



_dominó

Um estudo de modularidade em
CLT e Wood Frame

Letícia de Caroli

_dominó: Um estudo de modularidade em CLT e Wood Frame

Letícia de Caroli

Orientadora: Prof. Dr^a Roberta Consentino Kronka Mülfarth

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Fonseca de Campos

Julho, 2022

Trabalho Final de Graduação

Universidade de São Paulo

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo



Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

De Caroli, Letícia
dominó: Um estudo de modularidade em CLT e Wood Frame /
Letícia De Caroli; orientadora Roberta Consentino Kronka
Mülfarth. coorientador Paulo Eduardo Fonseca De Campos - São
Paulo, 2022.
185p.

Trabalho Final de Graduação (Bacharelado em Arquitetura
e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo.

1. Modularidade. 2. Industrialização. 3. Clt. 4. Wood
Frame. I. Mülfarth, Roberta Consentino Kronka, orient. II.
De Campos, Paulo Eduardo Fonseca, coorient. III. Título.

resumo

O tema de trabalho final de graduação intitulado “dominó: Um estudo de modularidade em CLT e Wood Frame” surgiu como uma tentativa de desenvolver um exercício projetual a partir de conceitos e princípios de sustentabilidade, modularidade, industrialização e tecnologia.

O trabalho desenvolvido busca estudar formas de utilizar componentes modulares padronizados como base para o projeto de arquitetura, permitindo sua combinação de diversas formas conforme terrenos, usos e famílias distintas. Nesse sentido, busca-se estudar métodos construtivos industrializados que permitem rápida montagem em obra, e pouco ou nenhum desperdício de materiais, a fim de garantir uma construção limpa e de baixo impacto ambiental.

À vista disso, foram escolhidos dois métodos construtivos como foco de análise: CLT (Madeira Lamelada Cruzada) e Wood Frame, por se tratarem de técnicas de construção *off-site*, industrializados, e que utilizam a madeira como matéria-prima, que além de ser um material abundante no Brasil, é caracterizado por realizar sequestro de carbono, importante fator para aliar a construção ao baixo impacto ambiental.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho será

apresentado mais a fundo cada um dos métodos, expondo suas principais características e particularidades.

Em seguida, divide-se o trabalho em duas partes. Em um primeiro momento, busca-se apresentar cada um dos componentes modulares desenvolvidos, de forma a evidenciar sua materialidade, dimensão e função dentro do conjunto. Posteriormente, propõe-se o exercício de aplicação desses componentes, de maneira a conformar oito opções de residências unifamiliares, e quatro aplicações em edifícios de apartamentos de até 4 pavimentos.

Para todas as aplicações, buscou-se soluções projetuais capazes de garantir a maior flexibilidade possível à planta, já prevendo mudanças de layout e expansões.

Nesse sentido, pretende-se comprovar que a arquitetura em madeira pode ser uma solução interessante para a redução do déficit habitacional, em especial quando pensada de forma racionalizada, industrializada, e modular.

Palavras-Chave: Industrialização, modulação, CLT, Wood Frame, método *off-site*, sustentabilidade

The theme of the final graduation work entitled “_dominó: A study of modularity in CLT and Wood Frame” emerged as an attempt to develop a project exercise based on concepts and principles of sustainability, modularity, industrialization and technology.

The work seeks to study ways to use standardized modular components as a basis for architectural design, allowing their combination in various ways according to terrain, uses and distinct families. In this sense, it seeks to study industrialized construction methods that allow fast on-site assembly, and little or no waste of materials, in order to guarantee a clean construction with low environmental impact.

Therefore, two construction methods were chosen as the focus of analysis: CLT (Cross Laminated Timber) and Wood Frame, because they are off-site construction techniques, industrialized, and that use wood as raw material, which besides being an abundant material in Brazil, is characterized for performing carbon sequestration, an important factor to combine construction with low environmental impact.

Throughout the development of this work, each one of the methods will be presented in more depth, exposing its main characteristics and particularities.

Then, the work is divided into two parts. In a first moment, we seek to present each of the modular components developed, in order to evidence their materiality, dimension, and function within the set. Afterwards, the exercise of applying these components is proposed, in order to conform eight options of single-family houses, and four applications in apartment buildings up to 4 floors.

For all applications, design solutions capable of ensuring the greatest possible flexibility to the floor plan were proposed, already anticipating layout changes and expansions. In this sense, it is intended to prove that wood architecture can be an interesting solution for the reduction of the housing deficit, especially when thought in a rationalized, industrialized, and modular way.

Keywords: Industrialization, modulation, CLT, Wood Frame, off-site method, sustainability

agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família por todo o apoio, força e incentivo que me deram ao longo desses anos de graduação. Sou especialmente grata aos meus pais por sempre me apoiarem em minhas decisões e me ajudarem a clarear meus pensamentos em momentos de dificuldade. O amor e apoio de vocês sempre me impulsionou a buscar novos horizontes e testar meus limites.

Também agradeço imensamente aos amigos que a FAU me proporcionou, tornando a graduação mais leve e divertida desde os primeiros dias. Obrigada por todo o companheirismo, experiências, ensinamentos, risos e apoio. Vocês fazem parte de quem eu sou, e sempre serei eternamente grata por ter tido a imensa sorte de poder dividir esse período com cada um de vocês.

Também dedico este trabalho aos amigos de fora da faculdade, que acompanharam de perto todo esse processo, e me deram o incentivo necessário para finalizar esse ciclo.

Por fim, ainda agradeço aos professores que estiveram comigo nessa fase de finalização. À Roberta Consentino Kronka Mülfarth por me incentivar ao longo do desenvolvimento do projeto, e por todo o aprendizado e conversas que culminaram neste Trabalho. Além disso, agradeço ao professor Paulo Eduardo Fonseca de Campos

por toda a disponibilidade em me ajudar com as principais questões técnicas do projeto, e sempre me incentivar a desenvolver minha curiosidade.

É um grande prazer poder finalizar esse ciclo com todos vocês ao meu lado.

Sumário

1. Motivação Pessoal	19
2. Construção civil e déficit habitacional	23
3. Arquitetura modular e industrialização	29
4. Rumo à sustentabilidade e inovação	35
5. Referências projetuais	41
5.1 Minimod Curucaca MAPA	41
5.2 A Casa Expansível Urban Rural Systems	43
5.3 Dalston Works Waugh Thistleton Architects Engenharia Systems	45
5.4 Casa 24hs Inovatech Engenharia	46
5.5 Sara Kulturhus Center / White Arkitekter	47
6. Estudo dos métodos construtivos	53
6.1 A madeira industrializada como material de construção	53

6.2 CLT (Madeira Lamelada Cruzada)	56
6.2.1 Componentes e Etapas de Construção	56
6.2.2 Manutenção e Durabilidade	61
6.2.3 Impacto Ambiental	62
6.2.4 Conforto Ambiental	63
6.2.5 Custos	63
6.3 Wood Frame	65
6.3.1 Componentes e Etapas de Construção	65
6.3.2 Manutenção e Durabilidade	69
6.3.3 Impacto Ambiental	69
6.3.4 Conforto Ambiental	70
6.3.5 Custos	71
6. Desenvolvimento dos módulos	77
7. Exercício Projetual	104

Residência Unifamiliar Opção 1	108
Residência Unifamiliar Opção 2	114
Residência Unifamiliar Opção 3	118
Residência Unifamiliar Opção 4	122
Residência Unifamiliar Opção 5	126
Residência Unifamiliar Opção 6	132
Apartamento Opção 7	142
Apartamento Opção 8	146
Edifício de Apartamentos Aplicação 1	150
Edifício de Apartamentos Aplicação 2	156
Edifício de Apartamentos Aplicação 3	160
Edifício de Apartamentos Aplicação 4	166
8. Considerações finais	177

1. motivação pessoal

1. Motivação Pessoal

A escolha do tema proposto surgiu como uma tentativa de conciliar industrialização e modularidade com soluções para o déficit habitacional das cidades brasileiras visando opções de baixo impacto ambiental quando comparado aos métodos de construção tradicional.

Nesse sentido, foram escolhidos dois métodos construtivos industrializados: CLT e Wood Frame, para estruturar os módulos propostos. Com isso, pretendeu-se utilizar uma matéria-prima abundante no Brasil - a madeira -, e que ainda não é devidamente explorada para a construção de moradia popular. Além disso, tratam-se de métodos construtivos com baixo impacto ambiental agregado, e que, por serem desenvolvidos em ambiente fabril, somente são “montados” *in loco*, o que torna a construção mais rápida, seca, eficiente, com menos desperdícios e mais limpa, de maneira geral.

Pretende-se com este trabalho desenvolver um exercício projetual capaz de propor uma alternativa residencial capaz de utilizar-se da arquitetura modular, produção industrial e de soluções sustentáveis de funcionamento para criar uma unidade capaz de ser construída com uma quantidade pequena de recursos e com alta rapidez.

Além disso, pretende-se pensar em um projeto capaz de ser “desmontável” e manipulável, de forma que o conjunto possa ser movido ou modificado, segundo desejo dos moradores.

Uma habitação pode ser considerada sustentável quando a adequação ambiental, a viabilidade econômica e a justiça social são incorporadas em todas as etapas de seu ciclo de vida, ou seja, desde a fase de concepção, construção, uso e manutenção; até, possivelmente, em um processo de demolição. (TAJIRI, CAVALCANTI; POTENZA, apud CAMPOS et al 2014, p. 113).

Por fim, pensando na pós-ocupação, pretende-se prever espaços específicos para a expansão das unidades, para que sejam ocupadas de acordo com a necessidade de cada usuário.

Nos próximos capítulos, será discutida a questão do déficit habitacional no Brasil e em São Paulo, além de aspectos acerca da industrialização e sustentabilidade na construção civil, detalhamento acerca dos métodos construtivos escolhidos e, em seguida, a explicação dos módulos desenvolvidos e posterior aplicação projetual.

2. Construção civil e déficit habitacional

A construção civil é um dos ramos que mais polui e explora recursos naturais do planeta. A partir de processos quase artesanais e pouco inovadores, o setor segue pouco industrializado, com utilização excessiva de materiais e recursos, muitas vezes sem planejamento, implicando em perdas e desperdício. Aliado a isso, tem-se uma tendência pouco expressiva de inovação nesse meio, além de construções caras, de baixa qualidade, que não são capazes de resolver o déficit habitacional das cidades de maneira satisfatória.

No Brasil, há cerca de 30% de acréscimo nos custos devido ao desperdício em obra, (PINTO, 1995, apud GROHMAN), além de perda de cerca de 50% do tempo de mão de obra dos serventes, e 25% dos tijolos e elementos de vedação se transformam em entulho (KOSKELA, SCARDOELLI, 1997, apud GROHMAN). São dados alarmantes que vão de contramão com a tendência de construção sustentável.

De maneira geral, estima-se que a construção civil é responsável pelo consumo de cerca de 40% dos recursos naturais extraídos (TAJIRI; CAVALCANTI; POTENZA, apud CAMPOS et al 2014, p. 112), principalmente no

que diz respeito ao consumo de cimento, que é maior do que o de alimentos. Segundo a Sinduscon-SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo), a quantidade de resíduos gerados na construção civil representa 2/3 da massa de resíduos urbanos totais de um município.

Por outro lado, apesar da força da construção civil, a quantidade de habitações precárias e pessoas desabrigadas crescem gradativamente. O déficit habitacional absoluto no Brasil passou de 5,657 milhões em 2016 para 5,877 milhões em 2019 (FJP, 2020).

Especificação	Ano			
	2016	2017	2018	2019
Habitação Precária	22,9	25,0	24,3	25,2
Rústicos	13,4	13,4	12,1	11,9
Improvisados	9,5	11,5	12,1	13,4
Coabitação	27,3	25,6	23,9	23,1
Cômodos	2,4	2,0	1,7	1,7
Unidades Conviventes	24,9	23,6	22,2	21,5
Ônus excessivo aluguel urbano	49,7	49,5	51,9	51,7
Deficit habitacional	100,0	100,0	100,0	100,0

Participação dos componentes e subcomponentes no déficit habitacional no Brasil. Fonte: Fundação João Pinheiro (FJP) e Diretoria de Estatística e Informações (Direi). 2020

Especificação	Urbano	Rural	Total	Relativo (%)
Sudeste	2.202.023	85.098	2.287.121	7,2
Minas Gerais	454.836	41.649	496.484	6,6
<i>RM Belo Horizonte</i>	<i>106.221</i>	<i>823</i>	<i>107.044</i>	<i>5,6</i>
Espírito Santo	79.910	3.413	83.323	5,8
<i>RM Grande Vitória</i>	<i>39.045</i>	<i>34</i>	<i>39.079</i>	<i>5,6</i>
Rio de Janeiro	469.316	11.927	481.243	7,3
<i>RM Rio de Janeiro</i>	<i>355.130</i>	<i>6.489</i>	<i>361.619</i>	<i>7,5</i>
São Paulo	1.197.961	28.109	1.226.071	7,6
<i>RM São Paulo</i>	<i>579.294</i>	<i>11.411</i>	<i>590.706</i>	<i>7,7</i>

Déficit Habitacional por situação do domicílio e relativo aos domicílios particulares permanentes e improvisados na região Sudeste em 2019.

Fonte: Fundação João Pinheiro (FJP), 2020

A partir da análise das tabelas, também pode-se perceber que o estado com o maior déficit habitacional é São Paulo, que deve receber maior atenção nesse quesito. No total, são mais de 1,2 milhão de moradias denominadas como déficit. De acordo com Plano Estadual de Habitação de São Paulo PEH-SP 2011-2023, elas se enquadram no perfil de moradias que requerem substituição, seja em razão da precariedade dos aspectos construtivos, seja pela localidade próxima às áreas de risco, sujeitas a enchentes ou desmoronamentos.

De maneira análoga, ainda existem mais de 2,6 milhões de habitações em situação de inadequação, que consistem

em domicílios que requerem ações de reforma, ampliação ou adequação associadas a ações urbanização, recuperação urbana e ambiental, entre outros aspectos.

Esse perfil é muito preocupante, porque além de não caminhar para um funcionamento sustentável, a indústria da construção civil não vêm sendo pensada de forma a colaborar para a diminuição do déficit habitacional do país.

Ainda hoje, as políticas de habitação priorizam a redução de custos sobre a qualidade dos projetos, partindo de soluções e materiais padronizados, dando pouca importância a aspectos como conforto térmico e lumínico, e alocando a população, geralmente, em terrenos distantes do centro, em locais desprovidos de infraestrutura. Todo esse contexto contribui para a manutenção de uma arquitetura tradicional, artesanal, e que peca em inovação e tecnologia, reduzindo a qualidade de vida dos que ali habitam.

A situação é definida por Ferreira da seguinte forma:

Como se trata de segmento de mercado que não consegue arcar com os preços demasiadamente altos, a tendência das construtoras será tentar diminuir ao máximo os custos da construção. Para isso, há duas saídas: rebaixar a qualidade

construtiva utilizando materiais mais simples ou investir na pesquisa de soluções tecnológicas que permitam racionalizar e acelerar a construção. (FERREIRA, 2012. P. 86)

Pensando em todo esse contexto, e diante de uma crise climática iminente, propor qualquer arquitetura que não dialogue com a redução de impacto ambiental é inconcebível, e a industrialização da construção se adequa como uma das saídas mais palpáveis para esse problema.

Tendo esse cenário em evidência, é primordial repensar as formas como a arquitetura é desenvolvida para suprir as necessidades habitacionais, especialmente buscando aliar qualidade e conforto com eficiência e flexibilidade.

Além disso, é essencial propor novas soluções e métodos construtivos que possam assegurar segurança e rapidez ao processo de construção, sempre pensando nas características adversas de terrenos e diferentes necessidades pretendidas para cada família, de preferência alocando os moradores no próprio local ou região de residência que já estão fixados.

3.arquitetura modular e industrialização

3. Arquitetura modular e industrialização

A fim de desenvolver uma proposta de arquitetura modular industrializada, pensar em métodos construtivos pré-fabricados foi o principal ponto de partida. Além disso, uma vez que o projeto visa a redução de impacto ambiental, trabalhar com um processo industrial é uma opção coerente.

De forma geral, arquitetura modular pode ser traduzida como um processo de adaptação de um projeto à modulação definida de um material ou método construtivo. Assim, o projeto é pensado a partir de um determinado material, com medidas específicas para se adequar àquele método construtivo.

Segundo T. Rosso (apud ROSA, 2006), a coordenação modular tem o objetivo de estabelecer e ordenar as dimensões dos diferentes elementos da construção, sem necessidade de alterações ou recortes em obra. Nesse sentido, a função principal da modulação é evitar desperdícios desnecessários, além de reduzir custos com fabricação e transporte de materiais e resíduos.

A partir de estruturas pré-fabricadas, de maneira geral, a arquitetura modular permite uma construção rápida, limpa, seca e com baixo consumo de materiais. A premissa é que

os módulos sejam todos fabricados na própria fábrica, e transportados já prontos para serem somente montados *in loco*, já na posição final segundo projeto de arquitetura.

Inclusive, para que a construção seja devidamente realizada, é de extrema importância que se tenha um projeto detalhado e preciso, já prevendo todas as instalações e possíveis ampliações, uma vez que se trata de um sistema que não permite modificações abruptas em obra, ou erros de precisão.

Além dos aspectos citados anteriormente, outro fator importante que torna a arquitetura modular tão atrativa é o fato de necessitar de menos materiais, assim como equipes menores, mas sem que o projeto perca em qualidade ou originalidade. Ao contrário do senso comum, a modularização pode se adequar aos mais diversos formatos e programas, não adquirindo caráter necessariamente “padrão”, de arquitetura limitada.

Pelo contrário, a modularização, apesar de trabalhar com medidas específicas, dá a liberdade para a criação de espaços de alta qualidade, não somente no desenho dos ambientes, como também em aspectos de desempenho ambiental. Inclusive, existe no mercado uma série de materiais com garantia de ótimo isolamento térmico e acústico passíveis de aplicação na arquitetura modular.

Outro fator importante, quando pensamos em arquitetura residencial, em especial para população de baixo poder aquisitivo, é pensar em possibilidade de ampliação.

A arquitetura modular, dependendo do método construtivo empregado, tem a liberdade de ser montada e desmontada em distintas localidades, além de permitir ampliações e modificações de configuração de maneira facilitada.

Esse aspecto será muito explorado no exercício projetual deste trabalho, pois o módulo, quando pensado em painéis, pode garantir uma liberdade de diversas composições de planta, o que permite às famílias a possibilidade de ampliar suas residências caso necessário. Claro, muito provavelmente essa ampliação não será realizada no método construtivo previsto, porém o projeto pode – e deve – garantir essa possibilidade já prevendo possíveis conexões e formas de garantir a segurança e estanqueidade do conjunto mesmo se utilizado outro método construtivo para tal finalidade.

Algo que é importante discutir, quando pensamos em arquitetura industrializada, é o custo. Tudo depende do material e método utilizado, porém, de maneira geral, o m^2 de uma construção pré-fabricada sai mais caro do que o da construção convencional, de concreto armado e alvenaria. Entretanto, é extremamente importante fazer um balanço

do custo-benefício alcançado com esse método, uma vez que o tempo de construção, consumo e perda de materiais, necessidade de equipe, e custos com administração de resíduos são consideravelmente menores. Nesse sentido, muitas vezes a opção pela arquitetura modular pode compensar economicamente.

Além disso, a questão da escala é um fator bastante decisivo quando se analisa custos para arquitetura industrializada. Ao conhecer o método construtivo e pensar o projeto a partir de suas medidas padrões desde o início, se a fabricação for pensada para larga escala e máxima repetição de peças iguais, o custo tende a cair consideravelmente, o que pode viabilizar a implementação de um projeto baseado em construção modular off-site até mesmo para obras de Habitação de Interesse Social e Moradia Popular, por exemplo.

Esse tipo de industrialização, em que todos os processos de fabricação dos componentes são realizados em processo fabril, para serem apenas montados *in loco*, e controlados por uma única empresa/fabricante é denominado como ciclo fechado. De forma geral, o custo implicado em um edifício proveniente deste tipo de fabricação provém do custo da mão de obra, do projeto, instalações e equipamentos, e transporte até terreno de montagem. Assim, quando o processo é pensado para atender em larga escala, os custos

com projeto e equipamentos são diluídos, o que permite a viabilidade econômica do conjunto (LOTUFFO, 2015).

O problema desse tipo de mentalidade é tender à padronizar as opções de planta, tornando os projetos pouco flexíveis e adaptáveis às necessidades de cada família. Nesse sentido, a industrialização se torna mais coerente quando proposta para a produção dos componentes construtivos (BRUNA, 2002).

Assim, para a finalidade deste projeto, serão pensados componentes modulares que, quando conectados entre si, podem conformar diferentes formas de habitar, adaptados conforme os usuários e condições de terreno, sem que se torne uma solução uniforme e padronizada para todas as habitações.

Ao invés de optar pela definição de um módulo completo conformando um cômodo, ou toda a unidade, o módulo em questão neste trabalho será tratado como um componente construtivo, definido como um painel, conforme detalhado nos próximos capítulo. Essa escolha projetual surgiu com o intuito de tornar o projeto menos “engessado”, e mais flexível.

Nesse sentido, foram escolhidos métodos construtivos que permitem tal flexibilidade, e são passíveis de serem

fabricados totalmente dentro de fábrica, de forma a compor painéis estruturais de medidas variáveis: o CLT (Cross Laminated Timber) e o Wood Frame. Os próximos capítulos são dedicados ao estudo aprofundado desses métodos e as formas como os mesmos se relacionam com a tendência a arquitetura mais sustentável.

4. Rumo à sustentabilidade e inovação

A fim de desenvolver um projeto com reduzido impacto ambiental quando comparado à construção tradicional, foram estudados métodos construtivos industrializados que garantem um melhor aproveitamento dos materiais, além de utilizar matérias-primas com menor consumo de energia associada e emissão de poluentes. Nesse sentido, optou-se por métodos construtivos de menor impacto e soluções de projeto que pensam não somente no momento da construção, como também no emprego de energia no uso dos espaços durante ocupação e posterior desmontagem do sistema.

Definido o método construtivo, devem ser pensadas outras estratégias que garantem a passividade da construção. O CLT por si só já é uma solução de menor impacto, por se tratar de uma matéria-prima renovável, reciclável, proveniente de florestas plantadas, certificadas. Além disso, é uma solução que pode adquirir aspecto modular, que gera uma obra limpa, seca, rápida e com pouco ou nenhum resíduo gerado. Em adição, a escolha do método construtivo também partiu das características físicas dos materiais, e a forma como se comportam para garantir bom desempenho térmico aos ambientes internos. Nesse sentido, a escolha do material garante formas de aumentar

a eficiência energética do projeto a partir da diminuição da carga térmica do conjunto, e o consumo de energia elétrica através de um bom projeto que garanta entrada de iluminação útil nos espaços de permanência prolongada ao longo do dia.

Nesse sentido, pretende-se reduzir o impacto ambiental do projeto nos seguintes âmbitos:

- Materiais (CLT e Wood Frame): Uso de material renovável e local, com componentes recicláveis e baixa emissão de poluentes durante a fabricação das peças;
- Redução de perdas: Implícito ao uso de um método construtivo modular e industrializado, por meio do qual somente ocorre a montagem dos elementos em obra, sem que haja a geração de entulho ou resíduos adicionais. Esse perfil também está relacionado ao treinamento da mão de obra, necessário para a otimização e bom uso do material fornecido;
- Gestão de resíduos: Uso de materiais de construção que podem ser totalmente recicláveis ao final de sua vida útil, além de existir a possibilidade de desmontagem e realocação de todos os seus componentes, de modo a manter sua função original;

- Economia de água e energia na produção dos elementos construtivos, conforme já mencionado;

Aliado às soluções previamente estabelecidas como diretrizes de projeto, abaixo estão listadas duas alternativas adicionais de projeto que podem ser seguidas de forma a contribuir para um projeto sustentável:

- Painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica

Os painéis solares fotovoltaicos são dispositivos capazes de transformar radiação e calor em energia elétrica. Constituído por células fotovoltaicas, o sistema pode ser diretamente ligado à rede pública (Sistema on-grid) ou totalmente independente do fornecimento municipal (off-grid). Para fins deste trabalho, será considerado o sistema on-grid, ligado à rede pública de fornecimento.

De forma simplificada, os painéis captam a luz e geram correntes elétricas contínuas, que são convertidas em correntes alternadas pelo inversor solar. Quando não utilizada, essa energia passa automaticamente para a rede pública, e gera créditos ao usuário em kWh, que poderão ser abatidos da conta de luz ao final da medição. Se trata de um sistema com base em energia renovável e infinita, que requer baixa manutenção, possui vida útil de mais de 25 anos e é capaz de proporcionar uma redução de até 90% na

conta mensal de luz (Intelbras, 2022).

Apesar do alto custo de instalação, é um investimento com rápido tempo de retorno, e que, muitas vezes tem seu valor compensado pela economia expressiva na conta de energia elétrica. Além disso, para os investidores, é uma boa maneira de valorizar seu imóvel, e ser um diferencial de mercado.

Em adição, atualmente Instituições como o Ministério do Meio Ambiente, de Minas e Energia, Caixa e Banco de Desenvolvimento da América Latina já financiam projetos com diretrizes de sustentabilidade, além de garantir redução de juros e linhas de créditos facilitadas, o que demonstra uma tendência do mercado em incentivar obras a partir de diretrizes de desenvolvimento sustentável.

- Sistema de aproveitamento de água das chuvas

O sistema consiste em um conjunto de dispositivos capaz de captar a água pluvial, armazená-la e direcioná-la para outras funções dentro de uma residência, como irrigação, limpeza de áreas internas e externas, abastecimento de descargas, entre outros. Dessa forma, é possível reduzir o consumo de água e desperdícios.

De maneira simplificada, a água é coletada pelo telhado,

passando pelas calhas e dirigindo-se para o filtro onde recebe a primeira fase do tratamento, impedindo a passagem de resíduos sólidos, e é armazenado em uma cisterna. Na cisterna ocorre a decantação de partículas suspensas na água. Essa água é então retirada da cisterna e, uma vez fora do reservatório, pode receber cloro para melhorar o tratamento. Em seguida, a água não potável é bombeada para o reservatório que distribuirá o recurso entre as tubulações. Por fim, a água de reuso encontrará seu destino final em torneiras para irrigação/ lavagem de pisos ou vasos sanitários.

Para fins deste trabalho, vale ressaltar que as duas últimas soluções foram consideradas nas aplicações de projeto, e são sistemas previstos em cada uma das opções de tipologia expressas no capítulo 8, mas não serão aprofundadas no mesmo nível de detalhe que o métodos construtivos e os componentes modulares propostos.

É importante ressaltar, ainda, que não pretende-se trazer uma solução completamente sustentável e passiva, e sim buscar soluções que gerem menos impacto ambiental em comparação com a construção tradicional. Sabe-se que toda construção gera impactos no ambiente, e muitos dos materiais propostos não configuram as melhores opções do ponto de vista ambiental. Entretanto, o trabalho em questão busca explorar a industrialização como forma de ter maior

controle sobre o consumo de insumos, e utilizar matérias-primas que contribuem para o sequestro de carbono e redução de emissão de poluentes.

5.referências projetuais

5. Referências projetuais

5.1 Minimod Curucaca | MAPA



Casa Curucaca. Fonte: MAPA arquitetos

O escritório de arquitetura MAPA vem se aprofundado em casas modulares e pré-fabricação. Foi assim que surgiu o conjunto de projetos denominados “Minimod”, que presam pela industrialização e sustentabilidade. Até agora, o escritório já projetou e construiu três casas modulares localizadas no Brasil: a Minimod Curucaca, a Minimod Catuçaba e a Minimod em Maquiné, no Rio Grande do Sul.

Todos os projetos têm como material de construção principal painéis de madeira lamelada cruzada (CLT) a partir de madeira reflorestada tratável. Aqui será discutido um pouco sobre uma delas: Minimod Curucaca.

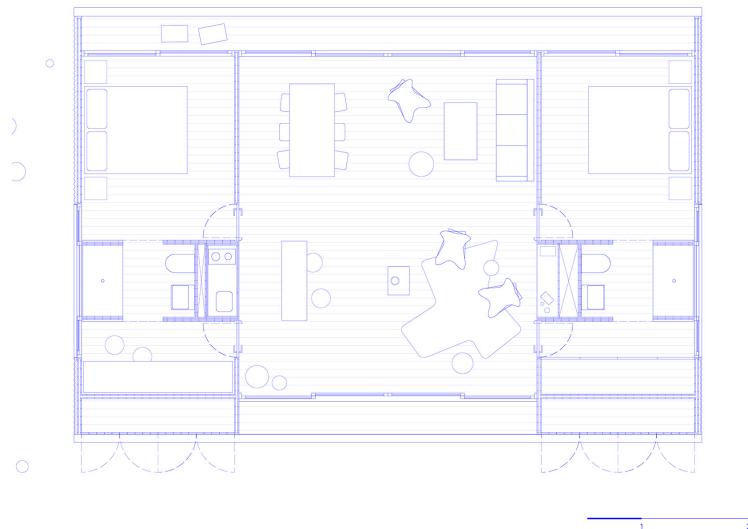
O projeto surge como uma alternativa à construção tradicional, incorporando a industrialização como principal aliado nesse processo. Nesse sentido, cria-se uma construção com maior precisão, rapidez de execução, menos resíduos e responsabilidade ambiental.

Todo o projeto é pensado a partir do dispositivo “plug&play”, o que facilita o transporte e montagem dos painéis. Além disso, se baseia em uma lógica de módulos combináveis, ou seja, o sistema concebido permite a composição dos módulos conforme o terreno onde será



Casa Curucaca, ambiente interno. Fonte: MAPA arquitetos

construído, além de possibilitar expansões ou mudanças de layout.



Casa Curucaca, planta baixa. Fonte: MAPA arquitetos

Nesse projeto, todos os componentes chegaram prontos na obra, sendo somente a montagem realizada *in loco*. Isso facilitou o processo de construção, pois garantiu maior rapidez e agilidade no fechamento da edificação. Além disso, uma vez que a obra é composta de componentes modulares menores - painéis de paredes, laje, etc - todos os elementos foram transportados em caminhões simples,

e posicionados com auxílio de caminhão munck. Por ser um material leve, quando comparado ao concreto, não há necessidade de mobilizar grandes equipamentos como guindastes.

Nesse sentido, a obra pode ser realizada em terrenos mais afastados, com menor infraestrutura de acesso. Essa é uma contrapartida importante que será explorada no exercício projetual apresentado nos próximos capítulos.

A imagem abaixo ilustra o caminhão munck utilizado para a montagem dos módulos.



Transporte de módulos da Casa Curucaca. Fonte: MAPA arquitetos

5.2 A Casa Expansível | Urban Rural Systems



Casa Expansível em sua conformação terrea. Fonte: ArchDaily

A casa expansível, desenvolvida em Batam na Indonésia surgiu como uma alternativa de habitação social em resposta ao rápido crescimento da cidade. Para tal, foi feito todo um levantamento dos padrões de ocupação e renda familiar, consumo de água e energia das pessoas que viriam a ocupar as residências, entre outros aspectos. Nesse sentido, o projeto se baseou em cinco princípios:

- Flexibilidade: O projeto permite a verticalização do conjunto, podendo atingir até três pavimentos, uma vez que a cobertura pode ser içada. Assim, os moradores podem

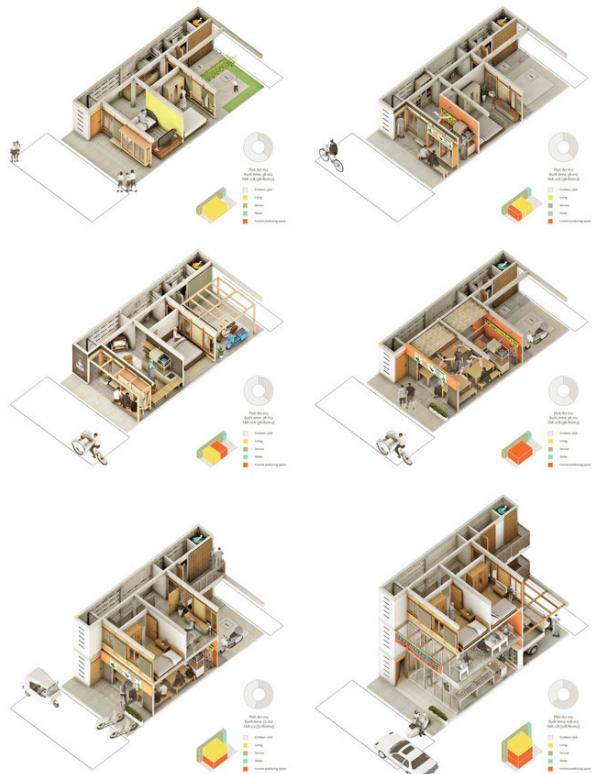
tomar a liberdade de expandir o espaço de acordo com suas necessidades, passando de 36m² até 108m².

- Densidade Doméstica: Devido à possibilidade de ampliação, a casa incentiva o adensamento vertical, permitindo a coabitação em um único terreno;
- Sistemas Descentralizados: cada unidade tem seu próprio sistema de energia solar, uso de água pluvial, fossa e sistema de resfriamento passivo;



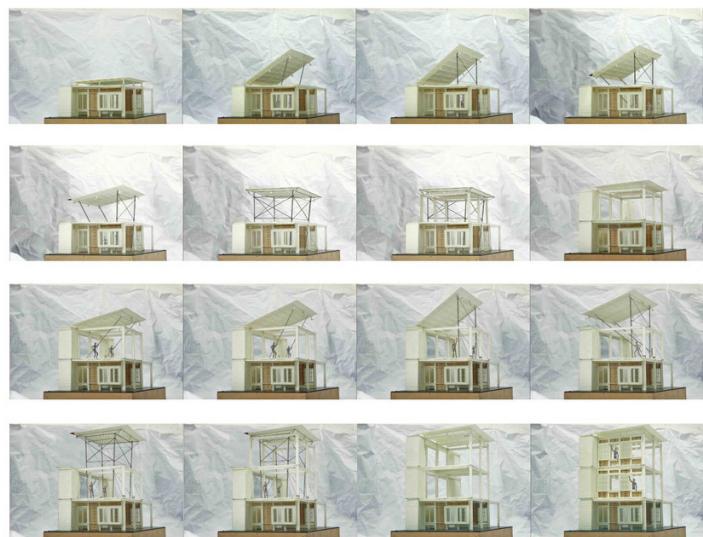
Casa Expansível em sua conformação com 3 pavimentos. Fonte: ArchDaily

INTERIOR ADAPTATION OPTIONS



Esquema representativo de todas as conformações possíveis da casa expansível. Fonte: ArchDaily

MODEL STUDY



Esquema de içamento do telhado e expansão vertical do conjunto. Fonte: ArchDaily

- Paisagem Produtiva: O projeto prevê plantio de bambu e jardins externos para uso e comercialização dos moradores;
- Pacote de Sementes: O projeto tem como princípio fornecer tecnologias, estratégias e materiais para que o projeto se adeque a várias realidades e necessidades.

Esse projeto é especialmente interessante, pois prevê as reais necessidades da população que, de forma similar ao Brasil, tem a necessidade de se adequar a diferentes programas e famílias.

Algo que chama a atenção é o fato de que o projeto garante a possibilidade do conjunto adquirir caráter uni ou multifamiliar, além de permitir diferentes usos dentro de um mesmo terreno. Nesse sentido, a população pode utilizar a mesma edificação com a finalidade de moradia e trabalho/ sustento próprio. Assim, além de contribuir para a redução do déficit habitacional, trata-se de uma solução que aproxima os moradores do trabalho, além de garantir uma nova fonte de renda caso um dos pavimentos seja alugado para terceiros.

Esse é um fator que também será explorado no exercício projetual desenvolvido à frente.

5.3 Dalston Works | Waugh Thistleton Architects



Dalston Works concluído e Dalston Works durante fase de construção.

Fonte: Architect Magazine

O projeto Dalston Works, desenvolvido em Londres, no Reino Unido (2017) se consolidou como o maior edifício feito inteiramente de madeira laminada cruzada da Inglaterra. Ele conta com 121 unidades e pesa 1/5 de um edifício de concreto equivalente. Isso fez com que fosse possível incrementar em 25% o número de unidades habitacionais no empreendimento. Segundo o escritório de engenharia responsável, o projeto foi capaz de sequestrar 2.866 toneladas de dióxido de carbono da atmosfera (Ramboll, B&k Structures apud SCHULER).

O edifício foi entregue em 18 meses, prazo bastante

reduzido quando comparado aos métodos tradicionais, o que evidencia ainda mais a vantagem de se construir sob uma lógica industrializada.

À primeira vista, não é óbvio que o edifício é inteiramente feito em madeira industrializada. Isso se deve ao fato de que, externamente, a obra foi revestida com acabamento em tijolos vitorianos, remetendo à arquitetura local e a cultura arquitetônica da região.

Nesse sentido, esse projeto nos permite perceber como o CLT pode ser “camouflado” dependendo do tipo de acabamento utilizado. Essa característica é especialmente interessante para ser explorada no Brasil, onde o aspecto “puro” da madeira ainda não é visto com bons olhos do ponto de vista estrutural.



Dalston Works em obras evidenciando a estrutura de madeira. Fonte: Archdaily

5.4 Casa 24hs | Inovatech Engenharia



Casa 24hs montada na FEICON 2019. Fonte: Inovatech Engenharia

A casa 24hs foi um projeto desenvolvido pela Inovatech Engenharia em parceria com a Feicon Batimat dentro do pavilhão da Feicon 2019. Foram três ciclos de 8 horas para a construção completa de uma casa de 45m², partindo de um módulo de moradia totalmente expansível, podendo atingir a conformação de um edifício de até 14 andares.

Conforme afirma Luiz Henrique Ferreira, diretor e fundador da Inovatech Engenharia, esse perfil garante uma

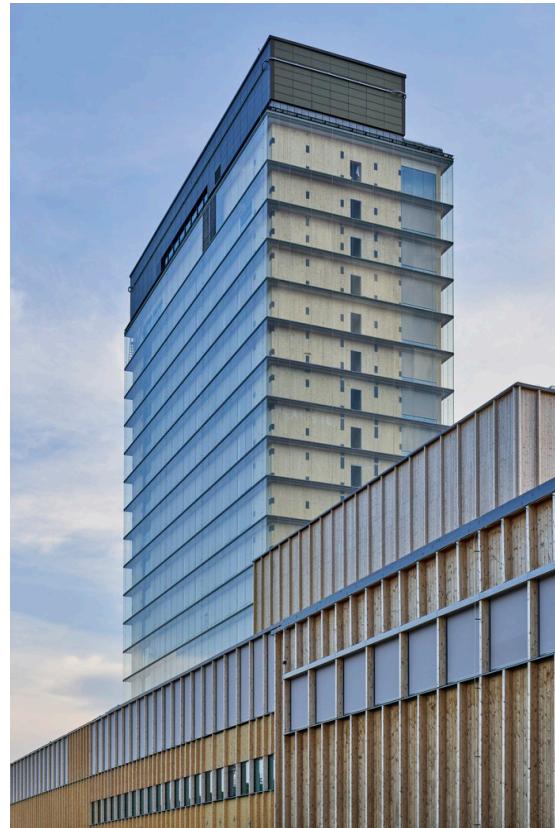
produtividade de três unidades habitacionais por dia. Isso significa que é possível subir um edifício de 18 andares com quatro unidades por andar em pouco mais de três semanas, seguindo esse método e módulo.

O modelo foi inteiramente concebido em BIM para garantir controle total dos materiais utilizados em obra, além de realizar simulações computacionais de conforto ambiental para atender requisitos de desempenho e bem-estar dos usuários ao utilizar o produto. Nesse sentido, o projeto atende requisitos mínimos previstos na NBR 15575, e é certificável pelo Selo Azul da Caixa.

A estrutura é feita por placas pré-fabricadas de concreto que conferem baixa manutenção, baixo desperdício, alta resistência e durabilidade ao conjunto. Algumas dessas paredes são de gesso acartonado e não possuem, inclusive, função estrutural, o que permite a reversibilidade e adequação dos espaços e adequação da planta conforme uso familiar.

Quando comparada ao sistema convencional, a construção gerou 90% menos resíduos (Equipe Inovatech Engenharia, 2019), e se mostrou uma solução ideal para produção em larga escala, podendo ser uma alternativa viável à construção de moradia popular.

5.5 Sara Kulturhus Center / White Arkitekter



Sara Kulturhus, localizado na Suécia. Fonte: Archdaily

O projeto Sara Kulturhus foi desenvolvido pelo escritório White Arkitekter, internacionalmente conhecido por sua dedicação pela difusão de uma arquitetura mais sustentável baseada no uso de materiais renováveis.

O edifício conta com 20 pavimentos, 80 metros de altura, e abriga um centro cultural provido de teatro, museu, biblioteca, galeria de arte, hotel, entre outros atributos.

Para garantir o caráter sustentável do conjunto, o material empregado teve principal influência. Uma vez construído quase que em sua totalidade em madeira industrializada, o impacto ambiental de uma obra dessa magnitude foi reduzido expressivamente, seja pelo prazo reduzido da construção, seja pela redução drástica de perdas e desperdícios em obra.

Para a construção do hotel, por exemplo, todos os módulos foram pré-fabricados em CLT e transportados já prontos para a obra, onde somente foram encaixados uns aos outros e ao “core” de circulação, este também construído em Madeira Lamelada Cruzada. A imagem ao lado ilustra esse processo.

Além disso, outro fator que chama atenção no projeto é a fachada em vidro, que deixa evidente e visível a estrutura em madeira, porém sem que a mesma fique exposta



Posicionamento e fixação dos módulos do hotel entre Core de circulação desenvolvido em CLT. Fonte: White arkitekter website

às intempéries. Dessa forma, atribui-se uma identidade bastante única ao edifício, que utiliza-se do método construtivo para moldar a estética externa e interna do empreendimento.



CLT exposto dispensando revestimento das paredes internas. Fonte: White arkitekter website



Fachada em vidro evidenciando a estrutura em madeira engenheirada.
Fonte: White arkitekter website

6. Estudo dos métodos construtivos

Neste capítulo será discutida a madeira industrializada como material de construção, evidenciando as vantagens e desvantagens do seu emprego na obra e ao longo da vida útil da edificação.

Em seguida serão apresentados estudos acerca de dois métodos construtivos industrializados – CLT (Madeira Lamelada Cruzada) e Wood Frame, como alternativa à construção tradicional em concreto e alvenaria. A ideia é identificar as vantagens de cada um dos sistemas para justificar a escolha do material que melhor se adequa à proposta do projeto, além de destinar as etapas construtivas de cada um deles.

De maneira geral, ambos têm a vantagem de garantir uma montagem rápida, por serem pré-fabricados, sendo necessária somente a montagem dos módulos *in loco*. São sistemas industrializados, com padronização de medidas, leves e que garantem uma construção seca com pouca geração de resíduos.

Para introduzir esses estudos, primeiramente será feita uma discussão acerca do uso da madeira na construção civil no Brasil, buscando demonstrar seu potencial como método construtivo de qualidade e baixo impacto ambiental.

6.1 A madeira industrializada como material de construção

O uso da madeira na construção não é nenhuma novidade. Desde os primórdios da humanidade o material já era utilizado para a construção de abrigos, passando por técnicas milenares de encaixe, extremamente empregados na construção japonesa, por exemplo, chegando até as técnicas de fabricação e industrialização de peças de madeira para emprego em métodos construtivos como CLT e Wood Frame, atualmente.

O Wood Frame, inclusive, pode parecer uma técnica relativamente nova no contexto brasileiro, mas seu uso é extremamente popularizado em países como os Estados Unidos, em que mais de 90% das residências são realizadas com o emprego desse método construtivo.

Felizmente, o debate em torno do uso da madeira vem crescendo no setor da construção civil, em especial devido a sua capacidade de absorção de CO₂ em um contexto de maiores preocupações com o caráter sustentável dos empreendimentos, aliado ao desenvolvimento de novas tecnologias. No Brasil, apesar de seguir essa mesma tendência, o emprego de técnicas que utilizam madeira como estrutura principal ainda é pouco expressivo.

Esse quadro é bastante incoerente, visto que o Brasil possui um imenso potencial madeireiro e área para extração de madeira de florestas plantadas. Por muitos anos a madeira, no Brasil, foi associada a uma construção provisória ou de baixa qualidade, visto que associa-se o concreto e a alvenaria a materiais mais nobres e de maior confiabilidade. (SHIGUE, 2018)

Entretanto, com a criação do SiNAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas) em 2007, vinculado ao PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat), estimulou-se a implementação de métodos e materiais inovadores no setor da construção civil. Nesse contexto, foram publicadas diretrizes SINAT e DATEcs tendo a madeira como principal foco de estudo e análise. Com a normatização desses sistemas, a construção em madeira – em especial utilizando o Light Wood Framing como método construtivo – passou a ser passível de financiamento, o que tornou seu uso mais competitivo no mercado, e atraiu uma maior quantidade de empresas a investir nesse tipo de construção.

Assim, nos últimos anos vê-se um crescimento expressivo nas discussões em torno da madeira, e experimentos e estudos que atestam que as novas tecnologias em torno da madeira são seguras e passíveis de serem utilizadas de forma massiva pelo mercado da construção civil. Além disso, é

importante considerar que a madeira destinada a esse fim, quando industrializada, provém de florestas plantadas, e não se impõe como um risco à extração ilegal de madeira, uma vez que é um material certificado e controlado.

No que diz respeito às vantagens em utilizar a madeira como principal material de construção pode-se listar:

- É um material renovável, proveniente de um organismo vivo e pode ser reproduzido e plantado indefinidamente;
- A madeira realiza sequestro de carbono, pois ao realizar a fotossíntese, as árvores absorvem carbono da atmosfera. Uma vez que a madeira, após extraída, será utilizada para outra finalidade que não combustão, o carbono absorvido permanece estocado em sua estrutura como lignina e celulose. Em termos gerais, estima-se que um m³ de madeira retém o equivalente à emissão de 1,1 tonelada de CO₂ ao longo de toda sua vida útil (FRÜHWALD, 2003, apud SHIGUE, 2018). No caso, o carbono sequestrado somente retornará à atmosfera caso essa estrutura seja queimada, ou sofra decomposição.
- É passível a processos de industrialização e alto controle de qualidade;

- Possui boas propriedades no que diz respeito à durabilidade e qualidade, podendo receber tratamento contra deterioração e ação do fogo, tornando a vida útil da edificação bastante elevada;
 - O uso da madeira certificada e controlada pode incentivar a preservação de matas nativas, e permitir o aumento de áreas florestais plantadas de exploração sustentável;
 - A madeira, dependendo de sua aplicação, pode apresentar ótimo comportamento do ponto de vista de desempenho térmico, tornando as construções mais confortáveis e passivas, com menor necessidade de climatização.
 - Quando comparada a outros materiais, estruturas e fechamentos em madeira revelam menor impacto ambiental em seu processo de fabricação. Um estudo realizado por Börgesson e Gustavsson (2000) revelou que uma edificação em concreto apresenta entre 60% e 80% mais energia consumida do que o mesmo edifício realizado em madeira. Em adição, o estudo de Sathre e Gustavsson, em 2008, revelou que a manufatura dos componentes construtivos em madeira consome 28% menos energia e emite 45% menos carbono do que seus equivalentes em concreto. (SHIGUE, 2018).
 - A madeira engenheirada, quando utilizada corretamente, permite a pré-fabricação de componentes com máxima precisão, e garante maior eficiência na montagem da obra, aliada a economia de tempo e baixo desperdício de material.
 - A madeira promove a construção de ambientes mais confortáveis, e contribui para a redução dos níveis de estresse, pressão arterial e aumento da qualidade do sono.
- Apesar das inúmeras qualidades, ainda há diversos entraves que acabam desestimulando o uso da madeira na construção civil, que vão desde a falta de confiabilidade no material, em especial no que diz respeito a sua resistência ao fogo, passando pela falta de Normas atestando as qualidades dos métodos, até o preconceito e associação da madeira com um material pouco nobre e resistente.
- Entretanto, o desenvolvimento de tecnologias associadas a esse material tende a crescer gradativamente, tornando-as mais aceitas pelos mercados a partir do momento em que esses paradigmas forem quebrados.
- Pensando nessas questões, o seguinte estudo busca analisar dois métodos construtivos em madeira: o Cross Laminated Timber (CLT) e o Light Wood Framing, de forma a destriñchar seus componentes e principais características.

6.2 CLT (Madeira Lamelada Cruzada)

6.2.1 Componentes e Etapas de Construção

O CLT consiste em um material de construção pré-fabricado, e por isso, é fundamental que o desenvolvimento dos projetos técnicos seja pensado a partir da modulação da tecnologia, ao invés de adequar o projeto ao material.

Ao contrário de outros métodos pré-fabricados como o Light Steel Frame, a matéria-prima do CLT é a madeira proveniente de florestas plantadas, e não depende da queima de combustíveis para sua obtenção. Após sua extração, pode ou não receber um tratamento específico para prevenir ataques de fungos e insetos. Comumente, utiliza-se a madeira pinus como matéria-prima, proveniente de florestas plantadas no Sul do país, onde o clima é menos quente.

Para garantir a durabilidade da madeira, pode-se utilizar três tipos de preservativos químicos: oleosos (derivados de alcatrão e hulha), óleo-solúveis (com misturas de agentes fungicidas e inseticidas, à base de compostos de natureza orgânica) e hidrossolúveis (misturas com sais metálicos dissolvidos em água). (ABNT NBR 16143, 2013). Para a aderência desses preservativos, a madeira é submetida a um processo de impregnação profunda sob pressão ou aplicação

superficial na madeira, método sem pressão, com uso de duplo vácuo ou difusão.

De forma geral, o sistema consiste em painéis pré-fabricados constituídos por números ímpares de camadas de madeira maciça coladas no sentido ortogonal (LOTUFFO, 2018). Podem ser empregados em lajes ou vedações podendo adquirir ou não função estrutural. Esse processo é feito inteiramente na indústria, assim como o corte e montagem dos painéis, com auxílio de fabricação digital.



Exemplo de painel CLT produzido em fábrica. Fonte: Crosslam, 2021

Resumidamente, o processo de fabricação dos painéis se inicia com a triagem das lamelas e sua respectiva emenda através de ligações denominadas “*finger joints*”. Em seguida é feita a montagem e prensagem dos painéis, e finaliza-se com o corte e usinagem do painel prensado.

É importante ressaltar que o plano de corte dos painéis é realizado com base no projeto arquitetônico, o qual deve estar totalmente compatibilizado para evitar erros e retrabalhos em obra.



Colagem das lamelas para produção de painéis CLT. Fonte: Crosslam, 2021

O processo de fabricação se dá em uma série de etapas. Primeiramente, a madeira serrada chega à fábrica onde é armazenada conforme demanda. Caso a madeira recebida não tenha sido tratada com preservativos, deve receber

aplicação superficial de inseticidas para evitar o ataque de insetos xilófagos.

É importante ressaltar que um painel de CLT é fabricado na maior dimensão possível para dar origem aos demais elementos construtivos, através da prensagem das lamelas de pinus. É como se de um mesmo painel fossem “destacadas” várias paredes ou lajes, por exemplo. Após a modelagem de todos os elementos da edificação, os mesmos são distribuídos nos painéis, de forma a economizar ao máximo o material utilizado, através do chamado “Plano de Corte”. Nesse momento os elementos são numerados para o posterior conhecimento em obras de sua localização exata.

Com o projeto já dimensionado, é realizada a emenda das lamelas para a posterior produção dos painéis. Essa ligação é feita através de finger-joints, a fim de garantir o comprimento necessário do conjunto, e as mesmas são aplinadas para permitir a planicidade da superfície. De forma geral, as lamelas tem tamanho padronizado de 14 cm de largura por espessuras de 19mm, 20mm, 30mm, 35mm ou 40mm, e comprimento podendo atingir até 12m para camadas longitudinais ou 3m para camadas transversais (traduzida no pé-direito da edificação). Quanto à espessura dos painéis, a mesma pode variar entre 57mm (3 camadas de 19mm) e 250mm (sete camadas, sendo 4 de 40mm e 3 de 30mm).

As lamelas são então dispostas em uma prensa a vácuo, todas orientadas na mesma direção, até que se obtenha o comprimento desejado para a fabricação do painel. Em seguida, aplica-se um adesivo estrutural sobre a superfície, e é posicionada uma nova camada de lamelas, desta vez orientada no sentido ortogonal às anteriores. Cabe ressaltar que o adesivo estrutural consiste em um monocomponente de poliuretano, isento de solventes ou formaldeídos, denominado Purbond (Henkel AG) (LOTUFFO, 2018).

Posteriormente é feito o corte e a usinagem dos painéis, utilizando uma máquina router CNC (Comando Numérico Computadorizado) que segue o corte milimétrico especificado em projeto (desenvolvido em CAD ou BIM), e os elementos são lixados e limpos para garantir melhor acabamento. A usinagem tem a finalidade de prever os pontos de passagem de instalações elétricas, hidráulicas e aberturas.



Usinagem da vedação para passagem de conduites elétricos.
Fonte: Crosslam, 2021

No que diz respeito à montagem dos módulos, é possível realizar a montagem em fábrica e transportar o elemento já pronto com eletrodutos e revestimentos instalados para a obra, ou realizar a montagem *in loco*. É interessante ressaltar que a estrutura da edificação não precisa, necessariamente, ser inteiramente de CLT, visto que esse sistema pode ser mesclado com outras soluções (estrutura híbrida) como estrutura metálica, wood-frame ou de concreto convencional, por exemplo.

O projeto também prevê um Plano de Montagem, que define a ordem em que os elementos serão instalados, e o tempo estimado. Além disso, ele define a quantidade e espaçamento dos parafusos e conectores utilizados nas ligações entre elementos. Em seguida, com auxílio de um caminhão munck, as peças são posicionadas e fixadas entre si, por meio de parafusos auto perfurantes ou conectores metálicos. Nas juntas entre dois elementos é aplicada uma linha de selante de silicone resistente às intempéries, independentemente de sua orientação.

Para o caso da junção de peças de CLT com fundações em concreto, é necessária a instalação de uma peça (que pode ser um perfil metálico revestido de material emborrachado) que evite o contato entre os dois elementos, de modo a isolar a madeira da umidade proveniente do concreto.



Conexão entre duas paredes de CLT alinhadas. Fonte: Crosslam, 2021

As instalações podem ser feitas de maneira aparente, ou embutida nos elementos de CLT. Nesse último caso, os elementos já vêm de fábrica com as passagens recortadas para a posterior instalação da fiação em obra. Entretanto, no caso de instalações hidráulicas (áreas molhadas), são necessários shafts estruturados com perfis metálicos de

drywall e placas de gesso acartonado resistentes à umidade, que são posteriormente revestidos com material cerâmico ou similar. Assim, tem-se que as tubulações são alocadas entre o elemento de CLT (que recebe camada de impermeabilização) e as placas de gesso.



Conexão de elementos em CLT na fundação de concreto por meio de perfis e chapas metálicos.

Por fim, é aplicada uma camada de proteção (stain) e são instalados os revestimentos, que podem ser ou não aderidos às superfícies. Há uma grande variedade de revestimentos que podem ser utilizados para tal finalidade, como ripas de madeira e chapas de gesso acartonado. No caso de revestimentos não aderidos, cria-se um sistema de fachada

ventilada devido ao descolamento do revestimento do painel CLT, permitindo a convecção do ar.

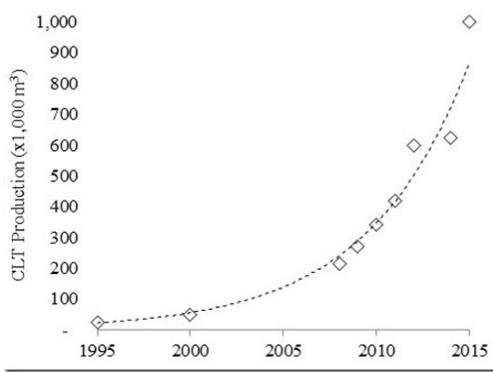
Um dos fatores que garante a versatilidade do CLT consiste em seu uso potencial em edifícios altos. Sabe-se que se pode utilizar esse método construtivo para edificações até 30 andares sem preocupações estruturais, desde que realizado um estudo estrutural e de cargas detalhado.

O Brasil é um dos principais produtores internacionais de papel, celulose e painéis de madeira, o que garante um expressivo potencial para a produção dessa tecnologia no país. Em 2016, o Brasil apresentou a maior produtividade do mundo em produção de madeira, assim como o menor tempo de rotação (tempo entre plantio e corte da madeira) em escala global (LOTUFFO, 2018). Isso ocorre devido às condições climáticas extremamente favoráveis da região, com riqueza de umidade, oferta de iluminação natural e altas temperaturas.

Normalmente, a produção de madeira de florestas plantadas é subutilizada na construção civil, uma vez que tem a tendência de funcionar como fôrmas para recebimento de concreto. Esse cenário é bastante desfavorável do ponto de vista de sustentabilidade, visto que a madeira é uma das únicas matérias-primas renováveis utilizadas na construção civil. Do ponto de vista de impacto ambiental, o uso da

madeira garante um impacto reduzido quando comparada à construção tradicional ou uso de materiais agressivos ao meio ambiente em seu processo de fabricação, conforme exposto no capítulo anterior.

De maneira geral, apesar de amplamente utilizado na Europa, o CLT é uma tecnologia bastante recente no Brasil. Sabe-se que a produção de CLT no país teve início em 2012, com a construção de uma residência na cidade de Tiradentes, MG. (LOTUFFO, 2018). Nos últimos 10 anos, foram construídas pouco mais de 31 edificações, o que atribui um caráter ainda muito tímido do uso desse sistema na construção civil do país, mas que vem crescendo de maneira exponencial. O gráfico abaixo traduz o crescimento expressivo do uso do material no mundo, de 1995 até 2015.



Crescimento do CLT em m^3 entre 1995-2015. Fonte: Plackner, 2014

Até o momento de elaboração deste trabalho, o único fabricante do sistema no Brasil é a CROSSLAM, cuja fábrica se localizada em Suzano, Estado de São Paulo.

6.2.2 Manutenção e Durabilidade

Como os painéis podem possuir função estrutural, a exposição da madeira ao tempo pode gerar desgaste – exposição ao sol, umidade, entre outros. Por um lado, é possível agregar revestimentos externos como fibrocimento, tijolos e pedra, mas, se for do interesse do projetista deixar a madeira exposta, podem ser aplicados acabamentos específicos que mantém a saúde e desempenho da peça.

Quando aplicada corretamente a camada de proteção do tipo stain, a matéria-prima pode atingir vida útil de 30 anos. O stain consiste em um acabamento superficial que penetra na face da madeira, sem que ocorra a formação de película, e tem em sua composição resina hidro-repelente e fungicida, auxiliando na prevenção de ataques de microrganismos xilófagos.

Segundo Jorge Calderón, Designer Industrial da Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso e Gerente da CRULAMM:

Óleos vegetais e tintas minerais podem atingir esses objetivos, aplicando-se em uma única aplicação a cada 5 anos, garantindo até 25 anos de proteção sem desprendimento ou descoloração (CALDERÓN, 2020).

Uma das principais vantagens desse sistema é a rapidez de execução e montagem, que chega a ser questão de dias. Quanto menos elementos e ligações, mais rápido será o processo. De forma similar, quanto mais funcionários e melhores condições de içamento de peças, mais rápida será a montagem.

Enquanto a fase projetual pode demorar um pouco mais, a montagem é de uma velocidade incrível: no caso de uma casa de 200 m², a montagem pode levar 5 dias e ocupar uma força de trabalho mínima (cerca de 4 pessoas instruídas)”. (CALDERÓN, 2020).

Nesse sentido, obtém-se uma obra extremamente otimizada, em que o recebimento das peças e sua posterior montagem se dá de forma rápida e ágil, sem que sejam formados estoques ou conjuntos de materiais subutilizados.

Em adição, é importante ressaltar que o sistema é totalmente passível de ser desmontado, realocado e reconstruído. Além disso, ele dá liberdade ao usuário de modificar o layout interno ao identificar painéis não estruturais. É muito mais simples mover um painel do que uma parede de alvenaria, o que torna o espaço mais adaptável às necessidades do morador. Além disso, em caso de desmontagem/demolição da casa, todos os materiais podem ser reciclados, o que contribui para a redução do impacto ambiental do método construtivo.

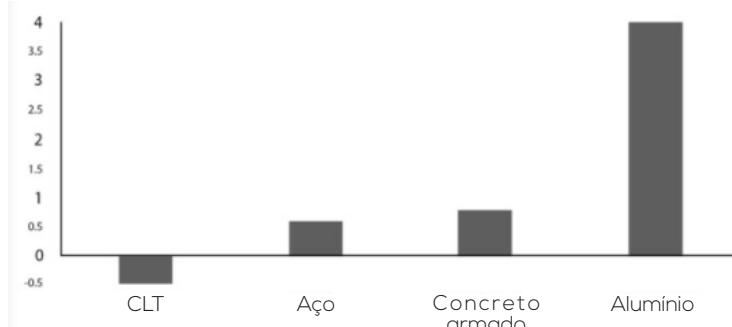
Por fim, a matéria-prima do CLT ainda se mostrou muito resistente do ponto de vista de impacto e carga aplicada, o que garante boa estabilidade ao conjunto.

6.2.3 Impacto Ambiental

A madeira é um dos materiais de construção com menor impacto ambiental disponível no mercado. A título de comparação, um m³ de concreto emite 1 ton de CO₂ para a atmosfera (FRANCO, 2020). Em contrapartida, quando utiliza-se o CLT, há uma grande quantidade de carbono sequestrado no material, logo, apesar de ser usada uma quantidade considerável de energia no processo de fabricação e extração, a emissão não chega nem à quantidade de carbono que há sequestrada naquele painel de madeira.

O sequestro de carbono se dá porque, durante seu crescimento, a madeira absorve e fixa o gás carbônico por meio da fotossíntese, e esse CO₂ sequestrado só é liberado novamente à atmosfera ao final do ciclo de vida da árvore, seja por decomposição ou combustão (LOTUFFO, 2018). Nesse sentido, utilizar a madeira na construção civil é uma forma de manter esse gás carbônico sequestrado, sem que volte a ser liberado para atmosfera. Assim, a madeira atua como um agente eficiente no combate ao efeito estufa.

Além disso, o cultivo de florestas plantadas contribui para a preservação de florestas nativas e criação de corredores ecológicos entre áreas plantadas e florestas naturais. Outros pontos positivos são a regulação do fluxo hídrico, manutenção da polinização e conservação do solo.



Comparação de soluções construtivas em termos de consumo de energia (GJ/m²). Archdaily, 2020.

6.2.4 Conforto Ambiental

Quando comparada ao sistema convencional de vedação, o sistema de CLT apresenta superioridade no quesito de desempenho térmico, uma vez que apresenta valores de transmitância térmica menores que os de alvenaria tradicional. Isso significa que o calor tem “maior dificuldade” de atravessar a superfície, o que torna o ambiente interno com temperaturas mais amenas no verão, e mais quentes no inverno.

É interessante a instalação de algum tipo de isolante na estrutura para potencializar o desempenho, como a lã de vidro por exemplo. Entretanto, deve-se tomar cuidado para o uso de isolantes não causar aquecimento excessivo da residência nos períodos de verão.

Segundo um estudo de caso realizado por Diego Alba, pela UNESP, o sistema de CLT apresenta maior eficiência energética, até mesmo quando comparado com um sistema de ótimo isolamento térmico que é o Wood Frame. Isso porque, de maneira geral, o CLT possui mais “massa”, que dificulta a passagem do calor (ALBA, 2016).

Além disso, a madeira ainda possui a vantagem de permitir a absorção e liberação de umidade nos ambientes internos.

Por fim, por ser composto de painéis de madeira maciça, o CLT garante bom desempenho acústico, e reduz consideravelmente a transmissão de ruídos entre ambientes. De forma geral, uma parede de 8 cm de espessura já é suficiente para garantir o isolamento acústico básico necessário. Entretanto, para casos em que um maior isolamento é requerido, podem ser pensadas paredes mais grossas, ou um isolamento acústico adicional.

Esse isolamento é especialmente interessante nas lajes entre pavimentos, visando reduzir a transferência de ruído entre unidades adjacentes.

6.2.5 Custos

Um estudo realizado no Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira em Florianópolis (2017) realizou uma estimativa de custos e estudo de viabilidade desse método construtivo. Para a composição do preço por m² do CLT foi construído um painel com dimensões 100cmx300cm com 3 camadas de lamelas de Pinus, e a mesma metragem (m²) do painel em alvenaria de vedação. As conclusões estão dispostas abaixo:

- O custo total de mão de obra para a produção de estruturas em alvenaria convencional é em média R\$21,00 mais caro que o de CLT. Isso significa que os custos de mão

de obra com CLT representam 20% dos custos de MDO no sistema convencional;

- O custo total de materiais e equipamentos para a produção de alvenaria é em média R\$20,00 mais barato que o de CLT.
- O CLT apresentou redução de aproximadamente R\$25,00 nos custos de leis sociais e R\$10,00 a menos com despesas indiretas. Isso significa que os custos com leis sociais com o método CLT representam 63% dos custos totais com o método convencional.
- O custo global revelou que um sistema de alvenaria de vedação é R\$30,96 mais caro que o de CLT. Isso se dá devido ao alto custo de mão de obra e leis sociais que acompanham o método de alvenaria de vedação, que leva mais tempo para ser executada, e requer mais trabalhadores.
- Apesar de maior custo de materiais, o CLT compensa por sua rápida execução e redução de custos com mão de obra. (AMARAL, ROSA, TEREZO, 2017)

Assim, chega-se a um preço global de R\$73,76/m² para o CLT, a partir de um processo de construção artesanal. No entanto, essa mesma metragem, feita em indústria e larga escala, teria um valor consideravelmente diferente.

Por sua vez, a alvenaria de vedação com tijolos cerâmicos custa cerca de 37% a mais que o painel CLT, quando considerados os custos associados. Isso significa que o CLT tem bom potencial para produção em larga escala e viabilidade econômica a longo prazo.

Entretanto, cabe ressaltar que esse estudo foi realizado a partir de um método artesanal, sem controle fabril e aplicação de agentes de conservação e proteção da madeira que normalmente são utilizados na indústria.

Todos esses fatores acabam tornando o preço final do produto mais elevado, pois envolvem métodos complexos, e maquinários específicos – como a CNC e prensas – que consistem em tecnologias caras e de grande complexidade. É importante ressaltar, ainda, que todos os processos são essenciais para a garantia de um produto de qualidade, então, nesse aspecto, o alto preço é justificável.

Hoje em dia, em parte por ser uma tecnologia recente e pouco explorada no Brasil, seu custo associado ainda costuma ser bastante elevado, principalmente em casos de projetos em que o CLT não é explorado de maneira otimizada para melhor aproveitamento do material.

Entretanto, com o crescimento exponencial no uso desse sistema, a tendência é que o preço se torne mais

competitivo nos próximos anos. Além disso, quando pensado para larga escala, a partir da máxima repetição de painéis, o custo de cada elemento passa a se tornar mais competitivo, o que pode garantir viabilidade financeira para o projeto.

6.3 Wood Frame

6.3.1 Componentes e Etapas de Construção

Assim como o CLT, o sistema Wood Frame também consiste em um método de construção pré-fabricado, que utiliza a madeira de reflorestamento como base. Existem basicamente três formas de montar uma construção em Wood Frame: realizar a montagem dos painéis exclusivamente no canteiro de obras; desenvolver quadros estruturais em madeira na fábrica, e posteriormente finalizar as paredes na própria obra, ou, por fim, realizar a industrialização integral dos componentes e levá-los totalmente prontos para a obra, onde somente ocorrerá o posicionamento e montagem dos módulos. Para fins deste projeto, somente o último caso será discutido.

Trata-se de um sistema otimizado e barato quando realizado em larga escala, além de possuir um baixo

impacto ambiental associado, uma vez que utiliza madeira como matéria-prima e permite diminuição significativa de desperdícios, visto que o índice de perdas no sistema Wood Frame é inferior a 10% (CARDOSO, 2015).

No Brasil, uma das principais empresas que executa Wood Framing de forma totalmente industrializada é a TecVerde, com sede localizada em Araucária, PR, que desenvolveu um sistema que já está de acordo com a Norma de Desempenho NBR 15.575 e, portanto, pode ser utilizado sem restrições para habitação social. Em função disso, todas as espessuras e especificações construtivas desse material estão de acordo com o DATec 020-D, disponível para consulta no site da empresa.

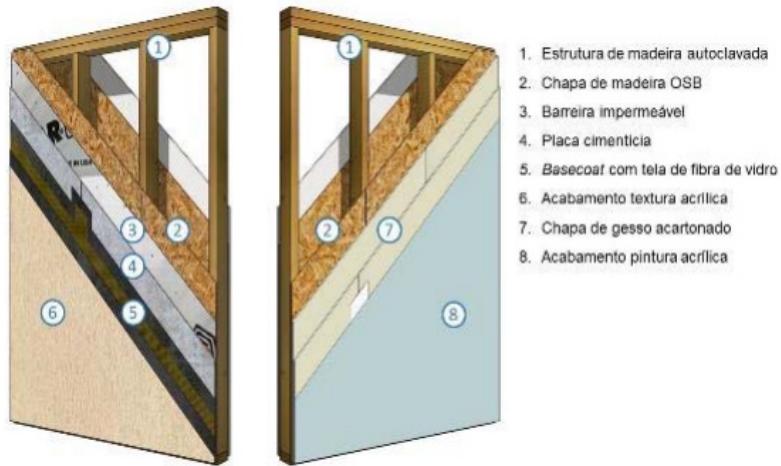
O sistema consiste, basicamente, em quadros estruturais formados por peças autoclaves de madeira serrada, que no Brasil, são do tipo Pinus provenientes de florestas plantadas e certificadas (DATec 020-D, 2021). A estrutura em si é composta por elementos verticais (denominados montantes), e elementos horizontais (soleiras inferiores e superiores), com espaçamento máximo de 60 cm. Esse mesmo material é utilizado nas soleiras, vergas e contravergas do sistema. Entre os quadros estruturais normalmente é adicionado um material para isolamento termo-acústico, como lã de vidro.

O fechamento dos painéis geralmente é feito por chapas de OSB (Oriented Strand Board) em ambas as faces, que recebe tratamento inseticida. O material é composto de tiras de madeira de reflorestamento e passa por um processo de fabricação com três camadas perpendiculares de tiras unidas com resina e prensadas sob alta temperatura, o que garante boa resistência mecânica ao conjunto, e faz com que o material adquira função estrutural associada de contraventar o conjunto. De forma geral, a maior parte das conexões é feita com auxílio de pregos, que devem seguir a especificação e o tipo de pregação para cada caso específico.

É importante ressaltar que deve ser instalada uma membrana hidrófuga com função de impermeabilizar o painel, mas ao mesmo tempo garantir permeabilidade ao vapor de água, a fim de permitir a eliminação de umidade do ambiente interno ao externo. Geralmente consiste em mantas à base de fibra de polietileno de alta densidade ou polipropileno.

No caso das paredes externas, é adicionado um acabamento externo, que pode ser de placa cimentícia, e nas internas, são incorporadas duas camadas de gesso para drywall, o que totaliza um sistema de aproximadamente 20 cm de espessura.

Para as paredes internas, por sua vez, o quadro estrutural segue a mesma premissa, assim como o fechamento em OSB. Entretanto, o acabamento em ambas as faces passa a ser em camadas de gesso para drywall, totalizando, aproximadamente 15,8cm de espessura. Em caso de encontro área seca x área molhada, as faces das paredes “molhadas” (ambientes como banheiros e cozinhas), recebem chapa de gesso para drywall e uma placa cerâmica adicional, de forma a garantir a estanqueidade do conjunto.



Exemplo de painel de Wood Frame produzido em fábrica. Fonte: DATec
020-D

Quanto às instalações hidráulicas e elétricas, as mesmas são embutidas nas paredes, o que dispensa a necessidade de quebra, como é feito no caso da construção tradicional em concreto armado, perfil que garante maior limpeza e eficiência à obra e facilita a manutenção.

Algo que torna o Wood Frame atrativo para a população é o fato de que pode receber qualquer tipo de revestimento nas paredes externas, o que torna seu aspecto geral muito próximo, esteticamente, de uma casa de alvenaria tradicional.

As opções são inúmeras, variando desde placas cimentícias, até o chamado Siding vinílico, muito utilizado em moradias nos Estados Unidos, de fácil aplicação e alta durabilidade.

No que diz respeito à execução das etapas, os painéis de Wood Frame devem chegar à obra já em uma fase de projeto em que a terraplenagem esteja finalizada, assim como a concretagem das fundações. Por ser uma construção mais leve, geralmente utiliza-se o Radier como opção de fundação. Viana descreve esse perfil da seguinte forma:

A diferença do peso próprio da estrutura pode ser verificada tanto nas paredes que é de $389,5\text{kg/m}^3$ para o sistema wood

frame (...) e de cerca de 410 kg/m^3 para as paredes em alvenaria de vedação quanto no peso da estrutura de concreto armado, que é de cerca de 2500 kg/m^3 e não está presente em um edifício em wood frame. (VIANA, 2020).

A partir desse momento existem duas opções:

1. “Construir” as paredes de Wood Frame *in loco*, sendo somente os perfis estruturais trazidos prontos de fábrica. Nessa opção, o preenchimento com material termo-acústico, o fechamento com OSB e os acabamentos são todos instalados na própria obra, após fixação da estrutura.
2. Trazer os painéis totalmente acabados da fábrica e somente montá-los na obra, já com fechamentos e acabamentos instalados.

Para fins deste trabalho somente nos aprofundaremos na segunda opção, considerando processo totalmente industrializado, de forma a otimizar a obra e reduzir custos, tempo de execução e desperdícios.

Basicamente, o DATec 020-D descreve o processo de montagem da obra seguindo a lógica disposta nos próximos parágrafos.

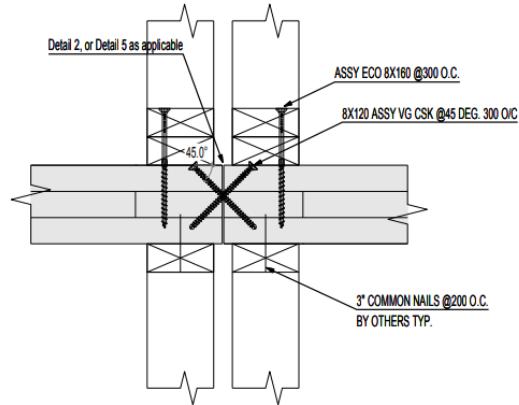
De forma similar ao CLT, todos os painéis já vêm de fábrica numerados e devem seguir um plano de montagem específico em obra. Após a montagem, pode ser aplicada mais uma camada de gesso nas paredes internas, e o acabamento de preferência nas paredes externas (aplicado sobre placa cimentícia já instalada no painel).

Em um primeiro momento, é realizada a locação das paredes, e a montagem das mesmas. Para tal, os painéis são alinhados e posicionados com auxílio de um guindaste. Em seguida, fixa-se as paredes utilizando cantoneiras metálicas, pregos e chumbadores.

Se o entrepiso da construção seguir o mesmo método construtivo, deve-se alinhar os painéis do entrepiso com as travessas superiores do pavimento inferior. Em seguida, monta-se o forro em chapas de gesso para drywall na face inferior do entrepiso.

Após a montagem de todos os pavimentos, realiza-se a montagem da cobertura, que, pode variar de acordo com cada projeto. Geralmente, a fixação da base da cobertura se dá nas próprias travessas superiores das paredes do pavimento inferior.

Em seguida, são fixadas as esquadrias e realizados arremates internos como tratamentos de juntas, aplicação de revestimentos cerâmicos e impermeabilização de paredes e pisos, por exemplo.



Detalhe de conexão entre laje de CLT e Painel de parede em Wood Frame. Fonte: Structurlam Design Guide



Construção de um edifício utilizando Wood Frame como principal método construtivo. Fonte: Tecverde, 2021

6.3.2 Manutenção e Durabilidade

O sistema apresenta inúmeras vantagens construtivas e pós-ocupacionais. (...) Quando bem projetada e executada, uma estrutura em Wood Frame é rápida e fácil de ser construída, mantida e renovada, durável, ambientalmente sustentável, fácil de esfriada e aquecida, adaptável para qualquer tipo de clima sendo este quente e úmido ou mesmo extremamente frio, e capaz de atender satisfatoriamente todos os requisitos normatizados quanto ao nível de ruídos e segurança ao fogo (CARDOSO, 2015).

Uma vez que a estrutura do Wood Frame consiste em madeira serrada, a mesma está suscetível ao ataque de organismos vivos como insetos e fungos, por exemplo. Nesse sentido, adotam-se medidas preventivas de controle desses agentes, através de um tratamento químico sob pressão nos quadrantes, com aplicação de produtos específicos para eliminação de agentes biológicos.

Em contrapartida, as chapas de OSB não recebem tratamento fungicida, e, portanto, é importante garantir

detalhes de projeto que evitem que a umidade ou agentes agressivos atinjam esse material. São eles: Construção de beirais e pingadeiras para evitar acúmulo de água; barreira impermeável em todas as faces externas da edificação, manta de impermeabilização dos quadros do térreo, para evitar que a água suba por capilaridade, entre outros aspectos.

Em adição, é importante ressaltar que o sistema passa por um processo de tratamento para afastar insetos e fungos, o que garante maior durabilidade ao conjunto. Além disso, é fundamental o tratamento de impermeabilização das faces expostas à umidade para tornar a obra estanque, e assegurar segurança ao edifício ao longo de sua vida útil, assim como o uso de pregos galvanizados (com resistência à corrosão) na junção dos painéis.

6.3.3 Impacto Ambiental

Assim como o CLT, o sistema Wood Frame tem a madeira proveniente de florestas plantadas como base, que permite o sequestro de carbono da atmosfera, e consolida-se como uma matéria-prima renovável de baixo impacto ambiental.

Além disso, a partir do momento que opta-se por um sistema construtivo totalmente industrializado, todo o processo de construção da obra é otimizado. Em linhas gerais, uma construção realizada em Wood Frame pode

garantir a redução de até 85% dos resíduos gerados em obra quando comparado ao método tradicional de construção. Além disso, uma vez que se trata se uma construção seca, o sistema Wood Frame pode trazer economia de até 90% dos recursos hídricos (TECVERDE, 2021), visto que não há necessidade de uso de água durante a montagem, e todos os painéis são fixados com pregos ou parafusos, o que dispensa a necessidade de argamassa de assentamento, por exemplo.

Outro ponto que vale ser considerado é que se trata de uma construção que pode ser totalmente desmontada e reutilizada ou reconstruída para outra finalidade em outra localidade. E, caso não seja interessante realizar esse trâmite, todos os materiais de construção implicados em uma obra de Wood Frame são passíveis de serem reciclados, o que torna o impacto ambiental do método construtivo reduzido, quando comparado ao método tradicional.

6.3.4 Conforto Ambiental

Quando comparado ao sistema convencional de vedação, o sistema Wood Frame apresenta superioridade no quesito de desempenho térmico. Isso porque o sistema garante a instalação de uma camada de isolamento (lã de vidro ou lã de rocha, normalmente) com a finalidade de retardar a passagem de calor entre o ambiente externo e o interno.

Isso significa que o ambiente interno de uma edificação em Wood Frame permanece mais frio que o ambiente externo no verão, e mais aquecido durante o inverno, o que, consequentemente, reduz a necessidade de energia investida no resfriamento ou aquecimento do ambiente.

O sistema desenvolvido pela Tecverde, por exemplo, demonstrou resultados bastante satisfatórios no quesito de desempenho térmico quando comparado a uma estrutura de concreto convencional. Ensaios realizados em 2016, comparando dois apartamentos em condições similares e mesma orientação solar, sendo um construído em Wood Frame e outro em sistema de alvenaria estrutural em bloco de concreto demonstrou:

- Para uma temperatura externa de 40°C, a temperatura interna do apartamento em sistema construtivo de Wood Frame ficou em torno de 23°C, enquanto para aquela em alvenaria em bloco de concreto, a temperatura foi de 27°.
- Para uma temperatura externa de 10°C, a temperatura interna do apartamento em sistema construtivo de Wood Frame ficou em torno de 22°C, enquanto para aquela em alvenaria em bloco de concreto, a temperatura foi de 17°.

6.3.5 Custos

Viana, em 2020, realizou um estudo comparativo de composição de custos utilizando BIM 5D para averiguar a diferença orçamentária entre uma obra em alvenaria e concreto armado e o mesmo edifício de três pavimentos construído em Wood Frame.

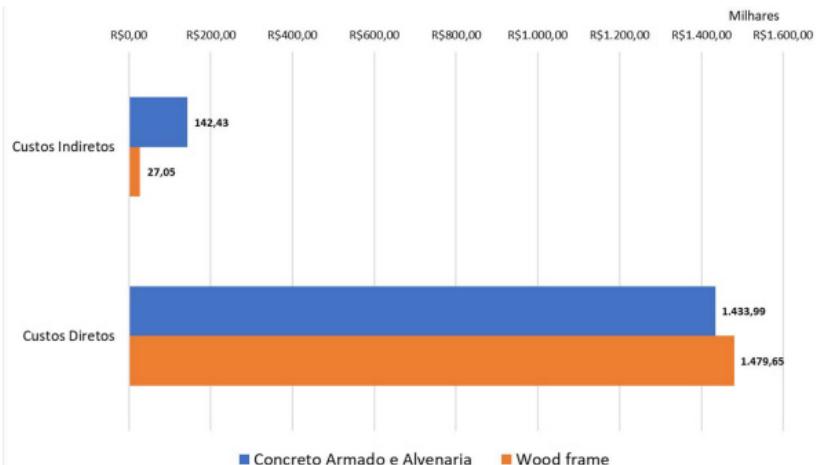
Utilizando Novembro de 2019 como a data-base, e preços extraídos da tabela SINAPI, e cotações de mercado, chegou-se às seguintes conclusões:

- O valor total do orçamento para a construção em concreto armado e alvenaria foi estimado em R\$1.576.423,46, com precisão de 92,4% e margem de erro de 7,6%.
- O valor total do orçamento para a construção em wood frame foi estimado em R\$1.506.697,42, com precisão de 91,8% e margem de erro de 8,2%.
- A construção em wood frame apresentou custo 4,4% menor.
- Os custos com instalação do canteiro são expressivamente menores no caso da construção em Wood Frame, uma vez que se trata de um método construtivo

industrializado. Isso implica em uma redução no prazo da obra, e, consequentemente, reduz a necessidade de instalação de contêineres provisórios, e equipamentos que ocupam muito espaço no canteiro.

- Os custos com fundação são significativamente menores em uma construção de Wood Frame porque, na maior parte das vezes, não requer fundações profundas – como estacas e tubulões – visto que o peso da estrutura é consideravelmente menor.
- Os gastos com impermeabilização são superiores em uma construção de Wood Frame, pois é de suma importância que a madeira não entre em contato com umidade, em especial nas áreas molhadas e superfícies externas.
- Os custos com revestimentos são menores no Wood Frame, pois as chapas cimentícias são diretamente instaladas nos painéis de vedação, e dispensam etapas intermediárias de reboco, assim como material de assentamento e consumo de água.
- Os custos de limpeza da obra também são significativamente menores com o Wood Frame, uma vez que o método garante uma construção seca, com baixa geração de resíduos e entulho.

- A redução no prazo de execução da obra implica em uma redução expressiva dos custos com administração local, exemplificado pela mão de obra indireta, como engenheiros, encarregados e almoxarifado.
- Apesar dos custos diretos da construção em Wood Frame serem maiores, o valor compensa pela redução em custos indiretos, que se deve ao fato do sistema ser industrializado, o que implica em redução do prazo de obra e consequente redução de mão de obra e despesas indiretas como consumo de água e eletricidade pelo canteiro.
- Os resultados podem variar de acordo com as escolhas de projeto e outras variáveis como a inflação e alteração nos preços de algum dos insumos para cada método construtivo. Entretanto, a pesquisa revelou que o Wood Frame pode ser, efetivamente, uma alternativa viável para a substituição da construção tradicional no Brasil.



Comparativo de custos diretos e indiretos de construção para os sistemas construtivos de concreto armado e alvenaria e Wood Frame. Fonte: Viana, 2020.

6.desenvolvimento dos módulos

6. Desenvolvimento dos módulos

Após a análise dos métodos construtivos e referências de projeto, neste capítulo será exposto o desenvolvimento dos módulos base para o exercício de projeto, assim como detalhes construtivos de conexões e revestimento dos mesmos.

Inicialmente, a ideia era estabelecer somente 4 módulos – um painel de parede em CLT, um painel de laje em CLT, um tipo de porta e um tipo de esquadria. Entretanto, ao longo do desenvolvimento do projeto, viu-se a necessidade de tornar esses elementos mais flexíveis para permitir uma maior variedade de aplicações. Além disso, o alto custo do CLT seria um fator limitante para o tamanho das unidades, perfil que incentivou o uso do wood-frame em uma quantidade maior de painéis do que o originalmente previsto.

Nesse sentido, estabeleceu-se uma série de diretrizes que passaram a nortear o projeto, sempre priorizando a melhor solução de aplicação do método construtivo para garantir a racionalização da fabricação e rapidez da construção, visando a redução do custo viabilizado pela larga escala e padronização.

A criação dos módulos, seguindo essa lógica, partiu de

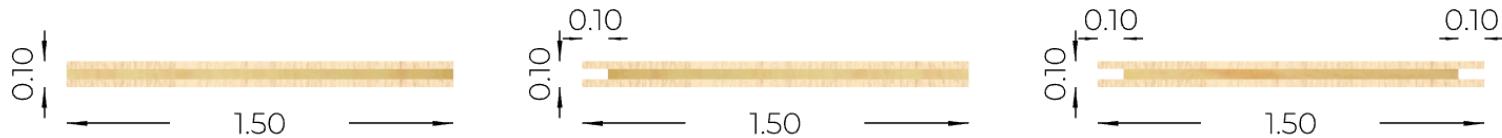
uma modulação em grid de 3 por 3 metros, medida essa considerada em função da dimensão máxima do painel de CLT que pode ser fabricado, que é de 12mx3m. Assim, foi estabelecido como princípio que todas as paredes estruturais e lajes seguiriam essa modulação, criando peças idênticas, de rápida fabricação, que poderiam ser arranjadas de diversas formas para garantir a flexibilidade do projeto.

Assim, através de diversos estudos de modulação, chegou-se a definição de 1 módulo base de parede de CLT, 2 módulos de esquadria associada a Wood Frame, 1 módulo de porta associada a Wood Frame, 2 tipos de painel de wood frame, e 2 tipos de elementos conectores.

Todos os módulos de parede contam com 2,80m de altura, que define o pé-direito das habitações. O painel de CLT que conforma as paredes consiste em um painel de 10 cm de espessura, composto por 3 camadas de lamelas distribuídas perpendicularmente, de 3, 4, e 3 cm de espessura, respectivamente.

Para garantir a conexão entre os painéis, optou-se por realizar cortes nas lamelas internas, de forma a garantir o espaçamento necessário para a inserção de um conector de paredes, posteriormente parafusado com parafusos do tipo HBS, produzido com aço de alta resistência e elevada ductilidade, tornando a estrutura estável e “amarrada”.

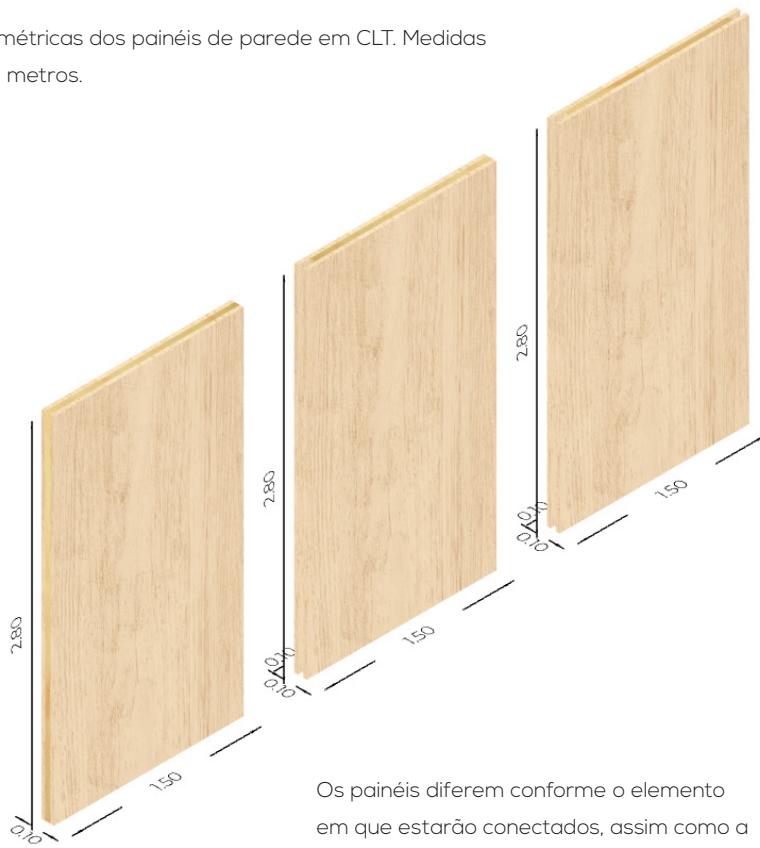
Opções de painel de parede em CLT, vista superior. Medidas em metros.



Opções de painel de parede em CLT, vista em elevação. Medidas em metros.



Isométricas dos painéis de parede em CLT. Medidas em metros.

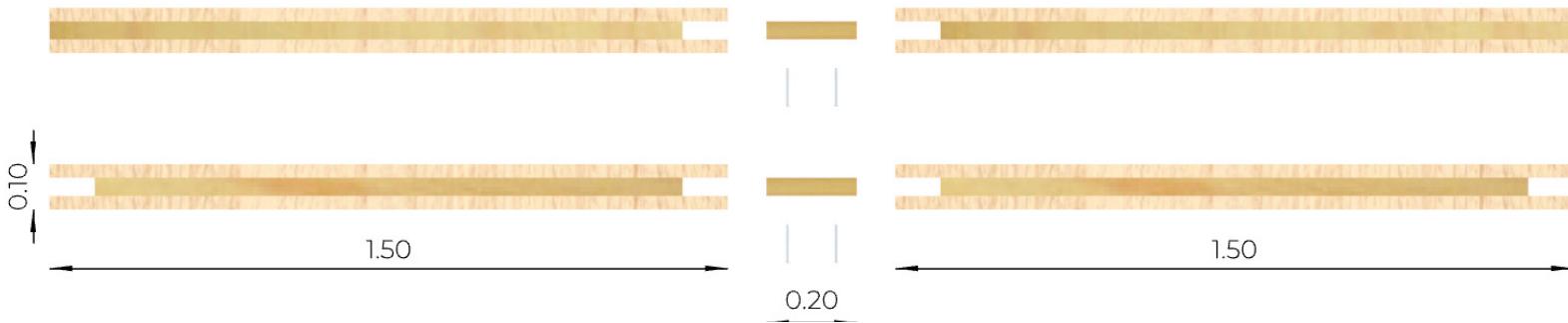


Vale ressaltar que existe um outro tipo de parafuso auto perfurante, denominado VGZ, que será utilizado em outros tipos de conexão ao longo do projeto. Esse tipo de parafuso possui uma rosca contínua ao longo de seu comprimento, o que garante um comportamento de alta performance em questão de resistência e rigidez.

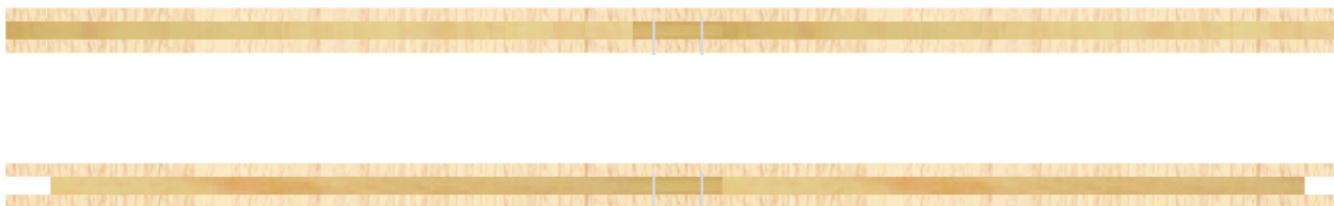
Dessa forma, as lamelas externas das paredes formam uma espécie de “sanduíche” com o conector em compensado de alta densidade, que fica escondido entre as paredes. Optou-se por essa solução, por garantir um aspecto mais discreto ao conjunto, e não afetar a estética da madeira exposta, bastante agradável aos usuários.

Nesse sentido, apesar de seguirem dimensões iguais, em essência tem-se 3 tipos de painel de parede em CLT: os que formam o canto da edificação, em que uma das extremidades não recebe o corte para recebimento do conector, os que estão entre dois painéis de CLT, e recebem o corte em suas duas faces de conexão, e o painel que está entre dois componentes modulares de Wood Frame, que não recebem nenhum tipo de corte para conexão. A conexão entre o CLT e o Wood Frame será realizada somente por parafusos, conforme detalhado em seguida. De qualquer maneira, a proporção de 1,5m de largura por 2,80m de altura se mantém nos três casos.

Detalhe de conexão entre painéis de parede em CLT, medidas em metros.



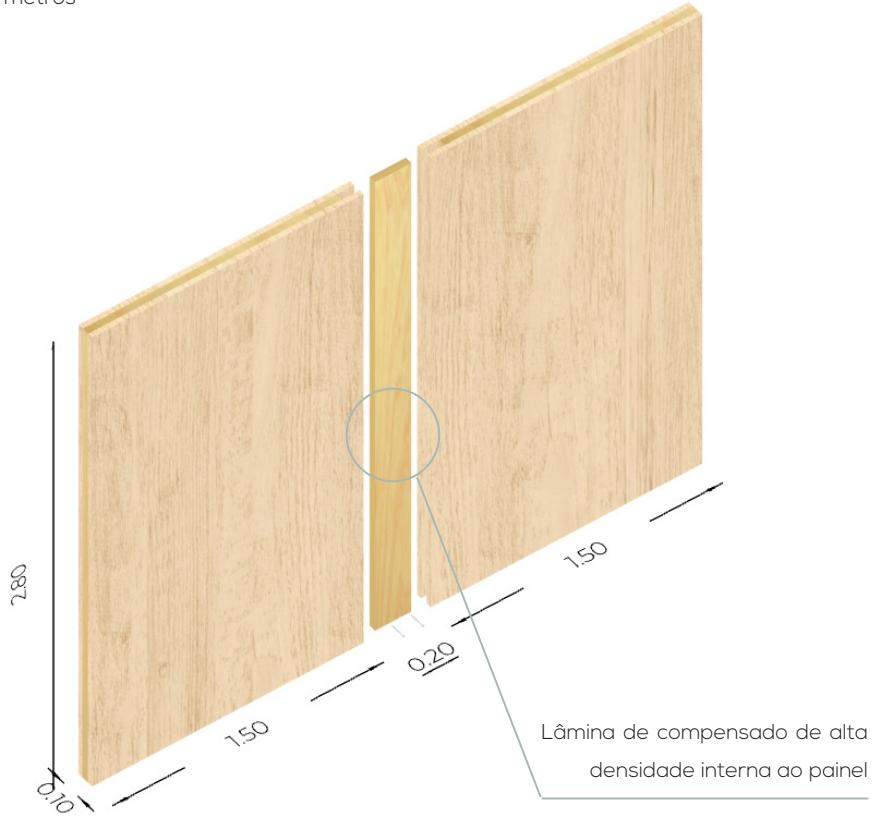
Detalhe de conexão entre painéis de parede em CLT, após fixação.



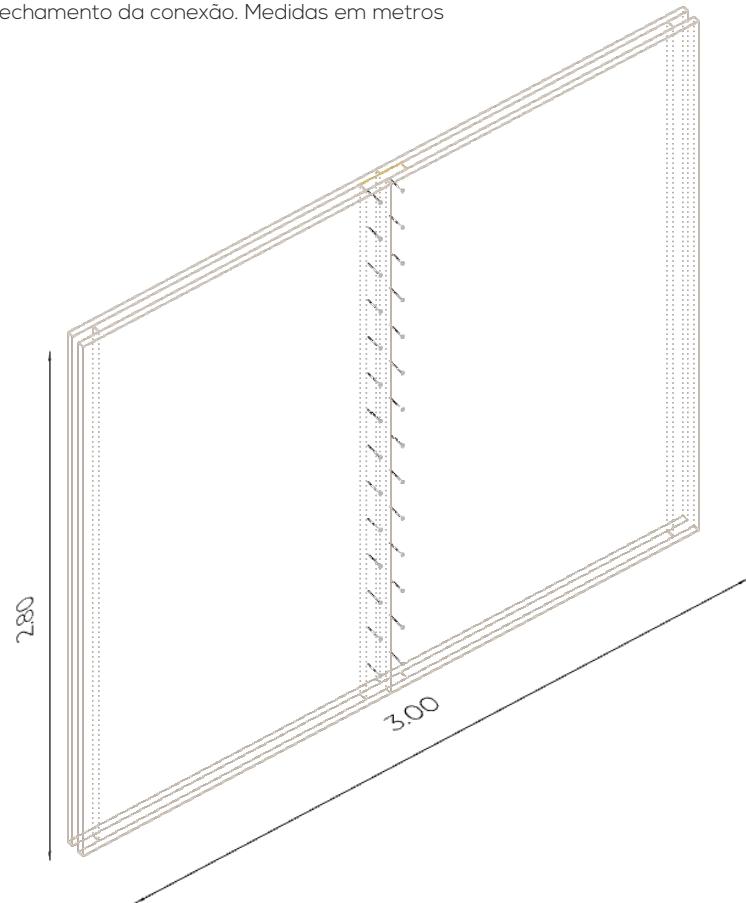
Sabe-se que a escolha por peças maiores tornaria a construção mais rápida. Entretanto, optou-se por painéis de parede e lajes com tamanho reduzido para garantir maior flexibilidade ao projeto, e dispensar maquinários pesados como gruas para a movimentação e alocação das peças.

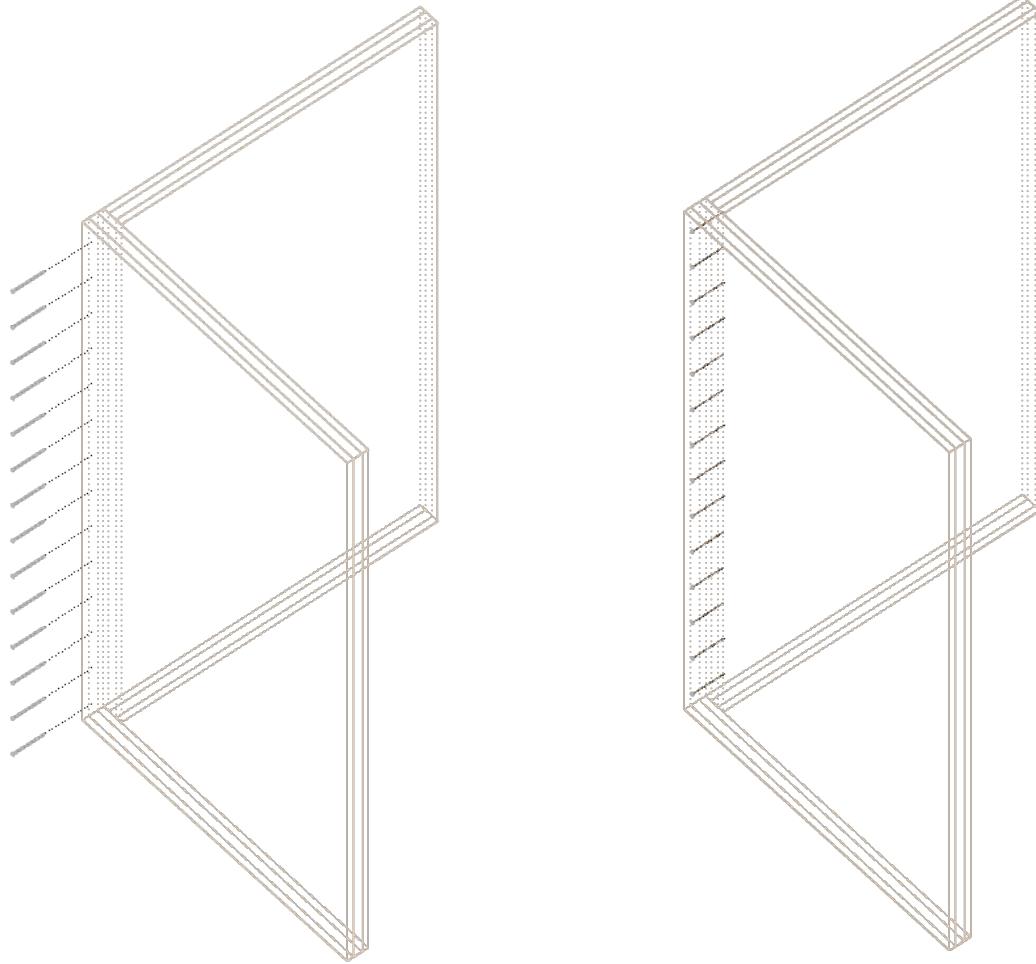
Dessa forma, pode-se utilizar a mesma modulação e solução de projeto até mesmo em terrenos mais íngremes e de acesso dificultado. A ideia, de forma geral, foi garantir uma modulação que possibilitasse que todos os elementos estruturais e de vedação de cada tipologia pudessem ser

Vista em isométrica da conexão entre dois painéis de CLT alinhados, com auxilio de chapa de compensado de alta resistência. Medidas em metros



Posicionamento dos parafusos HBS após fechamento da conexão. Medidas em metros





Isométrica evidenciando conexão entre painéis de CLT perpendiculares entre si, com auxílio de parafusos HBS.

O parafuso deve perfurar o painel até encontrar a estrutura adjacente, de forma a criar uma ligação rígida entre ambos os elementos

transportados em um caminhão VUC de tamanho padrão ($2,20 \times 3,50 \times 5,50\text{m}$), e posicionados com auxílio de um caminhão Munck ($2,20\text{m} \times 5,50\text{m} \times 1\text{m}$) na obra.

No que diz respeito às lajes, foram propostos 2 tamanhos, conformando dois componentes distintos. Uma delas é capaz de vencer um vão de 3m , enquanto a outra é capaz de vencer $4,5\text{m}$.

Nesse sentido, o projeto conta com 2 componentes modulares de lajes: um deles de dimensões $1,50 \times 3\text{m}$, utilizado em ambientes de até $3 \times 3\text{m}$, e outro com dimensões de $4,50 \times 3\text{m}$, utilizado em ambientes de largura correspondente a um módulo e meio (lembrando que a medida padrão de um módulo aqui utilizada é de 3m), correspondentes aos ambientes de salas e cozinhas, geralmente.

Em ambos os casos foram consideradas lajes de CLT com 12 cm de espessura, compostas por 3 camadas de lamelas de 40 cm cada uma, dispostas perpendicularmente entre si. Essa espessura foi definida de acordo com a tabela de pré-dimensionamento fornecida pela Crosslam.

De forma análoga às paredes, as lamelas centrais das lajes também receberão cortes para garantir o encaixe e conexão entre lajes longitudinalmente adjacentes, com auxílio de um

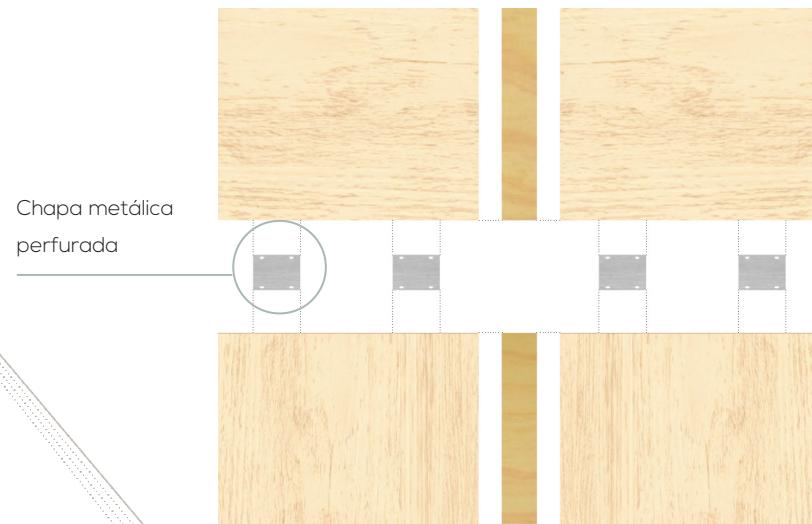
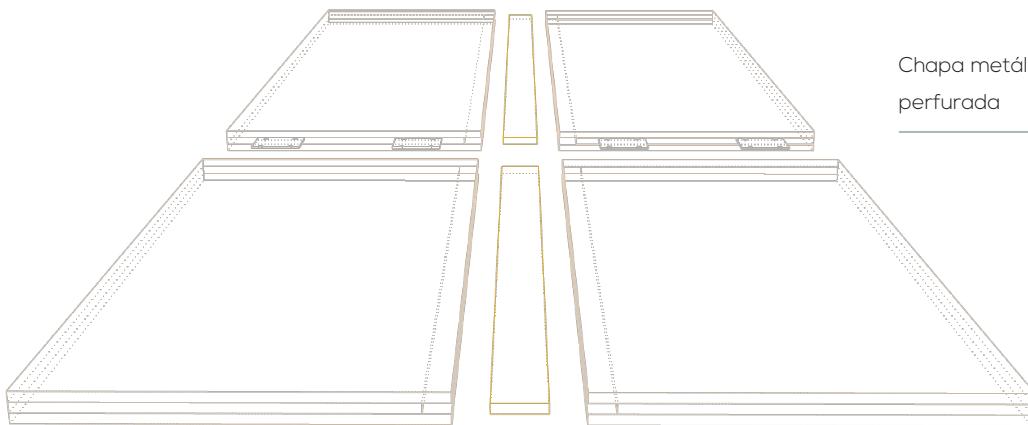
Painel de laje em vista frontal. Medidas em metros.



Painel de laje em vista superior. Medidas em metros.



Perspectiva da conexão entre lajes adjacentes (abaixo), e vista superior (ao lado).



conector constituído por uma lâmina de compensado de alta densidade. O conector garante a aderência e rigidez do conjunto, e também garante um visual discreto.

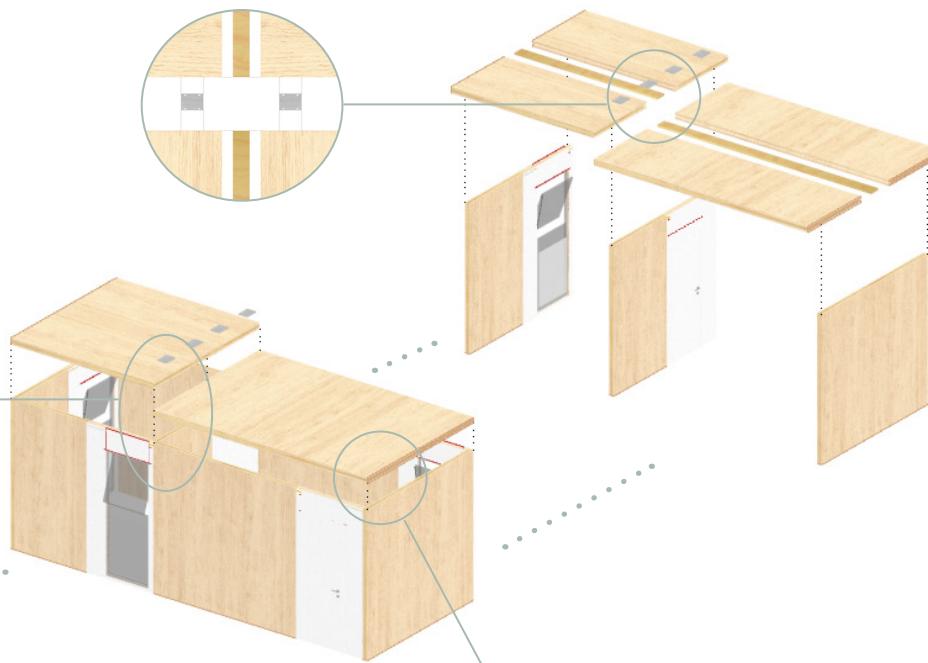
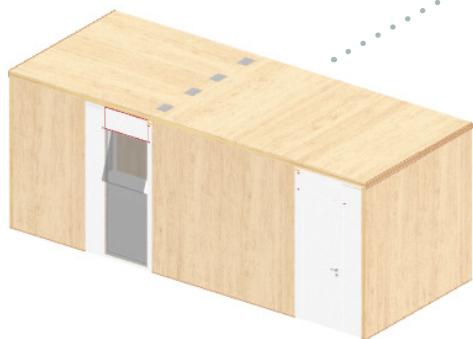
No caso das lajes, pretende-se utilizar o material em sua forma pura na face inferior, de forma que o forro do pavimento inferior seja em CLT sem qualquer acabamento adicional em outro material. Dessa forma, garante-se um ambiente aconchegante e agradável. Por outro lado, a face superior das lajes, que consistem em pisos dos pavimentos

superiores, receberão um acabamento em cimento queimado com 3 cm de espessura, a fim de melhorar o desempenho acústico e garantir maior rigidez à superfície de apoio de móveis (evitar marcas na madeira).

De forma geral, as lajes se apoiam nas paredes de CLT internas e externas, e nas paredes de wood frame contendo as esquadrias e portas. Isso ocorre na maior parte dos casos, salvo algumas exceções em que as lajes necessitam apoiar-se também em painéis interiores de wood frame.

Esquema de conexões e apoio das lajes segundo método construtivo.

Em situações em que duas lajes se apoiam em uma única parede, cada uma se apoia em 5 cm da mesma, e são conectadas entre si para garantir estabilidade

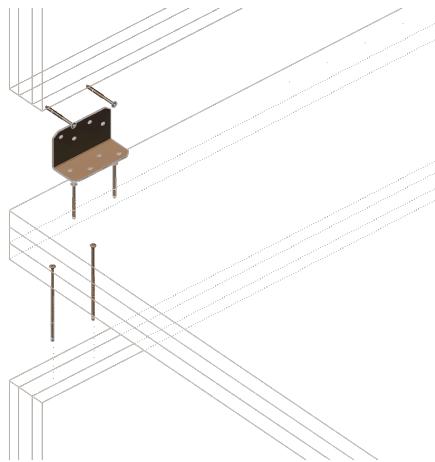


Lajes nas extremidades se apoiam nos 10 cm de largura correspondentes do painel de parede em CLT

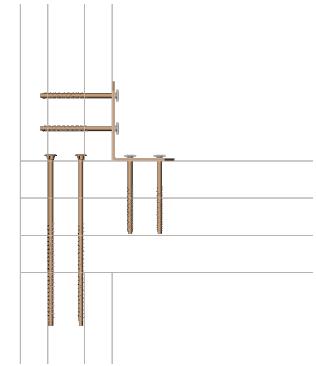
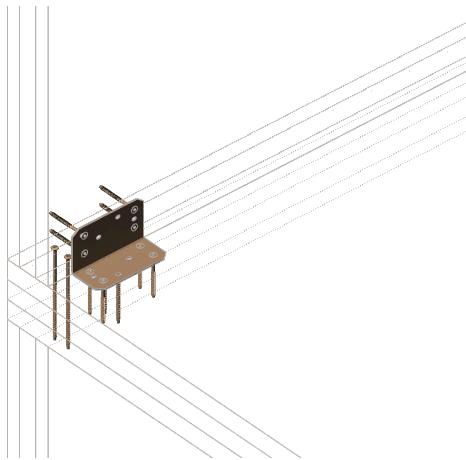
Para garantir a estabilidade da estrutura, não há necessidade de apoiar as lajes em duas direções. No caso do exercício projetual proposto, a grande maioria das lajes apoia-se em uma única direção, em 2 apoios nas extremidades, correspondendo à face com 1,5m de largura. No caso das paredes externas, as lajes se apoiam inteiramente nos 10 cm de largura disponíveis, ao passo que nas paredes internas, quando adjacente a outra laje, a mesma se apoia somente nos 5 cm correspondentes à largura de meia parede.

É importante ressaltar que a fixação entre laje e parede se dá através do uso de parafusos HBS, que possuem grande capacidade de penetração na madeira e alta resistência. Os mesmos são fixados de forma ortogonal à laje, chegando até as lamelas internas do painel de parede. Dessa forma, permite-se uma aderência entre os módulos, o que garante estabilidade e aumento de resistência do conjunto. De forma análoga, o mesmo processo é utilizado para a fixação de painéis de wood frame na laje de CLT.

Nos casos em que 2 lajes se apoiam em uma mesma parede, é importante ressaltar que foi proposta uma conexão metálica entre as lajes, de forma a conectar os lados de menor dimensão das mesmas. Uma vez que a laje será revestida para receber o piso, essas conexões não serão visíveis ao usuário, o que permite sua aplicação sem perda da estética do material.



Perspectiva da conexão entre paredes e lajes antes e depois da realização da conexão (ao lado).



Vista em corte da conexão entre lajes e painel de parede em CLT (abaixo).

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foi identificado que realizar toda a estrutura em CLT acarretaria em um incremento de custos excessivo no projeto, além de que se tornaria uma estrutura superdimensionada. Para contornar essa questão, surgiu a ideia de realizar todas as aberturas, sejam esquadrias ou portas, em Wood Frame. Dessa forma, além de garantir uma estrutura mais leve, o custo poderia ser reduzido.

No entanto, após essa decisão, verificou-se que a presença do Wood Frame também era justificável em outras aplicações dentro do projeto. Uma vez que a ideia é garantir flexibilidade ao morador e permitir diferentes conformações de um mesmo espaço, o Wood Frame se torna um bom aliado, por ser um painel leve e de fácil montagem e desmontagem. Além disso, o Wood Frame é especialmente interessante para ser utilizado em áreas molhadas. No caso do CLT, é necessário utilizar um shaft - de drywall, por exemplo - para passar as tubulações de água, o que pode reduzir o espaço disponível em determinados casos. O Wood Frame, por outro lado, permite a instalação dos componentes de distribuição de água dentro do próprio painel, e em caso de necessidade de reparos ou manutenção, somente é necessário abrir o painel, realizar o procedimento e fechá-lo, sem que haja qualquer dano à peça de wood frame.

Nesse sentido, o Wood Frame se fixa no projeto como um sinônimo de versatilidade, e será utilizado para 3 principais fins: painéis de esquadrias e portas, painéis de parede em áreas molhadas e painéis não estruturais para permissão de mudanças internas de layout.

Em seguida serão detalhados cada um desses componentes modulares.

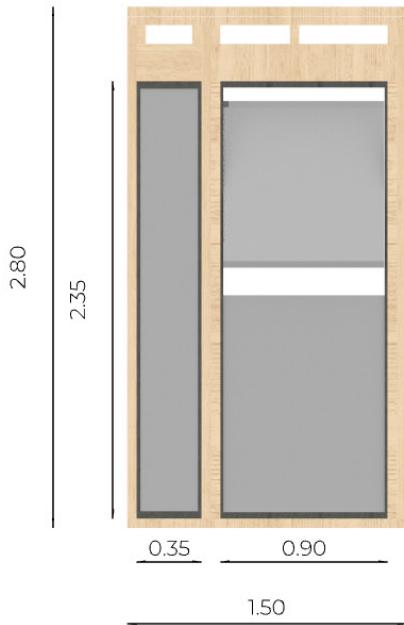
Primeiramente, as janelas foram pensadas para garantir o máximo conforto lumínico dentro dos espaços, por isso contam com uma altura total de 2,35m de altura, com bandeira fixa de 1,20m na parte inferior, e mecanismo basculante de abertura na parcela superior. A dimensão do painel varia em 10 cm, sendo uma das opções com 1,40m de largura, e outra com 1,50 m, mas todas abrigando a mesma esquadria de janela de 90 cm de largura por 2,35 de altura. No caso do painel de 1,50m de largura ainda foi prevista uma área de vidro fixo adicional para garantir maximização de iluminação natural nos ambientes.

A esquadria será em alumínio com pintura em preto, e vidro incolor, mas cabe ressaltar que, no caso dos banheiros, pretende-se utilizar um vidro leitoso de menor transmitância e maior opacidade, de forma a garantir mais privacidade aos usuários, mas mantendo a entrada de luz difusa no ambiente.

Vista superior dos painéis de janela. Medidas em metros.



Vista frontal dos painéis de janela. Medidas em metros.



Montantes e travessas em estrutura de wood frame



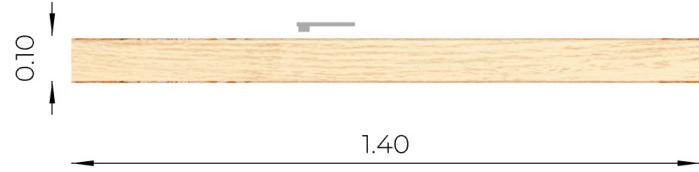
Quando utilizada para abertura dos banheiros, o vidro fixo é suprimido no painel de janela com largura 1,50m, para promover maior privacidade.

O painel que recebe a esquadria será inteiramente feito em estrutura de Wood Frame, em madeira Pinus tratada, e foi pensado para que os montantes fossem fixados a uma distância de 40 cm. Sobre a janela a estrutura recebe uma verga de reforço, que trabalha de forma estrutural para a composição do edifício.

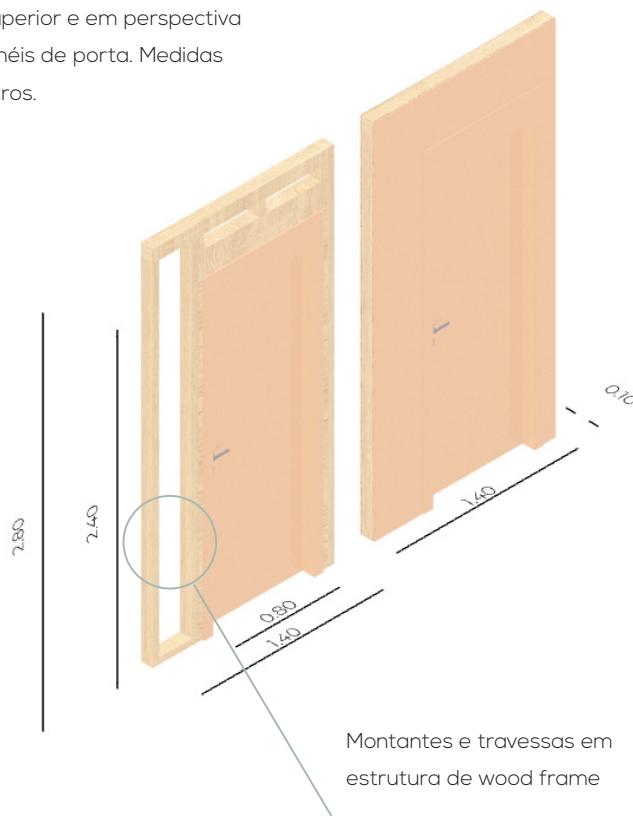
O mesmo princípio e modulação é seguido no caso dos painéis de portas, todos possuidores de 1,40m de largura e montantes distantes a 40 cm. Todas as portas foram pensadas para serem iguais e com vão livre de 80 cm. Dessa forma, não há necessidade de alteração das portas em apartamentos adaptados para PCD.

Vale ressaltar que, dentro dessa modulação, há uma variedade grande de tamanhos e tipos de portas e janelas que poderiam ser utilizadas, mas somente uma das opções será explorada para a finalidade desse projeto.

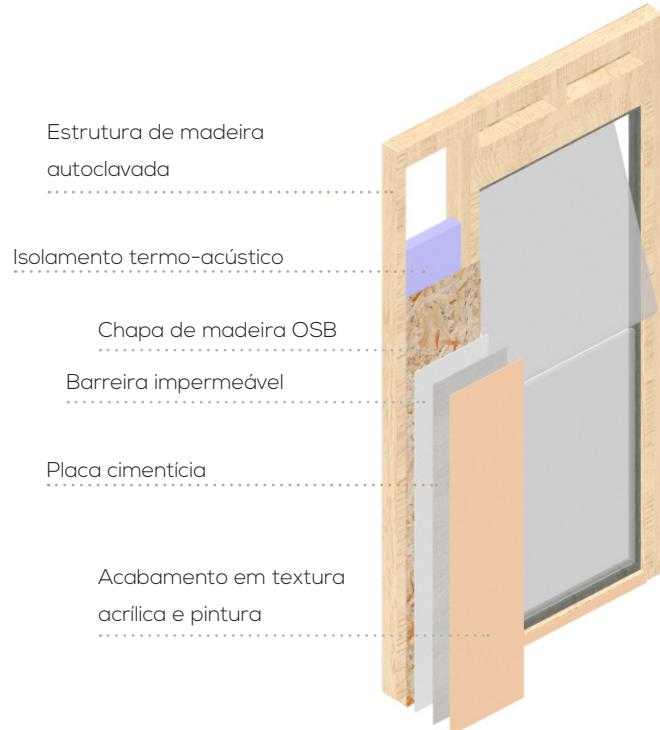
Em ambos os tipos de painéis, os montantes e soleiras são feitos em madeira autoclavada de alta densidade e conectados por meio de pregos do tipo anelados (em rolo) ou do tipo espiralados (ardox). Em seguida são revestidos com placas de OSB estrutural tratadas e preenchidos com lã de vidro para garantia de melhor desempenho térmico e acústico dos espaços. Ademais, será utilizada uma membrana hidrófuga (impermeável à água e permeável ao vapor),



Vista superior e em perspectiva
dos painéis de porta. Medidas
em metros.



Detalhe dos elementos que formam externamente o painel de janelas.



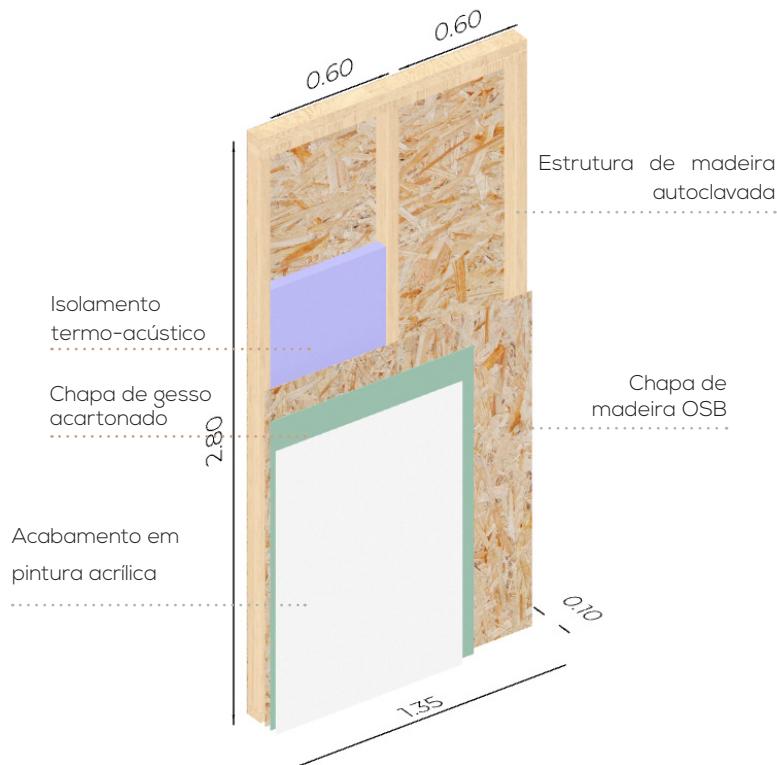
e internamente serão revestidos de gesso acartonado, e externamente por placa cimentícia acabada com pintura.

Além dos painéis de esquadria, foi pensado um tipo de painel de Wood Frame para compor paredes molhadas de banheiros, cozinhas e áreas de serviço, além de divisórias

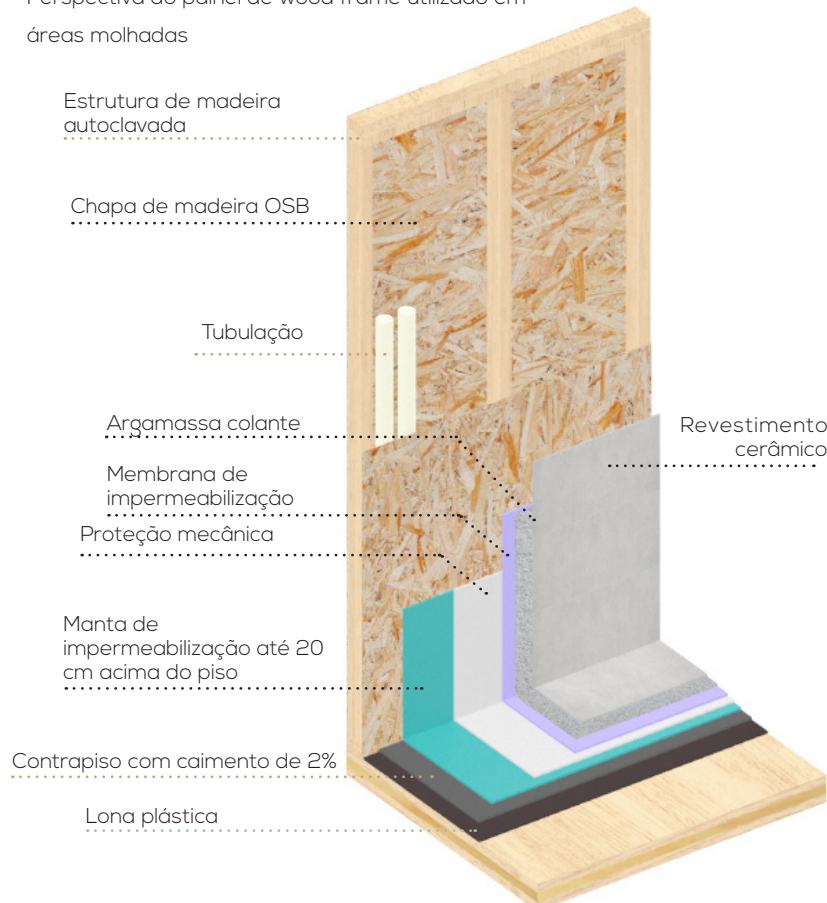
Vista superior dos painéis de Wood frame. Medidas em metros.



Perspectiva do painel de wood frame utilizado em áreas internas. Medidas em metros.



Perspectiva do painel de wood frame utilizado em áreas molhadas



não estruturais para garantir a flexibilidade do projeto. Em todo caso, a estrutura e dimensão do painel se mantém. Para essa finalidade, foi pensado um painel de 1,35m de largura, com montantes espaçados em 60 cm. Os montantes possuem seção de 5cm por 9 cm, e altura conforme composição de peça, sendo que todos os painéis totalizam 2,80m de altura para compor o pé-direito da edificação.

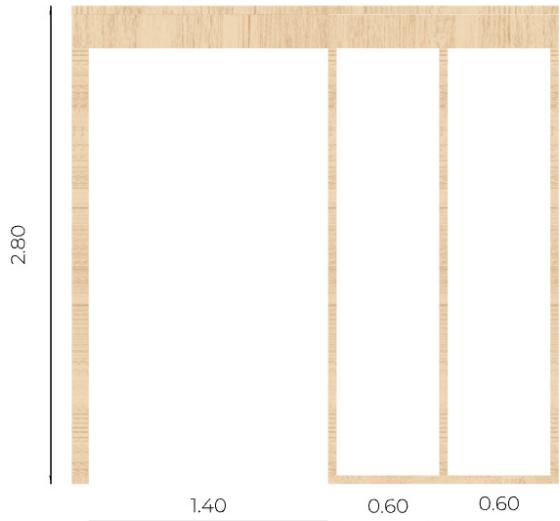
O revestimento das paredes internas em áreas secas, de forma similar aos painéis de esquadria, será em gesso acartonado. No entanto, para as áreas molhadas é necessária toda uma preparação da estrutura para o recebimento de umidade. Nesses casos, é necessário utilizar chapas de gesso para drywall do tipo Resistentes à Umidade (RU) com acabamento em revestimento cerâmico. Além disso, é necessário adicionar uma camada de impermeabilização na interface entre o piso e a parede, que consiste em uma membrana de impermeabilização até altura de 20 cm do piso acabado. Nas paredes que possuem instalações hidráulicas em seu interior, há necessidade de aplicar a membrana de impermeabilização até a altura de 20 cm acima do ponto mais alto de hidráulica. O detalhamento desses componentes estão expressos na figura ao lado.

Além dos painéis de portas, janelas e áreas molhadas, foi proposto também um painel de apoio a escada, no caso de opções de projeto na versão sobrado. Assim, cria-se um

Esquema de posicionamento da escada (ao lado)

Vista superior do painel de wood frame na área de escada. Medidas em metros.

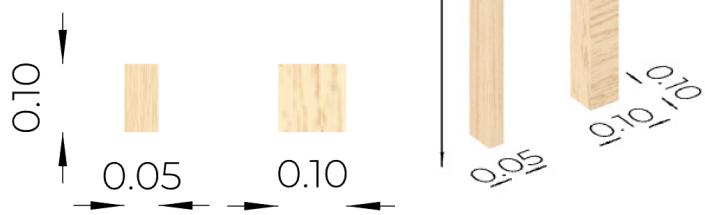
Vista frontal do painel de wood frame na área de escada (abaixo) evidenciando a estrutura em madeira autoclavada. Medidas em metros.



Sugestão de escada igualmente modular em madeira, vencendo uma altura de 2,92m (2,80m dos painéis de parede + 12 cm de laje). Esse cálculo desconta as espessuras de revestimento a serem adicionadas posteriormente.

Perspectiva dos conectores de wood frame (ao lado). Medidas em metros.

Vista superior dos conectores de wood frame (abaixo). Medidas em metros.



elemento estrutural capaz de dar suporte à estrutura da escada, e permitir o apoio das lajes do andar superior. A modulação segue exatamente a mesma lógica dos demais componentes, e também é composta de montantes e travessas de madeira autoclavada de alta densidade, com fechamento em OSB estrutural e chapas de gesso em ambas as faces. A largura total desse painel é de 2,85m, com abertura de 1,40m para acesso à escada. Na parcela opaca de fechamento do painel, os montantes são fixados a cada 60 cm, de forma análoga aos demais componentes. Assim como no caso das portas e janelas, é adicionada uma verga na porção aberta do painel, capaz de absorver a carga do pavimento superior e transferir as forças aos demais componentes.

Aliados aos painéis de Wood Frame, foram pensados dois elementos conectores de madeira, de seções 10x10cm e 10x5cm. Esses componentes foram propostos para garantir maior versatilidade e flexibilidade ao conjunto, de forma a permitir uma gama maior de arranjos internos de layout. Além disso, esses conectores permitem uma maior rigidez na conexão entre painéis, garantindo mais estabilidade ao conjunto.

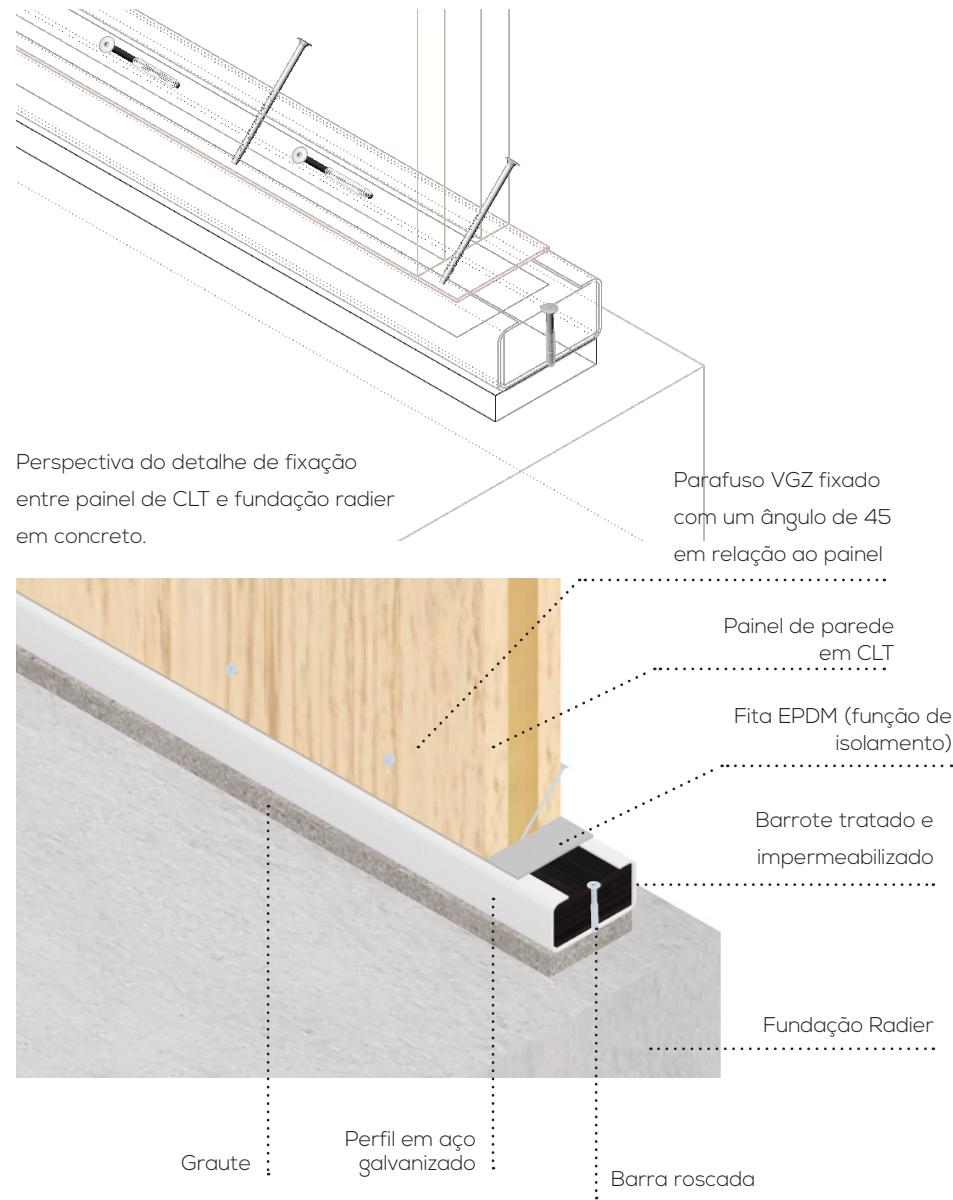
Com isso foram detalhados os principais componentes que compõem a estrutura principal do projeto, além das principais conexões entre os painéis.

Além disso, é importante fazer mais algumas considerações acerca de aspectos importantes para o funcionamento e aplicação dos módulos em terrenos e situações adversas.

A princípio, cabe ressaltar que, para todos os layouts de edificações propostas, foram consideradas fundações rasas em radier, que consistem em lajes maciças de concreto. Entretanto, essa solução somente é aplicável para terrenos planos ou que requerem pouca movimentação de terra. Nesse sentido, foi desenvolvida uma solução de fundação que associa blocos de concreto e estrutura metálica regulável para terrenos com declividades acentuadas. Em seguida serão detalhadas cada uma dessas opções.

No caso de terrenos planos, a solução de laje radier como opção de fundação foi escolhida por ser uma alternativa simples, de fácil execução, e barata. Nesses casos, as lajes de CLT somente serão utilizadas para o fechamento da cobertura, no caso das casas térreas, ou entre pisos adjacentes e cobertura, no caso de sobrados e edifícios.

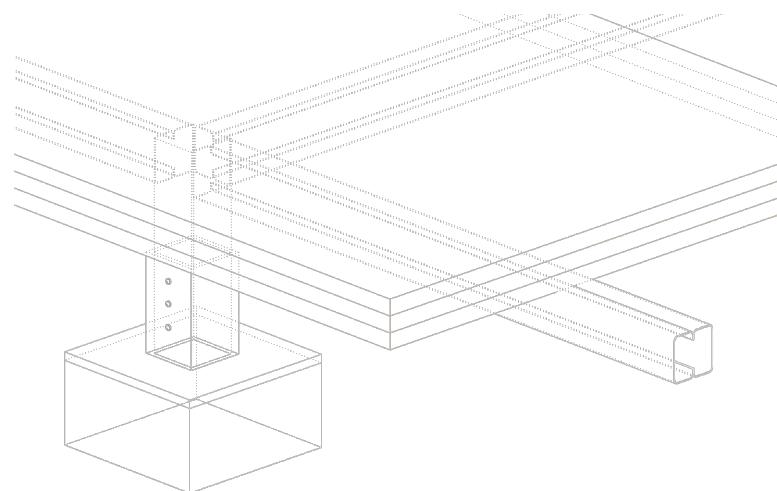
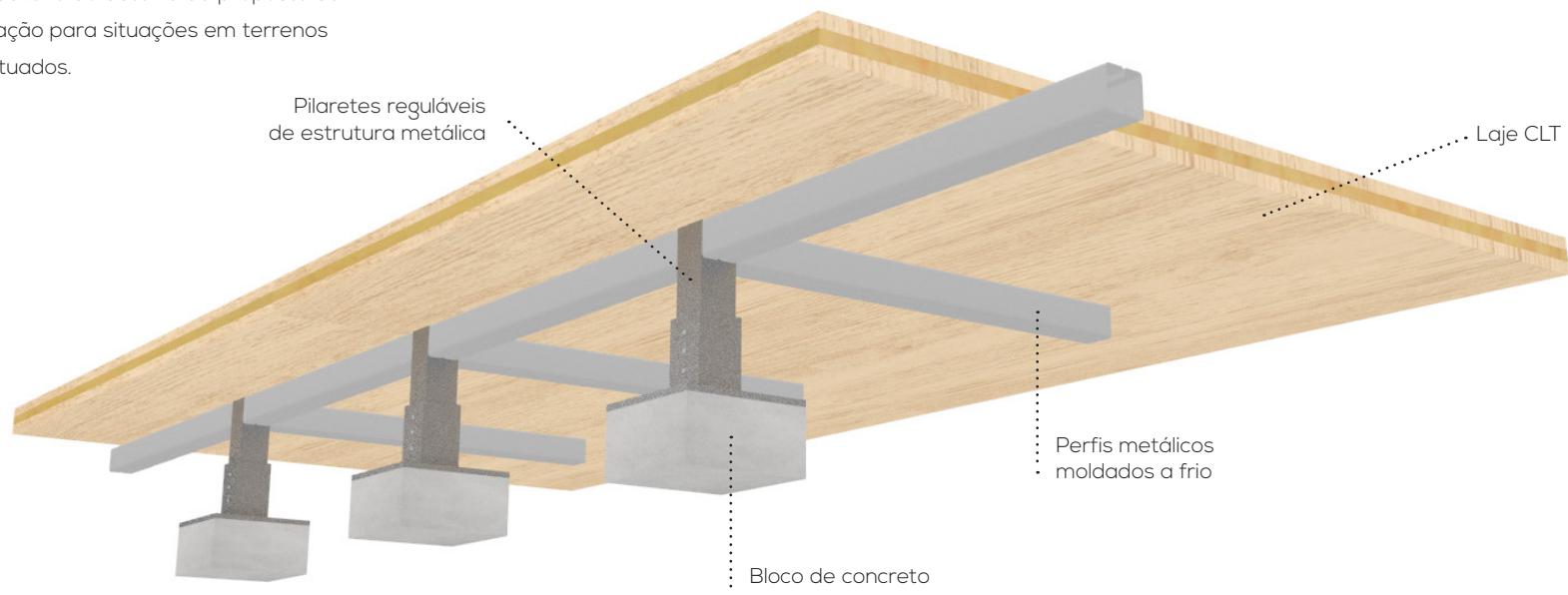
É importante ressaltar que o CLT e o Wood Frame, por serem estruturas em madeira, devem ser isoladas fisicamente de fundações em concreto, para evitar que a água suba por capilaridade e comprometa o desempenho do painel. Dessa forma, é importante detalhar essa conexão de forma a descolar os dois materiais. No caso do CLT, propõe-se



a utilização de perfis em aço galvanizado preenchidos com componentes de madeira tratada, sendo estes grauteados na fundação. A conexão entre o perfil de aço e o barrote se dá por barras rosadas, e esse conjunto, por sua vez, é fixado na parede de CLT por meio de parafusos do tipo VGZ, fixados a um ângulo de 45° em relação ao painel.

Os painéis de Wood Frame, por sua vez, são fixados nas

Perspectiva do detalhe da proposta de fundação para situações em terrenos acentuados.

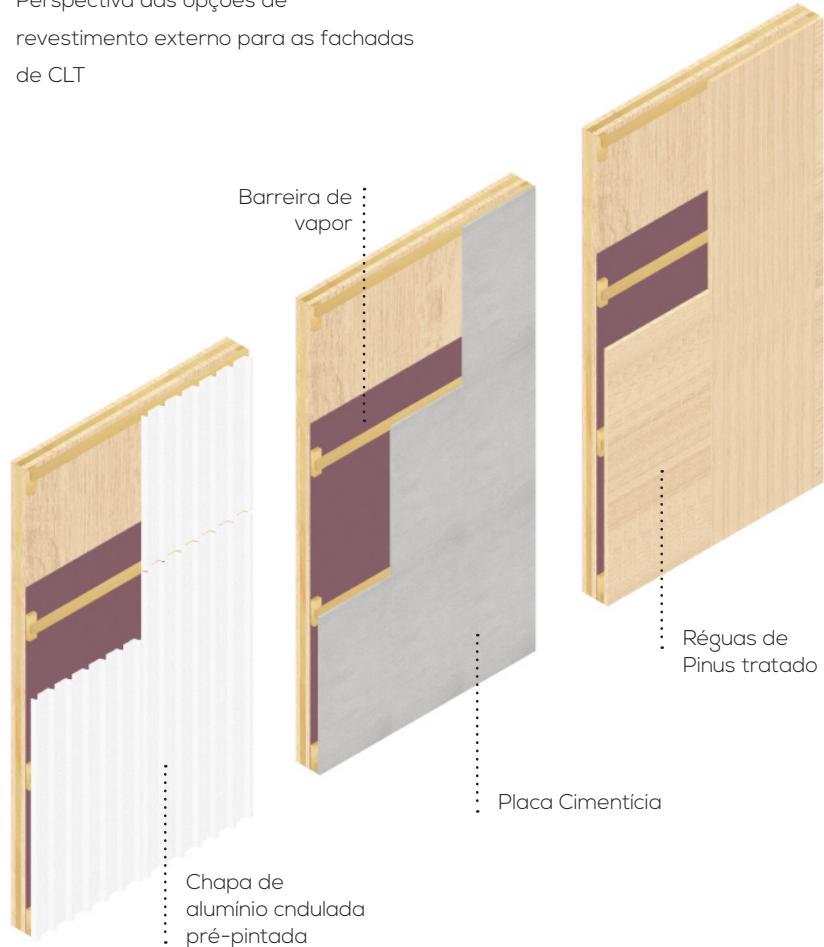


fundações de concreto após aplicação de impermeabilizante (que pode ser pintura de base betuminosa ou argamassa polimérica de base acrílica), e fixados com auxílio de cantoneiras metálicas, pregos anelados e chumbadores. Vale ressaltar que a base dos quadros deve ser protegida por manta asfáltica impermeabilizante até a altura de 20 cm em ambas as faces do painel.

Uma vez que o projeto se propõe a ser flexível e exequível em diferentes tipos de terreno, também foi pensada uma solução que permite o uso do sistema em declividades acentuadas.

A solução consiste em blocos de concreto superficiais ou enterrados, que se apoiam no terreno conforme sua declividade natural, de forma a evitar excessivas movimentações de terra que encarecem a implementação do projeto. Sobre esses blocos posiciona-se uma peça metálica que permite a regulagem da altura dos pilares metálicos, de maneira a permitir o nivelamento das lajes de piso. A esses pilares são associados perfis metálicos moldados a frio, que recebem as lajes de CLT para a

Perspectiva das opções de revestimento externo para as fachadas de CLT



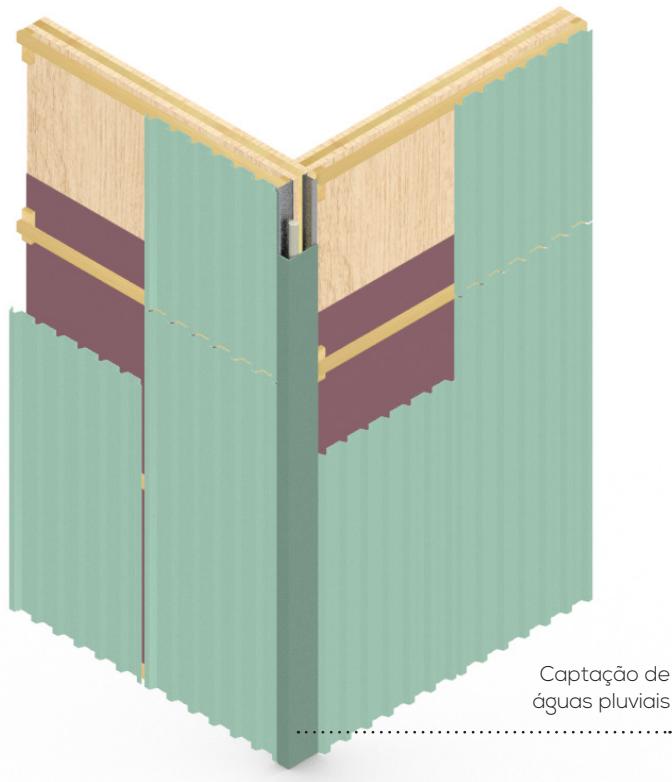
sucessiva montagem dos demais elementos.

Resolvida a questão da fundação, é importante definir o revestimento externo da edificação. No caso das paredes de CLT, é fundamental garantir sua proteção às intempéries. Por isso, é interessante garantir uma solução de fachada não aderida, que isola e protege a estrutura de CLT de eventual umidade, ação do sol e agentes externos. No caso, é possível compor fachadas de materiais diversos, que podem variar desde lamelas de madeira, placas cimentícias, até chapas onduladas de alumínio pré-pintadas. Independentemente da solução, são fixados barrotes de madeira na estrutura de CLT - e painel de Wood Frame - que recebem o revestimento desejado conforme projeto, sendo este parafusado na estrutura. Essa solução é interessante, pois garante um sistema de fachada ventilada que contribui para o desempenho térmico e acústico da edificação ao criar uma camada de ar entre o revestimento externo e a estrutura.

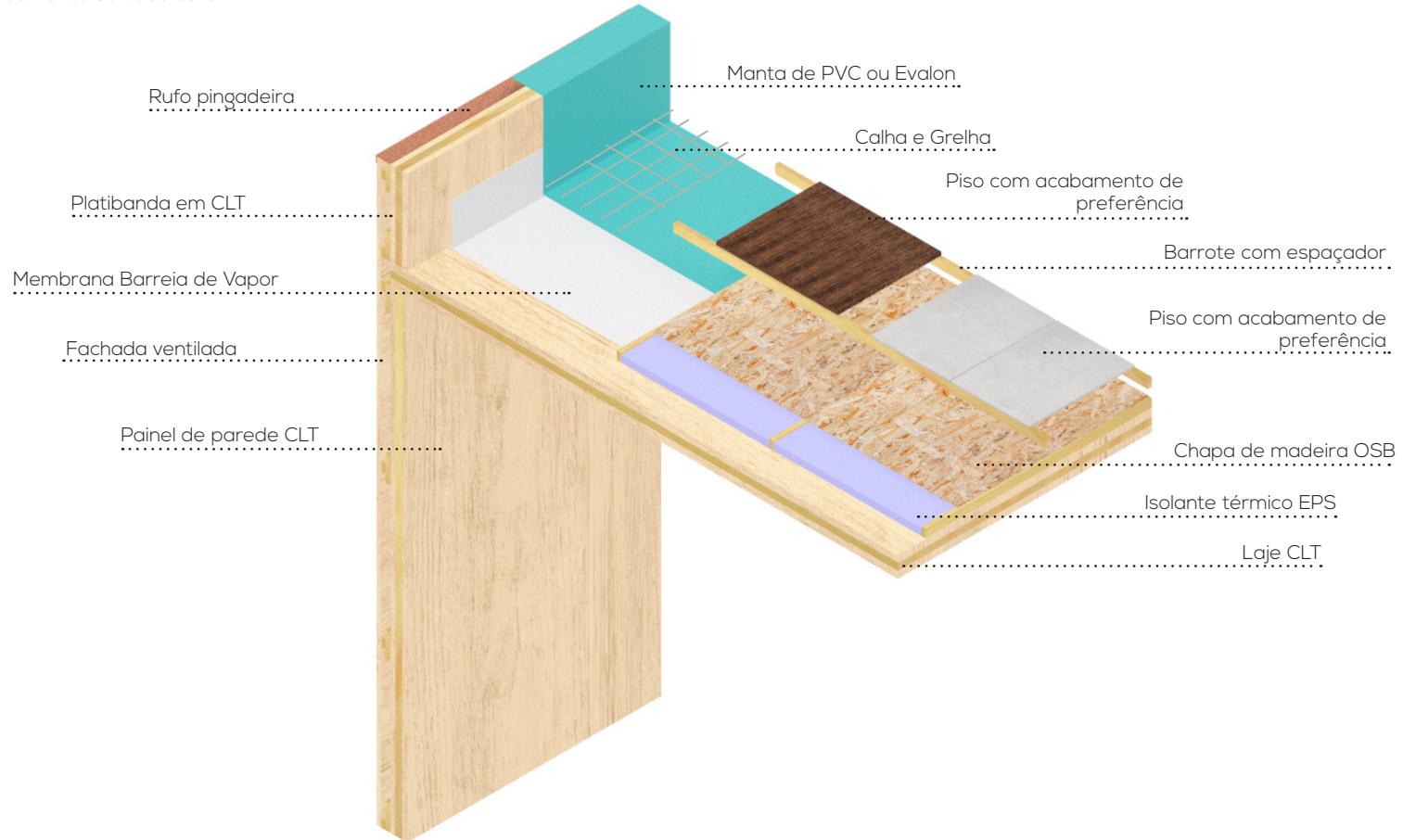
No caso deste exercício projetual, optou-se por utilizar apenas uma das opções de revestimento de fachada, em chapas onduladas de alumínio pré-pintadas, por se tratar de uma opção simples, barata e que garante uma estética interessante ao conjunto.

No que diz respeito à captação de águas pluviais é importante ressaltar que a tubulação de condução deve ser

Detalhe de canto da fachada para captação de águas pluviais



Detalhe das camadas de impermeabilização
e acabamento da cobertura



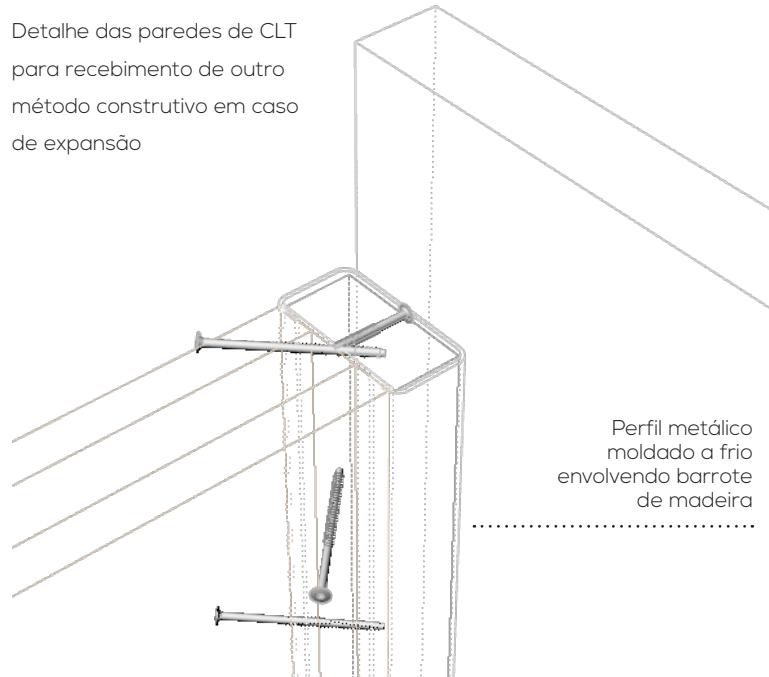
isolada da estrutura em madeira, de forma a evitar o contato de umidade com o material em caso de vazamento. Nesse sentido, foi proposta uma peça de alumínio que, ao mesmo tempo que reveste os cantos da edificação, conectando as fachadas em chapa ondulada, funciona como proteção para a tubulação de coleta de águas pluviais, que direcionam as águas de chuva para uma cisterna de reutilização de água pluvial para finalidades não-potáveis.

Também é importante discorrer a respeito da cobertura. Ao longo do desenvolvimento do projeto, a ideia inicial era propor uma cobertura com caída em 2 águas em painéis de CLT, por proporcionar uma aparência agradável ao conjunto. Entretanto, utilizar o CLT somente para o fechamento da cobertura não era coerente com o projeto. Além disso, ao pensar o layout de cada edificação, verificou-se que as lajes poderiam configurar-se como áreas de expansão da edificação, ou até mesmo uso como área de lazer. Nesse sentido, optou-se por utilizar lajes de piso na cobertura, com os mesmos 12 cm de espessura das demais, de forma a garantir um espaço habitável sobre o último pavimento.

Nesse sentido, é fundamental garantir o tratamento necessário para evitar acúmulo de umidade devido a chuvas ou outras intempéries. Assim, é proposta a construção de uma platibanda sobre a laje de cobertura, também em CLT,

que recebe um rufo metálico com função de pingadeira. Sobre a laje é instalada uma membrana de barreira de vapor, seguida de isolante térmico EPS. Este é revestido com uma camada de OSB, que por sua vez é recoberto com uma manta de Evalon, TPO ou PVC, de forma a vedar o conjunto e garantir estanqueidade. Essa manta cobre toda a cobertura, e sobe na área de platibanda até envolver toda a madeira exposta. Sobre ela, posicionam-se as calhas

Detalhe das paredes de CLT
para recebimento de outro
método construtivo em caso
de expansão



Detalhe das paredes de CLT para recebimento de outro método construtivo em caso de expansão, evidenciando os materiais.



e grelhas que captam a água das chuvas e conduzirão a tubulação nos cantos da edificação.

Por fim, ainda propõe-se a instalação de barrotes de madeira para posterior acomodação de revestimento de piso. No caso do projeto, optou-se por revestimento em placas cimentícias com aspecto de cimento queimado.

A última questão que requer explicação, antes de avançar para a análise do produto projetual em si, é em relação às áreas de expansão. Na grande maioria das composições propostas há uma área específica para que os moradores podem ampliar a área privativa da residência.

Visto que se trata de uma expansão que cabe a cada usuário, foi importante pensar em um detalhe de conexão que permitisse o uso de materiais diferentes da madeira, pensando em uma realidade em que os moradores não irão encomendar painéis de CLT para compor os fechamentos conforme necessidade. Assim, propõe-se um detalhe similar aos utilizados nas conexões entre parede e fundação: um perfil de madeira envolvido por perfil metálico parafusado às paredes de CLT. Dessa forma, evita-se o contato entre o novo material de fechamento e a estrutura de madeira engenheirada.

Cabe ressaltar que a ideia é que o projeto seja entregue

com um manual do usuário, que recomendará os melhores materiais de fechamento dessas áreas de expansão, dando preferência para vedações em painéis leves de wood frame. Entretanto, como o uso dos espaços pós-ocupação é imprevisível, cabe ao projetista pensar em maneiras de evitar posteriores danos à estrutura para casos em que o fechamento é feito em alvenaria, por exemplo.

Assim, tem-se contemplados os principais detalhes construtivos envolvidos na montagem dos módulos. Em seguida serão apresentadas as tipologias desenvolvidas a partir dos módulos, e suas respectivas variações. Apelidado carinhosamente de “_dominó” por seu caráter padronizado e encaixável, esse exercício projetual busca explorar a flexibilidade que a arquitetura modular permite, e demonstrar formas de utilizar a madeira industrializada como alternativa a métodos construtivos tradicionais.

7. Exercício Projetal

Este capítulo é dedicado aos produtos de projeto que foram alcançados com base em cada um dos componentes modulares previamente desenvolvidos e apresentados.

De forma geral, a partir dos painéis de paredes, portas, esquadrias e lajes, foi possível criar uma ampla gama de possibilidades de aplicação. A ideia foi trazer diferentes soluções conforme terrenos, famílias e necessidades diferentes, de forma a demonstrar e comprovar a versatilidade da arquitetura modular na adaptação.

Ao todo foram propostas oito opções de residências unifamiliares, e quatro opções de edifícios, mesclando quatro diferentes opções de apartamentos. Para todos os casos aplicam-se os detalhes construtivos e encaixes discutidos no capítulo anterior. Nesse sentido, todas as opções trabalham com painéis estruturais de CLT para lajes e paredes, e painéis de Wood Frame para esquadrias, portas, áreas molhadas e vedação sem função estrutural.

Apelido de “dominó” por trazer um constante jogo de encaixes e conexões, o sistema desenvolvido considera também uma padronização estética no que diz respeito ao tratamento das fachadas: Para todas as opções optou-se por trazer um acabamento de fachada em chapa de alumínio

ondulada pré-pintada em tons pastéis de azul e verde, de forma a proteger a estrutura contra intempéries e garantir uma certa identidade visual aos componentes. O contraste é realizado pelos painéis de portas e esquadrias, que ganham uma tonalidade quente semelhante ao coral.

A ideia foi que cada tipologia de apartamento ou casa possuísse uma tonalidade diferente na fachada, de forma a trazer uma brincadeira de tonalidades quando agrupados na conformação de edifício. Além disso, em casos onde o térreo possui algum tipo de comércio associado, foi proposto que a cor de revestimento das chapas onduladas fosse em branco off-white, de forma que as lojas e serviços fossem facilmente identificados pelos usuários.

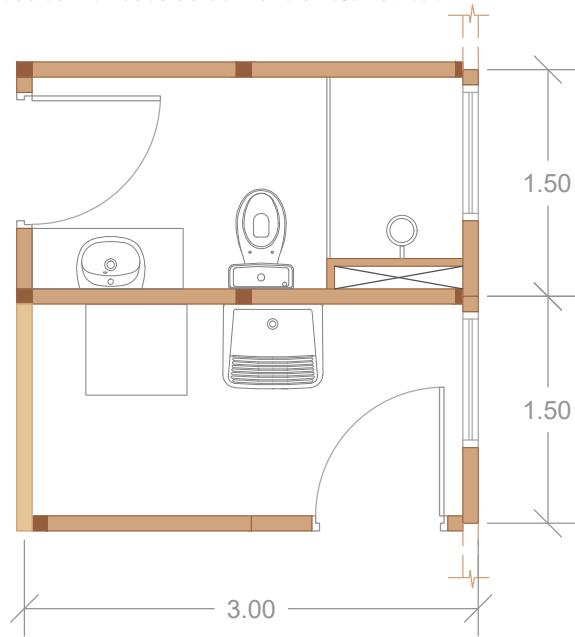
Outro ponto importante a ser ressaltado é que todos os layouts propostos – salvo duas tipologias de apartamentos – possuem espaço previsto para expansão conforme a necessidade dos moradores. No caso das casas térreas e apartamentos, esse espaço é previsto nas varandas, ao passo que nos sobrados, é previsto na cobertura, sendo estes últimos possibilitados de construir em altura, visando o adensamento vertical.

De maneira geral, as dimensões dos cômodos seguem a mesma modulação dos componentes. Nesse sentido, conforme explicado anteriormente, a modulação segue uma

malha de 3m por 3m, gerando ambientes que podem ser conformados por 1 módulo, meio módulo ou 2 ou mais módulos agrupados. Todos os banheiros, por exemplo, seguem a premissa de meio módulo, com dimensões 1,5mx3m, que equivale a uma laje de cobertura, por exemplo. O mesmo vale para as áreas de serviço.

Os dormitórios, por vez, possuem dimensão de 3m por 3m, em sua maioria, sendo compostos por 2 lajes alinhadas de 1,5m por 3m. As varandas seguem essa mesma premissa, sendo todas padronizadas com 3x3m.

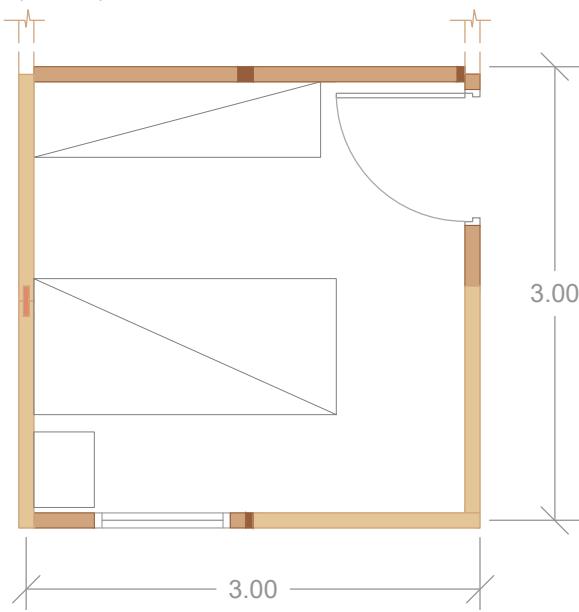
Módulos molhados de banheiro e A.S.. Esc 1:50



Por fim, em todos os casos optou-se por integrar os ambientes de sala e cozinha, de forma a conformar espaços com ora 3m, ora 4,5m de largura, de comprimento variável. De qualquer forma, todos os ambientes seguem a mesma modularidade, o que facilitou a aplicação dos componentes em diferentes tipologias.

Além disso, outro aspecto que merece destaque é a questão das áreas molhadas e apartamentos destinados a PCD. Todos os ambientes, com exceção do banheiro, já são totalmente acessíveis. Nesse sentido, nos apartamentos acessíveis foi

Módulo padrão para dormitório. Esc 1:50



proposta a junção entre área de serviço e banheiro, por serem módulos que se repetem em todas as tipologias e estão adjacentes, na maioria dos casos. Em algumas exceções houve a necessidade de ampliar o ambiente ou reorganizar os módulos nas áreas molhadas, mas, de forma geral, utilizou-se a estratégia apontada acima para garantir total acessibilidade. O detalhamento de cada caso estará expresso em sua respectiva seção.

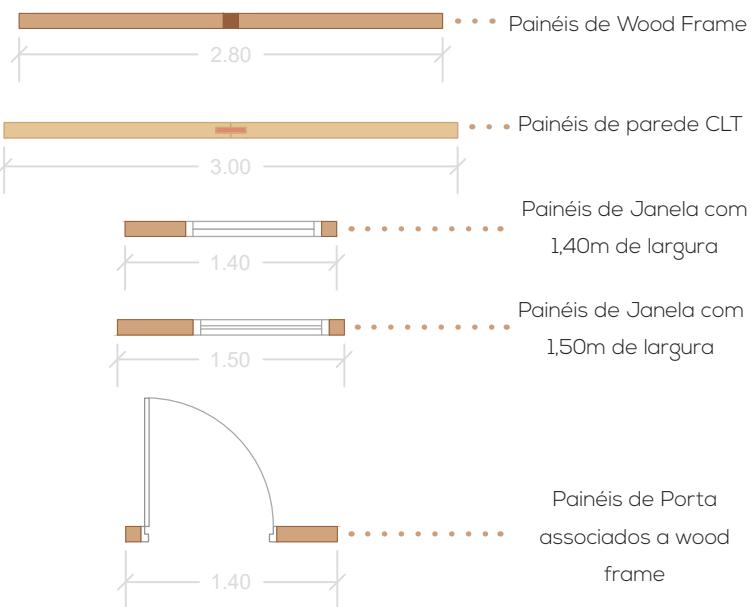
Um aspecto importante de ser mencionado é que todas as instalações elétricas foram pensadas para serem expostas, não embutidas nos módulos de parede. Dessa forma, propõe-se eletrodutos aparentes em aço galvanizado, remetendo a um aspecto industrial. A ideia com essa premissa é interferir o mínimo possível nos módulos, de forma a manter ao máximo a padronização dos componentes.

Por fim, ainda é relevante pontuar que todos os edifícios propostos somam térreo + 3 pavimentos, de forma a dispensar circulação com elevadores e escadas enclausuradas, e respeitar uma quantidade de pavimentos segura para o bom desempenho do Wood Frame, visto que possui função estrutural nos painéis de esquadrias e portas. Entretanto, sabe-se que o CLT possui um potencial muito alto em construção em altura, e cabe ressaltar que todas as opções, visto que os painéis de Wood Frame e CLT propostos seguem a mesma modulação, poderiam ser adaptadas para

serem realizadas somente com o CLT, permitindo um ganho significativo de pavimentos.

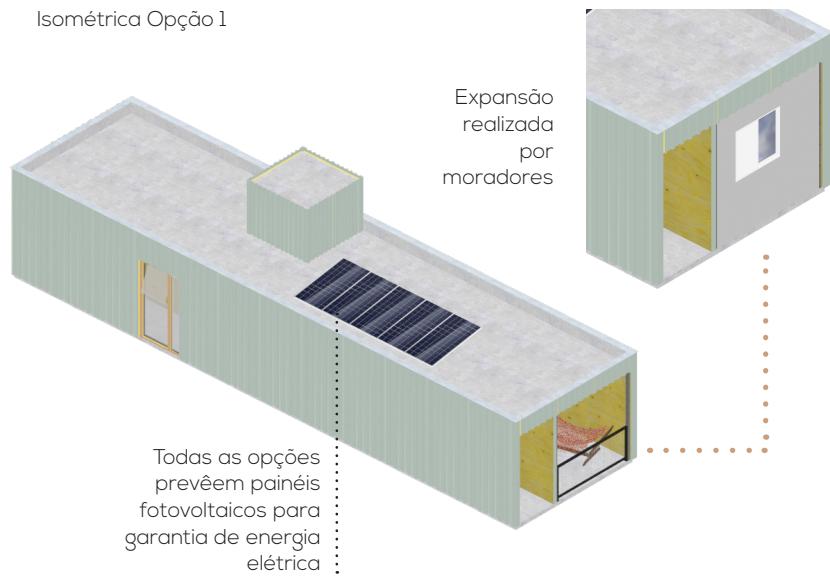
Em seguida será explicada cada uma das opções e suas respectivas peculiaridades, tratando desde o layout, até planos de corte das peças de CLT e métodos de transporte.

Para identificação clara dos diferentes métodos construtivos em planta, cada um dos elementos foi representado da seguinte forma:



Residência Unifamiliar | Opção 1

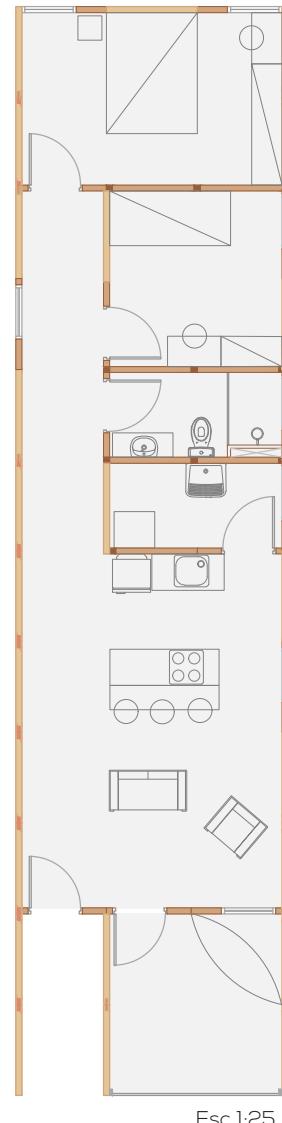
Isométrica Opção 1



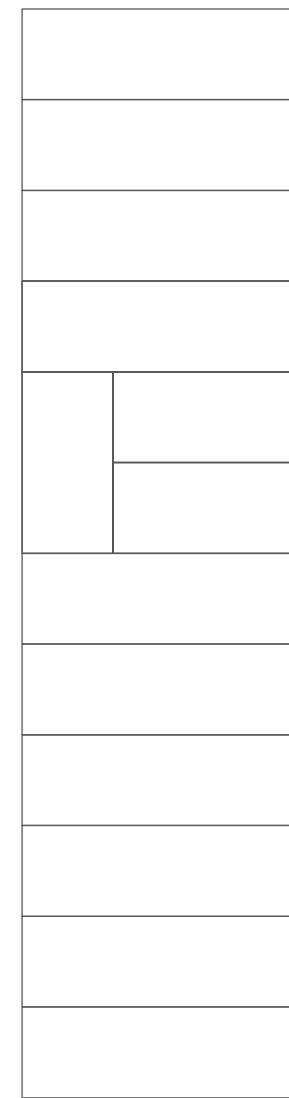
O primeiro layout proposto foi pensado para atender ao terreno usual de 5m de frente por 25m de profundidade, muito comum em cidades como São Paulo. Assim, a residência segue o formato do terreno, trazendo um aspecto linear ao conjunto.

É importante ressaltar que, como as opções não possuem um terreno específico de implantação, não foram

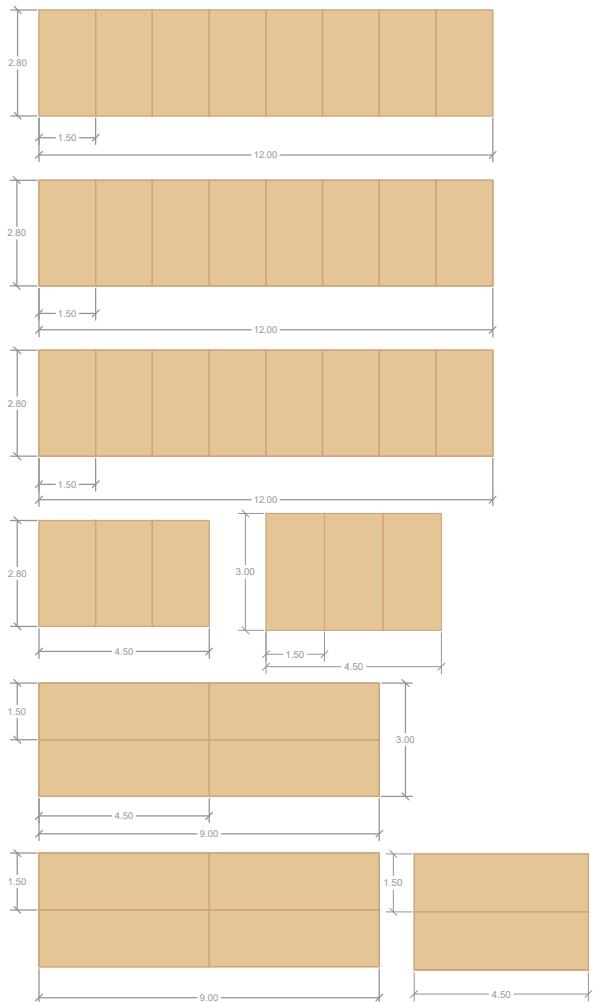
Planta 1º Pav. - Opção 1



Posicionamento das lajes de cobertura. - Opção 1



Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 1. Medidas em metros.



Isométrica explodida - Opção 1.

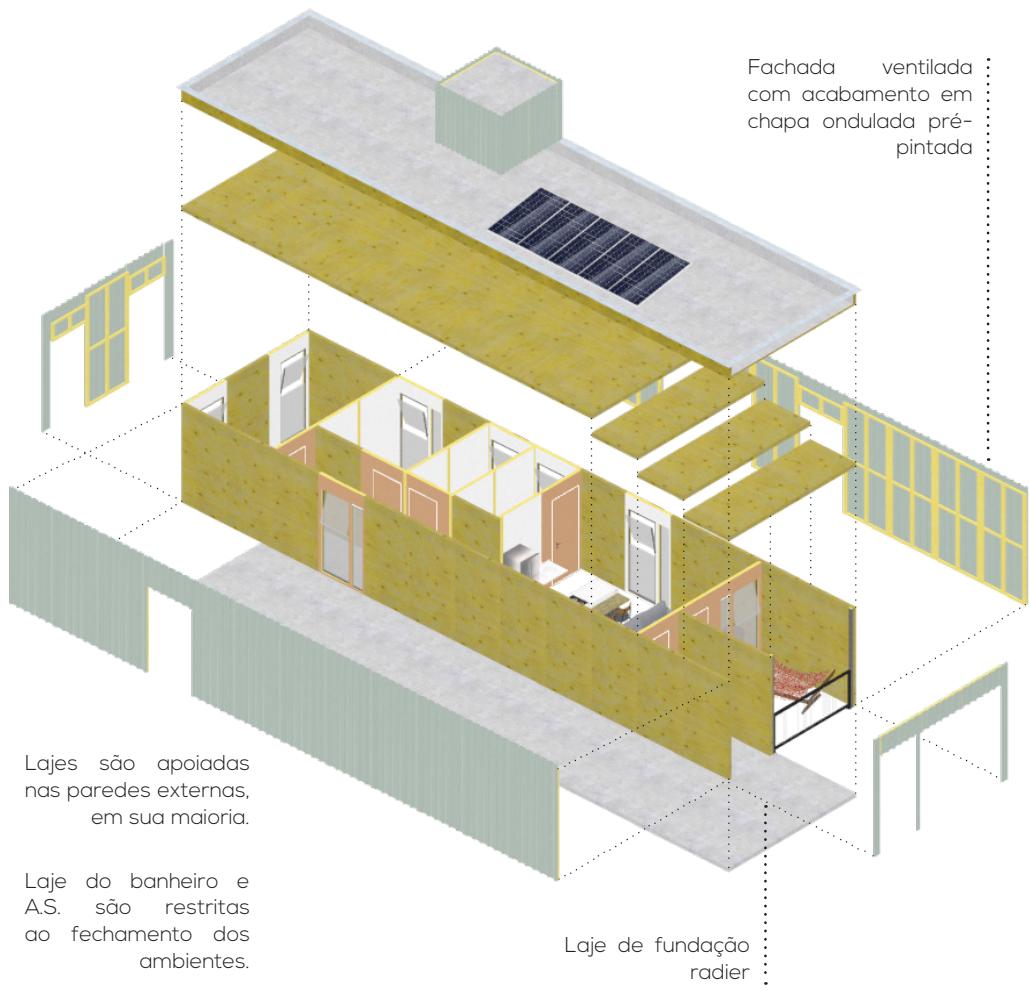
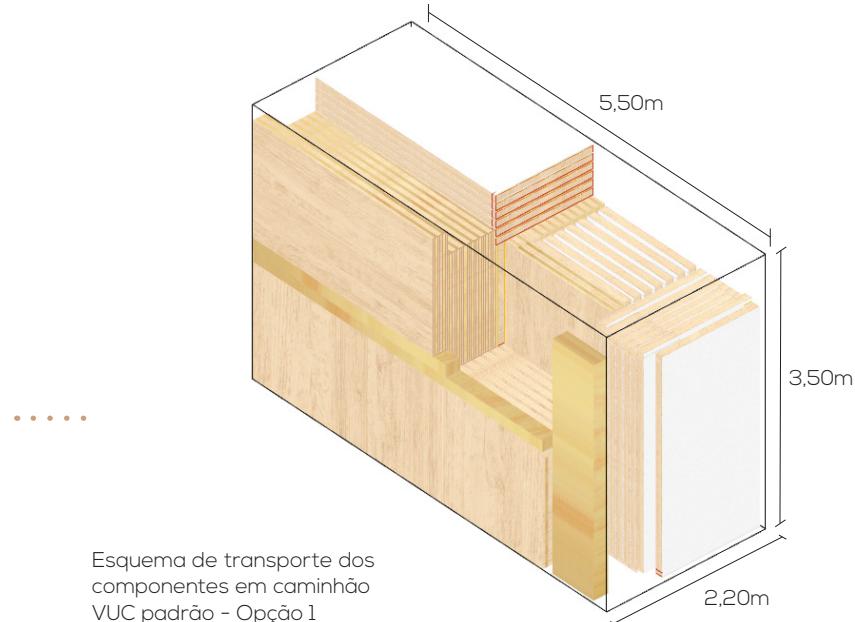


Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 1.

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	24
Porta	6
Janela 1,50 m	6
Janela 1,40m	2
Laje 1,5mx3m	3
Laje 1,5mx4,5m	10
Conektor 10 cm	7
Conektor 5 cm	2
Parede Wood Frame	7
Conektor Parede CLT	14
Conektor Laje CLT	8

consideradas orientações geográficas na representação das plantas, como definições de norte, por exemplo.

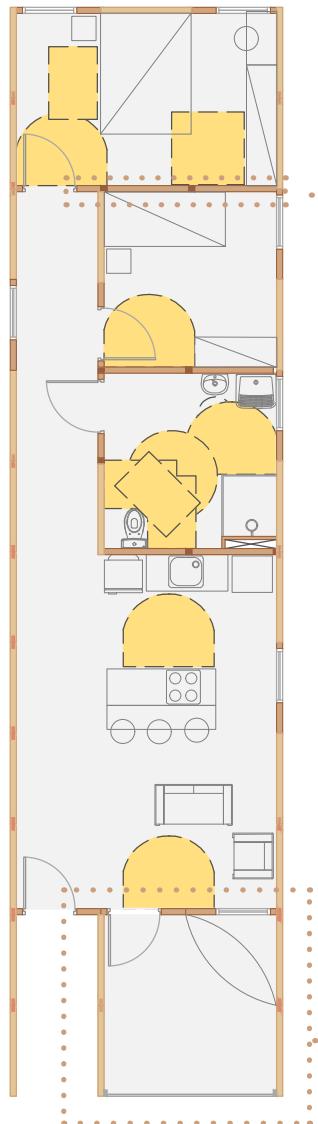
O ambiente principal da casa consiste em uma área integrada que contempla cozinha e sala. Assim como nas demais tipologias, previu-se uma varanda com acesso a partir da sala que pode configurar tanto uma área social, como uma expansão. Nesse caso, a residência totaliza 63m² de área privativa, ou 72m² contando com a área do terraço.



Esquema de transporte dos componentes em caminhão VUC padrão - Opção 1

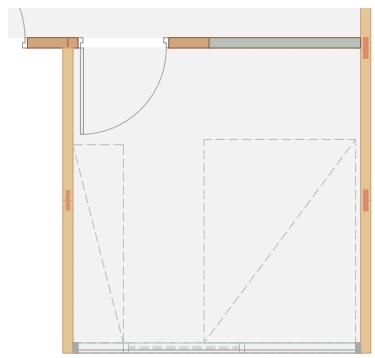
Assim como explicado anteriormente, sempre que possível optou-se por dispor as áreas molhadas de forma adjacente, a fim de concentrar pontos de água e tubulações de esgoto. Essa definição pode ser identificada no projeto, e garante maior facilidade na composição das instalações. Além disso, cabe ressaltar que a opção acessível contempla a área de banheiro juntamente à área de serviço, de forma a gerar um ambiente amplo e confortável ao usuário de cadeira de rodas.

Planta Opção PCD. - Opção 1



Paredes entre dormitórios podem ser retiradas, pois não possuem função estrutural

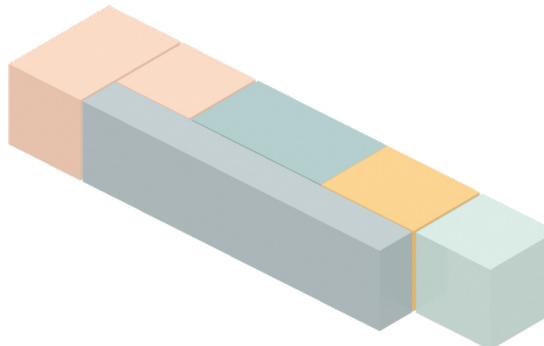
Modificação pós-ocupação - Opção 1



Esc 1:125

Outro aspecto importante de se comentar é que a divisória entre dormitórios é em painel de wood frame e não possui função estrutural, o que permite sua retirada conforme vontade dos usuários.

Esquema de Usos - Opção 1



- Circulação
- Área íntima
- Áreas molhadas
- Área social
- Varanda ou expansão

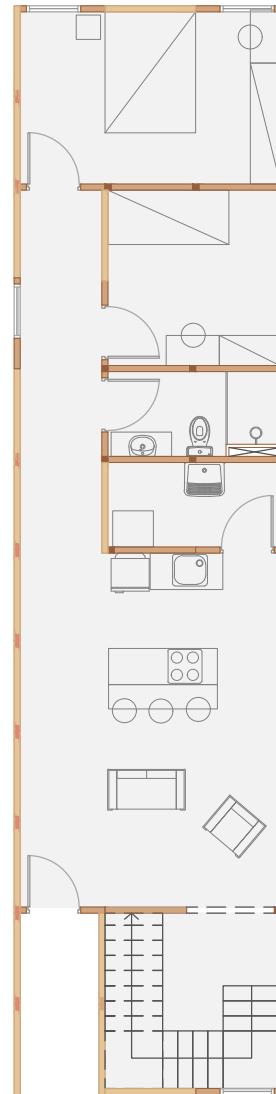
De forma geral, essa opção pode abrigar até 6 pessoas, pois conta com 2 dormitórios, e dá a opção de construção para um terceiro.

Pensando nesse programa, também foi proposta uma opção, com base nesse primeiro layout, em forma de sobrado, de forma que a área de expansão se configure na laje de cobertura. Essa opção garante uma área de expansão expressivamente maior, e também permite um ambiente mais generoso de convivência no segundo pavimento.

Para isso, a área de varanda proposta na opção térrea se transforma na área de encaixe da escada, que já foi pensada para se adequar ao módulo de 3m por 3m que se repete em todas as varandas. Dessa forma, é possível expandir o programa de 2 para 3 dormitórios com possibilidade de construção de um 4º.

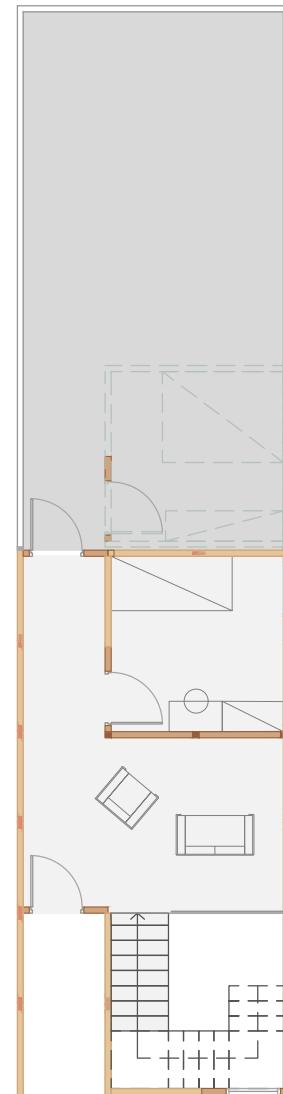
Essa opção é especialmente interessante para famílias numerosas ou para contextos em que várias gerações dividem o mesmo espaço. Além disso, pode ser uma possibilidade para aluguel de quartos, de forma a contribuir para a renda familiar dos moradores.

Planta 1º Pav. - Sobrado Opção 1



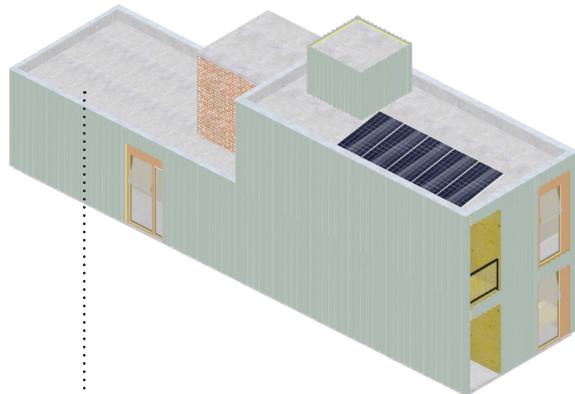
Esc 1:125

Planta 2º Pav. - Sobrado Opção 1



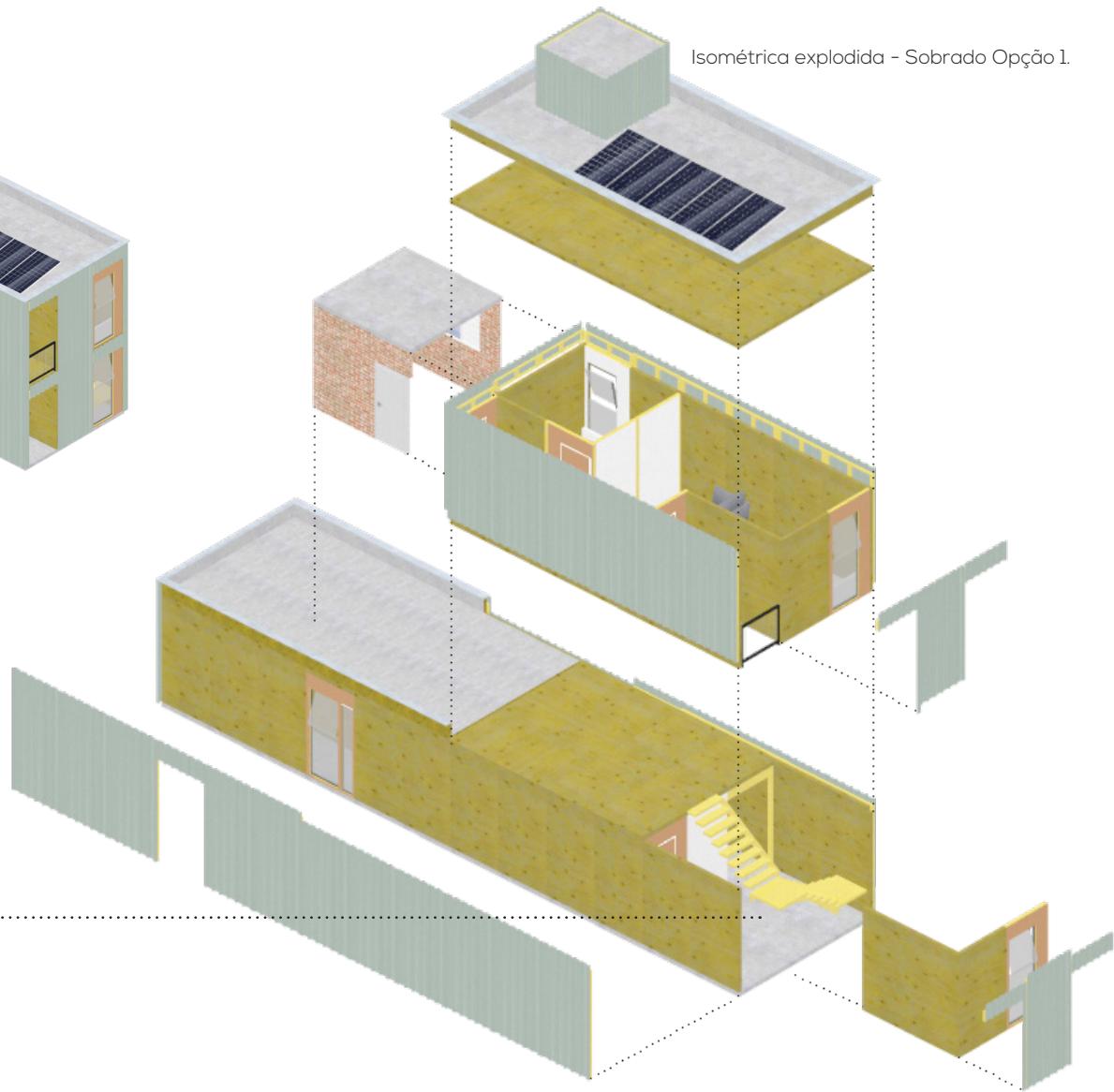
Esc 1:125

Isométrica - Sobrado Opção 1.



Laje de cobertura
livre para expansões
conforme
necessidade das
famílias

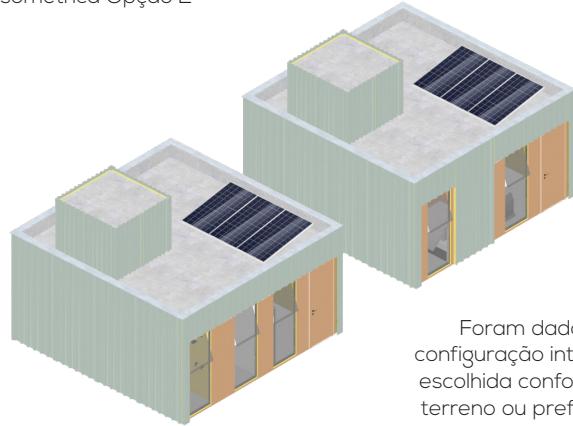
Isométrica explodida - Sobrado Opção 1.



Escada é posicionada
na antiga área de
varanda prevista na
opção térrea

Residência Unifamiliar | Opção 2

Isométrica Opção 2

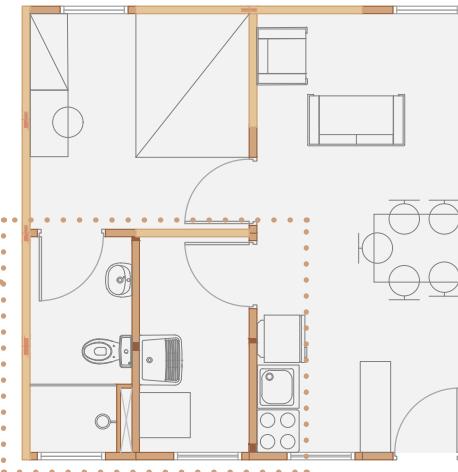


Foram dadas duas opções de configuração interna que pode ser escolhida conforme orientação do terreno ou preferência do usuário

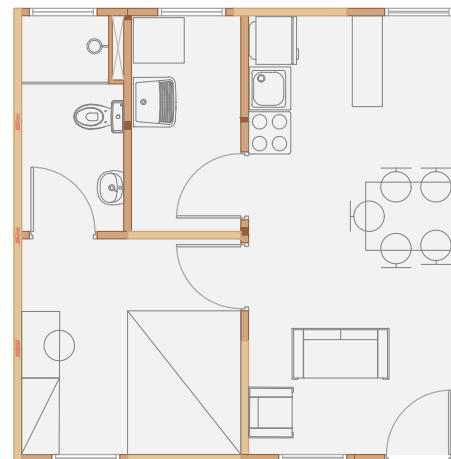
Essa opção foi pensada para configurar o mínimo viável para uma habitação considerando os componentes desenvolvidos. Possuidora de 33m² de área, ela possui apenas um dormitório e não fornece opção de expansão. Dessa forma, pode abrigar até 2 pessoas com tranquilidade, porém um número superior a este já traria certo desconforto aos usuários.

Se trata de uma opção compacta e será utilizada como uma das tipologias de apartamentos nos edifícios desenvolvidos ao final deste capítulo.

Proximidade entre áreas molhadas para otimizar as instalações hidráulicas

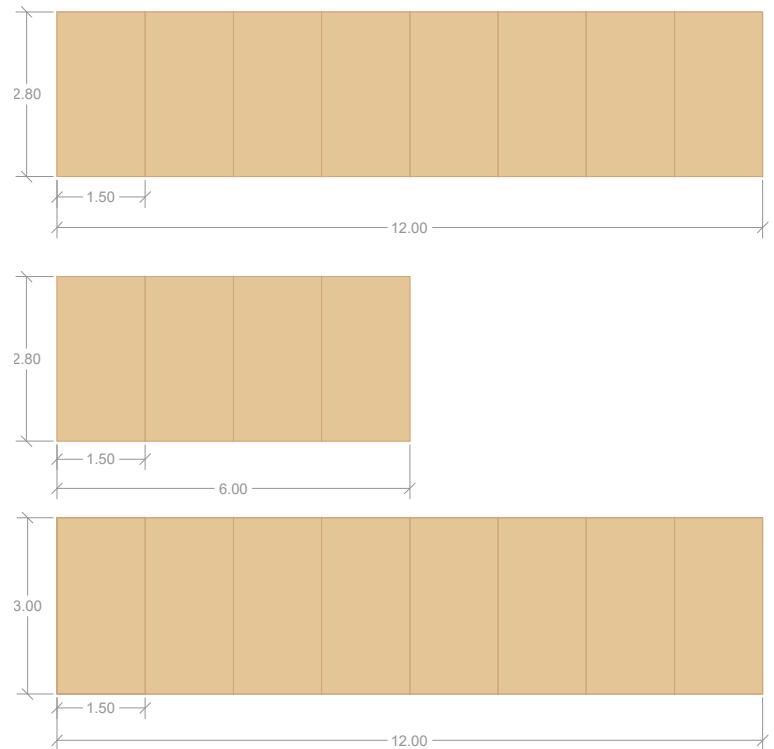


Planta 1º Pav. - Opção 2 - Entrada pela sala



Esc 1:100

Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 2. Medidas em metros.



Por ser uma opção mais compacta, a construção dessa versão requer uma quantidade menor de material, e menor quantidade de painéis diferentes

Isométrica explodida - Opção 2.

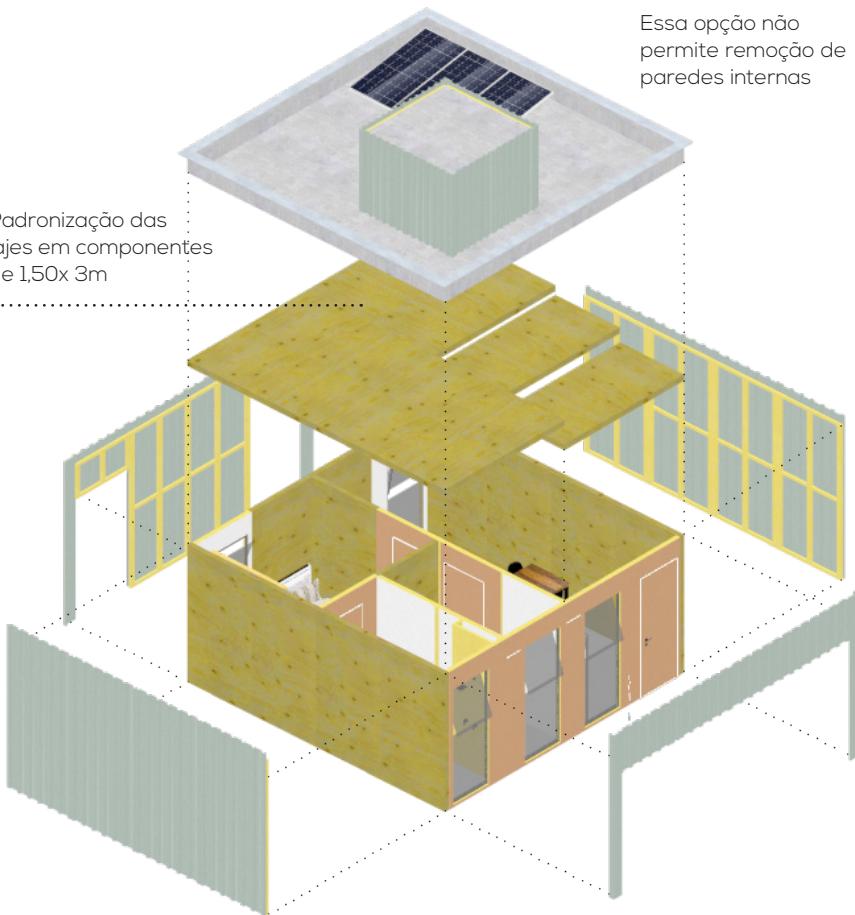
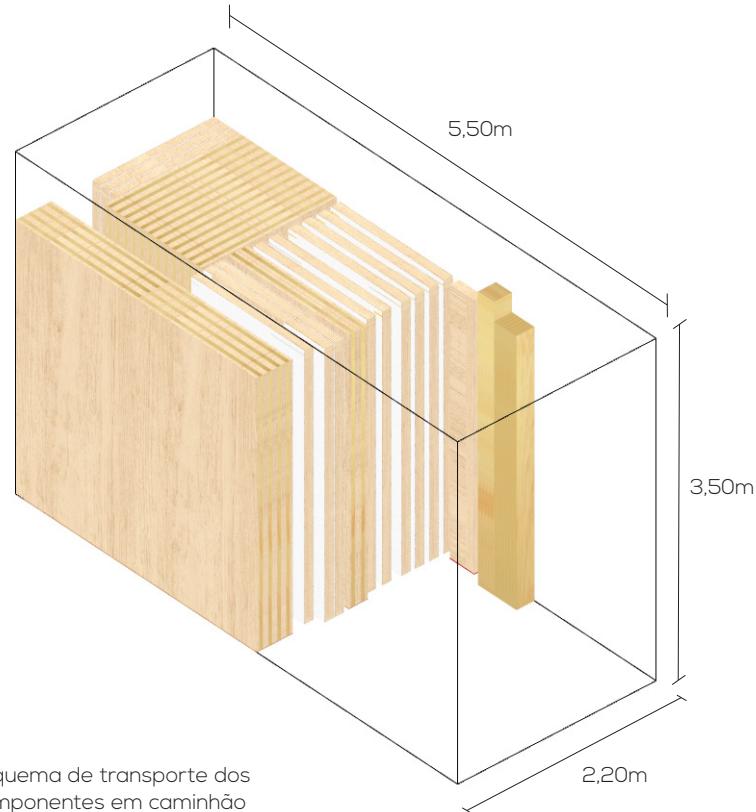


Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 2

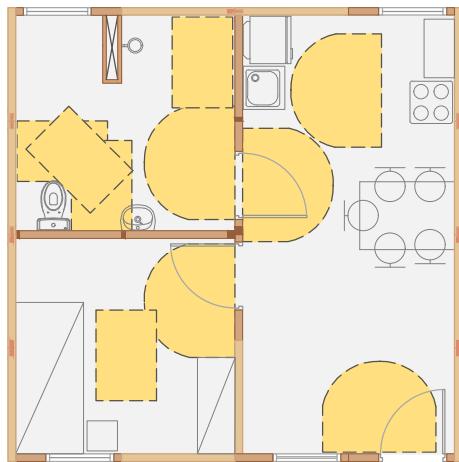
Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	12
Porta	4
Janela 1,50 m	2
Janela 1,40m	3
Laje 1,5mx3m	8
Conector 10 cm	2
Conector 5 cm	2
Parede Wood Frame	3
Conector Parede CLT	7
Conector Laje CLT	5

É válido ressaltar que a entrada dessa opção pode ser feita tanto pela sala como pela cozinha, alterando-se somente 2 painéis de lugar. Isso permite versatilidade quando utiliza-se essa opção como um apartamento, visto que a configuração de dois acessos garante maior flexibilidade de composições com outras unidades. Até mesmo nesse sentido é importante dar destaque ao fato de que duas das faces da unidade são propositalmente cegas, já pensando na possibilidade de geminação desse conjunto em caso de utilização como apartamento.

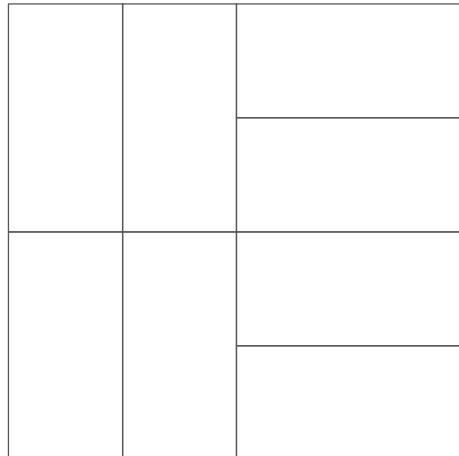


Esquema de transporte dos componentes em caminhão VUC padrão - Opção 2

Planta Opção PCD. -
Opção 2

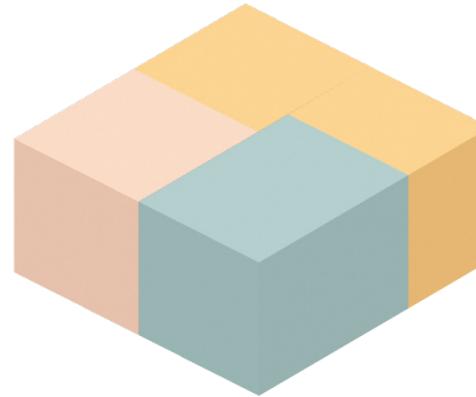


Posicionamento das
lajes de cobertura. -
Opção 2



Esc 1:100

Esquema de Usos - Opção 2

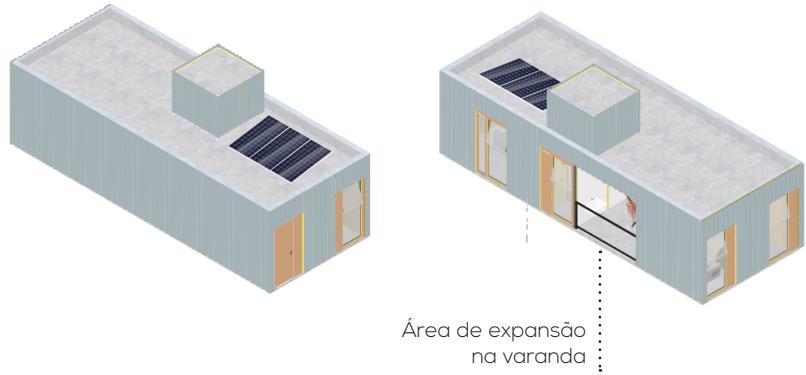


- Área íntima
- Áreas molhadas
- Área social
- Varanda ou expansão

Todas as lajes dessa opção são padronizadas, o que garante facilidade e rapidez na confecção dos projetos. Infelizmente, não é possível modificar as paredes internas dessa opção, pois, como pode ser verificado na imagem ao lado, todas as lajes se apoiam em cada uma das paredes.

Residência Unifamiliar | Opção 3

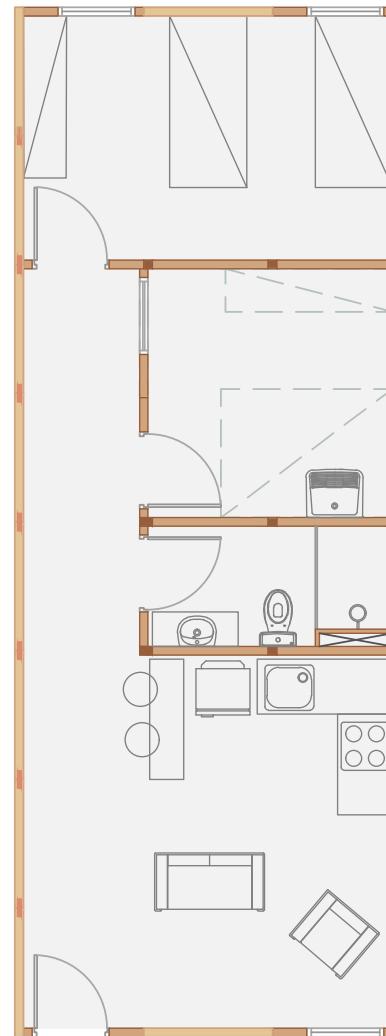
Isométrica Opção 3



A terceira opção funciona de forma similar à primeira, porém um dos quartos é suprimido para configuração da sacada, que é retirada da entrada da unidade. Essa tipologia também é voltada para famílias menores, visto que tem sua configuração inicial com um único dormitório, e pode chegar até 2 quartos quando realizada a expansão. Essa é a principal característica que difere esta opção da anteriormente apresentada.

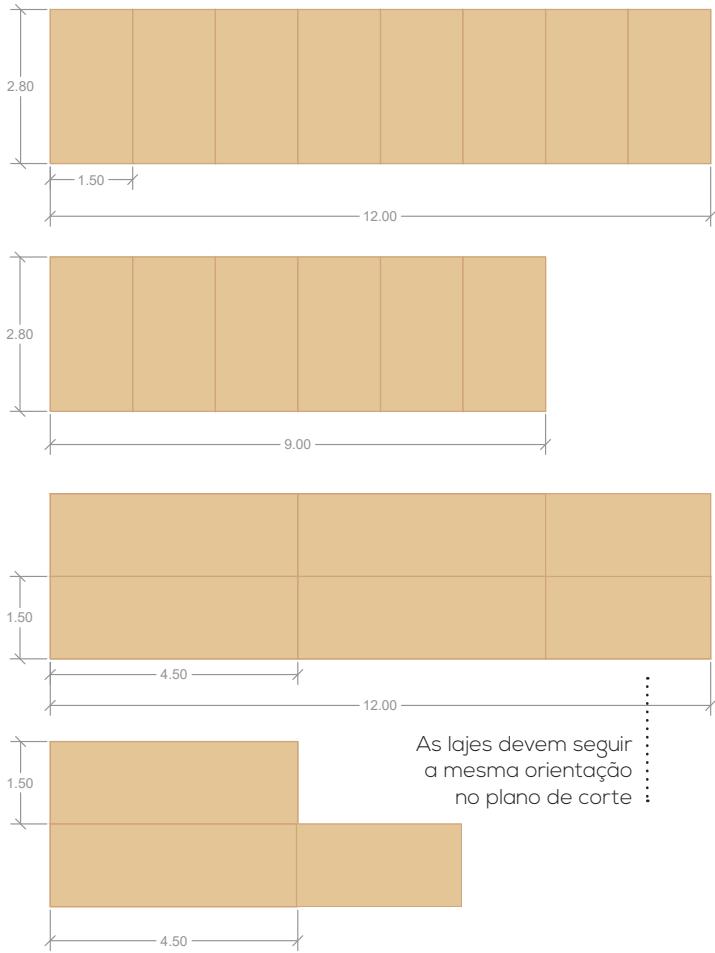
Contanto com 50 m², essa tipologia também possui uma das faces em fachada cega, característica intencional para facilitar o agrupamento ou geminação das unidades.

Planta 1º Pav. - Opção 3



Esc 1:100

Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 3. Medidas em metros.



Isométrica explodida - Opção 3.

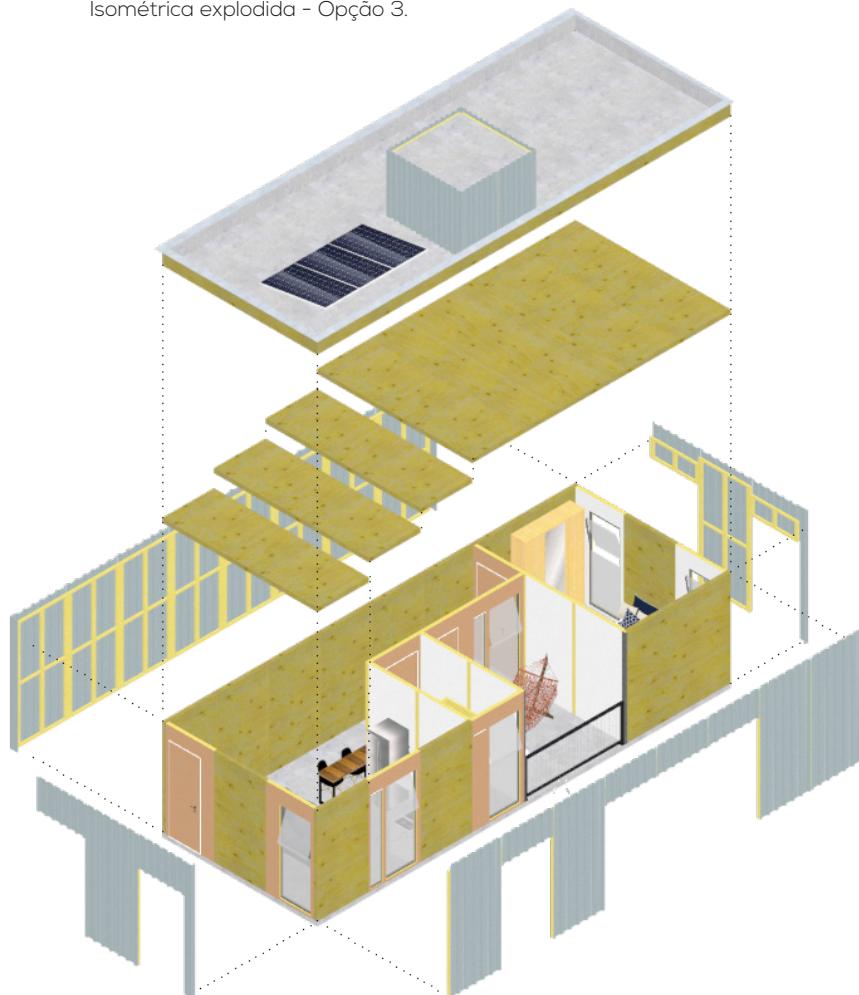
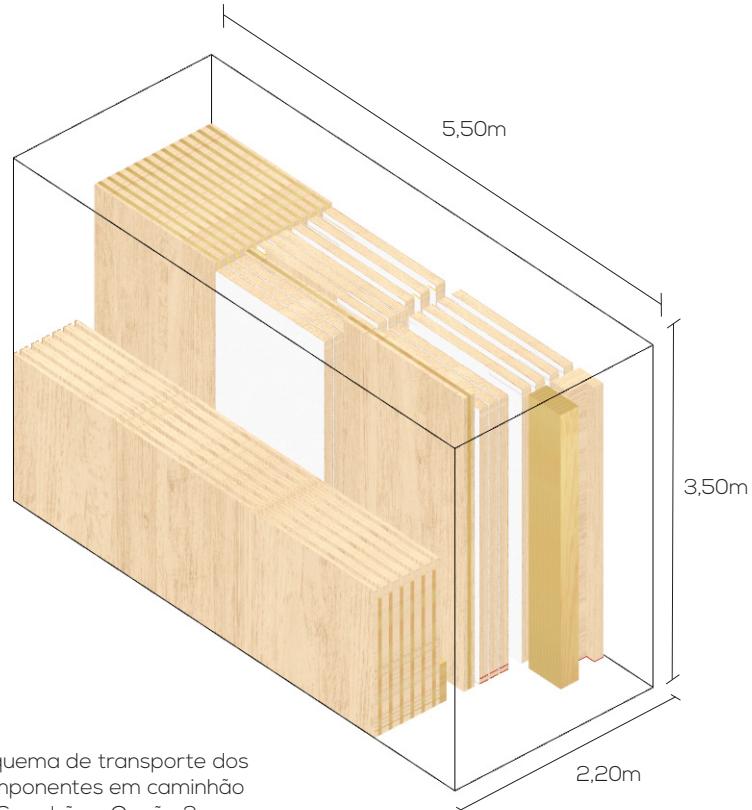


Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 3

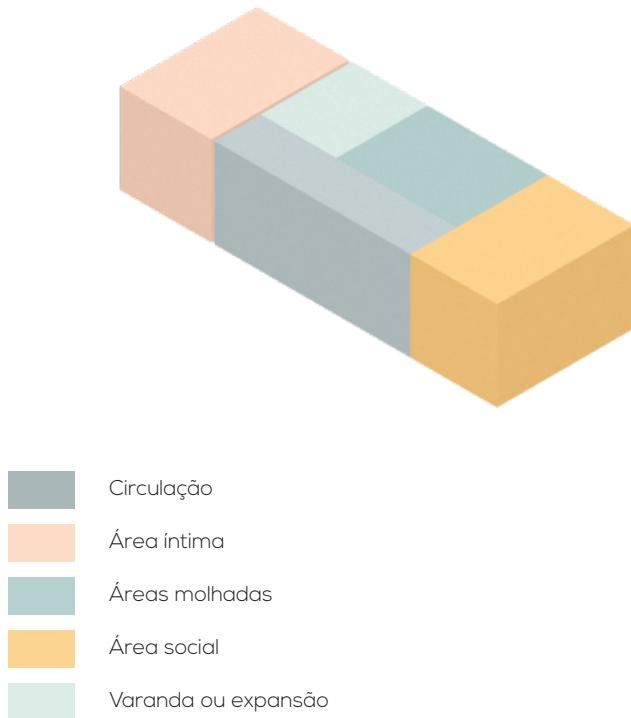
Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	14
Porta	4
Janela 1,50 m	3
Janela 1,40m	3
Laje 1,5mx3m	3
Laje 1,5mx4,5m	6
Conektor 10 cm	6
Conektor 5 cm	2
Parede Wood Frame	6
Conektor Parede CLT	8
Conektor Laje CLT	6

Assim como as demais opções, o projeto foi pensado para que todos os principais componentes estruturais pudessem ser transportados com auxílio de um caminhão VUC de tamanho padrão, de forma a otimizar o transporte.



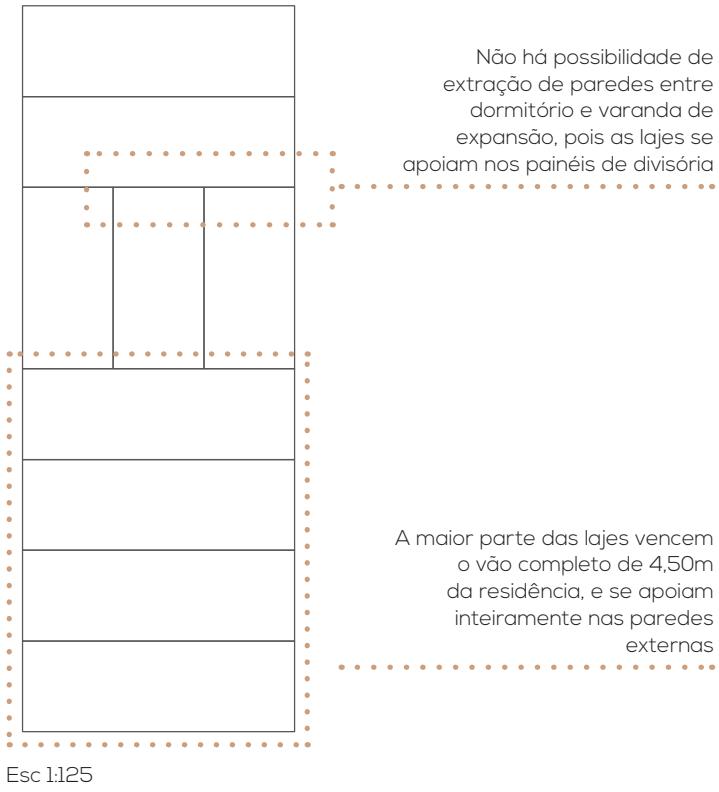
Esquema de transporte dos componentes em caminhão VUC padrão - Opção 3

Esquema de Usos - Opção 3



Não está prevista área de serviço para essa opção, que poderia ser instalada na varanda de expansão, mas deveria ser realocada em caso de ampliação. A supressão se deu devido às restrições para esse tipo de terreno, de cerca de 5m de frente por 15m de profundidade, aproximadamente.

Posicionamento das lajes de cobertura. - Opção 3



Residência Unifamiliar | Opção 4

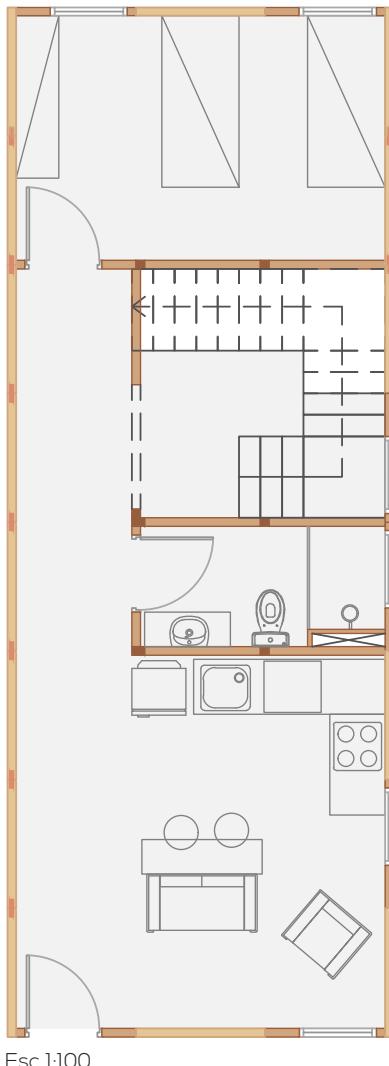
Isométrica Opção 4



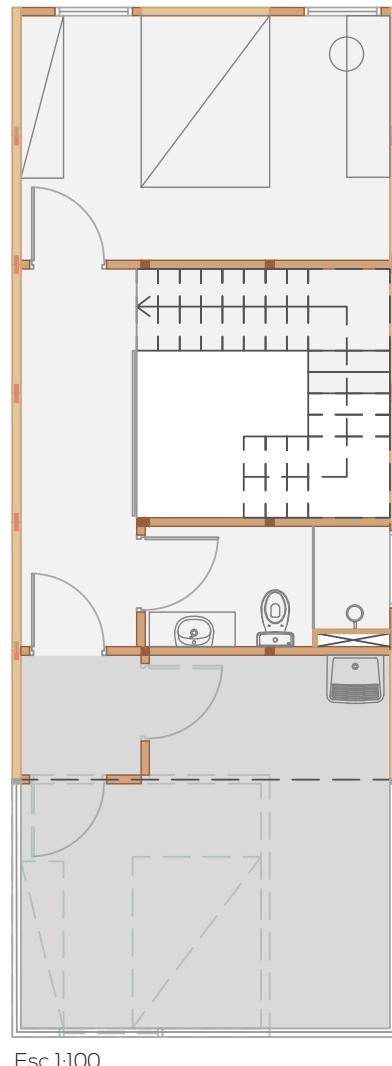
Essa opção se configura como a tipologia em sobrado da versão anterior. De forma similar ao explicado anteriormente, a escada é posicionada na antiga área de sacada, e dá acesso ao segundo pavimento, que conta com um dormitório e um banheiro. Além disso, o segundo pavimento possui uma área de varanda de 18m², que pode ser utilizada conforme necessidade dos moradores.

Todas as versões apresentadas até o momento foram pensadas para terrenos com até 5m de frente, terrenos estreitos, e diferem entre si em função do programa e posicionamento dos elementos modulares.

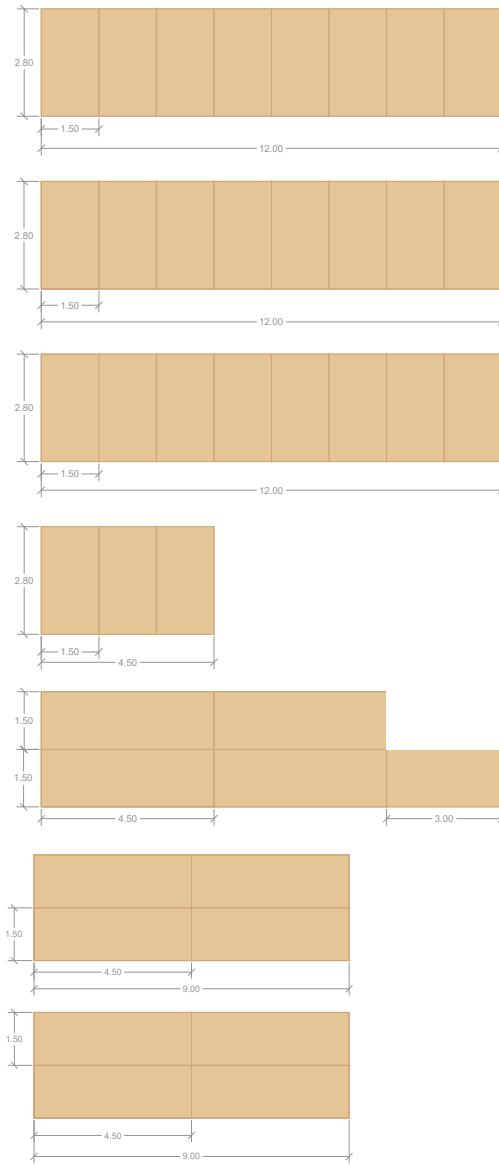
Planta 1º Pav. - Opção 4



Planta 2º Pav. - Opção 4



Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 4. Medidas em metros.



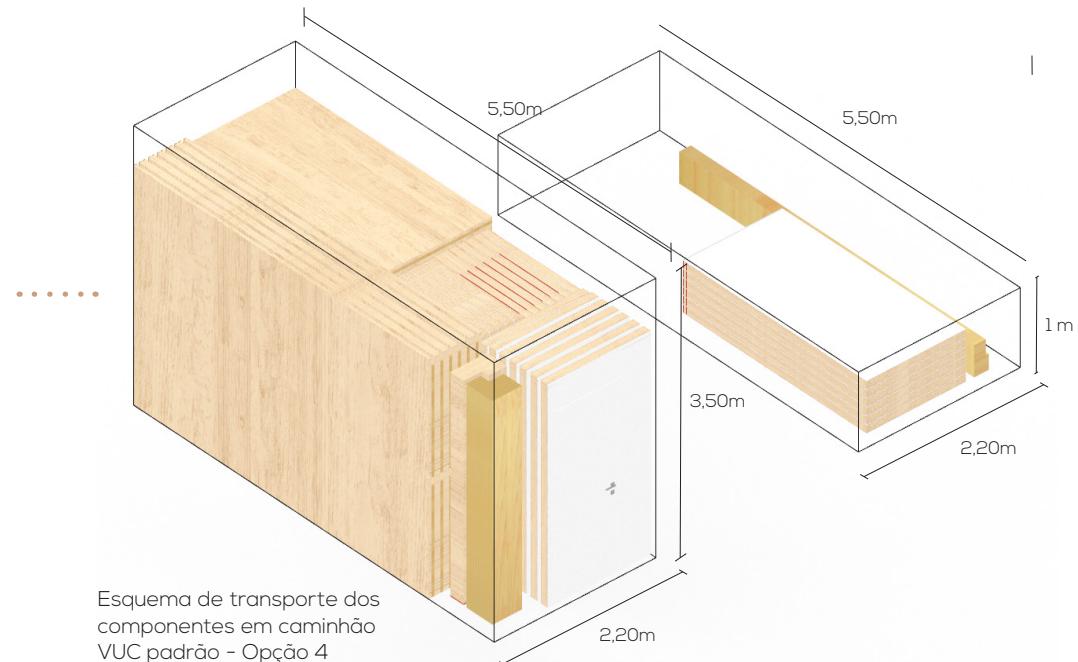
Isométrica em corte - Opção 4.



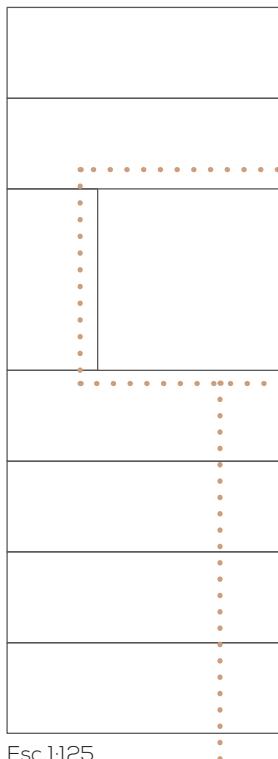
Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 4

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	27
Porta	6
Janela 1,50 m	4
Janela 1,40m	5
Laje 1,5mx3m	1
Laje 1,5mx4,5m	12
Conector 10 cm	11
Conector 5 cm	3
Parede Wood Frame	12
Conector Parede CLT	17
Conector Laje CLT	9
Painel Wood Frame (vão)	1

Por ser uma opção com um número maior de componentes modulares, um único caminhão VUC não é suficiente para o transporte integral das peças, sendo necessário o apoio de caminhão auxiliar. Entretanto, no caso de construção em larga escala, essa questão seria contornada.



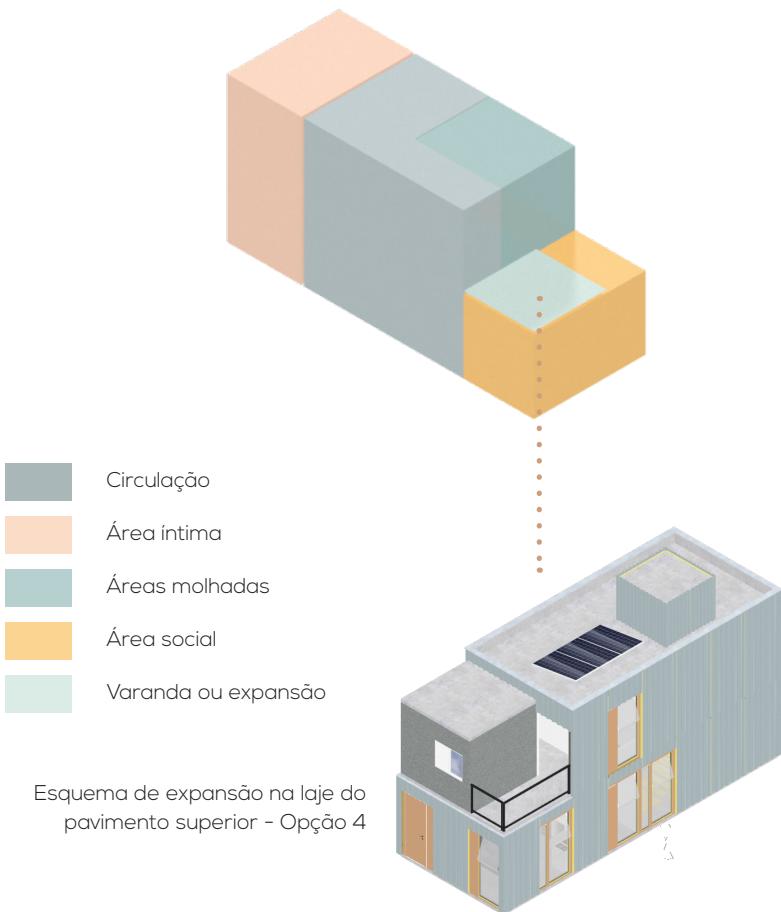
Posicionamento das lajes de cobertura. - Opção 4



Esc 1:125

- Área de alocação da escada
- A laje avança sobre a varanda para criar uma área coberta na sacada.

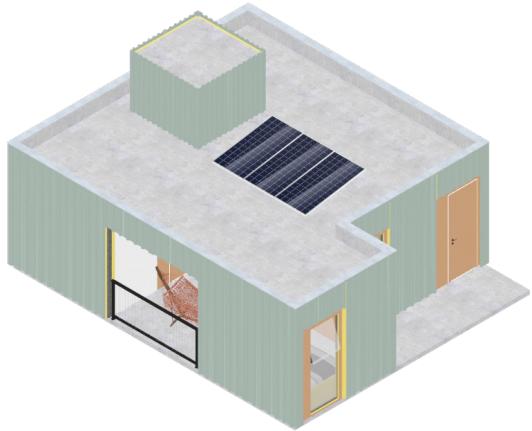
Esquema de Usos - Opção 4



Esquema de expansão na laje do pavimento superior - Opção 4

Residência Unifamiliar | Opção 5

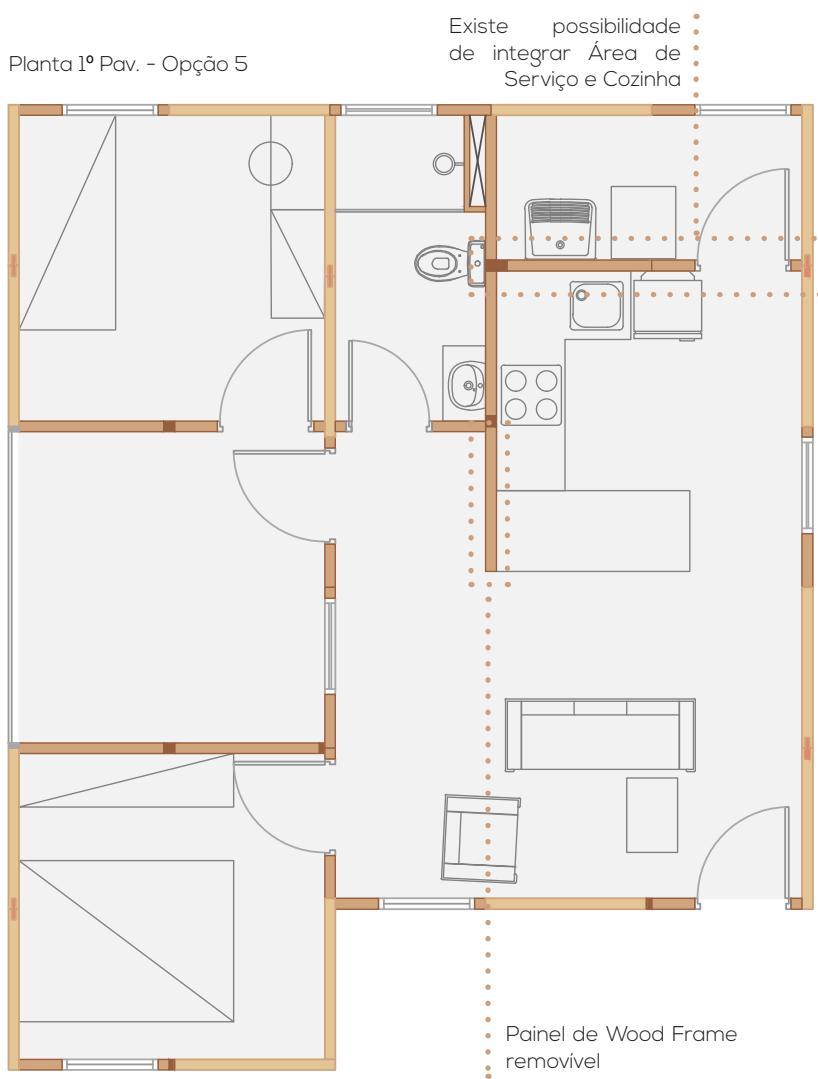
Isométrica Opção 5



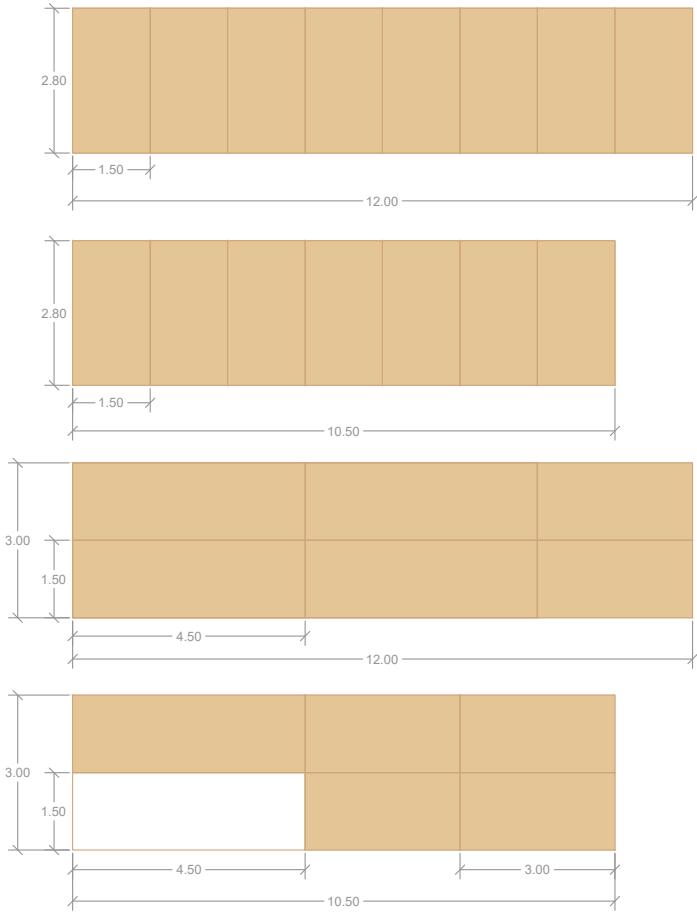
Essa opção possui 57m² e foi pensada para ampliar e centralizar o espaço social e de convivência na casa, além de trazer a varanda como um elemento mais presente na vida dos moradores.

A mesma varanda pode ser transformada em um dormitório, e, nesse caso, o layout necessita sofrer uma pequena modificação para garantir os acessos aos dormitórios.

Planta 1º Pav. - Opção 5



Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 5. Medidas em metros.



Isométrica explodida - Opção 5.

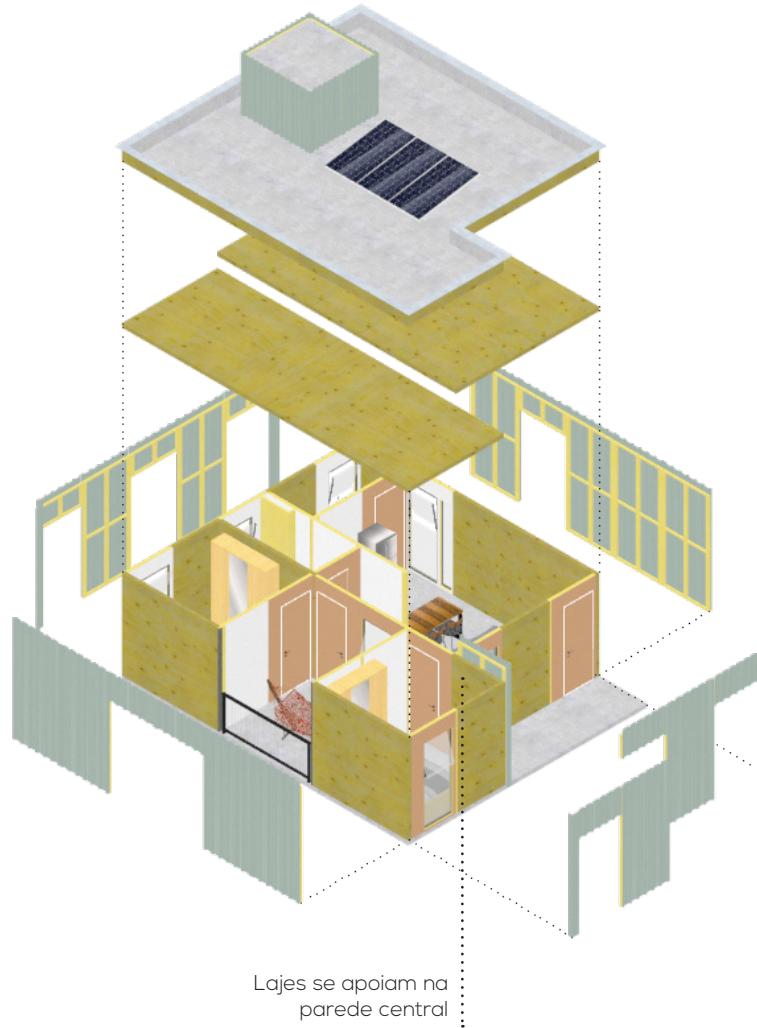
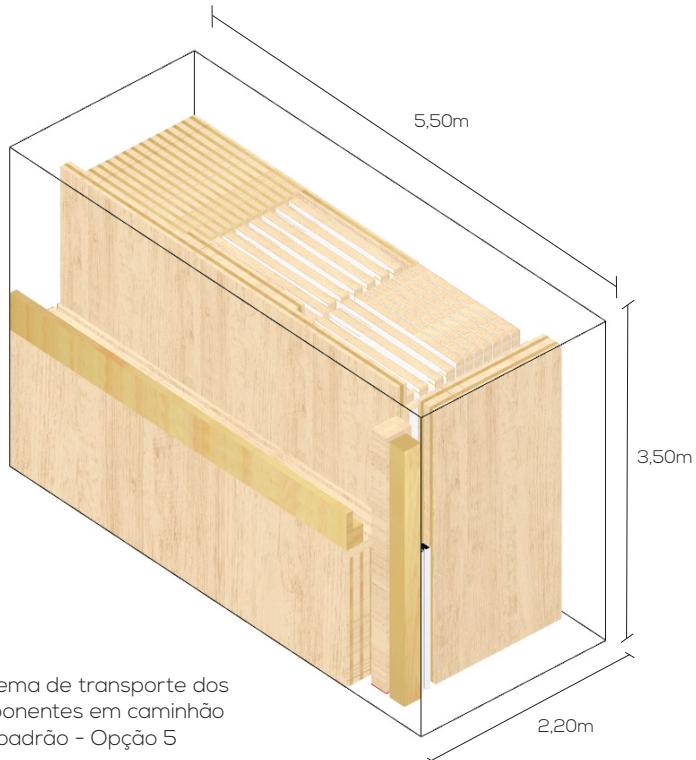


Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 5

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	15
Porta	6
Janela 1,50 m	3
Janela 1,40m	4
Laje 1,5mx3m	6
Laje 1,5mx4,5m	5
Conektor 10 cm	5
Conektor 5 cm	2
Parede Wood Frame	7
Conektor Parede CLT	5
Conektor Laje CLT	7

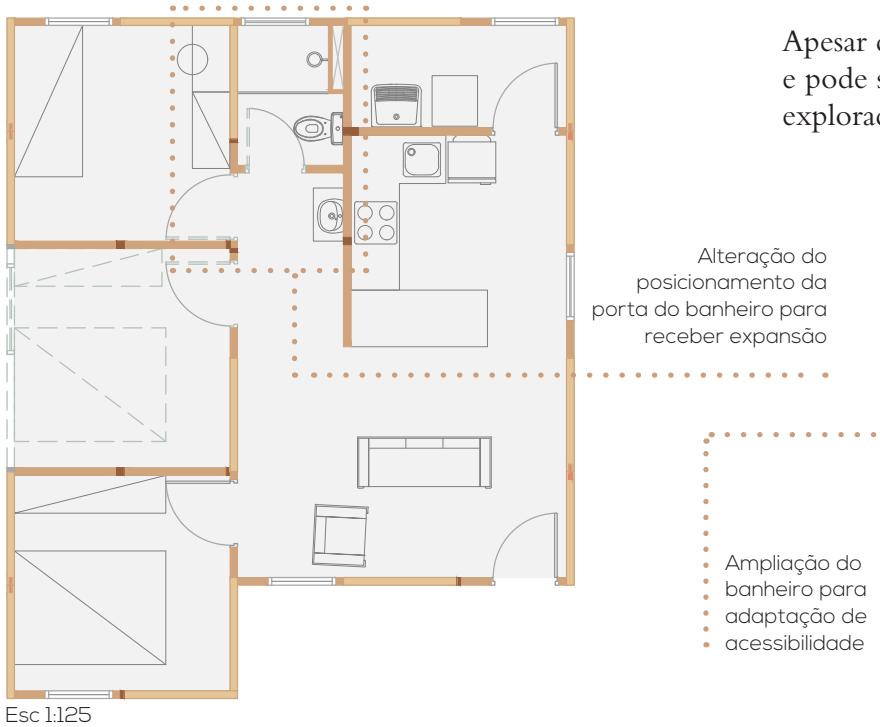
De forma geral, é uma opção com capacidade de abrigar 4 pessoas, podendo chegar até 6, o que permite a utilização por famílias mais numerosas.

Vale ressaltar que, para configurar a opção PCD desta versão, foi necessária a movimentação dos painéis de wood frame e supressão da área de serviço, de forma a criar uma cozinha integrada à esta última.



Esquema de transporte dos componentes em caminhão VUC padrão - Opção 5

Planta com alterações pós expansão - Opção 5

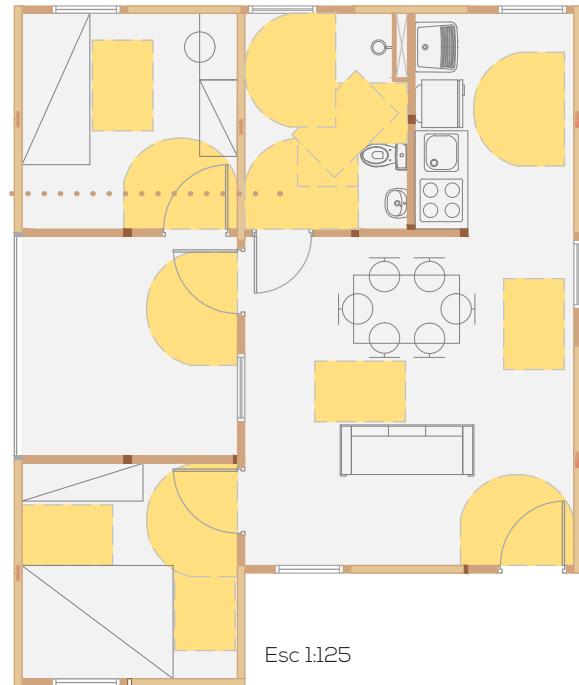


Assim como nos casos anteriores, a cozinha e a sala são ambientes integrados, e priorizou-se o máximo possível de aberturas de janela para garantir ventilação e iluminação natural adequada nos espaços. Por essa questão, nenhuma das fachadas dessa opção é cega, o que não permite seu agrupamento direto ou geminação sem a supressão de ao

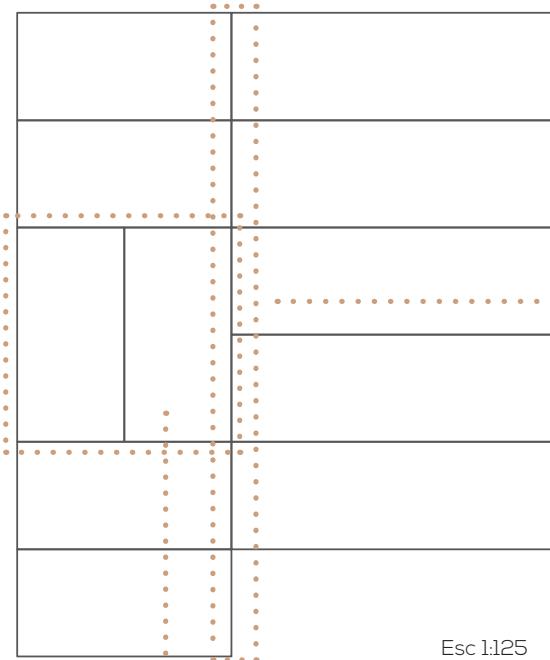
menos uma janela.

Apesar disso, essa opção se demonstrou bastante versátil, e pode ser configurada em diversas situações que serão exploradas em seguida.

Planta Opção PCD - Opção 5



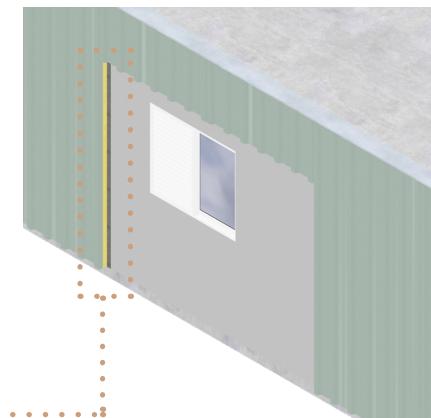
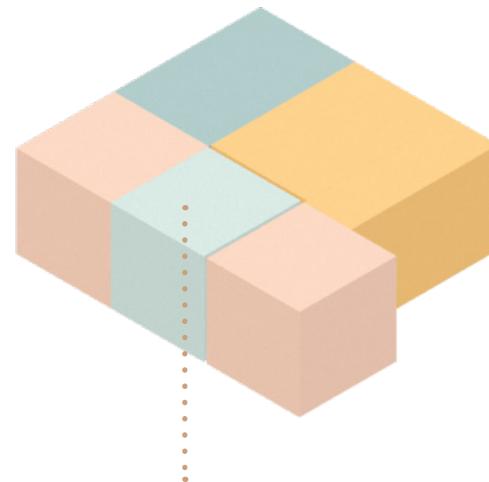
Posicionamento das lajes de cobertura. - Opção 5



Uma vez que as lajes da varanda estão apoiadas nas paredes dos dormitórios, não há possibilidade de extração dessas paredes.

Previsão de perfil metálico para isolar a estrutura de CLT do método construtivo que constitui o fechamento da expansão

Esquema de Usos - Opção 5

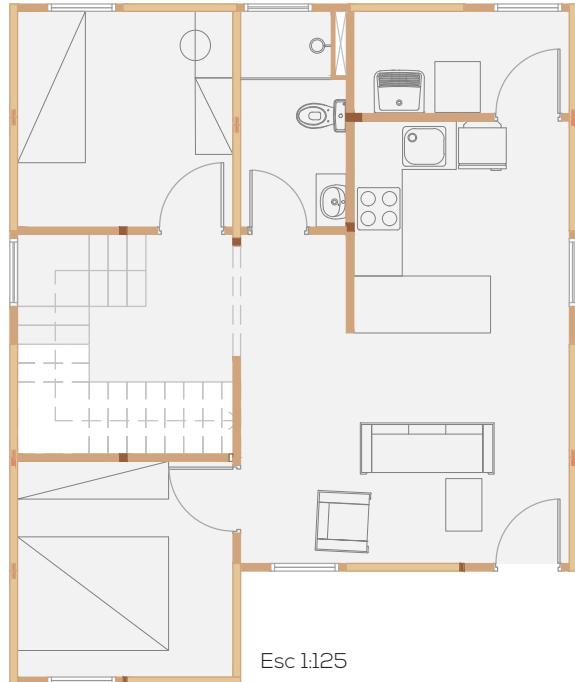


	Circulação
	Área íntima
	Áreas molhadas
	Área social
	Varanda ou expansão

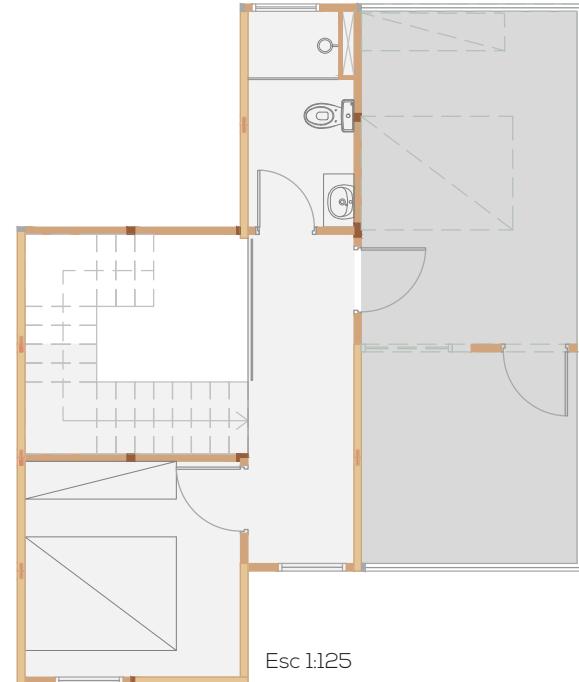
Esquema de expansão na varanda- Opção 5

Residência Unifamiliar | Opção 6

Planta 1º Pav. - Opção 6



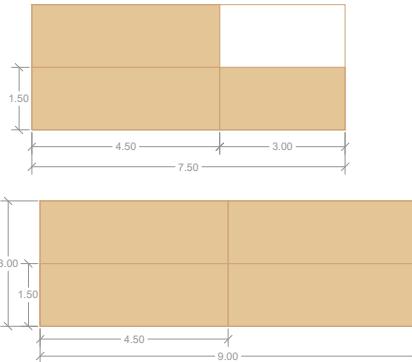
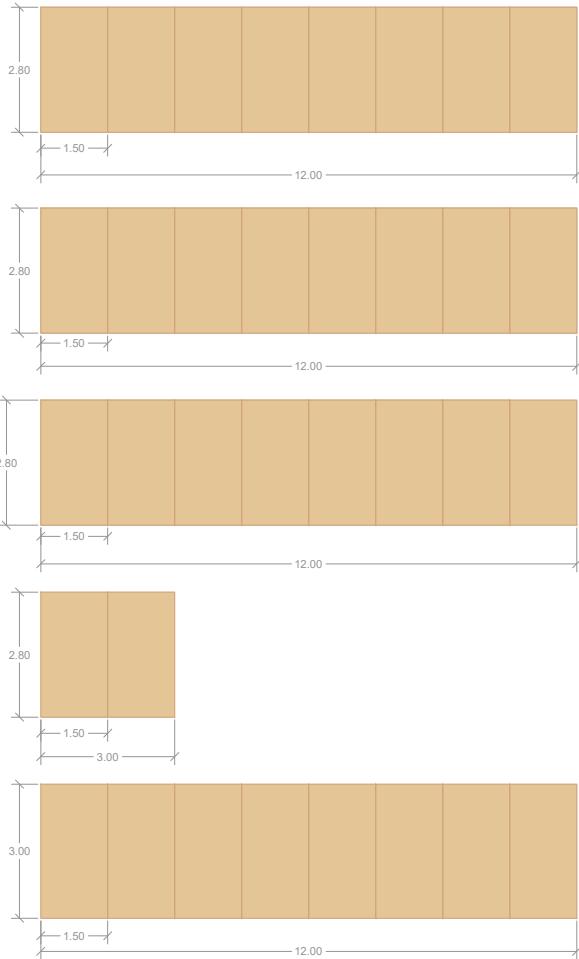
Planta 2º Pav. - Opção 6



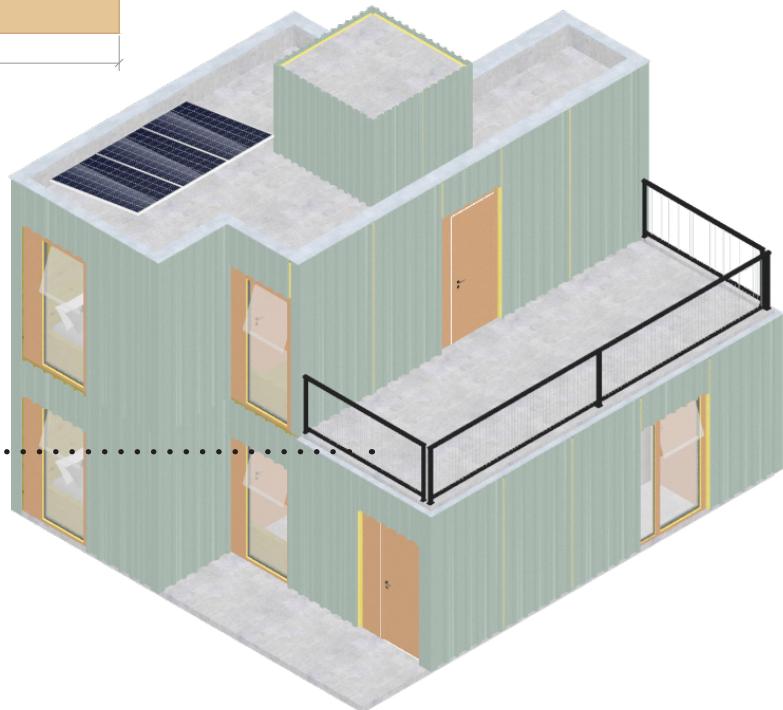
Essa opção expressa a versão anterior em sua configuração como sobrado, passando ao total de 75m² de área. Essa opção é interessante porque garante uma grande área de expansão na cobertura do segundo pavimento, e é capaz de abrigar até 8-10 pessoas caso a expansão seja concluída.

Diferentemente das demais opções, esta versão e a anterior não permitem a retirada dos painéis de wood frame entre dormitórios e dormitórios e varandas. Isso porque, nesse caso, as lajes se apoiam nestes painéis, ou seja, possuem função estrutural.

Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 6. Medidas em metros.



Isométrica - Opção 6.

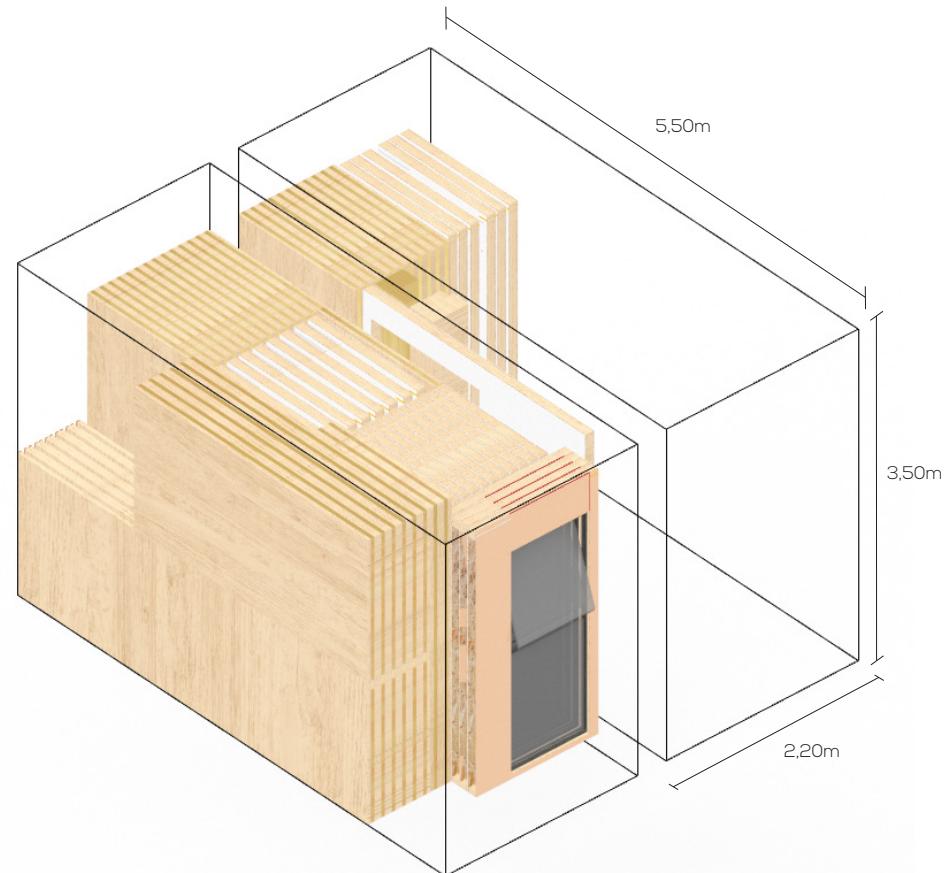


Laje prevista para
expansão conforme
necessidade do usuário.
• • • • •

Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 6

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	26
Porta	8
Janela 1,50 m	4
Janela 1,40m	6
Laje 1,5mx3m	9
Laje 1,5mx4,5m	6
Conektor 10 cm	10
Conektor 5 cm	3
Parede Wood Frame	13
Conektor Parede CLT	11
Conektor Laje CLT	9
Painel Wood Frame (vão)	1

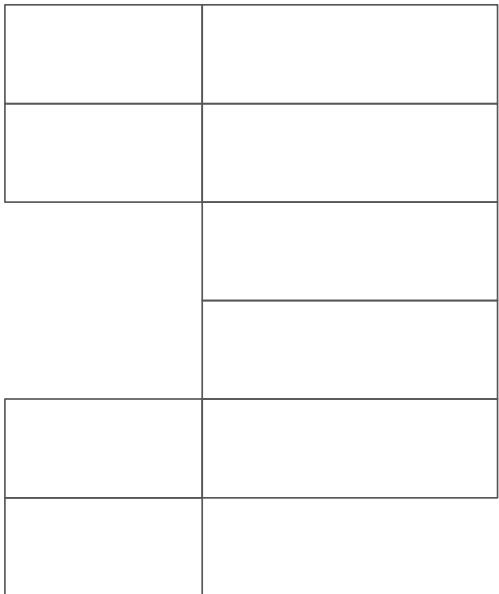
Assim como a opção de número 4, um único caminhão VUC não seria suficiente para transportar integralmente todos os componentes estruturais dessa tipologia, visto se trata de uma opção com elevada quantidade de peças. Nesse sentido, ao realizar a distribuição no contêiner, percebe-se que idealmente, para otimizar o transporte, seria interessante realizar a construção dessa opção em duplas, de forma a utilizar integralmente dois contêineres.



Esquema de transporte dos componentes em caminhão VUC padrão - Opção 6

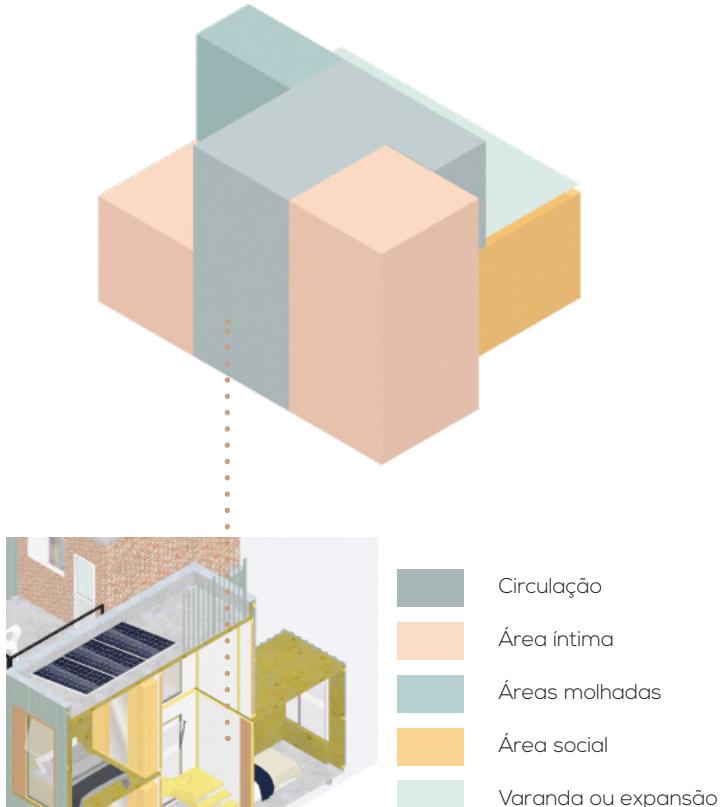
Posicionamento das lajes de cobertura. - Opção 6

1º Pav.



2º Pav.

Esquema de Usos - Opção 6



De forma similar à opção anterior, essa versão também conta com um eixo central de apoio às lajes.

Se trata de uma opção interessante para estimular expansão em altura e adensamento vertical.

Esquema em corte da área da escada -Opção 6

Esquema de aplicação em terrenos sinuosos - Opção 6

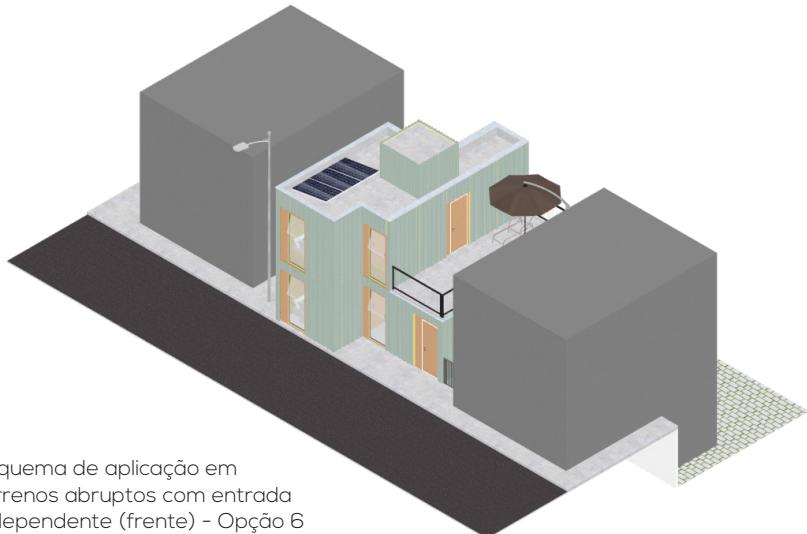


Para essa opção de tipologia foram estudadas aplicações em terrenos em declive e aclive, de forma a demonstrar as soluções de projeto para esses casos.

A figura ao lado expressa uma dessas situações, em que, ao invés de utilizar a laje em radier para configurar a primeira laje da residência, faz-se necessário o uso da fundação desenvolvida no capítulo anterior, que consiste em blocos de concreto e uma estrutura metálica regulável para sua adequação em terrenos mais íngremes. Assim, cada casa pode ser nivelada de forma independente adaptando-se à topografia do terreno, o que permite ganhos em tempo e custos economizados com terraplenagem.

Render humanizado da solução de fundação em terrenos sinuosos

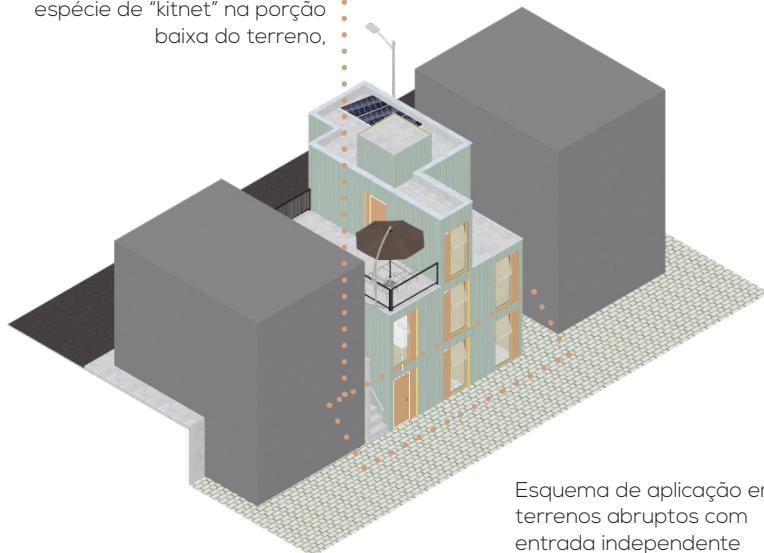




Esquema de aplicação em terrenos abruptos com entrada independente (frente) - Opção 6

Outra opção que foi explorada foi o caso de uma declividade abrupta. Nesse caso, o contato da parte inferior da residência com o solo deve receber um tratamento específico, em que se tem uma estrutura de contenção em concreto, e o mesmo detalhe de expansão em que a estrutura é afastada do concreto através de um perfil metálico e um barrote de madeira. Após esse cuidado de execução, as demais peças podem ser os próprios componentes modulares utilizados nos demais ambientes da casa.

Possibilidade de construir uma espécie de "kitnet" na porção baixa do terreno,



Esquema de aplicação em terrenos abruptos com entrada independente (fundos) - Opção 6

Além disso, essa é uma opção interessante, pois pode gerar uma entrada independente e configurar duas casas distintas, uma sobre a outra. Assim, pode-se criar uma coabitAÇÃO em que diferentes famílias dividem o mesmo terreno.

Render humanizado da aplicação em terrenos abruptos com entrada independente (frente)



Render humanizado da aplicação em terrenos abruptos com entrada independente (fundos)



Render humanizado da aplicação do sobrado com comércio no térreo.



Entrada independente por
escada pré-fabricada com
estrutura própria

Por fim, ainda pensou-se na possibilidade de configurar o pavimento térreo como um estabelecimento comercial, que pode ser da própria família moradora como alugado para terceiros. Essa opção é interessante, pois concentra tanto moradia como o trabalho dos usuários no mesmo lugar, e é algo recorrente na cultura habitacional e urbanística brasileira.



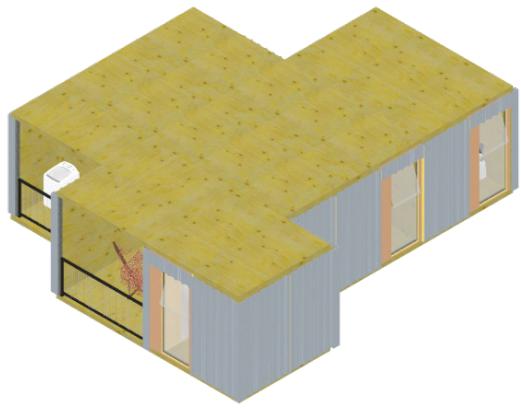
Esquema de aplicação
do sobrado com
comércio no térreo. -
Opção 6

Render humanizado da aplicação do sobrado com comércio no térreo.



Apartamento | Opção 7

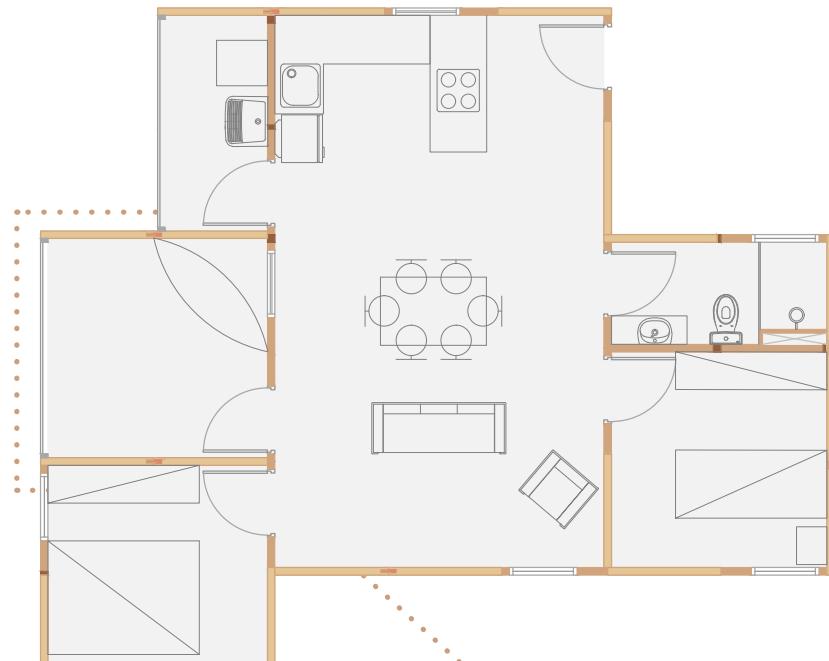
Isométrica Opção 7



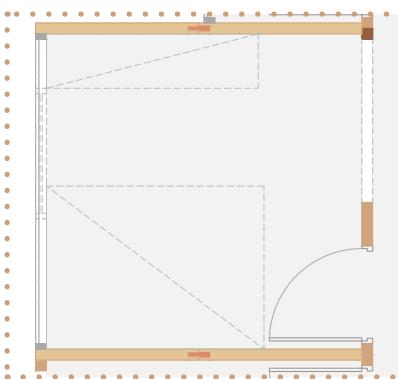
Agora serão discutidas as opções que somente sugere-se que sejam utilizadas como apartamentos. Essa tipologia em questão possui 65m² e possui a área social mais abrangente das versões propostas.

A planta busca priorizar o convívio dos moradores nos espaços centrais de sala, cozinha e varanda, de forma a criar um núcleo de encontro na casa. Nas bordas localizam-se os dormitórios e a varanda, que, assim como nos demais casos, configura-se como área de expansão caso desejado.

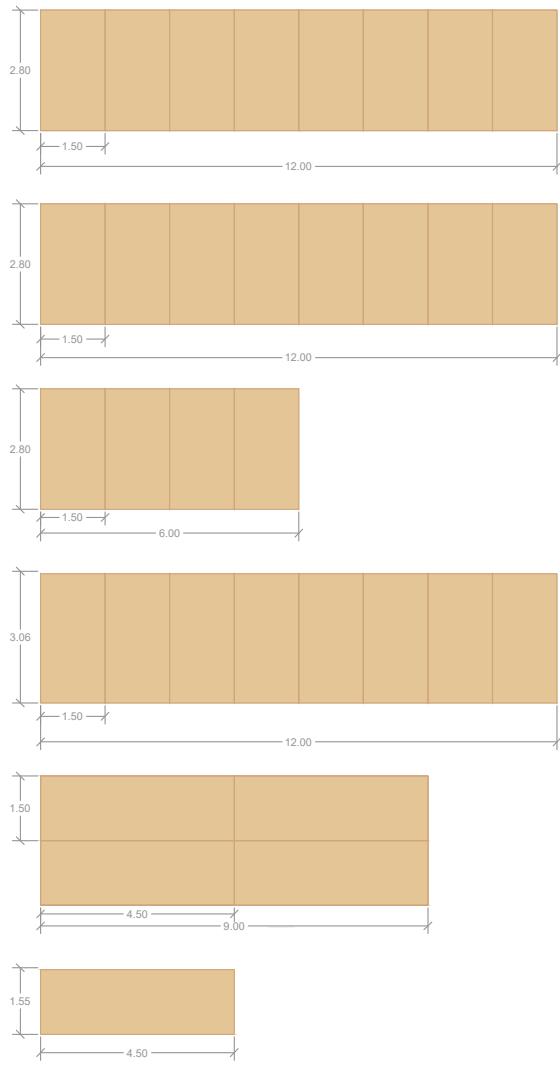
Planta 1º Pav. - Opção 7



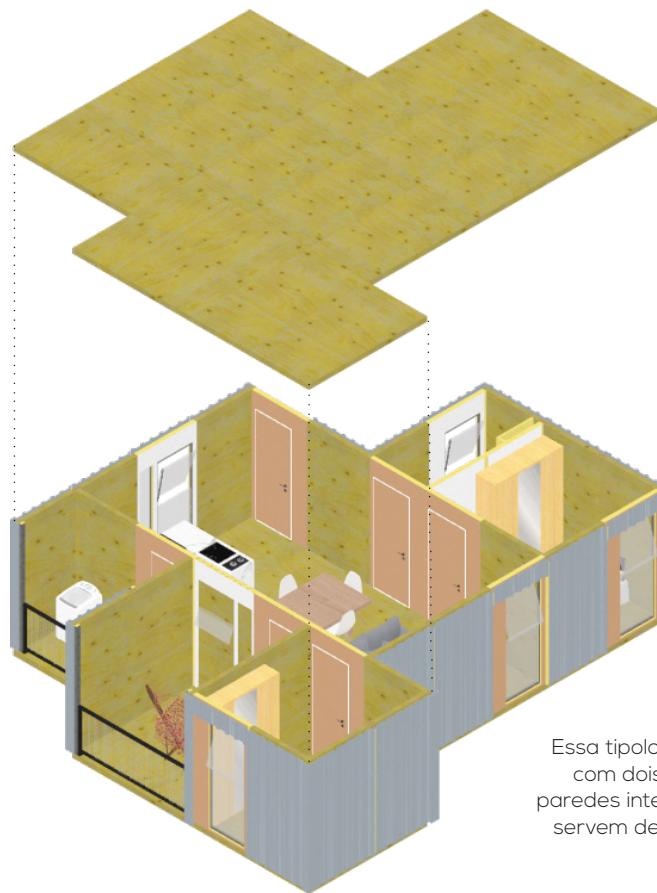
Esquema de possibilidade de ampliação



Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 7. Medidas em metros.



Isométrica explodida - Opção 7.



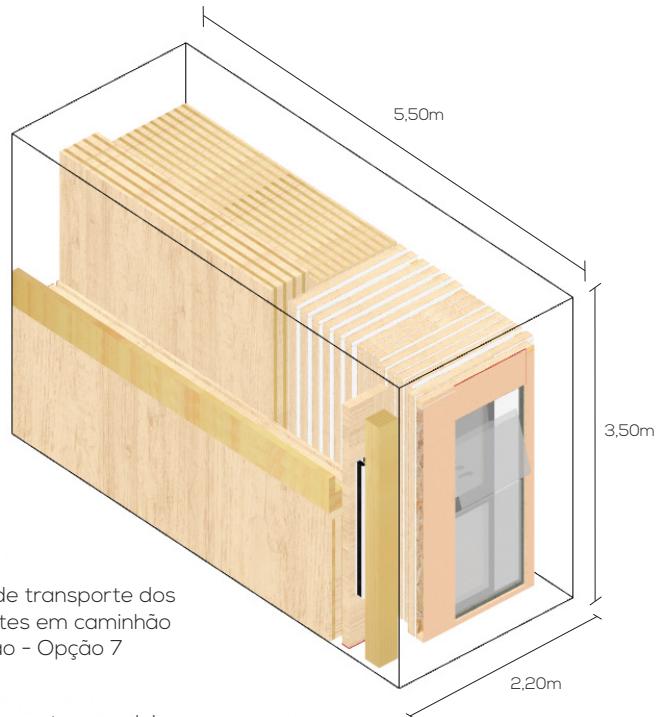
Essa tipologia conta com dois eixos de paredes internas que servem de apoio às lajes

Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 7

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	20
Porta	6
Janela 1,50 m	2
Janela 1,40m	4
Laje 1,5mx3m	8
Laje 1,5mx4,5m	5
Conektor 10 cm	3
Conektor 5 cm	4
Parede Wood Frame	3
Conektor Parede CLT	6
Conektor Laje CLT	7

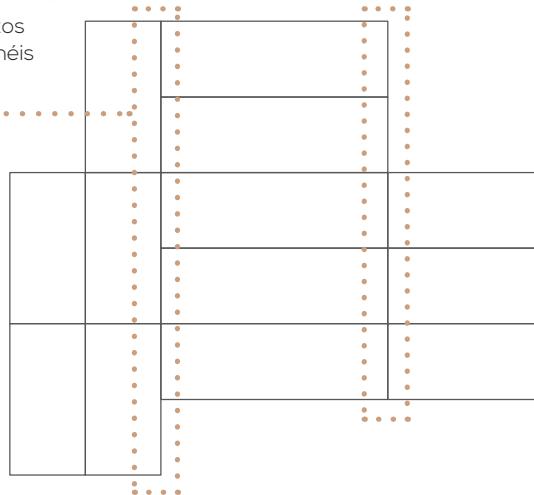
Uma das faces dessa opção é cega, o que permite seu agrupamento. Nesse sentido, cabe ressaltar que essa versão foi pensada para localizar-se nas extremidades do edifício, uma vez que possui varandas na fachada oposta à entrada, e busca-se priorizar aspectos como vistas, iluminação natural e ventilação.

A versão PCD dessa tipologia consiste na ampliação



Esquema de transporte dos componentes em caminhão VUC padrão - Opção 7

Essa opção conta com dois eixos centrais nos quais as paredes apoiam três conjuntos de lajes. Nenhum desses painéis pode ser removido

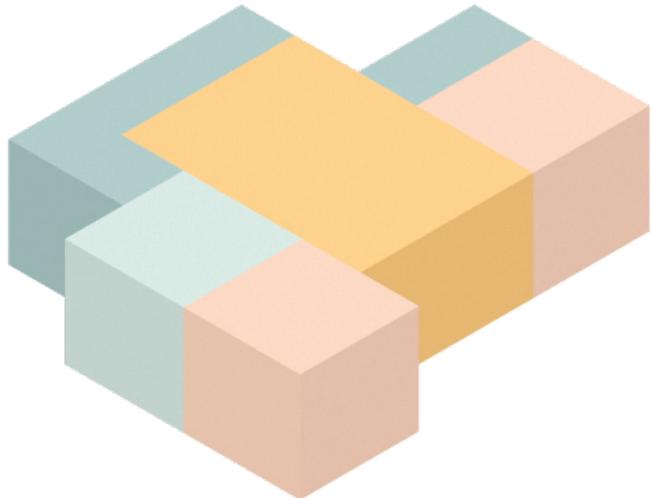


Posicionamento das lajes de cobertura. - Opção 7

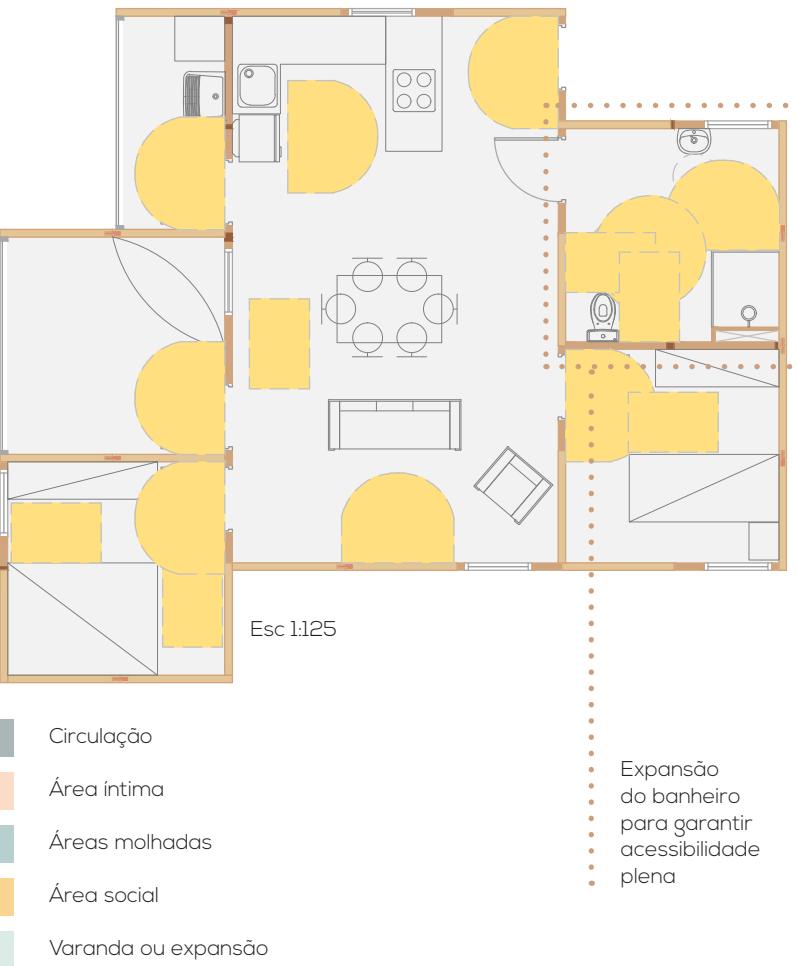
do banheiro, que foi propositalmente recuado da área de entrada para garantir essa possibilidade, além de atribuir mais privacidade aos usuários.

Assim como a versão anterior, essa opção permite abrigar de 4 a 6 moradores, dependendo da expansão realizada.

Esquema de Usos - Opção 7

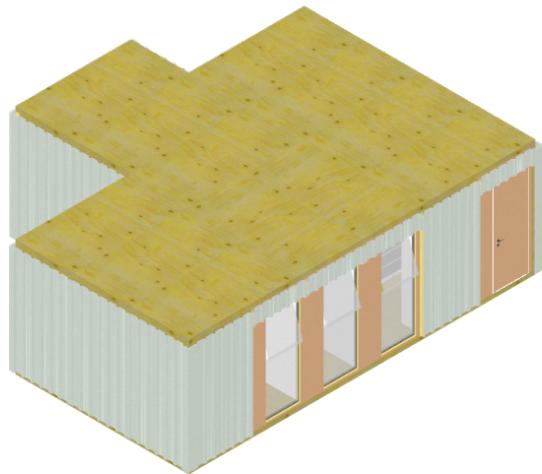


Planta Opção PCD. - Opção 7



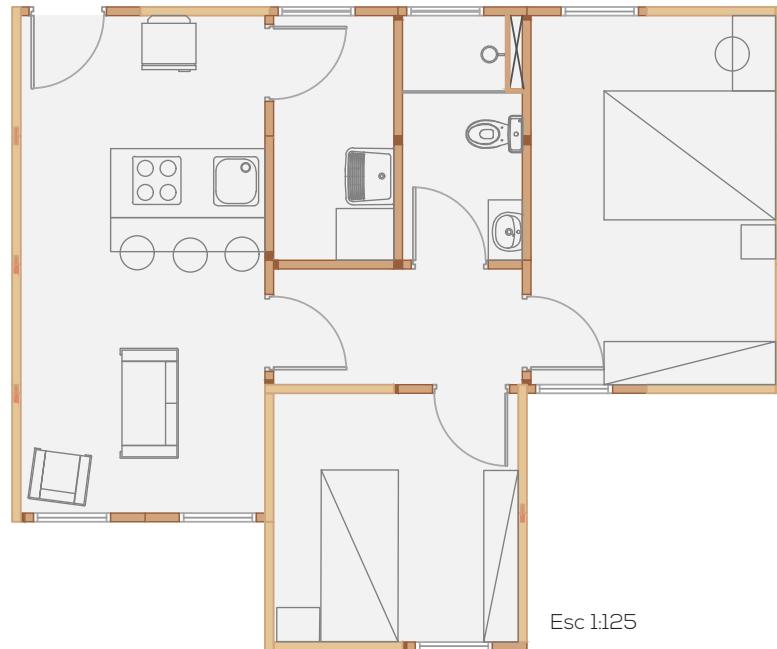
Apartamento | Opção 8

Isométrica Opção 8

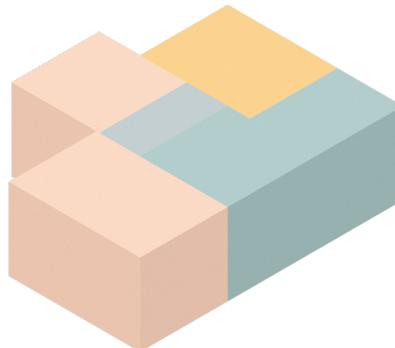


Por fim, essa versão foi pensada para funcionar como apartamento somente, assim como a anterior. Entretanto, elas diferem no sentido de que esta opção não conta com área prevista para expansão, e por isso, não pode abrigar confortavelmente mais de 4 pessoas. É uma opção pensada para famílias mais restritas.

Planta 1º Pav. - Opção 8

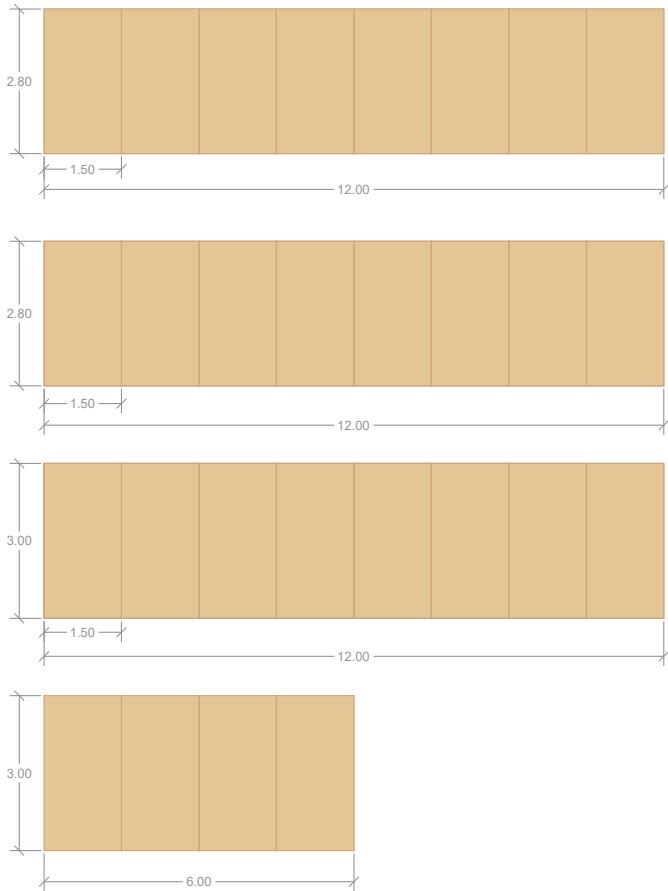


Esquema de Usos - Opção 8

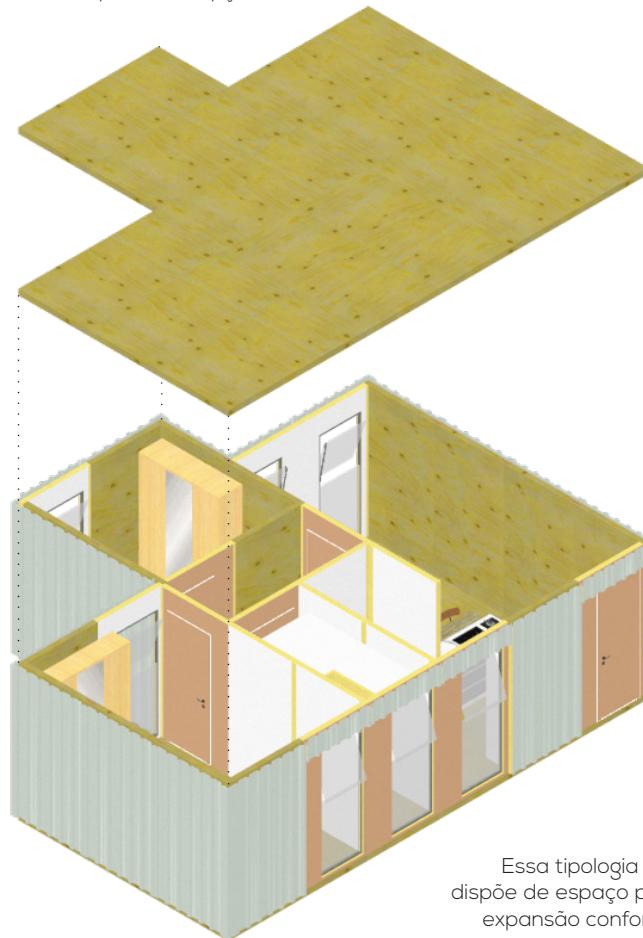


Escuro cinza	Circulação
Claro laranja	Área íntima
Verde escuro	Áreas molhadas
Amarelo	Área social
Claro verde	Varanda ou expansão

Plano de corte dos painéis de CLT (paredes e lajes) - Opção 8. Medidas em metros.



Isométrica explodida - Opção 8.

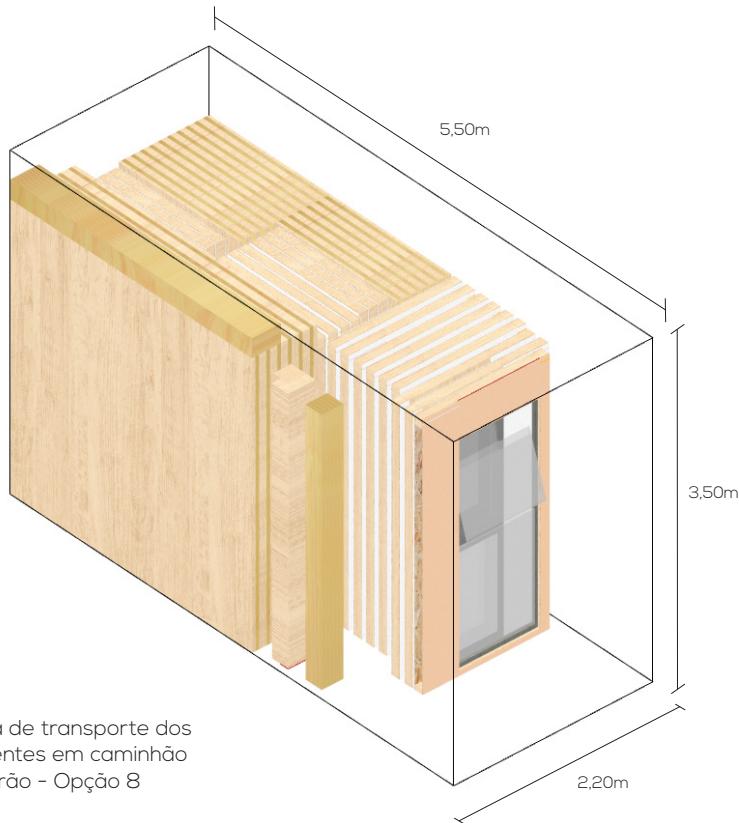


Essa tipologia não dispõe de espaço para expansão conforme necessidade do usuário

Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Opção 8

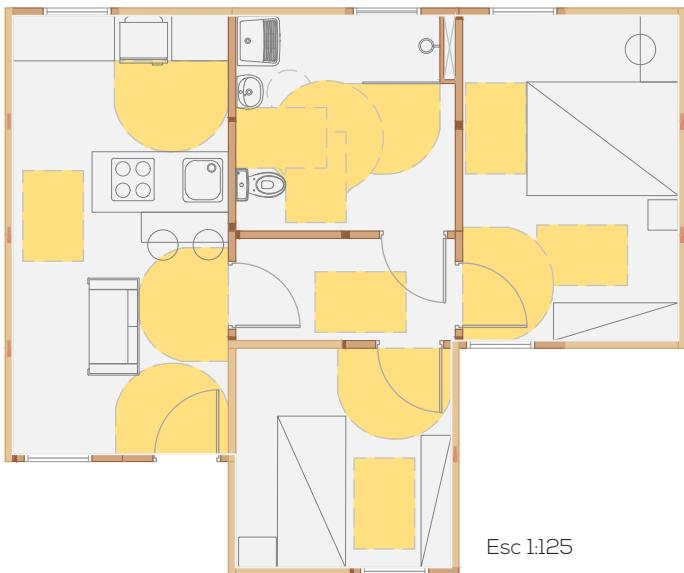
Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	16
Porta	6
Janela 1,50 m	3
Janela 1,40m	5
Laje 1,5mx3m	12
Conektor 10 cm	4
Conektor 5 cm	8
Parede Wood Frame	6
Conektor Parede CLT	6
Conektor Laje CLT	8

Além disso, difere no sentido de que possui duas fachadas cegas, propositalmente configuradas para permitir agrupamentos laterais em ambos os lados. Esse aspecto será evidenciado nos estudos de edifícios estudados a seguir.

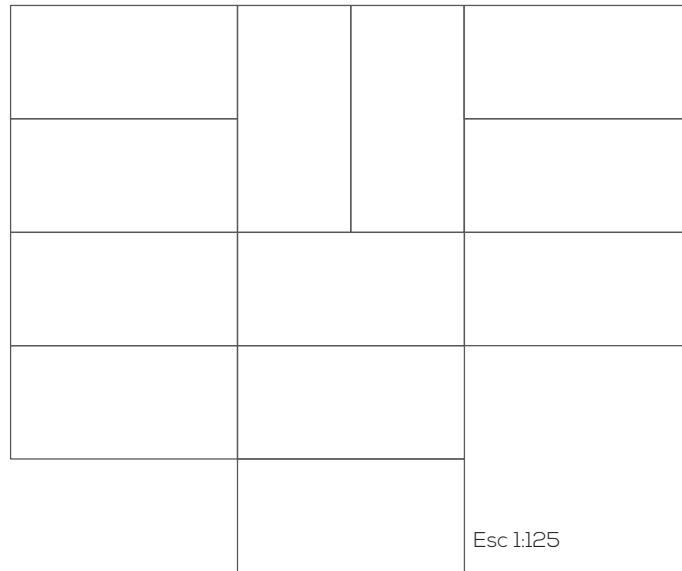


Esquema de transporte dos componentes em caminhão VUC padrão - Opção 8

Planta Opção PCD. - Opção 8



Posicionamento das lajes de cobertura. - Opção 8



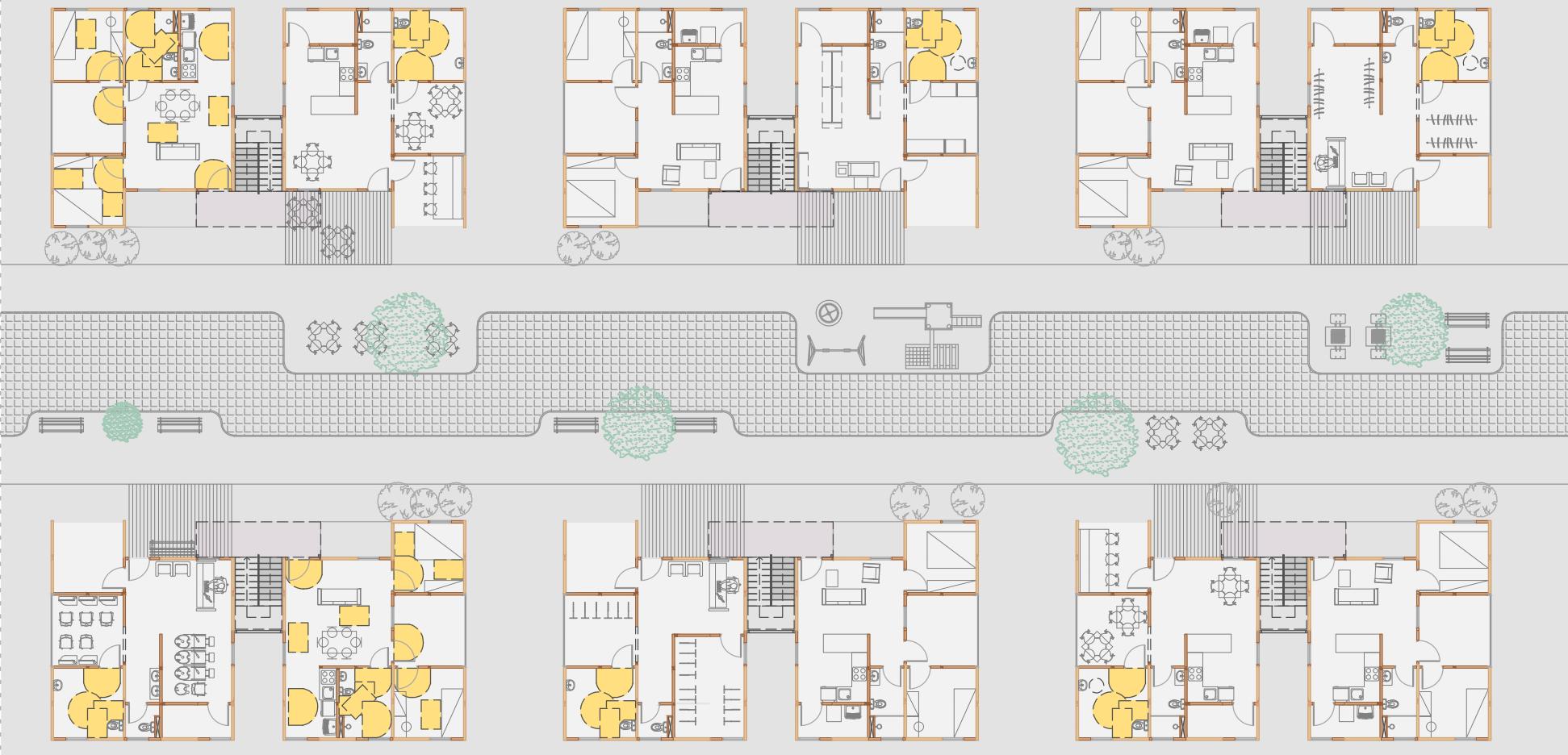
Com base nesses estudos de tipologias, também foram propostas algumas possíveis implantações de edificações de 4 pavimentos a partir do agrupamento de determinadas opções anteriormente apresentadas.

Edifício de Apartamentos | Aplicação 1

Render humanizado da aplicação 1 (vista frontal).

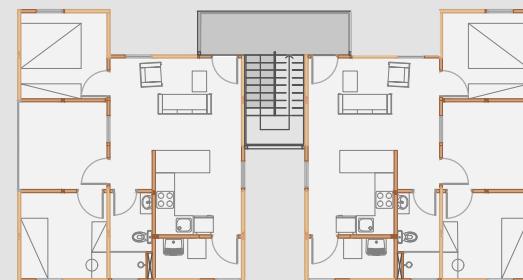
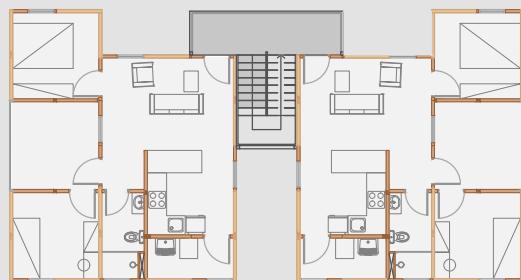
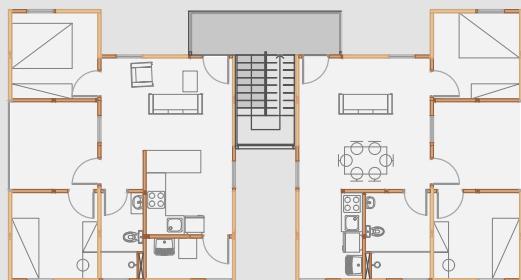
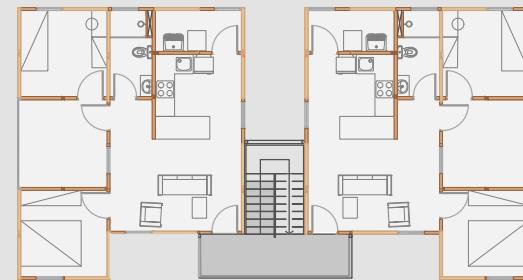
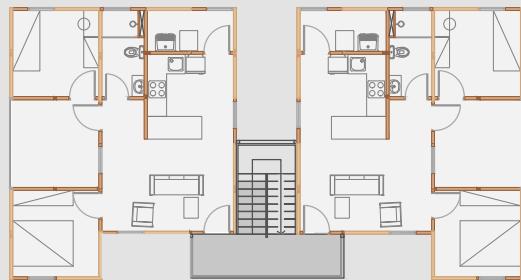
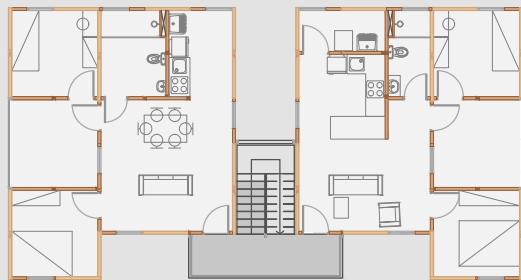


Planta Baixa Térreo - Aplicação 1



Esc 1:200

Planta Baixa Pavimento Tipo - Aplicação 1



Esc 1:200

Essa proposta surgiu como uma tentativa de projetar um conjunto de edifícios, de forma a criar espaços de convivência e uso comum além das próprias edificações.

Assim, optou-se por utilizar a tipologia da opção 5 - vide pág 126 - para criar blocos contendo duas unidades por pavimento, totalizando 6 edificações e um total de 42 apartamentos. Destes, 3% representam unidades acessíveis voltadas a PCDs, localizadas no pavimento térreo.

Além disso, para criar espaços amigáveis de circulação entre os blocos, foi proposto que cada edificação possua uma das unidades do térreo de uso comercial, de forma a trazer vida à rua, e criar espaços de estar aos moradores, além de prover serviços básicos como mercados, por exemplo.

Como citado anteriormente, esses espaços de uso comercial diferem dos demais pela cor no acabamento das chapas onduladas da fachada, de maneira a evidenciar uma diferença de uso e facilitar a identificação pelos usuários.

Além disso, a proposta prevê uma rua de pedestres entre os blocos, com área para circulação e pequenas praças que a permeia. Nesses espaços, propõe-se a instalação de equipamentos para lazer dos moradores, como playgrounds para as crianças, e aparelhos de ginástica ao ar livre, por exemplo. Dessa forma, cria-se uma rua viva e movimentada

Isométrica - Aplicação 1



Rua interna destinada a pedestres e atividades de comércio e recreação

Render humanizado da aplicação 1 (detalhe espaços de convivência).



que garante uma maior sensação de segurança.

No que diz respeito à circulação, nessa e em todas as demais opções de edifícios propostas, propõe-se o uso de uma escada pré-fabricada em estrutura metálica pintada de preto, associada a passarelas do mesmo material que dão acesso às unidades.

Toda a circulação possui estrutura própria, e não depende da estrutura de CLT e Wood Frame para garantia de

Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Aplicação 1

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	714
Porta	274
Janela 1,50 m	138
Janela 1,40m	186
Laje 1,5mx3m	288
Laje 1,5mx4,5m	240
Conector 10 cm	240
Conector 5 cm	96
Parede Wood Frame	328
Conector Parede CLT	240
Conector Laje CLT	336
Painel Wood Frame (vão)	6

estabilidade. A fixação se dá somente para garantir a ancoragem entre elementos.

Vale ressaltar que cada um dos apartamentos possui área de varanda passível de expansão, que pode ser realizada conforme necessidade dos moradores, e atribui certo caráter lúdico às fachadas laterais dos blocos.

Render humanizado da aplicação 1 (detalhe espaços de convivência).

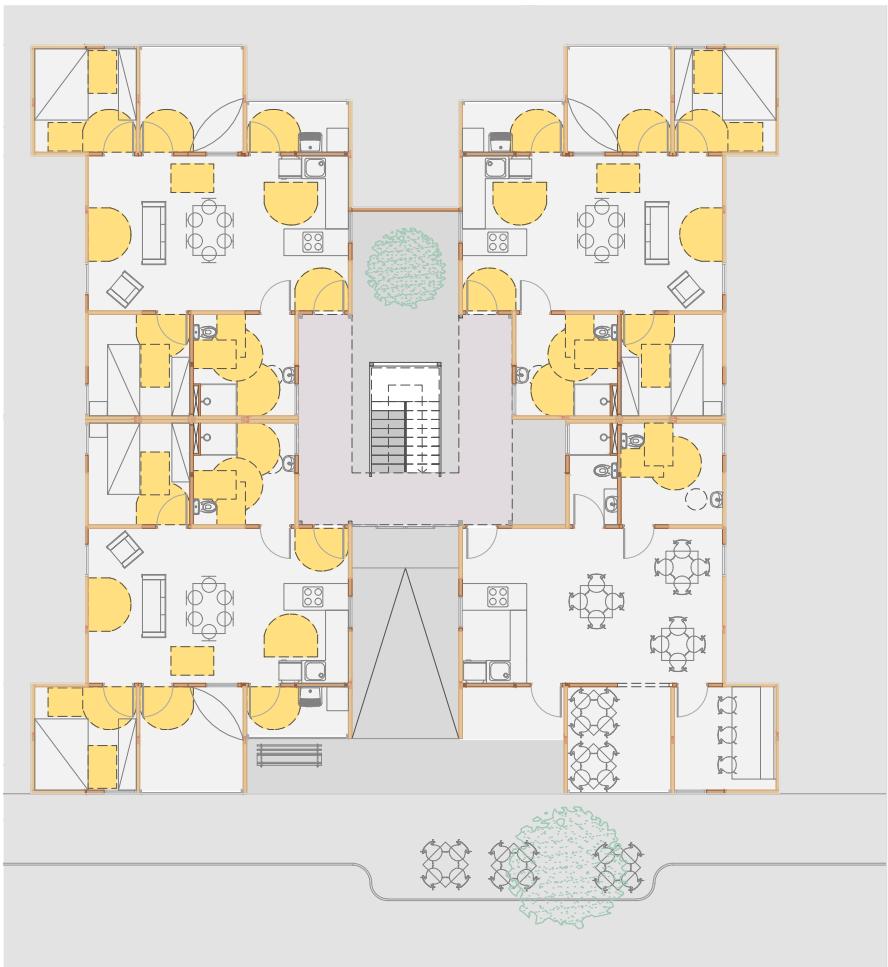


Edifício de Apartamentos | Aplicação 2

Render humanizado da aplicação 2 (vista frontal).

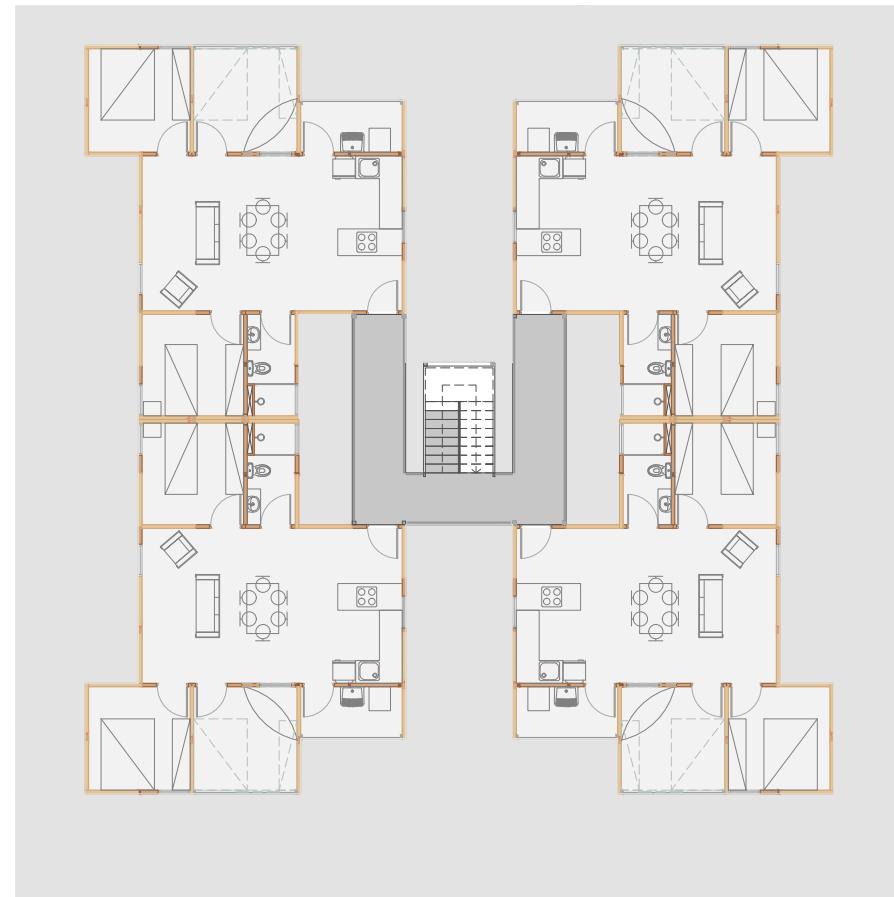


Planta Baixa Pavimento Térreo - Aplicação 2



Esc 1:150

Planta Baixa Pavimento Tipo - Aplicação 2



Esc 1:150

Essa opção considera a tipologia de número 7 - vide pág. 142 - e configura um único bloco com 4 unidades por andar. De forma similar à versão anterior, essa edificação também conta com uma unidade voltada a uso comercial, e prevê duas unidades destinadas a PCDs no pavimento térreo.

Para garantir uma maior privacidade aos moradores do térreo, foi pensada a elevação dessas unidades do solo em 40 cm, a fim de desnivelar as janelas da vista dos transeuntes, mesmo que de maneira tímida.

Devido a essa questão, o acesso ao edifício se dá por meio de rampa, com 5% de declividade, que garante acessibilidade em função do desnível.

Em função da forma como as unidades foram agrupadas, cria-se um átrio central que dá lugar à circulação do edifício, que, assim como nas demais opções, consiste em uma escada metálica associada a passarelas ancoradas nesta.

Dessa forma, criam-se espaços de encontro nas passarelas, além de reduzir deslocamentos internos.

Outro fator que merece destaque é em função da compartimentação vertical do edifício, exigida pela IT N°09 do Corpo de Bombeiros. Uma vez que as unidades

Isométrica - Aplicação 2



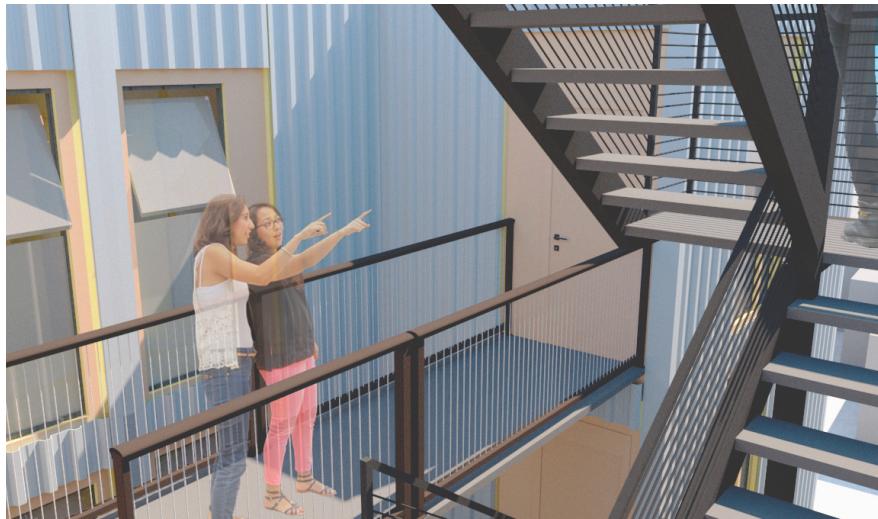
Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Aplicação 2

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	323
Porta	95
Janela 1,50 m	31
Janela 1,40m	64
Laje 1,5mx3m	131
Laje 1,5mx4,5m	80
Conector 10 cm	48
Conector 5 cm	64
Parede Wood Frame	48
Conector Parede CLT	99
Conector Laje CLT	131
Painel Wood Frame (vão)	1

sobrepostas contam com janelas adjacentes, praticamente de piso a teto, foi considerada adição de um peitoril interno, em gesso acartonado à prova de fogo em cor similar à madeira, que garante a altura total de 1,20m para retardar e evitar o alastramento de chamas em caso de incêndio. Essa solução foi considerada em todas as tipologias de edifício.

Essa opção garante um total de 15 apartamentos por bloco, e todas as unidades possuem varandas com potencial de expansão.

Render humanizado da aplicação 2 (passarela de circulação).



Isométrica - Corte 1 - Aplicação 2



Isométrica - Corte 2 - Aplicação 2



Edifício de Apartamentos | Aplicação 3

Render humanizado da aplicação 3 (vista frontal).

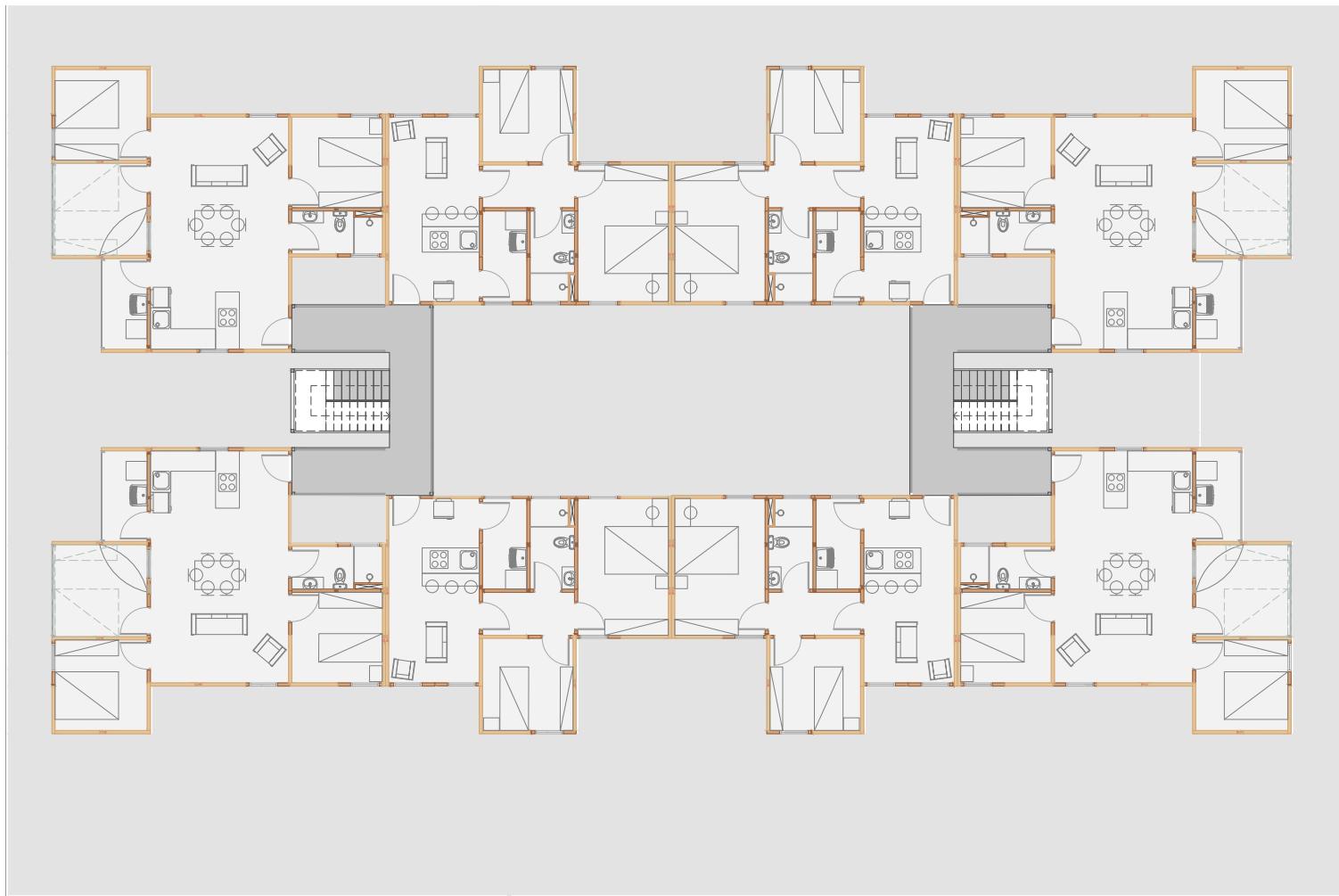


Planta Baixa Pavimento Térreo - Aplicação 3



Esc 1:150

Planta Baixa Pavimento Tipo - Aplicação 3



Esc 1:150

Essa versão configura um grande bloco de apartamentos, possuidor de átrio interno para circulação e garantia de iluminação e ventilação nas fachadas internas.

Nessa versão, priorizou-se voltar dormitórios e salas para fachadas externas, e áreas molhadas para as internas, a fim de maximizar a iluminação em espaços de permanência prolongada.

Para essa opção foi considerada a mesma tipologia de apartamentos da versão anterior, com adição da tipologia detalhada na pág 146, que possui dois dormitórios, e nenhuma varanda para expansão do programa.

Os apartamentos com capacidade de expansão se localizam nas extremidades do bloco, uma vez que possuem somente uma de suas fachadas cegas, de forma a abrir as varandas para as fachadas laterais.

A circulação também se dá por meio de escadas abertas e passarelas, e cada conjunto de circulação atende até 4 pavimentos por andar. Nesse sentido, tem-se dois núcleos de circulação, de forma a evitar rotas de fuga muito extensas e permitir maior privacidade aos ambientes que fazem vista ao interior do edifício.

Isométrica - Aplicação 3



Render humanizado da aplicação 3 (átrio central).



Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) – Aplicação 3

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	574
Porta	188
Janela 1,50 m	78
Janela 1,40m	144
Laje 1,5mx3m	322
Laje 1,5mx4,5m	80
Conector 10 cm	112
Conector 5 cm	192
Parede Wood Frame	142
Conector Parede CLT	194
Conector Laje CLT	258
Painel Wood Frame (vão)	2

No térreo, as unidades voltadas à rua são todas destinadas a uso comercial, e sua energia é suprida pelos painéis fotovoltaicos na cobertura do edifício. As demais unidades do térreo são destinadas a PCDs, sendo 4 apartamentos no total adaptados para garantia de acessibilidade plena. De forma geral, tem-se 28 apartamentos, que podem abrigar famílias de 4 a 6 pessoas.

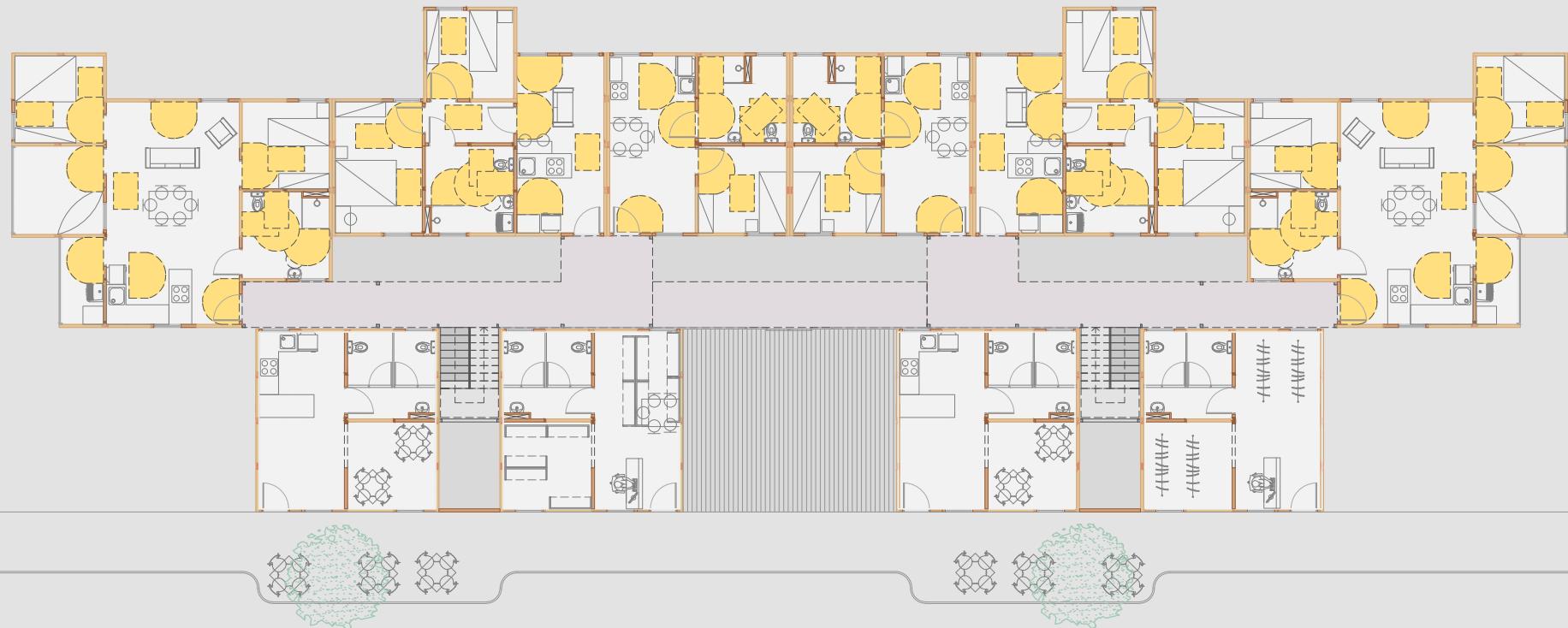
O acesso ao edifício se dá por uma entrada sob uma das unidades, e garante acesso ao átrio central, que foi projetado como um pequeno jardim, e configura um espaço de convivência dos moradores.

Edifício de Apartamentos | Aplicação 4

Render humanizado da aplicação 4 (vista frontal).

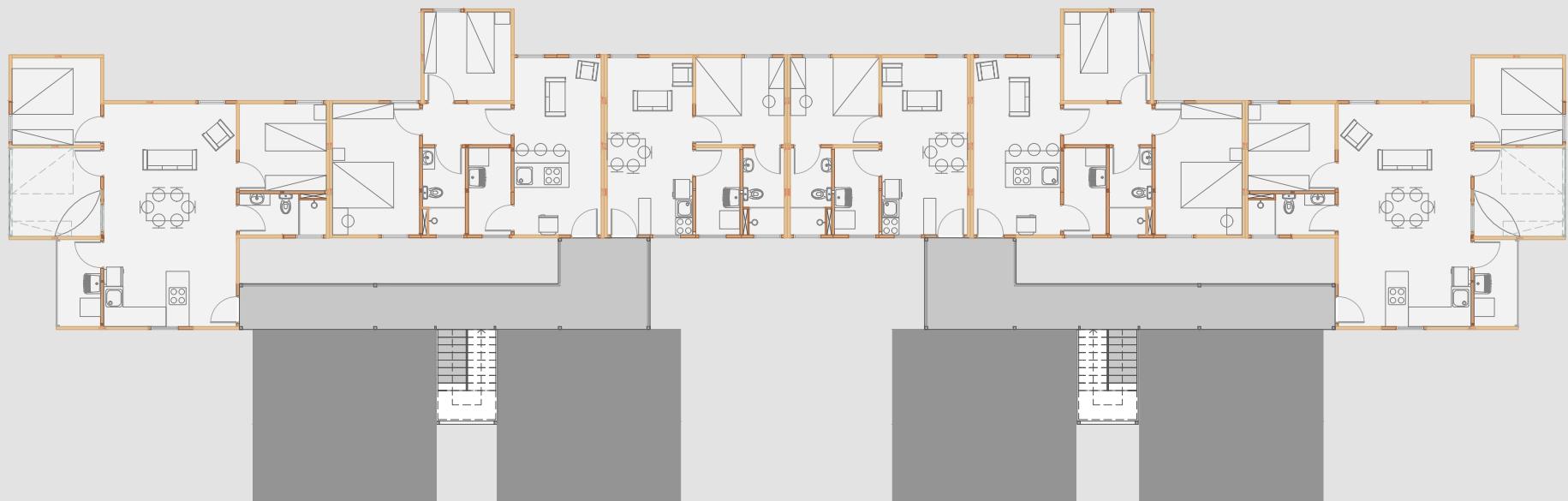


Planta Baixa Pavimento Térreo - Aplicação 4



Esc 1:150

Planta Baixa Pavimento Tipo - Aplicação 4



Esc 1:150

A última versão busca mesclar três diferentes tipologias de apartamento, que atendem 2, 4 e 6 pessoas respectivamente. O detalhamento de cada uma dessas unidades está no capítulo anterior. Dessa forma, é possível abrigar uma gama maior de pessoas com diferentes necessidades de habitação.

O edifício se configura como uma lâmina, e cada pavimento possui duas unidades de cada tipologia. No total, tem-se 24 unidades, sendo as térreas acessíveis.

Além disso, no térreo foram dispostos quatro volumes de tipologia de 1 dormitório para formar uma espécie de calçada comercial, que é associada ao edifício porém conta com estrutura independente. Entre esses volumes tem-se o acesso ao edifício. De forma similar a opção anterior, também foram pensados dois núcleos de circulação, cada um dando acesso a três unidades por pavimento.

Diferentemente do caso anterior, as passarelas são abertas à fachada frontal, e garantem espaços de encontro entre moradores, além de oferecerem melhores vistas da rua. Nas unidades, priorizou-se voltar salas e dormitórios às fachadas não frontais, para evitar ruído excessivo e garantir maior privacidade às unidades voltadas à circulação.

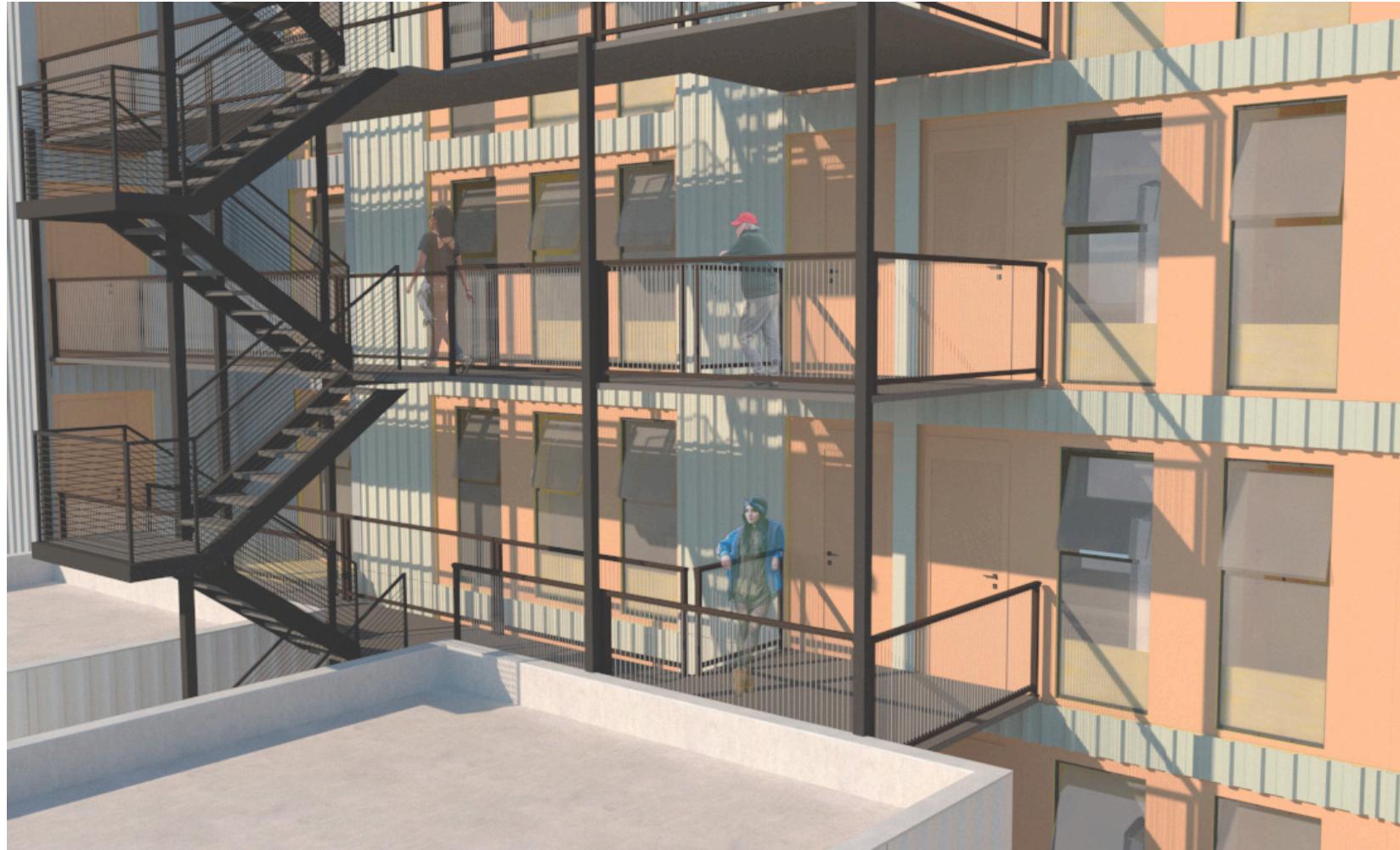
Isométrica - Aplicação 4



Tabela de quantitativos de cada componente (excluindo fachada, que pode variar conforme projeto) - Aplicação 4

Tipo de Painel	Qtde
Parede CLT	426
Porta	140
Janela 1,50 m	62
Janela 1,40m	108
Laje 1,5mx3m	258
Laje 1,5mx4,5m	64
Conector 10 cm	74
Conector 5 cm	132
Parede Wood Frame	146
Conector Parede CLT	158
Conector Laje CLT	130
Painel Wood Frame (vôo)	4

Render humanizado da aplicação 4 (bloco de circulação).

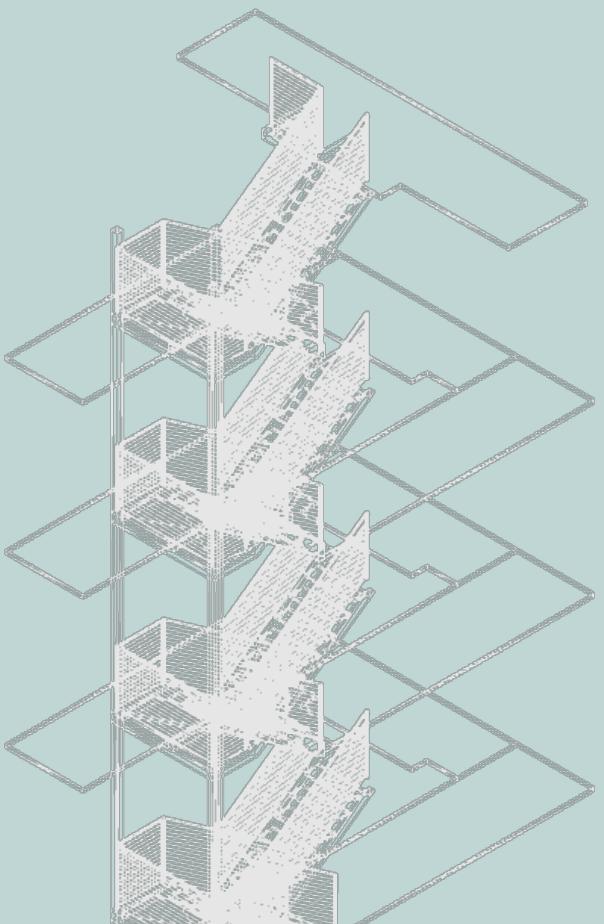


Render humanizado da aplicação 4 (ambiente interno 1 - Apartamento de ponta).



Render humanizado da aplicação 4 (ambiente interno 2 - Apartamento de ponta).





8.considerações finais

8. Considerações finais

Este Trabalho Final de Graduação teve como objetivo desenvolver componentes modulares para compor um método construtivo capaz de se adequar a diferentes contextos de terreno e usos. Além disso, foram propostas 12 tipologias diferentes de projeto a fim de comprovar a adaptabilidade e flexibilidade das soluções em diferentes contextos.

Utilizando-se de matérias-primas industrializadas e lógica modular, o trabalho buscou comprovar que há outras formas de construir, alternativas aos métodos tradicionais de construção. O CLT e o Wood Frame garantem uma solução interessante nesse sentido, uma vez que permitem uma obra mais rápida, limpa e precisa.

Sendo assim, foi desenvolvido um estudo aprofundado acerca desses métodos construtivos, e suas respectivas particularidades, de modo a tirar proveito de suas melhores qualidades para o desenvolvimento dos painéis modulares.

Talvez um dos maiores desafios, com esse projeto, foi pensar na lógica projetual. Diferente do método de construção tradicional brasileiro, baseado em alvenaria e concreto armado, construir com CLT e Wood Frame significa adequar o projeto ao material, e não o contrário.

Nesse sentido, houve um grande esforço para entender as particularidades de cada material, e respeitar suas características, forças e limitações.

Apesar de tentativas para baratear o projeto, que são traduzidas pela mesclagem do CLT com o Wood Frame, e máxima padronização dos elementos, ainda não pode-se afirmar que o produto desenvolvido é economicamente viável. Seria necessário um estudo e orçamento detalhado de custos para afirmar que a construção teria custo reduzido, o que não foi possível realizar no desenvolvimento neste trabalho.

Entretanto, os esforços nesse sentido foram realizados de forma a vislumbrar que um futuro nesse caminho é possível, quando potencializadas as qualidades de industrialização e racionalização da produção em larga escala que esses métodos construtivos oferecem. Dessa forma, a lógica modular e industrialização podem se tornar aliados expressivos na redução do déficit habitacional brasileiro.

Assim, este trabalho fixa-se como uma proposta para o futuro da construção civil, buscando aliar a industrialização e modularidade com as particularidades da cultura habitacional brasileira, permitindo expansões e tentando garantir o máximo conforto e flexibilidade aos usuários.

ANTONIO, F. Premissas e estratégias para uma Casa Solar visando à redução de emissões de gases de efeito estufa por meio da conservação e geração de energia. 2015. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. 193 p.

BARBOSA, L. L. Do caos, design e aquateruras. Livre Docência FAUUSP, 2021. 300p.

BRUNA, Paulo Julio Valentino. Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento. São Paulo: Editora Perspectiva e Editora de Universidade de São Paulo, 1976.

CAMPOS, P. Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. 198 p.

Canadian CLT HandBook. 2019 Edition. FPInnovations. Vol. 1. 2019. 812 p.

CLT Handbook - U.S. Edition. FPInnovations. 2013. 572 p.

COLLINETTI, D. A. Estudo de caso da eficiência

energética de dois sistemas construtivos em madeira: CLT e Wood Frame. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Itapeva, SP, 2016. 63 p.

CRESPO, M. R. Coordenação modular: acepções contemporâneas. 2017. 329 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

CSILLAG, D. Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. 135 p.

DATec N020-C. Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada - Tecverde (tipo light wood framing). SINAT. São Paulo, 2018. 49 p.

DOUGLAS, B.; KARACABEY, E. Cross Laminated Timber Handbook, FPInnovations. Quebec, Canadá, 2013.

ESPÍNDOLA, L. Habitação de Interesse Social em madeira conforme princípios de coordenação modular e conectividade. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa

Catarina. Florianópolis, 2010. 173 p.

FERREIRA, João Sette Whitaker (Coord.). **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil Urbano. Parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos.** São Paulo: LABHAB; FUPAM, 2012. 200 p.

FRANÇA, M.; BOGO, A. **Avaliação de conforto ambiental comparativa em edificações construídas em madeira laminada colada cruzada (Painéis CLT) e em sistemas construtivos tradicionais.** Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, SC. 2018. 17 p.

FREIRES, A. **Viabilidade do sistema construtivo Wood Frame para habitações de interesse social em comparação ao sistema convencional.** Dissertação - Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, 2021. 97 p.

GROHMANN, M. **Redução do desperdício da construção civil: levantamentos das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria.** Universidade Federal de Santa Maria - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Santa Maria, 8 p.

LAROCA, C. **Habitação Social em madeira: uma**

alternativa viável. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2022. 199 p.

LIMA, A.; SNAK, C.; BARBOZA, G.; COLFERAI, R.; MUSIAL, N. **Comparativo de Custos Unitário Básico entre os Sistemas de Construção de Wood Frame e Alvenaria Tradicional.** XVII Congresso USP de Iniciação Científica. São Paulo, 2020. 19 p.

LOTUFFO, G. O. **Formas de Construir para Formas de Habitar.** Trabalho Final de Graduação - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015. 228 p.

LOTUFFO, G. O. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho.** Dissertação de Mestrado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2018. 192 p.

Manual da construção industrializada. Volume 1: Estrutura e Vedações. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI. 2015. 115 p.

Mass Timber Design Guide. Structurlam - Mass Timber Corporation. Canadá. 34 p.

MOHAMMAD, M.; BRADFORD, D.; RAMMER, D.; PRYOR, S. **CLT Handbook: cross-laminated timber, chapter 5: connections.** FPIInnovations, 2013. 59 p.

PASSARELLI, R. N. **Cross Laminated Timber: Diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013. 192 p.

PIZZONI, C.; VALLE, A. **Vida útil das construções Wood Frame no Brasil: Durabilidade e Desempenho.** Artigo - II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera. Universidad Nacional Noroeste. Buenos Aires, 2017. 12p.

Plano Estadual de Habitação de São Paulo. PEH-SP 2011-2023. São Paulo, 2011 338 p.

ROSA, W. **Arquitetura Industrializada: a evolução de um sonho à modularidade.** FAUUSP. São Paulo, 2006. 91p.

SHIGUE, E. K. **Difusão da construção em madeira no Brasil: agentes, ações e produtos.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Instituto de Arquitetura e Urbanismo,

Universidade de São Paulo, 2018. 249 p.

TEREZO, R., ROSA, T., BOURSCHIED, C., SAMPAIO, C. KUHN, L., JACINTO, R., CIARNOSCHI, D. **Comparação do custo de produção de painel CLT produzido artesanalmente com outros materiais de construção convencionais.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, 7 p. 2020.

VIANA, L. **Comparativo de custos dos sistemas construtivos Wood Frame e Concreto Armado para edifício utilizando BIM 5D.** Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2020. 113 p.

Referências de artigos e/ou Sites:

Casa24h: uma casa construída em 24 horas dentro do pavilhão da Feicon Batimat 2019. Inovatech Engenharia, 2019. Disponível em: <<https://inovatechengenharia.com.br/case/casa24h-uma-casa-construida-em-24-horas-dentro-do-pavilhao-da-feicon-batimat-2019/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

CASTRO, F. A casa expansível / Urban Rural Systems. ArchDaily, 2018. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/892592/a-casa-expansivel-urban-rural->>

systems?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user> . Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

CLT – Cross Laminated Timber. CROSSLAM. Disponível em: <<https://www.crosslam.com.br/site/clt/>>. Acesso em: 25 de novembro de 2021.

Crosslam. **Guia orientativo para uso e manutenção de estruturas em MLC e CLT.** 36 p. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/GUIA%20ORIENTATIVO%20PARA%20USO%20E%20MANUTEN%C3%87%C3%83O%20DE%20ESTRUTURAS%20DE%20MLC%20E%20CLT%20-%20CROSSLAM.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

Crosslam. **Cross Laminated Timber - Detalhes Construtivos.** 30 p. Disponível em: https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/CLT_Connections-Portuguese.pdf. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

Crosslam. **Cross Laminated Timber - Pré-Dimensionamento.** 12 p. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/Predimensionamento.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

FRANCO, J. T. A Madeira Laminada Cruzada (CLT)

é o concreto do futuro? ArchDaily, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/922665/a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user> . Acesso em: 28 de novembro de 2021.

Informativo Econômico: Em 2019 o déficit habitacional no Brasil foi de 5,877 milhões de domicílios. SENAI, CBIC. 04/03/2021.

Minimod Curucaca, SC, Brasil, 2018. Mapa Arq. Disponível em: <<https://mapaarq.com/pt-br/work/mcu/>> Acesso em: 28 de novembro de 2021.

Relatório de Déficit Habitacional no Brasil 2016-2019. Fundação João Pinheiro, 2020. Disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf> . Acesso em 05 de dezembro de 2021.

Sara Kulturhus Center / White Arkitekter. Skellefteå, Suécia. 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com/967019/sara-kulturhus-center-white-arkitekter?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user> . Acesso em: 10 de fevereiro de 2022.

SCHULER, T. Dalston Works, the Largest CLT Building in the World. Achitect Magazine. Outubro, 2018. Disponível em: <https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/dalston-works-the-largest-clt-building-in-the-world_o>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

STECCA, K. UFG estuda reaproveitamento da água da chuva. Jornal UFG. Setembro de 2020. Disponível em: <<https://jornal.ufg.br/n/133009-ufg-estuda-reaproveitamento-da-agua-da-chuva>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

Uma casa construída em 24hs. Casa 24hs. Disponível em: <<https://www.casa24h.com.br/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

Referência das Imagens

Participação dos componentes e subcomponentes no déficit habitacional no Brasil. Disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf> . Acesso em 05 de dezembro de 2021.

Déficit Habitacional por situação do domicílio e relativo aos domicílios particulares permanentes e improvisados

na região Sudeste em 2019. Disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf> . Acesso em 05 de dezembro de 2021.

Casa 24hs montada na FEICON 2019. Disponível em: <<https://inovatechengenharia.com.br/case/casa24h-uma-casa-construida-em-24-horas-dentro-do-pavilhao-da-feicon-batimat-2019/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

Casa Curucaca, Casa Curucaca, ambiente interno, Casa Curucaca, planta baixa e Transporte de módulos da Casa Curucaca. Disponível em: <<https://mapaarq.com/pt-br/work/mcu/>> Acesso em: 28 de novembro de 2021.

Casa Expansível em sua conformação térrea; Casa Expansível em sua conformação com 3 pavimentos; Esquema de içamento do telhado e expansão vertical do conjunto, Esquema representativo de todas as conformações possíveis da casa expansível.. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/892592/a-casa-expansivel-urban-rural-systems?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user> . Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

Dalston Works concluído; Dalston Works durante

fase de construção. Disponível em: <https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/dalston-works-the-largest-clt-building-in-the-world_o>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

Posicionamento e fixação dos módulos do hotel entre Core de circulação desenvolvido em CLT; CLT exposto dispensando revestimento das paredes internas; Fachada em vidro evidenciando a estrutura em madeira engenheirada. Disponível em: <<https://whitearkitekter.com/project/sara-cultural-centre/>>. Acesso em 25 de fevereiro de 2022.

Exemplo de painel CLT produzido em fábrica; Colagem das lamelas para produção de painéis CLT; Usinagem da vedação para passagem de conduites elétricos; Conexão de elementos em CLT na fundação de concreto por meio de perfis e chapas metálicos; Conexão entre duas paredes de CLT alinhadas. Fonte: Crosslam, 2021. Crosslam. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/PDFs/GUIA%20ORIENTATIVO%20PARA%20USO%20E%20MANUTEN%C3%87%C3%83O%20DE%20ESTRUTURAS%20DE%20MLC%20E%20CLT%20-%20CROSSLAM.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

Crescimento do CLT em m³ entre 1995-2015. Plackner, 2014.

Comparação de soluções construtivas em termos de consumo de energia (GJ/m²). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/922665/a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user. Acesso em: 26 de outubro de 2021.

Exemplo de painel de Wood Frame produzido em fábrica DATec 020-D. DATec N020-C. Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada - Tecverde (tipo light wood framing). SINAT. São Paulo, 2018. p. 4

Detalhe de conexão entre laje de CLT e Painel de parede em Wood Frame. Mass Timber Design Guide. Structurlam - Mass Timber Corporation. p. 55.

Construção de um edifício utilizando Wood Frame como principal método construtivo. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/obras/there-are-many-reasons-to-get-down-ipsum-dolor-sit-8/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2022.

VIANA, L. Comparativo de custos dos sistemas construtivos Wood Frame e Concreto Armado para edifício utilizando BIM 5D. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2020. p. 76.

