



UFPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

FERNANDA GABRIELA DE FRANÇA GOMES

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA O ESTUDO DE ESTRATÉGIA DE
MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA PARA O CLIMA QUENTE E ÚMIDO**

BELÉM
2025

FERNANDA GABRIELA DE FRANÇA GOMES

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA O ESTUDO DE ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA PARA O CLIMA QUENTE E ÚMIDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, do Campus Universitário de Belém, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Ramos Zemero.

BELÉM
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

G633d Gomes, Fernanda Gabriela de França.
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA O ESTUDO
DE ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO
CLIMÁTICA PARA O CLIMA QUENTE E ÚMIDO / Fernanda
Gabriela de França Gomes. — 2025.
81 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Bruno Ramos Zemero
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo, Belém, 2025.

1. Habitação de Interesse Social. 2. Laboratórios
Vivos. 3. Baixo Carbono. 4. Resiliência Climática. I.
Título.

CDD 720

FERNANDA GABRIELA DE FRANÇA GOMES

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA O ESTUDO DE ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA PARA O CLIMA QUENTE E ÚMIDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, do Campus Universitário de Belém, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Data da aprovação: ____ / ____ / ____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr^o. Bruno Ramos Zemerio
Orientador — FAU/ITEC/UFPA

Prof^a. Dra. Rachel Sfair Ferreira Benzecry
Examinador 1 — FAU/ITEC/UFPA

Prof^a. Dra. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho
Examinador 2 — FEEB/ITEC/UFPA

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado forças para continuar correndo atrás dos meus objetivos.

Toda a dedicação e o esforço que tive durante essa trajetória foram, e, continuarão sendo, pela minha fortaleza: meus pais, Ana e Francisco, que nunca mediram esforços para que a educação fosse a base da minha vida e sempre acreditaram que eu seria capaz de conquistar o que desejasse, com foco e determinação. Estendo também minha gratidão ao meu irmão, Felipe, pelo incentivo constante para que eu seguisse esta carreira.

Aos meus amigos da faculdade, expresso minha sincera gratidão, por tornarem os dias mais leves com cada risada, cada almoço no “RU”, cada momento de descontração e jogos, e cada apoio nas aulas. A arquitetura é uma arte feita em conjunto e, através da convivência com vocês — Yuri, Pedro, Carla, Gustavo, Guilherme, Fhelype e João — o aprendizado dela tornou-se ainda mais completo. Agradeço também à minha amiga Sarah, que surgiu como um presente da FAU nesta jornada.

Para meus amigos de longa data, fico feliz em acompanhar o crescimento pessoal e profissional de vocês, assim como vocês acompanham o meu. Obrigada por todo o apoio, em especial às minhas meninas do Guillobel: Carla Vitória, Victória e Vitória Geovanna, presentes desde o fundamental. Aos amigos do IFPA — Alex, Milene, Paula e Laise — agradeço por terem compartilhado comigo alguns dos momentos mais importantes da minha vida, desde o ensino médio.

E, por fim, agradeço aos professores que me ensinaram a trilhar esse caminho da melhor maneira possível, e, em especial, ao meu orientador, Bruno, que sempre esteve disponível para sanar minhas dúvidas e dar o melhor direcionamento.

RESUMO

A crescente demanda por soluções habitacionais que conciliam as necessidades sociais e os desafios impostos pelas mudanças climáticas evidencia a importância de abordagens inovadoras na Habitação de Interesse Social (HIS). Nesse contexto, os laboratórios vivos (living labs) configuram-se como ambientes experimentais que integram usuários, pesquisadores e tecnologias em situações reais, com o objetivo de testar, validar e aprimorar soluções sustentáveis. Esta pesquisa investiga os avanços recentes em laboratórios vivos aplicados à habitação, com ênfase na mitigação e adaptação climática, e propõe um modelo conceitual e replicável de laboratório vivo de baixo carbono voltado ao desenvolvimento de diretrizes para projetos de habitação social resilientes ao clima. O estudo baseia-se em revisão bibliográfica, análise de sistemas construtivos híbridos e avaliação de materiais de baixo impacto ambiental, com destaque para a madeira de manejo florestal sustentável e o reaproveitamento de resíduos. A parte prática consiste na concepção de dois protótipos de baixo carbono destinados à testagem de desempenho ambiental, térmico e construtivo, desenvolvidos a partir de condicionantes climáticas de regiões de clima quente e úmido, como Belém (PA), concebidos em um ambiente universitário. Como resultado, tem-se um referencial técnico e metodológico capaz de orientar a implantação de laboratórios vivos de baixo carbono em diferentes contextos, contribuindo para políticas e práticas habitacionais mais sustentáveis, confortáveis e eficientes no uso de recursos.

Palavras-chave: Habitação de Interesse Social; Laboratórios Vivos; Baixo Carbono; Resiliência Climática.

ABSTRACT

The growing demand for housing solutions that reconcile social needs and the challenges imposed by climate change highlights the importance of innovative approaches in Social Housing (SH). In this context, living labs are configured as experimental environments that integrate users, researchers, and technologies in real situations, with the aim of testing, validating, and improving sustainable solutions. This research investigates recent advances in living labs applied to housing, with an emphasis on climate change mitigation and adaptation, and proposes a conceptual and replicable model of a low-carbon living lab aimed at developing guidelines for climate-resilient social housing projects. The study is based on a literature review, analysis of hybrid construction systems, and evaluation of low-impact environmental materials, with emphasis on timber from sustainable forest management and the reuse of waste. The practical component consists of the design of two low-carbon prototypes intended for testing environmental, thermal, and construction performance, developed from the climatic conditions of hot and humid regions, such as Belém (PA), and conceived within a university environment. As a result, it presents a technical and methodological reference capable of guiding the implementation of low-carbon living labs in different contexts, contributing to housing policies and practices that are more sustainable, comfortable, and efficient in the use of resources.

Keywords: Social Housing; Living Labs; Low Carbon; Climate Resilience

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 — Déficit Habitacional Total Brasil e Regiões.....	11
Figura 02 – Instalações Habitat na SemanaCT 2014.....	25
Figura 03 — Trondheim Living Lab.....	26
Figura 04 — Trondheim Living Lab.....	26
Figura 05 – Entopia Living Lab, Reino Unido.....	27
Figura 06 – Almere, laboratório urbano na Holanda.....	27
Figura 07 – Projeto Piloto Stuttgart 210 Living Lab Ingersheim.....	28
Figura 08 – Cortes de Projeto Piloto Stuttgart 210 Living Lab Ingersheim.....	28
Figura 09 — Exemplo de casa de madeira utilizando encaixe de tábuas.....	37
Figura 10 — Estrutura com lajes planas.....	40
Figura 11 — Mapa do Zoneamento Climático Brasileiro, com ampliação na cidade de Belém.....	45
Figura 12 — Parâmetros de diretrizes construtivas para Zona Bioclimática 8.....	46
Figura 13 — Diretrizes gerais para os protótipos de HIS.....	47
Figura 14 — Planta baixa do protótipo de madeira.....	50
Figura 15 — Layout do protótipo de madeira.....	51
Figura 16 — Corte esquemático do protótipo de madeira.....	52
Figura 17 — Planta baixa do protótipo de alvenaria.....	53
Figura 18 — Layout protótipo de alvenaria.....	54
Figura 19 — Corte esquemático do protótipo de alvenaria.....	55
Figura 20 — Transmitância térmica de referência para paredes externas.....	56
Figura 21 — Parede de referência dentro dos parâmetros necessários.....	57
Figura 22 — Esquema de elementos constituintes da parede de alvenaria.....	57
Figura 23 — Esquema de montagem dos painéis de madeira.....	58
Figura 24 — Sistema de cobertura de referência.....	59
Figura 25 — Esquema da formação do sistema construtivo adotado no protótipo de madeira.....	60
Figura 26 — Estudo das condicionantes climáticas na implantação.....	61
Figura 27 — Estudo de sombras no protótipo de alvenaria, simulação às 10h30.....	62
Figura 28 — Estudo de sombras no protótipo de madeira, simulação às 10h30.....	62
Figura 29 — Implantação no terreno.....	63
Figura 30 — Fachada principal (oeste).....	63
Figura 31 — Interior da casa de madeira, vista para a cozinha e sala de estar/jantar..	64
Figura 32 — Interior da casa de madeira, vista do dormitório.....	64
Figura 33 — Fachada posterior (leste), protótipo de madeira.....	64
Figura 34 — Interior da casa de alvenaria, vista para a cozinha e sala de estar/jantar.	65
Figura 35 — Interior da casa de alvenaria, vista do dormitório.....	65
Figura 36 — Fachada posterior (leste), protótipo de alvenaria.....	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivos.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
1.2 Justificativa.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Laboratórios vivos de habitação social.....	16
2.1.1 Conceito, origem e definições de Laboratórios Vivos.....	16
2.1.2 Princípios fundamentais e a estrutura colaborativa em rede.....	17
2.1.3 O processo de um Living Lab e a "domesticação" da inovação.....	19
2.1.4 Aplicações na habitação social e o foco na inovação social.....	20
2.1.5 Desafios, requisitos e potencialidades futuras.....	23
2.2 Laboratórios vivos de habitação social nacionais e internacionais.....	25
2.2.1 Estudos de caso: experiências no Brasil e no mundo.....	25
2.2.2 Prototipagem em escala real na validação construtiva.....	28
2.3 Tecnologias construtivas e materiais de baixo carbono.....	30
2.3.1 O conceito de construção de baixo carbono.....	30
2.3.2 Análise comparativa de materiais e sistemas construtivos.....	31
2.3.3 Critérios para seleção de materiais aplicados ao bioma amazônico.....	33
2.3.4 Potencial de escalabilidade e impacto social das soluções.....	35
2.4 Sistemas híbridos de baixo carbono.....	36
2.4.1 O sistema construtivo híbrido madeira-concreto.....	36
2.4.2 Componente madeira: espécies amazônicas e resíduos.....	38
2.4.3 Componente cimentício: cimento e lajes de baixo carbono.....	39
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Delimitação do objeto de estudo.....	40
3.2 Metodologia de projeto e desenvolvimento.....	42
3.3 Técnicas e ferramentas utilizadas.....	42
3.4 Critérios de avaliação.....	43
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DOS PROTÓTIPOS.....	43
4.1 Condicionantes projetuais.....	43
4.2 Diretrizes gerais para os protótipos.....	44
4.3 Concepção dos protótipos.....	47
4.3.1 Protótipo híbrido de madeira e concreto.....	49
4.3.2 Protótipo de alvenaria de baixo carbono.....	52
4.4 Sistemas construtivos e materiais.....	55
4.5 Estratégias de conforto e eficiência.....	60
4.6 Imagens do projeto.....	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66

5.1 Síntese dos principais resultados.....	66
5.2 Contribuições do trabalho.....	68
5.2.1 No ensino:.....	68
5.2.2 Na pesquisa:.....	69
5.2.3 Na extensão:.....	69
5.3 Limitações do estudo.....	70
5.4 Recomendações e perspectivas para pesquisas futuras.....	70
6 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS.....	73
APÊNDICE A — PROJETO ARQUITETÔNICO.....	78

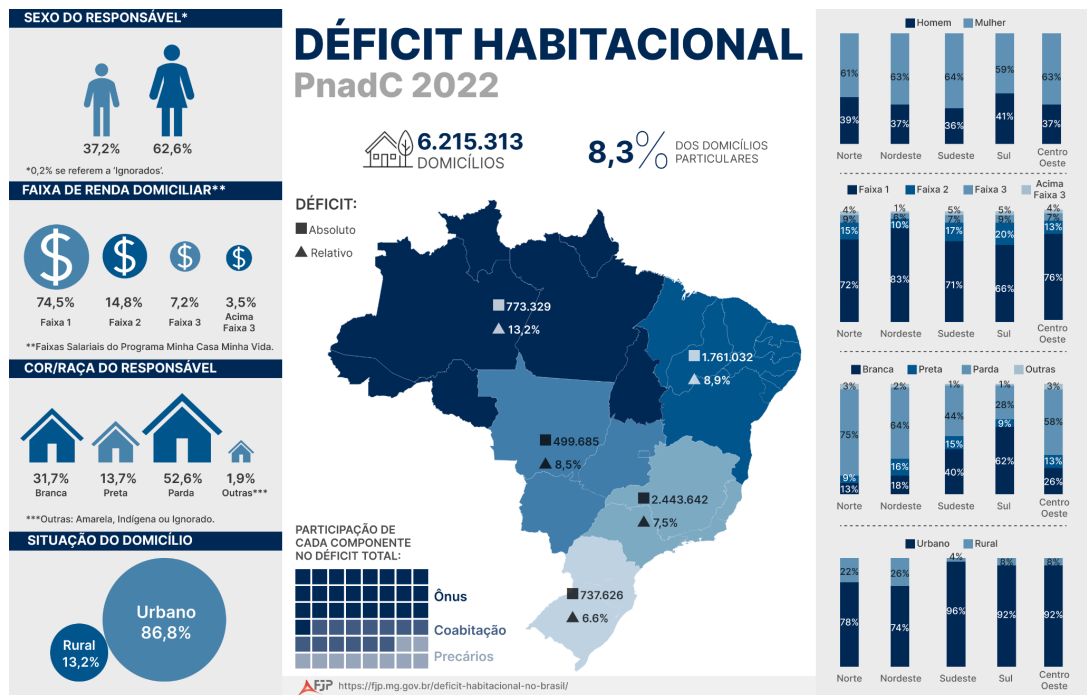
1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios globais do século XXI, impondo pressões crescentes sobre o ambiente construído. O aquecimento global causado por emissões antropogênicas, como gases de efeito estufa provenientes da indústria, da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento, é inequívoco, com impactos como elevação das temperaturas, eventos extremos e escassez de recursos (IPCC, 2023). Organismos internacionais, como o Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-Habitat), têm alertado que mais de 2 bilhões de pessoas poderão enfrentar aumentos adicionais de ao menos 0,5 °C até 2040, enfatizando a urgência de estratégias urbanas inclusivas e resilientes (ONU-HABITAT, 2024).

Conforme o Relatório de Síntese do *Intergovernmental Panel on Climate Change* [Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas] (IPCC, 2023), que consolida resultados do Grupo de Trabalho I (IPCC, 2021), os sistemas urbanos são primordiais para a redução de emissões de gases de efeito estufa e para o desenvolvimento resiliente ao clima. Para isso, o relatório enfatiza o projeto e a construções de edifícios sustentáveis, que consideram os impactos ambientais e focam na adaptação e mitigação climática. No Brasil, a vulnerabilidade socioambiental se manifesta de forma acentuada entre as regiões florestais, onde questões climáticas, ambientais e socioeconômicas se entrelaçam. Estima-se que na Amazônia, o número de dias por ano com temperaturas máximas superiores a 35°C aumentaria cerca de 60 a 150 dias até o final do século XXI (IPCC, 2021).

Aliado a essas condições, os dados habitacionais divulgados pela Fundação João Pinheiro indicam que o déficit habitacional brasileiro permanece elevado: em 2022, foi estimado em cerca de 6 milhões de domicílios, conforme a Figura 01 (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2024). Dentro desse cenário nacional, regiões de clima quente-úmido, como a Amazônia, apresentam desafios adicionais, que incluem altas temperaturas, elevada umidade relativa do ar e condições socioeconômicas desfavoráveis, que impactam diretamente a qualidade da habitação de interesse social. Diante disso, é necessário o estudo de soluções habitacionais que conciliam baixo impacto ambiental, conforto térmico e durabilidade.

Figura 01 — Déficit Habitacional Total Brasil e Regiões.



A Habitação de Interesse Social (HIS) desempenha papel estratégico na redução de desigualdades e na promoção de condições dignas de moradia. Além de seu valor social, a HIS oferece oportunidade ímpar para incorporar soluções construtivas inovadoras que considerem as especificidades climáticas regionais. Desde de 2019 o Brasil implementa o Programa Minha Casa Minha Vida, que busca promover o direito à cidade e a moradia, subsidiando a construção e a melhoria das habitações (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023). No entanto, os modelos construtivos aplicados em grande escala no país frequentemente desconsideram critérios de desempenho térmico e eficiência energética, reproduzindo padrões inadequados para diferentes contextos climáticos.

A limitação de abordagens adaptadas ao clima local evidencia a urgência de adotar inovações tecnológicas no setor habitacional. Isso envolve não apenas a utilização de materiais de baixo carbono, mas também a implementação de metodologias construtivas mais eficientes, integrando recursos digitais como o Building Information Modeling (BIM) e ferramentas de avaliação *in loco*, explorando a prototipagem em escala real, estratégias que permitem simular, avaliar e otimizar soluções construtivas antes de sua aplicação em larga escala, minimizando desperdícios e custos (Haruna; Shafiq; Montasira, 2021).

Nesse contexto, destacam-se pesquisas desenvolvidas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da Universidade Federal do Pará (UFPA), voltadas à avaliação do desempenho térmico de habitações sociais na Amazônia. Estudos recentes abordaram a percepção e adaptação térmica dos moradores em HIS de Belém, por meio da integração de medições ambientais e questionários aplicados *in loco*, assim como o diagnóstico e proposição de soluções de retrofit termoenergético em conjuntos multifamiliares, utilizando protocolos normativos e análises socioeconômicas (MACHADO, 2025; DUTRA, 2025). Embora possuam objetos e metodologias específicos, ambas compartilham a valorização do usuário como elemento central na análise de conforto e eficiência, oferecendo subsídios importantes para compreender as vulnerabilidades habitacionais no clima quente-úmido e para fundamentar novas propostas projetuais voltadas à mitigação e adaptação climática.

Diante disso, os canteiros experimentais e os laboratórios vivos emergem como plataformas de pesquisa aplicada capazes de unir academia, indústria e comunidade. Esses espaços permitem o desenvolvimento, teste e validação de tecnologias construtivas inovadoras em condições reais de uso, fortalecendo a relação entre ciência e prática. Para a habitação social, esse modelo representa a oportunidade de avaliar, de forma integrada, aspectos técnicos, ambientais e sociais, assegurando que as soluções propostas sejam eficazes, acessíveis e replicáveis.

Assim, torna-se essencial o desenvolvimento de soluções habitacionais que conciliem mitigação e adaptação climática, utilizando diretrizes capazes de atender diferentes contextos urbanos e ambientes de pesquisa. Neste estudo, adota-se como condicionante de projeto o clima quente-úmido, tendo a cidade de Belém como estudo de caso, para o desenvolvimento de um modelo experimental em ambiente universitário vinculado aos cursos de Arquitetura e Engenharias. Tal escolha favorece a integração entre ensino, pesquisa e extensão, além de ampliar a aplicabilidade do modelo, permitindo sua replicação em outras universidades situadas em regiões de clima quente-úmido e com características de sítio semelhantes e, com ajustes específicos em materiais e estratégias de conforto, possibilitando também sua adaptação a diferentes climas e realidades socioeconômicas.

Portante, este trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo de laboratório vivo de habitação social de baixo carbono. O projeto visa integrar pesquisa, ensino e extensão para testar e validar, em condições reais simuladas, metodologias construtivas inovadoras que combinam eficiência energética, conforto ambiental e uso de materiais sustentáveis. Mais do que uma proposta localizada, trata-se de um modelo replicável, capaz de orientar futuras iniciativas acadêmicas e apoiar políticas públicas voltadas à construção de habitações sociais mais eficientes e resilientes.

A relevância desta pesquisa reside não apenas na contribuição científica para o desenvolvimento de modelos construtivos adaptados ao contexto amazônico, mas também no potencial de apoiar políticas públicas e práticas projetuais alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles voltados à ação climática, cidades e comunidades sustentáveis, e inovação em infraestrutura. Dessa forma, o estudo se insere em um esforço mais amplo de promover cidades resilientes e inclusivas.

Para alcançar esse objetivo, o trabalho está organizado em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, com a contextualização geral da pesquisa, os objetivos geral e específico e a justificativa. O Capítulo 2 reúne a fundamentação teórica, abordando conceitos de habitação social, adaptação climática, conforto ambiental, materiais de baixo carbono, laboratórios vivos e ferramentas digitais. O Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos adotados. O Capítulo 4 expõe o desenvolvimento e as diretrizes do projeto dos protótipos. O Capítulo 5 apresenta os resultados, destacando as contribuições, limitações e perspectivas futuras da pesquisa, e por fim, a conclusão no Capítulo 6.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de laboratório vivo universitário de habitação social de baixo carbono, voltado ao ensino, pesquisa e extensão, orientado pelo clima quente-úmido de Belém, com potencial de replicação em contextos semelhantes e adaptação, mediante ajustes, a diferentes climas e realidades socioeconômicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver dois protótipos sustentáveis de habitação de interesse social (HIS), utilizando materiais e tecnologias construtivas de baixo carbono, de acordo com os princípios de eficiência energética, conforto ambiental e sustentabilidade.
- Investigar e aplicar soluções construtivas adequadas a regiões de clima quente-úmido, priorizando estratégias passivas de ventilação natural, sombreamento e uso de materiais locais ou de baixo impacto ambiental.
- Propor diretrizes para laboratórios vivos em habitação social como espaços de inovação aberta, integrando pesquisa acadêmica e tecnologias sustentáveis.

1.2 Justificativa

A crescente demanda por habitação de interesse social (HIS) no Brasil enfrenta grandes desafios, especialmente no que diz respeito à eficiência energética, conforto ambiental e sustentabilidade das edificações. Nota-se que a padronização dos edifícios de HIS, em virtude da necessidade de celeridade das construções, não leva em consideração as características climáticas de cada local, resultando em um baixo desempenho termo energético das habitações e uma insatisfação do usuário em sua nova moradia (Bavaresco, et al., 2021). Tal efeito, corrobora no aumento de custo de vida do usuário, que deverá utilizar estratégias mecânicas e elétricas para mitigar o desconforto térmico da edificação.

Diante desse cenário, torna-se essencial o desenvolvimento de novas abordagens para avaliação e aprimoramento de HIS, com foco na resiliência climática e na adoção de estratégias sustentáveis, desde a seleção de materiais até a definição de diretrizes projetuais (Bavaresco et al., 2021). No entanto, ainda há uma lacuna na aplicação de metodologias experimentais que permitam testar e validar soluções construtivas inovadoras antes de sua implementação em larga escala.

Neste contexto, propõe-se um laboratório vivo de baixo carbono, voltado à construção e avaliação de protótipos sustentáveis de HIS com ênfase na mitigação e adaptação ao aquecimento global. O modelo será desenvolvido em uma área de

20x20 m em ambiente universitário dos cursos de Arquitetura e Engenharias, considerando o clima quente-úmido como estudo de caso. Permitirá replicação em outras localidades com características semelhantes e, mediante ajustes em materiais e estratégias de conforto, adaptação a diferentes climas e contextos socioeconômicos, além de possibilitar a exploração de novas técnicas de coleta de dados e validação das soluções construtivas, contribuindo para políticas habitacionais mais eficientes e resilientes.

Além da importância de investigar metodologias inovadoras para a habitação social, destaca-se a relevância da diversidade tipológica como instrumento de flexibilização do programa habitacional. De acordo com os resultados do Concurso Nacional de Habitação de Interesse Sustentável (CONCURSOSDEPROJETO, 2021), promovido pelo Instituto de Arquitetos do Brasil - Departamento Distrito Federal (IAB-DF) e a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* [Sociedade Alemã para a Cooperação Internacional] (GIZ), os projetos vencedores apresentaram tipologias variadas, com unidades de 1, 2 e 3 dormitórios, evidenciando maior flexibilidade habitacional mesmo diante da exigência mínima de dois quartos do programa federal.

Essa referência conceitual sobre tipologias diversificadas serve como subsídio para o desenvolvimento do protótipo, pois permite a criação de um modelo simplificado de no mínimo um dormitório, apoiando a reflexão sobre adaptação das soluções habitacionais às diferentes realidades familiares.

Por fim, a implementação do laboratório no âmbito universitário favorece a formação acadêmica e profissional dos alunos, promovendo integração entre ensino, pesquisa e extensão, e estimulando práticas inovadoras em habitação social. Assim, esta pesquisa se justifica por sua inovação e relevância científica, tecnológica e social, pois busca subsidiar a elaboração de habitações mais eficientes, confortáveis e sustentáveis, contribuindo para o aprimoramento das diretrizes habitacionais e políticas públicas, proporcionando benefícios tanto para os moradores quanto para o setor da construção civil e para o meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Laboratórios vivos de habitação social

2.1.1 Conceito, origem e definições de Laboratórios Vivos

Para enfrentar os complexos desafios contemporâneos da sustentabilidade e da habitação, emergem novas abordagens de pesquisa. Dentro deste contexto, o conceito de Laboratório Vivo (do inglês, *Living Lab*) destaca-se como um experimento centrado no usuário que visa testar tecnologias, soluções ou políticas em um contexto de mundo real (Korsnes; Berker; Woods, 2018). Trata-se de uma metodologia de inovação aberta, colaborativa e fundamentalmente centrada nas pessoas, cujas atividades de pesquisa e desenvolvimento ocorrem diretamente no ambiente de uso, permitindo que a inovação seja cocriada, testada e validada de forma participativa e interativa (Bridi et al., 2022). A definição mais difundida e aceita para o termo é a da Rede Europeia de *Living Labs* (ENoLL), que os caracteriza como:

ecossistemas de inovação abertos e centrados no usuário, baseados em uma abordagem sistemática de cocriação, integrando processos de pesquisa e inovação em comunidades e cenários da vida real (Enoll, 2025, p. 18, tradução da autora).

Nessa perspectiva, os usuários deixam de ser meros objetos de estudo para se tornarem cocriadores ativos no desenvolvimento de novas tecnologias, produtos e serviços, garantindo que as soluções sejam mais relevantes e eficazes (Bridi et al., 2022). Conforme defendem Pinto e Fonseca (2013), a premissa é a participação ativa da comunidade no processo criativo como forma de estímulo ao desenvolvimento local. Essa abordagem é especialmente indicada para tratar de problemas complexos e de múltiplos critérios, como as mudanças climáticas e o desenvolvimento urbano, que exigem a colaboração entre diversos setores com interesses distintos (Yan et al., 2025; Bridi et al., 2022).

A origem da metodologia é comumente atribuída ao trabalho do professor William Mitchell, do Massachusetts Institute of Technology (MIT), e seu projeto "PlaceLab": um apartamento-laboratório totalmente equipado com sensores onde voluntários eram convidados a morar por um determinado período para testar novas

tecnologias domésticas (Bridi et al., 2022). Inicialmente, o foco dos *Living Labs* era predominantemente em inovações no campo das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). Contudo, o conceito evoluiu rapidamente, expandindo sua aplicação para diversas outras áreas como energia, mobilidade, saúde e, mais recentemente, para a escala urbana e de comunidades (Bridi et al., 2022).

Com essa evolução, a literatura aponta duas formas principais de compreender o conceito: como um ambiente, ou seja, uma instalação de pesquisa ou um local físico onde a inovação é desenvolvida, e como uma metodologia, que descreve um processo e um conjunto de atividades específicas para viabilizar a colaboração entre os múltiplos atores envolvidos (Bridi et al., 2022). Independentemente da abordagem, o que diferencia um *Living Lab* de um laboratório tradicional é sua capacidade de borrar “as distinções entre laboratório e campo, bem como entre experimentos controlados e não controlados” (Eriksson; Niitamo; Kulkki, 2005 apud Bridi et al., 2022, p. 3). Isso ocorre porque a pesquisa é conduzida em um contexto realista, e não em um ambiente de laboratório isolado, o que tende a aumentar a validade dos resultados (Bridi et al., 2022).

O propósito fundamental de um *Living Lab*, portanto, é promover a inovação por meio da colaboração e da cocriação com os usuários (Pinto; Fonseca, 2013). Suas ações visam desenvolver, prototipar, validar e refinar soluções complexas em múltiplos e evolutivos contextos da vida real, gerando valor através do engajamento de todos os atores relevantes (Bridi et al., 2022). Desta forma, a metodologia se consolida como uma ferramenta poderosa para gerar soluções que não apenas funcionem tecnicamente, mas que também sejam socialmente desejáveis e sustentáveis a longo prazo.

2.1.2 Princípios fundamentais e a estrutura colaborativa em rede

A metodologia dos Laboratórios Vivos é sustentada por um conjunto de princípios interdependentes que, juntos, formam sua base conceitual e operacional. A literatura consolida esses fundamentos em cinco pilares principais: Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), Centralidade no Usuário (*User-Centrism*), Inovação, Colaboração e o Contexto da Vida Real (Bridi et al., 2022). Estes elementos não

atuam de forma isolada, mas se integram para formar um ecossistema dinâmico, capaz de gerar soluções eficazes para problemas multifacetados.

O pilar de Pesquisa e Desenvolvimento posiciona os *Living Labs* como uma metodologia de pesquisa científica que visa criar e validar inovações diretamente em ambientes de uso, contribuindo simultaneamente para o avanço teórico e para a aplicação prática (Bridi et al., 2022). Já a Centralidade no Usuário é, talvez, o princípio mais distintivo, pois coloca as pessoas e suas práticas cotidianas no epicentro do processo de inovação. Os usuários são vistos como especialistas de suas próprias experiências e, portanto, atuam como cocriadores que podem influenciar ativamente as soluções conforme suas necessidades e expectativas (Bridi et al., 2022). Esse processo de adaptação mútua entre os usuários e as novas tecnologias ou espaços pode ser entendido como uma forma de "domesticação", onde a novidade é progressivamente integrada e normalizada na vida diária (Korsnes; Berker; Woods, 2018).

O princípio da Inovação destaca que o objetivo de um *Living Lab* vai além da mera testagem, buscando ser um "meio de inovação" (*innovation milieu*) que gera novos produtos, serviços, sistemas e até mesmo novas formas de governança (Bridi et al., 2022). Essa busca por inovação está frequentemente alinhada ao desenvolvimento sustentável, visando um melhor aproveitamento de recursos por meio de processos participativos (Liedtke et al., 2012). Para que a inovação ocorra, a Colaboração é essencial. Este pilar se manifesta na formação de uma estrutura em rede, muitas vezes descrita como uma "hélice quádrupla", que promove o engajamento e a parceria entre o poder público, o setor privado, a academia e a sociedade civil (os usuários) (Pinto; Fonseca, 2013; Bridi et al., 2022). Essa estrutura de rede facilita a aprendizagem colaborativa e a transferência de conhecimento entre as diferentes disciplinas e atores envolvidos (Bridi et al., 2022), exigindo uma atitude participativa de todos os membros para o sucesso da iniciativa (Boess et al., 2018).

Finalmente, o Contexto da Vida Real é o pilar que garante a relevância e a aplicabilidade das soluções geradas. Ao conduzir os experimentos em um cenário realista, em vez de um ambiente de laboratório isolado, os *Living Labs* aumentam a validade dos resultados e asseguram que as inovações respondam a desafios e

condições autênticas (Bridi et al., 2022; Korsnes; Berker; Woods, 2018). É a integração destes cinco princípios, operando dentro de uma estrutura de rede colaborativa e dinâmica, que confere aos Laboratórios Vivos seu potencial único para enfrentar desafios sociotécnicos complexos, como a melhoria da habitação social sustentável (Pinto; Fonseca, 2013).

2.1.3 O processo de um Living Lab e a "domesticação" da inovação

A implementação de um Laboratório Vivo não segue um modelo processual único e rígido; pelo contrário, a literatura aponta que cada *Living Lab* é único, podendo seu processo ser linear ou não-linear, com o uso de uma variedade de ferramentas (Bridi et al., 2022). Essa flexibilidade é uma característica intrínseca, pois o processo é experimental, criativo e de aprendizado, envolvendo certa imprevisibilidade em seus resultados (Van Geenhuizen, 2019). Apesar da diversidade, é possível identificar uma estrutura processual comum na maioria das iniciativas.

Esse processo, de forma geral, é sintetizado e organizado a partir de diversas experiências em quatro fases principais e iterativas: Definição, Idealização, Cocriação e Avaliação. A fase de Definição foca na compreensão aprofundada do problema a ser resolvido. Em seguida, a Idealização consiste na geração coletiva de ideias e na definição do foco da solução. A Cocriação é a etapa de desenvolvimento e prototipagem da solução propriamente dita, e, por fim, a Avaliação engloba os testes, a coleta de *feedback* e a análise dos resultados para refinar a inovação ou iniciar um novo ciclo (Bridi et al., 2022).

Contudo, para além do processo formal, é fundamental compreender como a inovação é recebida e integrada no cotidiano dos usuários. Para analisar essa dinâmica, o conceito de "domesticação" é particularmente útil, descrevendo o processo de negociação e adaptação mútua que ocorre quando pessoas com hábitos estabelecidos habitam um novo espaço ou utilizam uma nova tecnologia (Korsnes; Berker; Woods, 2018). Esse processo se inicia com um período de tensão entre a novidade e as rotinas, significados e conhecimentos pré-existentes dos usuários. Com o tempo, essa tensão é reduzida à medida que os indivíduos "criam

laços" com o novo artefato, que pode ser aceito, rejeitado ou adaptado para se encaixar na vida diária (Korsnes; Berker; Woods, 2018).

A teoria da domesticação, em sua vertente semiótica, analisa essa dinâmica a partir dos conceitos de *scripts* e *antiprogramas*. Os *scripts* representam as intenções e visões de mundo dos projetistas e engenheiros, que são "inscritas" no próprio objeto ou edificação, prefigurando um modo de uso ideal. Por outro lado, os *antiprogramas* são as ações dos usuários que, com base em suas práticas e necessidades reais, ajustam, subvertem ou até mesmo ignoram o uso pretendido pelo *script* (Korsnes; Berker; Woods, 2018). Um exemplo prático seria um edifício projetado para funcionar com ventilação mecânica e janelas fechadas (o *script*), mas cujos moradores, por hábito ou preferência, dormem com as janelas abertas, resultando em maior consumo de energia (o *antiprograma*) (Korsnes; Berker; Woods, 2018). O processo de domesticação é, portanto, a negociação contínua entre esses dois polos.

No contexto da habitação social, compreender o processo de domesticação é crucial para o sucesso de um *Living Lab*. Não basta que as soluções de melhoria habitacional sejam tecnicamente eficientes; elas precisam ser efetivamente "domesticadas" pelos moradores para que os benefícios, como a economia de energia ou o aumento do conforto, sejam de fato realizados (Korsnes; Berker; Woods, 2018). O estudo do Trondheim Living Lab, por exemplo, demonstrou que a percepção de conforto dos moradores com o sistema de aquecimento estável (o *script*) era frequentemente confrontada com o hábito cultural de aquecimento rápido com lareiras, uma prática temporal, espacial e sensorialmente distinta (Korsnes; Berker; Woods, 2018). Assim, o sucesso da implementação de inovações em habitação social depende fundamentalmente de um processo que não apenas envolva o usuário, mas que também compreenda e se antecipe às complexas dinâmicas de sua adaptação e aceitação no dia a dia.

2.1.4 Aplicações na habitação social e o foco na inovação social

Embora a metodologia de Laboratório Vivo seja aplicável a diversos setores, ela encontra um campo de atuação particularmente fértil e de alto impacto no contexto da Habitação de Interesse Social (HIS). Os desafios da HIS raramente são

apenas técnicos ou construtivos; eles estão profundamente entrelaçados com fatores sociais, econômicos e culturais complexos (Kowaltowski et al., 2024). Por essa razão, a abordagem de *Living Lab* é especialmente adequada, pois sua estrutura colaborativa e centrada no morador permite que essas múltiplas camadas sejam consideradas, promovendo a cocriação de soluções que respondam de forma integrada às necessidades da comunidade (Bridi et al., 2022).

Uma das aplicações mais significativas dos *Living Labs* neste contexto é a sua capacidade de catalisar a inovação social. Muitas vezes, antes mesmo de gerar inovações tecnológicas, a implementação da metodologia fortalece o tecido social e a organização comunitária. Um caso exemplar é o do Habitat Living Lab (HLL) no Brasil, que, a partir da articulação de uma Organização Não-Governamental (ONG) com a comunidade, gerou como primeiros resultados a criação de um banco comunitário e de um fórum de moradores. Essas estruturas de governança e economia solidária foram fundamentais para empoderar os residentes, dando-lhes autonomia e uma plataforma para deliberar sobre suas próprias prioridades de desenvolvimento (Pinto; Fonseca, 2013).

É a partir dessa base de organização e empoderamento social que a inovação tecnológica pode emergir de forma mais orgânica e pertinente. No mesmo exemplo do HLL, foi o Fórum de Moradores que identificou a melhoria das condições de moradia como a necessidade mais premente da comunidade. A partir dessa demanda, a rede do *Living Lab* desenvolveu o programa *Bem Morar*, que não apenas ofereceu crédito, mas também assistência técnica e a produção de materiais de baixo custo e impacto ambiental, como os tijolos ecológicos (Pinto; Fonseca, 2013). Esse processo demonstra como a inovação tecnológica, quando impulsionada por uma demanda social real e validada pela comunidade, tem maiores chances de ser adotada e de gerar um impacto positivo duradouro.

O objetivo final da aplicação de *Living Labs* em processos de melhoria de habitação social é, portanto, o empoderamento do usuário e a entrega de valor (Kowaltowski et al., 2024). Empoderar os usuários significa criar canais para que eles possam expressar suas necessidades, desejos e preocupações, participando ativamente do processo de tomada de decisão. A entrega de valor, por sua vez, acontece quando as melhorias realizadas correspondem ao que os moradores de

fato valorizam, resultando em maior conforto, segurança, bem-estar e um forte sentimento de pertencimento e satisfação com seu lar. A metodologia de *Living Lab* facilita esse processo ao construir confiança, mitigar conflitos e garantir que o foco permaneça nas pessoas (Kowaltowski et al., 2024).

As pesquisas desenvolvidas no PPGAU da UFPA vêm consolidando uma base de conhecimento sobre a relação entre moradores, desempenho térmico e qualidade ambiental em HIS. Machado (2025), ao analisar a adaptação térmica de famílias residentes em empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida em Belém, integrou medições ambientais in loco com sensores e a aplicação de questionários presenciais e digitais. Essa abordagem possibilitou correlacionar dados quantitativos e qualitativos, destacando como fatores sociodemográficos e práticas culturais influenciam a percepção de conforto térmico, os limites de aceitabilidade e as vulnerabilidades associadas ao cotidiano dos moradores.

De forma complementar, Dutra (2025) realizou o diagnóstico termoenergético de conjuntos habitacionais multifamiliares por meio do protocolo Hab.Labeee, combinando levantamentos ambientais, questionários aplicados aos moradores e caracterização socioeconômica via geoprocessamento. O estudo buscou identificar deficiências construtivas, padrões de consumo energético e percepções dos usuários, de modo a subsidiar propostas de retrofit que incluíssem tanto estratégias passivas, como sombreamento de aberturas, quanto ativas, como a incorporação de sistemas fotovoltaicos.

Embora com objetos distintos, ambas as dissertações reforçam a centralidade do usuário na avaliação e proposição de soluções para a HIS, fornecendo subsídios fundamentais para pesquisas que visam o desenvolvimento de tipologias habitacionais mais resilientes ao clima quente-úmido. Os resultados levantados por esses estudos permitem orientar o desenvolvimento de um protótipo habitacional ajustado tanto às condições climáticas quanto às necessidades dos moradores, sendo incorporados neste trabalho como parte do processo colaborativo e cumulativo característico da metodologia de laboratório vivo.

Diante disso, os resultados das pesquisas realizadas no PPGAU/UFPA apontam fragilidades significativas no desempenho térmico das Habitações de

Interesse Social em Belém, mas também fornecem diretrizes práticas para sua melhoria. Machado (2025) identificou que a maior parte dos moradores permanece exposta a temperaturas internas entre 28 °C e 30 °C, consideradas críticas para o conforto, com 94% dos respondentes manifestando preferência por ambientes mais frescos em condições de calor intenso. O estudo também revelou que os dormitórios apresentam menor ventilação e maior desconforto em relação às salas, destacando a importância de estratégias arquitetônicas que privilegiem a circulação de ar em ambientes de permanência prolongada.

Já Dutra (2025), ao diagnosticar três conjuntos multifamiliares, constatou que as edificações apresentam baixo desempenho passivo e elevado consumo energético, propondo medidas de retrofit como pintura de fachadas em cores claras, sombreamento de aberturas e integração de sistemas fotovoltaicos, capazes de transformar as unidades em Edifícios de Energia Zero (ZEB), além de reduzir emissões de Dióxido de Carbono (CO₂). Esses achados reforçam a centralidade do usuário na definição das estratégias de projeto e demonstram a necessidade de soluções que conciliem conforto térmico, eficiência energética e adequação ao contexto climático amazônico, diretrizes que fundamentam a concepção do protótipo experimental deste trabalho.

2.1.5 Desafios, requisitos e potencialidades futuras

Apesar do grande potencial dos Laboratórios Vivos como metodologia para a inovação, sua implementação, especialmente no complexo contexto da habitação social, apresenta um conjunto de desafios significativos que precisam ser gerenciados. Um dos principais obstáculos é o engajamento das múltiplas partes interessadas. Empresas do setor privado, por exemplo, podem se mostrar céticas quanto aos benefícios da integração com os usuários e receosas em relação à proteção da propriedade intelectual em um ambiente de inovação aberta (Bridi et al., 2022).

Adicionalmente, o trabalho com populações em situação de vulnerabilidade, como é o caso de muitos moradores de habitação social, exige maior investimento de tempo e esforço para construir confiança e garantir uma participação efetiva (Bridi et al., 2022; Kowaltowski et al., 2024). Outros desafios incluem a gestão de

diferentes perspectivas culturais, que podem gerar conflitos, a dificuldade em generalizar resultados altamente específicos a um contexto e a própria complexidade de administrar os recursos financeiros e o tempo envolvido (Bridi et al., 2022; Pinto; Fonseca, 2013). A incompatibilidade entre as intenções dos projetistas (*scripts*) e as expectativas dos ocupantes também se apresenta como um entrave relevante para a adoção mais ampla dessas soluções (Korsnes; Berker; Woods, 2018).

Para superar tais desafios, a literatura aponta um conjunto de requisitos essenciais para o sucesso de um Living Lab. Primeiramente, destaca-se a importância de uma organização-núcleo verdadeiramente comprometida com o desenvolvimento da comunidade, atuando com base em parcerias colaborativas e duradouras, além de contar com fontes de financiamento diversificadas (Pinto; Fonseca, 2013). Em segundo lugar, o processo deve ser centrado nas pessoas, buscando ativamente o seu empoderamento e garantindo satisfação com todas as etapas do processo participativo (Bridi et al., 2022).

Nesse sentido, recomenda-se o uso de mediadores ou *facilitadores* (*boundary spanners*), atores de confiança capazes de transitar entre os diferentes grupos – comunidade, técnicos e empresas – para facilitar o diálogo (Bridi et al., 2022). A construção de confiança desde o primeiro contato é apontada como requisito crítico (Kowaltowski et al., 2024). Além disso, é necessário contar com apoio institucional, seja por meio de políticas universitárias que valorizem a interação com a sociedade, seja por agências de fomento que compreendam a importância de apoiar projetos voltados ao desenvolvimento local (Pinto; Fonseca, 2013).

Olhando para o futuro, as potencialidades dos Laboratórios Vivos são vastas. Sua capacidade de integrar diferentes saberes e atores os torna uma ferramenta para gerar inovações mais precisas frente às necessidades humanas e ambientais (Pisello et al., 2025). No campo da habitação, destacam-se a possibilidade de melhorar o desempenho das edificações, fortalecer a coesão social e subsidiar políticas públicas mais eficazes. Assim, mesmo diante das dificuldades, os Living Labs se consolidam como uma abordagem capaz de impulsionar a transição para um ambiente construído mais justo e sustentável (Kowaltowski et al., 2024; Enoll, 2025).

2.2 Laboratórios vivos de habitação social nacionais e internacionais

2.2.1 Estudos de caso: experiências no Brasil e no mundo

A metodologia de Laboratório Vivo tem sido aplicada em uma diversidade de contextos ao redor do mundo para enfrentar os desafios da habitação. As experiências variam desde a modernização e o *retrofit* energético do parque habitacional social existente na Europa até o desenvolvimento de inovações sociais e tecnológicas em comunidades de baixa renda em países como o Brasil (Kowaltowski et al., 2024). Esses estudos de caso demonstram a flexibilidade e a relevância da abordagem para diferentes realidades climáticas, culturais e socioeconômicas (Bridi et al., 2022).

No cenário nacional, um exemplo de destaque é o **Habitat Living Lab (HLL)**, no estado do Espírito Santo, conforme a Figura 02. O HLL consolidou-se como uma rede de organizações, impulsionada originalmente por uma ONG em parceria com a comunidade e, posteriormente, com a universidade, com o propósito de desenvolver e aplicar tecnologias ambientalmente amigáveis para melhorar as condições de moradia de populações de baixa renda (Pinto; Fonseca, 2013). A atuação do HLL revelou que a inovação social, como a criação de um banco comunitário e de um fórum de governança local, pode preceder e dar base para a inovação tecnológica, garantindo que as soluções, como materiais de construção de baixo custo, surjam a partir de demandas reais e com a participação ativa dos moradores (Pinto; Fonseca, 2013).

Figura 02 – Instalações Habitat na SemanaCT 2014



Fonte: LabTAR, 2014.

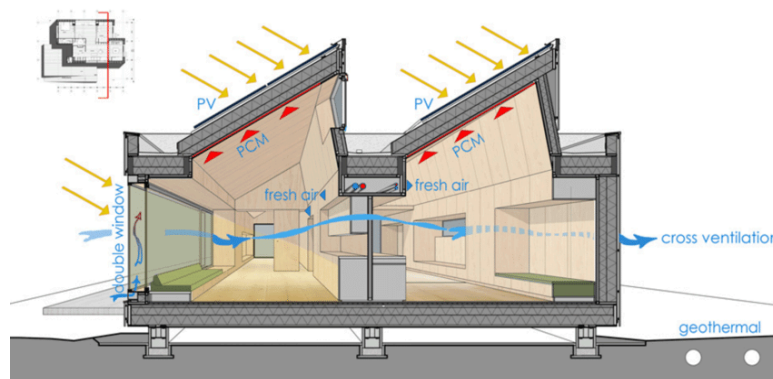
Internacionalmente, a experiência do **Trondheim Living Lab**, na Noruega, apresentado na Figura 03, oferece uma perspectiva sobre a aplicação da metodologia em um contexto de alta tecnologia (Korsnes; Berker; Woods, 2018). O projeto, demonstrado na Figura 04, consistiu em um edifício unifamiliar de emissão zero (ZEB) que serviu como laboratório para investigar como diferentes grupos de usuários (estudantes, famílias e idosos) se adaptavam a um ambiente residencial inovador durante um período de 25 dias. A pesquisa focou no processo de "domesticação" da tecnologia, analisando como as rotinas diárias e os hábitos dos moradores eram negociados em face dos sistemas do edifício, fornecendo valiosos *insights* sobre a aceitação de novas tecnologias e o impacto real do comportamento dos ocupantes nas metas de sustentabilidade (Korsnes; Berker; Woods, 2018).

Figura 03 — Trondheim Living Lab



Fonte: Geir Mogen SINTEF, 2025

Figura 04 — Trondheim Living Lab



Fonte: Korsnes; Berker; Woods, 2018

Além desses casos, a literatura reporta uma vasta gama de aplicações. Estudos no Reino Unido, Alemanha e Holanda, por exemplo, utilizaram *Living Labs* para aprimorar processos de reforma em habitações sociais, com foco na redução do consumo de energia e na melhoria do conforto, envolvendo os moradores na avaliação de novas tecnologias e no *codesign* de soluções (Bridi et al., 2022; Kowaltowski et al., 2024). Em um projeto na Holanda, por exemplo, utilizou-se a ferramenta de Realidade Virtual (VR) para engajar os residentes nas decisões sobre as melhorias em suas casas (Kowaltowski et al., 2024). Essas múltiplas experiências reforçam o papel dos Laboratórios Vivos como uma abordagem robusta e global para o desenvolvimento de soluções habitacionais mais sustentáveis e centradas no ser humano.

A seguir, as Figuras 05 a 08 apresentam laboratórios vivos internacionais e nos mostram como cada exemplar é criado a partir do seu propósito de estudo.

Figura 05 – Entopia Living Lab, Reino Unido.



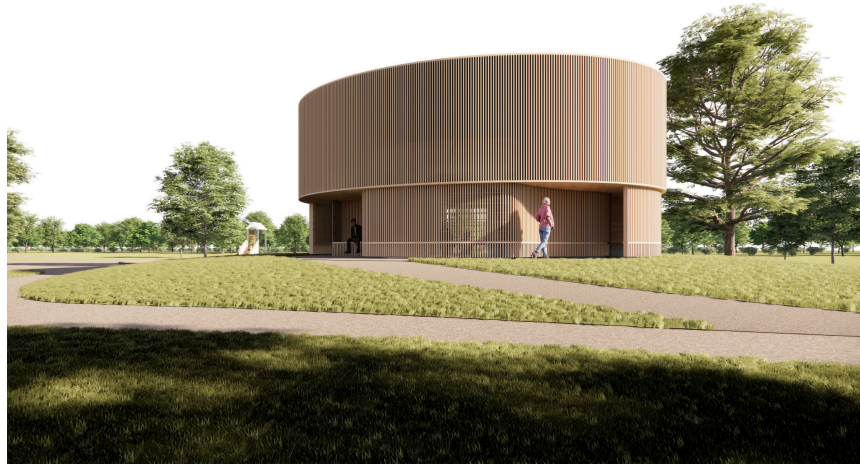
Fonte: Instituto de Cambridge para Liderança em Sustentabilidade (CISL), 2025.

Figura 06 – Almere, laboratório urbano na Holanda



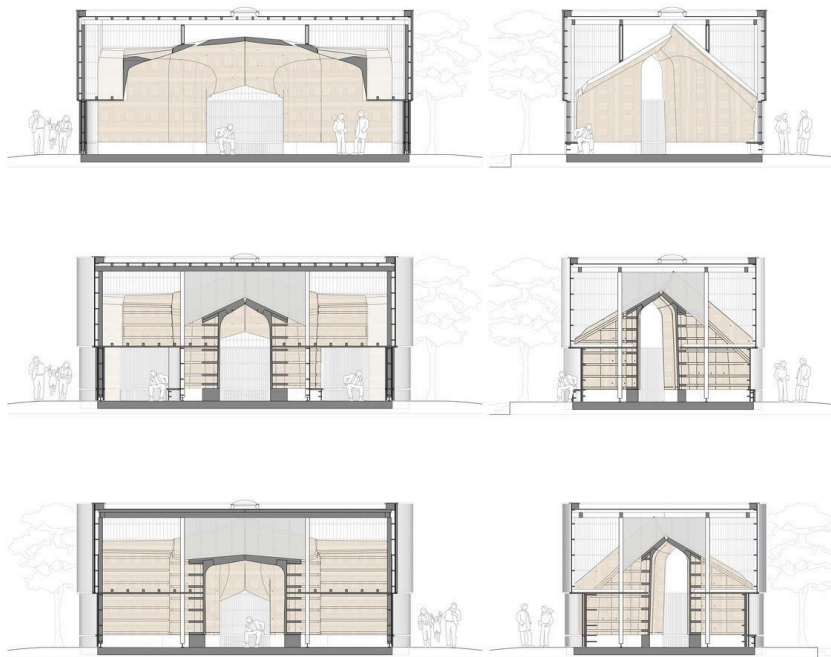
Fonte: BBC News Brasil, 2022.

Figura 07 – Projeto Piloto Stuttgart 210 Living Lab Ingersheim



Fonte: HFT Stuttgart, 2025.

Figura 08 – Cortes de Projeto Piloto Stuttgart 210 Living Lab Ingersheim



Fonte: HFT Stuttgart, 2025.

2.2.2 Prototipagem em escala real na validação construtiva

A implementação de um Laboratório Vivo no contexto da habitação social, como o campo experimental proposto neste trabalho, transcende a simples construção de protótipos, posicionando-se como uma ferramenta estratégica de múltiplas dimensões. Especialmente em regiões equatoriais como Belém, os *Living*

Labs oferecem uma oportunidade única para integrar pesquisa acadêmica, inovação tecnológica e saberes locais no desenvolvimento de soluções habitacionais (Kowaltowski et al., 2024). A grande vantagem reside na prototipagem em escala real, que confere robustez metodológica à validação de tecnologias. A testagem de materiais de baixo carbono, sistemas de ventilação passiva e estratégias de sombreamento, por exemplo, ganha uma validação muito mais precisa quando realizada em um ambiente real e habitado, permitindo ajustes contínuos e validações práticas que seriam impossíveis em um laboratório convencional (Bridi et al., 2022).

Como ferramenta científica, o campo experimental permite a avaliação rigorosa do desempenho físico das edificações. Ele funciona como um ambiente para testar e validar soluções construtivas inovadoras antes de sua implementação em larga escala, algo essencial para mitigar riscos e otimizar investimentos (Korsnes; Berker; Woods, 2018). A capacidade de monitorar o desempenho térmico, o consumo de energia e a qualidade ambiental em condições reais de uso gera dados empíricos valiosos que podem subsidiar a melhoria de diretrizes projetuais e políticas públicas (Pisello et al., 2025).

Como ferramenta pedagógica, o campo experimental possui um valor imensurável. Primeiramente, ele favorece a formação acadêmica e profissional dos alunos de áreas como Arquitetura e Engenharia, que têm a oportunidade de sair do ambiente puramente teórico e atuar de forma integrada com a sociedade. Além disso, a iniciativa funciona como um polo de educação e conscientização ambiental para a própria comunidade. Ao envolver os moradores e estudantes locais nas atividades, como na montagem de sistemas construtivos ou em palestras educativas, promove-se uma cultura de sustentabilidade e incentiva-se a replicação de boas práticas, como demonstrado em projetos com aplicação de tecnologias verdes em escolas (Vogel, 2019).

Finalmente, como ferramenta social, o Laboratório Vivo busca estimular uma cultura colaborativa de inovação. O seu processo participativo e centrado no usuário tem o potencial de empoderar os moradores, dando-lhes voz para influenciar as soluções que impactarão diretamente sua qualidade de vida (Kowaltowski et al., 2024). Essa abordagem, exemplificada pelo Habitat Living Lab, ajuda a garantir que

as melhorias propostas atendam às necessidades reais da comunidade, promovendo um maior sentimento de pertencimento e apropriação das soluções implementadas (Pinto; Fonseca, 2013). Essa dinâmica é fundamental para a transformação da política habitacional em direção à resiliência e à sustentabilidade (Bridi et al., 2022).

2.3 Tecnologias construtivas e materiais de baixo carbono

2.3.1 O conceito de construção de baixo carbono

O setor de edificações e construção civil é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia e pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) em escala global. Estudos apontam que o setor consome entre 30% e 40% de toda a energia primária e responde por até 50% das emissões de GEE (Khan et al., 2025). Diante do desafio das mudanças climáticas, a busca por uma construção de baixo carbono tornou-se um pilar central para o desenvolvimento de um ambiente construído mais sustentável (Bavaresco et al., 2021). A abordagem de baixo carbono considera o impacto ambiental da edificação ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até sua operação e eventual demolição (Khan et al., 2025).

A pegada de carbono de uma edificação é compreendida a partir de duas componentes principais: o carbono incorporado e o carbono operacional. O carbono incorporado (ou embutido) refere-se à totalidade das emissões de GEE associadas à fase de "pré-uso" do edifício. Isso inclui a extração, o processamento e a fabricação dos materiais de construção, o transporte desses materiais até o canteiro de obras e a energia gasta no próprio processo construtivo (Khan et al., 2025). A fabricação de materiais como cimento e aço, por exemplo, é um processo intensivo em energia e um contribuinte significativo para o carbono incorporado total de um projeto (Althoey et al., 2023).

Por outro lado, o carbono operacional diz respeito às emissões de GEE geradas durante a fase de uso da edificação. Essas emissões são resultado direto do consumo de energia para climatização (aquecimento e resfriamento), iluminação, aquecimento de água e funcionamento de equipamentos (Khan et al., 2025). Em muitos edifícios convencionais, especialmente aqueles com longa vida útil, o

carbono operacional representa a maior parcela do total de emissões ao longo de seu ciclo de vida (Khan et al., 2025). A eficiência do projeto arquitetônico, a qualidade da envoltória e a adequação ao clima local são fatores que influenciam diretamente o consumo de energia e, conseqüentemente, o carbono operacional (Bavaresco et al., 2021).

Dessa forma, a construção de baixo carbono é uma abordagem holística que visa minimizar ambas as formas de emissão. A redução do carbono incorporado é alcançada principalmente pela especificação de materiais com menor pegada de carbono, como o uso de concreto de baixo carbono, que substitui parte do cimento por materiais cimentícios suplementares, ou a preferência por materiais de origem local e processos construtivos menos intensivos em energia (Althoey et al., 2023; Khan et al., 2025). A redução do carbono operacional, por sua vez, depende de estratégias de projeto passivas, da especificação de sistemas de climatização e iluminação eficientes e da integração de fontes de energia renovável. O conceito máximo dessa abordagem é o de Edifício de Emissão Zero (Zero Emission Building - ZEB), no qual a soma de todas as emissões do ciclo de vida (materiais, construção, operação e demolição) é compensada pela geração de energia renovável no local (Korsnes; Berker; Woods, 2018).

2.3.2 Análise comparativa de materiais e sistemas construtivos

A seleção de materiais e sistemas construtivos representa uma etapa decisiva na busca por edificações de baixo carbono, influenciando diretamente tanto o carbono incorporado quanto o operacional (Ding, 2014; Santos; Martins; Silva, 2014). No contexto da Habitação de Interesse Social (HIS), a escolha transcende a simples especificação técnica, devendo ponderar o desempenho térmico, a durabilidade, o custo e a adequação cultural e logística (Santos; Martins; Silva, 2014). Uma análise comparativa entre sistemas convencionais e alternativos, como a terra compactada, a madeira lamelada cruzada (CLT) e o aço leve (Lightweight Steel Framing - LSF), revela diferentes potenciais e desafios.

Sistemas construtivos tradicionais em HIS no Brasil, que utilizam predominantemente concreto armado e alvenaria, são caracterizados por um elevado carbono incorporado devido à energia consumida na produção de materiais

como cimento e aço (Ciancio; Beckett, 2013; Ding, 2014). Frequentemente, a padronização desses modelos, sem a devida consideração das particularidades climáticas locais, resulta em baixo desempenho térmico, o que eleva o carbono operacional pelo aumento da necessidade de climatização artificial (Santos; Martins; Silva, 2014).

A terra compactada (taipa) surge como uma alternativa de baixo impacto ambiental, principalmente quando o solo pode ser extraído localmente, o que reduz drasticamente os custos e a energia associada ao transporte (Ciancio; Beckett, 2013). Este material possui uma energia incorporada significativamente menor em comparação ao aço e ao concreto, e suas principais vantagens residem no excelente desempenho térmico. Devido à sua elevada massa térmica, edificações em terra compactada conseguem amortecer as variações de temperatura diárias, mantendo o interior confortável e estável sem a necessidade de sistemas de climatização ativos, o que é ideal para climas com grandes amplitudes térmicas (Ciancio; Beckett, 2013). Estudos demonstram que a massa térmica, e não apenas a resistência térmica, é um fator chave para o conforto passivo (Ciancio; Beckett, 2013).

Por outro lado, sistemas leves como o Cross-Laminated Timber (CLT) e o Lightweight Steel Framing (LSF) oferecem outras vantagens. O CLT, por ser um material leve, pré-fabricado e de baixo carbono, agiliza a construção e reduz o impacto ambiental (Adekunle, 2021). Embora materiais à base de madeira possuam menor massa térmica que materiais pesados, estudos em edificações escolares de CLT demonstram bom desempenho no verão, mantendo o conforto dos ocupantes dentro dos limites estabelecidos por normas como a ASHRAE-55, mesmo sendo naturalmente ventiladas (Adekunle, 2021).

O sistema LSF também se destaca pela rapidez construtiva, leveza, controle de qualidade fabril e alto potencial de reciclagem e reutilização do aço (Santos; Martins; Silva, 2014). No entanto, seu principal desafio é a alta condutividade térmica do aço, que pode criar pontes térmicas significativas se não for corretamente projetado. Para mitigar esse problema, é essencial o uso de isolamento térmico contínuo pelo exterior (configuração "*warm frame*"), que melhora o desempenho e reduz o risco de condensação interna (Santos; Martins; Silva, 2014). A baixa inércia

térmica dos sistemas LSF é outra desvantagem, especialmente em climas com grande variação de temperatura diária, mas pode ser compensada com o uso de materiais de mudança de fase (PCMs) ou a incorporação de elementos de maior massa, como paredes de pedra (Santos; Martins; Silva, 2014).

A validação dessas diferentes soluções em um campo experimental, como proposto neste trabalho, é fundamental. A construção e o monitoramento de protótipos em escala real permitem uma avaliação precisa e comparativa, não apenas por simulações, mas através de medições *in loco* em condições reais de uso. Essa abordagem experimental fornece dados empíricos robustos para confirmar as hipóteses de projeto e subsidiar a escolha das tecnologias mais adequadas à realidade amazônica, contribuindo para o aprimoramento de políticas habitacionais e para a construção de um futuro mais sustentável (Adekunle, 2021; Ding, 2014).

2.3.3 Critérios para seleção de materiais aplicados ao bioma amazônico

A escolha de materiais para edificações no bioma amazônico exige uma abordagem que transcende as especificações técnicas convencionais, demandando uma análise criteriosa da sua adequação a um contexto ambiental e sociocultural único. Os desafios impostos pelo clima quente e úmido, pela alta pluviosidade e pela rica biodiversidade estabelecem um conjunto de critérios específicos para uma seleção que vise à durabilidade, ao conforto e à sustentabilidade (Fontenele, 2006; Silva; Azevedo, 2025).

Um dos critérios primordiais é a adequação climática e a proteção contra as intempéries. Em uma região caracterizada por alta insolação e chuvas intensas e frequentes, os materiais da envoltória devem, antes de tudo, desempenhar a função de abrigo de forma eficaz (Fontenele, 2006). A seleção deve considerar as propriedades de refletância, absorção e transmitância da radiação solar para evitar o superaquecimento dos ambientes internos (Fontenele, 2006).

Além disso, o projeto e a especificação dos materiais devem favorecer estratégias bioclimáticas essenciais para a região, como a ventilação natural, fundamental para o conforto térmico e a salubridade (Fontenele, 2006). A falha em considerar esses fatores pode levar a soluções que não protegem adequadamente

os usuários, como observado na insatisfação com as coberturas do Ver-o-Peso, um dos principais mercados públicos da cidade de Belém, marcado pela intensa circulação de pessoas e exposição às condições climáticas locais (Fontenele, 2006).

O segundo critério é a durabilidade e resiliência frente aos agentes ambientais. O clima amazônico, com sua combinação de alta temperatura e umidade, acelera a deterioração de materiais e favorece a proliferação de agentes biológicos, como os fungos (Fontenele, 2006). Além disso, a alternância entre insolação intensa e fortes chuvas submete os materiais a repetidos ciclos de aquecimento/resfriamento e molhagem/secagem, que podem causar variações dimensionais e microfissuras, comprometendo sua vida útil (Fontenele, 2006).

Em terceiro lugar, o critério do uso de recursos locais e sustentabilidade é central para a construção na Amazônia. A arquitetura vernacular ribeirinha é, por definição, uma prática sustentável, baseada no uso de materiais disponíveis no entorno, como madeiras, palhas e cipós, refletindo uma relação equilibrada com o meio (Silva; Azevedo, 2025). A priorização de materiais locais reduz a energia incorporada, associada ao transporte, e valoriza a economia e a identidade regional. Ademais, o saber-fazer tradicional incorpora o conceito de ciclo de vida do material, como na prática do "desmanche", onde as madeiras de uma palafita antiga são quase integralmente reaproveitadas em novas construções, minimizando o desperdício e a necessidade de extração de novos recursos (Silva; Azevedo, 2025).

Finalmente, a adequação sociocultural e a valorização do saber-fazer local emergem como um critério indispensável. A escolha dos materiais não deve ser apenas uma decisão técnica, mas também cultural (Silva; Azevedo, 2025). A arquitetura vernacular demonstra como os materiais e as técnicas construtivas estão intrinsecamente ligados ao modo de vida e à identidade das comunidades (Silva; Azevedo, 2025). Ignorar esse conhecimento acumulado e impor soluções externas pode resultar em projetos que não são aceitos ou apropriados pela população, como sugerido pelas intervenções feitas pelos próprios usuários na feira do Ver-o-Peso para corrigir falhas de projeto (Fontenele, 2006). Portanto, a seleção de materiais para a habitação social amazônica deve buscar um diálogo entre as tecnologias contemporâneas e o vasto conhecimento tradicional, garantindo que as soluções

sejam não apenas tecnicamente viáveis, mas também culturalmente significativas e socialmente justas.

2.3.4 Potencial de escalabilidade e impacto social das soluções

A implementação de tecnologias e materiais de baixo carbono na construção civil transcende os benefícios puramente técnicos e ambientais, apresentando um profundo potencial de impacto social e de escalabilidade, especialmente no contexto da habitação de interesse social. A viabilidade de uma solução sustentável não se mede apenas por sua eficiência em reduzir emissões, mas também por sua capacidade de ser replicada em larga escala e de gerar transformações positivas na vida das pessoas e na organização das comunidades (Pinto; Fonseca, 2013).

O impacto social dessas soluções manifesta-se de diversas formas. Primeiramente, ao focar em tecnologias de baixo custo e fácil aplicação, como os brises vegetais ou a construção com terra, é possível promover a melhoria do conforto térmico e da salubridade em moradias de populações de baixa renda, que muitas vezes não têm acesso a sistemas de climatização mecânica (Vogel, 2019). Além do benefício direto na qualidade de vida, o processo de implementação dessas tecnologias pode ser desenhado como uma ferramenta pedagógica. Projetos que envolvem a comunidade escolar ou os próprios moradores na concepção e montagem das soluções, por exemplo, promovem a conscientização ambiental e capacitam as pessoas, que se tornam multiplicadoras desse conhecimento em suas próprias residências e vizinhanças (Vogel, 2019). Esse processo de envolvimento ativo resulta em empoderamento do usuário e no fortalecimento da coesão social (Kowaltowski et al., 2024).

O potencial de escalabilidade está diretamente ligado à acessibilidade técnica e econômica das soluções propostas. Sistemas que utilizam materiais locais, reciclados ou de baixo processamento industrial tendem a ser mais facilmente replicáveis do que tecnologias complexas e de alto custo (Pinto; Fonseca, 2013). A experiência do Habitat Living Lab demonstrou que um modelo de inovação social, ao criar tecnologias como os tijolos ecológicos, pode ser estruturado para replicação em outras comunidades, gerando não apenas moradias mais sustentáveis, mas também novas cadeias produtivas e fontes de renda locais (Pinto; Fonseca, 2013). Contudo,

a escalabilidade permanece um desafio, exigindo não apenas uma solução tecnicamente viável, mas também o apoio de políticas públicas e a criação de modelos de negócio que garantam sua sustentabilidade a longo prazo (Kowaltowski et al., 2024).

Em última análise, o verdadeiro valor das tecnologias construtivas de baixo carbono é realizado quando sua aplicação contribui para as metas de desenvolvimento sustentável de forma ampla (Khan et al., 2025). Ao proporcionar moradias mais dignas e eficientes, capacitar comunidades e promover uma cadeia da construção mais justa e de menor impacto, essas soluções deixam de ser apenas uma escolha técnica para se tornarem um vetor de desenvolvimento social e de resiliência climática para as populações mais vulneráveis.

2.4 Sistemas híbridos de baixo carbono

2.4.1 O sistema construtivo híbrido madeira-concreto

A busca por soluções construtivas que aliem eficiência estrutural, rapidez de execução e menor impacto ambiental tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas híbridos. Dentre eles, o sistema híbrido madeira-concreto destaca-se como uma abordagem tecnologicamente avançada que combina as melhores características de cada material para otimizar o desempenho da edificação (Azanaw, 2025). Essa metodologia visa aproveitar a elevada resistência à compressão e a boa capacidade de massa térmica e acústica do concreto, em conjunto com a excelente performance da madeira sob tração, sua leveza e seu caráter renovável (Pastori; Mazzucchelli; Wallhagen, 2022; Azanaw, 2025).

O princípio fundamental de um sistema híbrido madeira-concreto é o comportamento compósito, ou seja, a capacidade dos dois materiais, quando devidamente conectados, de atuarem como uma peça estrutural única e coesa. Para que essa colaboração ocorra de forma eficaz, é crucial a especificação de conectores de cisalhamento, que são os elementos responsáveis por unir a camada de concreto à peça de madeira e garantir a transferência de esforços entre elas (Pastori; Mazzucchelli; Wallhagen, 2022). A rigidez e o tipo desses conectores, que podem ser rígidos, semirrígidos ou dúcteis, são determinantes para o nível de

interação entre os materiais e, conseqüentemente, para o desempenho e a eficiência do sistema como um todo (Azanaw, 2025).

A adoção de sistemas híbridos de madeira e concreto oferece uma série de vantagens significativas quando comparada a sistemas construtivos convencionais. Do ponto de vista da sustentabilidade, o uso da madeira, um recurso natural e renovável, contribui para o sequestro e armazenamento de carbono, reduzindo a pegada ambiental da construção (Azanaw, 2025). Estruturalmente, a combinação resulta em elementos mais leves do que os de concreto armado maciço, o que pode levar a uma redução nos custos com fundações e permitir o vencimento de vãos maiores. Além disso, por frequentemente utilizar componentes de madeira pré-fabricados, o sistema permite uma montagem mais rápida no canteiro de obras, com maior controle de qualidade, menor geração de resíduos e uma obra mais limpa (Azanaw, 2025). A Figura 09 apresenta um exemplo de construção em madeira.

Figura 09 — Exemplo de casa de madeira utilizando encaixe de tábuas.



Fonte: Madeiras Teresense, 2025.

Considerando essas vantagens, a escolha por um sistema híbrido madeira-concreto para o protótipo de habitação de interesse social deste trabalho alinha-se diretamente aos objetivos de desenvolver uma solução de baixo carbono, que seja ao mesmo tempo inovadora, eficiente e com potencial de racionalização construtiva. A união desses dois materiais representa, portanto, uma estratégia

promissora para atender às complexas demandas da construção sustentável contemporânea.

2.4.2 Componente madeira: espécies amazônicas e resíduos

A viabilidade e a sustentabilidade do componente de madeira no sistema híbrido proposto dependem de dois fatores cruciais: a seleção criteriosa de espécies adequadas ao uso estrutural e provenientes de fontes responsáveis, e o aproveitamento inteligente dos resíduos gerados em seu processamento. A utilização da madeira como material construtivo só pode ser considerada uma prática de baixo carbono se a sua origem for de florestas com um plano de manejo florestal sustentável, que garanta a renovação do recurso e a manutenção do ecossistema (Sist et al., 2023).

A seleção de espécies de madeira da Amazônia para fins estruturais deve ser baseada em critérios técnicos rigorosos. É fundamental analisar as propriedades físicas e mecânicas da madeira para garantir a segurança e o desempenho da edificação. Entre as propriedades mais relevantes estão a densidade, que se relaciona com a resistência do material, e os valores de resistência à compressão e à tração, além do módulo de elasticidade, que indica a rigidez da madeira (Reis et al., 2019). Espécies de alta densidade e resistência, como o Cumaru (*Dipteryx odorata*), o Ipê (*Handroanthus serratifolius*) e o Jatobá (*Hymenaea courbaril*), são tradicionalmente reconhecidas por seu excelente desempenho estrutural (Reis et al., 2019; Sist et al., 2023). Tais espécies devem ser extraídas e comercializadas através de um manejo florestal controlado e, para não entrarem em extinção devido a popularidade, possuem algumas restrições comerciais controladas (CITES, 2025)

Uma alternativa sustentável para diminuir o consumo das madeiras populares é o uso de "espécies menos conhecidas" provenientes de manejo florestal também, pois diversifica a demanda e agrega valor à floresta, reduzindo a pressão sobre as madeiras mais populares (Sist et al., 2023). Estudos recentes comprovaram uma similaridade tecnológica entre as espécies Muiringafolha-peluda (*Helicostylis pedunculata*), Tauari-branco (*Couratari stellata*) e Tachi-vermelho (*Tachigali chrysophylla*) com as espécies mais comercializadas da região amazônica, sendo uma alternativa em potencial para a diversificação da extração (Reis et al., 2019).

Uma abordagem verdadeiramente sustentável para o uso da madeira na construção não se limita à extração da matéria-prima, mas abrange também o reaproveitamento de resíduos de serrarias. A serragem e as aparas de madeira, que são subprodutos abundantes da indústria madeireira, podem ser reincorporadas na cadeia da construção civil. Estudos demonstram a viabilidade técnica da utilização desses resíduos como agregados leves na produção de compósitos cimentícios, criando materiais de construção com menor densidade e melhor comportamento termoacústico (Arruda Junior; Barata; Lima, 2021). A combinação da escolha de madeira certificada com o aproveitamento de seus resíduos configura, portanto, um ciclo mais fechado e de menor impacto ambiental.

2.4.3 Componente cimentício: cimento e lajes de baixo carbono

Os componentes cimentícios do sistema híbrido proposto são fundamentais para garantir seu desempenho estrutural e, principalmente, para alinhar a construção aos princípios de baixo carbono. A estratégia adotada no projeto se baseia em duas inovações principais: o uso de um cimento de baixo impacto ambiental, em linha com as pesquisas desenvolvidas na região, e sua aplicação na fabricação de elementos estruturais de alta eficiência, como lajes alveolares protendidas, lajes planas e blocos de concreto estruturais (Gustani, 2017; Jesus et al., 2023).

O cimento proposto para o projeto é uma alternativa de baixo carbono, similar aos tipos estudados em pesquisas vinculadas à Universidade Federal do Pará (UFPA). A principal abordagem para a produção de cimentos de baixo impacto ambiental é a redução do "fator clínquer", que é o componente do cimento cuja produção mais consome energia e emite Dióxido de carbono (CO₂) (Braga; Arruda Junior; Barata, 2023). Isso é alcançado pela substituição parcial do clínquer por Materiais Cimentícios Suplementares (SCMs), como a argila calcinada e o calcário, tecnologia conhecida como LC3 (Limestone Calcined Clay Cement) (Jesus et al., 2023). Outros SCMs, como a cinza da casca de arroz, também são amplamente pesquisados no Brasil por suas propriedades pozolânicas, que reagem com os subprodutos da hidratação do cimento para formar compostos que contribuem para a resistência e durabilidade do concreto (Braga; Arruda Junior; Barata, 2023). O uso

desses materiais alternativos é, portanto, a chave para reduzir significativamente o carbono incorporado do concreto.

Este cimento de baixo impacto é então empregado na fabricação da estrutura, tornando-a de baixo carbono. Uma possibilidade se dá na utilização do cimento de baixo carbono na laje protendida, que funciona pela introdução de forças internas de compressão no concreto, como se estivesse "esticada por dentro" por cabos de aço especiais (SILVA et al., 2021). Essa compressão prévia neutraliza ou reduz as tensões de tração causadas pelas cargas externas, controlando deformações e fissuras (SILVA et al., 2021; FARIA, 2004). Isso permite vencer grandes vãos com lajes mais finas e leves, oferecendo maior flexibilidade para projetos arquitetônicos e reduzindo a necessidade de pilares e vigas (SILVA et al., 2021; FARIA, 2004), exemplificado na Figura 10, sendo ideal para a composição do sistema híbrido sustentável proposto neste trabalho.

Figura 10 — Estrutura com lajes planas.



Fonte: Shutterstock, 2025

3 METODOLOGIA

3.1 Delimitação do objeto de estudo

O projeto foi desenvolvido a partir de um conjunto de diretrizes preexistentes, estabelecidas no contexto do protótipo em estudo. Essas diretrizes incluíam definições de localização, dimensões gerais de terreno, requisitos funcionais e

parâmetros orçamentários, tratados nesta pesquisa como condicionantes de partida para a formulação das soluções arquitetônicas e tecnológicas apresentadas.

As definições têm caráter exploratório e conceitual, atuando como referência para a escolha de sistemas construtivos, materiais e estratégias de adaptação climática. A formulação dessas pré-definições fundamentou-se em referências bibliográficas, em critérios gerais aplicáveis à Habitação de Interesse Social e em estimativas compatíveis com a realidade regional. A restrição orçamentária considerou o teto da faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), visando aumentar a viabilidade econômica e a replicabilidade das propostas, assegurando um ponto de partida metodológico coerente para o desenvolvimento dos protótipos sem comprometer seu caráter experimental.

Embora o presente trabalho tenha como objeto a Habitação de Interesse Social, optou-se por não adotar integralmente o programa de necessidades mínimo estabelecido pelo PMCMV. Tal escolha fundamenta-se no caráter acadêmico e exploratório da pesquisa, cujo objetivo principal não é a reprodução de modelos já consolidados, mas a investigação de soluções arquitetônicas e construtivas inovadoras, com ênfase em eficiência energética, conforto ambiental e baixo impacto ambiental.

Dessa forma, o programa oficial foi utilizado como parâmetro de referência para mobiliários e viabilidade econômica sem limitar a formulação dos protótipos. Assim, garante-se maior liberdade metodológica para testar tipologias alternativas de habitações e estratégias de adaptação climática, preservando a possibilidade de futura adequação às normativas e exigências do PMCMV, além de fornecer subsídio para novas diretrizes tipológicas adequadas a diferentes configurações de família.

A pesquisa será conduzida por meio da elaboração de dois protótipos sustentáveis de habitação de interesse social (HIS), concebidos como parte de um laboratório vivo de habitação social de baixo carbono, com foco em soluções construtivas adaptadas ao clima quente-úmido e alinhadas a princípios de eficiência energética, conforto ambiental e sustentabilidade. A investigação envolve estudos teóricos, análise documental, referências projetuais e desenvolvimento em

modelagem digital, prevendo a possibilidade de monitoramento e avaliação em fases posteriores. O projeto visa atender as seguintes diretrizes:

- Uso de materiais e tecnologias construtivas de baixo impacto, preferencialmente locais;
- Adoção de estratégias passivas de ventilação cruzada, sombreamento e aproveitamento da iluminação natural;
- Adequação ao clima quente-úmido e ao ambiente de pesquisa acadêmico;
- Inclusão de critérios de acessibilidade universais;
- Compatibilidade com parâmetros de eficiência energética e sustentabilidade construtiva.

3.2 Metodologia de projeto e desenvolvimento

O processo de desenvolvimento será composto pelas seguintes etapas:

1. Revisão da literatura: consolidação de referências técnicas e teóricas para embasar decisões projetuais, com o levantamento bibliográfico sobre laboratório vivo, estratégias passivas, uso de materiais de baixo carbono, sistemas construtivos e materiais sustentáveis;
2. Contextualização e análise: levantamento do programa de necessidades e estudo de diretrizes de HIS baseadas no Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), conjunto com estratégias passivas de conforto ambiental;
3. Definição do projeto arquitetônico: ajustes no *layout*, implantação no terreno, orientação solar e soluções construtivas;
4. Desenvolvimento dos protótipos: criação de dois modelos habitacionais sustentáveis, com enfoque em baixo carbono e estratégias passivas;
5. Modelagem digital: uso de *softwares* para organização das etapas construtivas e preparação para análises e monitoramento futuros.
6. Análise e desenvolvimento de diretrizes: estruturação de diretrizes para a implementação de laboratórios vivos universitários aplicados à habitação social.

3.3 Técnicas e ferramentas utilizadas

- Modelagem e documentação digital em Revit para integração de dados construtivos e à metodologia BIM;
- Utilização do *software* Enscape para renderização e geração de imagens;
- Aplicação de diretrizes bioclimáticas e normas como a NBR 15220 e a NBR 15575.

3.4 Critérios de avaliação

A análise será qualitativa e comparativa entre os protótipos, considerando:

- Adoção de estratégias passivas;
- Seleção de materiais e tecnologias de baixo carbono;
- Adequação ao contexto climático e social.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DOS PROTÓTIPOS

4.1 Condicionantes projetuais

A concepção dos protótipos parte da necessidade de explorar soluções construtivas de baixo carbono, aliadas a estratégias de adaptação climática para a realidade de zonas quente-úmidas, tendo Belém como local de referência. Para tanto, adota-se como cenário de implantação uma área experimental de 20x20m em ambiente universitário vinculado aos cursos de Arquitetura e Engenharias ou em áreas de pesquisas privadas, espaço que favorece a integração entre ensino, pesquisa e extensão. Embora não haja, nesta etapa, uma definição definitiva de implantação do laboratório vivo, o modelo é concebido de forma independente, permitindo sua replicação em diferentes universidades e regiões com características de sítio semelhantes. Dessa forma, assegura-se a aplicabilidade das diretrizes projetuais e construtivas propostas para a habitação social.

O desenvolvimento dos protótipos foi precedido por uma etapa de definição conceitual, na qual foram estabelecidos parâmetros orientadores quanto às soluções arquitetônicas, aos sistemas construtivos e à seleção de materiais. Além disso, considerou-se uma diretriz orçamentária preliminar, baseada na faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida, que serviu de referência para assegurar a viabilidade técnica e econômica das propostas. Essa abordagem visa à possível implementação

do sistema construtivo estudado em larga escala, garantindo que o modelo seja funcional, replicável e coerente com as necessidades de uma habitação de interesse social.

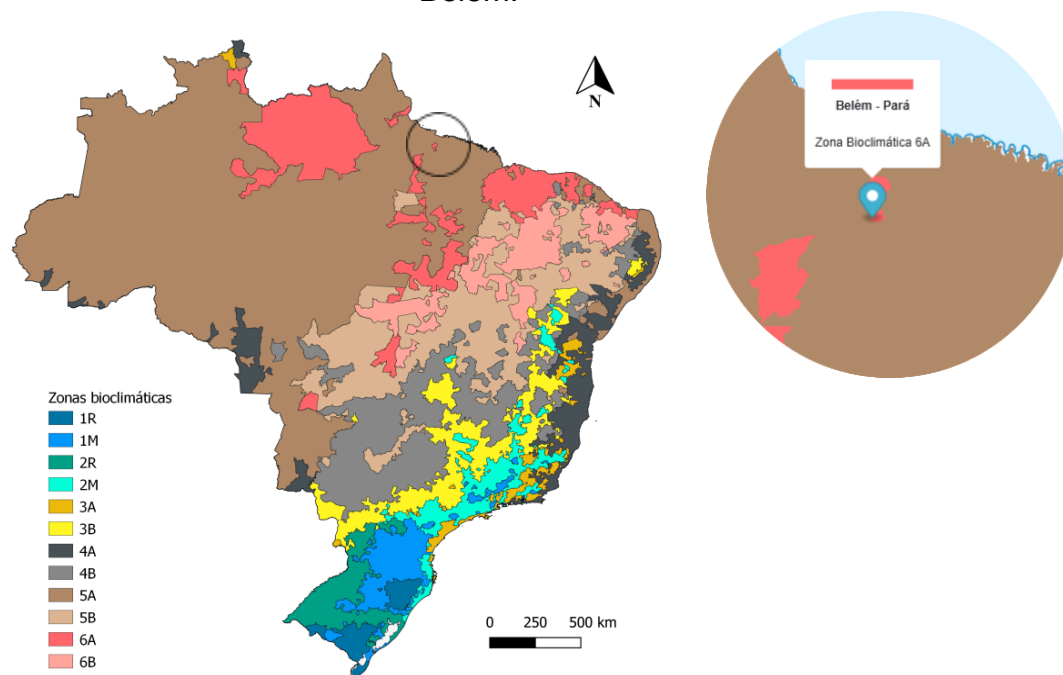
Um dos parâmetros foi estabelecido a partir dos resultados do Concurso Nacional de Habitação de Interesse Sustentável (CONCURSOSDEPROJETO, 2021), que evidenciam a relevância da flexibilidade tipológica como estratégia de qualificação habitacional. Entre os projetos premiados em primeiro lugar, destacam-se propostas que contemplaram tipologias variadas, com unidades de 1, 2 e 3 quartos, adaptáveis a diferentes configurações familiares. Tal abordagem rompe com o padrão mínimo estabelecido pelo programa Minha Casa Minha Vida, demonstrando que novas abordagens tipológicas podem ser reconhecidas e legitimadas em processos de seleção qualificados (IAB-DF, 2025).

Nesse sentido, o desenvolvimento de protótipos com unidades reduzidas neste trabalho insere-se nessa mesma lógica, aliado ao uso da edificação com caráter experimental e acadêmico, explorando a diversidade tipológica como instrumento de inovação, racionalização construtiva e adequação às diferentes realidades familiares no campo da habitação social.

4.2 Diretrizes gerais para os protótipos

Segundo a NBR 15220-3:2024, o município de Belém está enquadrado na Zona Bioclimática (ZB) 6A (Figura 11), classificada como muito quente e úmida, caracterizada por temperaturas médias anuais elevadas e alta umidade relativa do ar (ABNT, 2024). Essa classificação substitui o antigo zoneamento em oito zonas, ampliando o detalhamento para dezoito regiões bioclimáticas. No entanto, a nova norma ainda não dispõe de uma atualização de diretrizes construtivas embasada em cada classificação climática.

Figura 11 — Mapa do Zoneamento Climático Brasileiro, com ampliação na cidade de Belém.



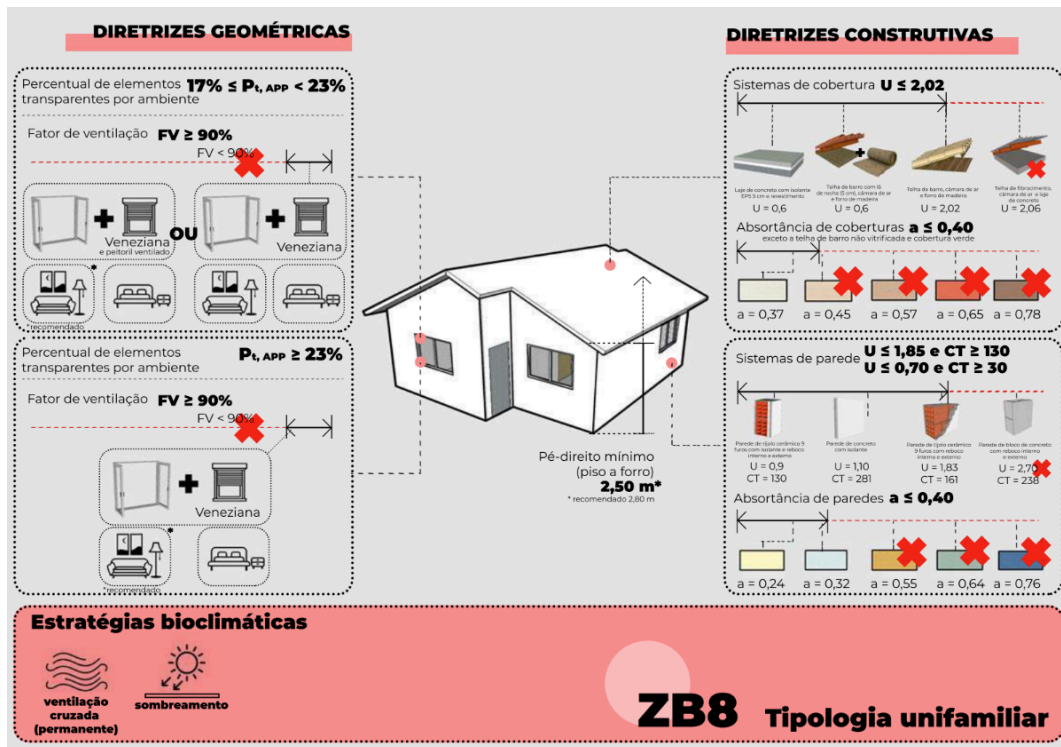
Fonte: NBR 15220-3:2024; <https://labeee.ufsc.br/zoneamento/>

Para atender a essa demanda, nesta pesquisa recorreu-se às orientações da Cartilha Casos Otimizados, apresentada na Figura 12, sendo um produto do projeto “Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS” desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) com apoio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) e da Secretaria Nacional de Habitação (SNH). Essas recomendações serviram de base para estratégias passivas de projeto, utilizando a equivalência climática da ZB 8 (ABNT, 2005), que são adequadas ao clima local e amplamente utilizadas na literatura acadêmica.

A cartilha apresenta parâmetros gerais para a otimização de projetos, com foco na eficiência energética de habitações de interesse social no Brasil. As diretrizes indicadas abrangem aspectos geométricos, como o percentual de elementos transparentes, o fator de ventilação e o pé-direito, além de diretrizes construtivas, que incluem a transmitância e a absorvância térmica de paredes e coberturas. Tais orientações foram elaboradas com base em um estudo que analisou os custos no ciclo de vida da edificação, incluindo o custo inicial, operacional e de

manutenção, e os benefícios obtidos com a melhoria do desempenho térmico (LabEEE, 2022).

Figura 12 — Parâmetros de diretrizes construtivas para Zona Bioclimática 8.



Fonte: Cartilha Casos Otimizados (LabEEE, 2022).

Além desses elementos, o projeto buscou atender às seguintes diretrizes gerais, visando a aprimoração dos projetos de habitação social: resiliência, adaptabilidade, metodologia BIM, viabilidade e sustentabilidade (Figura 13). Tais princípios nortearam a formulação das soluções projetuais, buscando equilibrar conforto ambiental, eficiência energética, baixo impacto ambiental e qualidade dos espaços de convivência, de forma a assegurar a replicabilidade e a relevância social das propostas.

Figura 13 — Diretrizes gerais para os protótipos de HIS.



Fonte: elaborado pela autora.

A diretriz Resiliente se concentra em criar ambientes internos que sejam confortáveis e seguros, com capacidade de adaptação a diversas condições climáticas e preparados para futuras variações de temperatura e umidade. A Adaptável define uma estrutura que permite ajustes e acréscimos modulares, tornando-a adequada para diferentes perfis familiares e usos, e possibilitando a criação de múltiplas configurações habitacionais.

Já a diretriz Metodologia BIM visa viabilizar a avaliação de soluções através de simulações computacionais, o que resulta em maior precisão no desempenho previsto e integra a modelagem com as demais etapas de projeto e planejamento. Por sua vez, a categoria Viável se refere à compatibilidade dos custos com os programas de habitação social, à possibilidade de implementação das soluções em larga escala e ao equilíbrio entre investimento, funcionalidade e replicabilidade. Por fim, a categoria Sustentável foca em sistemas construtivos que emitam menos carbono, otimizando o ciclo de vida do edifício e dos materiais, o que inclui a gestão de energia, emissões e recursos hídricos.

4.3 Concepção dos protótipos

Para o desenvolvimento dos protótipos, considerou-se o programa de necessidades mínimo do PMCMV como critério inicial, tomando como base a Portaria nº 725, de 15 de junho de 2023, do Ministério das Cidades. Contudo, por se

tratar de uma edificação de caráter experimental voltada à pesquisa acadêmica, optou-se por uma implantação de menor dimensão, de modo a garantir viabilidade econômica e, ao mesmo tempo, contemplar as principais exigências de uma habitação de interesse social, incluindo a acessibilidade. Assim, em consonância com a flexibilidade tipológica já reconhecida em experiências recentes, definiu-se como mais adequado ao presente estudo o desenvolvimento de uma unidade habitacional com apenas 1 dormitório de casal, composta pelo programa arquitetônico final, descrito no Quadro 01:

Quadro 01 — Programa de necessidades.

AMBIENTES	DIRETRIZES MÍNIMAS
Dormitório de casal	1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 mesa de cabeceira (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m (Brasil, 2023).
Cozinha	Largura mínima: 1,80 m. Quantidade mínima de itens: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); e geladeira (0,70 m x 0,70 m). Previsão para armário sob a pia e gabinete. (Brasil, 2023)
Sala de Estar/Jantar	Largura mínima: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e estante/armário TV (Brasil, 2023).
Área de serviço	Quantidade mínima de itens: um tanque (52 cm x 53 cm) e uma máquina de lavar roupa (60 cm x 65 cm). Prever espaço e garantia de acesso frontal para tanque e acesso frontal ou lateral para a máquina de lavar roupa (Brasil, 2023).
Banheiro	Conforme NBR 9050.
Varanda	Largura interna mínima de 0,80m e área útil mínima de 1,50 m ² (Brasil, 2023).

Fonte: Portaria nº 725, de 15 de junho de 2023, do Ministério das Cidades, adaptado pela autora.

A partir disso foram elaboradas duas propostas de HIS distintas, seguindo o mesmo programa de necessidades e com a mesma disposição de mobiliário, contudo, divergindo nos elementos construtivos e nas estratégias passivas de conforto. O primeiro protótipo possui um caráter mais experimental, com um sistema construtivo inovador e exploração de novas estratégias bioclimáticas. O segundo,

possui um caráter mais “tradicional” com elementos construtivos mais usuais e conhecidos, porém com a adição de materiais mais sustentáveis.

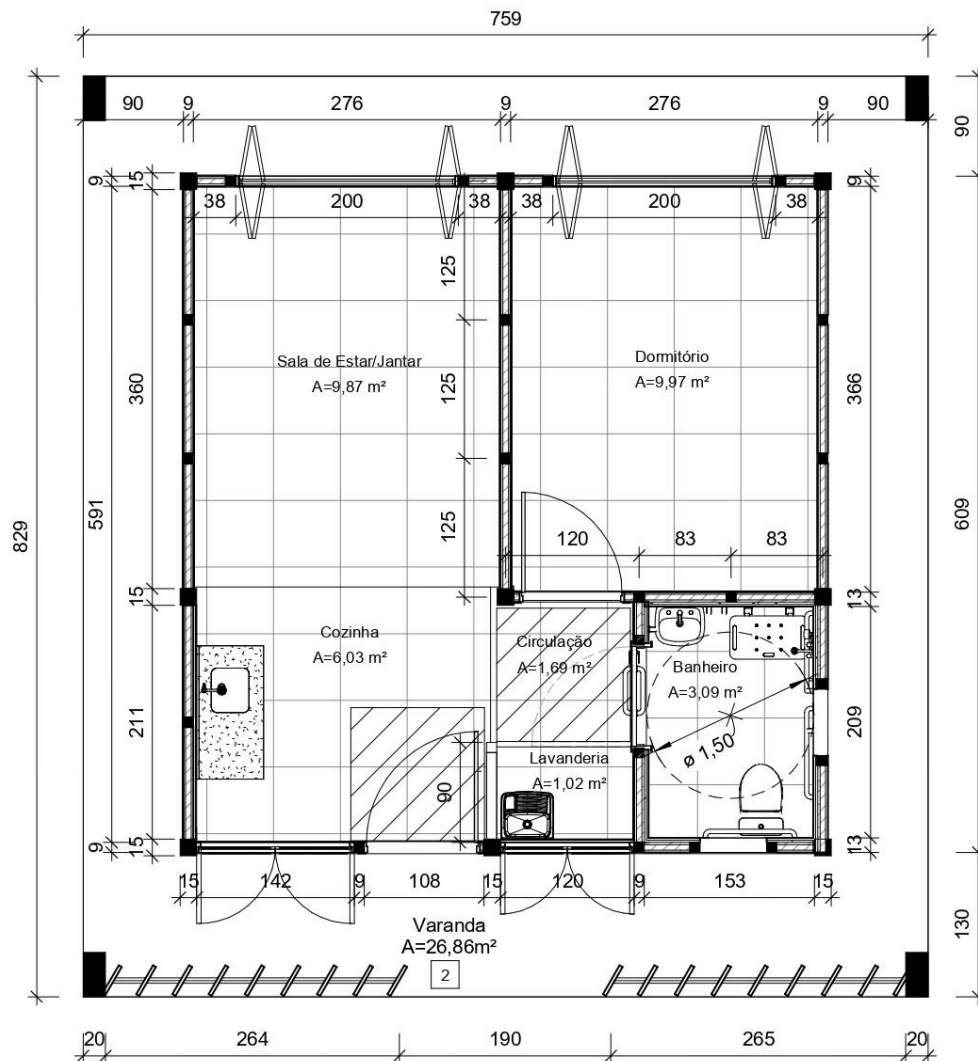
Para garantir o sombreamento das aberturas, ambos os protótipos foram projetados com varandas ao longo de seu entorno, associadas a beirais de grandes dimensões. A adoção da varanda, além de cumprir a função de proteção solar, permite a simulação de circulações de acesso em edifícios multipavimentos, ampliando o papel do corredor ao integrá-lo como elemento de sombreamento das esquadrias.

No desenvolvimento do *layout* do protótipo, a acessibilidade foi adotada como diretriz fundamental, em conformidade com a Portaria nº 725/2023 do Ministério das Cidades. Assim, toda a concepção buscou garantir uma unidade plenamente adaptável, prevendo espaços livres de obstáculos em frente às portas, áreas de manobra nos banheiros com diâmetro de 1,50 m para rotação de 360°, bem como a instalação de acessórios em conformidade com a NBR 9050. Nos demais cômodos, também foram consideradas áreas de manobra adequadas, assegurando a adaptação integral da unidade.

4.3.1 Protótipo híbrido de madeira e concreto

A primeira tipologia visa um estudo de sistema construtivo híbrido, utilizando concreto armado para a sustentação estrutural e painéis e montantes pré-fabricados de madeira nas vedações, de tal forma, que todo o sistema possa ser industrializado e de rápida execução. A configuração espacial dessa proposta está representada na Figura 14, que apresenta a planta baixa do protótipo de madeira. O material para os painéis de madeira pode ser adquirido e reaproveitado a partir do resíduo de serrarias, além da utilização da madeira de manejo florestal. Além disso, tem-se no protótipo a experimentação de esquadrias não convencionais que otimizam a ventilação cruzada dentro do ambiente em união com a iluminação natural controlada. Em contrapartida, a utilização de elementos pouco convencionais tende a encarecer o produto final, necessitando de uma escalabilidade do sistema para a redução do custo.

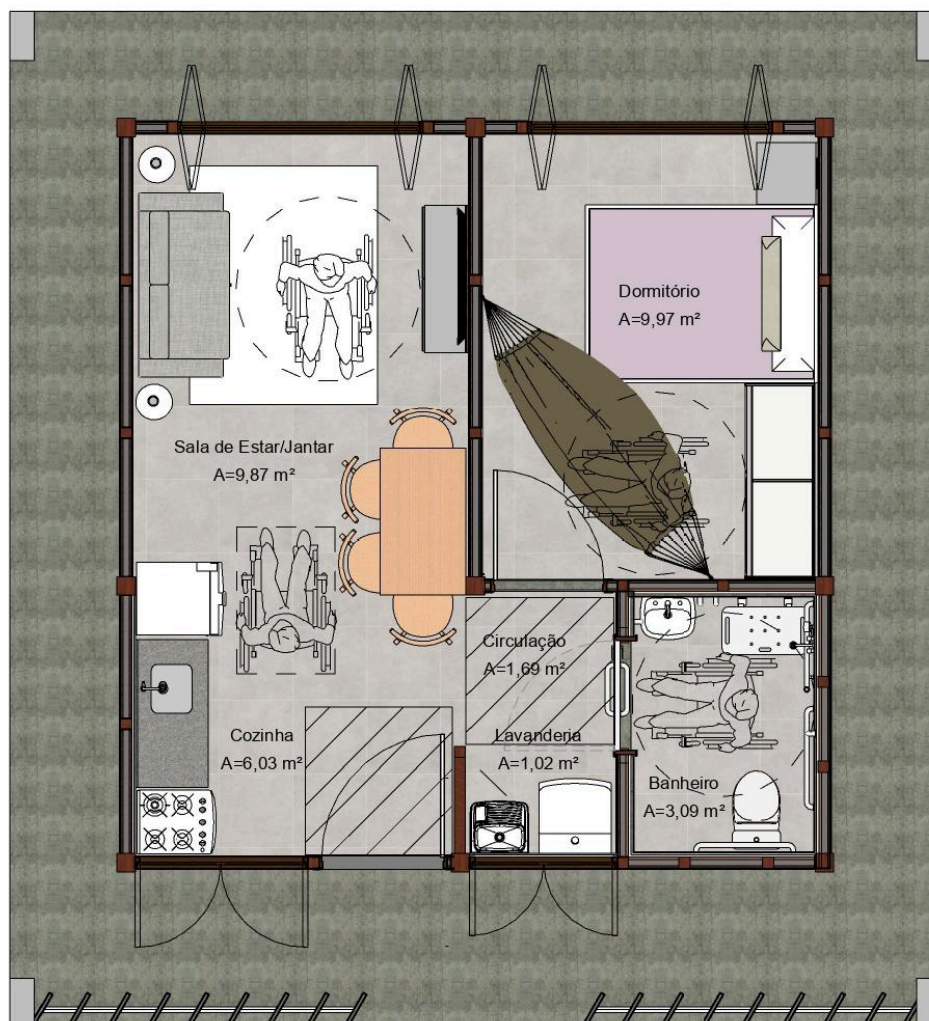
Figura 14 — Planta baixa do protótipo de madeira.



Fonte: elaborado pela autora.

Para garantir conforto ambiental adequado, especialmente por meio da ventilação natural, as esquadrias foram estrategicamente distribuídas em faces opostas do edificado, conforme demonstrado na Figura 16, favorecendo a ventilação cruzada. Em conformidade com a ABNT NBR 15575-4:2021 – Sistemas de vedações verticais e Cartilha Casos Otimizados adotou-se como critério mínimo que as aberturas para ventilação em ambientes de permanência prolongada (como salas e dormitórios) correspondam a um percentual de, no mínimo, 12% da área útil do ambiente, valor exigido para a ZB 8 (ABNT, 2021). Além disso, foi levado em consideração os índices da Cartilha Casos Otimizados, que recomenda um fator de abertura para ventilação (FV) maior ou igual a 90% para a ZB 8 (LabEEE, 2022).

Figura 15 — Layout do protótipo de madeira.



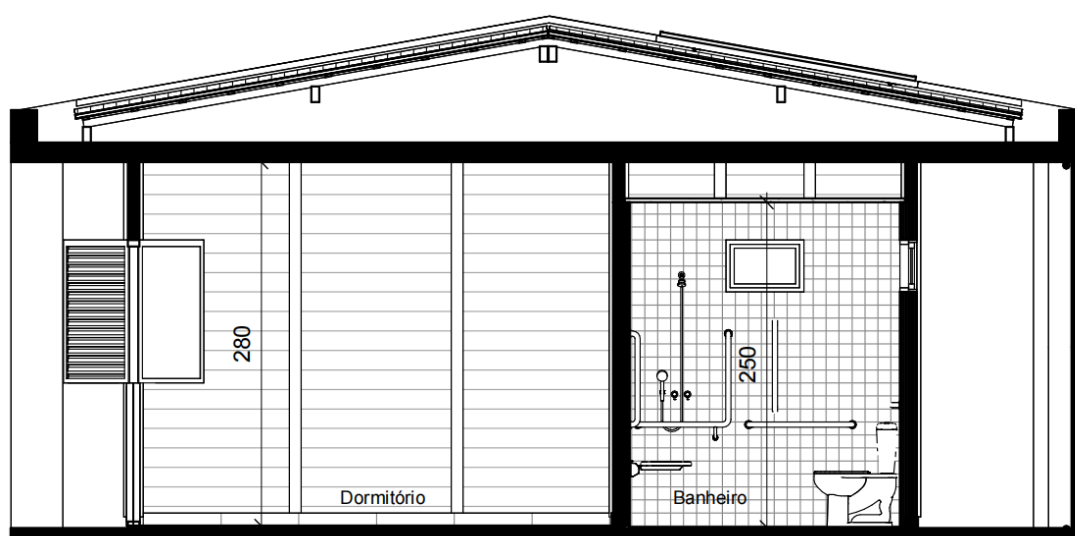
Fonte: elaborado pela autora.

As esquadrias selecionadas para as áreas de permanência foram do tipo “camarão”, que de acordo com o Anexo II do Manual de Edificações Residenciais para ZB8, Tabela de Desconto das Esquadrias, possui um percentual de abertura para ventilação natural de 90% (CB3E, 2013), permitindo a passagem quase total da ventilação, alinhadas aos requisitos normativos e às especificidades do clima local. Ademais, as esquadrias utilizadas permitem a abertura da parte inferior, adaptável entre janela e porta, permitindo uma otimização da área de ventilação de acordo com a necessidade. Além do mais, a proposição de brises móveis na fachada contribui para a otimização do resfriamento passivo da edificação.

Seguindo a recomendação da Cartilha, optou-se por utilizar o pé-direito recomendado de 2,80m ao invés do mínimo, com exceção do banheiro. Essa

decisão tem como objetivo não apenas atender às exigências normativas, mas também promover maior conforto térmico e favorecer a ventilação natural e a eficiência energética da edificação. Tal solução corrobora para a redução da carga térmica interna, possibilitando menor uso de climatização artificial e alinhando o projeto às diretrizes de edificações mais sustentáveis e de melhor desempenho. A Figura 16 ilustra o corte do protótipo de madeira, permitindo visualizar a aplicação prática das soluções descritas.

Figura 16 — Corte esquemático do protótipo de madeira.

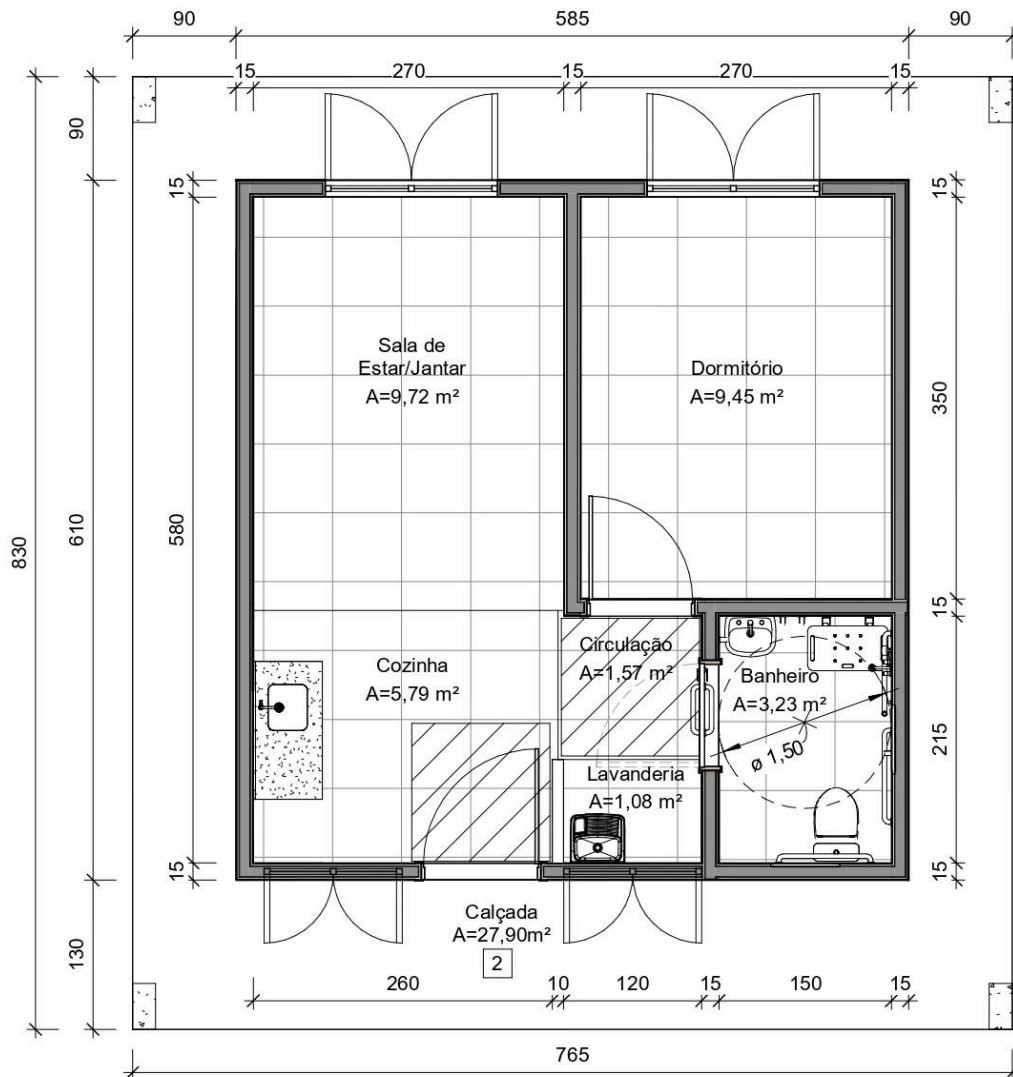


Fonte: elaborado pela autora.

4.3.2 Protótipo de alvenaria de baixo carbono

O segundo protótipo tem como principal característica a utilização de cimento de baixo carbono na produção de elementos estruturais e em argamassas, estratégia que contribui para a redução do carbono incorporado na edificação. A adoção desse material, em associação a métodos construtivos convencionais, permite estabelecer uma base consistente para a incorporação progressiva de melhorias em sistemas construtivos tradicionais. Nesse contexto, optou-se pela adoção de vedações em alvenaria estrutural cerâmica, revestidas com argamassas de baixo carbono, em conjunto com uma estrutura em concreto armado, como pode ser observado na Figura 17, que apresenta a planta baixa do protótipo de alvenaria.

Figura 17 — Planta baixa do protótipo de alvenaria

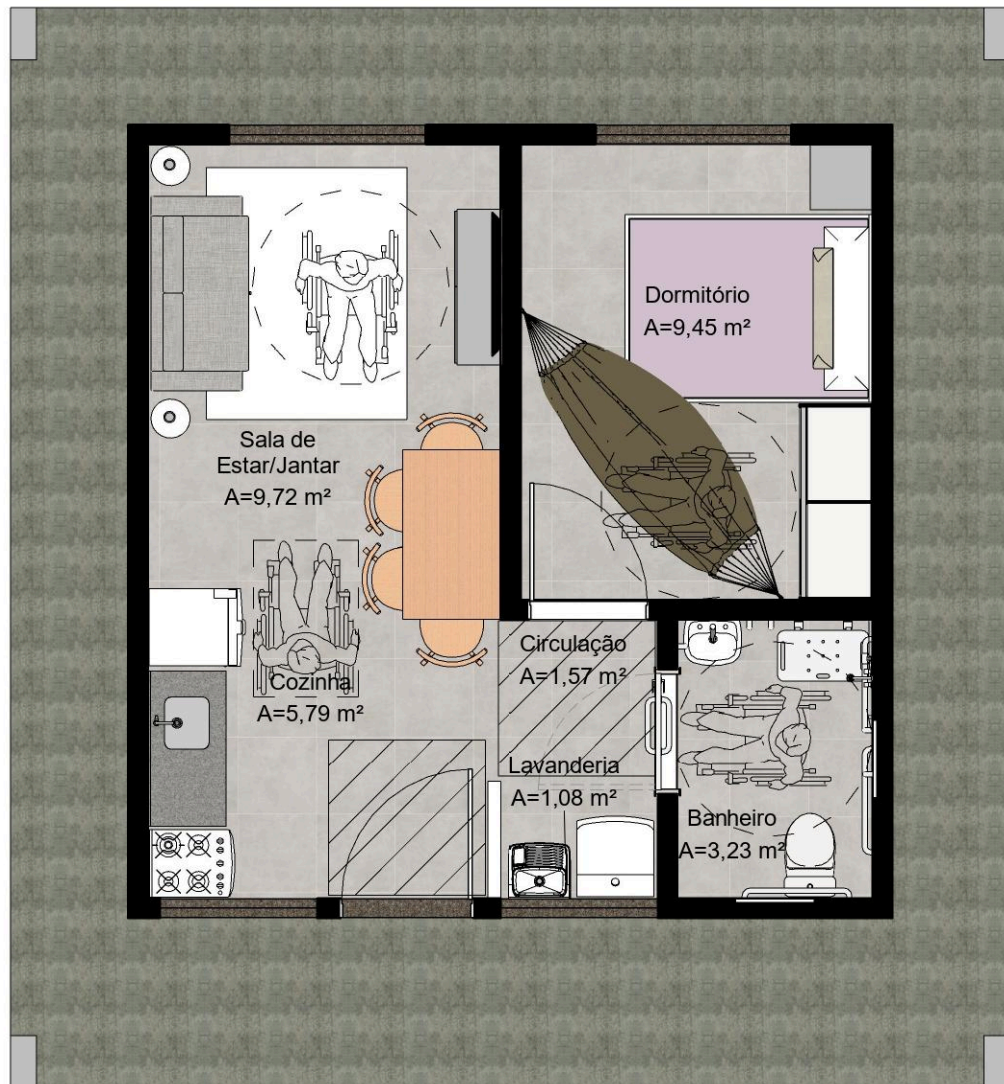


Fonte: elaborado pela autora.

Seguindo o mesmo preceito que a edificação anterior, com relação às normas e índices de desempenho, as janelas deste protótipo visam atender ao fator de abertura para ventilação (FV) maior ou igual a 90% (LabEEE, 2022). No entanto, por ser um protótipo mais tradicional, as janelas são de um modelo convencional de giro, com duas folhas, que conforme o Anexo II — Tabela de Desconto das Esquadrias, também possui um percentual de abertura para ventilação natural de 90% (CB3E, 2013). A Figura 18 apresenta o layout do protótipo, permitindo visualizar a disposição dos ambientes internos e a circulação planejada, que garante condições

adequadas de ventilação cruzada, renovação de ar e iluminação natural, contribuindo para o conforto térmico e a salubridade.

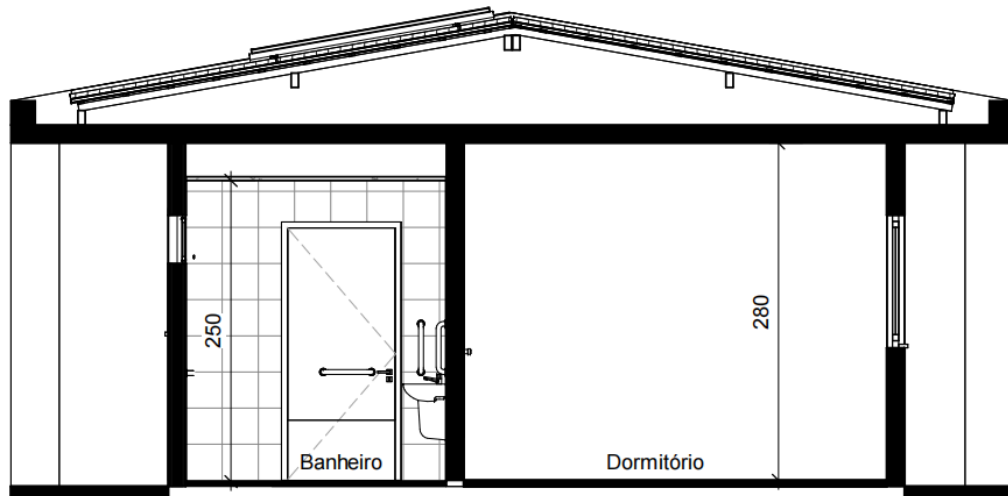
Figura 18 — Layout protótipo de alvenaria.



Fonte: elaborado pela autora.

A escolha do pé-direito (Figura 19) se baseou nas mesmas diretrizes do protótipo anterior, garantindo que o arcabouço estrutural de ambas as edificações fosse equivalente. Essa padronização permite reduzir variáveis construtivas que poderiam interferir nos resultados, assegurando maior confiabilidade na avaliação sinérgica entre os protótipos. Além disso, a manutenção de um mesmo sistema estrutural possibilita comparações diretas quanto ao desempenho térmico e energético, ao mesmo tempo em que otimiza custos de projeto e execução, favorecendo a replicabilidade das soluções em contextos reais.

Figura 19 — Corte esquemático do protótipo de alvenaria.



Fonte: elaborado pela autora.

4.4 Sistemas construtivos e materiais

O desenvolvimento dos protótipos considerou a seleção de sistemas construtivos e materiais que integrassem eficiência estrutural, conforto ambiental e sustentabilidade, além da possibilidade de replicação em diferentes contextos habitacionais. A seguir, detalham-se os principais componentes das edificações:

- **Fundação:**

Será empregada uma solução compatível com a simplicidade construtiva e o baixo impacto ambiental, sendo a melhor escolha o radier, por possibilitar uma flexibilidade de montagem das edificações e garantir resistência adequada e fácil execução.

- **Estrutura:**

A estrutura dos protótipos será composta por pilares e lajes planas, caracterizadas pelo uso de lajes maciças protendidas, sem a necessidade de vigas. Essa solução possibilita maior agilidade de execução, liberdade construtiva e o vencimento de grandes vãos. Em um cenário de aplicação em larga escala, voltado a conjuntos habitacionais, o sistema construtivo totalmente industrializado se apresentaria como o mais adequado, incorporando elementos pré-moldados, como lajes alveolares, pilares e vigas fabricados em usina, de modo a garantir maior

celeridade nos processos e a redução significativa de resíduos no canteiro de obras. No entanto, considerando a execução de apenas dois protótipos de menor porte, a adoção integral desse processo poderia inviabilizar a proposta. Por esse motivo, optou-se pelo método construtivo anteriormente descrito.

- **Vedações:**

Foi utilizado como parâmetro para a definição dos sistemas construtivos de vedação a adequação das paredes externas ao índice de transmitância térmica ideal para o clima quente-úmido (ZB 8), baseado na tabela 13 da NBR 15575-4:2021, com valor menor ou igual a 2,5 (Figura 20).

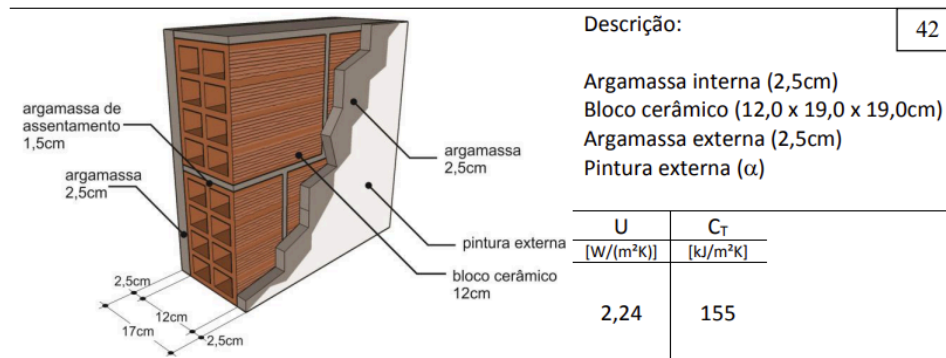
Figura 20 — Transmitância térmica de referência para paredes externas.

Tabela 13 – Transmitância térmica de referência para paredes externas		
Transmitância térmica de paredes (U_{par}) W/(m ² .K)		
Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 8	
$U_{par} \leq 2,7$	$\alpha_{par}^a \leq 0,6$	$\alpha_{par} > 0,6$
	$U_{par} \leq 3,7$	$U_{par} \leq 2,5$
<p>^a α_{par} é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede. Recomenda-se a consideração da degradação do desempenho desta superfície, conforme ABNT NBR 15575-1:2021, 11.2</p> <p>Os limites de α_{par} estabelecem a transmitância térmica de referência que deve ser considerada nas paredes externas.</p> <p>No caso de paredes com superfície externa em chapas metálicas de qualquer natureza, com ou sem aplicação de pintura ou outro acabamento, a superfície externa deve apresentar valor de emitância térmica superior a 0,7, para as zonas bioclimáticas 3 a 8. O valor da emitância térmica deve ser comprovado por meio de laudo técnico conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, Tabela 1.</p> <p>Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de transmitância térmica de paredes externas que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, estabelecido na ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.</p>		

Fonte: NBR 15575-4:2021.

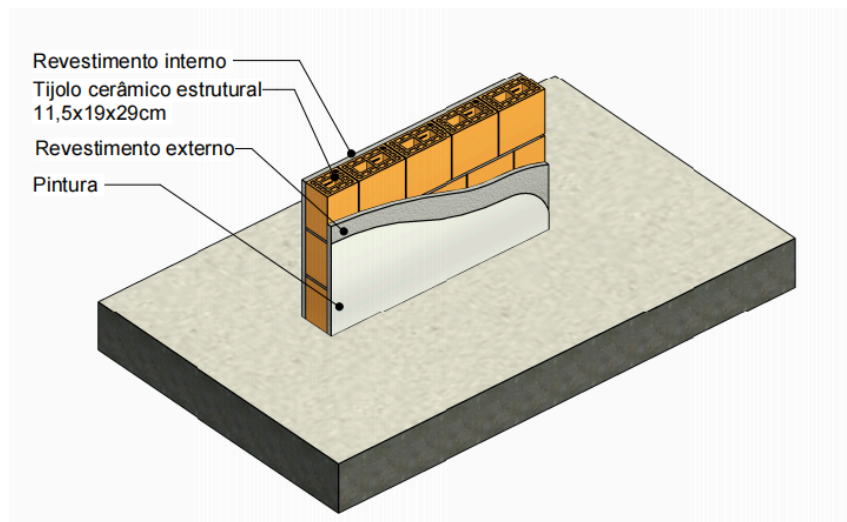
Com base no Anexo Geral V da Portaria INMETRO nº 50/2013, que apresenta um catálogo de diferentes tipologias de paredes, coberturas e vidros, juntamente com seus respectivos valores de transmitância térmica e capacidade térmica para consulta, foi selecionado um sistema de referência para a definição da vedação em alvenaria do protótipo, apresentado na Figura 21. Contudo, foram necessárias algumas adaptações ao contexto do estudo, de modo a compatibilizar com as características projetuais necessárias, como a utilização de blocos cerâmicos estruturais e uma menor espessura de revestimento, conforme detalhamento na Figura 22.

Figura 21 — Parede de referência dentro dos parâmetros necessários.



Fonte: Anexo Geral V da Portaria INMETRO nº 50/2013.

Figura 22 — Esquema de elementos constituintes da parede de alvenaria.



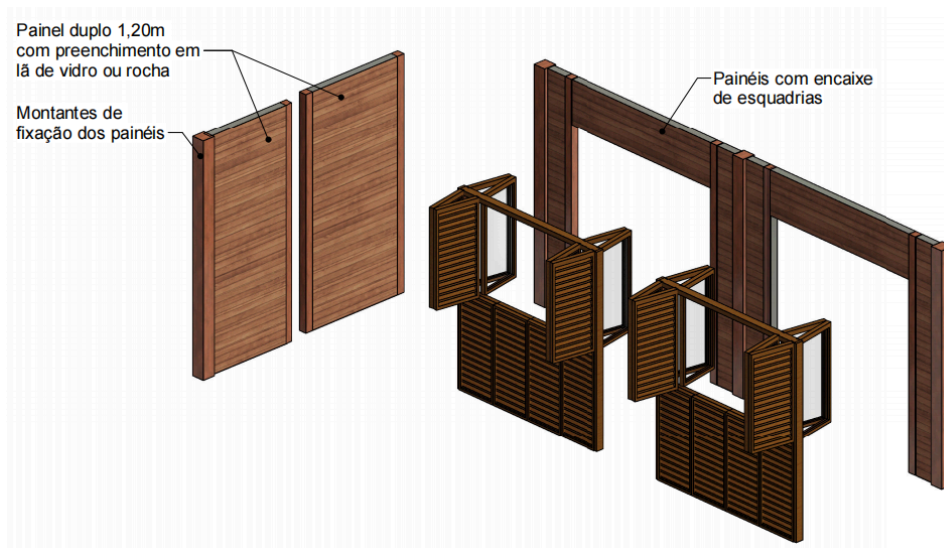
Fonte: elaborado pela autora

No caso do protótipo em madeira, o sistema de vedação não possui referência normativa, por se tratar de um método construtivo inovador. A solução é composta por painéis modulares de 1,20 m, fixados a montantes de madeira, com tábuas duplas em encaixe macho-fêmea e preenchimento interno em isolantes térmicos e acústicos, como lã de rocha, lã de vidro ou manta em espuma PVC. A escolha do material depende das condições regionais; no estudo de caso em Belém, a manta em espuma PVC se mostrou mais promissora contra ataques xilófagos, devido aos aditivos que dificultam a formação de colônias (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Trata-se de um sistema industrializado, no qual os painéis são fornecidos prontos para o encaixe, o que otimiza o processo construtivo. Nos casos em que há

necessidade de inserção de esquadrias, os painéis são recortados sob medida, permitindo o encaixe final diretamente em obra, a Figura 23 permite a visualização do sistema. Por seu caráter inovador, o protótipo pode subsidiar a elaboração de novos Documentos de Avaliação Técnica (DATEC) no âmbito do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT), ampliando referências aplicáveis a sistemas construtivos em madeira. Entretanto, sua validação requer ensaios realizados por Institutos Técnicos Avaliadores (ITAs), responsáveis por certificar a conformidade do sistema quanto à segurança, habitabilidade e durabilidade.

Figura 23 — Esquema de montagem dos painéis de madeira.



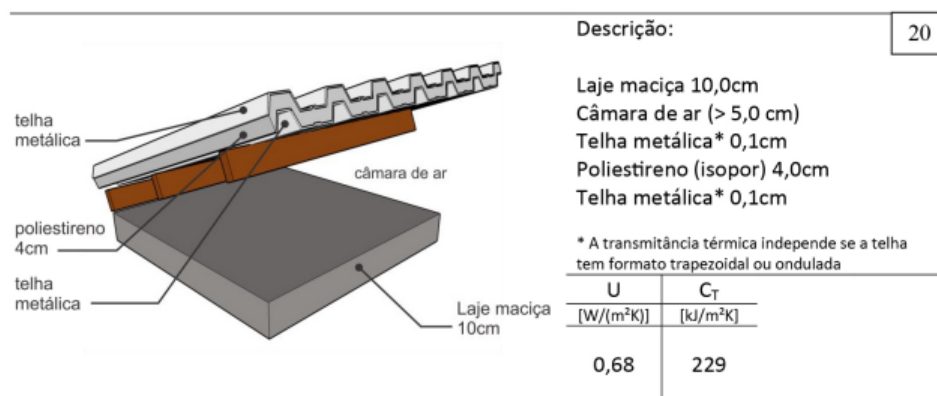
Fonte: elaborado pela autora.

- **Cobertura:**

A cobertura adotada nos protótipos foi concebida a partir de uma tipologia de referência encontrada no Anexo Geral V da Portaria INMETRO nº 50/2013, no item 20, descrito na Figura 24. Contudo, essa solução foi adaptada de acordo com as necessidades específicas do estudo, uma vez que o sistema estrutural definido exigiu a utilização de uma laje protendida, que geralmente possui uma espessura maior, entre 15 e 20 cm, o que, teoricamente, contribui para otimizar o desempenho do conjunto da cobertura. Além disso, a estrutura de suporte manteve-se em madeira, não apenas como uma adaptação ao modelo de referência, mas também como estratégia de redução do impacto ambiental, dado seu baixo carbono incorporado.

A camada final da cobertura foi composta por telhas termoacústicas do tipo sanduíche, constituídas por duas chapas metálicas e núcleo de poliestireno expandido (EPS), garantindo melhor desempenho térmico e acústico em relação às soluções convencionais. Os valores de transmitância térmica adotados para efeito comparativo foram extraídos da Cartilha de Casos Otimizados desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE/UFSC), que estabelece limites orientativos de desempenho. Nesse sentido, a solução proposta para os protótipos deve apresentar um desempenho similar à estrutura de referência, que possui um valor de transmitância térmica bem menor que o máximo de $2,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ estabelecido para coberturas na Zona Bioclimática 8, assegurando conformidade e eficiência no contexto climático analisado.

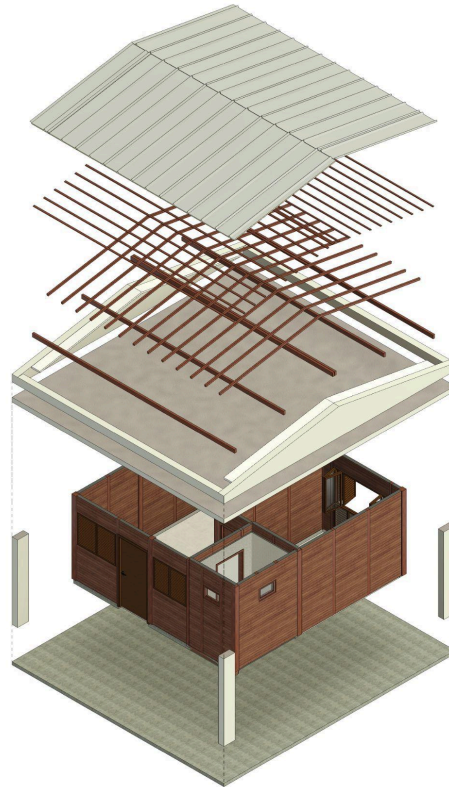
Figura 24 — Sistema de cobertura de referência.



Fonte: Anexo Geral V da Portaria INMETRO nº 50/2013

Por fim, o sistema construtivo proposto para os protótipos foi pensado para alcançar o máximo possível os parâmetros de desempenho previstos em norma, sem deixar de lado a inclusão de soluções mais modernas e sustentáveis. São escolhas que ainda precisam de novas pesquisas e validações, mas que já funcionam como um ponto de partida para repensar diretrizes existentes e abrir espaço para a implementação de um sistema construtivo diferenciado. Para a melhor visualização, a seguir, é apresentada a formação do sistema construtivo de um dos protótipos, evidenciando como os diferentes elementos se articulam no conjunto.

Figura 25 — Esquema da formação do sistema construtivo adotado no protótipo de madeira.



Fonte: elaborado pela autora.

4.5 Estratégias de conforto e eficiência

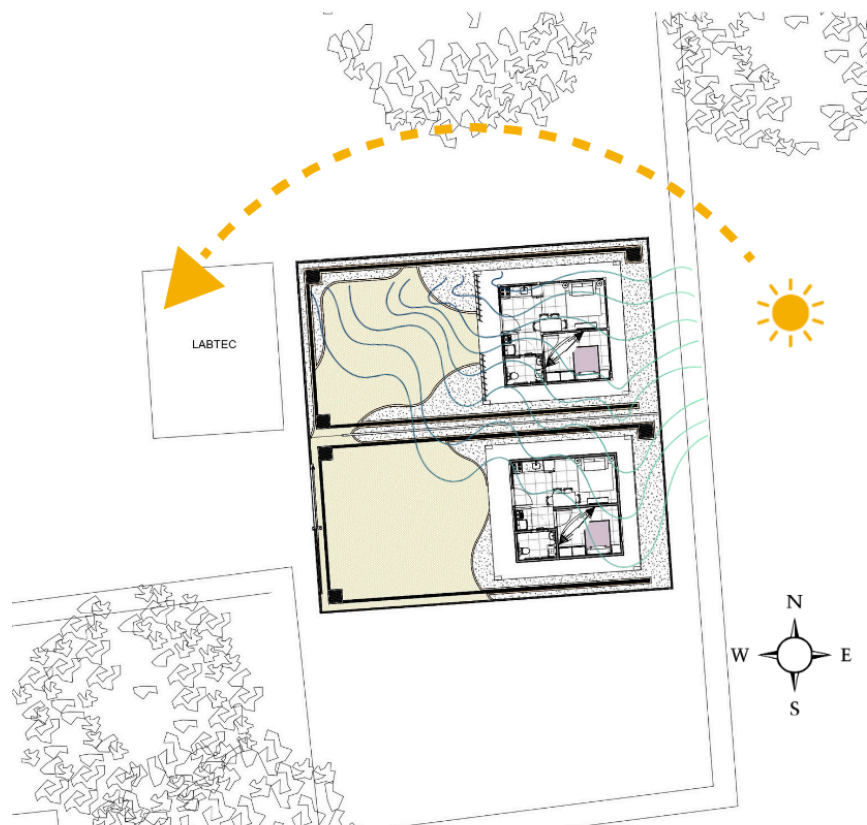
Para o estudo das condicionantes ambientais, realizou-se a implantação dos protótipos em um terreno da Faculdade de Arquitetura da UFPA, em Belém, escolhido como base experimental para a análise. Essa simulação permitiu determinar a posição das unidades em relação ao percurso solar e aos ventos predominantes, além de funcionar como um demonstrativo prático da proposta. Ressalta-se que os resultados aqui apresentados não se limitam ao contexto da implantação acadêmica, mas visam indicar diretrizes gerais que devem ser observadas em uma implementação do laboratório vivo, servindo como referência para orientar decisões projetuais em diferentes cenários.

As diretrizes para projetos de habitação social em Belém destacam a necessidade de garantir ventilação cruzada em todos os cômodos voltados para o leste, de modo a expô-los aos ventos predominantes e à luz solar da manhã.

Também recomendam que a orientação dos edifícios maximize o aproveitamento dos ventos dominantes e da radiação solar matinal, favorecendo condições climáticas mais confortáveis para os usuários (Monteiro et al., 2025). Nesse contexto, observa-se que a direção predominante do vento em Belém é de leste, com velocidade média de 3,5 m/s, o que contribui para a viabilidade da ventilação natural em conjuntos habitacionais de interesse social (Gonçalves et al., 2024).

Na implantação, priorizou-se que os ambientes de permanência prolongada, como sala e quarto, ficassem voltados para o leste, de modo a receber apenas a incidência do sol nascente, reduzindo a carga térmica ao longo do dia. Na fachada oeste, o protótipo otimizado em madeira conta com brises verticais para controlar a entrada da radiação solar. Para potencializar a ventilação cruzada, as esquadrias maiores de ambos os protótipos foram posicionadas na fachada leste, enquanto janelas na fachada oposta garantem uma circulação de ar eficiente no interior dos ambientes, a Figura 26 permite visualizar a aplicação prática das soluções descritas.

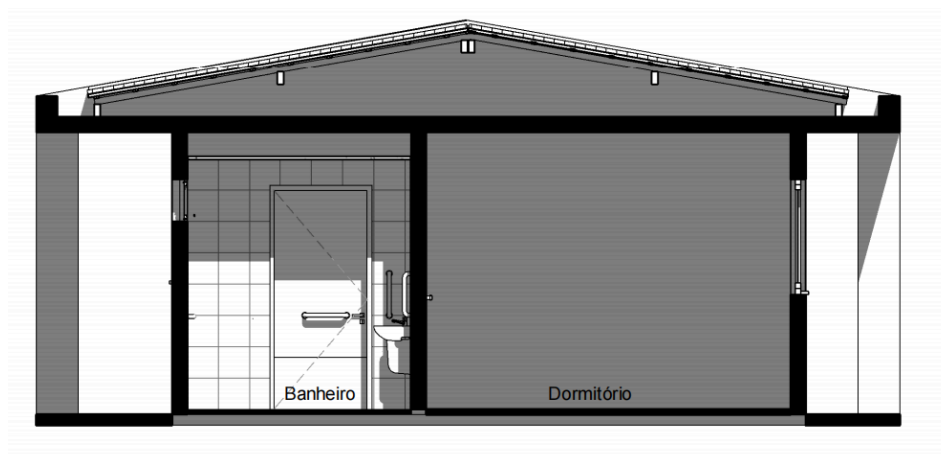
Figura 26 — Estudo das condicionantes climáticas na implantação.



Fonte: elaborado pela autora.

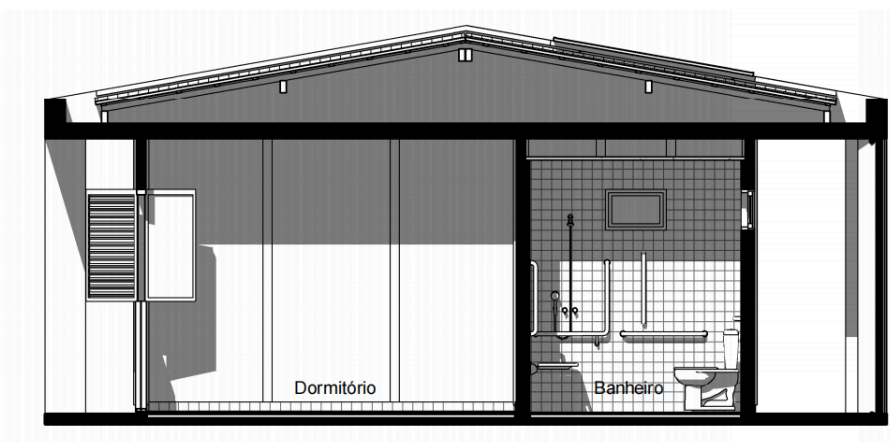
No estudo de sombreamento dos protótipos, apresentados nas Figuras 27 e 28, foi adotada a mesma solução de proteção solar, composta por beirais contínuos ao redor da edificação. Considerando a maior incidência de radiação na fachada oeste, o beiral nesse lado foi dimensionado com 1,30 m de profundidade, a fim de garantir maior eficiência no bloqueio da insolação direta. Nas demais fachadas, onde a carga térmica é menos intensa, os beirais possuem 0,90 m, assegurando equilíbrio entre proteção solar, entrada de iluminação natural e ventilação adequada. Cabe salientar que a escolha de beirais maiores também ajuda na proteção contra intempéries, como chuvas, na edificação de madeira.

Figura 27 — Estudo de sombras no protótipo de alvenaria, simulação às 10h30



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 28 — Estudo de sombras no protótipo de madeira, simulação às 10h30



Fonte: elaborado pela autora.

4.6 Imagens do projeto

Figura 29 — Implantação no terreno



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 30 — Fachada principal (oeste).



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 31 — Interior da casa de madeira, vista para a cozinha e sala de estar/jantar



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 32 — Interior da casa de madeira, vista do dormitório.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 33 — Fachada posterior (leste), protótipo de madeira.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 34 — Interior da casa de alvenaria, vista para a cozinha e sala de estar/jantar



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 35 — Interior da casa de alvenaria, vista do dormitório.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 36 — Fachada posterior (leste), protótipo de alvenaria.



Fonte: elaborado pela autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Síntese dos principais resultados

O desenvolvimento do laboratório vivo de habitação social possibilitou a proposição de duas tipologias projetuais específicas para climas quentes e úmidos, articulando estratégias de adaptação climática com a experimentação de novos métodos construtivos. O primeiro modelo emprega madeira de manejo florestal em sistemas modulares de encaixe, associada a lajes planas de rápida execução, o que confere leveza estrutural e potencial de montagem racionalizada. O segundo modelo prioriza o uso de cimento de baixo carbono em elementos estruturais e argamassas, conciliando práticas construtivas convencionais com materiais de menor impacto ambiental, ampliando a viabilidade de aplicação em larga escala. A seguir, o quadro resumo a seguir demonstra de forma comparativa as soluções utilizadas em cada protótipo, por categoria:

Quadro 02 — Comparativo entre os protótipos

Critério	Protótipo 1 - Experimental	Protótipo 2 - Incremental
Sistema construtivo	Estrutura de concreto de baixo carbono + vedação em painéis de madeira	Estrutura de concreto de baixo carbono + paredes convencionais com melhorias.
Materiais Principais	Madeira de manejo florestal e concreto de baixo carbono	Concreto e argamassa de baixo carbono, blocos cerâmicos autoportantes.
Cobertura	Telha sanduíche sobre laje de concreto	Telha sanduiche sobre laje de concreto.
Estratégias climáticas	Ventilação cruzada otimizada, brises móveis e resfriamento passivo	Ventilação cruzada básica sombreamento de aberturas
Viabilidade orçamentária	Exige maior investimento inicial, mas com potencial de redução em escala	Possivelmente mais próximo do custo de uma HIS
Objetivo	Explorar soluções inovadoras e de maior desempenho ambiental	Testar melhorias em práticas já difundidas

Testes possíveis	Ventilação, materiais, esquadrias	<i>Baseline</i> ou modelo de referência do que é praticado pelo mercado
------------------	-----------------------------------	---

Fonte: elaborado pela autora.

Ambos os modelos incorporam estratégias arquitetônicas passivas, como beirais generosos, varandas multifuncionais e dispositivos de sombreamento, que atuam simultaneamente como recursos de proteção solar e espaços de circulação e convivência. Essas soluções, adaptáveis a diferentes configurações tipológicas, visam reduzir o ganho térmico das edificações e promover maior eficiência no conforto ambiental, aspectos críticos em regiões de alta temperatura e umidade relativa.

A adaptabilidade dos protótipos pode ser alcançada através da troca dos materiais da envoltória, como a substituição do preenchimento dos painéis, a troca da vedação em madeira por um painel de outro material ou outro sistema de cobertura, visando a aceitabilidade do protótipo em outro contexto climático ou substituições pontuais para o estudo de simulações térmicas com parâmetros diferentes. Dessa forma, o campo experimental contribui para o avanço da discussão sobre novas alternativas de habitação social, contribuindo para análises tipológicas e integrando inovação tecnológica, sustentabilidade e aplicabilidade prática em contextos de vulnerabilidade climática.

Além disso, como elemento digital, os protótipos podem fornecer estudos e simulações através de *softwares* para analisar a viabilidade dos sistemas construtivos previstos. Assim como também, em um cenário de construção real dos protótipos é possível aplicar questionários com usuários temporários da edificação, que podem atuar de forma colaborativa. Além disso, avaliações *in loco* podem ser previstas para integrar as pesquisas em laboratório, para isso ocorrer ferramentas de medição e sensores devem ser associadas, como as que constam no Quadro 03, essenciais para a avaliação precisa da edificação.

Quadro 03 — Equipamentos de medição para avaliações *in loco*.

Equipamentos de Medição	
ITEM	DESTINAÇÃO
Estação Meteorológica da marca Onset com calibração e instalação	Monitoramento de variáveis climáticas
Registrador de temperatura/umidade relativa/luz da marca Onset modelo HOBO MX1104 com calibração	Medição interior de temperatura, umidade, luz e CO2 no ar
Registrador de temperatura e umidade à prova de intempéries da marca Onset modelo HOBO MX2301A com calibração	Medição interior ou exterior de temperatura e umidade do ar
Câmera térmica da marca Flir modelo Msx Tg165-x com calibração	Medição da temperatura de superfícies
Decibelímetro digital da marca Testo modelo 816-1 com calibração	Medição de ruído

Fonte: elaborado pela autora.

5.2 Contribuições do trabalho

5.2.1 No ensino:

O laboratório vivo pode atuar como uma ferramenta pedagógica, permitindo que cursos de Arquitetura, Engenharia e áreas afins explorem, em escala real ou simulada, aspectos de projeto, execução e desempenho ambiental. É interessante associá-lo a um canteiro experimental ou a uma área destinada à produção, estudo e análise de materiais, bem como aos ensaios e metodologias aplicados. Caso o local de implantação não disponha de um laboratório de pesquisa, pode-se prever uma área de expansão no terreno, destinada à organização das práticas a serem realizadas no protótipo, ao armazenamento de materiais e a outras atividades complementares.

Além disso, o laboratório vivo pode viabilizar oficinas de projeto integradas, práticas de campo experimental e disciplinas voltadas a conforto ambiental, tecnologia das construções, projeto e instalações prediais, utilizando a edificação como espaço didático-prático. Entre os resultados esperados estão a formação de estudantes mais preparados para enfrentar desafios relacionados à sustentabilidade e adaptação climática, bem como a possibilidade de integrar metodologias digitais,

como o BIM, ao processo de aprendizagem, promovendo uma maior aproximação entre teoria e prática.

5.2.2 Na pesquisa:

Na pesquisa acadêmica, o laboratório vivo se apresenta como plataforma para ensaios de novos materiais e sistemas construtivos, avaliação de estratégias passivas em climas quentes e úmidos e aplicação de ferramentas digitais de simulação. Além disso, possibilita o acompanhamento longitudinal de variáveis ambientais e construtivas, permitindo gerar bases de dados que podem subsidiar futuros estudos sobre desempenho térmico, energético e ambiental em habitação social.

Com isso, projeta-se a consolidação de uma linha de investigação voltada à resiliência climática e inovação construtiva em HIS, ampliando o alcance da produção científica sobre o tema. Ademais, cada elemento analisado em um laboratório vivo de habitação social pode subsidiar pesquisas inovadoras, promovendo uma integração efetiva entre teoria e prática. Nesse sentido, o pilar de Pesquisa e Desenvolvimento, citado por Bridi et al. (2022), posiciona os Living Labs como uma metodologia de investigação científica que busca criar e validar inovações diretamente em ambientes de uso, contribuindo simultaneamente para o avanço teórico e para a aplicação prática.

5.2.3 Na extensão:

As iniciativas de extensão vinculadas ao laboratório vivo desempenham papel fundamental ao fortalecer o vínculo entre universidade e sociedade. Elas permitem que estudantes, pesquisadores e a comunidade participem de atividades práticas, como oficinas, capacitações e projetos colaborativos, nas quais soluções habitacionais sustentáveis são testadas e aplicadas. Esse engajamento possibilita a troca de conhecimento, em que a experiência da população e as demandas reais do território orientam o desenvolvimento de estratégias mais adequadas e efetivas.

Por meio dessas atividades, o laboratório vivo contribui para a geração de metodologias replicáveis, capazes de ser aplicadas em programas habitacionais públicos ou voltados para o setor privado. Ele promove ainda a melhoria de políticas

públicas ao fornecer dados concretos sobre desempenho de materiais, técnicas construtivas e soluções ambientais, subsidiando decisões fundamentadas em evidências.

Além disso, a extensão facilita a aproximação com a indústria, permitindo a avaliação de novos materiais e sistemas construtivos em escala real, fomentando inovação tecnológica. Ao mesmo tempo, fortalece a resiliência das comunidades frente às mudanças climáticas, ao testar e disseminar estratégias de mitigação e adaptação, como otimização de ventilação natural, sombreamento, uso de materiais de baixo carbono e soluções para conforto térmico e hídrico.

5.3 Limitações do estudo

Entre as limitações do estudo, destaca-se a ausência de simulações computacionais de desempenho térmico e energético, assim como a falta de monitoramento em edificações reais. O caráter conceitual da pesquisa restringe a validação prática imediata das soluções, ainda que os princípios apresentados se mostrem consistentes em termos técnicos e normativos.

5.4 Recomendações e perspectivas para pesquisas futuras

Para aprofundar os resultados, recomenda-se a realização de simulações prescritivas, que permitam mensurar o desempenho energético e ambiental dos modelos. Sugere-se, também, a simulação computacional de projetos de laboratórios vivos, para uma análise completa do seu desempenho energético.

Outro eixo relevante é a aplicação de análises de ciclo de vida (ACV) nos materiais e sistemas construtivos empregados. A ACV possibilita compreender o impacto ambiental das soluções desde a extração da matéria-prima até a fase de operação e descarte, ampliando a avaliação para além da eficiência energética e permitindo mensurar emissões incorporadas, durabilidade e potenciais de reutilização. Esse recurso pode gerar parâmetros comparativos mais robustos entre diferentes alternativas de baixo carbono em climas quentes e úmidos.

Adicionalmente, recomenda-se a continuidade das investigações sobre a eficiência de materiais emergentes, como compósitos de fibras vegetais, cimentos alternativos e sistemas híbridos de madeira e concreto. Outra linha promissora é

expandir o campo experimental como plataforma de ensino-aprendizagem integrada, conectando ensino, pesquisa e extensão em torno de problemáticas reais da habitação social.

Por fim, ressalta-se a importância de fortalecer metodologias de participação comunitária nos processos de avaliação e replicação das soluções, consolidando práticas que combinem rigor científico, relevância social e aplicabilidade prática em diferentes contextos habitacionais.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou que o desenvolvimento de protótipos sustentáveis de habitação de interesse social (HIS) utilizando materiais e tecnologias construtivas de baixo carbono é viável e compatível com princípios de eficiência energética, conforto ambiental e sustentabilidade, cumprindo o primeiro objetivo proposto. Os dois protótipos implementados integraram soluções construtivas adequadas a regiões de clima quente e úmido, priorizando estratégias passivas de ventilação natural, sombreamento e uso de materiais locais ou de baixo impacto ambiental, atendendo plenamente ao segundo objetivo.

Além disso, a aplicação do conceito de laboratórios vivos permitiu criar espaços de inovação aberta, integrando pesquisa acadêmica e práticas projetuais em escala conceitual, possibilitando a avaliação contínua do desempenho das soluções propostas e contribuindo para o desenvolvimento de diretrizes replicáveis em habitação social. Dessa forma, o terceiro objetivo foi cumprido, evidenciando o potencial do laboratório vivo como ferramenta pedagógica e de apoio à formulação de políticas públicas e projetos comunitários de autogestão habitacional.

Embora este estudo tenha adotado como condicionante o clima quente-úmido da cidade de Belém, o modelo de laboratório vivo proposto apresenta potencial de replicação em outras localidades com características de sítio semelhantes. Além disso, destaca-se que, mediante ajustes em materiais, estratégias de conforto e parâmetros construtivos, há possibilidade de adaptação do modelo a diferentes climas e realidades socioeconômicas. Essa perspectiva amplia o alcance do estudo e abre caminhos para pesquisas futuras, voltadas à validação do modelo em outros contextos ambientais.

Por fim, a pesquisa evidencia que modelos habitacionais sustentáveis podem conciliar baixo custo, adaptabilidade, menor impacto ambiental e replicabilidade, constituindo referência tanto para intervenções em larga escala quanto para iniciativas comunitárias de autoconstrução assistida, reforçando o papel da habitação social como ferramenta de mitigação de vulnerabilidades climáticas e sociais.

REFERÊNCIAS

ADEKUNLE, Timothy O. **Thermal performance and apparent temperature in school buildings: A case of cross-laminated timber (CLT) school development.** *Journal of Building Engineering*, v. 33, p. 101731, 2021. DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101731.

ALTHOEY, Fadi et al. **Advancements in low-carbon concrete as a construction material for the sustainable built environment.** *Developments in the Built Environment*, v. 16, p. 100284, 2023. DOI: 10.1016/j.dibe.2023.100284.

ARRUDA JUNIOR, Euler Santos; BARATA, Márcio Santos; LIMA, Jefferson. **Cimentos de baixa emissão de CO2 com incorporação de misturas de resíduo do beneficiamento do caulim e calcário.** *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 10, p. 98730-98746, out. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n10-273.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações — Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro por desempenho.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 4: Requisitos para Os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - SVVIE.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações — Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

AZANAW, Girmay Mengesha. **Timber-Concrete Composite Structures: A Comprehensive Review of Emerging Trends, Advanced Modeling Approaches, and Future Research Frontiers for Sustainable Hybrid Construction.** Preprint, 2025.

BAVARESCO, M. V. et al. **Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social brasileiras: revisão de literatura.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 263-292, jan./mar. 2021.

BOESS, S. et al. **Acting from a participatory attitude in a networked collaboration.** *In: C&C '18: PROCEEDINGS OF THE 2018 ACM SIGCHI CONFERENCE ON CREATIVITY AND COGNITION*, 2018, St. Louis. Anais... New York: ACM, 2018. p. 1-6.

BRAGA, Nállyton Tiago de Sales; ARRUDA JUNIOR, Euler Santos; BARATA, Márcio Santos. **Produção de cimentos de baixo impacto ambiental: perspectivas para a região amazônica.** *Novos Cadernos NAEA*, v. 26, n. 2, p. 347-368, maio/ago. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria nº 725, de 15 de junho de 2023**. Dispõe sobre as especificações mínimas para as unidades habitacionais do Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 112, p. 152, 16 jun. 2023.

BRIDI, M. E. et al. **Living Labs in Social Housing Upgrades: Process, Challenges and Recommendations**. *Sustainability*, v. 14, n. 5, p. 2595, 2022.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa Minha Casa, Minha Vida – FAR**. Brasília, DF: Caixa Econômica Federal, jun. 2023. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/Cartilha-PMC-MV-FAR.pdf> . Acesso em: 20 mar. 2025.

CITES. **Checklist of CITES species**. Disponível em: <https://checklist.cites.org/#/en>. Acesso em: 16 set. 2025.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Anexo Geral V do RAC - Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/AnexoV_CatalogoPropriedadesTermicas%20v27NOV2017.pdf . Acesso em: 16 jul de 2025.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (CB3E). **Manual para obtenção da classificação nível A em edificações residenciais – Zona Bioclimática 8**. Florianópolis: CB3E, 2013.

CIANCIO, Daniela; BECKETT, Christopher. **Rammed earth: an overview of a sustainable construction material**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT, Anais [...], 2013.

CONCURSOSDEPROJETO. Premiados – Habitação de Interesse Sustentável. *Concursos de Projeto*, 19 jun. 2021. Disponível em: <https://concursosdeprojeto.org/2021/06/19/premiados-habitacao-de-interesse-sustentavel/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

DING, G. K. C. **Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview**. In: *Eco-efficient construction and building materials*. Woodhead Publishing, 2014. p. 38-62.

DUTRA, Ana Beatriz Nobre Alves. **Diagnóstico e soluções de retrofit termoenergético para habitações sociais multifamiliares em clima crítico**. 2025. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

EUROPEAN NETWORK OF LIVING LABS (ENoLL). **Living Lab origins, developments and future perspectives**. Published by the European Network of Living Labs (ENoLL), 2025 [D. Schuurman, M.I. DeLosRios-White, M. Desole (eds)]. Licensed under CC BY-NC 4.0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14764597>.

FAGUNDES, Juliana Beatriz de Sousa. **Arquitetura bioclimática em proposta de projeto para complexo multiuso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

FARIA, Elves Lincoln. **Projeto de Lajes Planas Protendidas via Método dos Elementos Finitos e Pórticos Equivalentes**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

FONTENELE, Helane Barbosa. **Uso e adequação climática de Tensoestruturas à Região Amazônica: Estudo de caso: Feira do Ver-O-Peso em Belém-Pa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Brasil registra déficit habitacional de 6 milhões de domicílios**. 2024. Disponível em:

<https://fjp.mg.gov.br/brasil-registra-deficit-habitacional-de-6-milhoes-de-domicilios/>. Acesso em: 20 de mar. de 2025.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/deficit-habitacional-no-brasil/>. Acesso em: 20 de mar. de 2025

GONÇALVES, Eduarda Lorrany Sousa; BRAGA, Jhonata Lima; SAMPAIO, Athos de Oliveira; BATISTA, Vitor dos Santos; MENEZES, Leonardo Junior da Rocha; ELI, Leticia Gabriela; BARATA, Márcio Santos; NETO, Raul da Silva Ventura; ZEMERO, Bruno Ramos. **Multiscale modeling to optimize thermal performance design for urban social housing: A case study**. *Applied Thermal Engineering*, [s. l.], v. 236, art. 121379, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121379>. Acesso em: 23 de ago de 2025.

GUSTANI, Paulo Henrique Ferreira. **Laje alveolar protendida: roteiro de dimensionamento e panorama de produção nas regiões Sudoeste e Centro-Sul do Paraná**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

HARUNA, Abdulrahman; SHAFIQ, Nasir; MONTASIRA, O.A. Building information modelling application for developing sustainable building (Multi criteria decision making approach). *Ain Shams Engineering Journal*, [S. l.], v. 12, p. 293-302, 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**.

Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for policymakers. In: **CLIMATE CHANGE 2023: SYNTHESIS REPORT. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the**

Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team; LEE, H.; ROMERO, J. (eds.). Geneva: IPCC, 2023. p. 1-34. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>.

INSTITUTO DE ARQUITETOS DO BRASIL – DEPARTAMENTO DISTRITO FEDERAL (IAB-DF). Projeto habitacional sustentável escolhido por concurso público organizado pelo IAB-DF em 2021 será construído em Campo Grande. **IAB-DF Notícias**, Brasília, 23 maio 2025. Disponível em: <https://www.iabdf.org.br/noticias/projeto-habitacional-sustentavel-escolhido-por-concurso-publico-organizado-pelo-iab-df-em-2021-sera-construido-em-campo-grande>. Acesso em: 23 ago. 2025.

JESUS, C. F. *et al.* **Coloured concrete produced from low-carbon cements: Mechanical properties, chromatic stability and sustainability.** Journal of Building Engineering, v. 67, p. 106018, 2023. DOI: 10.1016/j.job.2023.106018.

KHAN, F. A. *et al.* **Life cycle assessment and energy efficiency of building façade materials: A case study of an educational building in Pakistan.** The Journal of Engineering, 2025, p. e70047, 2025.

KORSNES, M.; BERKER, T.; WOODS, R. **Domestication, acceptance and zero emission ambitions: Insights from a mixed method, experimental research design in a Norwegian Living Lab.** Energy Research & Social Science, v. 39, p. 49-60, 2018.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* **Living labs for user empowerment and value delivery in social housing upgrading processes.** Habitat International, v. 145, p. 103019, mar. 2024.

MACHADO, Rebecca de Medeiros. **Modelagem da adaptação térmica dos moradores de habitações sociais típicas de Belém-PA com base em dados quantitativos e qualitativos.** 2025. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

MONTEIRO, Giovanna Bentes; DUTRA, Ana Beatriz Nobre Alves; SILVA, Sarah Meneses da; CUNHA, Luís Felipe Brasil da; BARATA, Márcio Santos; ZEMERO, Bruno Ramos. **SUSTAINABLE AND RESILIENT SOCIAL HOUSING TO EXTREME CLIMATES: A REVIEW AND A PROTOTYPE TO SUPPORT THE BRAZILIAN REGULATORY CONTEXT.** Sustainable Energy Technologies and Assessments, [s. l.], 2025. Manuscrito em avaliação.

MOREIRA NETO, Edgardo. **Métodos de pesquisa para a profissão arquitetônica – uma resenha crítica.** *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo | Paranoá*, n. 32, p. 1-10, jan./jun. 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n32.2022.06>. Acesso em: 21 de março de 2025.

ONU-HABITAT. *World Cities Report 2024: Cities and Climate Action.* Nairóbi: Un-Habitat, 2024. Disponível em:

<https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/11/wcr2024_-_full_report.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.

PASTORI, Sofia; MAZZUCHELLI, Enrico Sergio; WALLHAGEN, Marita. **Hybrid timber-based structures: A state of the art review**. Construction and Building Materials, v. 359, p. 129505, 2022. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129505.

PINTO, M. de M.; FONSECA, L. P. **Habitat Living Lab, red de innovación social y tecnológica**. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS, v. 8, n. 23, p. 135-150, maio 2013.

HFT Stuttgart - HTWG Konstanz. **Projeto piloto stuttgart 210 living lab ingersheim / hft stuttgart**. ArchDaily Brasil. 03 Jan 2025. <https://www.archdaily.com.br/br/1024910/projeto-piloto-stuttgart-210-living-lab-ingersheim-hft-stuttgart>. Acesso em: 18 Ago 2025.

REIS, Pamella Caroline Marques dos et al. **Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia com base em propriedades físicas e mecânicas**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 336-346, jan./mar. 2019. DOI: 10.5902/1980509828114.

RODOLFO JR., Antonio; NUNES, Luciano Rodrigues; ORMANJI, Wagner. **Tecnologia do PVC**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: ProEditores; Braskem, 2006. 448 p. ISBN 85-7165-014-4.

SANTOS, P.; MARTINS, C.; SIMÕES DA SILVA, L. **Thermal performance of lightweight steel-framed construction systems**. Metallurgical Research & Technology, v. 111, p. 329-338, 2014. DOI: 10.1051/metal/2014035.

SILVA, Everon Lovatto da et al. **Processo Construtivo de Lajes Planas Protendidas**. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2021, [S. I.]. Anais [...]. [S. I.]: [s. n.], 2021

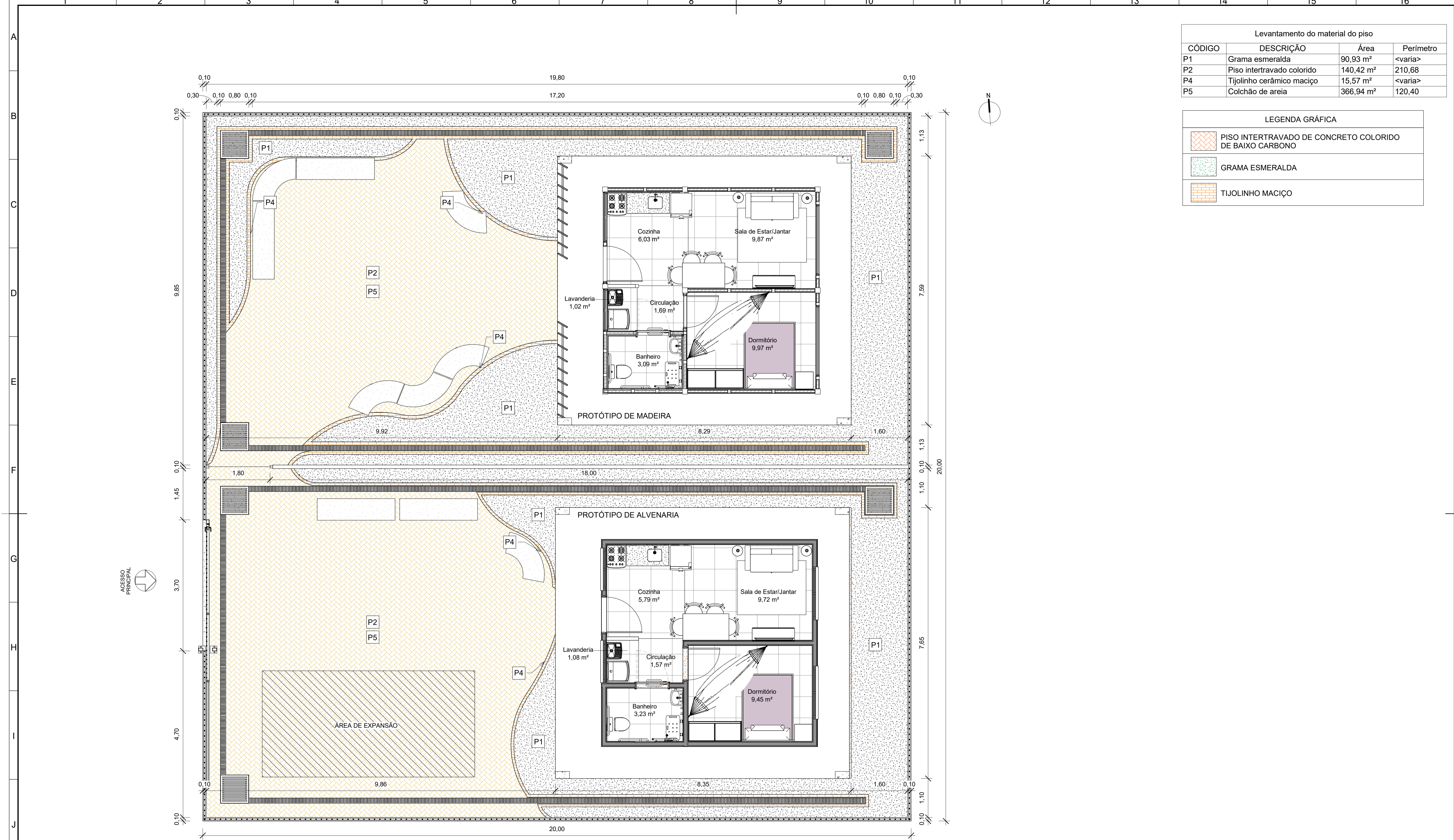
SILVA, Luiz de Jesus Dias da; AZEVEDO, Matheus Silva. **Arquitetura vernacular amazônica: uma etnografia dos saberes e fazeres tradicionais no rio Campompema, Ilhas de Abaetetuba-PA**. Revista Arquitetura e Lugar, Campina Grande, v. 3, n. 9, p. 16-29, 2025.

SIST, Plinio et al. **Manejo florestal para produção de madeira e restauração de paisagens florestais na Amazônia: o caminho para a sustentabilidade**. Policy Brief, Science Panel for the Amazon, 2022. DOI: 10.55161/RHKR1174.

VOGEL, T. **Projeto e aplicação de brise vegetal em escola, visando conforto térmico e conscientização ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

YAN, D. et al. **Ten questions on future and extreme weather data for building simulation and analysis in a changing climate**. Building and Environment, v. 269, p. 112461, 2025.

APÊNDICE A — PROJETO ARQUITETÔNICO

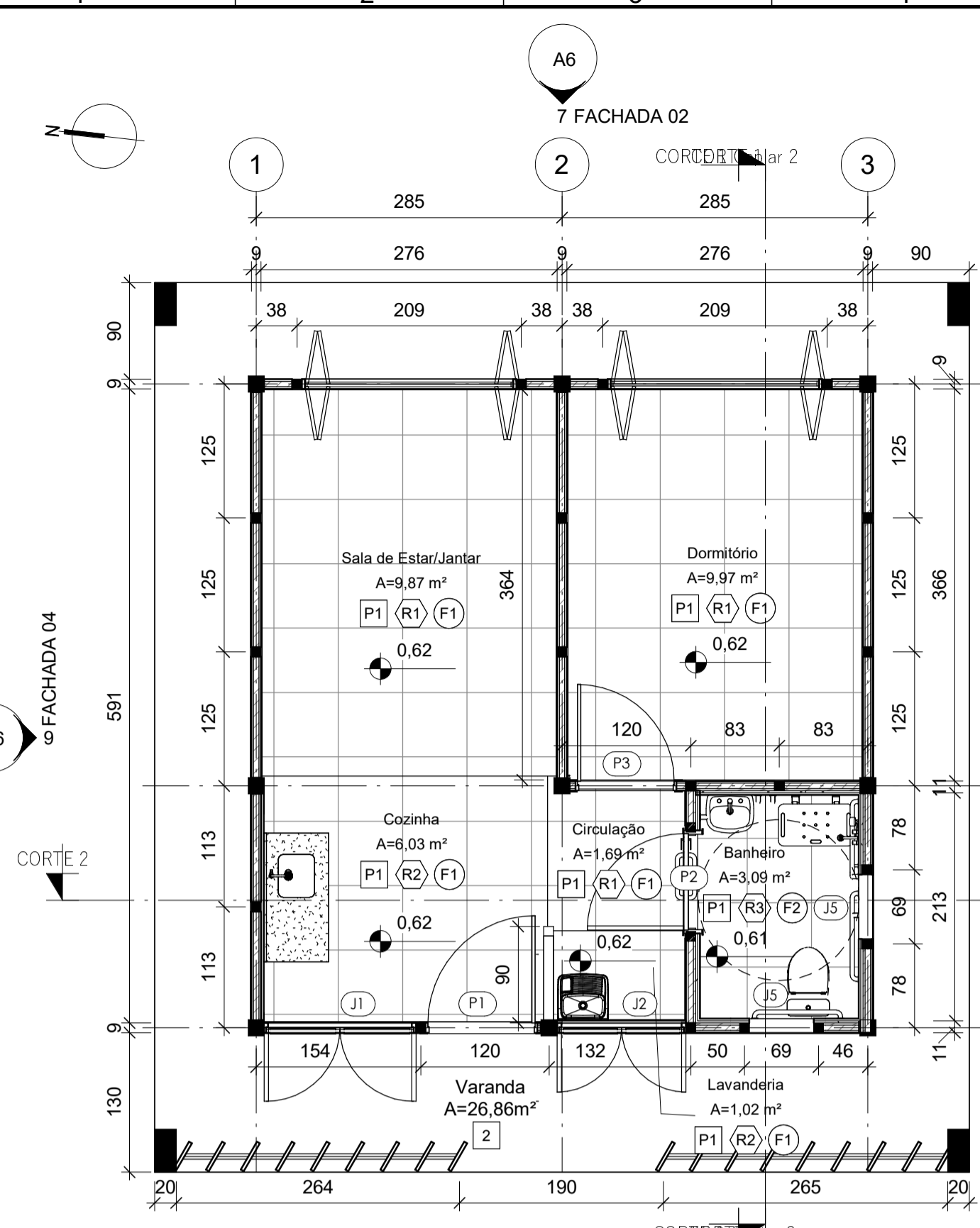


Levantamento do material do piso			
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Área	Perímetro
P1	Grama esmeralda	90,93 m ²	<varia>
P2	Piso intertravado colorido	140,42 m ²	210,68
P4	Tijolinho cerâmico maciço	15,57 m ²	<varia>
P5	Colchão de areia	366,94 m ²	120,40

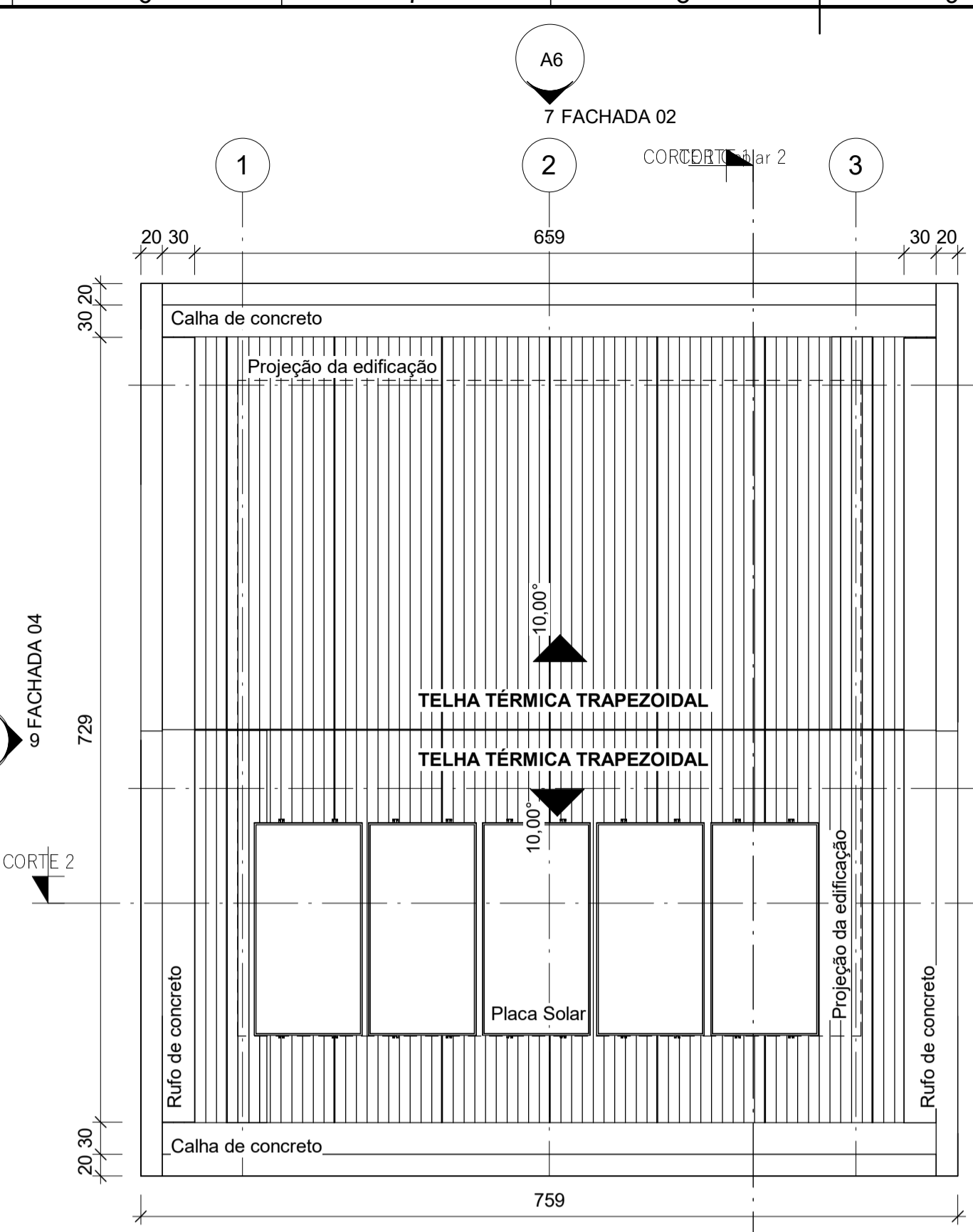
LEGENDA GRÁFICA	
	PISO INTERTRAVADO DE CONCRETO COLORIDO DE BAIXO CARBONO
	GRAMA ESMERALDA
	TIJOLINHO MACIÇO

1 IMPLANTAÇÃO
1 : 50

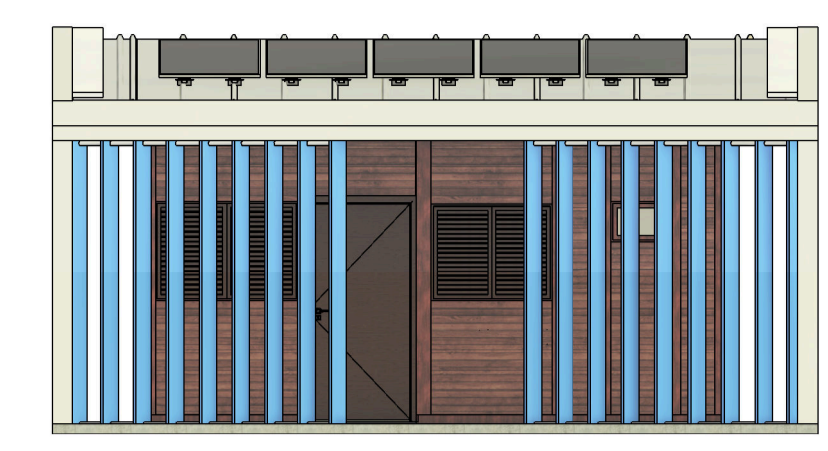
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ		FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO Guamá - Rua Augusto Corrêa, nº 01 - 66075-110 Belém - Pará - Brasil	
PROJETO: PROJETO DE PROTÓTIPO DE HIS			
ASSUNTO: IMPLANTAÇÃO DOS PROTÓTIPOS			REVISÃO: 0
ALUNO (a): FERNANDA GABRIELA DE FRANÇA GOMES	MATRÍCULA: 202004340018	N.º DA PRANCHA: 01 / 03	
ESCALA: INDICADA	ÁREA TERRENO: 400m ²	DATA: AGO/2025	ARQUITETURA



1 PLANTA BAIXA
1 : 50



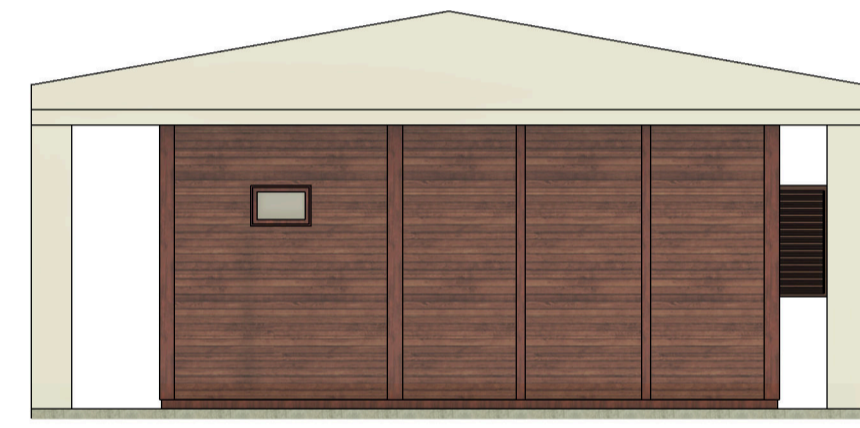
2 PLANTA DE COBERTURA
1 : 50



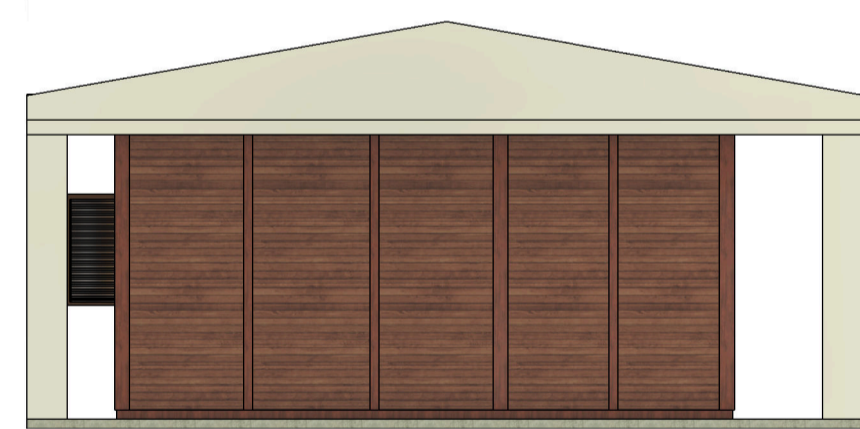
6 FACHADA 01
1 : 75



7 FACHADA 02
1 : 75



8 FACHADA 03
1 : 75



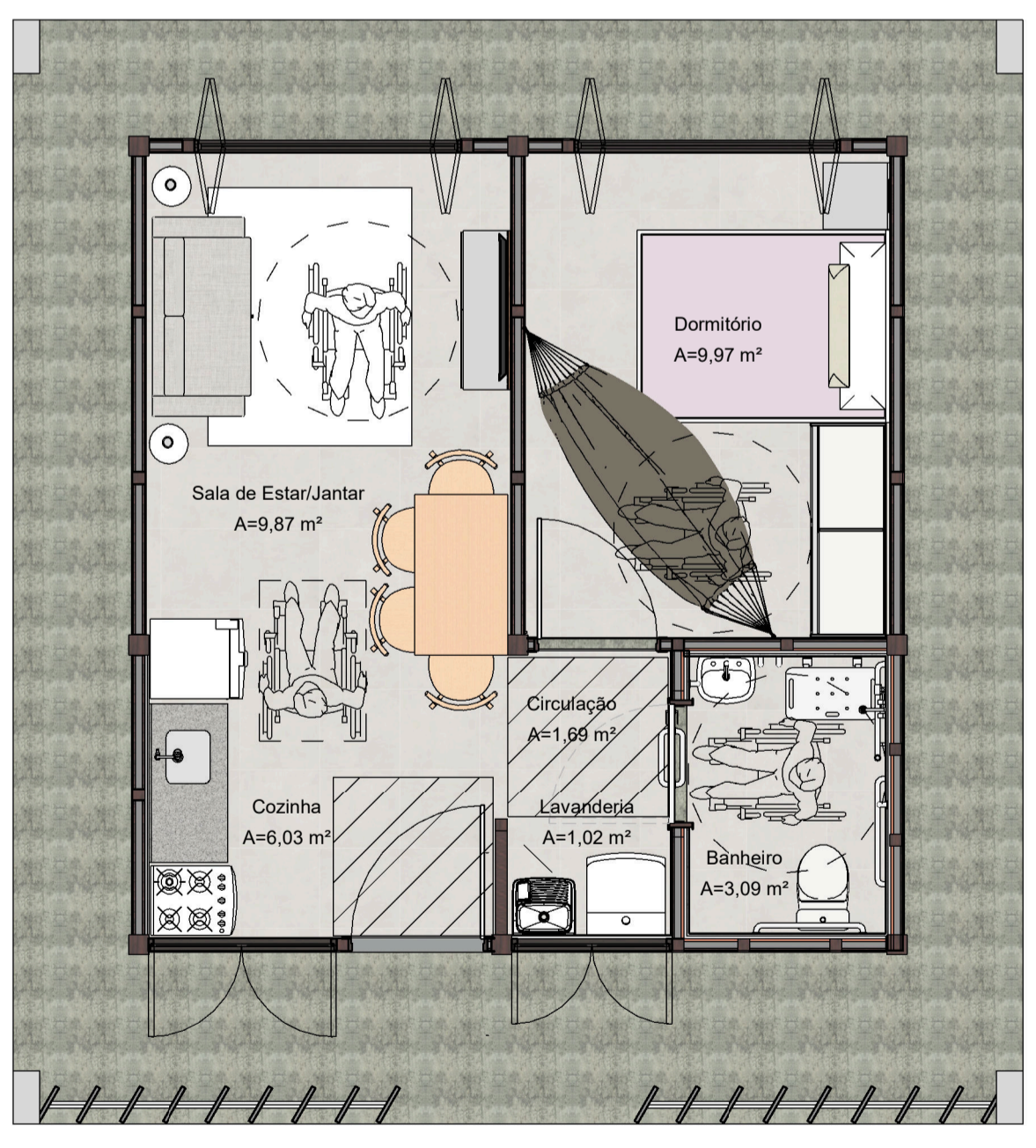
9 FACHADA 04
1 : 75

QUADRO DE ACABAMENTOS		
PISOS		
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	
P1	PISO EM REVESTIMENTO CERÂMICO	
P2	PISO DE CIMENTO QUEIMADO/PISO DE CONCRETO	
PAREDE		
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	
R1	PAREDES DUPLAS DE TÁBUAS DE MADEIRA COM PREENCHIMENTO DE MANTA ISOLANTE DE PVC	
R2	PAREDES DUPLAS DE TÁBUAS DE MADEIRA COM PREENCHIMENTO DE MANTA ISOLANTE DE PVC, REVESTIDAS DE GESSO E AZULEJO CERÂMICO ATÉ 1,20M DE ALTURA	
R3	PAREDES DUPLAS DE TÁBUAS DE MADEIRA COM PREENCHIMENTO DE MANTA ISOLANTE DE PVC, REVESTIDAS DE GESSO E AZULEJO CERÂMICO ATÉ O FORRO	
TETO		
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	PÉ-DIREITO
F1	LAJE	2,8 M
F2	FORRO	2,5 M

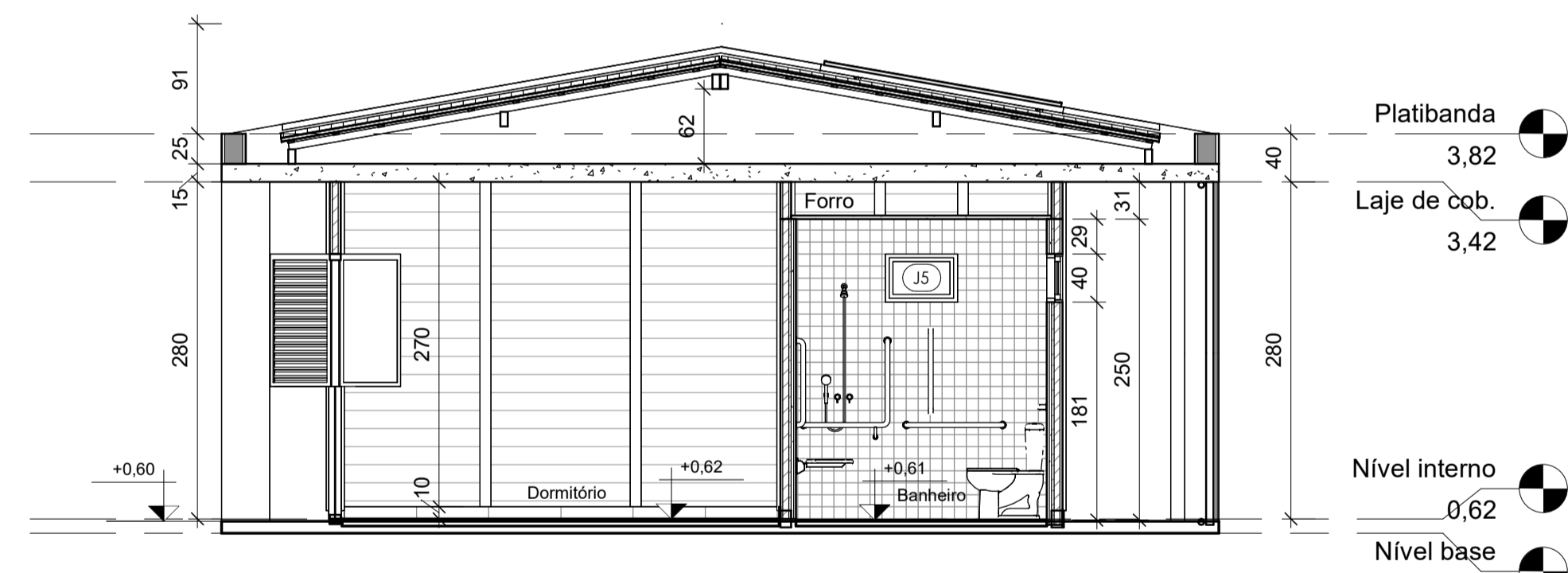
QUADRO DE ÁREA			
AMBIENTE	ÁREA	AMBIENTE	ÁREA
COZINHA	6,03m²	DORMITÓRIO 01	9,97m²
SALA DE ESTAR/JANTAR	8,87m²	BANHEIRO	3,09m²
CIRCULAÇÃO	1,69m²	ÁREA DE SERVIÇO	1,02m²
TOTAL ÁREA ÚTIL (EXCLUI-SE PAREDES) = 31,59m²			
TOTAL DE ÁREA CONSTRUÍDA (INCLUI-SE PAREDES) = 35,98m²			

QUADRO DE ESQUADRIAS - PORTAS				
CÓD.	LARG.	ALT.	DESCRIÇÃO	QUANT.
P1	1,00	2,16	PORTA DE MADEIRA DE ABRIR COM LAMBRI, COM GUARNIÇÃO, FIXAÇÃO COM PARAFUSOS.	1
P2	0,90	2,10	KIT DE PORTA DE MADEIRA PARA PINTURA, SEMI-OCA (LEVE OU MÉDIA), PADRÃO MÉDIO, 90X210CM, ESPESSURA DE 3,5CM, ITENS INCLUSOS: DOBRADIÇAS, MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO BATENTE, FECHADURA COM EXECUÇÃO DO FURO. (ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA RESISTENTE A IMPACTOS E BARRA DE APOIO PCD)	1
P3	0,90	2,10	PORTA DE MADEIRA DE ABRIR COM LAMBRI, COM GUARNIÇÃO, FIXAÇÃO COM PARAFUSOS.	1

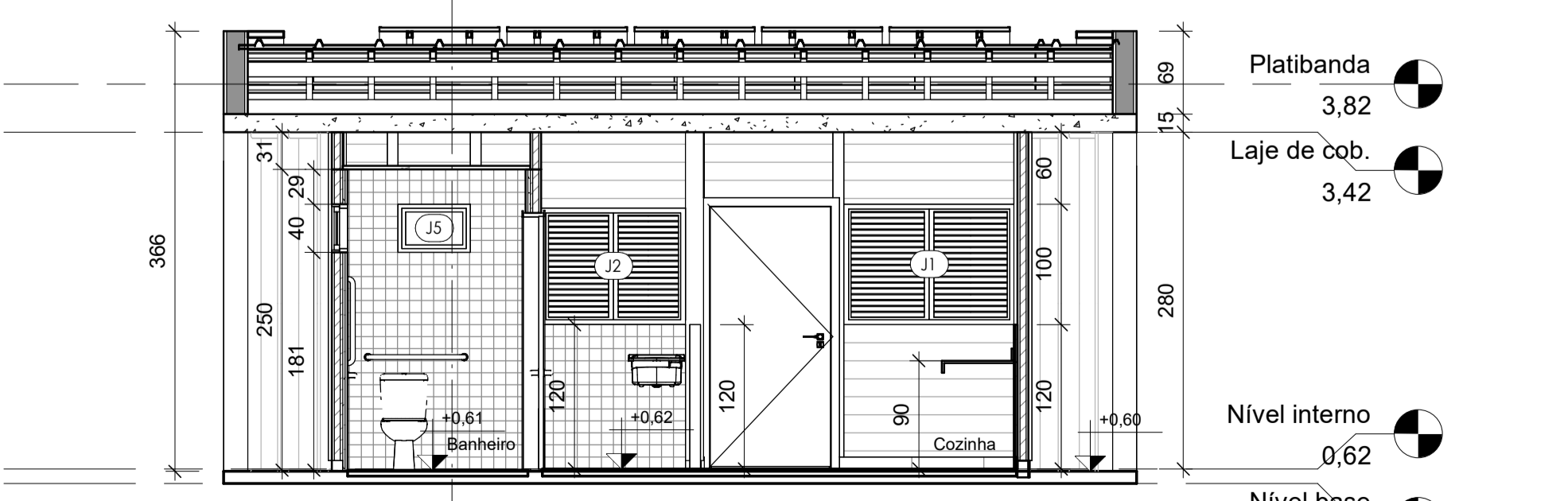
QUADRO DE ESQUADRIAS - JANELAS					
CÓD.	LARG.	ALT.	ALT. DO PEITORIL	DESCRIÇÃO	QUANT.
J1	1,42	1,03	1,17	JANELA DE MADEIRA DE 4 FOLHAS, SENDO 2 FOLHAS DE VIDRO E 2 FOLHAS DE VENEZIANA	1
J2	1,20	1,00	1,17	JANELA DE MADEIRA DE 4 FOLHAS, SENDO 2 FOLHAS DE VIDRO E 2 FOLHAS DE VENEZIANA	1
J5	0,60	0,40	1,80	Janela camarão em madeira, 4 folhas com vidro + veneziana em madeira, abertura superior e inferior independente com vidro + veneziana	2
J6	2,00	2,20	0,00	Janela camarão em madeira, 4 folhas com vidro + veneziana em madeira, abertura superior e inferior independente com vidro + veneziana	2



3 LAYOUT
1 : 50



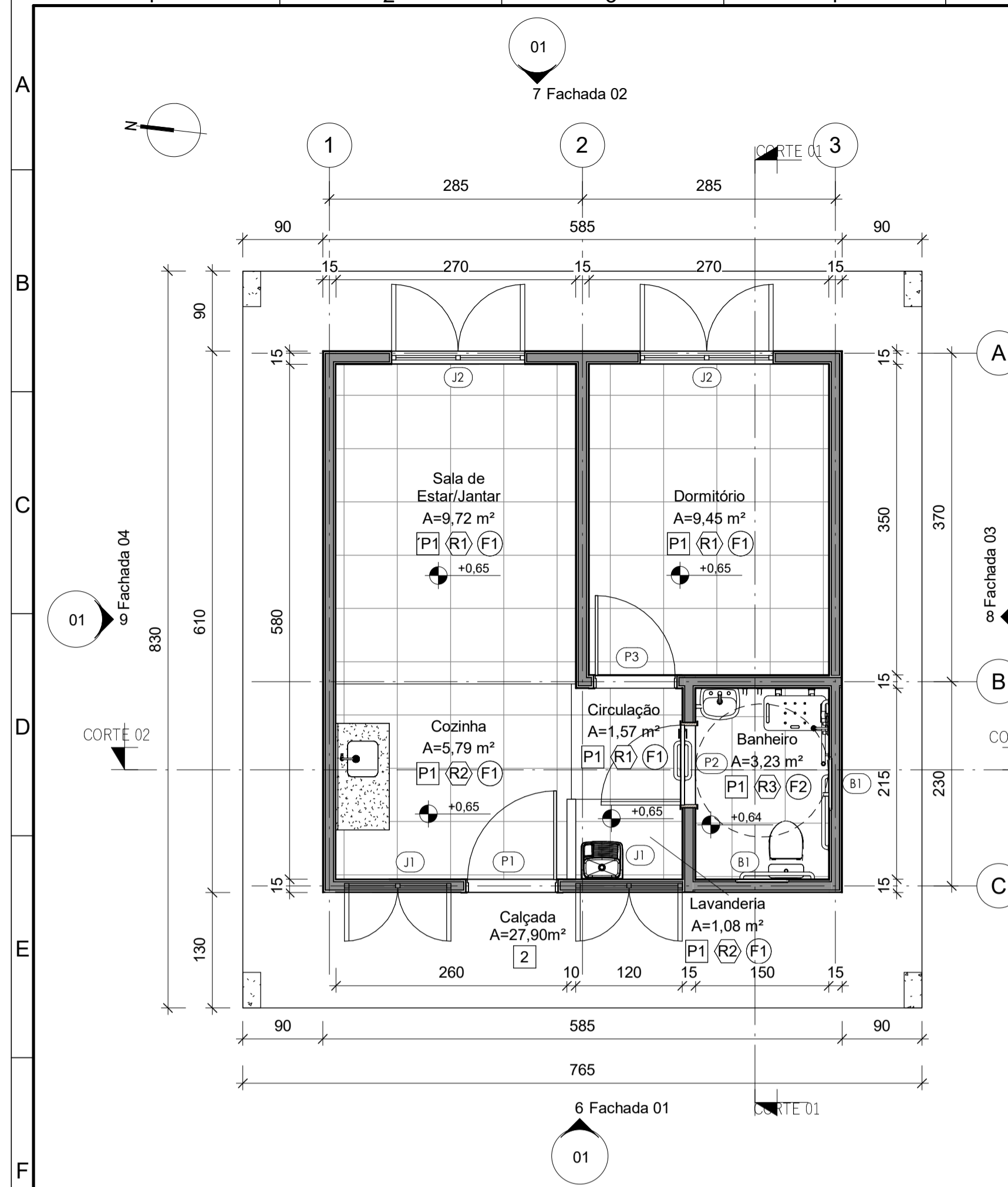
4 CORTE 1
1 : 50



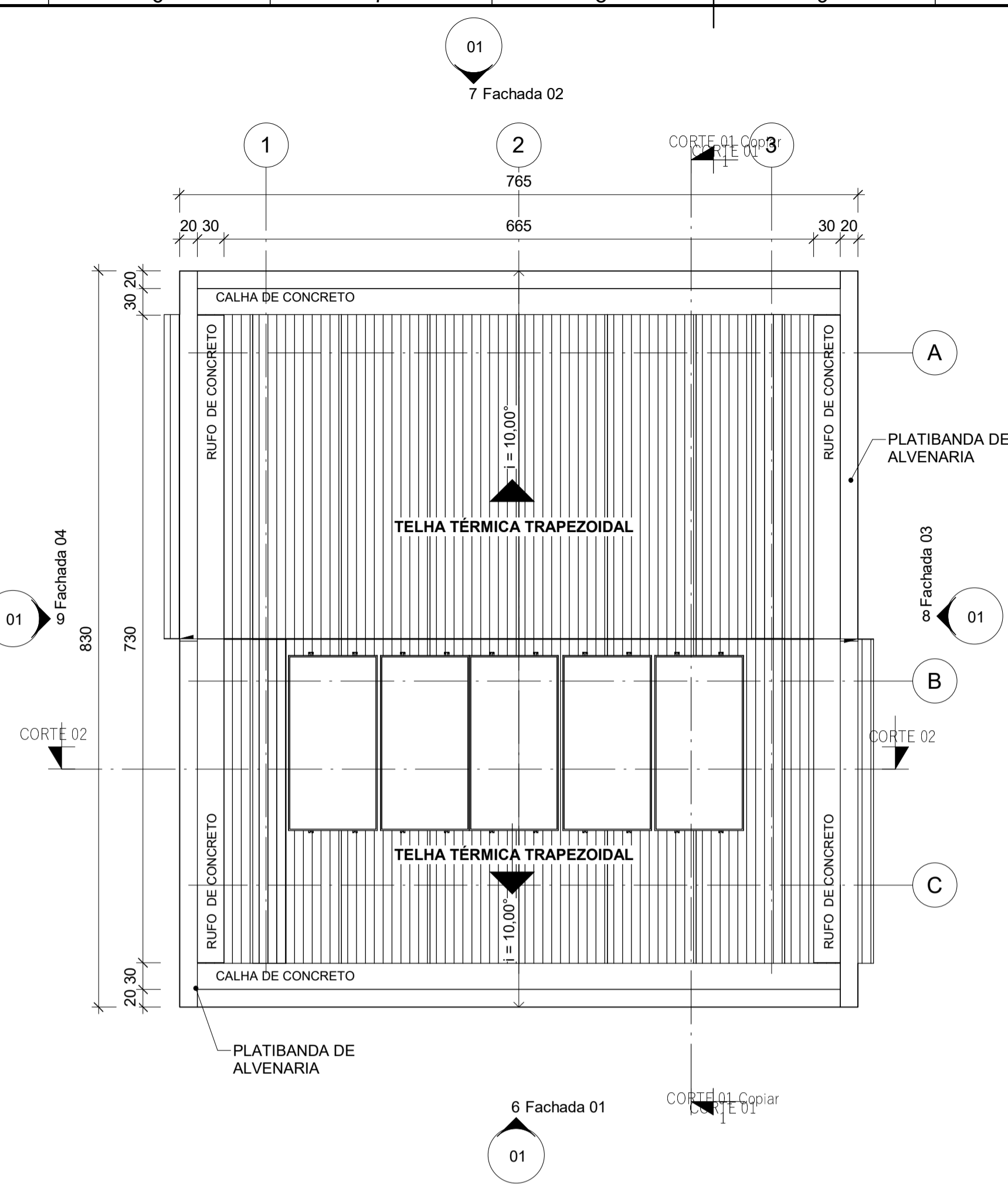
5 CORTE 2
1 : 50

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ		FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO Guamá - Rua Augusto Corrêa, nº 01 - 66075-110 Belém - Pará - Brasil	
PROJETO: PROJETO DE PROTÓTIPO DE HIS			
ASSUNTO: PROTÓTIPO DE MADEIRA PLANTAS, LAYOUT, CORTES E FACHADAS			
ALUNO (a):	MATRICULA:	Nº DA PRANCHA:	REVISÃO:
FERNANDA GABRIELA DE FRANÇA GOMES	202004340018	02 / 03	0
ESCALA:	ÁREA TERRENO:	DATA:	
INDICADA	63,50m²	AGO/2025	

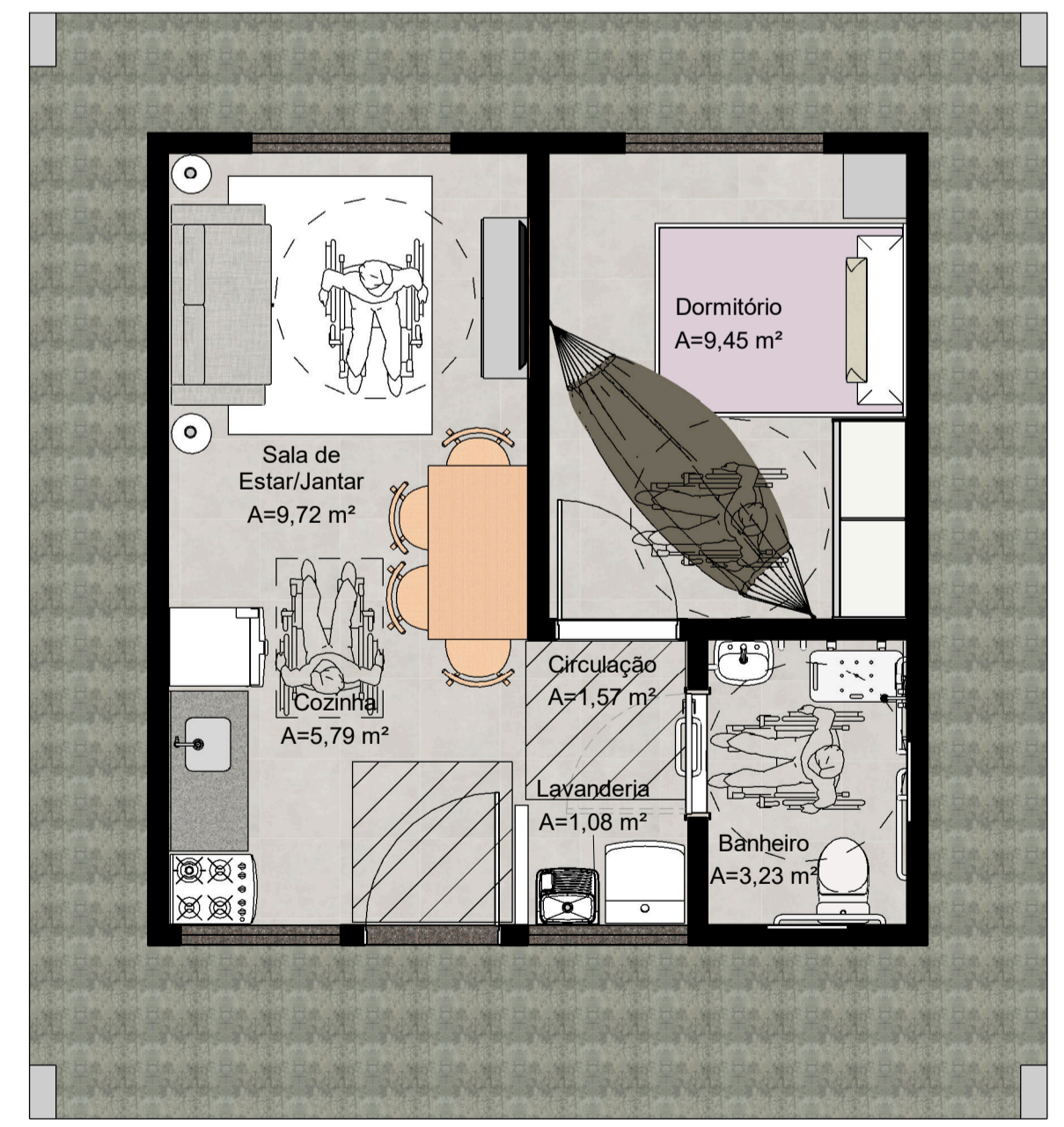
ARQUITETURA



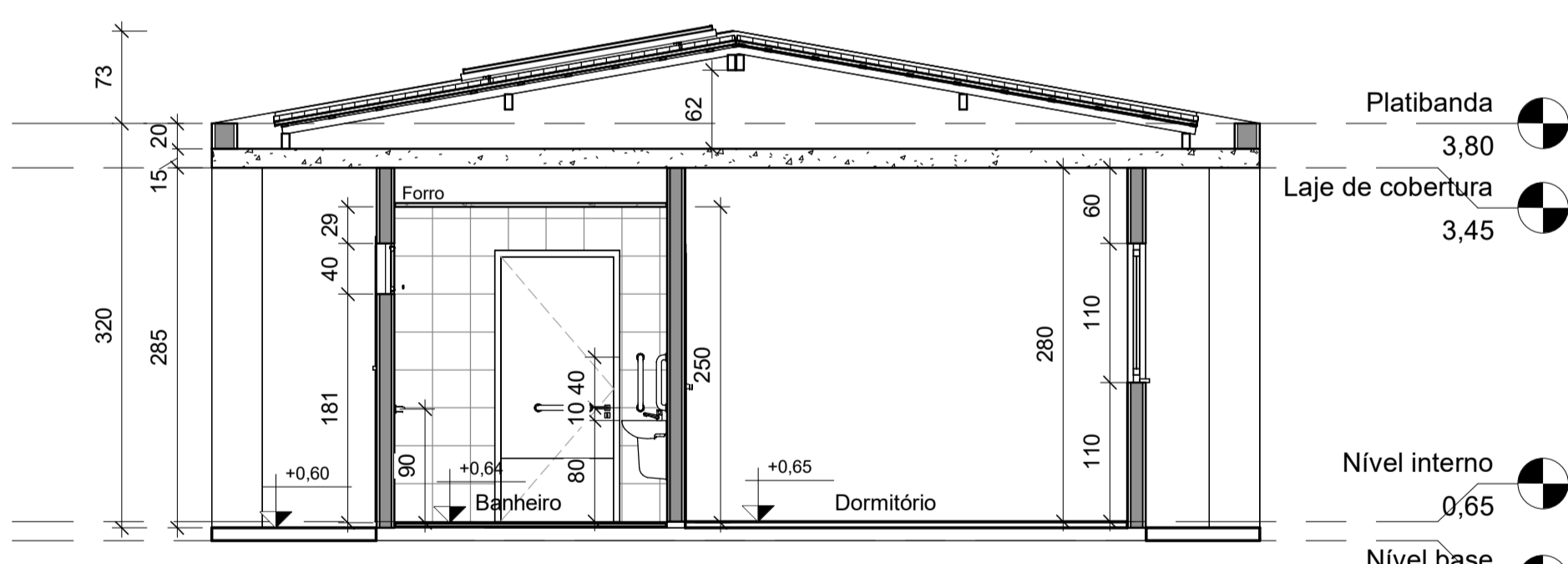
1 PLANTA BAIXA
1 : 50



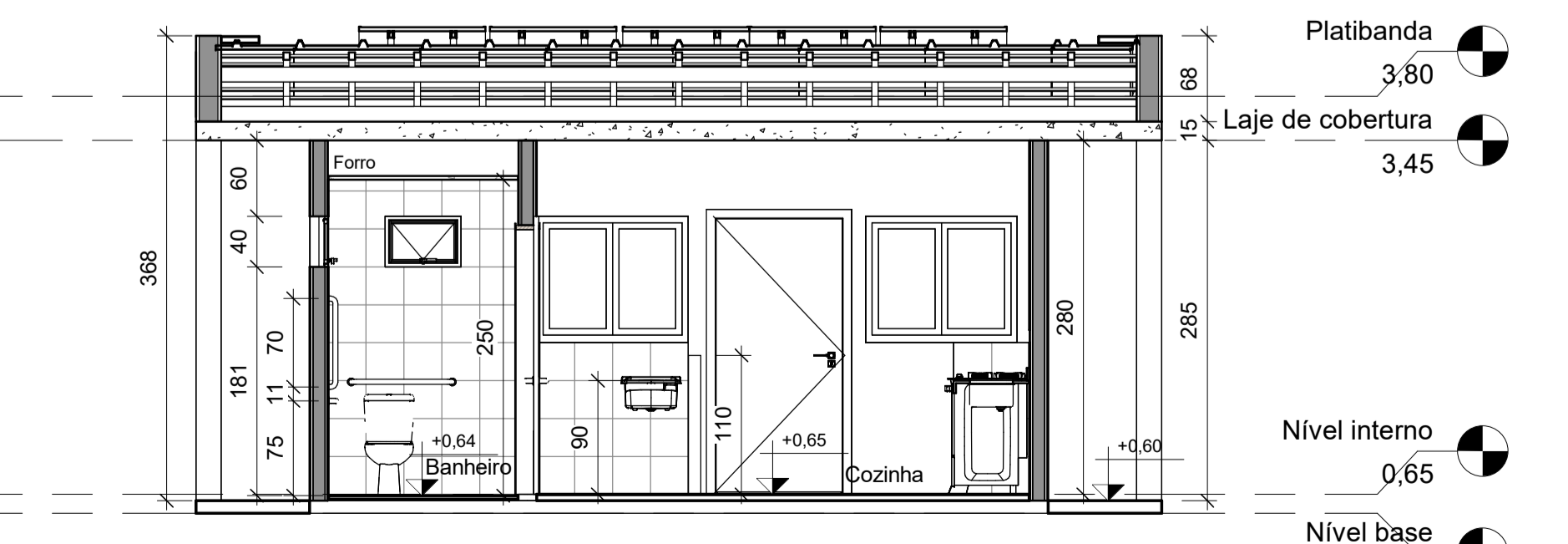
2 PLANTA DE COBERTURA
1 : 50



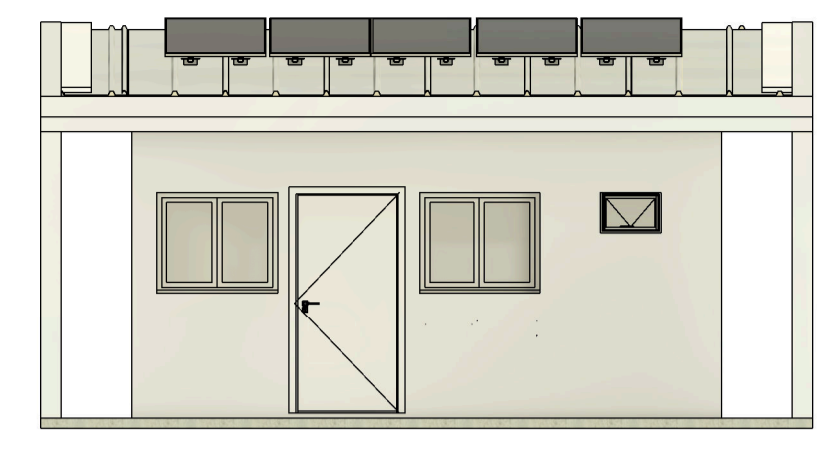
3 LAYOUT
1 : 50



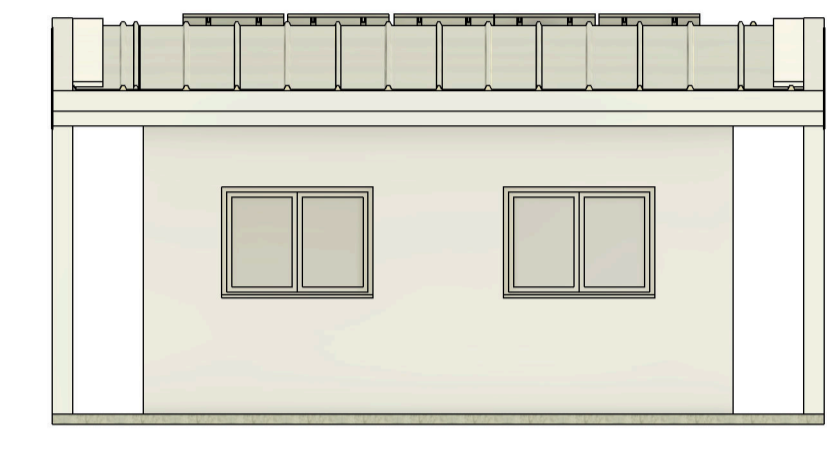
4 CORTE 01
1 : 50



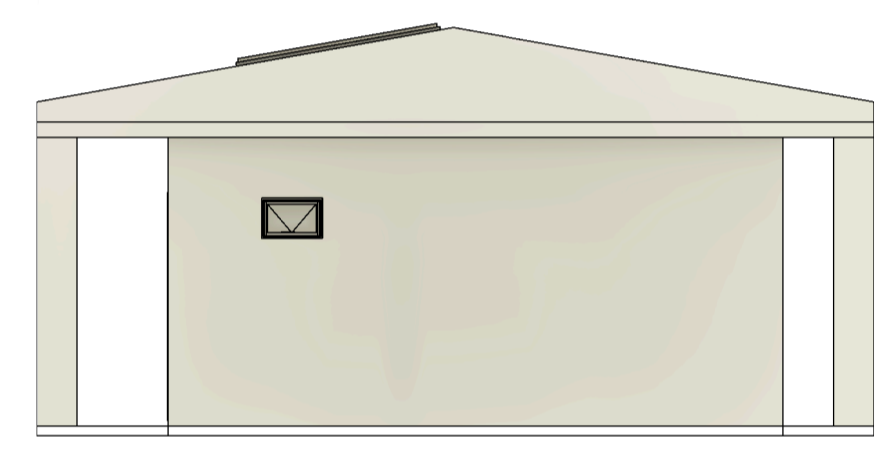
5 CORTE 02
1 : 50



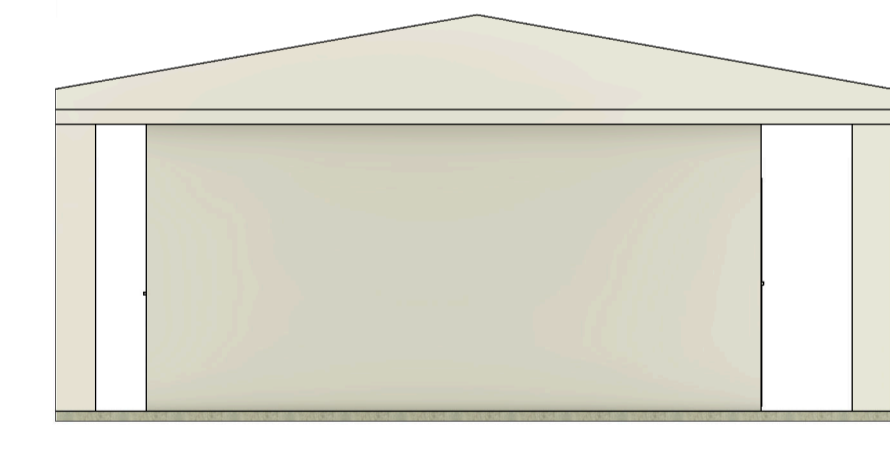
6 Fachada 01
1 : 75



7 Fachada 02
1 : 75



8 Fachada 03
1 : 75



9 Fachada 04
1 : 75

QUADRO DE ACABAMENTOS		
PISOS		
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	
P1	PISO EM REVESTIMENTO CERÂMICO	
P2	PISO DE CIMENTO QUEIMADO/PISO DE CONCRETO	
PAREDE		
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	
R1	PAREDES DE ALVENARIA CONVENCIONAL SOB PINTURA	
R2	REVESTIMENTO CERÂMICO A 1,20M	
R3	REVESTIMENTO CERÂMICO ATÉ O FORRO (BANHEIRO)	
TETO		
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	PÉ-DIREITO
F1	LAJE	2,8 M
F2	FORRO	2,5 M

QUADRO DE ÁREA			
AMBIENTE	ÁREA	AMBIENTE	ÁREA
COZINHA	5,79m²	DORMITÓRIO 01	9,45m²
SALA DE ESTAR/JANTAR	9,72m²	BANHEIRO	3,23m²
CIRCULAÇÃO	1,57m²	ÁREA DE SERVIÇO	1,08m²
TOTAL ÁREA ÚTIL (EXCLUI-SE PAREDES) = 30,84m²			
TOTAL DE ÁREA CONSTRUÍDA (INCLUI-SE PAREDES) = 35,69m²			

QUADRO DE ESQUADRIAS - PORTAS				
CÓD.	LARG.	ALT.	DESCRIÇÃO	QUANT.
P1	1,00	2,16	KIT DE PORTA DE MADEIRA PARA PINTURA, SEMI-OCA (LEVE OU MÉDIA), PADRÃO MÉDIO, 100X210CM, ESPESSURA DE 3,5CM. ITENS INCLUSOS: DOBRADIÇAS, MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO BATENTE, FECHADURA COM EXECUÇÃO DO FURO.	1
P2	0,90	2,10	KIT DE PORTA DE MADEIRA PARA PINTURA, SEMI-OCA (LEVE OU MÉDIA), PADRÃO MÉDIO, 90X210CM, ESPESSURA DE 3,5CM. ITENS INCLUSOS: DOBRADIÇAS, MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO BATENTE, FECHADURA COM EXECUÇÃO DO FURO. (ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA RESISTENTE A IMPACTOS E BARRA DE APOIO PCD)	1
P3	0,90	2,10	KIT DE PORTA DE MADEIRA PARA PINTURA, SEMI-OCA (LEVE OU MÉDIA), PADRÃO MÉDIO, 90X210CM, ESPESSURA DE 3,5CM. ITENS INCLUSOS: DOBRADIÇAS, MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO BATENTE, FECHADURA COM EXECUÇÃO DO FUR	1

QUADRO DE ESQUADRIAS - JANELAS					
CÓD.	LARG.	ALT.	PEITORIL	DESCRIÇÃO	QUANT.
B1	0,60	0,40	1,80		2
J1	1,20	1,00	<varia>	Janela de abrir com caixilho de alumínio e duas folhas de vidro	2
J2	1,50	1,10	1,10	Janela de abrir com caixilho de alumínio e duas folhas de vidro	2

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
 FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
 Guamá - Rua Augusto Corrêa, nº 01 - 66075-110
 Belém - Pará - Brasil

PROJETO: PROJETO DE PROTÓTIPO DE HIS
 ASSUNTO: PROTÓTIPO DE ALVENARIA DE BAIXO CARBONO
 PLANTAS, LAYOUT, CORTES E FACHADAS

ALUNO (a): FERNANDA GABRIELA DE FRANÇA GOMES
 MATRÍCULA: 202004340018
 N.º DA PRANCHA: 03 / 03

ESCALA: INDICADA
 ÁREA TERRENO: 63,50m²
 DATA: AGO/2025

REVISÃO: 0

ARQUITETURA