃO DE DIREITOS PARA O USO DE PUBLICAÇÕES

Eu, _____, inscrito(a) no CPF sob nº: _____ e portador(a) do RG nº: _____, residente e domiciliado(a) no loteamento PAC ANGLO, na cidade de Pelotas/RS, cedo, total e definitivamente, a utilização de meu nome e dados do diagnóstico, relacionados ao estudo "Aprendendo com o usuário". Estratégias de transformação do espaço habitacional". Estando ciente de que estou sendo convidado a participar voluntariamente do mesmo. Declaro, ainda, que o faço sem qualquer onerosidade, ou seja, de forma gratuita.

Nome e assinatura

DRUP - DIAGNÓSTICO RÁPIDO URBANO PARTICIPATIVO PAC ANGLO 2021

COR		QUADRA/ZONA	N° Questionário	
ENDEREÇO - Rua:		n° Casa:		
		n° Sanep:		
Data da entrevista: / /				
Nome do entrevistador		Nome do entrevistado		
LOTEAMENTO				
Pontos positivos				
1. 2. 3. 4. 5.				
Pontos negativos				
1. 2. 3. 4. 5.				
UNIDADE HABITACIONAL				
Pontos positivos				
1. 2. 3. 4. 5.				
Pontos negativos				
1. 2. 3. 4. 5.				

QUESTIONÁRIO	CONFORTO				
Como você avalia o conforto na sua casa no verão?	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
Como você avalia o conforto na sua casa no inverno?	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
Como você faz para diminuir a sensação de calor da sua casa no verão? (Atitudes e equipamentos)					
Como você faz para diminuir a sensação de frio da sua casa no inverno? (Atitudes e equipamentos)					

QUESTIONÁRIO	RESÍDUOS SÓLIDOS					
Como você avalia o serviço de recolhimento de lixo no loteamento PAC ANGLO?	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	
Você sabe quantas vezes por semana ocorre o recolhimento de lixo no Lot. PAC ANGLO?					sim	não
Você costuma fazer separação de lixo? Reciclável e orgânico?					sim	não
Onde você descarta (coloca) o lixo da sua residência?						
Você se interessaria por uma oficina sobre manejo (separação) e destinação final de resíduos (lixo)?					sim	não

QUESTIONÁRIO	PROJETO 3A - ATHIS	
Você sabe que a Universidade (UFPel) e a ONG (AK0) está realizando um projeto na comunidade com painéis térmicos (módulos com caixinhas de leite) e de portas?	sim	não
Você possui interesse em aprender a fazer os módulos para instalar na sua casa?	sim	não
Você possui recursos para compra da madeira necessária para os módulos (736,31)?	sim	não
Você possui interesse em aprender a fazer portas para instalar na sua casa? (115,00)	sim	não
Você possui interesse de um auxílio profissional na área de projeto e construção para sua casa?	sim	não
Qual ou quais são as suas prioridades de projeto e construção na sua casa?		
1.		
2.		
3.		

QUESTIONÁRIO	ASSISTÊNCIA JURÍDICA	
Você possui interesse de um auxílio profissional na área jurídica?	sim	não
Qual ou quais são as suas prioridades?		
1.		
2.		
3.		

Nome entrevistado:		Cor:
Rua:		n° casa:
Caracterização da edificação - usos	uso () residencial () comercial () misto	
Quantos cômodos tem a casa	1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6 () 7 () 8 () 9 () 10 ()	

AMBIENTE	
TETO	() não possui forro () forro PVC () forro madeira () forro gesso ()
PAREDE	() reboco () pintura () revestimento
PISO	() contrapiso () revestimento
JANELAS	() possui completa () possui incompleta () não possui
PORTAS	() possui completa () possui incompleta () não possui
ELÉTRICA	Ponto de luz () possui () não possui () problemas
	Tomadas () possui () não possui () problemas
	Já teve curto ou princípio de incêndio () sim () não
	Equipamentos elétricos: () ventilador () ar cond. () estufa ()
HIDRAULICA	Ponto de água () possui () não possui () problemas
	Ponto de esgoto () possui () não possui () problemas
	Lavatório ou pia () possui () não possui () problemas
	Bacia sanitária () possui () não possui () problemas
	Chuveiro () possui () não possui () problemas
OBSERVAÇÃO	Você identifica algum problema grave além dos já citados?
ACÚMULO RESÍDUOS	() ótimo () bom () regular () ruim () péssimo
LIMPEZA	() ótimo () bom () regular () ruim () péssimo

AMBIENTE	
TETO	() não possui forro () forro PVC () forro madeira () forro gesso ()
PAREDE	() reboco () pintura () revestimento
PISO	() contrapiso () revestimento
JANELAS	() possui completa () possui incompleta () não possui
PORTAS	() possui completa () possui incompleta () não possui
ELÉTRICA	Ponto de luz () possui () não possui () problemas
	Tomadas () possui () não possui () problemas
	Já teve curto ou princípio de incêndio () sim () não
	Equipamentos elétricos: () ventilador () ar cond. () estufa ()
HIDRAULICA	Ponto de água () possui () não possui () problemas
	Ponto de esgoto () possui () não possui () problemas
	Lavatório ou pia () possui () não possui () problemas
	Bacia sanitária () possui () não possui () problemas
	Chuveiro () possui () não possui () problemas
OBSERVAÇÃO	Você identifica algum problema grave além dos já citados?
ACÚMULO RESÍDUOS	() ótimo () bom () regular () ruim () péssimo
LIMPEZA	() ótimo () bom () regular () ruim () péssimo

Nome entrevistado:	Cor:
Rua:	n° casa:

ÁREA EXTERNA	<input type="checkbox"/> frontal <input type="checkbox"/> fundos <input type="checkbox"/>
Possui ampliação de cômodo	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Possui somente fechamento	<input type="checkbox"/> muro <input type="checkbox"/> cerca <input type="checkbox"/>
Possui cobertura	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Possui piso	<input type="checkbox"/> contrapiso <input type="checkbox"/> cerâmica
Elementos	<input type="checkbox"/> vegetação <input type="checkbox"/> lixeira <input type="checkbox"/> ponto de luz <input type="checkbox"/> escada/rampa <input type="checkbox"/> descida de pluvial <input type="checkbox"/>
ACÚMULO RESÍDUOS/LIXO	<input type="checkbox"/> ótimo <input type="checkbox"/> bom <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> ruim <input type="checkbox"/> péssimo
LIMPEZA	<input type="checkbox"/> ótimo <input type="checkbox"/> bom <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> ruim <input type="checkbox"/> péssimo

ÁREA EXTERNA	<input type="checkbox"/> frontal <input type="checkbox"/> fundos <input type="checkbox"/>
Possui ampliação de cômodo	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Possui somente fechamento	<input type="checkbox"/> muro <input type="checkbox"/> cerca <input type="checkbox"/>
Possui cobertura	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Possui piso	<input type="checkbox"/> contrapiso <input type="checkbox"/> cerâmica
Elementos	<input type="checkbox"/> vegetação <input type="checkbox"/> lixeira <input type="checkbox"/> ponto de luz <input type="checkbox"/> escada/rampa <input type="checkbox"/> descida de pluvial <input type="checkbox"/>
ACÚMULO RESÍDUOS/LIXO	<input type="checkbox"/> ótimo <input type="checkbox"/> bom <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> ruim <input type="checkbox"/> péssimo
LIMPEZA	<input type="checkbox"/> ótimo <input type="checkbox"/> bom <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> ruim <input type="checkbox"/> péssimo

ÁREA EXTERNA	<input type="checkbox"/> frontal <input type="checkbox"/> fundos <input type="checkbox"/>
Possui ampliação de cômodo	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Possui somente fechamento	<input type="checkbox"/> muro <input type="checkbox"/> cerca <input type="checkbox"/>
Possui cobertura	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Possui piso	<input type="checkbox"/> contrapiso <input type="checkbox"/> cerâmica
Elementos	<input type="checkbox"/> vegetação <input type="checkbox"/> lixeira <input type="checkbox"/> ponto de luz <input type="checkbox"/> escada/rampa <input type="checkbox"/> descida de pluvial <input type="checkbox"/>
ACÚMULO RESÍDUOS/LIXO	<input type="checkbox"/> ótimo <input type="checkbox"/> bom <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> ruim <input type="checkbox"/> péssimo
LIMPEZA	<input type="checkbox"/> ótimo <input type="checkbox"/> bom <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> ruim <input type="checkbox"/> péssimo

Você identifica alguma alteração de layout da habitação em relação ao projeto original?

Questionário Socioeconômico

Morador	Sexo	Idade	CD*	ESC**
Respondente				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

- () família nuclear (pai E mãe + filhos)
 () família nuclear expandida (pai E mãe + filhos+ parente)
 () família monoparental (pai OU mãe + filhos)
 () família monoparental expandida (pai OU mãe + filhos + parentes)
 () DINC (casal sem filhos)
 () coabitação (sem vínculo familiar)

Condição de propriedade: () Própria () Alugada () Cedida

Alguém da família já contraiu Covid-19? () Não () Sim. Quantos? _____

Total de vacinados na residência 1° dose: _____

Total de vacinados na residência 2° dose: _____

Renda total do domicílio: _____

Recebe algum auxílio: () Não () Sim. Qual?

Possui alguém na família que seja PNE? () Não () Sim. Quem? _____