Universidade do Minho
Escola de Arquitetura, Arte e Design

Inês de Sousa Castelar Batista Ribeiro da Silva

Entre Permanência e Transformação: Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Julho de 2026

Entre Permanência e Transformação: Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Inês Castelar Silva

UMinho | 2026

Universidade do Minho
Escola de Arquitetura, Arte e Design

Inês de Sousa Castelar Batista Ribeiro da Silva

Entre Permanência e Transformação: Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Trabalho de Projeto
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Arquitetura
Construção e Tecnologia

Trabalho efetuado sob a orientação do(s)
Professor Doutor Bruno Acácio Ferreira Figueiredo
Doutor Filipe Jorge Silva Brandão

Julho de 2026

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações CC BY-NC-ND

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Agradecimentos

Obrigada aos meus pais, pelo apoio incondicional, por todas as oportunidades e motivação que me deram.

Aos meus avós por serem um porto de abrigo.

Aos meus tios David, Carla, Jorge e Paula pela sua disponibilidade e apoio.

À minha família pelo apoio e presença ao longo dos anos.

Um agradecimento especial à Joana e ao Pedro pelas conversas, risos e momentos de diversão.

À Matilde e à Catarina W. por todos estes anos de amizade.

Às minhas amigas, Margarida, Beatriz, Inês A., Catarina M. que me acompanharam ao longo do curso.

Aos orientadores, pela disponibilidade e pelo acompanhamento dado ao longo deste trabalho.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

DECLARAÇÃO DE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri a qualquer forma de utilização indevida de ferramentas de Inteligência Artificial (IA), nem à falsificação ou omissão de informações, fontes, dados, resultados ou processos em nenhuma das etapas conducentes à sua elaboração.

Declaro ainda que qualquer utilização de ferramentas de IA foi feita de forma transparente e responsável, encontrando-se devidamente assinalada/descrita no trabalho, e que procedi à verificação crítica da exatidão do conteúdo produzido com o seu apoio, assumindo integralmente a responsabilidade pelo que submeto.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho, bem como as normas aplicáveis de integridade académica e de proteção de dados.

Entre Permanência e Transformação: Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Resumo

O trabalho de projeto investiga o desenvolvimento de sistemas construtivos modulares em madeira, fabricados digitalmente através de processos CNC *(Computer Numerical Control)*, como estratégia para a reabilitação reversível de edifícios existentes. Parte do reconhecimento de um vasto património edificado subutilizado, propondo uma abordagem não invasiva baseada na introdução de estruturas interiores autónomas, capazes de estabelecer uma relação dinâmica entre permanência e transformação.

O trabalho articula os princípios da pré-fabricação, da economia circular e do DFAD *(Design for Assembly and Disassembly)*, explorando o potencial da desmontagem, reutilização e adaptação dos componentes ao longo do tempo. A investigação desenvolve-se através de uma análise crítica de sistemas construtivos contemporâneos e da conceção de um módulo em madeira, definido a partir de critérios de repetibilidade, precisão construtiva e flexibilidade espacial.

A aplicação do sistema na antiga fábrica do Trimco, em Guimarães, funciona como caso de estudo para testar a sua adaptabilidade programática e desempenho espacial, evidenciando a capacidade de reconfiguração do espaço sem comprometer a integridade do edifício existente. A investigação propõe, assim, uma mudança de paradigma na reabilitação arquitetónica, deslocando o foco da transformação permanente para sistemas reversíveis, configuráveis e alinhados com uma lógica de construção circular.

Palavras-Chave: Espaços Interiores, Sistemas Modulares, Pré-Fabricação, DFAD, CNC.

Between Permanence and Transformation: Modular Wooden Systems for Reversible Spaces

Summary

This project investigates the development of modular timber construction systems, digitally manufactured using CNC *(Computer Numerical Control)* processes, as a strategy for the reversible rehabilitation of existing buildings. It recognizes the existence of a vast underutilized built heritage and proposes a non-invasive approach based on the introduction of autonomous interior structures capable of establishing a dynamic relationship between permanence and transformation.

The project integrates the principles of prefabrication, the circular economy, and *DFAD (Design for Assembly and Disassembly),* exploring the potential for disassembly, reuse, and adaptation of components over time. The research is carried out through a critical analysis of contemporary construction systems and the design of a wooden module, defined based on criteria of repeatability, construction precision, and spatial flexibility.

The application of the system at the former Trimco factory in Guimarães serves as a case study to test its programmatic adaptability and spatial performance, demonstrating the ability to reconfigure the space without compromising the integrity of the existing building. The research thus proposes a paradigm shift in architectural rehabilitation, shifting the focus from permanent transformation to reversible, configurable systems aligned with a circular construction logic.

Keywords: Interior Spaces, Modular Systems, Prefabrication, DFAD, CNC.

Índice

Introdução 1

Contextualização e justificação do tema 2

Objetivos 3

Metodologia de Investigação 4

Estrutura 5

1. Estado de Arte 6

1.1. Evolução da Pré-fabricação 7

1.2. Níveis de Pré-fabricação 11

1.3. Sistema Fechado e Sistema Aberto 14

1.4. Economia Circular 15

1.5. DFAD: Design para Montagem e Desmontagem 18

1.6. Digitalização na Arquitetura 20

1.7. Produção Digital (Fabricação Subtrativa) 22

2. Atlas de Casos de Estudo 23

2.1. Wikkelhouse 25

2.2. U-Built 30

2.3. WikiHouse 37

2.4. Facit Homes 43

2.5. AUAR 51

2.6. Análise crítica 56

3. Módulo 58

3.1. Desenvolvimento do Módulo 59

3.2. Módulo Final 73

3.3. Execução do Sistema Construtivo 106

3.4. Considerações Finais 126

4. Projeto 127

4.1. Estado Atual da Fábrica do Trimco 130

4.2. Proposta de Intervenção para a Fábrica do Trimco 138
4.3. Novo Programa da Fábrica do Trimco 145

Conclusão 155

Referências Bibliográficas 158

Anexos 161

Lista de siglas e acrónimos

2D 2 Dimensões

3D 3 Dimensões

CAD Desenho Assistido por Computador *(Computer-Aided Design)*

CAE Engenharia Assistida por Computador *(Computer-Aided Engineering)*

CAM Manufatura Auxiliada por Computador *(Computer-Aided Manufacturing)*

CE Economia Circular *(Circular Economy)*

CNC Controle Numérico Computadorizado *(Computer Numerical Control)*

DIY Do It Yourself

DFAD Design para montagem e desmontagem *(Design for assembly and disassembly)*

EAAD Escola de Arquitetura, Arte e Design da Universidade do Minho

G-code *Geometry Code*

IA Inteligência Artificial *(Artificial Intelligence)*

LCA Avaliação do ciclo de vida *(Life-cycle assessment)*

MIArq Mestrado Integrado em Arquitetura

OSB Oriented Strand Board

PCB Placa de Circuito Impresso *(Printed Circuit Board)*

PDM Gestão de Dados do Produto *(Product Data Management)*

UNESCO Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura *(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)*

Índice de Imagens

1.Estado de Arte

Fig.1.2.1. Estrutura, respetivamente, Linear, Painel e Modular.

Fig.1.4.1. Steward Brand, Componentes de um Edifício. Brand, S. (1994) H*ow Buildings Learn: What Happens After They're Built*, p.38.

Fig.1.6.1. Fresadora CNC disponível na Universidade do Minho

2.Atlas de Casos de Estudo

Fig.2.1.1. Alojamento nos Países Baixos em Roterdão, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior. Imagem publicada no website UNIQ Hotels (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.uniqhotels.com/wikkelboats/

Fig.2.1.2. Alojamento nos Países Baixos em Roterdão, construído pela Wikkelhouse. Vista do interior. Imagem publicada no website UNIQ Hotels (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.uniqhotels.com/wikkelboats/

Fig.2.1.3. Alojamento nos Países Baixos em Dortherweg, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior. Imagem publicada no website Stayokay (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.stayokay.com/nl/tips/overnachten-in-een-wikkelhouse

Fig.2.1.4. Alojamento nos Países Baixos em Dortherweg, construído pela Wikkelhouse. Vista do interior. Imagem publicada no website Stayokay (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.stayokay.com/nl/tips/overnachten-in-een-wikkelhouse

Fig.2.1.5. Alojamento nos Países Baixos em Overijssel, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior. Imagem publicada no website Stayokay (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.glampings.com/en/netherlands/overijssel/beerze-bulten/wikkelhouse/

Fig.2.1.6. Alojamento nos Países Baixos em Overijssel, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior. Imagem publicada no website Stayokay (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.glampings.com/en/netherlands/overijssel/beerze-bulten/wikkelhouse/

Fig. 2.1.7. Componentes que constituem uma parede da empresa Wikkelhouse. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), Yvonne Witte. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/889458/eco-habitacao-modular-empurra-os-limites-da-construcao-com-papelao

Fig. 2.1.8. Parte do processo de construção onde a estrutura de madeira é rodada envolvendo as 24 camadas de cartão canelado. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), Yvonne Witte. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com/991739/how-new-technologies-are-evolving-to-embrace-sustainability-in-architecture/63655ec7236b920170092f04-how-new-technologies-are-evolving-to-embrace-sustainability-in-architecture-image

Fig.2.1.9. Esquema dos módulos estandardizados que compõem uma habitação da Wikkelhouse. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/889458/eco-habitacao-modular-empurra-os-limites-da-construcao-com-papelao?auth=hadid

Fig.2.1.10. Colocação do Isolamento lã de rocha no módulo. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Wikkelhouse, *WIKKELHOUSE Chile with English subtitles,* minuto 4.30 (2022). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=RQ2H0pJ-vGs

Fig.2.1.11. Colagem rápida do pavimento. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Wikkelhouse, *WIKKELHOUSE Chile with English subtitles,* minuto 4.34 (2022). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=RQ2H0pJ-vGs

Fig.2.1.12. Encaixe metálico entre os módulos, peças longas e metálicas enroscadas com uma porca no final. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Homedit, vídeo com o título *A Modular Home Made From Cardboard With Unlimited Footprint Possibilities,* minuto 0.57 (2020). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DCLYAAEzC0k

Fig.2.1.13. Revestimento a ser aparafusado ao módulo. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Homedit, vídeo com o título *A Modular Home Made From Cardboard With Unlimited Footprint Possibilities,* minuto 1.15 (2020). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DCLYAAEzC0k

Fig.2.1.14. Fresagem CNC. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Wikkelhouse, vídeo com o título *WIKKELHOUSE Chile with English subtitles,* minuto 2,35 (2022). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=RQ2H0pJ-vGs

Fig.2.2.1. Box House, Graven Hill no Reino Unido, habitação construída pela U-Build em 2019. Vista Exterior. Imagem publicada no site da U-Build (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/projects/u-build-box-house/

Fig.2.2.2. Box House, Graven Hill no Reino Unido, habitação construída pela U-Build em 2019. Vista Interior. Imagem publicada no site da U-Build (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/projects/u-build-box-house/

Fig.2.2.3. Sustainable Workspaces, County Hall no Reino Unido, espaços interiores para um escritório, 2021. Vista Interior. Imagem publicada no site da U-Build (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/projects/sustainable-workspaces-5th-floor/

Fig.2.2.4. Sustainable Workspaces, County Hall no Reino Unido, espaços interiores para um escritório, 2021. Vista Interior. Imagem publicada no site da U-build (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/projects/sustainable-workspaces-5th-floor/

Fig.2.2.5. Arrumação e mobiliário para uma habitação. Imagem publicada no website da U-build (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/projects/vishnias-sofa/

Fig.2.2.6. Lavatório desenhado para a Box House. Imagem publicada no website da U-build (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/projects/u-build-box-house/

Fig.2.2.7. Caixa multifuncional desenvolvida pela U-Build. Captura de ecrã do website da U-build. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/design-category/buy-a-box/

Fig.2.2.8. Exemplo de como pode ser usada a Caixa multifuncional desenvolvida pela U-Build. Captura de ecrã do website da U-build. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/design-category/buy-a-box/

Fig.2.2.9. Projeto estandardizado de uma habitação desenvolvida pela U-build. Captura de ecrã do website da U-build. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/designs/cabins/

Fig.2.2.10. Esquema dos vários tipos de projetos executados pela U-build. Captura de ecrã do website da U-build. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/design-category/self-build-homes/

Fig.2.2.11. Encaixe macho-fêmea, no qual uma saliência de uma peça encaixa-se na ranhura correspondente de outra, permitindo a união segura de painéis. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 2.00 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.12. Uso de parafusos para a união das caixas de madeira. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 2.17 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.13. Parafusos gigantes usados como fundação. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 4.53 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.14. Vigas de madeira formam uma base para a estrutura da U-Build. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 5.33 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.15. Caixas modulares são unidas através de parafusos estandardizados com uma porca na extremidade. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 7.46 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.16. Caixas da parede viradas para fora devido à colocação do isolamento. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 9.51 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.17. Agrafamento da membrana de impermeabilização à estrutura. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 20.54 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.18. Utilização de um selante para vedar os caixilhos de janelas e fita adesiva colocada nas extremidades da estrutura que proporciona uma vedação do ar e das intempéries. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 25.16 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.19. Revestimento aparafusado à estrutura. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 26.40 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.20. Recorte na estrutura para acomodar as instalações técnicas. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, video com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 28.27 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.21. Peças desenhadas pela U-Build preparadas para imprimir em máquinas CNC. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, vídeo com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 7.10 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.2.22. Impressão das peças numa máquina CNC. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube Kirsten Dirksen, vídeo com o título *U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assembler,* minuto 7.12 (2021). (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8

Fig.2.3.1. Peaks Barn, Derbyshire no Reino Unido, um estúdio e uma garagem dupla no Peak District, contruída em 2022. Vista exterior. Imagem publicada no website da WikkiHouse (s.d.), Jack Watts. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/featured-projects/peaks-barn

Fig.2.3.2. Peaks Barn, Derbyshire no Reino Unido, um estúdio e uma garagem dupla no Peak District, contruída em 2022. Vista interior. Imagem publicada no website da WikkiHouse (s.d.), Jack Watts. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/featured-projects/peaks-barn

Fig.2.3.3. Farmhouse, Warwickshire no Reino Unido, uma casa com dois andares, construída em 2017. Vista exterior. Imagem publicada no website da WikkiHouse (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/featured-projects/farmhouse

Fig.2.3.4. Farmhouse, Warwickshire no Reino Unido, uma casa com dois andares, contruída em 2017. Vista interior. Imagem publicada no website da WikkiHouse (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/featured-projects/farmhouse

Fig.2.3.5. Ōmokoroa House, Bay of Plenty, Nova Zelândia, uma casa WikiHouse, contruída em 2025. Vista exterior. Imagem publicada no website da WikkiHouse (s.d.), New Neighbour. (Consultado em abril de 2026). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/featured-projects/omokoroa-house

Fig.2.3.6. Ōmokoroa House, Bay of Plenty, Nova Zelândia, uma casa WikiHouse, contruída em 2025. Vista interior. Imagem publicada no website da WikkiHouse (s.d.), New Neighbour. (Consultado em abril de 2026). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/featured-projects/omokoroa-house

Fig.2.3.7. Esquema de uma Máquina CNC. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/guides/manufacturing

Fig.2.3.8. Esquema da organização do ficheiro sketchup com as peças modulares desenvolvidas pela WikiHouse. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks

Fig.2.3.9. Detalhe construtivo do sistema desenvolvido pela WikiHouse. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250

Fig.2.3.10. Isometria explodida de uma parede desenvolvida pela WikiHouse. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/product

Fig.2.3.11. Diferentes tipologias de paredes. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks

Fig.2.3.12. Diferentes tipologias de pavimentos. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks

Fig.2.3.13. Diferentes tipologias de coberturas. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks

Fig.2.3.14. Diferentes tipologias de janelas. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks

Fig.2.3.15. Diferentes espaçamentos das portas e janelas. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks

Fig.2.3.16. Peças de Conecção/Ligação dos Componentes. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks

Fig.2.3.17. Detalhe construtivo do sistema desenvolvido pela WikiHouse. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250

Fig.2.3.18. Página online para descarregar as peças do Sistema Skylark 250 da WikiHouse. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250

Fig.2.3.19. Página online que permite a qualquer individuo calcular o preço da estrutura WikiHouse que pretende construir. Captura de ecrã do website da WikkiHouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/cost

Fig.2.4.1. Meadow View, West Sussex no Reino Unido, habitação construída em 2024. Vista exterior. Imagem publicada no website da Facit Homes (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/meadow-view

Fig.2.4.2. Meadow View, West Sussex no Reino Unido, habitação construída em 2024. Vista interior. Imagem publicada no website da Facit Homes (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/meadow-view

Fig.2.4.3. Stour House, Suffolk no Reino Unido, habitação construída em 2019. Vista exterior. Imagem publicada no website da Facit Homes (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/stourhouse

Fig.2.4.4. Stour House, Suffolk no Reino Unido, habitação construída em 2019. Vista interior. Imagem publicada no website da Facit Homes(s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/stourhouse

Fig.2.4.5. Print House, South London no Reino Unido habitação construída em 2016. Vista exterior. Imagem publicada no website da Facit Homes (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/printhouse

Fig.2.4.6. Print House, South London no Reino Unido habitação construída em 2016. Vista interior. Imagem publicada no website da Facit Homes (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/printhouse

Fig.2.4.7. Componente de parede desenvolvido pela Facit Homes. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, vídeo com o título What is a FACIT Home?, minuto 5.46 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.8. Peças que constituem uma parede. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, vídeo com o título What is a FACIT Home?, minuto 5.51 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.9. Ficheiro com os componentes desenvolvidos pela Facit Homes. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, vídeo com o título What is a FACIT Home?, minuto 5.40 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.10. Casa construída com os componentes desenvolvidos pela Facit Homes. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, video com o título What is a FACIT Home?, minuto 5.07 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.11. Imagem tridimensional da estrutura vendida pela empresa. Captura de ecrã do website da Facit Homes. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/facit-chassis

Fig.2.4.12. Esquema do processo de construção da Fait Homes, Máquina CNC transportada até ao local para imprimir as peças enquanto decorre a construção. Captura de ecrã do website da Facit Homes. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/facit-chassis

Fig.2.4.13. Encaixe macho-fêmea das peças desenvolvidas pela Facit Homes. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, vídeo com o título What is a FACIT Home?, minuto 7.06 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.14. Utilização de parafusos para reforçar o sistema. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, video com o título What is a FACIT Home?, minuto 7.06 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.15. Construção de uma habitação com o sistema desenvolvido pela Facit Homes. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, video com o título What is a FACIT Home?, minuto 7.24 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.16. Recorte na estrutura para acomodar as instalações técnicas. Captura de ecrã do website da Facit Homes. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/windows-1

Fig.2.4.17. Fase de escavamento, Infraestruturas subterrâneas, laje de fundação isolada, aquecimento radiante, laje de betão, placa de base do chassis Facit. Captura de ecrã do website da Facit Homes. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/building-process

Fig.2.4.18. Vigas entre pisos, combinação da madeira com aço. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, video com o título Facit Builds | E5: Chassis Production & Assembly, minuto 13.22 (2025). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=mkPExiYkJJE

Fig.2.4.19. Impressora CNC. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da FACIT Homes, video com o título What is a FACIT Home? minuto 6,03 (2024). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM

Fig.2.4.20. Utilização de sistemas robóticos para marcação do desenho do projeto no local da obra. Captura de ecrã do website da Facit Homes. website da Facit Homes. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/development/building-process-development

Fig.2.4.21. Preço fixo por metro quadrado, com todos os custos incluidos. Captura de ecrã do website da Facit Homes. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/price

Fig.2.4.22. Preço fixo por metro quadrado, sem mão de obra incluida. Captura de ecrã do website da Facit Homes. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/price

Fig.2.5.1. Dwelling Unit for Musicians, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2021. Vista exterior. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), NAARO. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com/973349/dwelling-unit-for-musicians-automated-architecture-auar-labs

Fig.2.5.2. Dwelling Unit for Musicians, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2021. Vista interior. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), NAARO. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com/973349/dwelling-unit-for-musicians-automated-architecture-auar-labs

Fig.2.5.3. Pavilion, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2020. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), NAARO. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com/953712/block-west-pavilion-automated-architecture-auar labs?ad_medium=office_landing&ad_name=article

Fig.2.5.4. Pavilion, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2020. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), NAARO. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com/953712/block-west-pavilion-automated-architecture-auar-labs?ad_medium=office_landing&ad_name=article

Fig.2.5.5. AUAR Home-Office, London, no Reino Unido, habitação construída em 2020. Imagem publicada no website Architizer (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://architizer.com/projects/auar-home-office/

Fig.2.5.6. AUAR Home-Office, London, no Reino Unido, habitação construída em 2020. Imagem publicada no website Architizer (s.d.), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://architizer.com/projects/auar-home-office/

Fig.2.5.7. Ficheiro com a estrutura Pavilion, Bristol no Reino Unido, montada em 3D. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Automated Architecture AUAR, vídeo com o título Block West: Discrete Automation for Community-led Housing, minuto 1.46 (2020). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8MOek632B-c

Fig.2.5.8. Conexões metálicas que interligam a estrutura desenvolvida pela empresa AUAR. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Automated Architecture AUAR, vídeo com o título Block West: Discrete Automation for Community-led Housing, minuto 1.51 (2020). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8MOek632B-c

Fig.2.5.9. Esquema do processo de construção da empresa AUAR para este sistema. Imagem publicada no website Archdaily. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/969657/pavilhao-block-west-automated-architecture-auar labs?ad_medium=office_landing&ad_name=article

Fig.2.5.10. Esquema de montagem de um componente para este sistema da AUAR. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), NAARO. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/969657/pavilhao-block-west-automated-architecture-auar-labs?ad_medium=office_landing&ad_name=article

Fig.2.5.11. Pavilion, Bristol no Reino Unido a ser construído no local. Imagem publicada no website Archdaily (s.d.), NAARO. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/969657/pavilhao-block-west-automated-architecture-auar-labs?ad_medium=office_landing&ad_name=article

Fig.2.5.12. Encaixe macho-femea das peças desenvolvidas pelo sistema AUAR. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Automated Architecture AUAR, vídeo com o título Block West: Discrete Automation for Community-led Housing, minuto 1.03 (2020). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8MOek632B-c

Fig.2.5.13. Aplicação de colas nas conexões em madeira do sistema. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Automated Architecture AUAR, vídeo com o título Block West: Discrete Automation for Community-led Housing, minuto 1.20 (2020). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8MOek632B-c

Fig.2.5.14. Utilização de uma pregadora pneumática para fixação da madeira durante a montagem da estrutura. Captura de ecrã retirada do canal de Youtube da Automated Architecture AUAR, video com o título Block West: Discrete Automation for Community-led Housing, minuto 1.37 (2020). (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8MOek632B-c

Fig.2.5.15. Esquema do sistema AUAR com as conexões metálicas que interligam a estrutura. Imagem publicada no website Architizer (s.d), autor desconhecido. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://architizer.com/idea/2954526/

Fig.2.6.1. Gráfico comparativo dos Casos de Estudo.

3. Módulo

Fig.3.1.1. Sistema de parede com painéis de correr.

Fig.3.1.2. Sistema baseado na utilização de barrotes de madeira.

Fig.3.1.3. Painéis móveis que funcionam com calhas.

Fig.3.1.4. Peça independente que funciona como uma dobradiça.

Fig.3.1.5. Sistema modular composto por módulos idênticos e repetíveis.

Fig.3.1.6. Sistema no qual os painéis constituintes da parede apresentam caráter rotativo.

Fig.3.1.7. Análise de um sistema pilar-viga com subestrutura para suporte de painéis.

Fig.3.1.8. Sistema apoiado numa estrutura pré-existente.

Fig.3.1.9. Conceito inicial do sistema construtivo.

Fig.3.1.10. Desenho do conceito inicial do sistema construtivo na Fábrica do Trimco.

Fig.3.1.11. Componentes do Pavimento na Fase 04.

Fig.3.1.12. Pilar na fase 04, Escala1/50.

Fig.3.1.13. Viga na fase 04, Escala1/50.
Fig.3.1.14. Cobertura na fase 04, Escala 1/50.
Fig.3.1.15. Painel na fase 04, Escala 1/50.
Fig.3.1.16. Planta Conceptual na fase 05, Escala 1/50.
Fig.3.1.17. Pavimento na fase 05, Escala 1/50.
Fig.3.1.18. Pilar na fase 05, Escala 1/50.
Fig.3.1.19. Viga na fase 05, Escala 1/50.
Fig.3.1.20. Cobertura ma fase 05, Escala 1/50.
Fig.3.1.26. Coberturana fase 06, Escala 1/50.
Fig.3.1.27. Planta na fase 07, Escala 1/50.
Fig.3.1.28. Pavimento/Cobertura na fase 07, Escala 1/50.
Fig.3.1.29. Pilar na fase 07, Escala 1/50.
Fig.3.1.30. Viga na fase 07, Escala 1/50.
Fig.3.1.31. Painel na fase 07, Escala 1/50.
Fig.3.1.32. Planta na fase 08, Escala 1/50.
Fig.3.1.33. Pavimento/Cobertura na fase 08, Escala 1/50.
Fig.3.1.34. Pilar na fase 08, Escala 1/50.
Fig.3.1.35. Viga na fase 08, Escala 1/50.
Fig.3.1.37. Maquete Vista Axonométrica.
Fig.3.1.38. Maquete Vista de Frente.
Fig.3.1.39. Pormenor da Ligação Pilar-Viga.
Fig.3.2.1. Estrutura linear base do módulo, Escala1/30.
Fig.3.2.2. Axonometria do módulo vista 01, Escala1/30.
Fig.3.2.3. Axonometria do módulo vista 02, Escala1/30.
Fig.3.2.4. Planta de Covertura do módulo, Escala1/20.
Fig.3.2.5. Corte horizontal do módulo, Escala1/20.
Fig.3.2.6. Alçado do módulo vista 01, Escala1/20.
Fig.3.2.7. Alçado do módulo vista 02, Escala1/30.
Fig.3.2.8. Corte vertical do módulo, Escala1/20.
Fig.3.2.9. Placas de OSB com o desenho das peças do pilar, Escala1/20.
Fig.3.2.10. Placas de OSB com o desenho das peças da viga, Escala1/20.
Fig.3.2.11. Placas de OSB com o desenho das peças do pavimento/cobertura, Escala1/20.
Fig.3.2.12. Placas de OSB com o desenho das peças da parede inferior, Escala1/20.
Fig.3.2.13. Placas de OSB com o desenho das peças da parede inferior, Escala1/20.
Fig.3.2.14. Processo de construção do pilar, passos 1.º a 5.º, Escala1/20.
Fig.3.2.15. Processo de construção do pilar, passos 6.º a 12.º, Escala1/20.
Fig.3.2.16. Processo de construção da viga, passos 1.º a 3.º, Escala1/20.
Fig.3.2.17. Processo de construção da viga, passos 4.º a 6.º, Escala1/20.
Fig.3.2.18. Processo de construção do pavimento/cobertura, passos 1.º a 2.º, Escala1/20.
Fig.3.2.19. Processo de construção do pavimento/cobertura, passos 3.º a 4.º, Escala1/20.
Fig.3.2.20. Processo de construção da parede inferior, passos 1.º a 4.º, Escala1/20.
Fig.3.2.21. Processo de construção da parede inferior, passos 5.º a 7.º, Escala1/20.
Fig.3.2.22. Processo de construção da parede superior, passos 1.º a 4.º, Escala 1/20.
Fig.3.2.23. Processo de construção da parede superior, passos 5.º a 7.º, Escala 1/20.
Fig.3.2.24. Processo de construção do módulo, passos 1.º a 3.º, Escala 1/30.
Fig.3.2.25. Processo de encaixe da parede inferior na viga, Escala 1/20.
Fig.3.2.26. Processo de encaixe da parede superior na viga, Escala 1/20.
Fig.3.2.27. Processo de construção do módulo, passo 4.º, Escala 1/30.

Fig.3.2.28. Processo de construção do módulo, passos 5.ºa 6.º, Escala 1/30.

Fig.3.2.29. Processo de construção do módulo, passo 7.º, Escala 1/30.

Fig.3.3.1. Planta do Teste, Escala1/20.

Fig.3.3.2. Axonometria do Módulo, Escala1/20.

Fig.3.3.3. Alçado do Teste, Escala1/20.

Fig.3.3.4. Corte do Teste, Escala1/20.

Fig.3.3.5. Primeiro desenho das peças nas placas de osb, Escala 1/20.

Fig.3.3.6. Seleção do texto e aplicação do comando "Mover/Copiar" as letras.

Fig.3.3.7. Deslocamento das letras 3 mm na direção vertical descendente.

Fig.3.3.8. Selecionar, respetivamente menu de "Tornamento 2D", comando de"Contorno 2D" e fresa de 6mm para o CONTORNO das letras.

Fig.3.3.9. Seleção das linhas do texto e confirmação no comando "OK" para finalizar.

Fig.3.3.10. Seleção do comando "Dogbone".

Fig.3.3.11. Seleção de todos os cantos com ÂNGULOS INTERNOS.

Fig.3.3.12. Inserir o diÂmetro dos dogbones e confirmação no comando "OK" para finalizar.

Fig.3.3.13. Selecionar, respetivamente menu de "Tornamento 2D", comando "Contorno 2D" e fresa de 8mm para o contornos dos orifícios das peças.

Fig.3.3.14. Seleção da geometria de contorno e definição das guias nos orificios das peças.

Fig.3.3.15. Guias nos orificios das peças.

Fig.3.3.16. Definição da profundidade de corte por cada passagem no contorno dos orifícios das peças.

Fig.3.3.17. Selecionar, respetivamente o menu de "Tornamento 2D", comando de "Contorno 2D" e fresa de 8mm para o contorno exterior das peças.

Fig.3.3.18. Definição das guias nos orificios das peças NO CONTORNO EXTERIOR DAS PEÇAS.

Fig.3.3.19. Definição da profundidade de corte por cada passagem no contorno exterior das peças.

Fig.3.3.20. Guias no contorno exterior das peças.

Fig.3.3.21. Definição das dimensões da placa, utilizando o menu das "Configurações", no parÂmetro "Bloco", e ajustar as medidas em função da posição da placa relativamente às peças.

Fig.3.3.22. Configuração do ponto de Origem, através do menu "Configurações", parÂmetro "Configuração" e selecionar "Ponto da caixa".

Fig.3.3.23. Simulação do corte das placas, através do menu "Configurações" e comando "Simular".

Fig.3.3.24. Visualização da simulação do corte das placas osb no Fusion.

Fig.3.3.25. Processar o G-code: no menu principal de fresagem, selecionar "Programa NC", preencher os parâmetros necessários, clicar em "Pós-Processador" e, por fim, guardar o ficheiro NC.

Fig.3.3.26. Carregar o G-code para a fresadora CNC.

Fig.3.3.27. Processo de corte das peças nas placas osb na fresadora CNC.

Fig.3.3.28. Processo de corte da primeira placa de OSB.

Fig.3.3.29. Reorganização das peças nas restantes placas de OSB.

Fig.3.3.30. Resultado do corte das placas de osb com as peças do sistema construtivo.

Fig.3.3.31. Peças do sistema contrutivo após serem cortadas e lixadas.

Fig.3.3.32. Documento de apoio para a montagem do sistema.

Fig.3.3.33. Montagem do teste finalizada, Vista de Frente

Fig.3.3.34. Processo de montagem do pilar concluído.

Fig.3.3.35. Processo de montagem da viga concluído.

Fig.3.3.36. Processo de montagem do pavimento/cobertura concluído.

Fig.3.3.37. Processo de montagem do componente da parede superior concluído.

Fig.3.3.38. Processo de montagem do componente da parede inferior concluído.

Fig.3.3.39. Montagem do teste finalizada, vista lateral 01.

Fig.3.3.40. Montagem do teste finalizada, vista lateral 02.

4. Aplicação do Módulo na Fábrica do Trimco

Fig.4.1.1. Fábrica do Trimco, Entrada Oeste.

Fig.4.1.2. Fábrica do Trimco, Alçado Este.

Fig.4.1.4. Interior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.

Fig.4.1.5. Interior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.

Fig.4.1.6. Exterior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.

Fig.4.1.7. Interior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.

Fig.4.1.8. Cobertura Atual da Fábrica do Trimco, 2026.

Fig.4.1.9. Levantamento da Fábrica do Trimco, Planta de Implantação, Escala 1/1000.

Fig.4.1.10. Levantamento da Fábrica do Trimco, Planta Piso 01, Escala 1/500.

Fig.4.1.11. Levantamento da Fábrica do Trimco, Piso Térreo, Escala 1/500.

Fig.4.1.12. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Norte, Escala 1/500.

Fig.4.1.13. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Sul, Escala 1/500.

Fig.4.1.14. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Este, Escala 1/500.

Fig.4.1.15. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Oeste, Escala 1/500.

Fig.4.1.16. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte A, Escala 1/500.

Fig.4.1.17. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte B, Escala 1/500.

Fig.4.1.18. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte C, Escala 1/500.

Fig.4.1.19. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte D, Escala 1/500.

Fig.4.2.1. Vermelhos e Amarelos Planta Piso 01, Escala 1/500.

Fig.4.2.2. Vermelhos e Amarelos Planta Piso Térreo, Escala 1/500.

Fig.4.2.3. Vermelhos e Amarelos Alçado Norte, Escala 1/500.

Fig.4.2.4. Vermelhos e Amarelos Alçado Sul, Escala 1/500.

Fig.4.2.5. Vermelhos e Amarelos Alçado Este, Escala 1/500.

Fig.4.2.6. Vermelhos e Amarelos Alçado Oeste, Escala 1/500.

Fig.4.2.7. Vermelhos e Amarelos Corte A, Escala 1/500.

Fig.4.2.8. Vermelhos e Amarelos Corte B, Escala 1:500

Fig.4.2.9. Vermelhos e Amarelos Corte C, Escala 1/500.

Fig.4.2.10. Vermelhos e Amarelos Corte D, Escala 1/500.

Fig. 4.3.1. Entrada Principal, Escala 1/350.

Fig. 4.3.2. Receção, Escala 1/350.

Fig. 4.3.3. Zonas de Trabalho Individuais ou em Grupo, Escala 1/350.

Fig. 4.3.4. Zonas de Trabalho Individuais, Escala 1/350.

Fig. 4.3.5. Unidade Empresarial Grande, Escala 1/350.

Fig. 4.3.6. Unidades Empresariais Médias, Escala 1/350.

Fig. 4.3.7. Unidades Empresariais Pequenas, Escala 1/350.

INTRODUÇÃO

Contextualização e justificação do tema

Em Portugal, existe um vasto património edificado com elevado valor histórico, económico, arquitetónico, social e cultural. Muitos destes edifícios, embora estruturalmente bem preservados, encontram-se atualmente subutilizados ou abandonados. Neste contexto, a demolição surge frequentemente como resposta, implicando, porém, elevados custos ambientais, materiais e energéticos. Em alternativa, a presente investigação propõe uma estratégia de intervenção assente em princípios de sustentabilidade e reversibilidade, baseada na inserção de um módulo pré-fabricado em madeira no interior de estruturas pré-existentes. O sistema modular proposto visa a reativação funcional destes edifícios, através da introdução de novos programas e usos, contribuindo simultaneamente para a otimização dos recursos construídos e para dar resposta às crescentes necessidades infraestruturais em meio urbano.

O objetivo é que estes módulos confiram aos usuários uma melhor apropriação e personalização do espaço, possibilitem a instalação de estruturas temporárias ou de carácter emergente, através de elementos de fácil montagem e desmontagem.

Este trabalho de projeto aborda igualmente a importância da pré-fabricação como resposta aos problemas ambientais da construção civil, e explora o papel que as tecnologias de projeto e fabrico digitais desempenham na arquitetura como facilitadores dos processos de planeamento e construção.

Assim, propõe-se a integração da madeira, um material ampla e historicamente utilizado na construção, destacando-se pelas suas características naturais, recicláveis e pela sua capacidade de retenção de carbono. Evidencia-se ainda o seu potencial de aplicação no âmbito da inovação tecnológica e digital. Neste enquadramento, discutem-se abordagens contemporâneas à reabilitação arquitetónica e urbana que valorizam o preexistente, respeitam o ambiente e respondem às dinâmicas sociais e económicas atuais.

Objetivos

A presente investigação é orientada pela questão de saber de que forma um sistema construtivo modular em madeira, desenvolvido através de processos de fabricação digital, pode constituir uma estratégia de reabilitação reversível de espaços interiores existentes, articulando adaptabilidade, precisão construtiva e princípios de circularidade. Parte-se da hipótese de que a integração entre fabricação digital e Design for Assembly and Disassembly (DFAD) permite conceber sistemas arquitetónicos não invasivos, desmontáveis e reconfiguráveis, capazes de prolongar o ciclo de vida dos edifícios e de acomodar diferentes usos ao longo do tempo, sem comprometer a sua integridade material e espacial. Neste enquadramento, o objetivo geral consiste em conceber um sistema modular em madeira que funcione como um dispositivo arquitetónico reversível, capaz de mediar a relação entre o novo e o existente, entre permanência e transformação, e entre sistema construtivo e organização espacial. Numa fase subsequente, são apresentados diversos casos de estudo considerados relevantes para o desenvolvimento do projeto proposto, procurando-se identificar e sistematizar princípios de conceção associados à modularidade, desmontagem e reutilização, capazes de sustentar uma abordagem arquitetónica alinhada com a economia circular e com a adaptação progressiva dos edifícios ao longo do tempo. Por fim, visa-se avaliar a capacidade do sistema proposto em estabelecer uma relação não invasiva com um edificado existente (Fabrica do Trimco), testando a sua aptidão para gerar novas formas de ocupação e apropriação do espaço, sem recorrer a transformações permanentes ou irreversíveis.

Metodologia de Investigação

A metodologia adotada na presente investigação estrutura-se em quatro etapas complementares, consideradas fundamentais para o desenvolvimento e consolidação do sistema modular proposto.

A etapa inicial consiste na realização de uma revisão bibliográfica sobre os temas abordados na investigação, nomeadamente a evolução da pré-fabricação na arquitetura, os diferentes níveis de pré-fabricação, a importância da adoção de princípios de circularidade na construção, o conceito do sistema DFAD (Design for Assembly and Disassembly) e a utilização de sistemas de automação que agilizem tanto o processo de conceção arquitetónico como o processo construtivo.

Na segunda etapa centra-se na análise e comparação de cinco casos estudo relevantes para a definição do novo sistema construtivo, considerando os sistemas desenvolvidos pelas empresas: Wikkelhouse; U-Built; Facit Homes; WikiHouse; AUAR.

A terceira etapa consiste no desenvolvimento do sistema construtivo modular em madeira, passível de ser fabricado através de fresadoras CNC. Nesta fase, é realizada uma investigação detalhada sobre todos os elementos constituintes e os respetivos sistemas de encaixe que compõem o novo sistema.

Por fim, na quarta etapa, o sistema proposto é implementado num edifício pré-existente, a fábrica do Trimco, localizada no centro de Guimarães, de forma a testar a sua flexibilidade num conceito espacial. O objetivo é apresentar uma alternativa diferente de ocupar os espaços abandonados que não seja invasiva para o edifício existente, permitindo simultaneamente a transformação e a adaptação do espaço de acordo com as necessidades dos seus utilizadores.

Estrutura

O trabalho de projeto estrutura-se em quatro vertentes complementares, cada vertente corresponde a uma etapa específica do processo de investigação e desenvolvimento do sistema modular proposto.

A primeira vertente incide sobre a investigação teórica das principais temáticas abordadas no trabalho. Nesta fase, analisa-se o desenvolvimento da pré-fabricação na arquitetura, avaliando as características da construção off-site em comparação com os métodos tradicionais de construção, ainda amplamente utilizados em Portugal. A pré-fabricação é enquadrada como uma abordagem construtiva mais sustentável e alinhada com os princípios da economia circular, abordando-se igualmente os diferentes níveis de pré-fabricação existentes. Neste contexto, aprofunda-se o conceito de Design for Assembly and Disassembly (DFAD), com o objetivo de garantir que o sistema modular permita processos eficientes de montagem e desmontagem. Paralelamente, são explorados temas relacionados com a automatização dos processos construtivos e a utilização de tecnologias digitais, nomeadamente as máquinas CNC, fundamentais para a precisão e eficiência da produção de elementos pré-fabricados.

A segunda vertente corresponde ao estudo e análise crítica de casos de estudo relevantes, focando-se em sistemas pré-fabricados em madeira existentes. Os casos selecionados são comparados segundo diferentes critérios, como forma, funcionalidade, materialidade, nível de pré-fabricação, complexidade, modularidade, reversibilidade, mobilidade, tipo de encaixe, utilização de tecnologias e ferramentas computacionais, grau de personalização, carácter *open-source* e custo de construção, permitindo extrair princípios e estratégias aplicáveis ao projeto.

A terceira vertente diz respeito ao desenvolvimento do sistema construtivo modular em madeira, concebido a partir dos conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores. Esta fase centra-se na conceção, definição construtiva e desenvolvimento do módulo, explorando o potencial dos processos de fabrico digital, nomeadamente o corte e fresagem CNC, com vista à criação de um sistema versátil, preciso e adaptável a diferentes contextos interiores.

Por fim, a quarta vertente consiste na aplicação e validação do sistema modular desenvolvido num edifício pré-existente, a antiga fábrica da Trimco, localizada no centro de Guimarães. Esta etapa tem como objetivo testar a adaptabilidade, o desempenho espacial e construtivo do módulo, bem como demonstrar uma alternativa de ocupação de espaços industriais abandonados que não seja invasiva, reversível e passível de transformação de acordo com as necessidades dos seus utilizadores.

1.Estado de Arte

1.1. Evolução da Pré-fabricação

Atualmente, no contexto da construção, um sistema pré-fabricado refere-se à produção de componentes de uma estrutura (como paredes, lajes, pilares, telhados, entre outros) em fábricas ou instalações externas ao local da obra. Estes elementos são posteriormente transportados para o local da construção e montados de forma a construir o edifício final. A estrutura é organizada hierarquicamente, onde cada componente ou módulo desempenha uma função específica, mas, em conjunto, contribuem para a formação de um sistema construtivo completo. Um dos princípios fundamentais da pré-fabricação reside na produção independente de componentes ou subcomponentes que, após a sua fabricação, são montados para formar o produto final.

Apesar de frequentemente associada à construção contemporânea, a pré-fabricação não constitui um método de construção recente. Desde as primeiras construções da humanidade, nomeadamente nas sociedades nómadas, é possível identificar soluções construtivas baseadas em princípios semelhantes. A necessidade constante de deslocação levou estas populações a desenvolver abrigos desmontáveis, leves e transportáveis, recorrendo a materiais simples e técnicas rudimentares. Embora elementares, estas estruturas, já apresentavam o conceito básico da pré-fabricação, uma vez que eram constituídas por várias partes que podiam ser armazenados para depois serem montadas, transportadas e remontadas com facilidade noutro lugar.

Ao longo do tempo, a evolução das ferramentas e das técnicas construtivas permitiu o desenvolvimento de métodos cada vez mais complexos e eficientes. Um momento decisivo nesse processo foi a Revolução Industrial, que surgiu na Inglaterra em meados de 1760. Este período marcou a transição da produção artesanal para a produção mecanizada, impulsionada pela introdução de máquina e pela padronização dos processos industriais. Estes avanços industriais permitiram um aumento significativo da produção de produtos e materiais pré-fabricados para a construção civil, melhorando a eficiência produtiva nas indústrias, reduzindo o custo e aumentando o stock da produção, tornando os produtos mais acessíveis.

A 2º Revolução Industrial ocorreu entre 1870 e 1914 evidenciando-se pela utilização do petróleo, do aço e da eletricidade, o que conduziu ao desenvolvimento de novos meios de transporte, como automóveis e aviões, e à consolidação da produção industrial em massa através das linhas de montagem. (Schwab, 2016).[1]

Neste contexto, surgiu o Taylorismo entre 1856 e 1915, desenvolvido por Frederick W.Taylor, um engenheiro norte-americano. Taylor percebeu que os trabalhadores poderiam ser organizados segundo

[1] Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution, pp. 12-14.

um método racional e científico. Para isso, ele propôs a divisão do trabalho, em que cada funcionário realizaria uma tarefa específica dentro da empresa ou indústria. Além disso, esta nova abordagem defendia a hierarquização do trabalho e o uso de métodos sistemáticos para aumentar a eficiência da produção.

Posteriormente, Henry Ford, dono de uma indústria automóvel "Ford Motor Company", deu continuidade às ideias de Taylor. Ford introduziu a linha de montagem, um sistema de produção em massa no qual os trabalhadores realizavam tarefas repetitivas e especializadas, permitindo um aumento significativo da produção e a redução dos custos. O Fordismo começou a ser amplamente adotado a partir do séc. XX, especialmente na produção industrial e influenciou profundamente a organização do trabalho moderno (Fonyat, 2013).[2]

A introdução de máquinas revolucionou as cadeias de produção permitindo maior controlo, precisão e qualidade nos processos de fabrico. A produção em série passou a beneficiar da repetição sistemática de tarefas, reduzindo a dependência de mão de obra altamente especializada e aumentando a produtividade. Estes princípios foram gradualmente transpostos para o setor da construção, criando condições favoráveis à consolidação da pré-fabricação como método construtivo.

O cenário de destruição provocado pela Primeira e Segunda agravou significativamente os problemas habitacionais, tornando urgente a reconstrução urbana. O alojamento da população passou a ser uma prioridade e, nesse contexto, os arquitetos passaram a valorizar a industrialização da construção. Foram adotados sistemas mais rápidos e eficientes, como a pré-fabricação que se destacou então pela sua rapidez de execução e pelos custos reduzidos.

Pode-se ainda considerar uma Terceira Revolução Industrial iniciada na década 1950 até aos dias de hoje, devendo-se ao desenvolvimento da informática, telecomunicações, robótica e biotecnologia. A internet, satélites, entre outros, transformaram a forma como a informação é processada e partilhada globalmente. Esta fase caracterizou-se essencialmente pelo desenvolvimento de máquinas capazes de funcionar de forma cada vez mais autónoma, aumentando significativamente a capacidade de produção e o consumo de recursos.[3] No setor da construção, a evolução tecnológica e industrial possibilitou a produção em larga escala de materiais como o metal, o betão e a madeira, conduzindo ao desenvolvimento de métodos construtivos pré-fabricados e modulares. Nestes sistemas, grande parte da produção ocorre em ambiente controlado, fora do local da obra, sendo os elementos estruturais transportados já concluídos para montagem no local. Esta abordagem reduz a complexidade dos

[2] Fonyat, M. de A. R. (2013), A Pré-fabricação e o Projeto de Arquitetura, pp. 30-40.

[3] Website História do Mundo, Silva, D. (s.d), Terceira Revolução Industrial: o que foi, resumo. https://www.historiadomundo.com.br/idade-contemporanea/terceira-revolucao-industrial.htm

trabalhos no local, otimizando o tempo de execução e melhorando a qualidade do produto final. A pré-fabricação permite a execução simultânea de diferentes tarefas em diferentes fases da construção. Enquanto as partes/componentes são fabricados off-site, as fundações e a infraestrutura no local da construção podem ser preparadas, reduzindo significativamente o tempo total necessário para concluir o projeto. Em fábrica, é possível um melhor planeamento e otimização na utilização dos materiais, conseguindo-se fabricar os elementos de forma mais rigorosa, reduzindo a necessidade de intervenções no local de obra e minimizando o desperdício dos materiais. Apesar dos avanços tecnológicos, a pré-fabricação ainda é frequentemente associada à monotonia e à produção em série. Por isso, a construção tradicional continua a ser o método mais utilizado, enquanto a pré-fabricação é geralmente aplicada à produção de elementos individuais, como portas e janelas.

Atualmente, a sociedade prepara-se para entrar numa 4º Revolução Industrial devido ao avanço tecnológico da inteligência artificial. Enquanto nas últimas Revoluções Industriais o foco era proporcionar conforto e eficiência às pessoas, essencialmente no dia-a-dia, esta nova etapa está centrada na integração do mundo físico com o digital e o biológico. Promove-se a automação inteligente e a conectividade total que irá transformar, não só a indústria, mas também a economia, revolucionando da mesma forma como se trabalha e se interage em sociedade.

"We are at the beginning of a revolution that is fundamentally changing the way we live, work, and relate to one another. In its scale, scope and complexity, what I consider to be the fourth industrial revolution is unlike anything humankind has experienced before"- (Schwab, 2016, p. 08).

Ao contrário da Terceira Revolução Industrial as tecnologias digitais não são um elemento novo, são tecnologias avançadas que se começaram a interligar e a formar novos sistemas e operações abrindo ao mundo inúmeras possibilidades de transformação. Estamos a presenciar uma altura onde vão ocorrer inúmeras alterações por toda a indústria, fazendo repensar os sistemas de produção, consumo, transporte e entrega. De acordo com Klaus Schwab, estamos a entrar rapidamente na Quarta Revolução Industrial, caracterizada pela sua crescente integração em todos os sistemas societais. Este fenómeno ocorre num contexto de uma sociedade em rede, profundamente interligada e fortemente dependente da internet como principal meio de comunicação. O impacto das novas tecnologias manifesta-se em múltiplas escalas, afetando países, empresas, indústrias e a sociedade como um todo. O seu impacto não se limita às formas de produção de bens ou prestação de serviços, estendendo-se também à própria

condição humana, ao influenciar a forma como trabalhamos, comunicamos, tomamos decisões e nos relacionamos com a tecnologia.

"The Word "revolution" denotes abrupt and radical change. Revolutions have occurred throughout history when new technologies and novel ways of perceiving the world trigger a profound change in economic systems and social structures. Given that history is used as a frame of reference, the abruptness of these changes may take years to unfold" - (Schwab, 2016, p. 12).

Inevitavelmente o mundo sofrerá enormes mudanças, sendo fundamental orientá-las em benefício da população. Em contraste com as revoluções industriais anteriores, que criaram formas de emprego à medida que outras desapareciam, a Quarta Revolução caracteriza-se por um elevado nível de automação que não garante, pelo menos a curto prazo, a criação de novos postos de trabalho. Atualmente, observa-se a substituição progressiva de trabalho humano por computadores e sistemas de inteligência artificial em diversas áreas, como o atendimento e suporte ao atendimento, operador de caixa, entre muitos outros (Schwab, 2016, p. 41).

Apesar de a tecnologia contribuir significativamente para o aumento da produtividade industrial e para a melhoria do funcionamento das instituições, a sua crescente integração nas tarefas quotidianas levanta preocupações relevantes. A redução da intervenção humana no ambiente de trabalho conduz não apenas ao desemprego, mas também à diminuição do sentido de propósito que as pessoas retiram do trabalho. O trabalho, para além de uma fonte de rendimento, desempenha um papel central na construção da identidade pessoal, na integração social e no sentimento de utilidade. Assim, a substituição do ser humano por máquinas pode gerar impactos psicológicos e sociais profundos, exigindo uma reflexão cuidadosa sobre a forma como estas transformações tecnológicas devem ser geridas.

A principal preocupação implantada pela Quarta Revolução Industrial é a imprevisibilidade da escala e rapidez de como esta vai se desenvolver e impactar a sociedade como um todo, sendo impossível prever como os países, os políticos e as pessoas vão reconhecer e implantar esta nova tecnologia.[4]

"The difficulty that many countries are showing in attempting to discuss these issues is just further sign of how we are not prepared to adequately and proactively recognise the forces of change."- (Schwab, 2016, p. 36).

[4] Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution, pp. 08-42.

1.2. Níveis de Pré-Fabricação

Ao contrário dos métodos de construção convencional onde a obra acontece *in situ,* a pré-fabricação é um sistema construtivo industrializado que se caracteriza pela realização de pelo menos uma parte das atividades de fabrico fora do local da obra. Nesse sistema, os elementos são previamente estandardizados e integrados, de forma a criar o produto final. As etapas da construção englobam o processo de planeamento, fabrico dos componentes (em fábrica), transporte e a montagem. O planeamento é a fase mais importante do projeto. Nesta etapa, é fundamental a colaboração entre todas as partes envolvidas. O Arquiteto e o Engenheiro devem partilhar os recursos, de modo a juntar o conhecimento técnico e o conhecimento prático. Um planeamento bem estruturado pode contribuir significativamente para a redução dos custos, do tempo de execução e do desperdício de material na obra. A fabricação dos componentes em fábrica oferece vantagens económicas, uma vez que o tempo de produção das peças é reduzido. Além disso, há uma menor necessidade de mão de obra no local, contribuindo para uma redução dos custos. Como os elementos estandardizados são produzidos por máquinas, as peças adquirem maior precisão e qualidade. Adicionalmente, é importante considerar o transporte, idealmente a fábrica deve estar localizada próxima do local da obra, a fim de diminuir custos logísticos e minimizar a emissão de poluentes associados ao transporte dos componentes. Por último, a montagem dos elementos acontece no local, de acordo com o nível de pré-fabricação (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008).

De acordo com Staib, Dörrhöfer e Rosenthal, os sistemas atuais pré-fabricados dividem-se em quatro categorias principais: Linear, Painel, Volumétrico e Híbrido.[5]

“Buildings can be created out of linear, planar or spatial elements. These determine the construction principles characteristic of system building: the frame, the panel and the room module. These three building methods are frequently combined in the building industry and rarely appear in isolation. Frame structures are often combined in a system with panels or room-modules.”- (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008, p. 42).

[5] Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). Components and systems: Modular construction: Design, structure, new technologies, pp. 41-45.

Linear:

O sistema Linear baseia-se na construção em esqueleto, utilizando predominantemente elementos estruturais lineares, como pilares e vigas. Esses componentes são produzidos em fábrica e transportados para o local da obra, onde ocorre a montagem. As ligações entre os elementos podem ser feitas por meio de encaixes de junta seca ou conexões metálicas. Uma das principais vantagens deste sistema é a possibilidade de criar vãos amplos, graças ao uso de pilares e vigas contínuas. Por outro lado, este tipo de sistema apresenta fragilidades como um elevado número de ligações que consequentemente aumenta a mão de obra no local.

Painel:

O sistema em painel consiste na construção com vários tipos de componentes, a parede e a laje, em forma de painel. Este método costuma incorporar não apenas a estrutura do edifício, mas também elementos complementares, como portas e janelas. A construção com painéis caracteriza-se por ter um elevado grau de pré-fabricação em fábrica contribuindo para uma maior rapidez e eficiência no processo construtivo. Contudo, por consistir na integração de vários tipos de painéis apresenta dificuldades na resolução de pontes térmicas.

Volumétrico:

O sistema volumétrico é a criação de módulos pré-fabricados formados pela junção de vários componentes produzidos em fábrica, originando uma única peça complexa. Neste caso, todo o processo de montagem e acabamento é realizado na fábrica. Após o transporte para o local apenas é necessário a conexão do módulo às fundações e às infraestruturas, o que simplifica e acelera a construção no terreno. Porém, este tipo de construção fica dependente das dimensões do tipo de transporte selecionado.

Híbrido:

O sistema híbrido é a junção de todos os métodos construtivos previamente analisados, conferindo ao projeto uma abordagem mais personalizada, reunindo os benefícios de cada técnica e, simultaneamente, diminuindo as suas limitações. O grau de pré-fabricação é variável pois depende das escolhas realizadas para cada projeto. Contudo, a construção do sistema híbrido é repartida em fabricação entre *onsite* e *offsite*, aumentando o custo da mão de obra.[6]

[6] Barbosa, A. C. M. (2023). A Pré-fabricação como Método Construtivo para uma Arquitetura Circular, pp. 48-58.

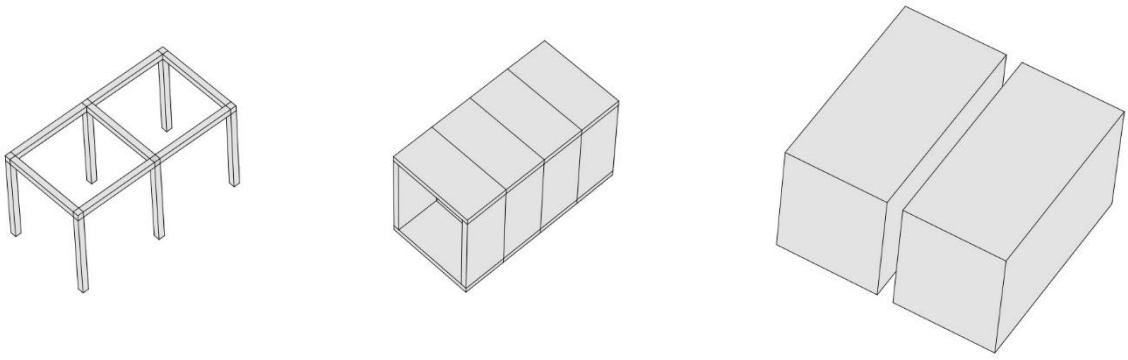


Fig.1.2.1. Estrutura, respetivamente, Linear, Painel e Volumétrico.

1.3. Sistema Fechado e Sistema Aberto

Durante a fase de planeamento do projeto, é essencial definir que sistema construtivo de pré-fabricação vai ser adotado. Essa escolha deve considerar tanto as especificações do projeto quanto a compatibilidade e o método de montagem das peças.

No setor da construção, o sistema fechado caracteriza-se pela fabricação de todos os elementos por um único fabricante. Essa centralização garante maior compatibilidade entre os componentes, uma vez que são produzidos dentro da mesma empresa. A ideia principal deste sistema é alcançar o maior grau possível de estandardização. Quanto maior for o nível de mecanização envolvido no processo, menores são os custos associados ao projeto e à fabricação. No entanto, esta estratégia tende a limitar as possibilidades de design disponíveis.

Em contraste, o sistema aberto prioriza a flexibilidade no design dos projetos. Os componentes podem ser fabricados por diferentes fabricantes. Dessa forma, os componentes podem ser organizados de diversas maneiras, possibilitando uma ampla gama de variações em diferentes tipos de projetos. Atualmente, este é o sistema mais usado pela indústria de construção, que já adota dimensões modulares padronizadas para facilitar a integração entre as diferentes peças.[7]

[7] Fonyat, M. de A. R. (2013) A Pré-fabricação e o Projeto de Arquitetura, pp. 93-101.
Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). Components and systems: Modular Construction: Design, Structure, New technologies, pp. 43-43.

1.4. Economia Circular

De acordo com a ONU (valores de 2023) existem oito mil milhões de pessoas no mundo e estima-se que a população mundial pode chegar a dez mil milhões de pessoas em 2050. Esse crescimento demográfico exigirá um aumento significativo na produção de alimentos, energia e infraestruturas, num contexto marcado por desafios globais como o aquecimento global e as alterações climáticas.

Paralelamente, a reciclagem convencional conduz frequentemente a processos de *downcycling*, nos quais os materiais não são aplicados novamente em funções com os mesmos níveis de exigência técnica, sendo antes redirecionados para aplicações com requisitos inferiores. Este fenómeno não corresponde, necessariamente, a perda total de eficiência dos materiais, mas resulta numa diminuição do seu desempenho funcional e do seu valor ao longo do tempo.

Em contrapartida, a economia circular propõe um modelo de crescimento mais sustentável, promovendo benefícios tanto para a sociedade quanto para a economia. O seu principal objetivo consiste em prolongar a vida útil dos materiais, estabelecendo uma relação cíclica entre os processos de produção e consumo. Este modelo assenta na desconstrução e reutilização dos materiais, de modo a minimizar o desperdício e a acumulação de resíduos a nível global. Segundo a União Europeia, a Europa produz anualmente cerca de 2.1 mil milhões de toneladas de resíduos, o que evidencia a necessidade de legislação e de iniciativas que promovam uma gestão mais eficiente dos resíduos (EU, 2023).[8]

A economia circular consiste na reformulação da lógica produtiva das indústrias de transformadoras, abrangendo diferentes escalas, desde o edifício até à escala empresarial. Conforme exposto no livro, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, escrito por William McDonough e Michael Braungart, a economia circular baseia-se na preservação do valor dos produtos, assegurando a utilidade além do primeiro ciclo de uso. Através de estratégias como a reutilização, a requalificação e a remanufactura, procura-se evitar o desperdício da mão de obra, de energia e do investimento económico já empregados, reduzindo simultaneamente a necessidade de extrair novos recursos finitos.[9]

O setor da construção desempenha um papel essencial na economia global, podendo ser um motor para a inovação e de crescimento para uma sociedade sustentável. No entanto, o setor ainda é responsável por consumir 32% da energia global e contribui para 34% das emissões globais de carbono, assumindo-se como um dos principais contribuidores para a atual crise climática (ONU, 2025).[10]

[8] Website da EU, (2023). Economia circular: definição, importância e benefícios. https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios

[9] Braungart, M. e McDonough, W. (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things.

[10] Website da ONU, (2025). Emissões do setor de construção param de aumentar pela primeira vez desde 2020. https://brasil.un.org/pt-br/291269-onu-emiss%C3%B5es-do-setor-de-constru%C3%A7%C3%A3o-param-de-aumentar-pela-primeira-vez-desde-2020

No livro *Building a Circular Future* (Sommer & Jensen, 2018), através de vários casos de estudo, desenvolvem pré-requisitos para facilitar o reúso dos edifícios. Sommer e Jensen partem da premissa de que um edifício não é permanente, mas de caracter temporário, o que impõe a necessidade de desenvolver estratégias e medidas para reaproveitar os materiais de forma eficaz. No fundo, os autores propõem tratar um edifício como um banco de materiais, onde cada componente deve ser cuidadosamente preservado e projetado para uma desmontagem simples e segura. Ao apoiar a economia circular, o livro defende a criação de um modelo de construção sustentável que não só minimiza o desperdício, mas também valoriza os recursos já investidos, promovendo um ciclo contínuo de reutilização e inovação na arquitetura.

"The most advanced parts of the building industry today operate with six dimensions. The three traditional dimensions i.e. height, length, and depth as well as three additional dimensions time, economy and operation. If the industry is to meet the challenges related to sustainable growth, these dimensions need to be supplemented with a seventh dimension. This dimension is the recycling and reuse of building material without degrading and thus maintaining or improving the value of the material." - (Sommer & Jensen, 2018, p. 175).

Para facilitar a reutilização dos edifícios, algumas diretrizes podem ser aplicadas desde a fase de planeamento. Entre elas destacam-se a parceria com empresas que já implantaram modelos de negócio baseados na circularidade dos materiais, a utilização do conceito Design For Assembly and Disassembly (DFAD) e a implementação de métodos construtivos que permitam desmontagens rápidas e eficientes, como juntas secas e visíveis. É igualmente importante estabelecer um "Material Passport", de forma a preservar informação detalhada e a funcionalidade de cada componente. Os edifícios devem recorrer a materiais cujo processo de transformação seja menos intensivo em recursos e procurar alternativas renováveis, recicláveis ou biodegradáveis. Além de uma simples reciclagem, o foco das empresas e das indústrias deve centrar-se na reutilização dos materiais e componentes previamente transformados, mantendo ou até aumentando o seu valor ao longo do tempo.

“By providing materials with an identity and adequate information, waste is prevented. The document includes information about who has handled the materials, where they were temporarily stored and ways in which they can be reused.” – (Sommer & Jensen, 2018, p.133).

No livro *Building a Circular Future*, sugerem-se diferentes estratégias para empresas que ambicionam um futuro mais sustentável. A primeira consiste na adoção de uma cadeia de abastecimento circular, na qual as empresas que atualmente produzem os seus produtos recorrendo a recursos escassos transitem para materiais alternativos renováveis ou biodegradáveis. A segunda foca-se na recuperação e reutilização de produtos e materiais que atingiram o fim da sua vida útil, seja por reciclagem ou por recuperação de energia. Neste contexto, a conversão de resíduos em energia *(Waste-to-Energy)* revela-se um processo relevante, permitindo a geração de eletricidade ou calor a partir da combustão de materiais em instalações específicas. Adicionalmente a recuperação de calor residual em processos industriais pode ser aproveitada para produção de energia, enquanto os resíduos orgânicos podem ser decompostos para gerar biogás, técnica amplamente utilizada em aterros sanitários.

Outro método essencial para a economia circular consiste na extensão da vida útil dos produtos e componentes, promovendo o seu restauro, revenda ou *rebranding,* de modo a maximizar o valor de cada material ao longo do tempo. Por fim, as empresas e proprietários podem otimizar a utilização de materiais, produtos e espaços subutilizados, assegurando que estes atinjam a sua capacidade máxima e criando oportunidades económicas.

A economia circular visa, assim, maximizar o valor dos recursos e materiais reutilizados ao longo do tempo, reduzindo o desperdício e promovendo ciclos fechados de utilização. Desta forma, encontra-se intimamente ligada à economia, pois impacta diretamente a produtividade dos recursos. Este modelo assegura uma utilização mais eficiente e sustentável dos materiais, contribuindo para a redução de custos, a minimização dos impactos ambientais e a promoção de um uso mais inteligente e estratégico dos recursos disponíveis.[11]

[11] Sommer, J. e Jensen, K. G. (2018). Building a Circular Future (3rd ed.), pp. 120-184.

1.5. DFAD: Design para Montagem e Desmontagem

O DFAD (*Design For Assembly and Disassembly*, ou design para Montagem e Desmontagem) é uma abordagem implementada desde a fase inicial de conceção do projeto, desenvolvida com o objetivo de aproximar o design da etapa de construção, promovendo uma integração mais eficiente entre estas fases. Um dos grandes entraves à reutilização de materiais e componentes no setor de construção e da arquitetura, particularmente na arquitetura convencional, é a incapacidade de desmontar as diferentes camadas dos edifícios. Desta forma, com base na teoria de Steward Brand, pode considerar-se que um edifíco se divide em seis camadas: lugar, estrutura, fachada, serviços, divisórias e objetos. Cada uma destas camadas apresenta ritmos de transformação diferentes, enquanto o lugar e a estrutura possuem uma durabilidade mais longa, os serviços, o espaço interior e os objetos sofrem alterações com mais frequência. Esta diferenciação evidencia a necessidade de conceber edifícios capazes de acomodar mudanças ao longo do tempo. Assim, quando os edifícios são projetados a partir de elementos independentes, tornam-se mais flexíveis e adaptáveis. Esta separação facilita futuras intervenções como a realização de manutenções, reparações, substituições e reutilizações dos componentes do edifício.[12]

"A design imperative emerges: *An adaptive building has to allow slippage between the differently-paced systems of Site, Structure, Skin, Services, Space plan, and Stuff*. Otherwise the slow systems block the flow of the quick ones, and the quick ones tear up the slow ones with their constant change. Embedding the systems together may look efficient at first, but over time it is the opposite, and destructive as well." – (Brand, Steward, 1994, p. 52)

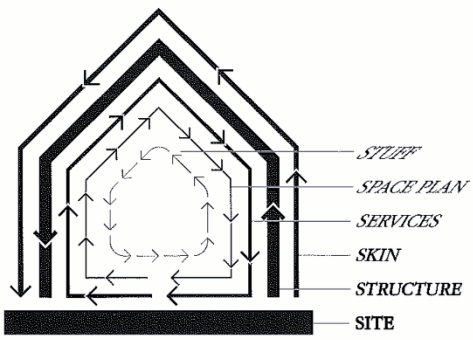


Fig.1.4.1. Steward Brand, Componentes de um Edifício.

[12] Barbosa, A. C. M. (2023). A Pré-fabricação como Método Construtivo para uma Arquitetura Circular, pp.20-30.

Stewart Brand defende que os edifícios devem ser concebidos de forma a permitir a separação e independência entre os seus diferentes sistemas, uma vez que cada um apresenta ritmos de transformação distintos. Caso contrário, a rigidez do projeto compromete a adaptabilidade, aumenta o desperdício de materiais e reduz a vida útil do edifício.

O DFAD centra-se na conceção e utilização de componentes que, após desmontagem, possam ser reutilizados ou remontados para formar novos produtos ou edifícios, promovendo uma abordagem de construção circular. O principal objetivo deste método é a redução de custos, de tempo e de processos desnecessários, sendo a produção em fábrica um elemento-chave deste sistema, uma vez que permite controlar melhor os procedimentos e, simultaneamente, assegurar a qualidade dos componentes.

Esta abordagem baseia-se na visão do edifício como uma estrutura temporária, tornando essencial assegurar a qualidade dos materiais, de modo a permitir a sua reutilização em futuras construções ou produtos. Para tal, recorre-se a produtos estandardizados, fáceis de produzir, reparar, manter e reaproveitar, gerando menos resíduos e, consequentemente, contribuindo para uma menor pegada ambiental. Para facilitar a desmontagem, utiliza-se componentes de simples montagem e desmontagem, como por exemplo, parafusos, porcas ou cavilhas evitando colas e aglutinantes. As conexões devem ser reversíveis, de fácil acesso e preferencialmente visíveis, sem provocar danos nos materiais ou nos elementos de ligação.

O DFAD representa, assim, uma mudança fundamental na forma de projetar os edifícios, promovendo uma visão integrada que abrange todas as fases de projeto, construção, uso, manutenção e desconstrução. Num contexto onde os recursos naturais são cada vez mais escassos e a sustentabilidade se torna uma prioridade global é essencial adotar estratégias que otimizem o uso de materiais de fácil reutilização, adaptação e preservação. Ao considerar, desde o início, a desmontagem e o reaproveitamento dos elementos construtivos, o Design para Montagem e Desmontagem contribui para o desenvolvimento de edifícios alinhados com os princípios da economia circular.[13]

[13] Brand, Stewart, How Buildings Learn: What Happens After They're Built (1994), pp 38-84.
Sommer, J. e Jensen, K. G. (2018). Building a Circular Future (3rd ed.), pp. 66-99.

1.6. Digitalização na Arquitetura

A digitalização na arquitetura corresponde à transposição de práticas tradicionais de projeto para meios digitais, mantendo inalterada a lógica conceptual e metodológica do processo arquitetónico. Neste contexto, as ferramentas digitais funcionam sobretudo como instrumentos de representação, documentação e otimização de procedimentos previamente consolidados, como o desenho assistido por computador (CAD), a modelação tridimensional ou a utilização de plataformas (BIM), utilizadas para a coordenação e produção de documentação técnica.

O conceito Computer-Aided Design (CAD) abrange todos os programas que auxiliam o desenho e a modelação digital de projetos, tanto em 2D como em 3D. O seu desenvolvimento tem permitido a produção de informação técnica mais detalhada, essencial para processos de fabrico mais precisos e eficientes.

A Modelação da Informação da Construção (*Building Information Modelling - BIM*) constitui uma metodologia de trabalho baseada na criação de modelos digitais tanto em 2D como em 3D, capaz de reunir várias informações detalhadas sobre todos os elementos de construção do projeto. O BIM permite simular virtualmente o projeto em diferentes fases, identificando incompatibilidades e otimizando o processo construtivo antes da sua execução. Este método integra múltiplas dimensões associadas ao projeto, incluindo tempo, custo, planeamento, sustentabilidade, manutenção e desconstrução.

Desta forma, o BIM promove a integração de diferentes especialidades, como arquitetura, engenharia estrutural e instalações técnicas, facilitando a colaboração entre os diversos intervenientes ao longo das várias fases do projeto. Esta coordenação contribui para a redução de erros de compatibilização, bem como a otimização de custos, prazos e recursos, promovendo processos construtivos mais eficientes e sustentáveis, alinhados com princípios de economia circular (EC).[14]

O software Rhinoceros (Rhino) assume um papel central na transformação tecnológica da prática arquitetónica, permitindo a produção de formas complexas e promovendo o design paramétrico, computacional e algorítmico. Esta abordagem recorre a parâmetros e algoritmos para gerar formas e soluções construtivas capazes de se adaptar a diferentes exigências funcionais, estéticas e ambientais, promovendo uma arquitetura mais flexível, personalizada e inovadora. Ao contrário do BIM, cujo enfoque reside na gestão da informação, coordenação e documentação multidisciplinar, o Rhino centra-se essencialmente na exploração geométrica e na geração de formas complexas. No contexto profissional, o BIM é predominantemente utilizado por arquitetos, engenheiros e gestores de projeto, enquanto o

[14] Website da University of the Built Environment, (2025, Janeiro 24). What is BIM (and how does it work)? Disponível em https://www.ube.ac.uk/whats-happening/articles/building-information-modelling/

Rhino é amplamente utilizado em design paramétrico e fabrico digital, com foco na experimentação e prototipagem. Adicionalmente, o Rhino estabelece ligação direta com processos de fabrico digital, como maquinação CNC, impressão 3D e robótica, permitindo a exportação de modelos tridimensionais precisos em formatos compatíveis com sistemas de produção. Esta integração reduz a necessidade de interpretação manual, minimiza erros e reforça a continuidade entre conceção, projeto e fabrico.

O Autodesk Fusion é uma plataforma integrada que reúne, num único ambiente digital, diversas funcionalidades essenciais para o desenvolvimento de produtos e processos de fabrico. Entre estas destacam-se ferramentas de CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing), CAE (Computer-Aided Engineering), design de PCB (Printed Circuit Board) e PDM (Product Data Management), bem como recursos de gestão de dados e colaboração.

O CAM permite programar e controlar máquinas de fabrico, como máquinas CNC, utilizando os modelos desenvolvidos em CAD para gerar as trajetórias da fresa e instruções de produção. Estas instruções são normalmente geradas a partir do modelo digital criado em CAD e processadas pelas ferramentas de CAM, que convertem a geometria da peça em trajetórias de corte, posteriormente traduzidas em códigos de controlo numérico, G-code. Este código é posteriormente enviado para a máquina CNC, que interpreta as instruções e executa automaticamente as operações de fabrico. Por sua vez, o CAE integra ferramentas de análise e simulação que possibilitam avaliar o comportamento de um produto antes da sua fabricação, incluindo análises estruturais, térmicas e dinâmicas. No domínio da eletrónica, o PCB refere-se ao desenvolvimento de placas de circuito impresso onde são montados e interligados componentes eletrónicos. Já o PDM permite organizar, armazenar e gerir a informação associada ao desenvolvimento de um produto, incluindo ficheiros de design, documentação técnica e controlo de versões. A plataforma reforça os processos de colaboração ao centralizar a informação do projeto numa infraestrutura baseada na nuvem, permitindo que diferentes utilizadores possam aceder, partilhar e gerir dados de forma segura e organizada, promovendo uma maior eficiência no desenvolvimento de produtos.[15]

[15] Website da Autodesk. (s.d.). What is Autodesk Fusion? Disponível em https://www.autodesk.com/solutions/what-is-fusion-360

1.7. Produção digital (Fabricação Subtrativa)

A produção digital divide-se em três categorias principais, produção subtrativa, aditiva e formativa, distinguindo-se pelo modo como o material é transformado, através de remoção, adição ou deformação.[16] No método de fabricação subtrativa, o material é removido a partir de um bloco sólido pré-existente até se obter a geometria final da peça. A fresagem CNC (Computer Numerical Control) constitui um dos processos mais utilizados neste contexto, permitindo a execução de operações como corte, perfuração, modelação e gravação com elevado grau de precisão.[17] A fresagem é um processo de fabricação em que uma ferramenta rotativa, denominada fresa, remove material da peça. Para a sua execução, é necessário que a geometria da peça seja previamente definida num modelo digital, desenvolvido em software CAD (Computer-Aided Design). Este modelo é posteriormente transferido para um ambiente CAM (Computer-Aided Manufacturing), onde são definidas as estratégias de fabricação e geradas as trajetórias de ferramenta (toolpaths). A partir destas trajetórias, é produzido o código de controlo numérico (G-code), que consiste num conjunto de instruções que controlam os movimentos da máquina CNC. Este código define a trajetória da ferramenta durante o processo de corte, permitindo a remoção controlada de material com base na geometria digital previamente definida.

As fresadoras de três eixos permitem produzir volumes simples, mas têm limitações, como por exemplo não conseguem executar reentrâncias quando estas não conseguem ser alcançadas diretamente por uma ferramenta de corte vertical padrão, porque uma parte do material sobressai ou bloqueia o caminho direto da ferramenta. (undercuts). Para fabricar formas mais complexas, utilizam-se máquinas de quatro ou cinco eixos, que acrescentam eixos de rotação à ferramenta (fresa) ou à peça, aumentando significativamente as possibilidades do desenho.[18]



Fig.1.6.1. Fresadora CNC disponível na Universidade do Minho

[16] Kolarevic, B. (2009). Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. Taylor & Francis e-Library (Edição original publicada em 2003). Pág 46

[17] Website Machine Tool, Máquina de corte a laser vs CNC: Explicação das principais diferenças. https://www.adhmt.com/pt/maquina-de-corte-a-laser-vs-cnc/

[18] Kolarevic, B. (2009). Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. Taylor & Francis e-Library. (Edição original publicada em 2003). Pág. 52-53

2. ATLAS DE CASOS DE ESTUDO

Um atlas é uma compilação de casos de estudo exemplares, constituindo um conjunto de dados sistematicamente organizados sobre um determinado tema, que servem de referência para a construção e organização de informação. A criação de um atlas constitui uma forma de documentar exemplos reais de arquitetura, neste caso, exemplos de empresas atualmente presentes no mercado da construção, que disponibilizam produtos e serviços relevantes para a investigação. Trata-se de um documento capaz de organizar de forma metódica e concisa as informações pesquisadas, sendo simultaneamente fácil de consultar e compreender. Considerou-se importante elaborar um atlas que permita estudar estes casos de estudo de forma visual, conceptual e técnica servindo de referência para o desenvolvimento do novo projeto.

Neste atlas, cada caso é analisado através de diferentes tópicos, o **conceito** do projeto, que define a sua ideia central ou filosofia de cada sistema; o **campo de aplicação**, que indica em que contextos de utilização podem ser aplicados; os **materiais** principais utilizados; a **forma e a morfologia**, que descrevem as características formais e estruturais do objeto; o **nível de pré-fabricação**, correspondente ao grau de fabrico prévio ou industrialização dos componentes; a **modularidade**, refletindo a possibilidade de organização em módulos ou unidades repetíveis; os **tipos de encaixe**, referentes aos sistemas de ligação entre componentes; as **tecnologias e aplicações computacionais**, consiste nas ferramentas computacionais relevantes utilizadas tanto no processo de conceção como produção; a disponibilidade em **open source**; a capacidade de ser **costumizável**, permitindo adaptações espaciais; e, finalmente, o **custo**, sempre que possível por metro quadrado. Esta abordagem permite analisar de forma integrada os projetos, fornecendo uma referência sólida para interpretação, comparação e fundamentação de novas soluções arquitetónicas.

Os casos de estudo Wikkelhouse, U-Built, Facit Homes, WikkiHouse e AUAR foram selecionados devido à sua relevância no mercado da construção, à abrangência de informações disponíveis, ao uso da madeira como principal material construtivo, à inovação tecnológica que incorporam, à diversidade de abordagens e técnicas no desenho dos sistemas, bem como às diferentes metodologias aplicadas nos processos de implementação e construção. A análise destes casos de estudo serve como referência para fundamentar decisões de projeto e apoiar o desenvolvimento de novas soluções construtivas no contexto do presente trabalho.

2.1. Wikkelhouse








Fig.2.1.1. Alojamento nos Países Baixos em Roterdão, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior.

Fig.2.1.2. Alojamento nos Países Baixos em Roterdão, construído pela Wikkelhouse. Vista do interior

Fig.2.1.3. Alojamento nos Países Baixos em Dortherweg, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior

Fig.2.1.4. Alojamento nos Países Baixos em Dortherweg, construído pela Wikkelhouse. Vista do interior.

Fig.2.1.5. Alojamento nos Países Baixos em Overijssel, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior.

Fig.2.1.6. Alojamento nos Países Baixos em Overijssel, construído pela Wikkelhouse. Vista do exterior.

Conceito

O conceito da Wikkelhouse foi desenvolvido pela *Fiction Factory*, empresa sediada em Amesterdão. O nome Wikkelhouse traduz-se como "casa embrulhada", em referência ao seu processo de construtivo, que consiste numa estrutura de madeira que é rodada, num molde metálico, envolvendo 24 camadas de cartão canelado, estas camadas são impregnadas com uma cola ecológica.

O design da Wikkelhouse é flexível e personalizável, permitindo que os segmentos de 1,2 metros de profundidade sejam conectados conforme as necessidades do utilizador. Cada segmento possui uma área de 5 m^2, com comprimento de 4,6 metros, largura de 1,2 metros e altura de 3,5 metros. A estrutura de madeira confere rigidez ao módulo, possibilitando a ligação entre segmentos através de peças longitudinais em aço. Deste modo, é possível criar desde estúdios amplos até casas compactas com cozinha, casa de banho, quartos. O espaço pode ser adaptado a diferentes funções, tais como residência temporária, casa de férias ou escritório.

A Wikkelhouse caracteriza-se como um sistema construtivo pré-fabricado, utilizando a madeira e o cartão canelado como materiais principais, sendo que cerca de 60% da Wikkelhouse é composta por madeira. Este sistema permite a criação de espaços modulares, sustentáveis e adaptáveis, não requerendo uma localização específica para a sua instalação. Normalmente, os módulos assentam sobre uma plataforma de suporte em madeira, evitando o contacto direto com o solo e eliminando a necessidade de fundações tradicionais.

Do ponto de vista ambiental, a maior parte dos materiais utilizados na construção são recicláveis e ecológicos, conferindo à Wikkelhouse um desempenho três vezes superior em sustentabilidade em comparação com a construção convencional. Adicionalmente, estas estruturas apresentam uma durabilidade mínima estimada de 50 anos, podendo atingir até 100 anos quando submetidas a manutenção adequada, destacando-se como uma solução habitacional inovadora e ambientalmente responsável.

Campo de Aplicação

A Wikkelhouse cumpre as normas de alojamento temporário e permanente, podendo incluir módulos de casa de banho, cozinha e quartos, adaptando-se a diferentes funções residenciais ou profissionais. O seu sistema modular permite a ampliação ou a recolocar a habitação noutro lugar, devido à leveza e à ausência de fundações da construção.

Material

A WikkelHouse utiliza uma estrutura de madeira, conferindo rigidez ao módulo e cartão canelado, que aumenta tanto a solidez como o isolamento térmico e acústico da construção. Entre o cartão e a fachada é aplicada uma membrana de impermeabilização, que protege o cartão da humidade e evita a absorção de água durante períodos de chuva. No interior, o módulo recorre ao contraplacado de pinho, enquanto a fachada é revestida com madeira de pinho, garantindo durabilidade no acabamento.

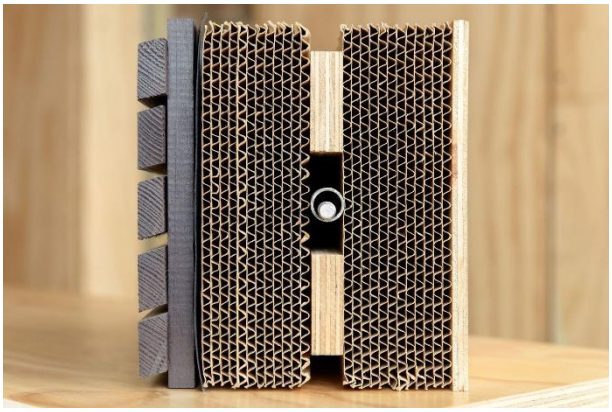


Fig.2.1.7. Componentes que constituem uma parede da empresa Wikkelhouse.

Forma e Morfologia

As construções apresentam um design característico, inerente ao conceito modular da empresa. Os módulos são desenhados com uma secção curva, conferindo identidade ao sistema construtivo. A estrutura pode-se expandir em cumprimentos à medida que novos módulos são adicionados e o interior pode ser adaptado de acordo com as necessidades dos utilizadores.

Nível de Pré-fabricação

A empresa utiliza um sistema modular, no qual todos os componentes são previamente fabricados em fábrica e posteriormente montados no local, conferindo às construções um elevado nível de pré-fabricação. Este método construtivo é altamente eficiente, simplificando e acelerando significativamente o processo de construção no terreno.



Fig. 2.1.8. Parte do processo de construção onde a estrutura de madeira é rodada envolvendo as 24 camadas de cartão canelado.

Modularidade

O sistema da Wikkelhouse é constituído por módulos padronizados, que podem ser conectados entre si para formar um edifício completo. Este sistema é altamente flexível, permitindo ampliação, redução ou reorganização da construção conforme as necessidades do utilizador. Os módulos podem ser desmontados e reutilizados noutras construções deste sistema, contribuindo para a redução do desperdício de materiais. Cada segmento possui uma área de aproximadamente 5 m^2, com 4,6 metros de comprimento, 1,2 metros de largura e 3,5 metros de altura.

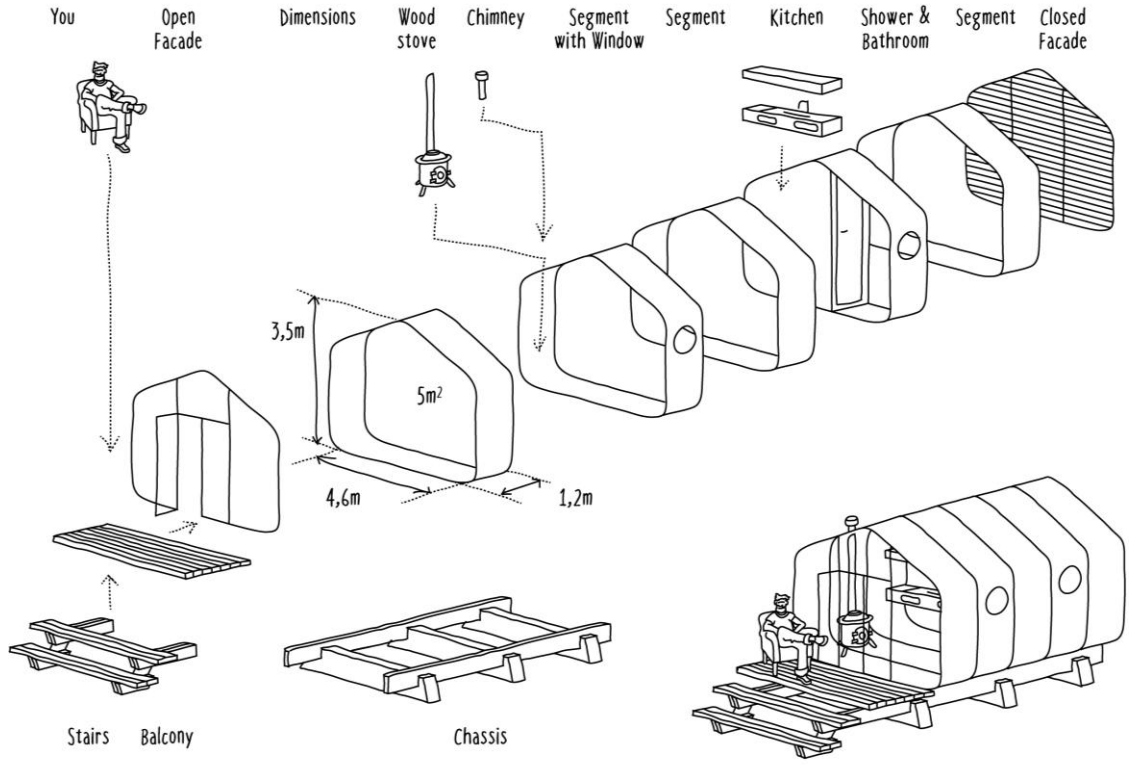


Fig.2.1.9. Esquema dos módulos estandardizados que compõem uma habitação da Wikkelhouse.

Tipo de encaixe

O sistema construtivo da Wikkelhouse integra diversos tipos de encaixes para assegurar a estabilidade e a resistência da estrutura. As peças de madeira são normalmente aparafusadas com parafusos metálicos ou, em alguns casos, coladas entre si. Certos materiais, como as placas de cartão e a membrana de impermeabilização, são fixados recorrendo a colas ecológicas. Adicionalmente, os módulos são interligados entre si através de peças metálicas longitudinais, que são aparafusadas com uma porca no final, garantindo a coesão estrutural e a possibilidade de desmontagem e reutilização dos módulos.



Fig.2.1.10. Colocação do Isolamento lã de rocha no módulo.



Fig.2.1.11. Colagem rápida do pavimento.



Fig.2.1.12. Encaixe metálico entre os módulos, peças longas e metálicas enroscadas com uma porca no final.



Fig.2.1.13. Revestimento a ser aparafusado ao módulo.

Tecnologias / Aplicações computacionais

A Wikkelhouse recorre à fresagem através de máquinas CNC que permite o corte das peças mais rápido e preciso relativamente aos métodos tradicionais.



Fig.2.1.14. Fresagem CNC.

Open-Source

A empresa não disponibiliza as suas peças numa plataforma online.

Costumizável

O design da estrutura parte de um módulo pré-definido, sendo que a forma exterior não é costumizável. O interior já é personalizável de acordo com as necessidades do cliente.

Custo

A Wikkelhouse constituída por três módulos custa 25 mil euros, sendo que cada m2 deste sistema atinge em média os 1666 euros.

2.2. U-Build








Fig.2.2.1. Box House, Graven Hill no Reino Unido, habitação construída pela U-Build, 2019. Vista Exterior

Fig.2.2.2. Box House, Graven Hill no Reino Unido, habitação construída pela U-Build, 2019 Vista Interior.

Fig.2.2.3. Sustainable Workspaces, County Hall no Reino Unido, espaços interiores para um escritório, 2021. Vista Interior.

Fig.2.2.4. Sustainable Workspaces, County Hall no Reino Unido, espaços interiores para um escritório, 2021. Vista Interior.

Fig.2.2.5. Arrumação e mobiliário para uma habitação.

Fig.2.2.6. Lavatório desenhado para a Box House.

Conceito

A U-Built é um sistema construtivo desenvolvido pelos arquitetos do Studio Bark, em colaboração com a Structure Workshop, entidade responsável pela engenharia estrutural dos elementos e a Cut and Construction, responsável pela realização dos testes do produto. O conceito subjacente à U-Build assenta na transformação do processo de construtivo dos edifícios, promovendo a sua simplificação e incentivando a participação de qualquer indivíduo na concretização do seu projeto. O sistema vai de encontro ao movimento "Do it Yourself", permitindo que qualquer pessoa construa e modifique as estruturas sem ter de recorrer à indústria ou a profissionais, de forma a tornar a construção efetivamente acessível. O sistema construtivo caracteriza-se pela sua simplicidade e clareza de execução, exigindo um nível reduzido de especialização técnica, sem comprometer a qualidade do produto final.

Com recurso a ferramentas básicas, os painéis são montados em "caixas", que constituem os módulos estruturais do sistema. Estas caixas são depois empilhadas e aparafusadas entre si, formando as paredes, os pavimentos e a cobertura. Além disso, o sistema segue a abordagem da economia circular, uma vez que os projetos são fáceis de desmontar, reapropriar, relocalizar e reutilizar.

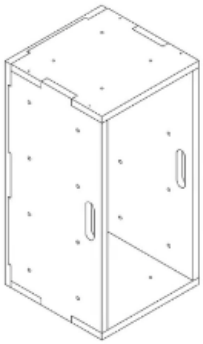


Fig.2.2.7. Caixa multifuncional desenvolvida pela U-Build.

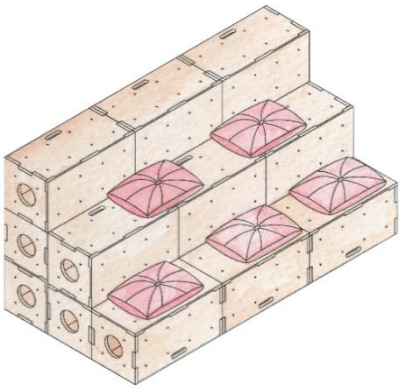


Fig.2.2.8. Exemplo de como pode ser usada a Caixa multifuncional desenvolvida pela U-Build



Fig.2.2.9. Projeto estandardizado de uma habitação desenvolvida pela U-Build.

Campo de Aplicação

O sistema permite a conceção e construção de mobiliário, bem como a criação de divisórias interiores, estantes e módulos de armazenamento, podendo ser integrado em edifícios existentes. No âmbito da edificação, possibilita a execução de estruturas em diferentes escalas, adequando-se tanto a soluções permanentes, como habitações e escritórios, como a estruturas temporárias. A sua natureza modular e adaptável torna-o igualmente adequado a contextos diferentes como cenografia, estruturas efémeras, espaços comerciais ou outras soluções específicas de projeto.

Material

A empresa utiliza contraplacado de madeira para a construção das "caixas" que constituem a estrutura principal, combinando-as com isolamento natural, recorrendo à lã de ovelha ou fibra de madeira usando sempre que possíveis materiais de origem local. As ligações são asseguradas por porcas e parafusos galvanizados. Para paredes, pavimentos e coberturas, recorre-se a uma membrana de impermeabilização da empresa IIIbruck, resistente à humidade, estável aos raios UV e ao fogo. O revestimento exterior além da função estética protege a membrana impermeável subjacente. É possível aplicar qualquer tipo de revestimento, interno ou externo, de acordo com as preferências do utilizador; no entanto, a empresa disponibiliza igualmente uma seleção própria de revestimentos.

Forma e Morfologia

As construções da U-Built revelam uma arquitetura fortemente ligada com o seu sistema construtivo, sendo que a morfologia dos edifícios é baseada na repetição de módulos geométricos, geralmente de forma paralelepipedal organizados segundo uma grelha métrica rigorosa, correspondente a múltiplos de 150 mm. As estruturas resultantes apresentam formas simples, retangulares ou cúbicas, mas oferecem grande possibilidades de expansão e reorganização espacial.

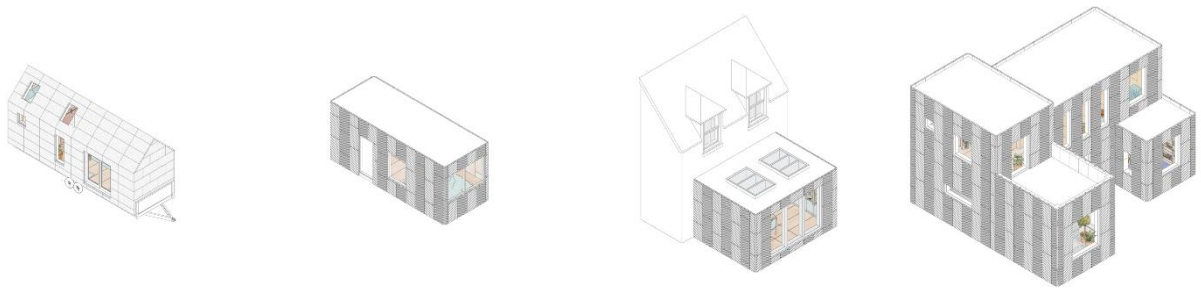


Fig.2.2.10. Esquema dos vários tipos de projetos executados pela U-Build.

Nível de Pré-fabricação

O sistema é constituído por painéis de madeira pré-fabricados produzidos através de máquinas de corte (CNC), com uma precisão de 0,1 mm. O processo é gerido através de um fluxo de trabalho computacional paramétrico, que permite transformar o projeto automaticamente em desenhos de corte, além de criar estimativas de custos. Os desenhos de corte finalizados são enviados para um dos fabricantes com máquinas CNC e os painéis chegam ao local de obra sob a forma de kit de peças para montagem. Com recurso a ferramentas básicas, os painéis são montados em "caixas", que constituem os módulos estruturais do sistema. A montagem tanto pode ser feita por uma equipa profissional organizada pela U-Built como organizada de forma independente pelo cliente.

Modularidade

A empresa desenvolveu um sistema modular de "caixas de madeira", que podem ser empilháveis e conectadas entre si, semelhantes a peças de lego. Este sistema permite uma grande adaptabilidade, sendo que os móveis podem ser montados, replicados, ampliados, desmontados e transportados para qualquer lugar.

Tipo de encaixe

O sistema construtivo da U-Build utiliza componentes de encaixe de alta precisão, fabricados por meio de máquinas CNC. Os diferentes tipos de encaixes no sistema foram desenvolvidos para garantir resistência, estabilidade e facilidade de montagem, mesmo por pessoas sem experiência prévia em construção.

O princípio mais utilizado neste sistema é o encaixe macho-fêmea, no qual uma saliência de uma peça encaixa-se na ranhura correspondente de outra, permitindo a união segura de painéis. Nas construções desta empresa, embora o sistema de encaixe de madeira seja o principal recurso de montagem, os parafusos desempenham um papel complementar importante, em especial para a união das caixas de madeira previamente montadas. Os parafusos ajudam também a manter a integridade do encaixe ao longo do tempo, sendo que a madeira pode expandir ou contrair devido a variações de humidade e temperatura, evitando que a estrutura perca o alinhamento.

Para construções fixas e permanentes, o sistema requer uma plataforma de suporte adicional, essa base facilita o nivelamento da construção, distribuição de cargas, instalação de infraestruturas e posteriores expansões. O tipo de fundação depende do terreno e do peso da estrutura. Para módulos exteriores, podem ser usados blocos de betão leves, pés de suporte ou fundações modulares ajustáveis, sem

necessidade de lajes permanentes. No interior, os módulos podem assentar em pés ajustáveis ou podem ser equipados por rodas para facilitar a movimentação. Edifícios maiores podem exigir fundações mais robustas.

A partir da análise das imagens, é possível observar que, além dos encaixes em madeira e da utilização de parafusos, o sistema emprega outros métodos de fixação, tais como o agrafamento da camada de impermeabilização à estrutura e a colagem dos elementos envidraçados diretamente à estrutura da edificação.

Este sistema distingue-se pelo elevado desempenho ambiental, bem como pela flexibilidade e adaptabilidade, uma vez que o recurso a fixações aparafusadas permite a desmontagem da estrutura e a subsequente reutilização dos materiais, em consonância com os princípios da economia circular.



Fig.2.2.11. Encaixe macho-fêmea, no qual uma saliência de uma peça encaixa-se na ranhura correspondente de outra, permitindo a união segura de painéis.



Fig.2.2.12. Uso de parafusos para a união das caixas de madeira.



Fig.2.2.13. Parafusos gigantes usados como fundação.



Fig.2.2.14. Vigas de madeira formam uma base para a estrutura da U-Build.



Fig.2.2.15. Caixas modulares são unidas através de parafusos estandardizados com uma porca na extremidade.



Fig.2.2.16. Caixas da parede viradas para fora devido à colocação do isolamento.



Fig.2.2.17. Agrafamento da membrana de impermeabilização à estrutura.



Fig.2.2.18. Utilização de uma massa de vedação para vedar os caixilhos de janelas, bem como de fita adesiva aplicada nas extremidades da estrutura, garantindo a estanqueidade ao ar e a proteção contra as intempéries.



Fig.2.2.19. Revestimento aparafusado à estrutura



Fig.2.2.20. Recorte na estrutura para acomodar as instalações técnicas.

Tecnologias / Aplicações computacionais

O U-Build é criado a partir de softwares paramétricos que permitem codificar desenhos complexos em componentes simples para posteriormente serem cortados em máquinas CNC locais. Nas máquinas CNC é efetuado um corte com precisão para criar os kits de peças, permitindo que a estrutura do edifício seja montada por pessoas com pouca experiência de construção, utilizando apenas ferramentas manuais simples.

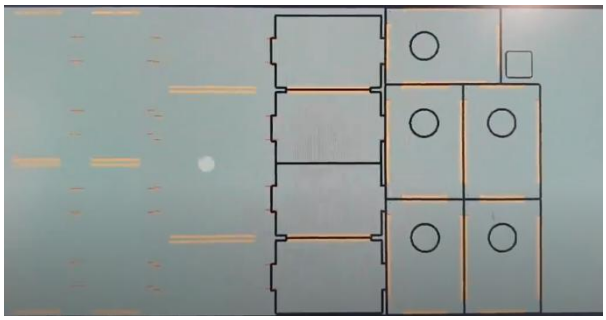


Fig.2.2.21. Peças desenhadas pela U-Build preparadas para imprimir em máquinas CNC.



Fig.2.2.22. Impressão das peças numa máquina CNC.

Open-Source

A empresa não disponibiliza as suas peças numa plataforma online.

Customizável

Cada módulo apresenta uma dimensão fixa, correspondente a múltiplos de 150 mm (por exemplo, 150 mm, 300 mm, 450 mm, etc.). Esta padronização confere flexibilidade ao nível do desenho e do projeto, mantendo simultaneamente a simplicidade construtiva, uma vez que todas as peças se encaixam de acordo com a grelha fixa. Também é possível criar telhados inclinados e peças personalizadas, mantendo sempre a facilidade de montagem e desmontagem.

Custo

Segundo os arquitetos, o objetivo é fornecer produtos de alta qualidade a um preço normal, em vez de qualidade normal a um preço económico. Adicionalmente, devido às tecnologias que utiliza, a empresa garante previsibilidade ao nível dos custos e das quantidades de materiais, favorecendo um maior controlo orçamental. Os custos variam consoante o tamanho, o mercado, o nível de padronização e a localização do projeto. Para um sistema de caixas com 150 mm de profundidade, deve-se prever um orçamento de aproximadamente £1300 a £1600 (aproximadamente 1490-1830 euros) mais IVA por metro quadrado de área útil interior.

2.3. WikiHouse








Fig.2.3.1. Peaks Barn, Derbyshire no Reino Unido, um estúdio e uma garagem dupla no Peak District contruída em 2022. Vista exterior.

Fig.2.3.2. Peaks Barn, Derbyshire no Reino Unido, um estúdio e uma garagem dupla no Peak District, contruída em 2022.

Fig.2.3.3. Farmhouse, Warwickshire no Reino Unido, uma casa com dois andares, construída em 2017. Vista exterior.

Fig.2.3.4. Farmhouse, Warwickshire no Reino Unido, uma casa com dois andares, contruída em 2017.

Fig.2.3.5. Ōmokoroa House, Bay of Plenty, Nova Zelândia, uma casa WikiHouse, contruída em 2025. Vista exterior.

Fig.2.3.6. Ōmokoroa House, Bay of Plenty, Nova Zelândia, uma casa WikiHouse, contruída em 2025. Vista interior.

Conceito

A WikiHouse foi fundada por Alastair Parvin e Nick Ierodiaconou. O sistema consiste num método de construção assente numa plataforma aberta, que permite a fabricação de diversos componentes modulares em madeira, cortados com elevada precisão através de máquinas CNC. Os ficheiros digitais necessários à produção destes componentes podem ser descarregados gratuitamente a partir do website da empresa, sob licença open-source, possibilitando a sua adaptação e melhoria pela comunidade. O sistema baseia-se numa lógica de estandardização modular, mas integra uma biblioteca com diversos tipos de componentes, permitindo uma ampla personalização. A WikiHouse, ao utilizar materiais biológicos de origem local, um projeto típico emite apenas cerca de 20% do carbono associado a uma construção convencional em alvenaria, sendo que a madeira utilizada contribui para um balanço carbónico potencialmente negativo. A fabricação digital permite otimizar o corte das peças e reduzir o desperdício de materiais durante o processo de construção. De acordo com o website, as estruturas da Wikihouse apresentam uma vida útil certificada de 60 anos, contudo, desde que sejam mantidos secos e devidamente protegidos, poderão apresentar uma durabilidade substancialmente superior.

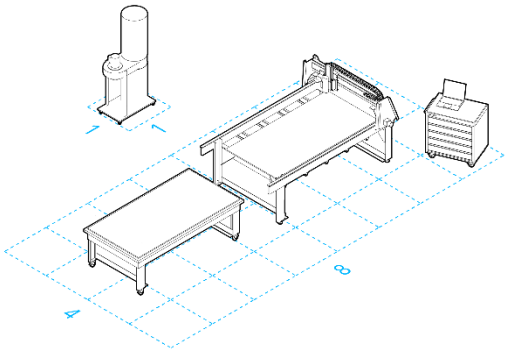


Fig.2.3.7. Esquema de uma Máquina CNC.

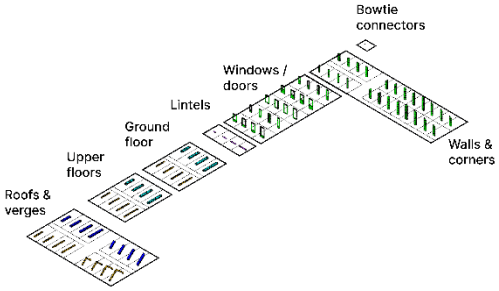


Fig.2.3.8. Esquema da organização do ficheiro sketchup com as peças modulares desenvolvidas pela WikiHouse.

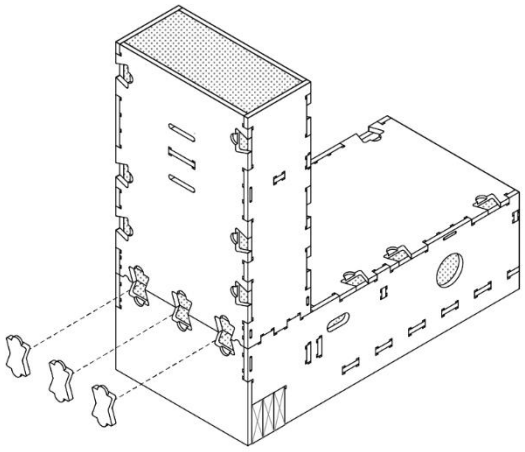


Fig.2.3.9. Detalhe construtivo do sistema desenvolvido pela WikiHouse.

Campo de Aplicação

A WikiHouse fornece a estrutura principal das habitações, incluindo os blocos de parede, pavimentos e cobertura, bem como escadas, blocos de janelas, claraboias, portas, lintéis para abertura de vãos e peças de ligação e acabamento dos componentes modulares.

Material

Os blocos WikiHouse são compostos por painéis de madeira com 18 mm de espessura, geralmente OSB. As cavidades dos blocos são preenchidas com isolamento, em rolos ou painéis semirrígidos, como lã mineral, fibras naturais ou outros materiais reciclados. A estrutura principal deve ser mantida seca através da utilização de uma membrana de impermeabilização exterior. De forma a proteger essa camada aplica-se o material de revestimento selecionado. Sempre que possível, são utilizados processos de encaixe reversíveis, permitindo a desmontagem e reutilização dos componentes no fim da vida útil do edifício, com quase nenhum desperdício

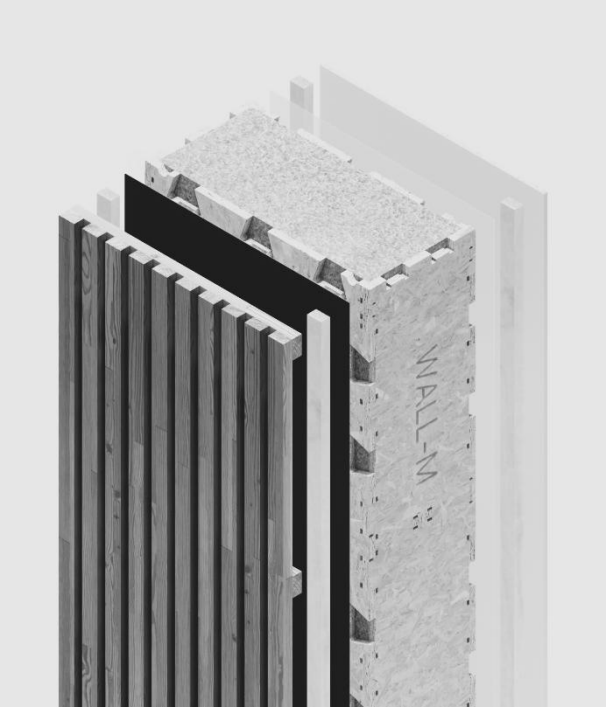


Fig.2.3.10. Isometria explodida de uma parede desenvolvida pela WikiHouse.

Forma e Morfologia

Atualmente, o sistema WikiHouse permite apenas plantas ortogonais, constituídas por arestas retas, podendo, contudo, os telhados ser retos ou inclinados. O design da WikiHouse deve ser simples e intemporal, de modo a produzir soluções desejáveis e acessíveis à maioria.

Nível de Pré-fabricação

A empresa recorre ao sistema modular, onde todos os componentes são fabricados em fábrica e posteriormente montados no local, tendo as construções um elevado nível de pré-fabricação. Este tipo de construção é bastante eficiente simplificando e acelerando a construção no terreno.

Modularidade

No sistema WikiHouse, a estrutura da habitação é composta por módulos padronizados, concebidos para serem replicáveis e adaptáveis. Esta abordagem permite ampliar, reduzir ou reorganizar o edifício de acordo com as necessidades dos utilizadores.

Além disso, os módulos podem ser desmontados e montados noutro local, conferindo maior flexibilidade ao sistema. Os elementos desmontados podem ser reutilizados em outras construções, promovendo a economia circular e contribuindo para a redução do desperdício de materiais.

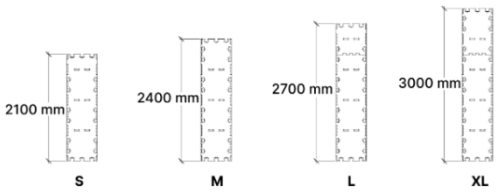


Fig.2.3.11. Diferentes tipologias de paredes.

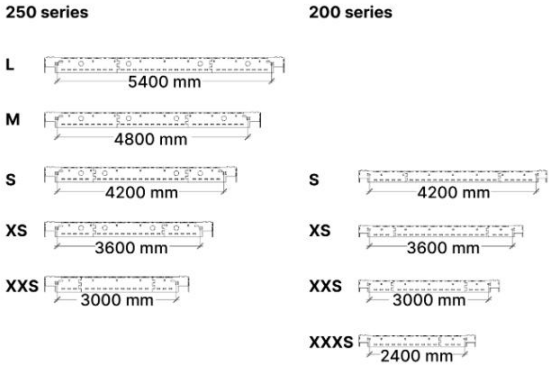


Fig.2.3.12. Diferentes tipologias de pavimentos.

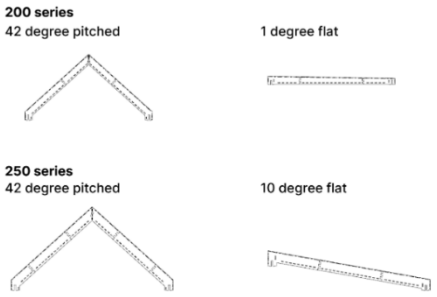


Fig.2.3.13. Diferentes tipologias de cobertura.

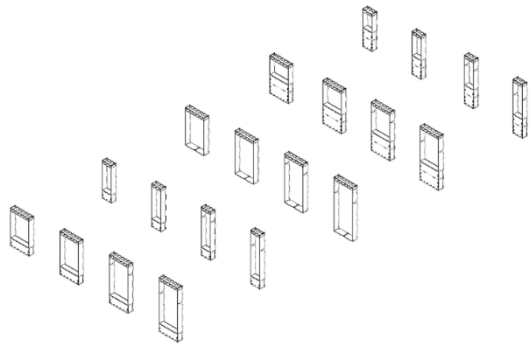


Fig.2.3.14. Diferentes tipologias de janelas.

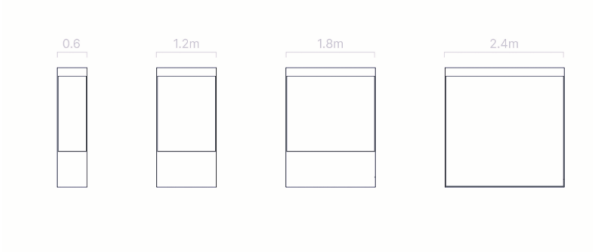


Fig.2.3.15. Diferentes espaçamentos das portas e janelas.



Fig.2.3.16. Peças de Conecção/Ligação dos Componentes.

Tipo de encaixe

O sistema recorre a componentes de encaixe de alta precisão, fabricados através de máquinas CNC. Esses elementos são montados como um puzzle tridimensional, eliminando sempre que possível a necessidade de pregos, parafusos ou colas. O processo de montagem é rápido, intuitivo e acessível.

Existem essencialmente dois tipos de encaixes na Wikkihouse: a ligação tradicional macho-fêmea, utilizada nas junções entre placas de madeira pertencentes ao mesmo componente e o encaixe baseado na técnica Dog-bones, frequentemente utilizada em construções CNC para ligar dois componentes. Este elemento de ligação foi redesenhado pela Wikkihouse que lhe atribuiu o nome de Bowties (Fig.2.3.16).

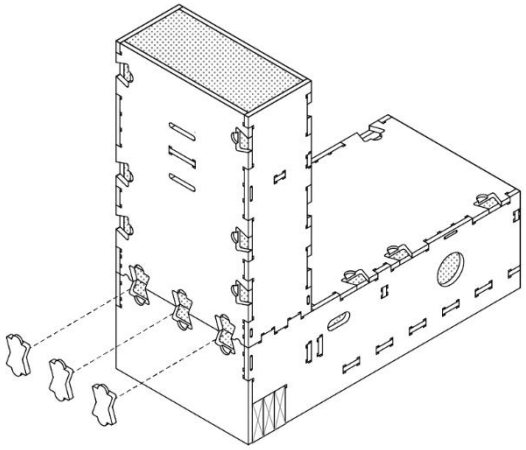


Fig.2.3.17. Detalhe construtivo do sistema desenvolvido pela WikiHouse.

Tecnologias / Aplicações computacionais

Os blocos estão disponíveis para descarregamento em vários formatos de ficheiros, consoante a preferência ou ferramentas disponíveis, como por exemplo o AutoCad, Rhino, SketchUp, Blender e IFC.

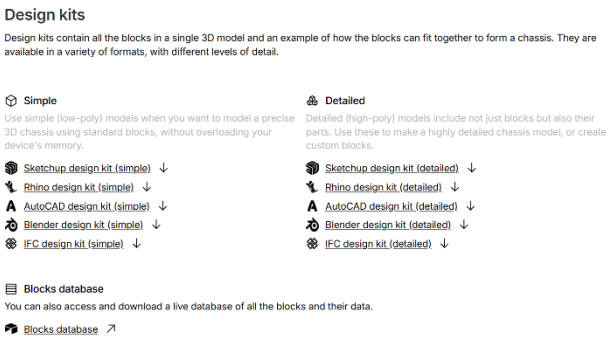


Fig.2.3.18. Página online para descarregar as peças do Sistema Skylark 250 da WikiHouse.

Open-Source

A WikiHouse é um sistema modular adaptável baseado numa plataforma digital online (open-source), onde o design, as peças e os documentos estão disponíveis para download grátis a partir do website da empresa.

Customizável

No website da empresa estão disponíveis cerca de 200 tipos de peças diferentes que podem ser combinadas entre si, de forma a criar diversos edifícios e programas. Há medida que a biblioteca de blocos vai crescendo mais possibilidades de construção irão surgir. Caso seja necessário um bloco específico para uma determinada construção em desenvolvimento, este pode ser projetado por qualquer pessoa e posteriormente partilhado com a empresa.

Custo

A partir do site da empresa, através do preenchimento de alguns parâmetros como, tipo de uso, número de andares, área, tipo de fundações, material, isolamento, tipo de acabamentos e mão de obra, a Wikihouse consegue fornecer um preço estimado da construção.

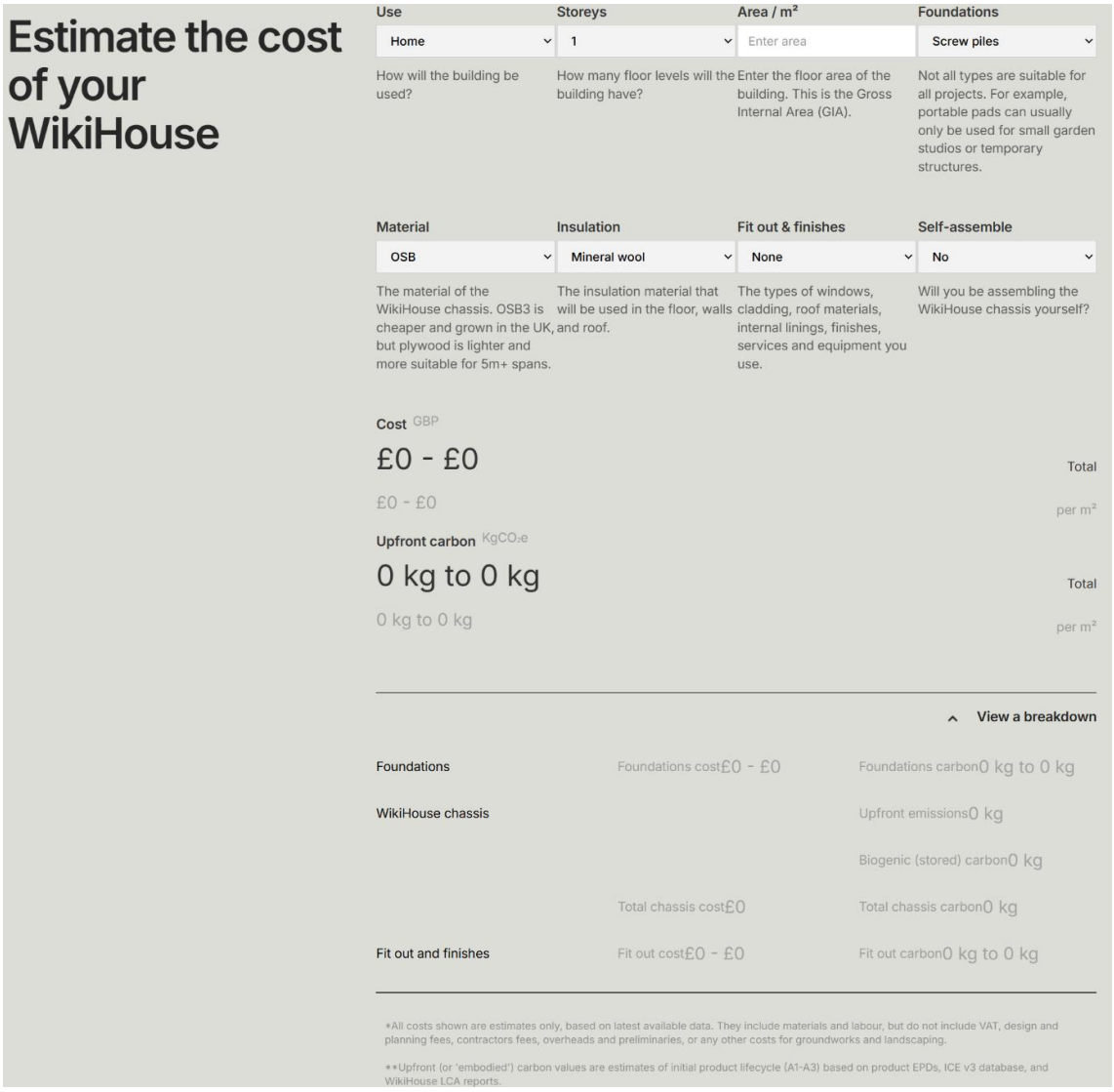


Fig.2.3.19. Página online que permite a qualquer individuo calcular o preço da estrutura WikiHouse que pretende construir.

2.4. Facit Homes








Fig.2.4.1. Meadow View, West Sussex no Reino Unido, habitação construída em 2024. Vista exterior.

Fig.2.4.2. Meadow View, West Sussex no Reino Unido, habitação construída em 2024. Vista interior.

Fig.2.4.3. Stour House, Suffolk no Reino Unido, habitação construída em 2019. Vista exterior.

Fig.2.4.4. Stour House, Suffolk no Reino Unido, habitação construída em 2019. Vista interior.

Fig.2.4.5. Print House, South London no Reino Unido habitação construída em 2016. Vista exterior.

Fig.2.4.6. Print House, South London no Reino Unido habitação construída em 2016. Vista interior.

Conceito

A Facit Homes é empresa fundada em 2007 no Reino Unido por Bruce Bell que é o fundador e o CEO da empresa. Além disso, temos os cofundadores Olly Thomas, Alessandra Di Simone, Pedro Hurtado Silva e o Arquiteto Matthew Pratt.

O objetivo principal da empresa é desenvolver, fabricar e construir habitações sustentáveis, proporcionando uma alternativa ao modelo convencional de construção. Ao contrário do processo tradicional, que envolve a contratação separada de arquitetos e empreiteiros, a Facit opera como uma única entidade, composta por uma equipa especializadas em todas as fases do projeto. Esta abordagem integrada permite um maior controlo, eficiência e previsibilidade dos custos de construção, eliminando incongruências frequente associadas à fragmentação do setor da construção.

O sistema construtivo da Facit baseia-se numa metodologia holística, que acompanha o cliente desde a fase de conceção até à execução final da obra. Cada habitação é desenhada como se fosse um produto composto por elementos padronizados, paredes, pavimento, cobertura, portas, janelas, sistemas internos, entre outros, interligados através da estrutura principal modular da Facit.

A estrutura principal (o chassis da Facit Homes) é constituída por componentes em madeira produzidos com recurso a máquinas CNC de

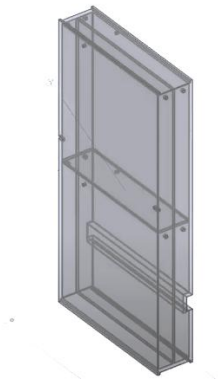


Fig.2.4.7. Componente de parede desenvolvido pela Facit Homes.

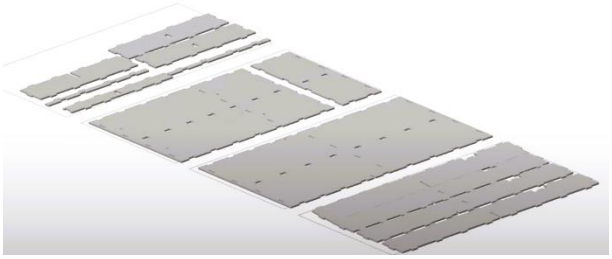


Fig.2.4.8. Peças que constituem uma parede.

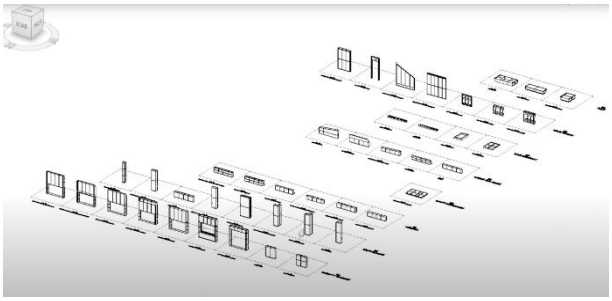


Fig.2.4.9. Ficheiro com os componentes desenvolvidos pela Facit Homes.

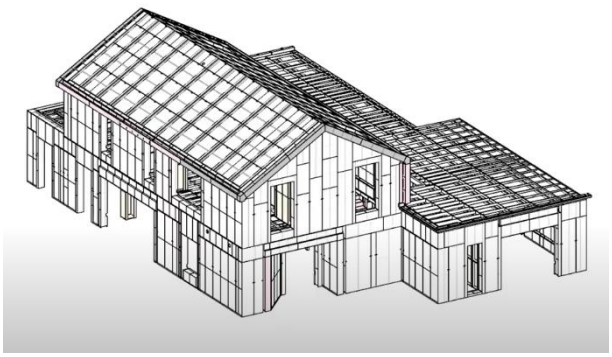


Fig.2.4.10. Casa construída com os componentes desenvolvidos pela Facit Homes.

elevada precisão. Estes elementos são desenhados de forma a integrar facilmente os sistemas técnicos da habitação, como isolamento térmico canalizações e redes elétricas. O chassis da Facit funciona como um sistema modular onde todos os elementos se encaixam com precisão. Apesar da modularidade, o sistema assenta num design paramétrico, conferindo-lhe elevada flexibilidade dimensional e formal, permitindo que cada edifício seja totalmente personalizado e único.



Fig.2.4.11. Imagem tridimensional da estrutura vendida pela empresa.

Campo de Aplicação

A Facit Homes tem um amplo campo de aplicações, sendo capaz de produzir componentes modulares em madeira para paredes, pavimentos e coberturas. O seu sistema construtivo é composto por um conjunto integrado de produtos, que combina a estrutura principal com elementos de carpintaria secundária, como escadas, janelas, portas, serviços, utilidades e fundações.

Material

A estrutura em madeira de abeto não só confere uma resistência excecional, como também funciona como um reservatório de carbono, contribuindo para a redução da pegada carbónica global do edifício. No interior do chassis em madeira é incorporado isolamento térmico, com o objetivo de garantir o conforto térmico. Na face exterior do chassis é aplicada uma membrana de impermeabilização, destinada a proteger a estrutura principal contra as intempéries e a humidade. O Facit Chassis foi concebido para acomodar uma ampla gama de sistemas de revestimento, tanto interiores como exteriores, possibilitando um elevado grau de personalização na sua seleção.

A empresa integra no seu sistema fundações de betão, porém adota um sistema diferente onde a laje de fundação é isolada *(Insulated Raft Foundation).* Uma laje de fundação isolada consiste numa laje de betão armado assente sobre uma camada contínua de isolamento térmico, geralmente executada em EPS (poliestireno expandido). O material isolante é disposto sob a laje e ao longo do seu perímetro, estabelecendo uma barreira térmica eficaz entre o edifício e o terreno natural, contribuindo para a mitigação das perdas térmicas por contacto com o solo.

Forma e Morfologia

O processo de conceção baseia-se num sistema paramétrico, que permite ajustar o projeto arquitetónico às necessidades específicas de cada cliente, sem comprometer a eficiência produtiva. Esta abordagem possibilita a criação de casas únicas, garantindo simultaneamente controlo de custos, tempo e qualidade.

Nível de Pré-fabricação

A Facit Homes adota um elevado nível de pré-fabricação, ancorado num sistema modular, mas com uma abordagem diferentes dos modelos convencionais. A empresa adota uma abordagem descentralizada de produção, levando a fábrica ao local da obra em vez de transportar os componentes.

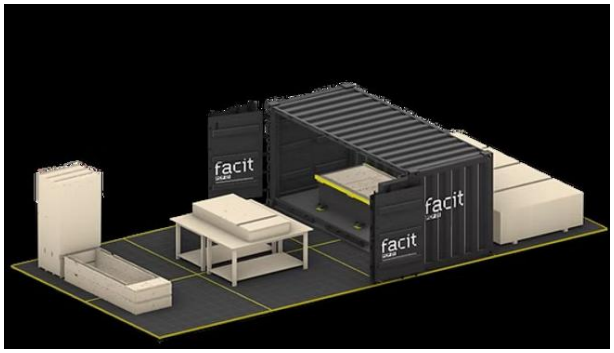


Fig.2.4.12. Esquema do processo de construção da Fait Homes, Máquina CNC transportada até ao local para imprimir as peças enquanto decorre a construção.

Para tal, utiliza unidades móveis de fabrico (MPF – *Mobile Production Facility*), instaladas em contentores, que permitem iniciar a construção no próprio local. Esta solução proporciona vantagens significativas, como maior rapidez de execução, flexibilidade operacional e capacidade de adaptação em tempo real às condições e imprevistos da obra. Além disso, permite iniciar a montagem da habitação enquanto os seus componentes ainda estão em fase de produção.

Modularidade

O sistema da Facit é composto por um conjunto de componentes modulares interdependentes, que se articulam em torno de um elemento central: o chassis estrutural em madeira. Este chassis é formado por painéis e componentes modulares cortados através de fresadoras CNC.

Tipo de encaixe

O sistema construtivo da Facit Homes baseia-se em componentes modulares de madeira, fabricados com alta precisão por meio de tecnologia CNC, a partir de modelos digitais tridimensionais gerados em ambiente BIM. Todos os elementos, desde painéis estruturais até componentes técnicos são projetados para encaixar de forma exata, garantindo uma montagem rápida, limpa e confiável, mesmo em contextos

de obra complexos. As fundações são de betão e sobre esta base é montado o chassis estrutural, que constitui o núcleo do sistema modular Facit.

Os principais tipos de encaixe utilizados no sistema incluem é o Encaixe tipo macho-fêmea, largamente aplicado nas uniões entre painéis de parede, piso e cobertura. Este tipo de encaixe assegura estabilidade, alinhamento dimensional e facilidade de montagem. Encaixes embutidos e ocultos, que acomodam fixações metálicas, utilizadas em pontos de esforço concentrado ou onde são exigidos reforços mecânicos adicionais. Embora o sistema de encaixe em madeira seja o principal meio de montagem, a utilização complementar de parafusos estruturais garante a longevidade e estabilidade dimensional da construção.



Fig.2.4.13. Encaixe macho-femea das peças desenvolvidas pela Facit Homes.



Fig.2.4.14. Utilização de parafusos para reforçar o sistema e evitar o levantamento da placa superior, componentes da cobertura.



Fig.2.4.15. Construção de uma habitação com o sistema desenvolvido pela Facit Homes.



Fig.2.4.16. Recorte na estrutura para acomodar as instalações técnicas.

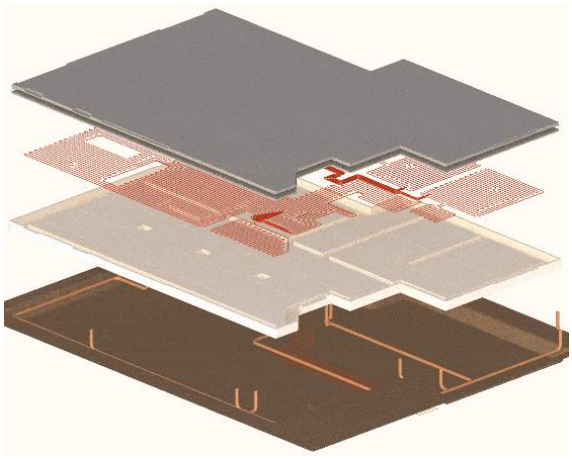


Fig.2.4.17. Fase de escavamento, Infraestruturas subterrâneas, laje de fundação isolada, aquecimento radiante, laje de betão, placa de base do chassis Facit.



Fig.2.4.18. Vigas entre pisos, combinação da madeira com aço.

Tecnologias / Aplicações computacionais

Em contraste com os outros casos de estudo a Facit homes implementa a sua micro fabrica no local de construção, permitindo a produção no local. Segundo a empresa, este método aumenta a agilidade e reduz as necessidades de transporte. O processo combina a precisão digital com a habilidade artesanal, uma vez que os componentes de contraplacado são cortados em CNC, porém são montados à mão. A metodologia de projeto baseia-se na utilização avançada de tecnologias BIM (Building Information Modeling). Para cada projeto é desenvolvido um modelo tridimensional completo, onde todos os elementos da construção são representados com elevado grau de detalhe, incluindo componentes técnicos e estruturais. Esta abordagem permite resolver antecipadamente todas as questões construtivas, melhorar a coordenação entre sistemas e estimar com elevada precisão os custos e as quantidades de materiais, como por exemplo o número exato de painéis de madeira necessários. A Facit é pioneira na aplicação direta do modelo BIM ao fabrico digital. Uma vez concluído o modelo digital, este é submetido a um processo de conversão denominado *dprocess* que transforma os componentes modelados em instruções de produção (G-Code), utilizadas diretamente pelas máquinas CNC para a produção física dos elementos. A empresa também recorre a sistemas robóticos e inteligentes avançados para a definição, marcação e impressão robótica no local. Esta abordagem garante uma precisão, velocidade e eficiência no processo de construção.



Fig.2.4.19. Fresadora CNC.

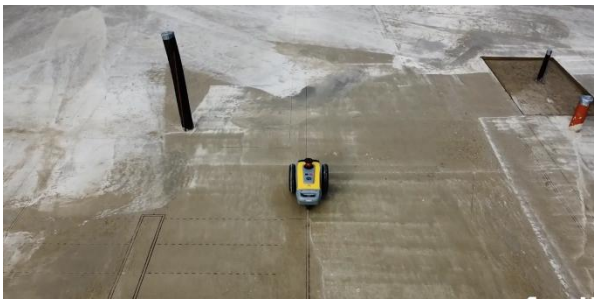


Fig.2.4.20. Utilização de sistemas robóticos para marcação do desenho do projeto no local da obra.

Open-Source

A empresa não disponibiliza as suas peças numa plataforma online.

Customizável

Este sistema de construção é bastante flexível, cada projeto é criado de acordo com o terreno e as necessidades do cliente, sendo que não há modelos de catálogo.

Custo

A Facit Home tem um modelo de pagamentos fixo, ou seja, o preço do projeto não altera, não há taxas ocultas, alterações ou excessos no orçamento.



Fig.2.4.21. Preço fixo por metro quadrado, com todos os custos incluídos.

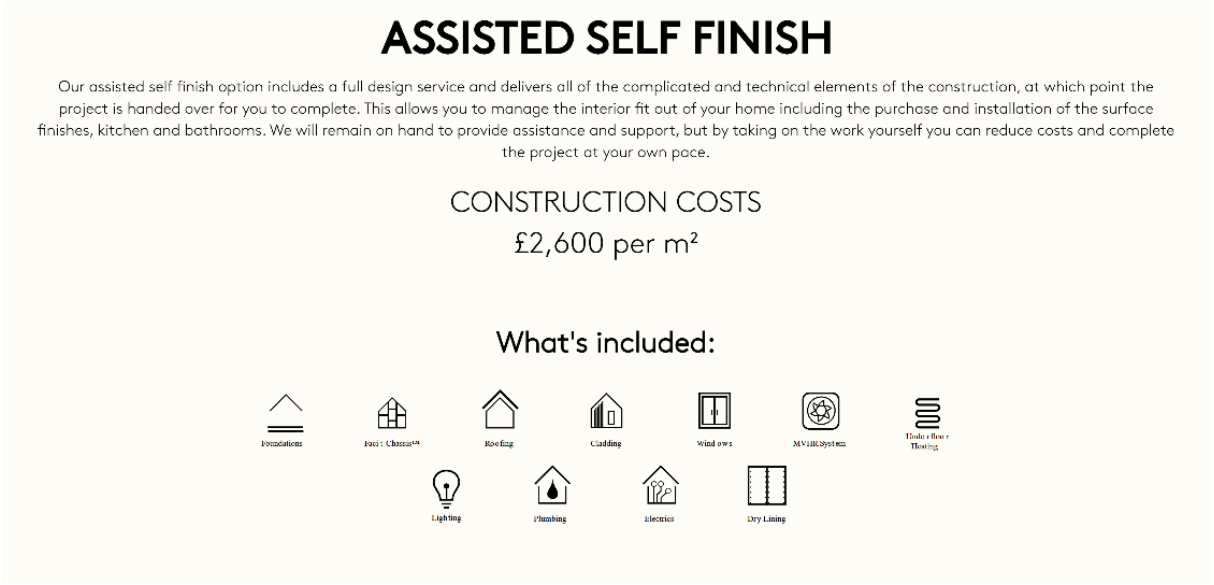


Fig.2.4.22. Preço fixo por metro quadrado, sem mão de obra incluída.

2.5. AUAR - Automated Architecture



Fig.2.5.1. Dwelling Unit for Musicians, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2021. Vista exterior.

Fig.2.5.2. Dwelling Unit for Musicians, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2021. Vista interior.

Fig.2.5.3. Pavilion, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2020.

Fig.2.5.4. Pavilion, Bristol no Reino Unido, habitação construída em 2020.

Fig.2.5.5. AUAR Home-Office, London, no Reino Unido, habitação construída em 2020.

Fig.2.5.6. AUAR Home-Office, London, no Reino Unido, habitação construída em 2020.

Conceito

A Automated Architecture Ltd (AUAR) é uma empresa tecnológica recente, que utiliza a IA (Inteligência Artificial) e a automação para aumentar a disponibilidade de casas sustentáveis e acessíveis. A empresa tecnológica está situada no Reino Unido e foi cofundada por Gilles Retsin e Mollie Claypol. De forma a simplificar o processo de conceção com o processo de fabrico, a AUAR desenvolveu o seu próprio software. O software MasterBuilder da AUAR liga o design com a IA diretamente à produção robótica, automatizando tudo, desde o planeamento ao fabrico. Isto resulta em custos mais baixos, construções mais rápidas, maior controlo sobre os prazos dos projetos e, em última análise, maior capacidade para a indústria da construção. O objetivo da empresa é construir um ecossistema de construção global e automatizado para casas sustentáveis e acessíveis para todos. No fundo, o sistema consiste em blocos de construção de madeira, um material renovável, que são pré-fabricados e montados roboticamente. A cadeia de produção inicia-se com a montagem automatizada de peças de madeira por um robô, que as organiza e integra para formar os diferentes componentes construtivos. Posteriormente, esses componentes são utilizados na execução do projeto, permitindo a materialização da estrutura de forma eficiente

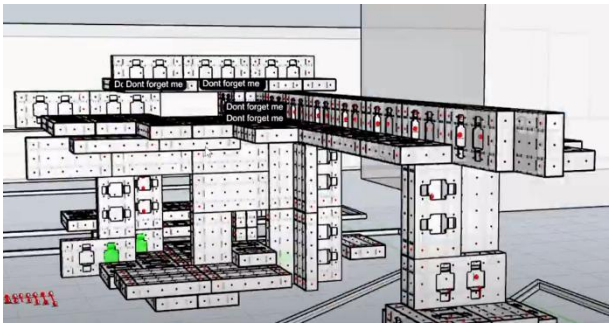


Fig.2.5.7. Ficheiro com a estrutura Pavilion, Bristol no Reino Unido, montada em 3D.

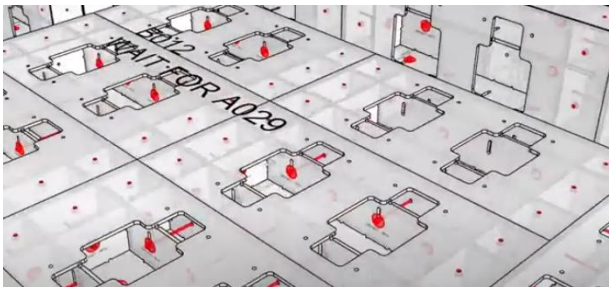


Fig.2.5.8. Conexões metálicas que interligam a estrutura desenvolvida pela empresa AUAR.

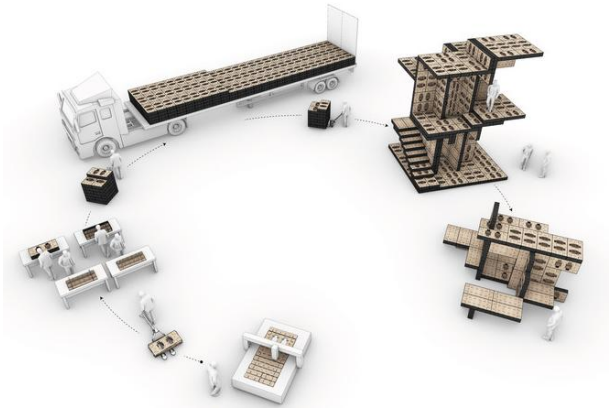


Fig.2.5.9. Esquema do processo de construção da empresa AUAR para este sistema

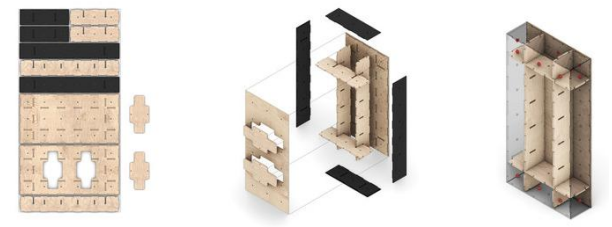


Fig.2.5.10. Esquema de montagem de um componente para este sistema da AUAR.

e sistematizada. As estruturas produzidas pela AUAR podem ser personalizadas de acordo com as características do local e as necessidades do cliente. Além disso, os blocos de madeira podem ser montados, desmontados e remontados evitando o desperdício de materiais.

A empresa AUAR consegue produzir a estrutura de madeira completa de uma casa em apenas 12 horas e reduzir a mão de obra no local, até 75%. Cada Micro Fábrica da AUAR pode produzir painéis modulares de estrutura de madeira para paredes, pavimentos e coberturas, que podem ser rapidamente montados no local para criar uma variedade de projetos.

Até 2030, a AUAR pretende ter construído mais de 100 000 casas com emissões negativas de carbono, produzidas pelos seus clientes em mais de 10 regiões geográficas.



Fig.2.5.11. Pavilion, Bristol no Reino Unido a ser construído no local.

Campo de Aplicação

A AUAR tem um campo de aplicação abrangente podendo produzir painéis modulares de estrutura de madeira para paredes, pavimentos e coberturas.

Material

A empresa recorre a um sistema de montagem inovador, chamado 'Block Type A' que consiste em blocos de madeira prensada, os quais podem ser montados, reconfigurados e desmontados para formar diferentes tipos de espaços

Forma e Morfologia

A morfologia das construções produzidas pela AUAR é determinada por uma lógica modular e agregativa, baseada na repetição e combinação de unidades construtivas padronizadas.

Nível de Pré-fabricação

A empresa adota um sistema modular, no qual todos os componentes são fabricados num ambiente industrial e posteriormente montados no local. Este método de construção representa um elevado grau de pré-fabricação e revela-se altamente eficiente, uma vez que simplifica e acelera o processo no terreno.

Modularidade

O sistema construtivo da AUAR assenta num elevado grau de modularidade permitindo grande flexibilidade no desenho e na execução. Esta abordagem possibilita a expansão e reorganização das estruturas ao longo do tempo, promovendo a adaptabilidade do edificado às mudanças de uso e às necessidades dos utilizadores. A modularidade contribui ainda para a racionalização da produção e a redução de desperdícios.

Tipo de encaixe

O encaixe é concebido para suportar cargas estruturais e permitir a desmontagem sem comprometer a integridade dos componentes, promovendo a reutilização e a circularidade dos materiais. Este tipo de ligação reduz, igualmente, a necessidade de ferramentas especializadas no local. Utilizam-se encaixes de madeira do tipo macho-fêmea e, em certos casos, recorre-se à aplicação de colas para reforçar estas uniões. Adicionalmente, são empregues conexões metálicas entre os componentes modulares, de forma a assegurar a integridade da estrutura.



Fig.2.5.12. Encaixe macho-fêmea das peças desenvolvidas pelo sistema AUAR.

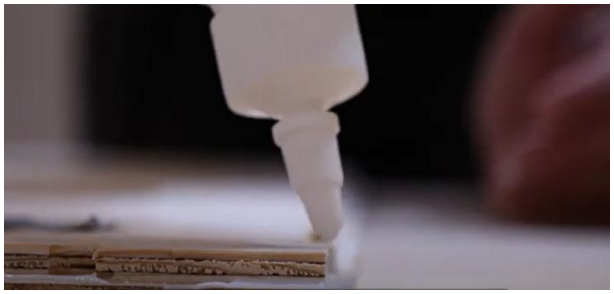


Fig.2.5.13. Aplicação de colas nas conexões em madeira do sistema.



Fig.2.5.14. Utilização de uma pregadora pneumática para fixação da madeira durante a montagem da estrutura.

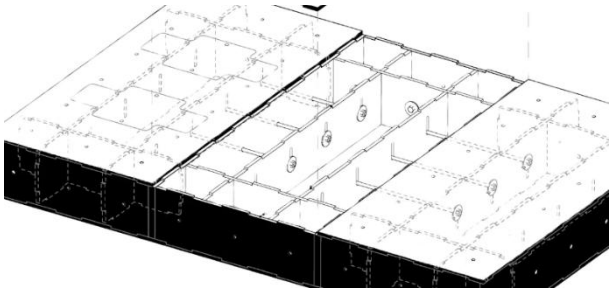


Fig.2.5.15. Esquema do sistema AUAR com as conexões metálicas que interligam a estrutura.

Tecnologias / Aplicações computacionais

O software MasterBuilder da AUAR liga a IA diretamente à produção robótica, automatizando tudo, desde o planeamento ao fabrico. O software é um ecossistema de aplicações e serviços baseados na nuvem que podem ser acedidos em aplicações como o Revit e o Rhino. A IA funciona como um sistema que converte modelos 3D pré-existentes e desenhos de plantas simples em conjuntos de blocos montáveis de madeira, janelas e portas.

Open-Source

A empresa não disponibiliza as suas peças numa plataforma online.

Customizável

O sistema arquitetónico da AUAR é concebido para permitir um elevado grau de personalização sendo possível adaptar as soluções construtivas às especificidades de cada projeto, considerando variáveis como localização geográfica, condições do terreno, necessidades programáticas e preferências dos utilizadores.

Custo

Não existem informações disponíveis.

2.6. Análise Crítica

A análise dos casos de estudo permitiu identificar diferentes abordagens à construção modular em madeira, compreender que tipo de tecnologias digitais estão a ser aplicadas ou integradas no setor de arquitetura e construção. Apesar de todos os sistemas partilharem princípios comuns, como a pré-fabricação, a modularidade, o uso de madeira como material estrutural, cada um apresenta estratégias distintas, no processo construtivo, no nível de participação do utilizador neste processo, na partilha de informação em regime open-source e no grau de reversibilidade e flexibilidade de cada sistema construtivo.

Relativamente à morfologia arquitetónica, observa-se que a modularidade influencia diretamente a forma dos edifícios. Sistemas como o U-Build e o AUAR baseiam-se na repetição de módulos ortogonais, resultando em volumes predominantemente cúbicos ou retangulares. Já a Wikkelhouse apresenta uma morfologia distinta, marcada pela secção curva dos seus módulos, que confere identidade visual ao sistema, embora limite a diversidade formal. Por sua vez, a Facit Homes distingue-se pela utilização de design paramétrico, que permite uma maior liberdade formal e adaptação a cada projeto específico, sem perder as vantagens da pré-fabricação.

No que diz respeito ao nível de pré-fabricação, todos os sistemas apresentam uma forte componente industrializada, embora com variações na localização da produção. Enquanto a maioria das empresas fabrica os componentes em fábrica e posteriormente os transporta para o local de construção, a Facit Homes introduz uma abordagem distinta ao deslocar a micro-fábrica para o próprio local da obra. Esta estratégia reduz os custos de transporte e permite reduzir o tempo de construção, sendo que o edifico pode ser construído ao mesmo tempo que os seus componentes estão a ser fabricados. A AUAR, também começa a introduzir este processo de construção nos seus projetos mais recentes.

A comparação entre os casos de estudo evidencia uma tendência crescente na integração das tecnologias digitais e processos de produção digital no setor. A AUAR e a Facit Homes, por exemplo, investem muito na automatização de todo o processo de construção, apontando para um futuro em que a IA, a robótica e a fabricação digital desempenharão um papel cada vez mais central no desenvolvimento de edifícios modulares e sustentáveis. Esta integração reduz erros, aumenta a precisão e melhora o controlo dos custos e dos materiais. Em comparação, sistemas como a Wikkelhouse ou o U-Build apresentam processos digitais mais simples, focados sobretudo no corte CNC das peças.

Do ponto de vista da sustentabilidade, todos os casos de estudo recorrem à madeira como principal material estrutural, reconhecendo o seu potencial de armazenamento de carbono e menor impacto ambiental quando comparada aos métodos de construção tradicionais. No entanto, os casos de estudo

utilizam este material com propósitos e estratégias diferentes. A Wikkelhouse destaca-se pela combinação de madeira com cartão canelado, promovendo as características estruturais e térmicas de cada material. A Wikihouse e a U-Built, enfatizam a reutilização dos componentes através de sistemas de encaixe reversíveis. A Facit Homes privilegia a durabilidade na construção combinando, em algumas situações a madeira com elementos metálicos, de modo a aumentar a durabilidade e estabilidade destas construções. A AUAR encara a madeira como um material sustentável e incorpora-o num processo de construção altamente automatizado, procurando reduzir os custos de gerais da construção e aumentar a eficiência produtiva.

	Wikkelhouse	U-Built	WikkiHouse	Facit Homes	Block West - AUAR
Contexto					
Estruturas Permanentes	●	●	●	●	●
Estruturas Efémeras		●		●	●
Materialidade					
Madeira		●	●		
Híbrido	●			●	●
Sistema					
Aberto			●		
Fechado	●	●		●	●
Modularidade					
Alta		●	●		●
Média	●				
Baixa				●	
Personalizável					
Alta		●	●	●	
Média					●
Baixa	●				
Reversibilidade					
Reversível	●	●	●		
Não Reversível				●	●
Produção Digital					
CNC		●	●	●	●
Braço Robótico					●
Processo de Construção					
Produção em Fábrica	●	●	●		●
Produção no Local	●			●	
Montagem em Fábrica					
Montagem no Local	●	●	●	●	●
Montagem Especializada					
Especializada				●	●
Não Especializada		●	●		
Tipo de Componentes					
Bloco		●			
Componentes		●	●	●	●
Módulo	●			●	
Custo					
Alto				●	
Médio		●	●		—
Baixo	●				

Fig.2.6.1. Gráfico comparativo dos Casos de Estudo.

3. MÓDULO

Introdução

Após o estudo teórico e a análise dos casos de estudo, procedeu-se ao desenvolvimento do módulo. Este processo pode ser dividido em diversas fases, que refletem a evolução do pensamento e a construção progressiva da proposta. Não se tratou de um processo linear, tendo sido marcado por sucessivos avanços e recuos, reformulações e ajustes decorrentes da experimentação e avaliação contínua das soluções.

O presente capítulo tem como objetivo apresentar e sistematizar as fases principais do desenvolvimento do módulo, evidenciando as decisões tomadas, as alternativas consideradas e as limitações identificadas ao longo do processo. A organização do capítulo segue uma estrutura faseada, que permite compreender a progressiva evolução do modulo até à solução final, desde a conceção inicial até à definição dos seus componentes.

3.1. Desenvolvimento do Módulo

Fase 01 - Fase de Concepção

A primeira fase do desenvolvimento correspondeu à fase de concepção, na qual se procedeu à exploração e sistematização das ideias iniciais, com o objetivo de definir a estratégia a adotar para o sistema construtivo. Nesta fase, foram analisadas diversas hipóteses de desenvolvimento. Considerou-se, numa primeira abordagem, a criação de uma estrutura autoportante com portas de correr (Figura 3.1.1). Foi igualmente explorada a possibilidade de uma estrutura principal baseada em barrotes de madeira, complementada por painéis (Figura 3.1.2). Analisou-se ainda o desenvolvimento de um painel móvel com funcionamento através de calhas (Figura 3.1.3), bem como a conceção de um elemento de ligação semelhante a uma dobradiça, destinado a conectar diferentes painéis (Figura 3.1.4). Paralelamente, estudou-se a hipótese de um sistema composto por componentes modulares repetitivos, permitindo múltiplas configurações e adaptações (Figura 3.1.5). Foi também considerada a possibilidade de uma solução em que os painéis de parede apresentassem um caráter rotativo, conferindo maior flexibilidade ao sistema (Figura 3.1.6).

Paralelamente, foram definidas as características essenciais que serviram de base à formulação dos objetivos orientadores de todo o processo de desenvolvimento.

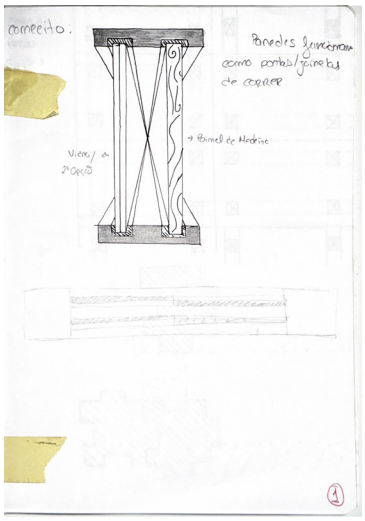


Fig.3.1.1. Sistema de parede com painéis de correr.

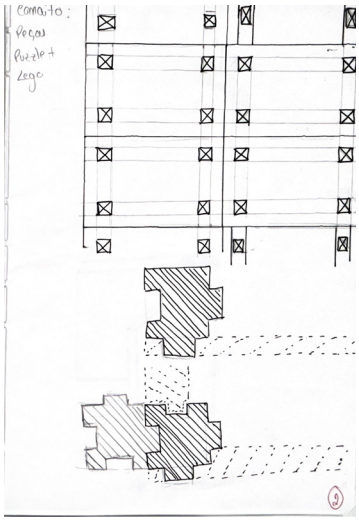


Fig.3.1.2. Sistema baseado na utilização de barrotes de madeira.

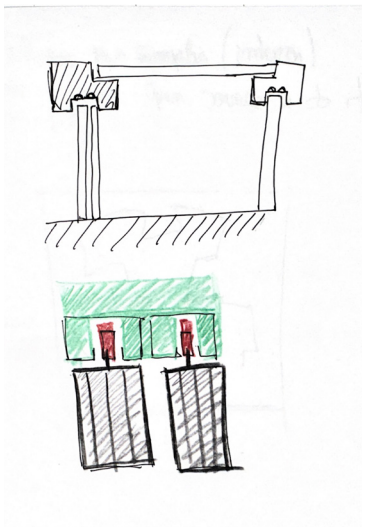


Fig.3.1.3. Painéis móveis que funcionam com calhas.

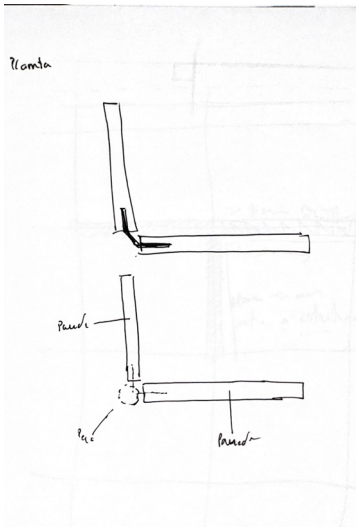


Fig.3.1.4. Peça independente que funciona como uma dobradiça.

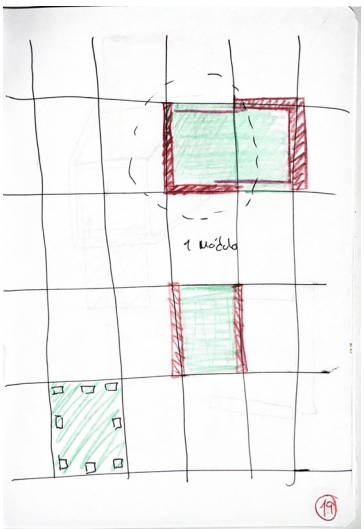


Fig.3.1.5. Sistema modular composto por módulos idênticos e repetíveis.

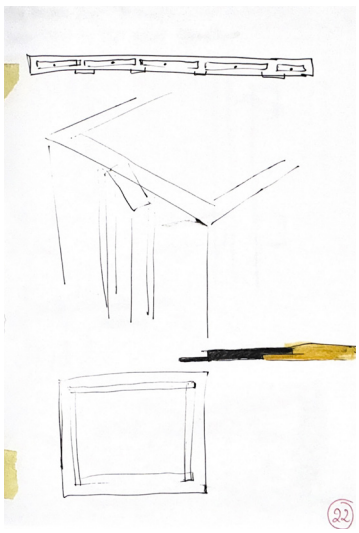


Fig.3.1.6. Sistema no qual os painéis constituintes da parede apresentam caráter rotativo.

Fase 02 - Definição da Estratégia

Na sequência desta exploração conceptual inicial, tornou-se necessário proceder à definição e formalização de um conjunto de parâmetros e requisitos técnicos e funcionais, considerados determinantes para o desenvolvimento do sistema.

Considerou-se, assim, relevante que o sistema apresentasse as seguintes características: ser modular, permitindo repetição dentro de uma malha fixa definida pela métrica do sistema; personalizável, podendo ser disposto e utilizado de diferentes formas; versátil, compatível com múltiplos espaços e funções; autoportante, dispensando estruturas auxiliares; constituir um sistema completo, integrado por todos os componentes essenciais, pavimento, cobertura, e paredes. Adicionalmente, definiu-se que o sistema deveria ser composto apenas por encaixes em madeira, sem recurso a parafusos, colas ou outros elementos de fixação adicionais.

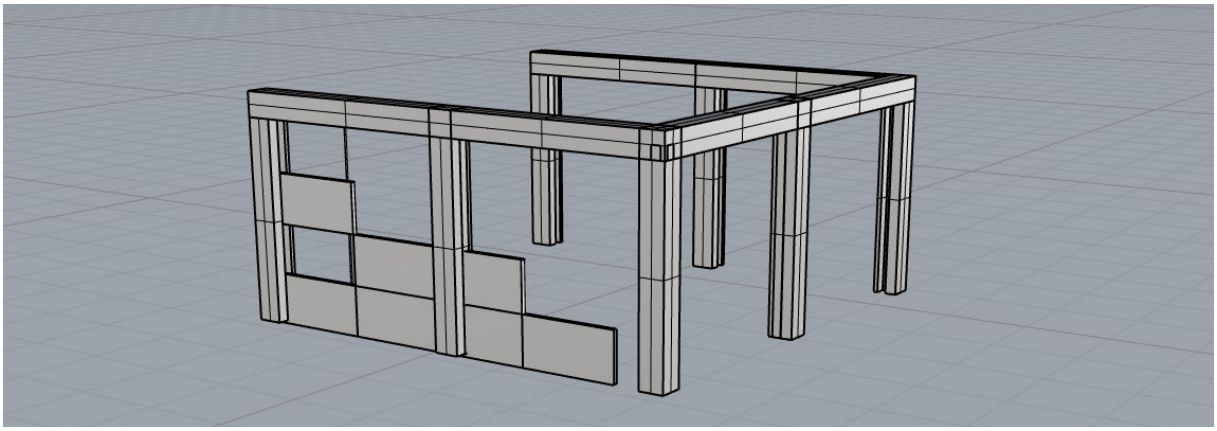


Fig.3.1.7. Análise de um sistema pilar-viga com subestrutura para suporte de painéis.

Neste conceito (Figura 3.1.7.), ponderou-se desenvolver um sistema baseado numa estrutura linear pilar-viga, com uma subestrutura capaz de suportar os painéis. No entanto, identificaram-se que o sistema não permitiria múltiplas variações de posição dos painéis e estes permaneceriam fixos, impossibilitando a sua remoção ou reposicionamento conforme necessário.

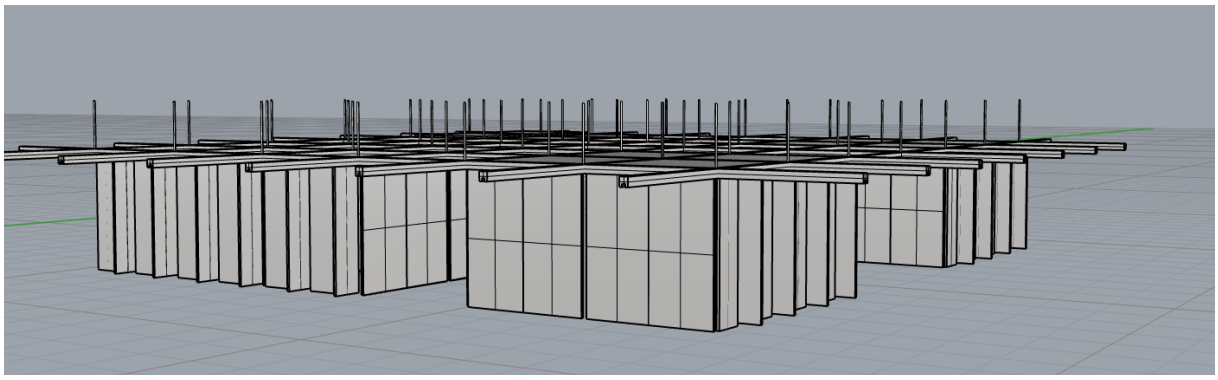


Fig.3.1.8. Sistema apoiado numa estrutura pré-existente.

Nesta proposta (Figura 3.1.8), ponderou-se o desenvolvimento de uma estrutura apoiada numa pré-existência. Contudo, identificaram-se limitações, nomeadamente a impossibilidade de conceber um sistema universal, aplicável a qualquer edifício, uma vez que a métrica do sistema ficaria condicionada pela estrutura existente.

Fase 03 - Definição Conceptual da Solução a Desenvolver

Nesta etapa, iniciou-se a definição dos elementos do sistema e a análise do seu funcionamento. Optou-se por um sistema linear composto por pilares e vigas, combinado com painéis modulares móveis, que podiam ser retirados e reposicionados conforme necessário. Esta solução revelou-se a mais adequada para o caso de estudo, pois permite a formação de um módulo regular retilíneo, passível de ser repetido ao longo do interior da fábrica Trimco, garantindo flexibilidade e coerência espacial.

Este sistema permite múltiplas configurações e adaptações ao espaço existente respondendo às diferentes necessidades dos utilizadores.

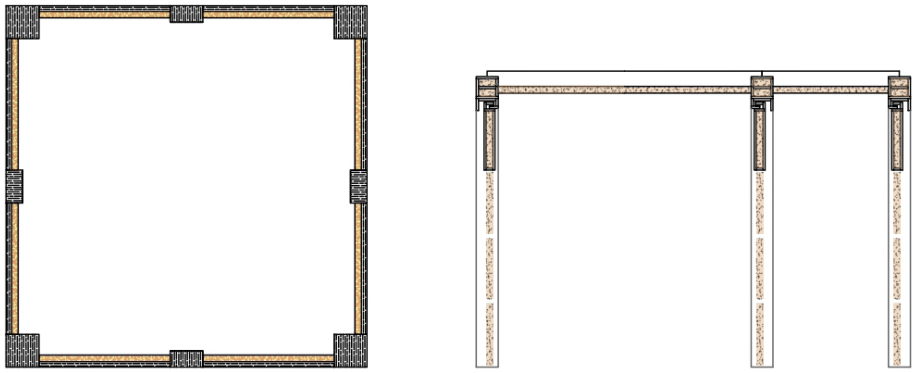


Fig.3.1.9. Conceito inicial do sistema construtivo.

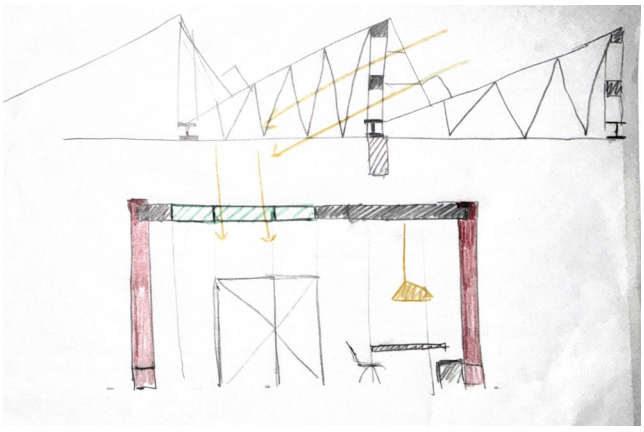


Fig.3.1.10. Desenho do conceito inicial do sistema construtivo na Fábrica do Trimco.

Fase 04 - Desenvolvimentos dos Elementos do Sistema

Nesta fase, privilegiou-se a análise isolada dos componentes constituintes do sistema, não se encontrando ainda plenamente definida a sua articulação funcional e construtiva enquanto conjunto inteiro. Por esse motivo, as relações estruturais entre os diferentes elementos permaneciam ainda em fase de desenvolvimento.

A parede foi conceptualizada como um elemento composto por dois painéis independentes, correspondendo cada um deles a metade da extensão total da parede. A viga assumiu um papel estrutural complementar, funcionando como elemento de suporte e fixação dos painéis. Os pilares foram concebidos como elementos verticais portantes, destinados a encaixar no componente do pavimento. Por sua vez, este componente foi definido como um sistema composto por dois tipos distintos de elementos, um elemento de geometria quadrangular, cuja função consistia na fixação e estabilização dos pilares, e um elemento de maior dimensão, correspondente à restante área do pavimento. Este sistema evidenciava ainda um conjunto de limitações de ordem técnica e construtiva. Em particular, o elemento de geometria quadrangular revelou-se insuficiente para assegurar a fixação estrutural dos pilares, bem como para garantir um encaixe estável e eficaz com a restante placa do pavimento, comprometendo a estabilidade global do conjunto. O conceito inicial da cobertura assentava num sistema modular em que cada elemento se interligava com o adjacente através da sua própria morfologia, permitindo o seu encaixe e garantindo a continuidade do conjunto. Adicionalmente, previa-se que o pilar constituísse o principal elemento estrutural responsável pelo suporte e pela estabilização da cobertura. Nesta fase, as ligações pilar-viga, viga–painel e pilar-cobertura não estavam definidas, o que condicionava a compreensão do comportamento estrutural do sistema e inviabilizava, nesta fase, a sua validação enquanto solução construtiva coerente.

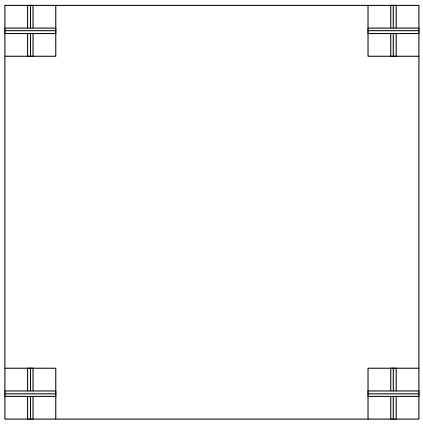


Fig.3.1.11. Planta Conceptual na Fase 04, Escala 1/50.

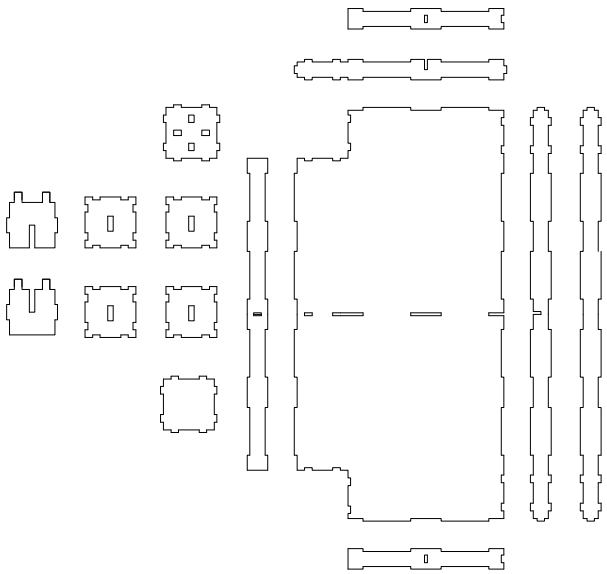


Fig.3.1.12. Pavimento na Fase 04, Escala 1/50.

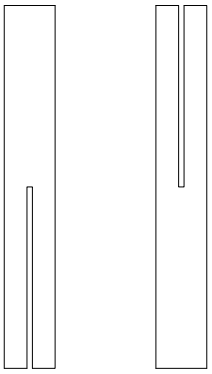


Fig.3.1.13. Pilar na fase 04, Escala1/50.

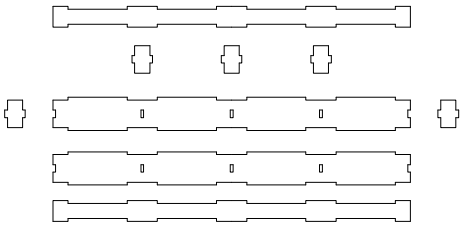


Fig.3.1.14. Viga na fase 04, Escala1/50.

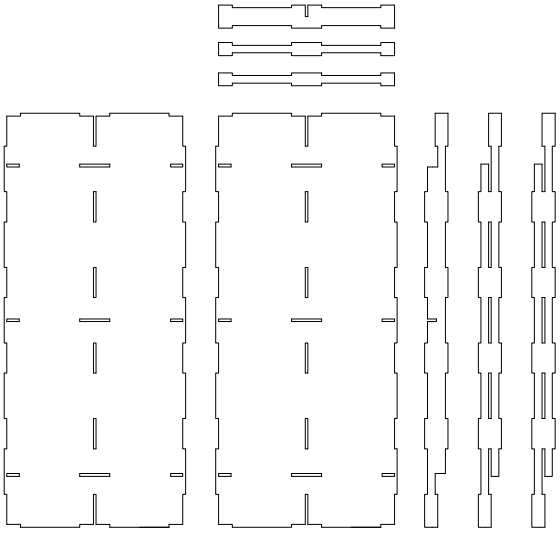


Fig.3.1.15. Cobertura na fase 04, Escala 1/50.

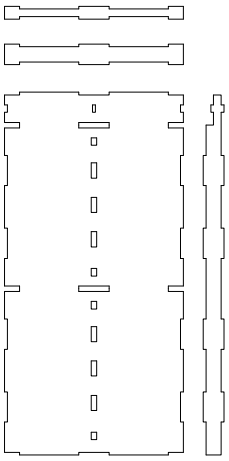


Fig.3.1.16. Painel na fase 04, Escala 1/50.

Fase 05 - Desenvolvimento do Encaixe Pilar-Pavimento e Encaixe Pilar-Viga

Verificou-se, nesta fase do desenvolvimento, a necessidade de definir as ligações pilar-pavimento e pilar–viga, fundamentais para a estabilidade e coerência estrutural do sistema. Com esse objetivo, procedeu-se à reformulação do componente de pavimento. Esta transformação no desenho influenciou a ligação pilar-pavimento, que passou a ser assegurada por elementos alongados de modo a ocupar toda a extensão da placa de pavimento, reforçando a resistência da ligação e garantindo maior estabilidade estrutural, sem comprometer a lógica modular do sistema. A viga foi, nesta etapa, desenhada de forma a apresentar soluções de encaixe distintas em cada uma das suas extremidades. Num dos lados, o encaixe foi concebido para se inserir transversalmente numa abertura existente no pilar; no lado oposto, a viga foi projetada para deslizar sobre o pilar, encaixando-se por sobreposição. Relativamente à ligação viga–pilar, foram previstas aberturas no pilar destinadas a receber as vigas. Contudo, verificaram-se diversas limitações neste desenho, nomeadamente o facto de o componente do pavimento não ser modular nem permitir a sua repetição. Adicionalmente, a ligação pilar–viga não se revelou viável através

de um encaixe transversal, uma vez que, para que tal ocorresse, a viga teria de ser introduzida de forma inclinada e o orifício de encaixe teria de apresentar dimensões superiores às da extremidade da viga. Consequentemente, o pilar ficaria estruturalmente instável.

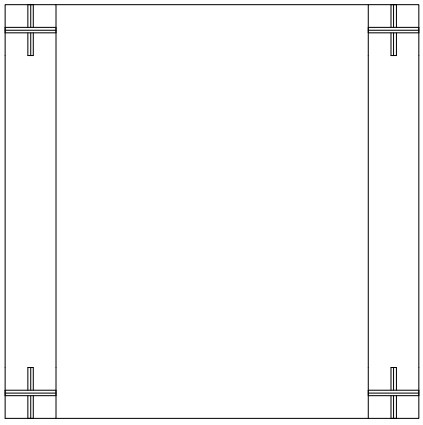


Fig.3.1.17. Planta Conceptual na fase 05, Escala 1/50.

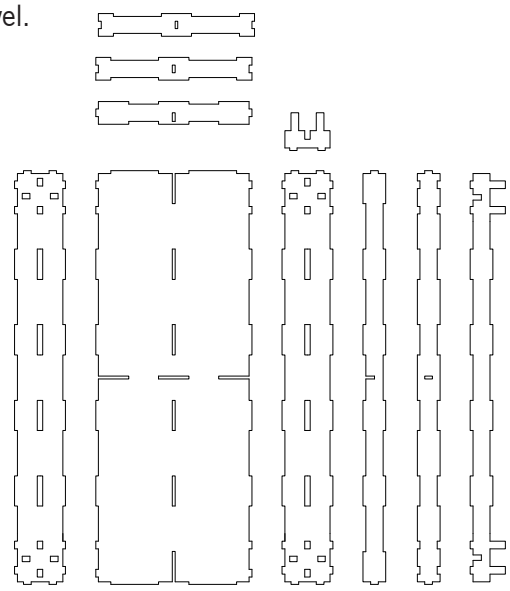


Fig.3.1.18. Pavimento na fase 05, Escala 1/50.

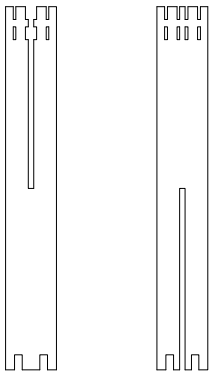


Fig.3.1.19. Pilar na fase 05, Escala 1/50.

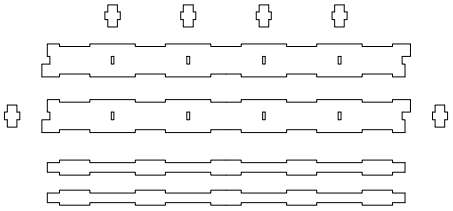


Fig.3.1.20. Viga na fase 05, Escala 1/50.

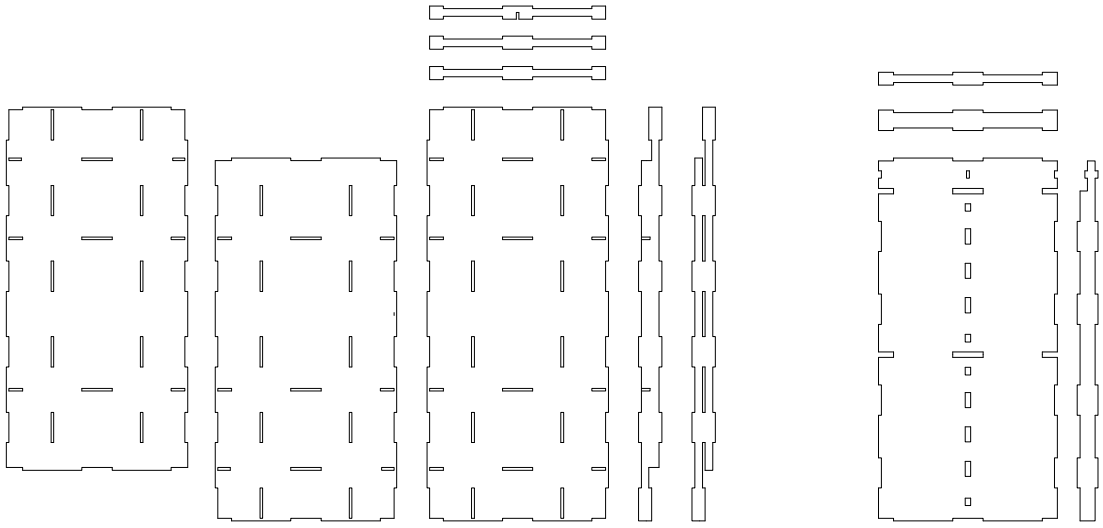


Fig.3.1.21. Cobertura na fase 05, Escala 1/50.

Fase 06 - Desenvolvimento do Componentes do Pavimento

Durante esta fase procedeu-se à reformulação do desenho do pavimento, com o objetivo de melhorar a sua estabilidade. Contudo, a solução adotada revelou-se insatisfatória, uma vez que o sistema resultante não se mostrou compatível com uma configuração modular repetível, comprometendo a capacidade de replicação do módulo ao longo do espaço.

Procedeu-se à simplificação do componente do painel, mantendo a intenção de otimizar a sua forma e funcionalidade. No entanto, nesta fase, ainda não se encontrava definida a forma como estes elementos se iriam articular com o restante sistema, permanecendo a integração funcional por esclarecer.

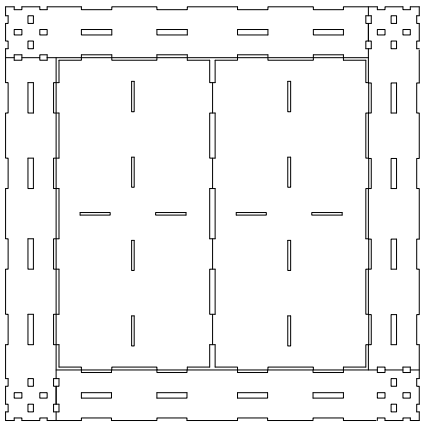


Fig.3.1.22. Planta Conceptual na fase 06, Escala 1/50.

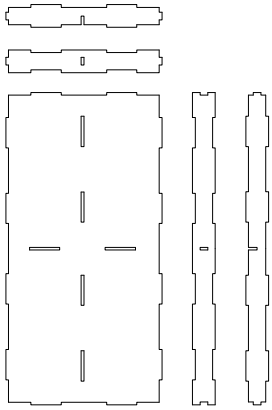


Fig.3.1.23. Pavimento na fase 06, Escala 1/50.

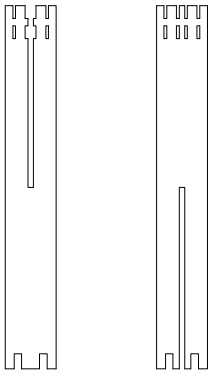


Fig.3.1.24. Pilar na fase 06, Escala 1/50.

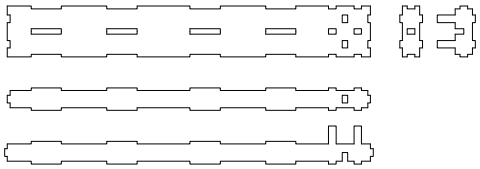


Fig.3.1.25. Viga na fase 06, Escala 1/50.

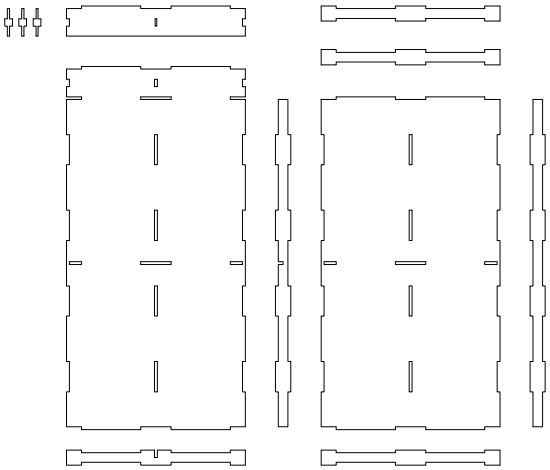


Fig.3.1.26. Painel na fase 06, Escala 1/50.

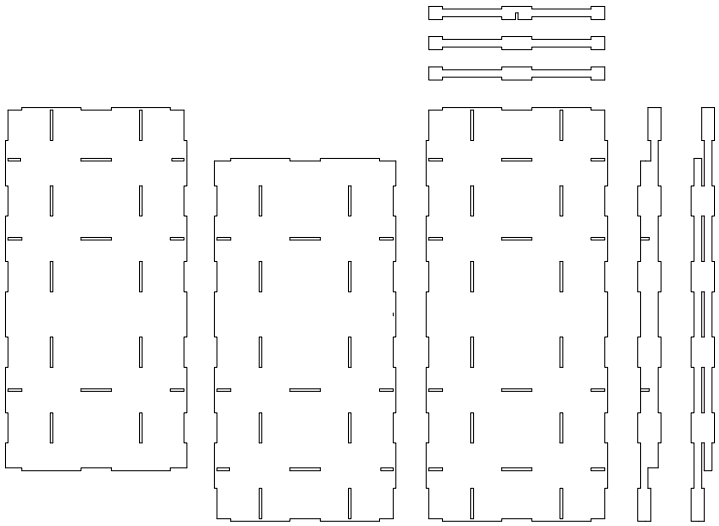


Fig.3.1.27. Cobertura na fase 06, Escala 1/50.

Fase 07 - Desenvolvimento do Componente do Pavimento, Pilar e Encaixe Pilar-Viga

Nesta fase, começa a consolidar-se a compreensão do módulo como um cubo, no qual os componentes do pavimento e da cobertura deveriam ser idênticos e apresentar o mesmo tipo de ligações. A partir desta conceção, o objetivo passou a ser uniformizar ao máximo os elementos do sistema, promovendo coerência estrutural e modularidade. As vigas do pavimento foram, assim, concebidas para desempenhar tanto a função de vigas da cobertura como de pavimento, garantindo consistência entre os elementos horizontais.

De forma a garantir o mesmo tipo de encaixe, mantendo a simplicidade dos componentes, foi concebida a peça indicada a vermelho (Figura 3.1.30), localizada no interior da viga, que permite dois tipos de ligação: o encaixe viga–pavimento/cobertura e o encaixe viga–parede. Esta peça assume um papel essencial no sistema construtivo, uma vez que assegura a possibilidade de existência de elementos amovíveis no conjunto. Funciona como um elemento fixo a partir do qual os componentes de pavimento/cobertura e de parede são suspensos e fixados de forma segura e estável, embora não permanente. A partir do desenvolvimento desta peça, tornou-se mais simples conceber não apenas o restante sistema de vigas, mas também os restantes componentes do sistema global.

No desenvolvimento dos elementos de pavimento/cobertura, foram integradas reentrâncias nas faces dos componentes, de forma a assegurar o respetivo encaixe com a peça interior da viga, garantindo a continuidade e estabilidade do sistema construtivo.

Para o encaixe pilar–viga, optou-se por adotar o mesmo princípio de ligação, devidamente adaptado às suas características específicas, de modo a assegurar a compatibilidade e a integridade estrutural do módulo. A lógica de ligação do pilar foi reequacionada de forma a manter coerência com o sistema de encaixe definido entre a viga e os restantes componentes do sistema construtivo.

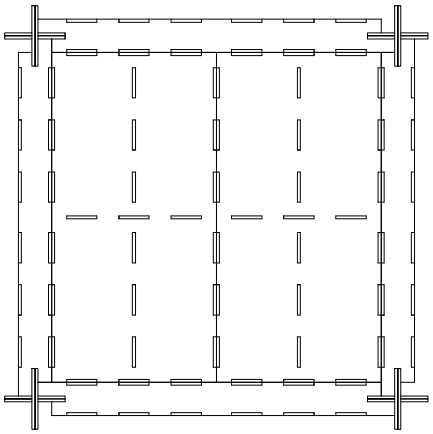


Fig.3.1.28. Planta na fase 07, Escala 1/50.

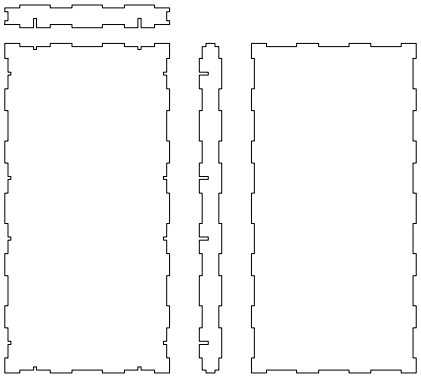


Fig.3.1.29. Pavimento/Cobertura na fase 07, Escala 1/50.

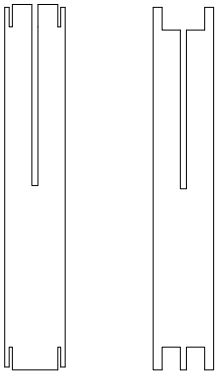


Fig.3.1.30. Pilar na fase 07, Escala 1/50.

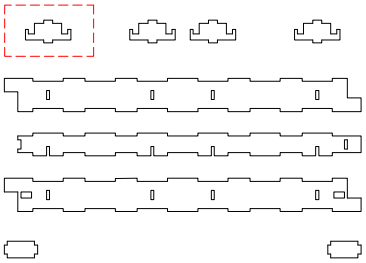


Fig.3.1.31. Viga na fase 07, Escala 1/50.

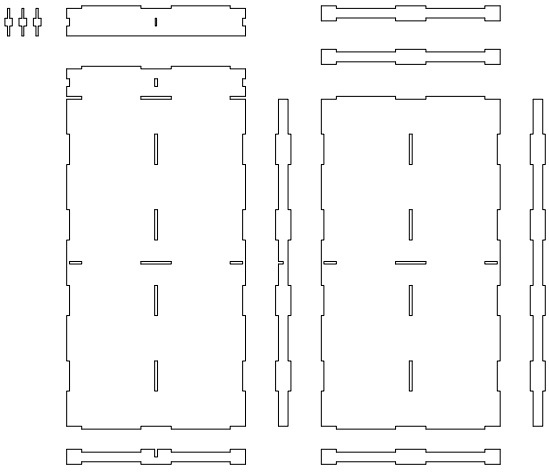


Fig.3.1.32. Painel na fase 07, Escala 1/50.

Fase 08 - Desenvolvimento dos Componentes da Parede

Procedeu-se à reavaliação dos componentes da parede. A proposta inicial privilegiava a máxima flexibilidade, motivo pelo qual se optou, em vez da divisão em dois elementos, pela sua segmentação em oito componentes. No que respeita à organização dos painéis, definiu-se a existência de dois tipos distintos, que se diferenciam apenas por pequenas variações geométricas que permitem o encaixe na viga no meio ou na parte lateral. Esta configuração assegura elevada flexibilidade e adaptabilidade do sistema, possibilitando diferentes disposições espaciais e funcionais. Os painéis são independentes entre si, podendo ser removidos ou reposicionados conforme necessário, permitindo a criação de aberturas visuais, bem como de vãos para janelas ou portas, sem comprometer a integridade do módulo.

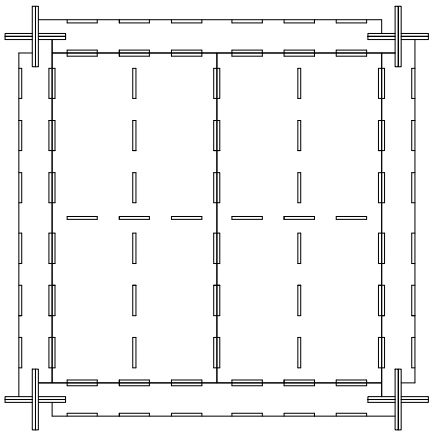


Fig.3.1.33. Planta na fase 08, Escala 1/50.

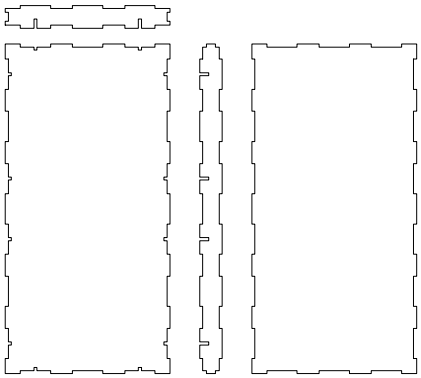


Fig.3.1.34. Pavimento/Cobertura na fase 08, Escala 1/50.

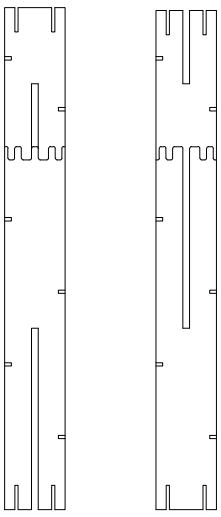


Fig.3.1.35. Pilar na fase 08, Escala 1/50.

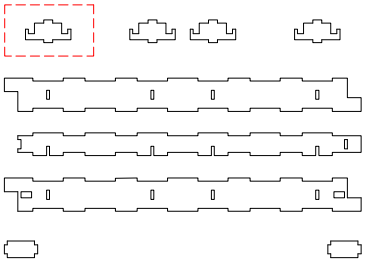


Fig.3.1.36. Viga na fase 08, Escala 1/50.

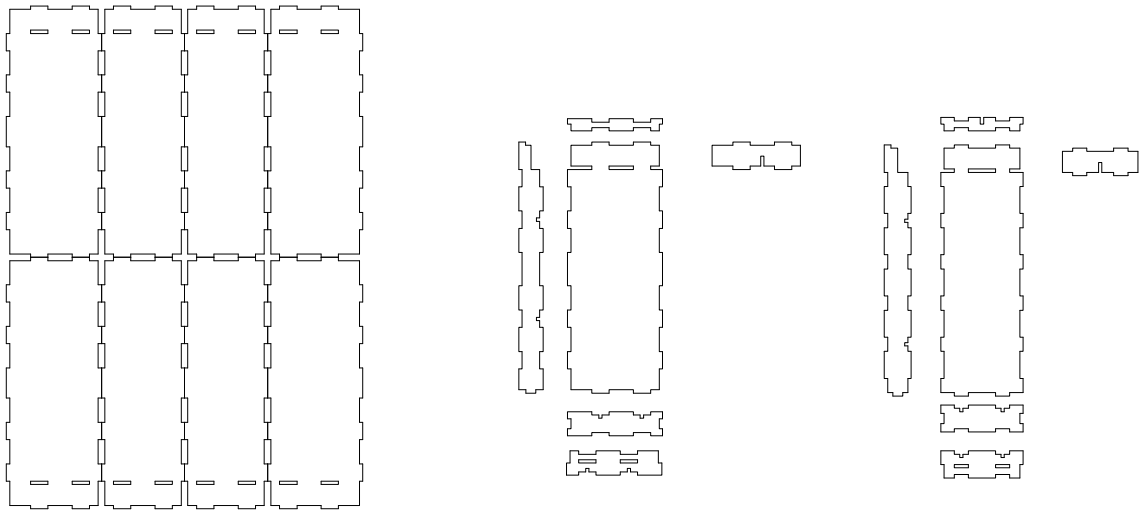


Fig.3.1.37. Painel na fase 08, Escala 1/50.

Fase 09 - Prototipagem e ensaio do sistema construtivo

Procedeu-se à realização do primeiro ensaio ao sistema construtivo. Este teste prático foi desenvolvido com recurso a uma máquina de corte a laser, utilizando cartão prensado com 2 mm de espessura. Através deste ensaio, verificou-se que o painel inferior, desenvolvido na Fase 08, não se encaixava corretamente na viga inferior, evidenciando a necessidade de ajustamentos. Desta forma, no que respeita à organização dos painéis, redefiniu-se os dois tipos de componentes da parede, que se diferenciam apenas por pequenas variações geométricas que permitem o encaixe na viga superior ou na viga inferior. Foram igualmente detetadas fragilidades no comportamento do pilar, particularmente na zona de união entre a sua parte inferior e superior. A repetição do encaixe na mesma posição ao longo de todas as peças originava uma linha de fraqueza contínua, comprometendo a estabilidade do elemento. Esta configuração favorecia o deslizamento relativo entre componentes, devido à ausência de um sistema eficaz de travamento no plano horizontal.

Adicionalmente, identificou-se a fragilidade dos componentes enquanto elementos individuais, uma vez que apresentavam um elevado número de ranhuras com reduzido espaçamento entre si, comprometendo a sua resistência. Em resposta, procedeu-se à reformulação dos elementos, aumentando a distância da malha estrutural entre as reentrâncias de cada peça, de modo a reforçar a sua integridade e desempenho.

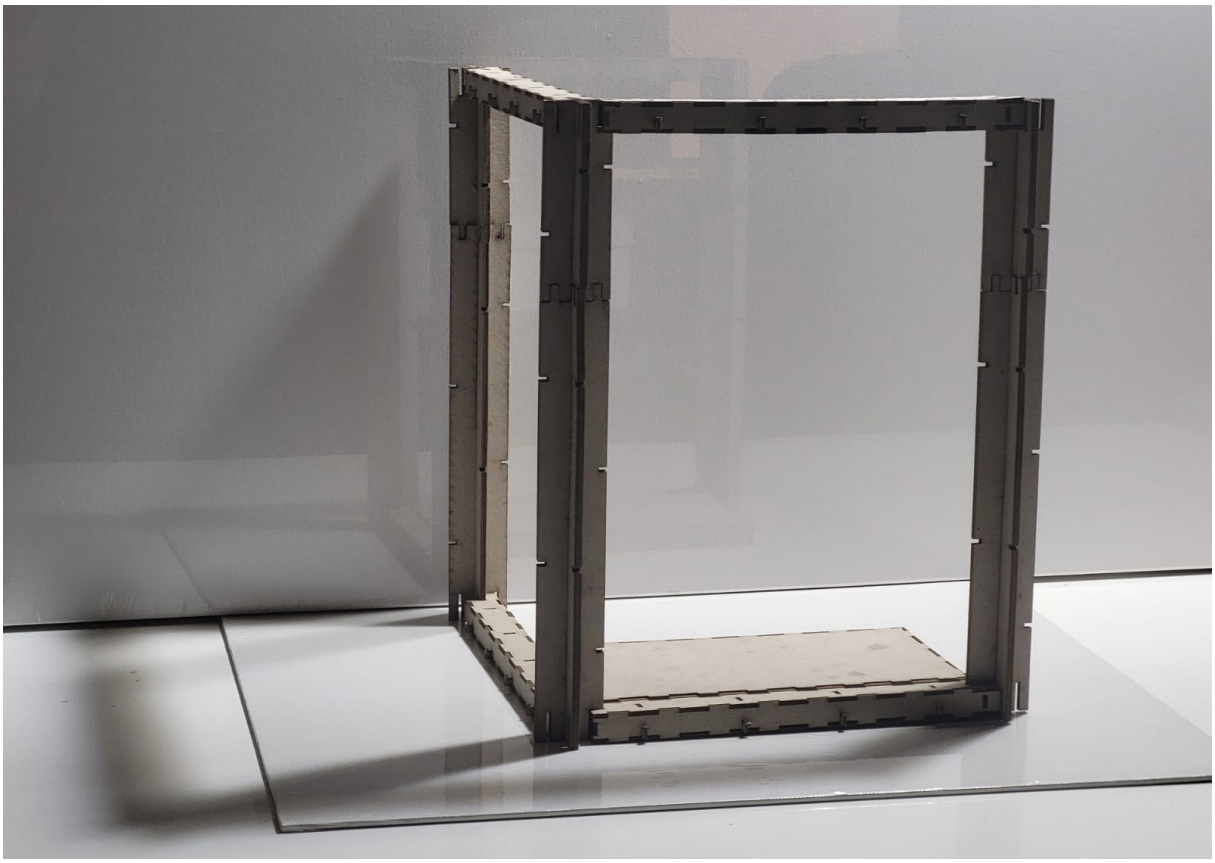


Fig.3.1.38. Maqueta Vista Axonométrica.



Fig.3.1.39. Maqueta Vista de Frente.

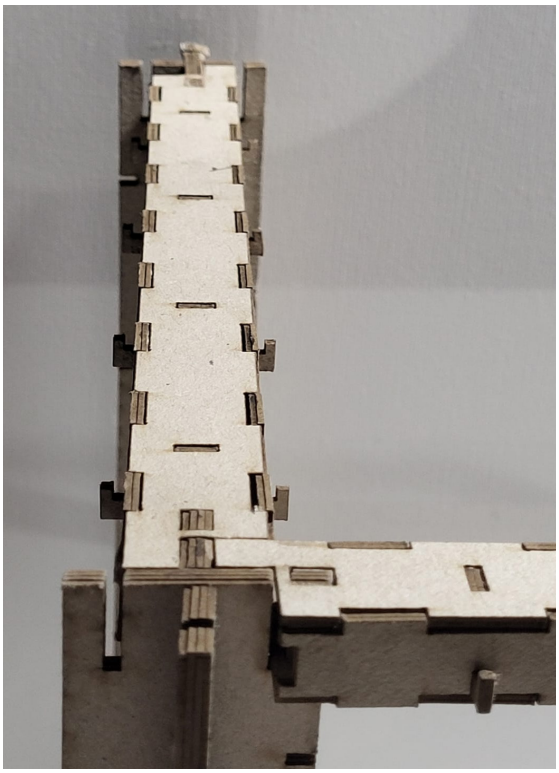


Fig.3.1.40. Maqueta Pormenor da Ligação Pilar-Viga.

Fase 10 - Verificação final e otimização do sistema

Nesta fase, procede-se à verificação final do sistema construtivo, com o objetivo de identificar e corrigir os últimos erros e fragilidades detetados nas fases anteriores. Este momento assume um caráter de consolidação da proposta, permitindo afinar as ligações, reforçar os elementos mais vulneráveis e garantir a coerência global do sistema para a definição da solução construtiva final.

3.2. Módulo Final

Após a conclusão das diferentes fases de desenvolvimento do sistema, torna-se possível definir com maior rigor a constituição e os princípios de funcionamento do módulo. Este configura-se como um volume retilíneo, organizado a partir de uma estrutura base linear composta por pilares e vigas.

A estrutura base constitui o elemento primário e permanente do sistema construtivo, funcionando como suporte estrutural e como interface de ligação para os restantes componentes. Assim, pilares e vigas definem o esqueleto estrutural do módulo. O módulo apresenta uma métrica estrutural definida por um eixo de pilar a pilar de 2,4 m. Em termos dimensionais, possui uma altura total de 3,32 m e uma altura interior útil de 3 m. Esta dimensão foi definida de modo a permitir que o módulo possa acomodar diferentes programas e utilizações, garantindo simultaneamente conforto espacial e flexibilidade funcional. Todas as peças estruturais que compõem o sistema apresentam uma espessura de 22 mm e são executadas em OSB (Oriented Strand Board), um tipo de placa de madeira compósita constituída por camadas de lascas de madeira comprimidas e ligadas através de adesivos. As lascas são orientadas em diferentes direções, permitindo aumentar a resistência mecânica e a durabilidade da placa. Este processo de fabrico confere ao material boa estabilidade dimensional, resistência ao empenamento e uniformidade estrutural, características que o tornam particularmente adequado para aplicações na construção.

Após a montagem da estrutura linear base, o utilizador pode acrescentar os restantes componentes do sistema construtivo. Estes incluem os elementos de pavimento/cobertura e os painéis de parede.

O pavimento/cobertura apresentam a mesma configuração construtiva. Esta decisão foi tomada com o objetivo de simplificar o sistema e conferir maior uniformidade ao processo construtivo, reduzindo a diversidade de peças e facilitando a montagem.

Relativamente ao sistema de paredes, este é constituído por dois tipos de painéis: um painel que se encaixa na parte inferior da viga e outro que se encaixa na parte superior da viga. Apesar de partilharem várias peças e princípios construtivos em comum, estes painéis diferem na peça de encaixe, uma vez que são posicionados em locais distintos da estrutura.

Neste sistema construtivo, a viga encaixa-se diretamente no pilar, constituindo a ligação principal da estrutura. Todos os restantes elementos do sistema, nomeadamente chão, cobertura e painéis de parede encaixam-se na viga, que funciona como o elemento de distribuição e suporte dos componentes adicionais.

O sistema foi concebido com o objetivo de proporcionar ao utilizador um elevado grau de liberdade espacial e funcional, evitando a definição de um espaço rígido ou permanentemente fixo. Pretende-se, assim, que o módulo funcione como uma estrutura aberta e adaptável, capaz de responder a diferentes necessidades ao longo do tempo.

Neste sentido, todos os componentes do sistema, nomeadamente pavimento, cobertura, vigas, pilares e parede, foram projetados de forma a poderem ser facilmente removidos, substituídos ou reconfigurados. Esta característica permite que a organização espacial do módulo se adapte às necessidades e preferências dos utilizadores, possibilitando transformações ao longo do seu ciclo de vida.

Deste modo, o sistema construtivo assume uma lógica flexível e evolutiva, na qual a estrutura não impõe um programa ou configuração espacial definitiva, mas antes oferece uma base passível de transformação, acompanhando as mudanças de uso, ocupação e apropriação do espaço.

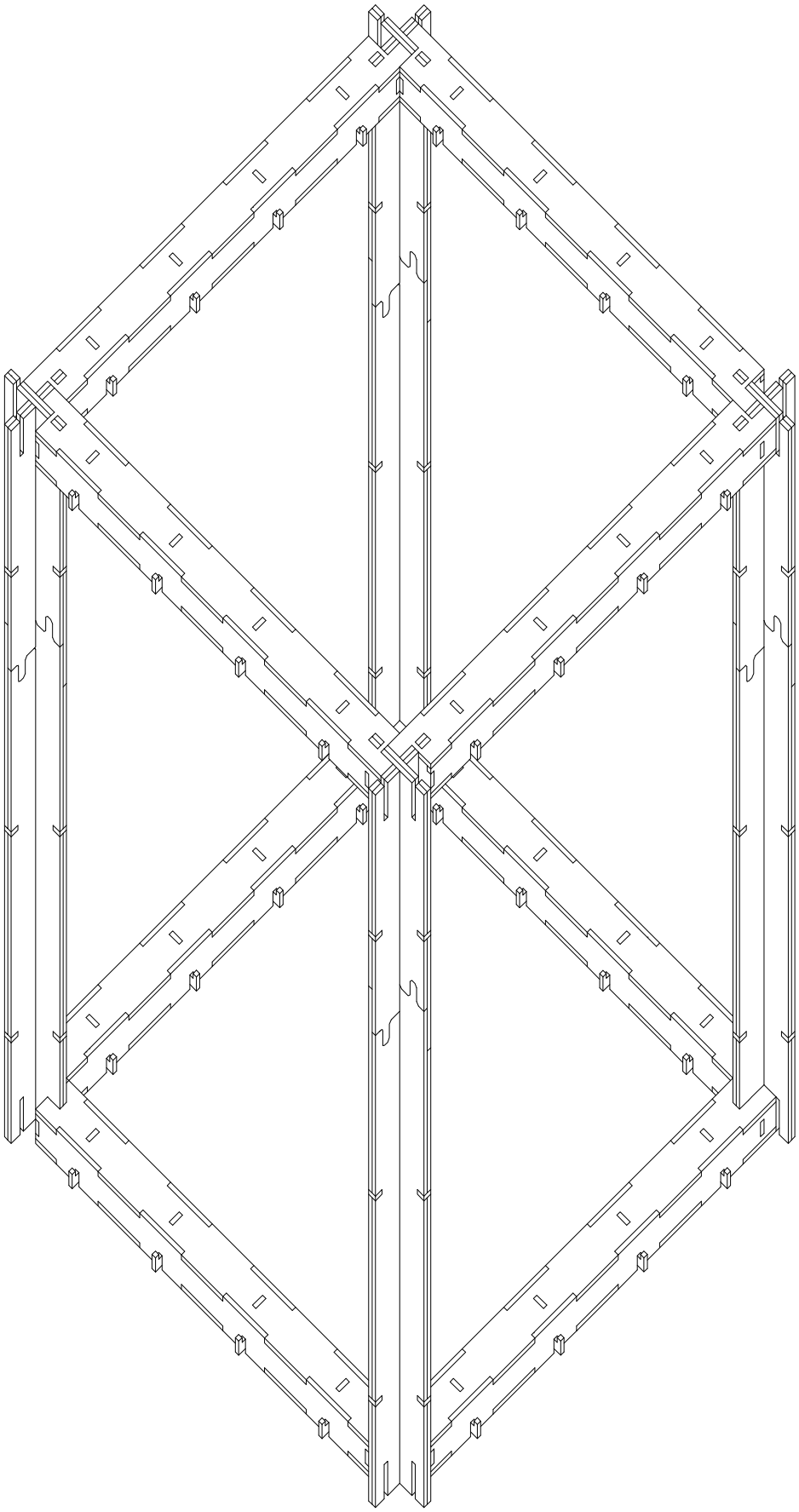


Fig.3.2.1. Estrutura linear base do módulo, Escala1/30.

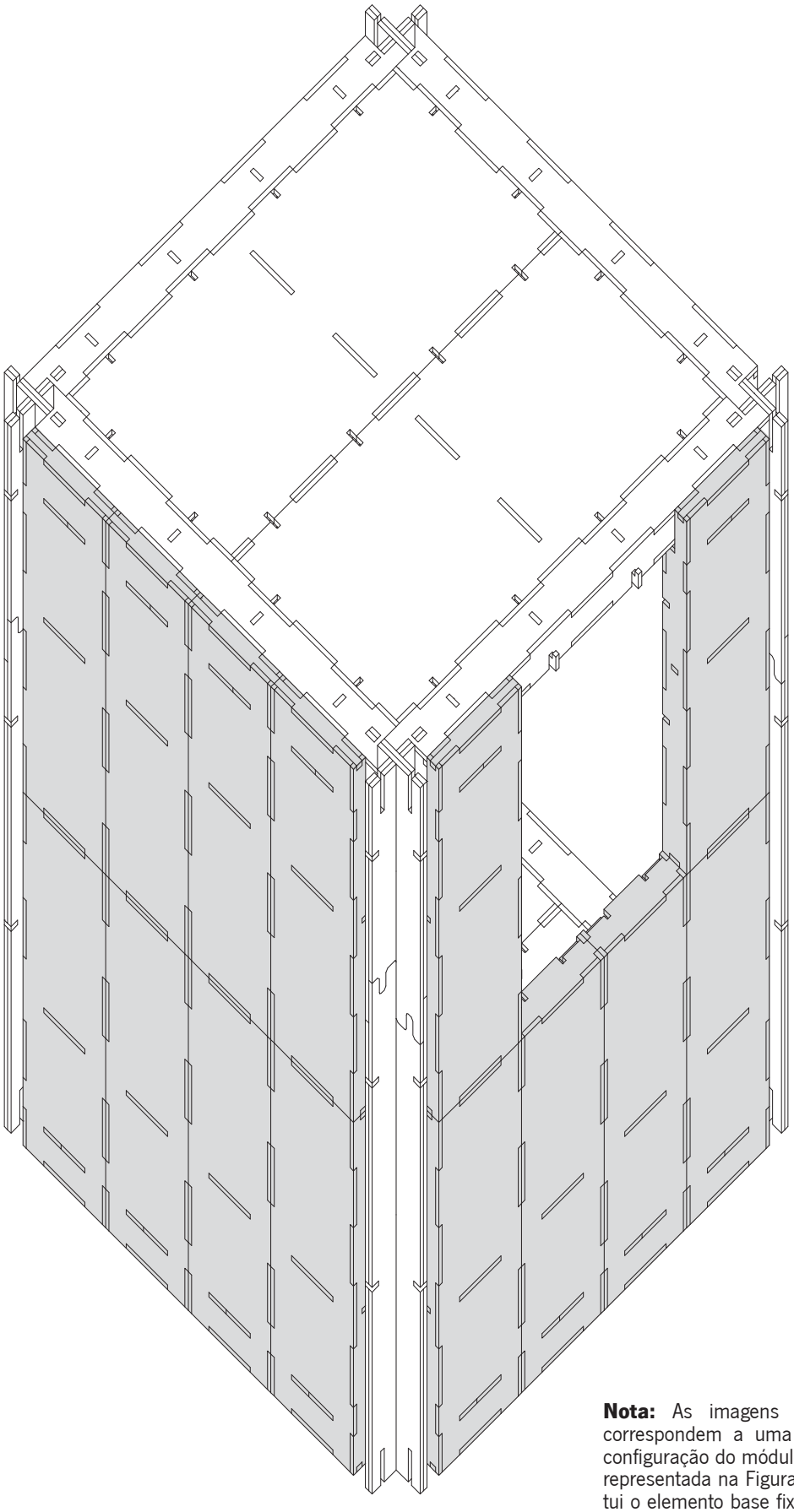


Fig.3.2.2. Axonometria do módulo vista 01, Escala1/30.

Nota: As imagens apresentadas correspondem a uma proposta de configuração do módulo. A estrutura representada na Figura 3.2.1 constitui o elemento base fixo, sendo possível acrescentar os componentes de parede em qualquer uma das faces exteriores do módulo.

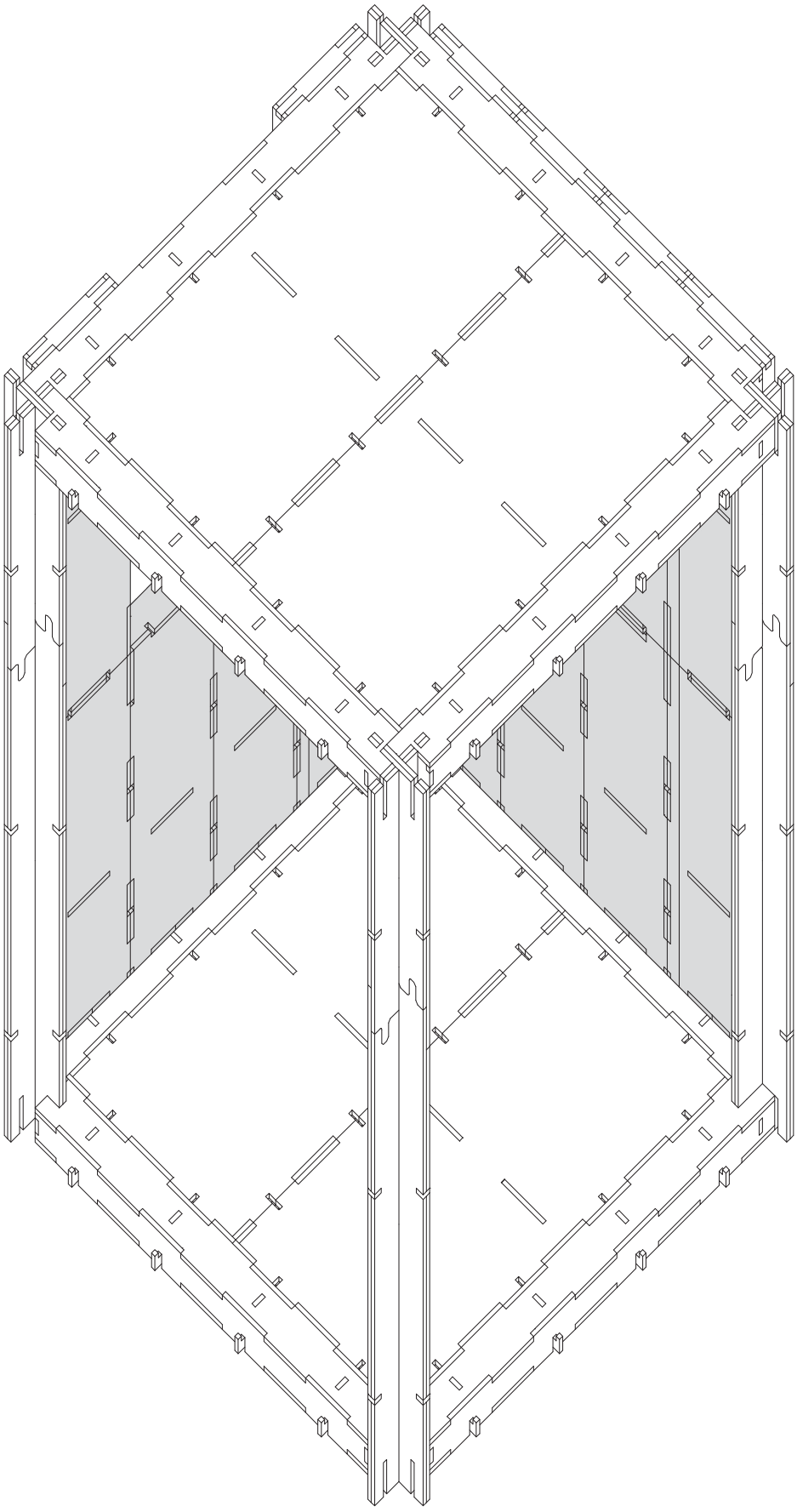


Fig.3.2.3. Axonometria do módulo vista 02, Escala1/30.

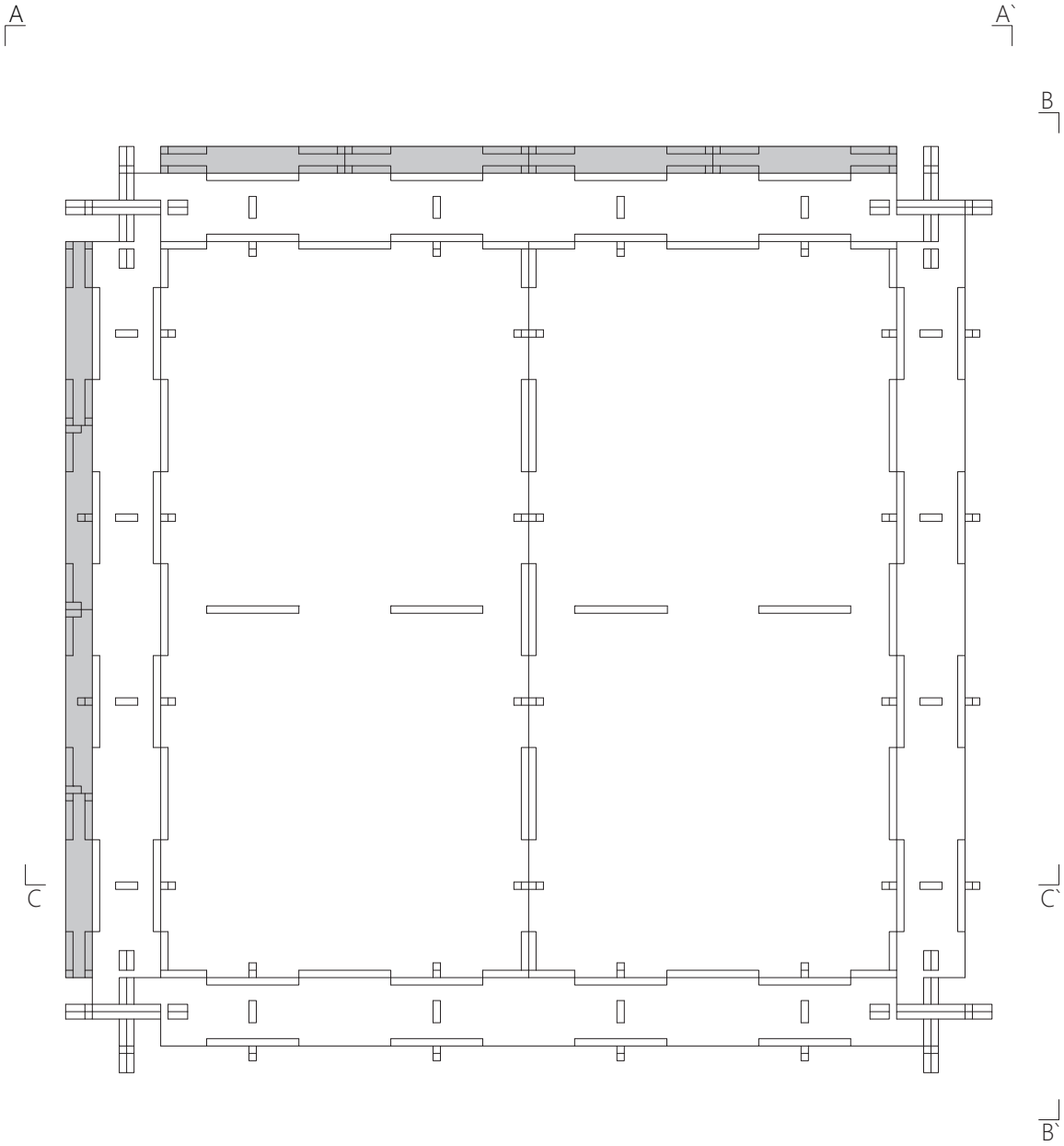


Fig.3.2.4. Planta de Covertura do módulo, Escala1/20.

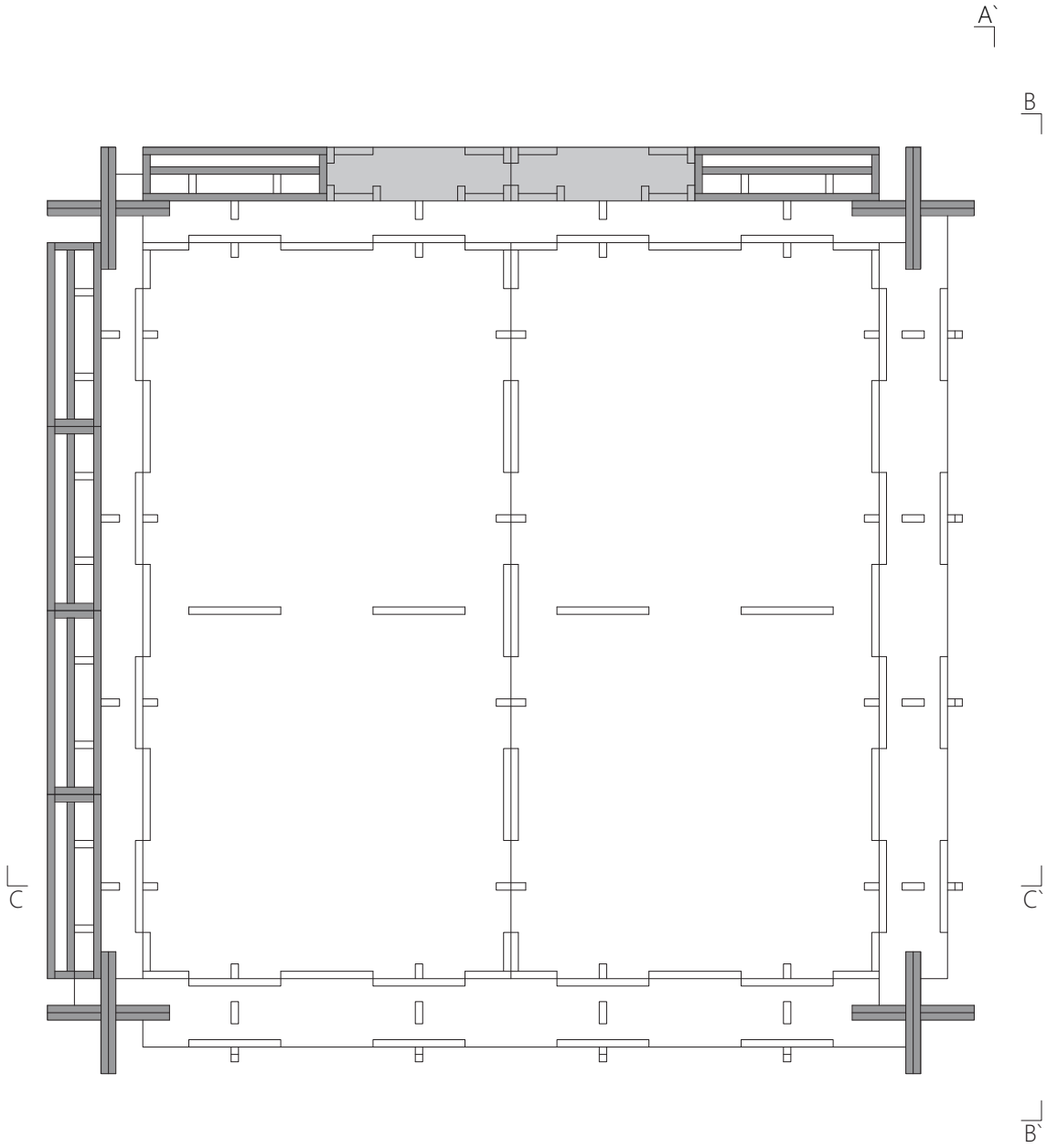


Fig.3.2.5. Planta do módulo à cota 1.80m, Escala1/20.

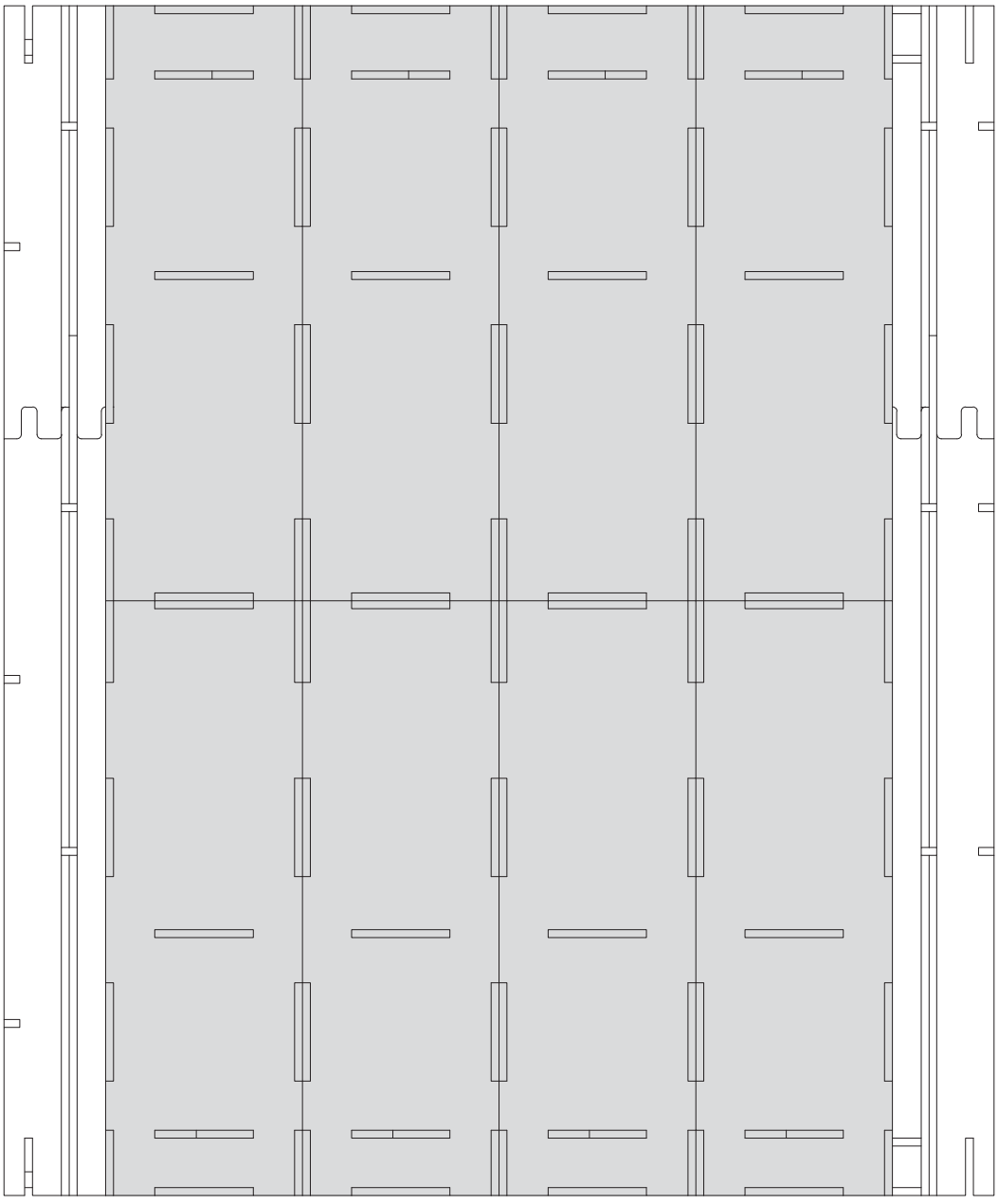


Fig.3.2.6. Alçado [A-A`] do módulo, Escala1/20.

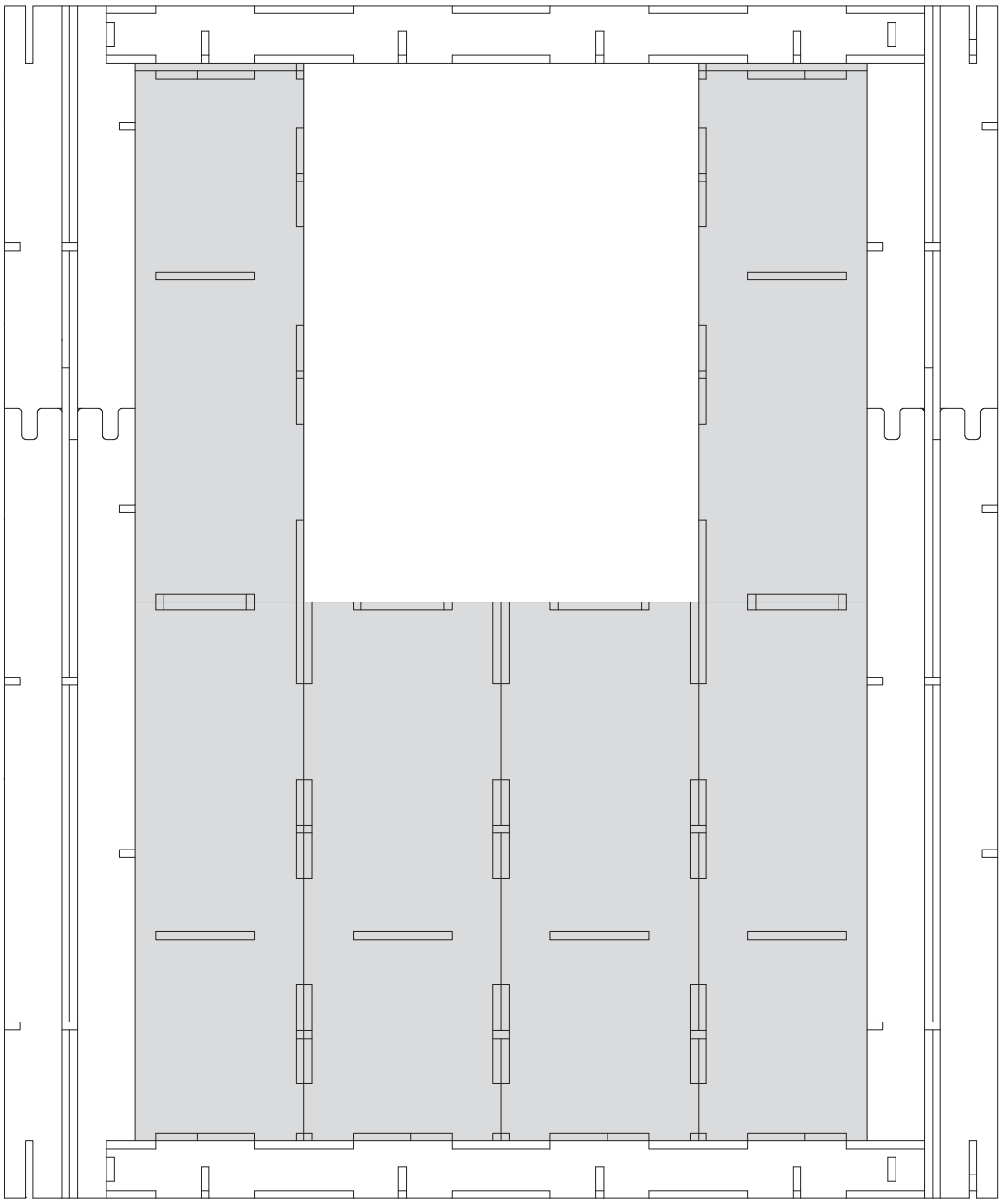


Fig.3.2.7. Alçado [B-B`] do módulo, Escala1/30.

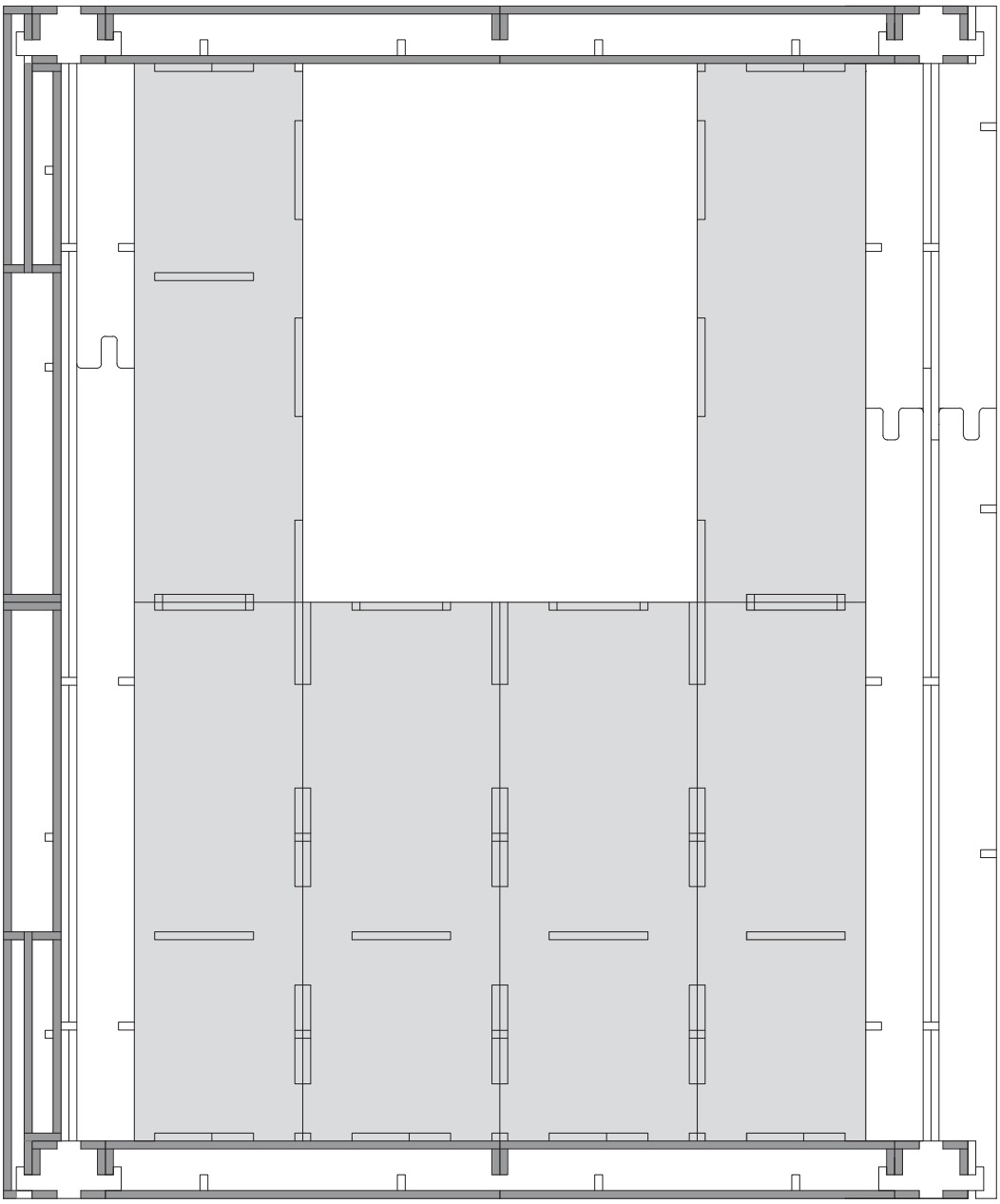


Fig.3.2.8. Corte [C-C`]do módulo, Escala1/20.

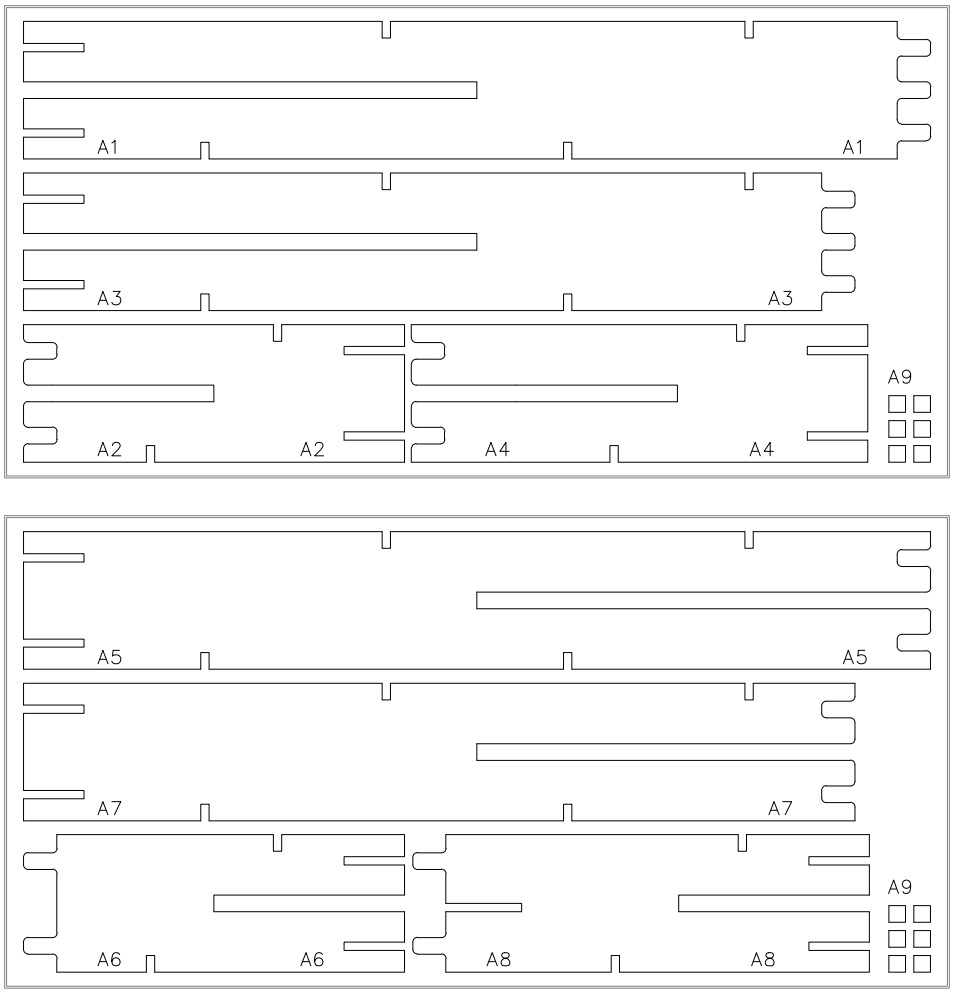


Fig.3.2.9. Placas de OSB com o desenho das peças do pilar, Escala1/20.

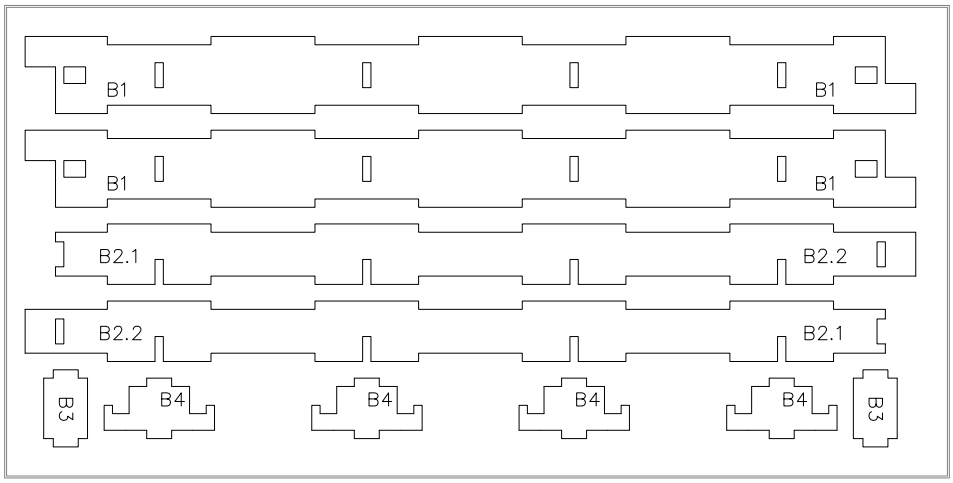


Fig.3.2.10. Placas de OSB com o desenho das peças da viga, Escala1/20.

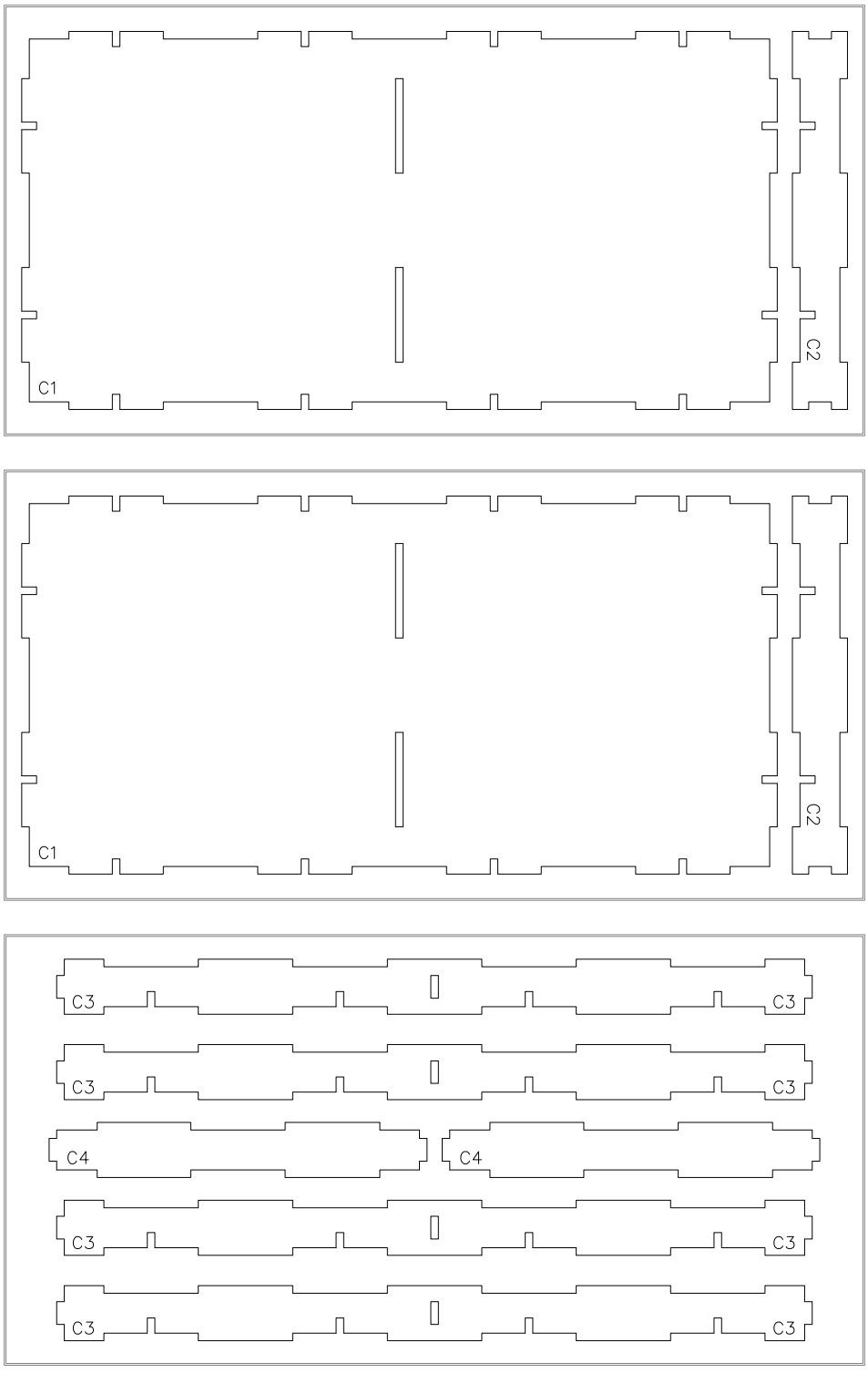


Fig.3.2.11. Placas de OSB com o desenho das peças do pavimento/cobertura, Escala1/20.

Nota: O desenho foi otimizado para a redução do desperdício de material. Para a construção de um componente completo de pavimento/cobertura, são necessárias as duas placas de cima de OSB (idênticas), bem como duas peças C3 e uma peça C4 provenientes da placa de baixo. No caso de serem necessários dois componentes de pavimento/cobertura, devem ser cortadas quatro placas superiores e uma placa inferior.

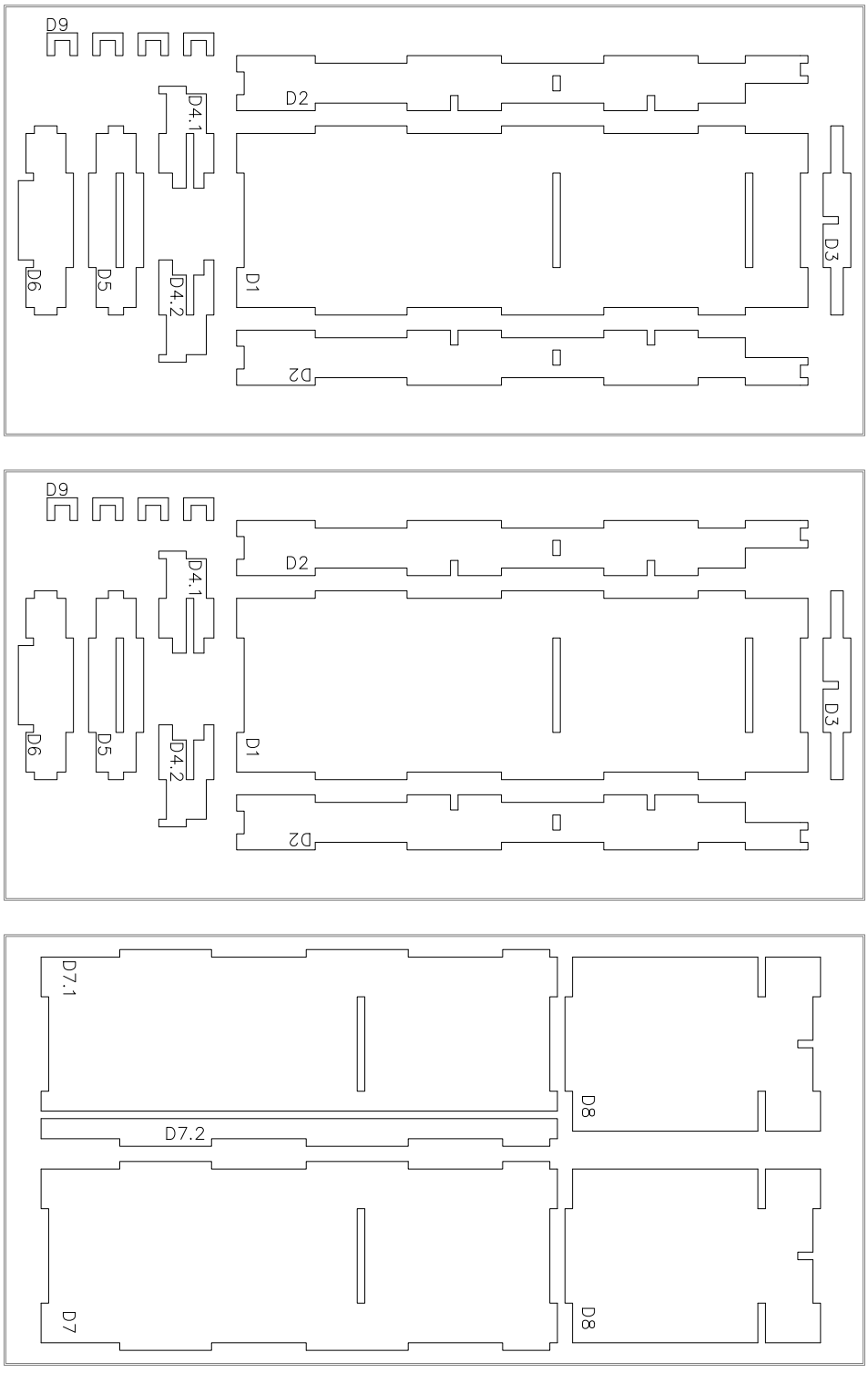


Fig.3.2.12. Placas de OSB com o desenho das peças da parede inferior, Escala1/20.

Nota: O desenho foi otimizado para a redução do desperdício de material. Para a construção de um componente completo da parede inferior, é necessária uma das placas de cima e metade das peças provenientes da placa de baixo. Pode optar-se pela configuração de painel de parede lateral, utilizando as placas de acabamento D7.1 e D7.2, ou pela configuração de painel de parede intermédio, recorrendo à placa de acabamento D7. No caso de serem necessários dois componente da parede, devem ser cortadas as três placas.

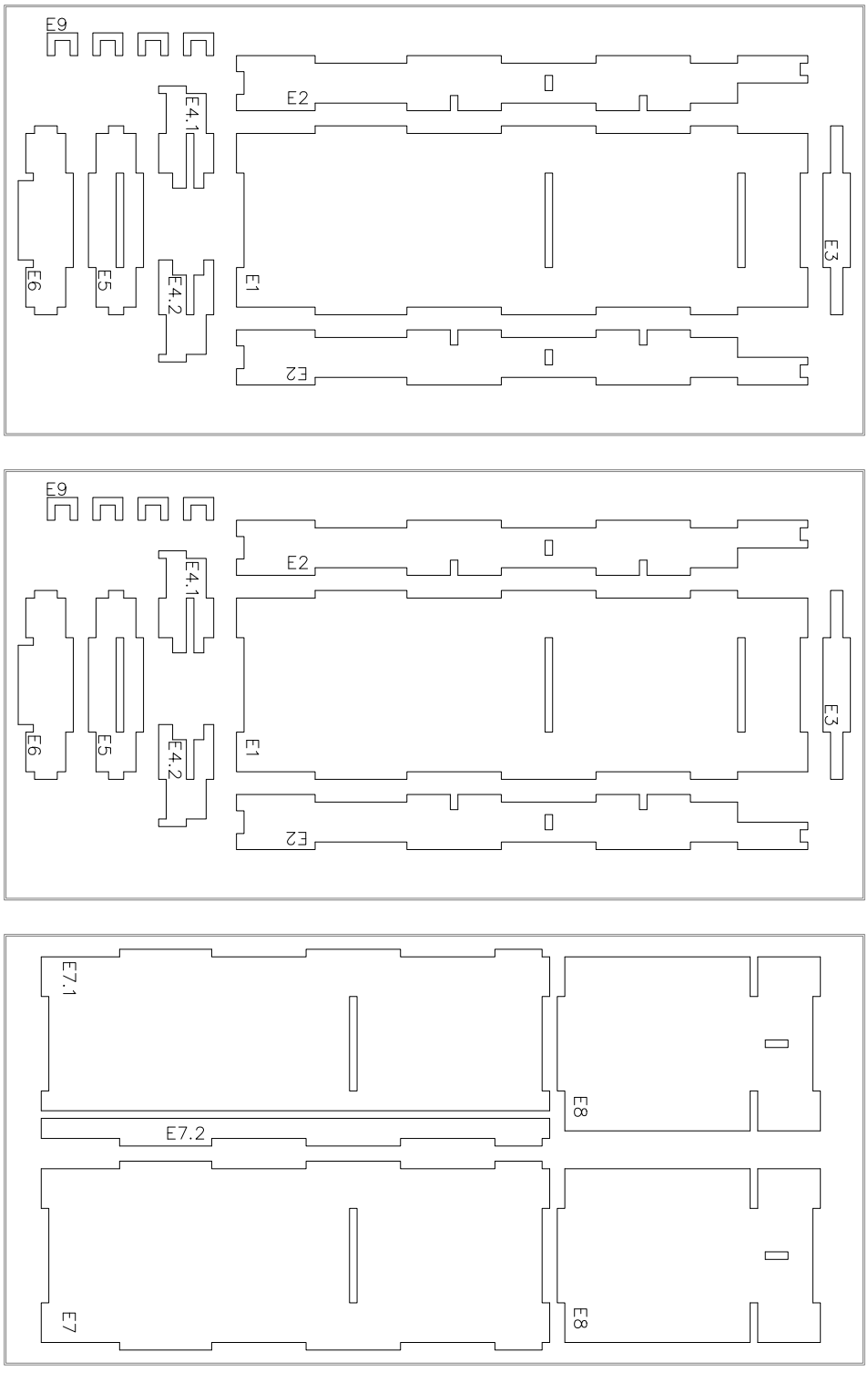


Fig.3.2.13. Placas de OSB com o desenho das peças da parede inferior, Escala1/20.

Nota: O desenho foi otimizado para a redução do desperdício de material. Para a construção de um componente completo da parede superior, é necessária uma das placas cima e metade das peças provenientes da placa baixo. Pode optar-se pela configuração de painel de parede lateral, utilizando as placas de acabamento E7.1 e E7.2, ou pela configuração de painel de parede intermédio, recorrendo à placa de acabamento E7. No caso de serem necessários dois componente da parede, devem ser cortadas as três placas.

Pilar

O pilar é constituído por oito peças de madeira, organizadas em dois elementos estruturais distintos. As quatro peças de maior dimensão formam o elemento inferior do pilar (Peças A1-A3-A5-A7), enquanto as quatro peças de menor dimensão constituem o elemento superior (Peças A2-A4-A6-A8).

Para permitir o encaixe entre as peças que formam cada elemento, foi concebida uma reentrância central longitudinal, com grande desenvolvimento vertical, que possibilita o cruzamento e encaixe perpendicular das peças, formando uma configuração em cruz. Este sistema permite a união e o posicionamento adequado das peças na constituição do elemento estrutural.

Adicionalmente, a ligação é reforçada por reentrâncias laterais localizadas nas faces das peças (Peça A9). Estas têm a função de fixar e impedir o deslocamento relativo entre as peças orientadas na mesma direção, contribuindo para a estabilidade do conjunto.

A ligação entre os dois elementos do pilar é realizada através de um encaixe com geometria ondulada, localizado numa das extremidades de cada peça. Este sistema foi projetado de forma que as juntas das peças não coincidam no mesmo plano, encontrando-se desfasadas entre si.

Este desfasamento tem como principal objetivo aumentar a estabilidade e a resistência estrutural do pilar. Caso todos os encaixes estivessem alinhados na mesma posição, a aplicação de forças laterais ou tensões poderia provocar um deslizamento relativo entre os elementos, uma vez que não existiria um mecanismo eficaz de travamento estrutural.

Na extremidade oposta ao encaixe ondulado, as peças apresentam uma reentrância com princípio construtivo idêntico ao encaixe em cruz anteriormente descrito, que permite o encaixe da viga no pilar, estabelecendo assim a ligação estrutural entre estes dois elementos do sistema.

Deste modo, a disposição faseada das peças cria um efeito de travamento, que limita os movimentos relativos entre os elementos e contribui para melhorar o comportamento estrutural do pilar.

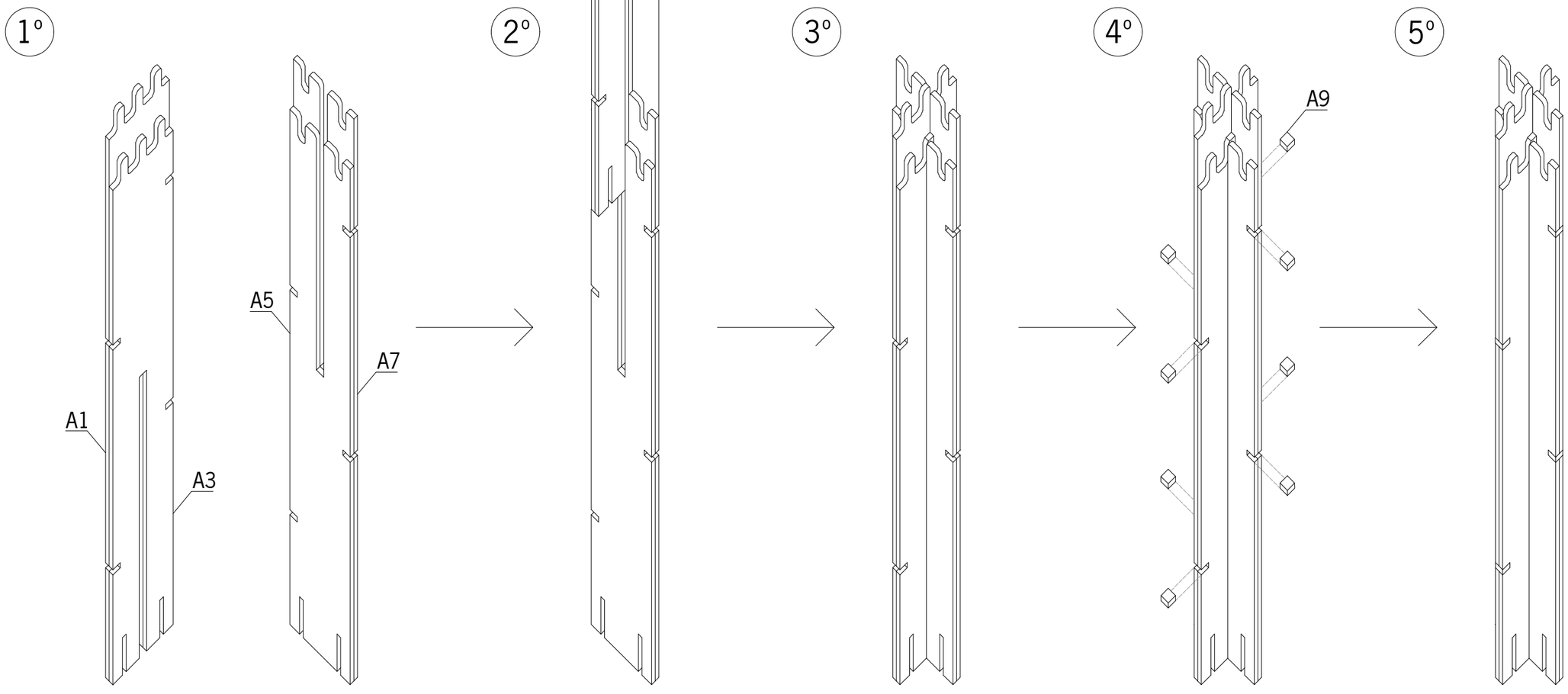


Fig.3.2.14. Processo de construção do pilar, passos 1.° a 5.°, Escala1/20.

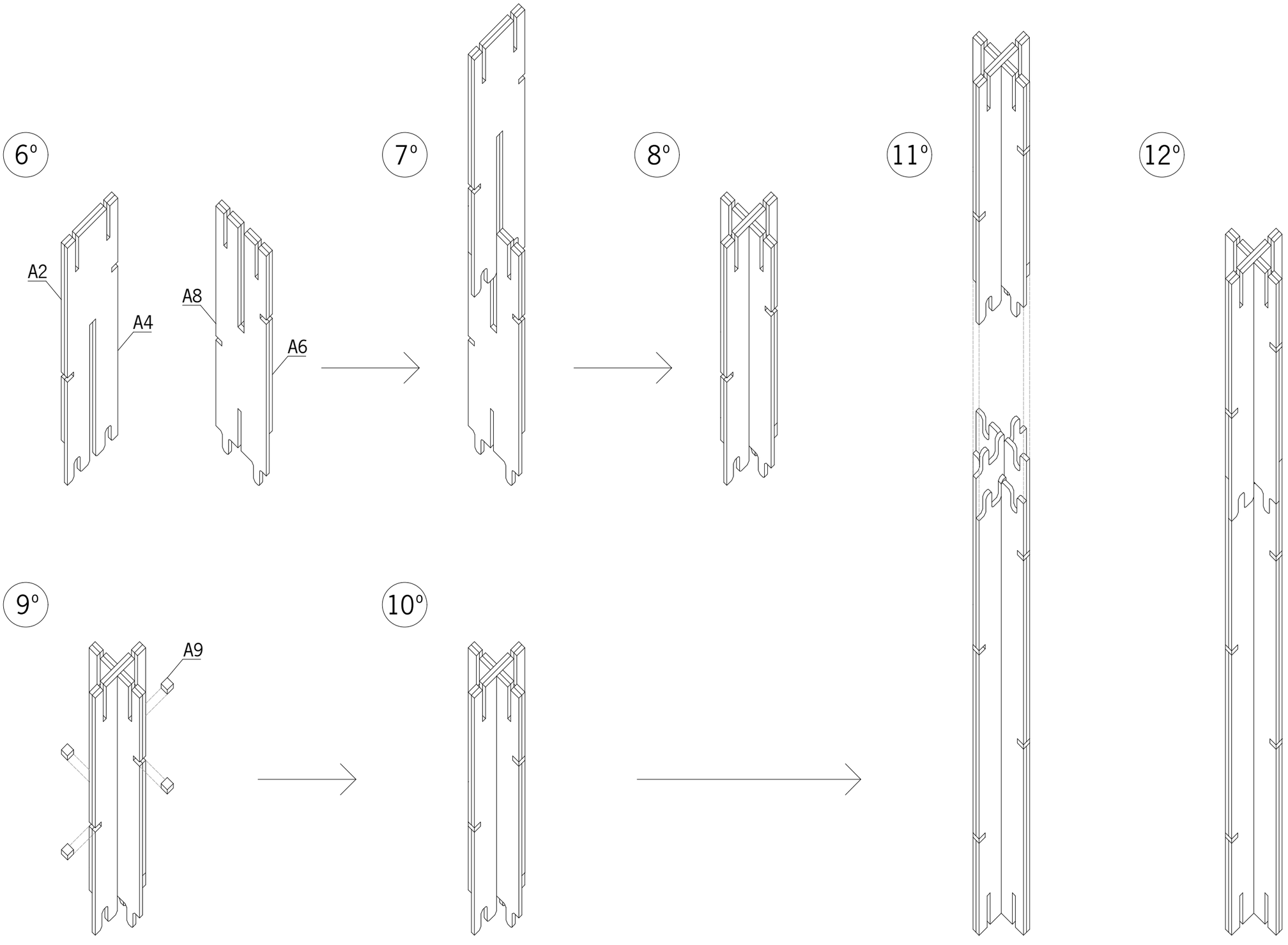


Fig.3.2.15. Processo de construção do pilar, passos 6.º a 12.º, Escala1/20.

Viga

A viga é constituída por dez peças de madeira, organizadas de acordo com um princípio construtivo baseado numa geometria em caixa. Esta configuração permite criar um elemento estrutural rígido e estável, enquanto integra os sistemas de encaixe necessários para a ligação com os restantes componentes do módulo.

As peças laterais da viga (Peças B2.1/B2.2–B3) articulam-se com as peças que constituem as superfícies superior e inferior (Peça B1), funcionando como elementos de contenção que permitem fixar e estabilizar as peças interiores. Esta fixação é realizada através de reentrâncias desenhadas nas peças laterais, que possibilitam o deslizamento controlado sobre as peças interiores (Peça B4), assegurando simultaneamente o seu posicionamento e travamento dentro do conjunto estrutural.

As peças interiores (Peça B4) da viga assumem um papel fundamental no funcionamento do sistema construtivo. É através da geometria específica destas peças que se tornam possíveis os mecanismos de suporte e encaixe dos restantes componentes do módulo, nomeadamente os elementos de parede e os elementos de pavimento.

Cada uma destas peças (Peça B4) acaba com um perfil em forma de “L”, cuja configuração permite suportar, pendurar e estabilizar os elementos adjacentes.

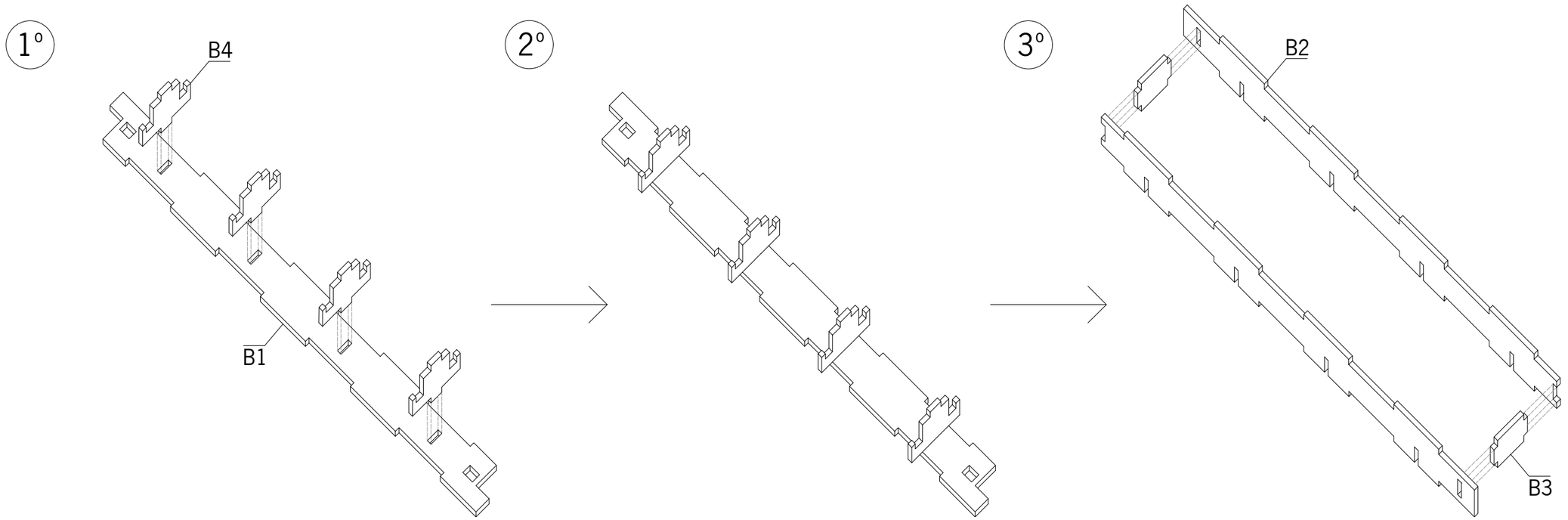


Fig.3.2.16. Processo de construção da viga, passos 1.º a 3.º, Escala1/20.

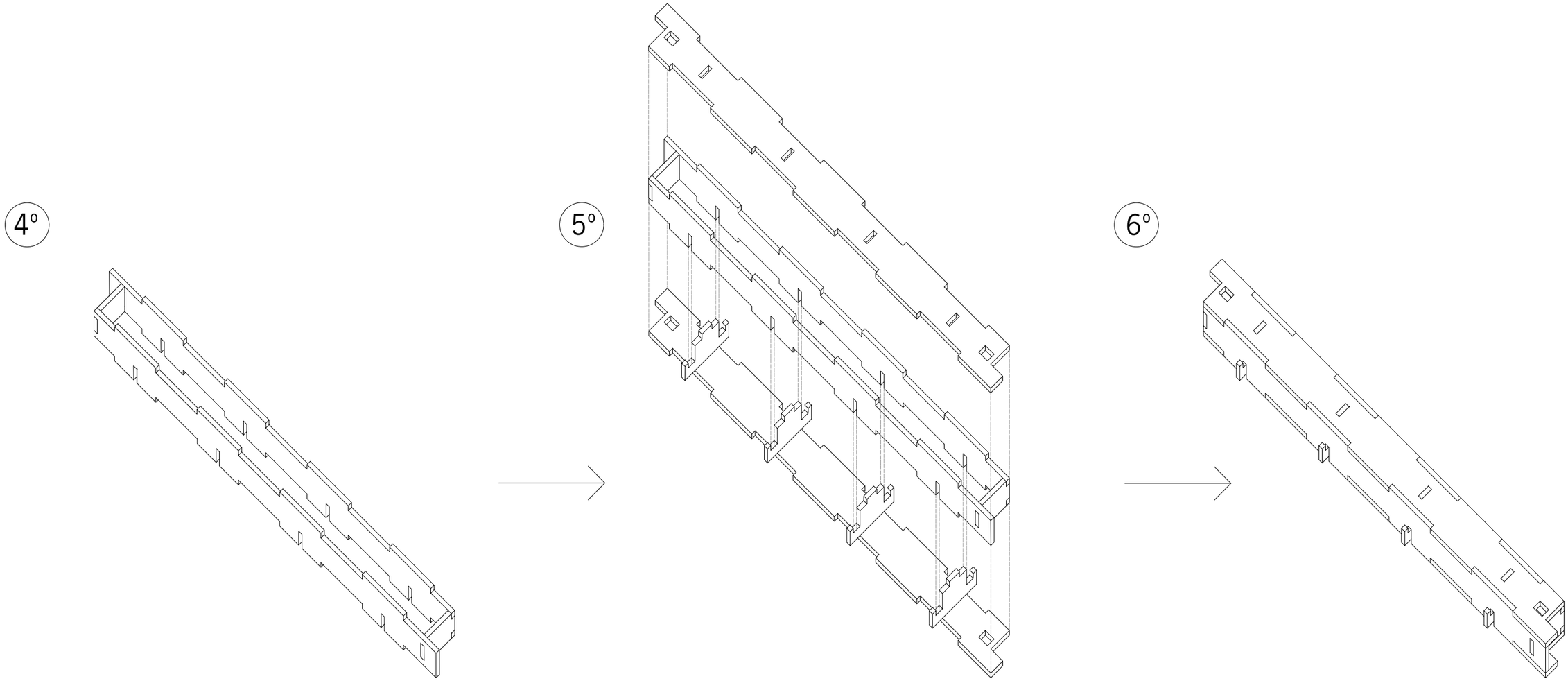


Fig.3.2.17. Processo de construção da viga, passos 4.° a 6.°, Escala1/20.

Pavimento/Cobertura

O componente de pavimento e cobertura foi desenvolvido segundo uma lógica construtiva idêntica à da viga, baseada numa geometria em caixa, na qual as diferentes peças se articulam através de sistemas de encaixe. Esta organização estrutural garante a rigidez do componente e assegura o correto posicionamento das diferentes peças.

O elemento é constituído por peças laterais (Peças C2-C3) e por peças que formam as superfícies superior e inferior (Peça C1), todas elas dotadas de reentrâncias que permitem a sua interligação com a viga. A ligação à estrutura principal realiza-se através das peças laterais (Peças C2-C3), que encaixam diretamente na viga. Este encaixe é possível graças aos elementos em "L" presentes nas peças interiores da viga (Peça B4), que funcionam como suportes estruturais. A montagem do componente ocorre através de um movimento de deslizamento vertical, permitindo que as peças laterais (Peças C2-C3) se apoiem nestes elementos e fiquem travadas e estabilizadas na posição final, alinhadas à mesma cota estrutural da viga.

Para reforçar o comportamento estrutural do elemento, é ainda introduzida uma peça interior localizada a meio do comprimento do componente (Peça C4). Esta peça tem como função aumentar a rigidez do conjunto e limitar possíveis deformações, contribuindo para uma melhor distribuição das cargas.

Desta forma, o componente torna-se capaz de suportar as ações resultantes do peso próprio e da circulação de pessoas, garantindo a estabilidade, integridade e segurança do pavimento ou da cobertura dentro do sistema construtivo.

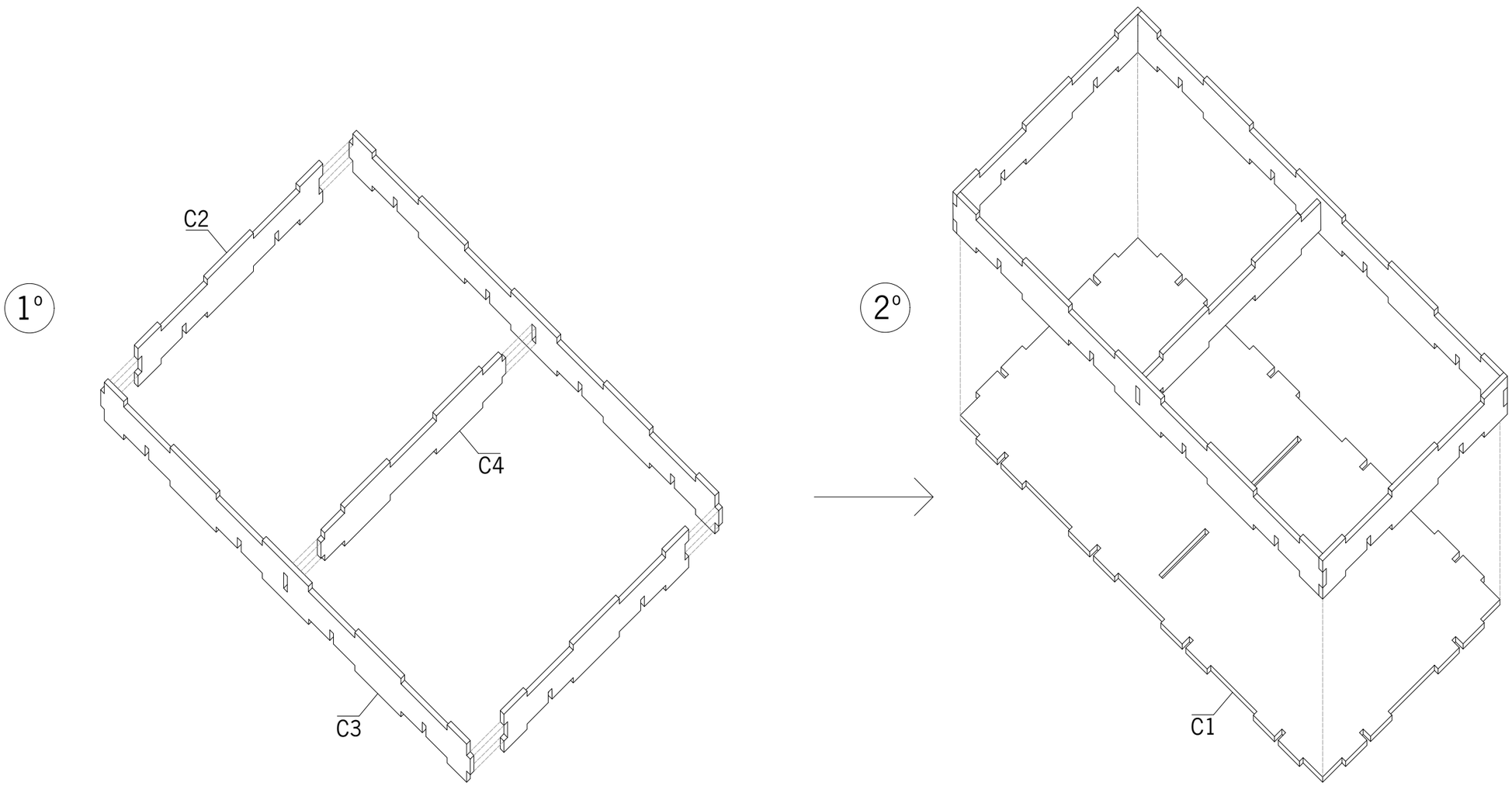


Fig.3.2.18. Processo de construção do pavimento/cobertura, passos 1.º a 2.º, Escala1/20.

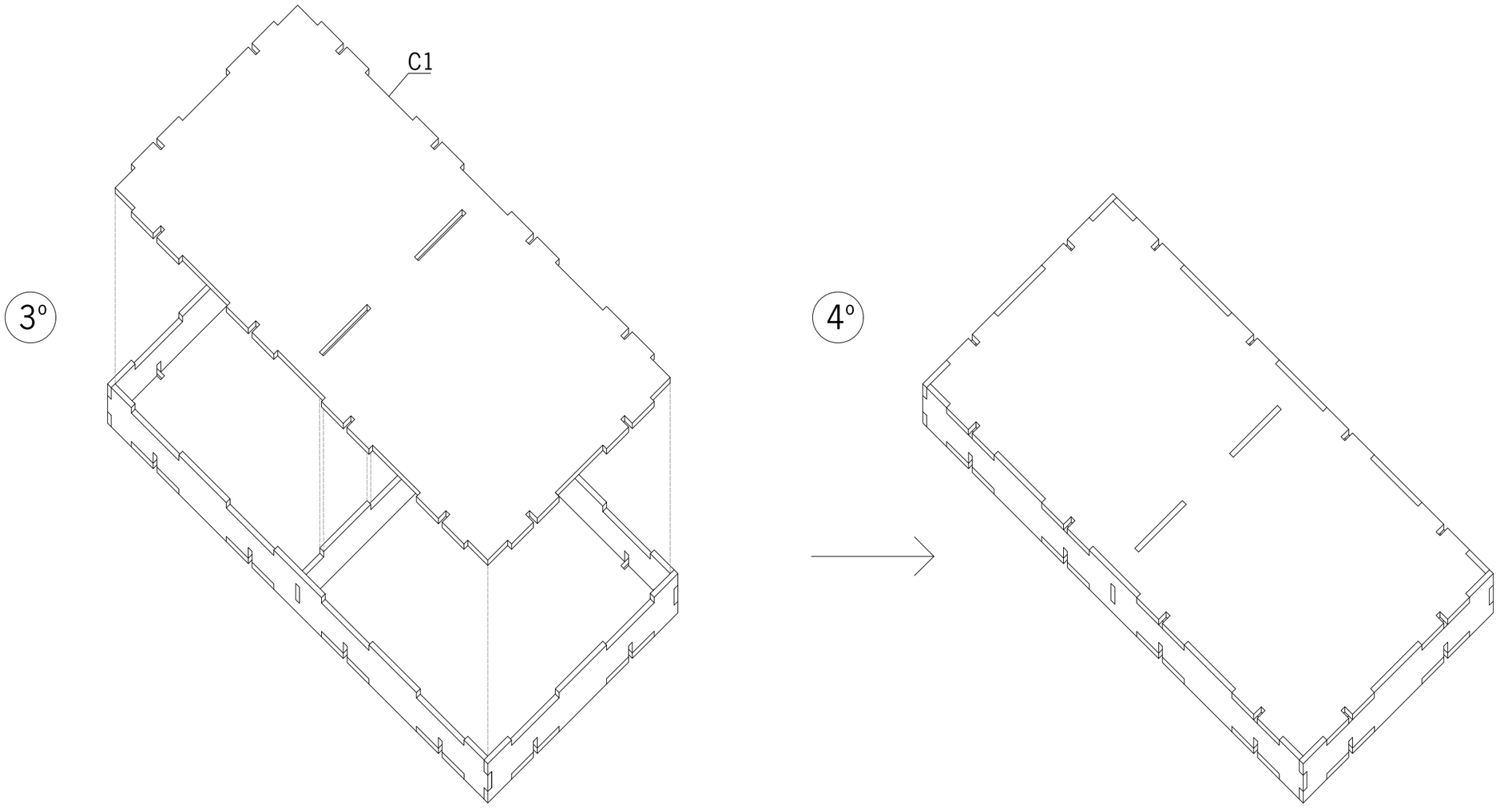


Fig.3.2.19. Processo de construção do pavimento/cobertura, passos 3.° a 4.°, Escala1/20.

Parede

O sistema de parede é constituído por dois tipos de painéis, o painel inferior (Peças D) e o painel superior (Peças E), concebidos para se adaptarem às diferentes posições de encaixe na estrutura. Cada painel é composto por dez peças de madeira, organizadas segundo uma lógica construtiva semelhante à aplicada nos restantes componentes do sistema.

O objetivo principal consistiu em desenvolver um elemento de parede suspenso na viga, permitindo que o painel funcione como um componente móvel e facilmente removível. Desta forma, o sistema de encaixe foi concebido para possibilitar uma montagem e desmontagem simples, sem necessidade de mão de obra especializada, permitindo que os utilizadores possam alterar a configuração espacial do módulo sempre que necessário. Esta característica contribui para a criação de um sistema altamente personalizável e adaptável.

Em termos morfológicos, o painel apresenta uma variação de espessura ao longo da sua altura. A parte superior, correspondente à zona de ligação entre painel e viga, apresenta menor espessura, permitindo o encaixe no sistema de suporte. A parte inferior, por sua vez, apresenta maior espessura, contribuindo para a estabilidade e rigidez do elemento.

Tal como nos componentes da viga e do pavimento/cobertura, as peças que constituem o painel organizam-se segundo uma geometria em caixa, permitindo a sua interligação através de reentrâncias e garantindo a estabilidade do conjunto. Desta forma, seguindo a sequência de montagem dos painéis, inicia-se o processo com o encaixe das peças laterais, nomeadamente as (Peças D2-D3-D6) / (Peças E2-E3-E6) que constituem a estrutura principal de cada painel. De seguida, esta estrutura é articulada com a peça de acabamento exterior (Peça D1) / (Peça E1), que contribui para a estabilização e definição da face exterior do painel. Posteriormente, procede-se ao encaixe das (Peças D4 e D8) / (Peças E4 e E8), que são montadas separadamente e integradas no conjunto estrutural do painel. Por fim, todas estas peças são consolidadas através da aplicação da peça de acabamento interior, que fecha o painel e garante o seu acabamento final, contribuindo simultaneamente para a estabilidade e integridade do conjunto.

No sistema, foram incorporadas duas peças interiores estruturais, cuja função é reforçar a integridade do painel (Peças D4-D5) / (Peças E4-E5). A (Peça D4) / (Peça E4) tem também a função de estabilizar o elemento responsável pela ligação entre o painel e a viga. Esta peça assegura que o componente de encaixe permaneça corretamente posicionado, contribuindo para a estabilidade do sistema de ligação e para o correto funcionamento do painel dentro do conjunto construtivo.

Para garantir a estabilidade global do conjunto de parede, é necessário, antes do seu fecho final, proceder à colocação das (Peça D9) / (Peça E9). Estas peças têm como função principal interligar todos os painéis entre si, assegurando a continuidade estrutural do sistema. Essas peças promovem a ligação

entre painéis na direção horizontal e vertical, contribuindo para o travamento do conjunto e para a sua rigidez global.

Para além da estrutura do painel, o sistema inclui duas soluções distintas de acabamento interior, definidas de acordo com a posição dos painéis na parede.

Nos painéis localizados na zona central da parede, é aplicada uma peça de acabamento interior contínua (Peça D7) / (Peça E9), responsável por fechar e finalizar a face interior do painel.

Nos painéis laterais, adjacentes aos pilares, o acabamento é composto por duas peças distintas (Peças D7.1-D7.2) / (Peças E7.1-E7.2). A primeira peça constitui o elemento de fecho visível para o interior do espaço, garantindo o acabamento da superfície exposta. A segunda corresponde a uma peça de menor dimensão, que permanece parcialmente oculta atrás do pilar após a montagem, contribuindo também para a integridade estrutural do painel. Esta solução foi adotada com o objetivo de facilitar o acesso ao interior do painel, caso seja necessário realizar intervenções ou ajustes no sistema. Assim, torna-se possível remover apenas a peça de acabamento visível, permitindo o acesso ao interior do painel sem necessidade de desmontar todo o elemento da parede, o que reforça a lógica de flexibilidade e adaptabilidade que orienta o sistema construtivo.

O encaixe entre o painel de parede inferior e a viga segue o mesmo princípio utilizado no sistema de pavimento e cobertura. Neste caso, a montagem realiza-se através de um deslizamento vertical, no qual a reentrância existente no painel encaixa no elemento interior da viga com o acabamento em "L" (Peça B4), permitindo que o painel fique apoiado e estabilizado na estrutura.

Já o encaixe entre o painel de parede superior e a viga apresenta um funcionamento distinto. Inicialmente, o painel é posicionado de forma que a reentrância existente no painel fique alinhada, em cota e posição, com o elemento em "L" presente na peça interior da viga (Peça B4). Em seguida, o painel é deslizado na horizontal, permitindo que a peça interior da viga entre completamente no interior do painel. Após este movimento, o painel é deslizado verticalmente para baixo, permitindo que o sistema de encaixe se posicione corretamente e que o elemento interior da viga funcione como mecanismo de travamento e suporte do painel. Este processo garante que o painel fique seguro, estabilizado e corretamente fixo na estrutura, sem necessidade de elementos adicionais de fixação.

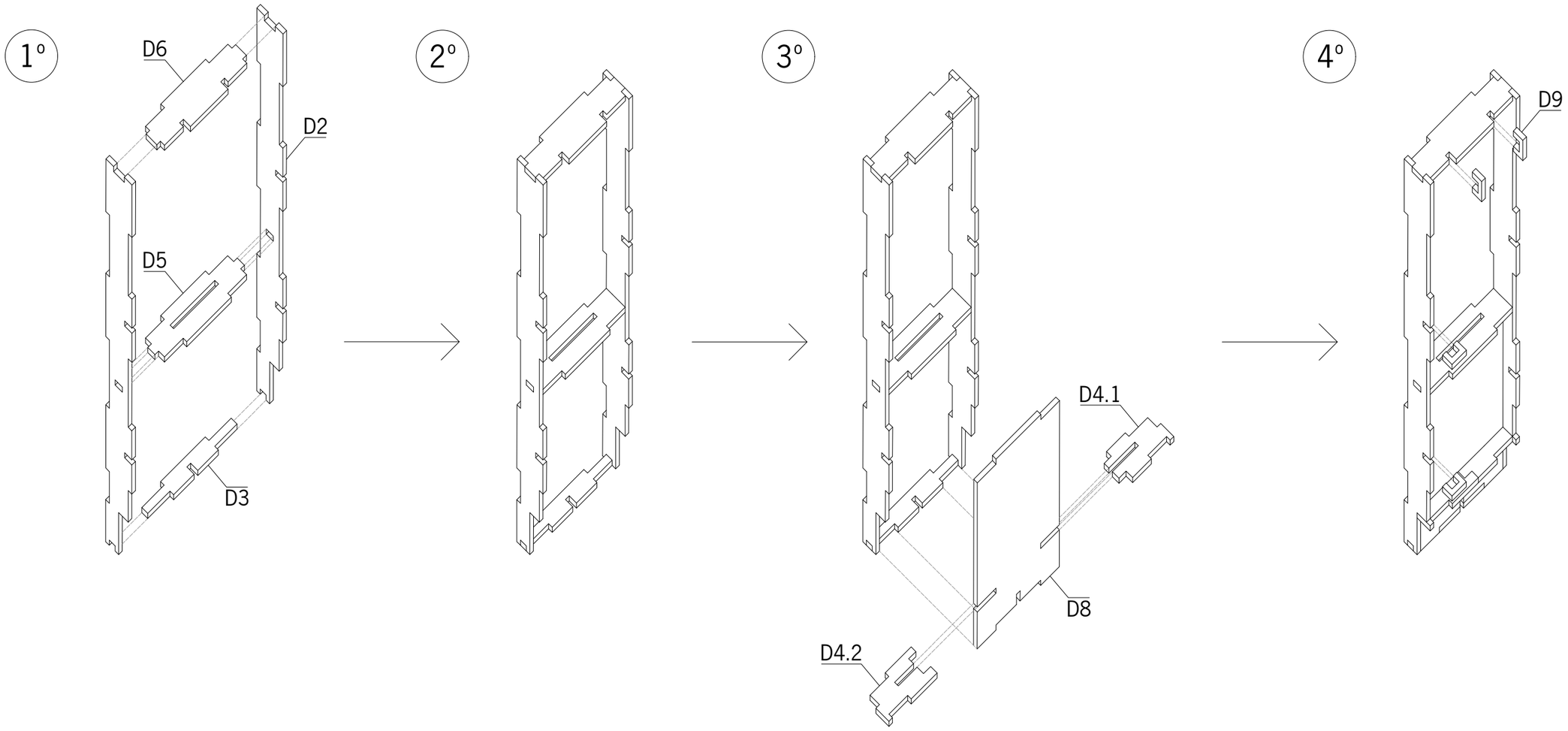
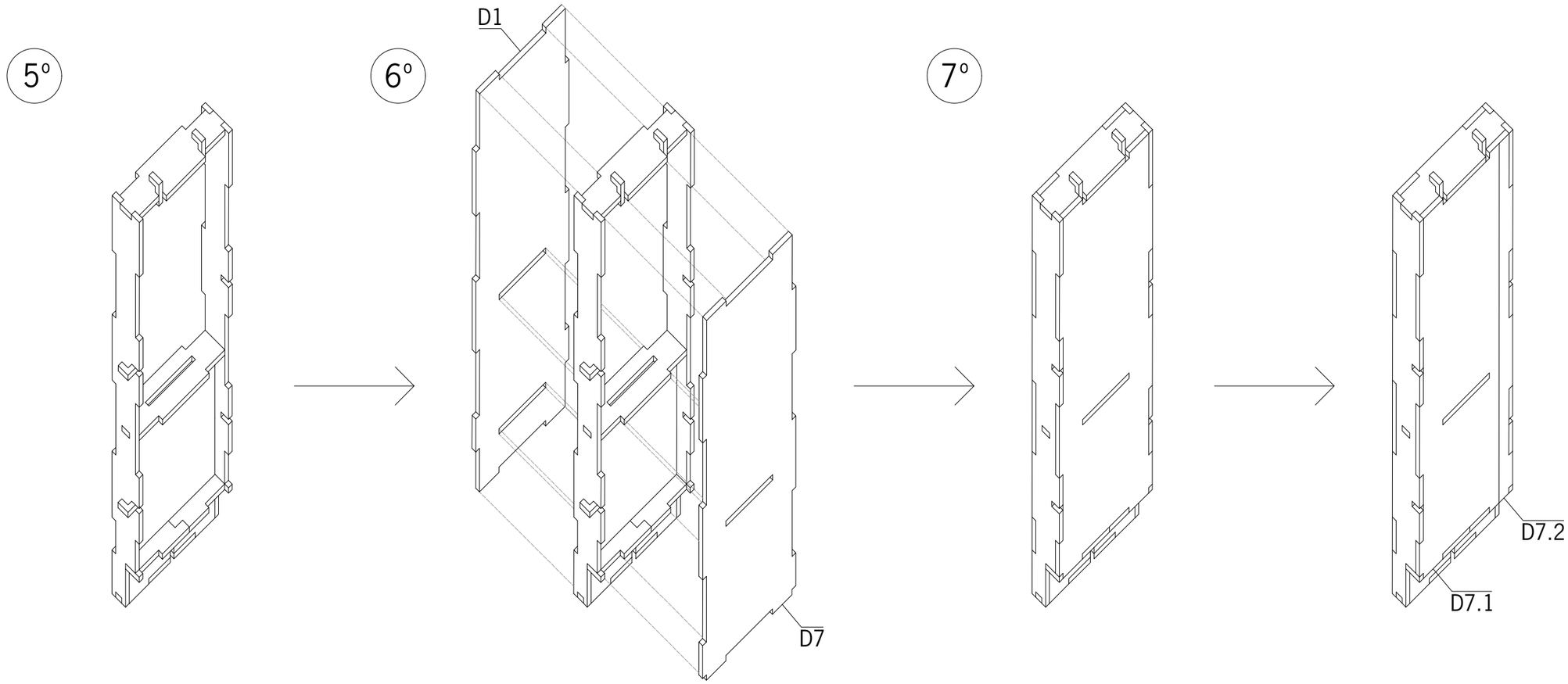


Fig.3.2.20. Processo de construção do componente da parede inferior, passos 1.º a 4.º, Escala1/20.



Nota: As peças D7, D7.1 devem apenas ser encaixadas no painel da parede após este estar no seu local final e após a colocação das peças D9.

Fig.3.2.21. Processo de construção do componente da parede inferior, passos 5.º a 7.º, Escala1/20.

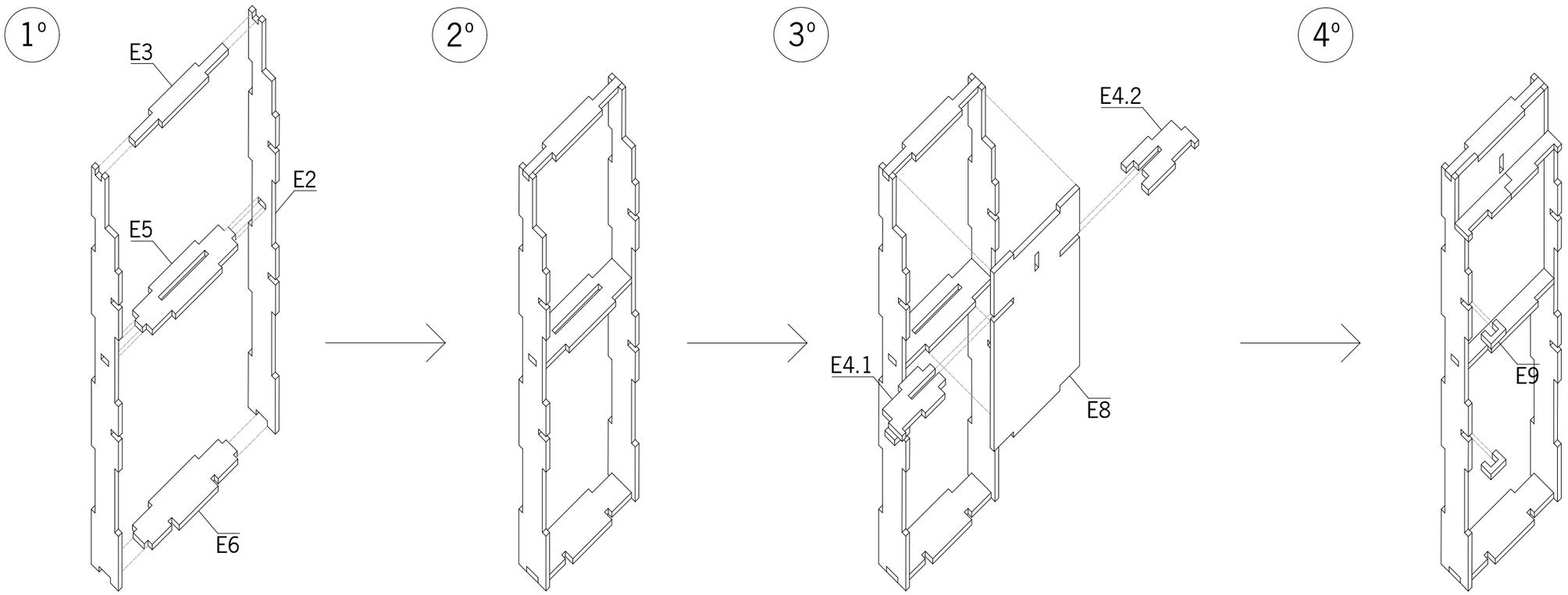
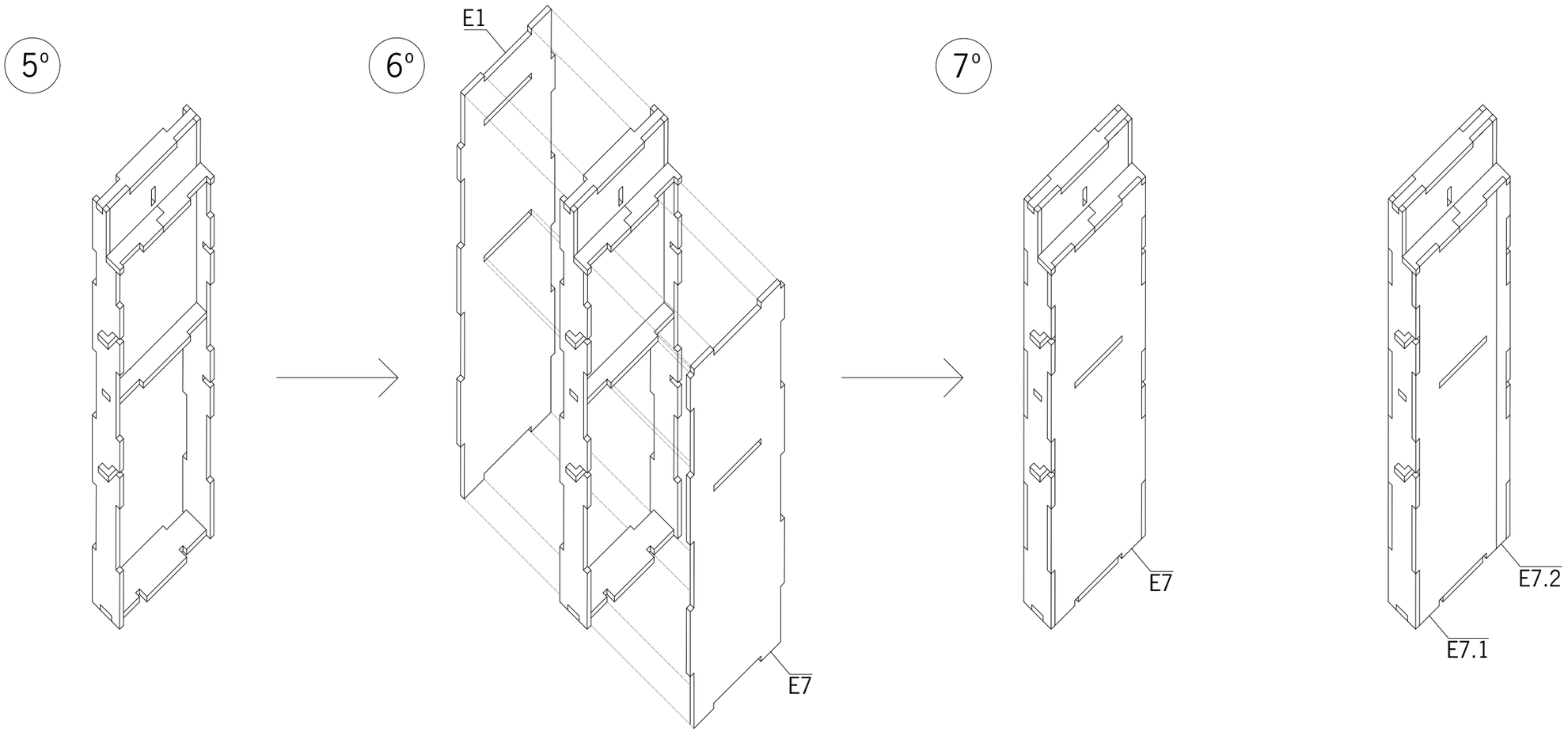


Fig.3.2.22. Processo de construção do componente da parede superior, passos 1.º a 4.º, Escala 1/20.



Nota: As peças E7, E7.1 devem apenas ser encaixadas no painel da parede após este estar no seu local final e após a colocação das peças E9.

Fig.3.2.23. Processo de construção do componente da parede superior, passos 5.° a 7.°, Escala 1/20.

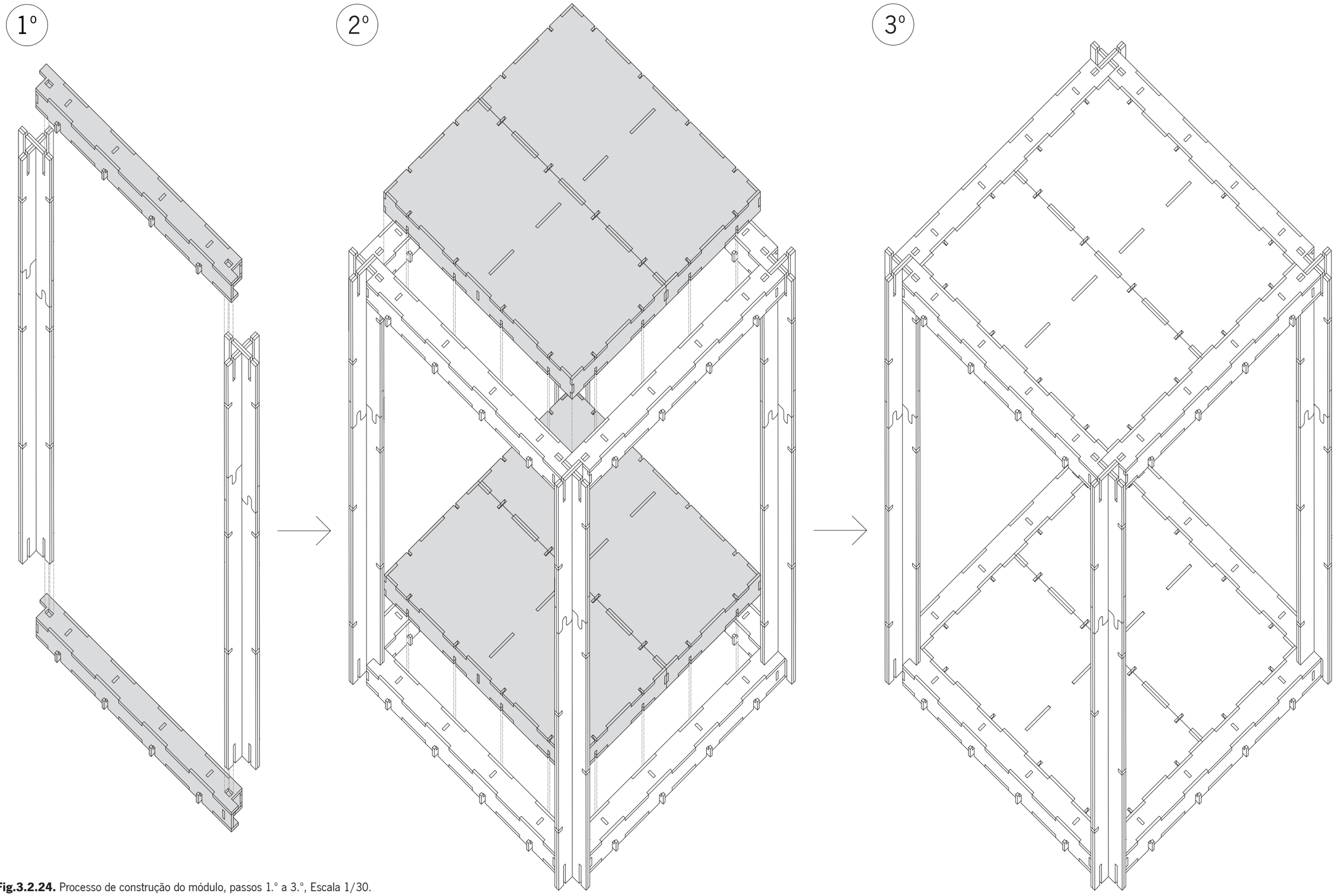


Fig.3.2.24. Processo de construção do módulo, passos 1.º a 3.º, Escala 1/30.

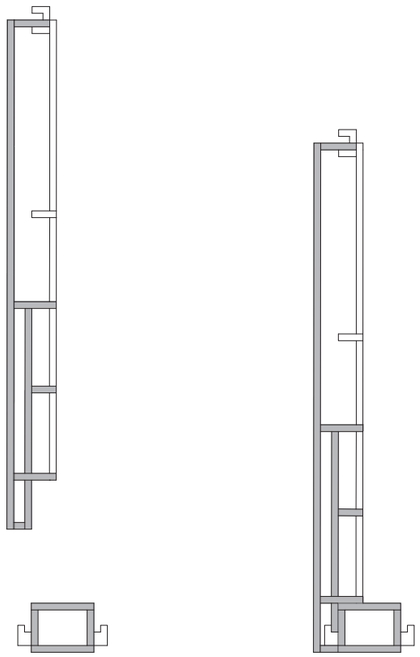


Fig.3.2.25. Processo de encaixe da parede inferior na viga, Escala 1/20.

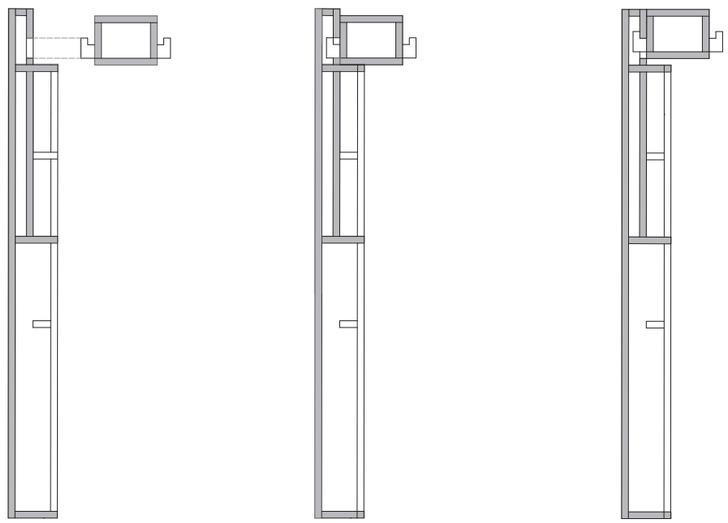


Fig.3.2.26. Processo de encaixe da parede superior na viga, Escala 1/20.

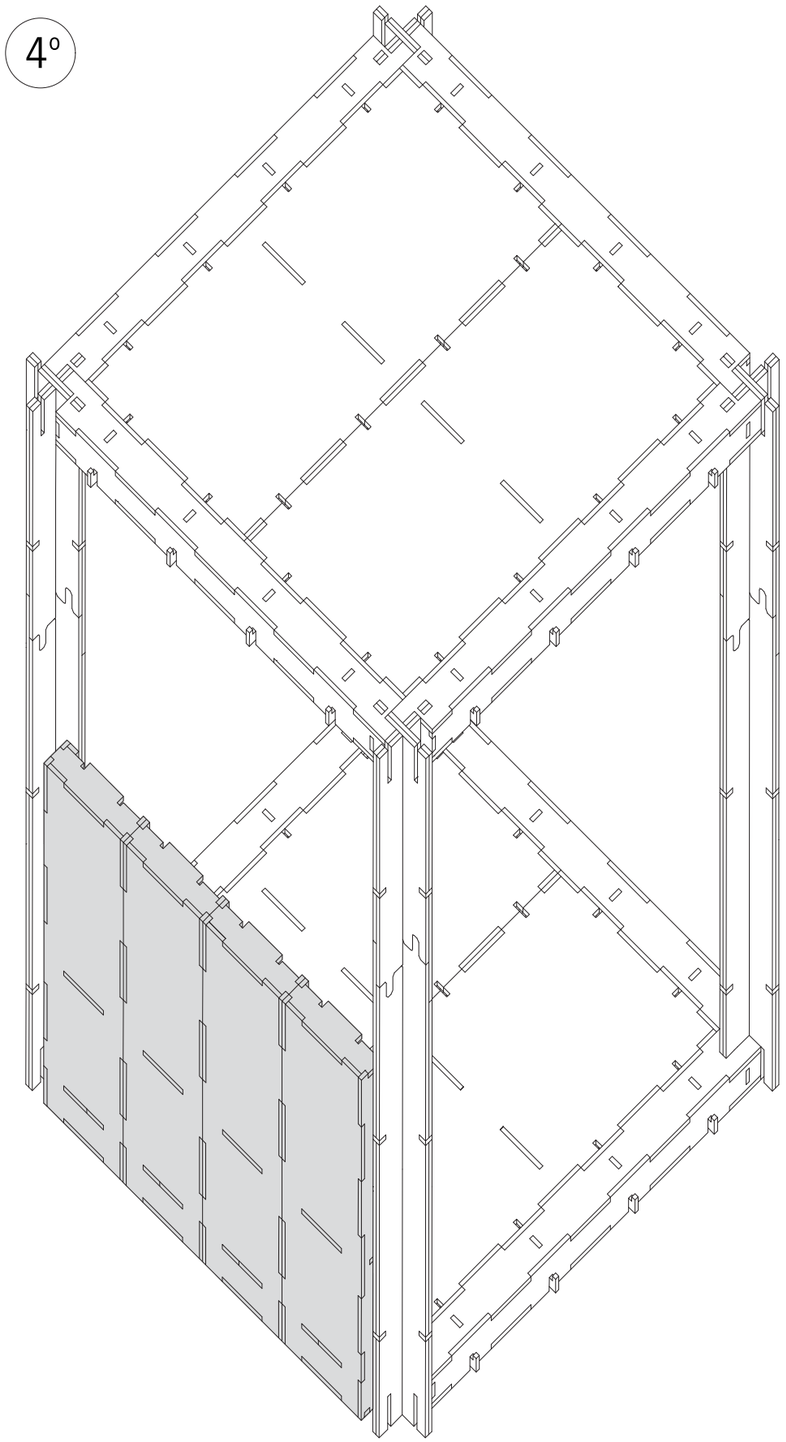


Fig.3.2.27. Processo de construção do módulo, passo 4.º, Escala 1/30.

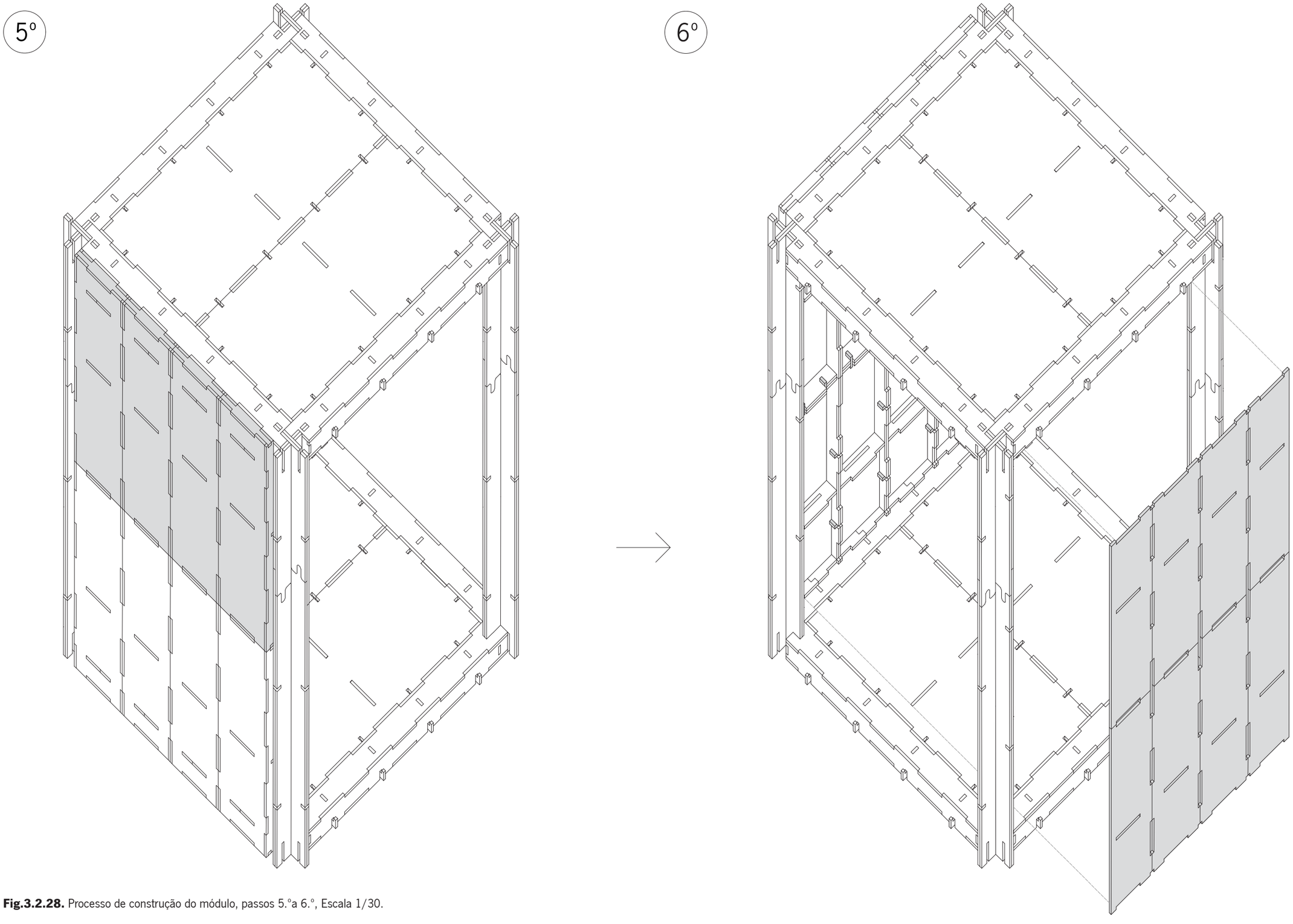


Fig.3.2.28. Processo de construção do módulo, passos 5.°a 6.°, Escala 1/30.

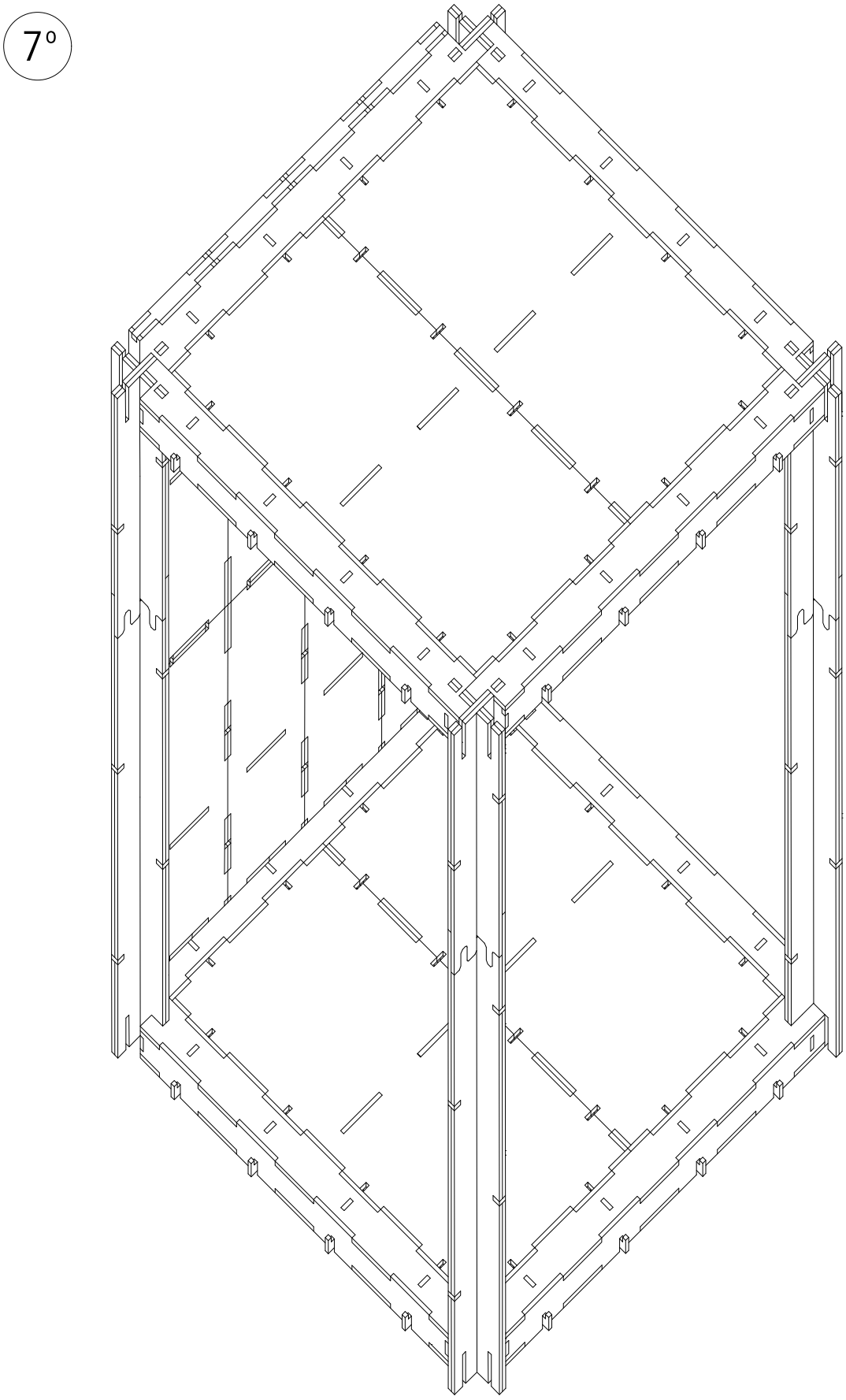


Fig.3.2.29. Processo de construção do módulo, passo 7.º, Escala 1/30.

3.3. Execução do Sistema Construtivo

Este subcapítulo consiste na experimentação e no teste prático dos principais encaixes do sistema construtivo desenvolvido. Para a realização do teste, estavam disponíveis apenas duas placas de OSB com 22 mm de espessura, o que impossibilitou a execução do módulo completo à escala real.

As placas foram adquiridas com dimensões de 1,25m de largura e 2,50m de comprimento. No entanto, devido às limitações do transporte disponível, foi necessário proceder ao seu corte em loja antes do seu transporte para a universidade. O planeamento inicial previa a utilização de uma placa completa para o corte, sendo a segunda mantida como reserva. Após o corte, as placas passaram a apresentar as seguintes dimensões: duas placas com 1,25m de largura e 1,71m de comprimento, e duas placas com 1,25m de largura e 0,79m de comprimento. Face a estas limitações foi necessário reduzir a área de teste. O ensaio consistiu no corte dos elementos correspondentes a um dos cantos do módulo em estudo. Neste caso, selecionou-se um dos cantos superiores, permitindo observar as ligações pilar–viga, viga–pavimento/cobertura e viga–painel. Para além dos encaixes entre os diferentes componentes, foi também possível analisar alguns dos encaixes internos de cada elemento. Na prática, o desenho das peças teve de ser reduzido em comprimento e altura, de forma a viabilizar o corte apenas da zona correspondente a esse canto do módulo.

A adaptação e verificação dos encaixes do sistema a ser testado foram realizadas no Rhinoceros e posteriormente inseridas no Fusion 360. A utilização do Fusion 360, software disponibilizado pela Autodesk, foi fundamental para o processo de corte na CNC. Este programa permite traduzir as linhas das peças desenhadas nos movimentos que a fresa da máquina CNC deve executar. Estes comandos de movimento são posteriormente convertidos na linguagem própria da máquina, o G-code.

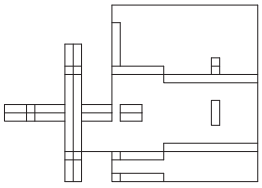


Fig.3.3.1. Planta do Teste, Escala1/20.

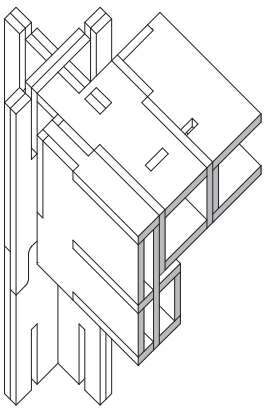


Fig.3.3.2. Axonometria do Módulo, Escala1/20.

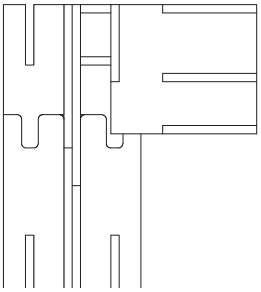


Fig.3.3.3. Alçado do Teste, Escala1/20.

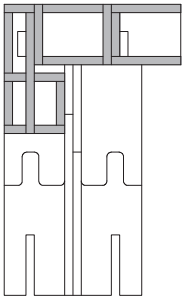
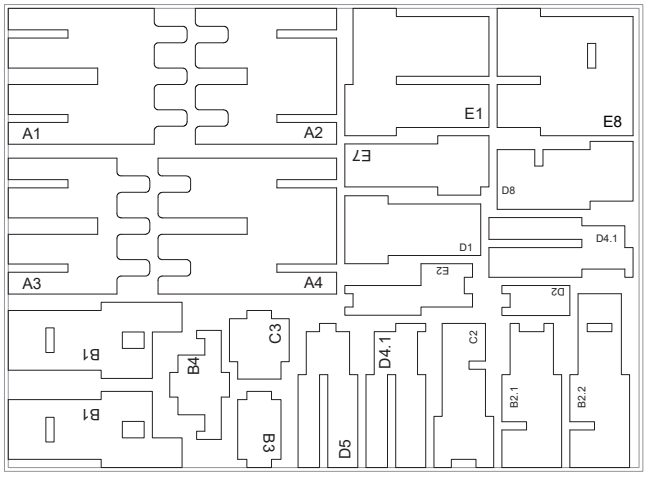


Fig.3.3.4. Corte do Teste, Escala1/20.



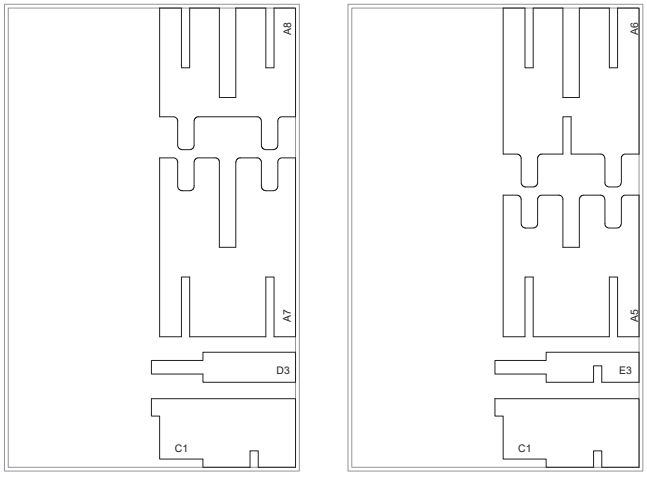


Fig.3.3.5. Primeiro desenho das peças nas placas de OSB, Escala 1/20.

Numa fase inicial do processo metodológico, procedeu-se à importação do ficheiro desenvolvido em Rhinoceros 3D para o ambiente de trabalho do Autodesk Fusion 360. Posteriormente, foi criado um ficheiro independente destinado à incorporação do texto de identificação, recorrendo ao software AutoCAD. Este elemento foi desenvolvido separadamente em formato DXF (Drawing Exchange Format). Por fim, o ficheiro em formato DXF foi importado para o Autodesk Fusion 360, onde foi integrado no modelo principal, possibilitando a sua manipulação. Em seguida, selecionou-se todo o texto e procedeu-se à sua translação de 3mm no sentido descendente. Este valor corresponde à profundidade definida para a gravação das letras nas peças.

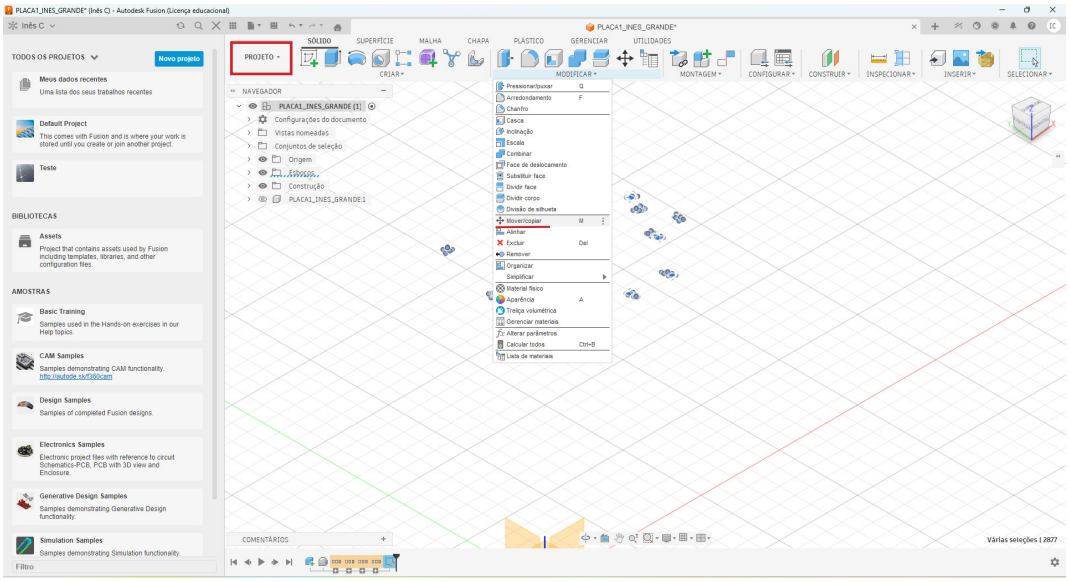


Fig.3.3.6. Seleção do texto e aplicação do comando "Mover/Copiar" as letras.

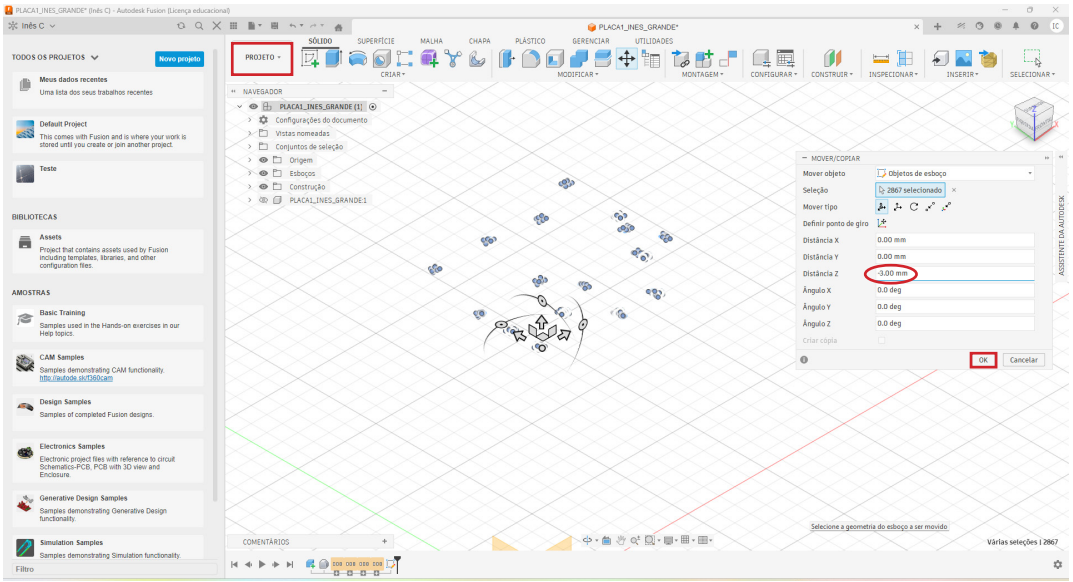


Fig.3.3.7. Deslocamento das letras 3 mm na direção vertical descendente.

Para definir os movimentos da fresa necessários à execução da gravação das letras nas peças a cortar, acede-se ao ambiente de manufatura no fusion 360, à janela de tornamento 2D e seleciona-se a operação de contorno 2D. De seguida, procede-se à escolha da ferramenta de corte a utilizar, tendo, neste caso, sido utilizada uma fresa de 6mm. Posteriormente, são selecionadas todas as entidades correspondentes às letras e, por fim, confirma-se a operação através do comando “OK”.

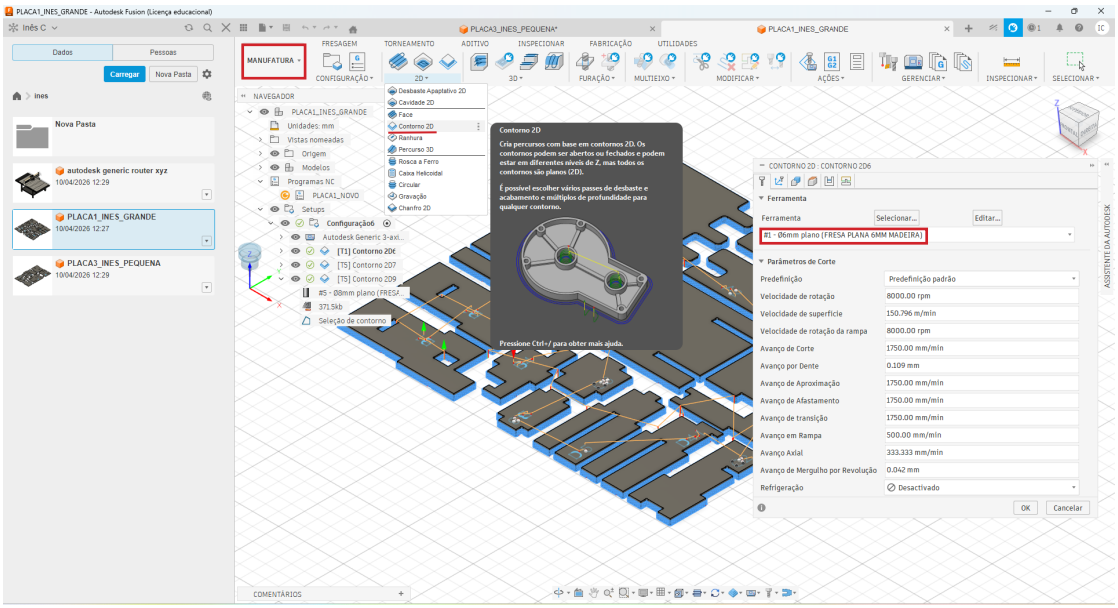


Fig.3.3.8. Selecionar, respetivamente menu de “Tornamento 2D”, comando de“Contorno 2D” e fresa de 6mm para o contorno das letras.

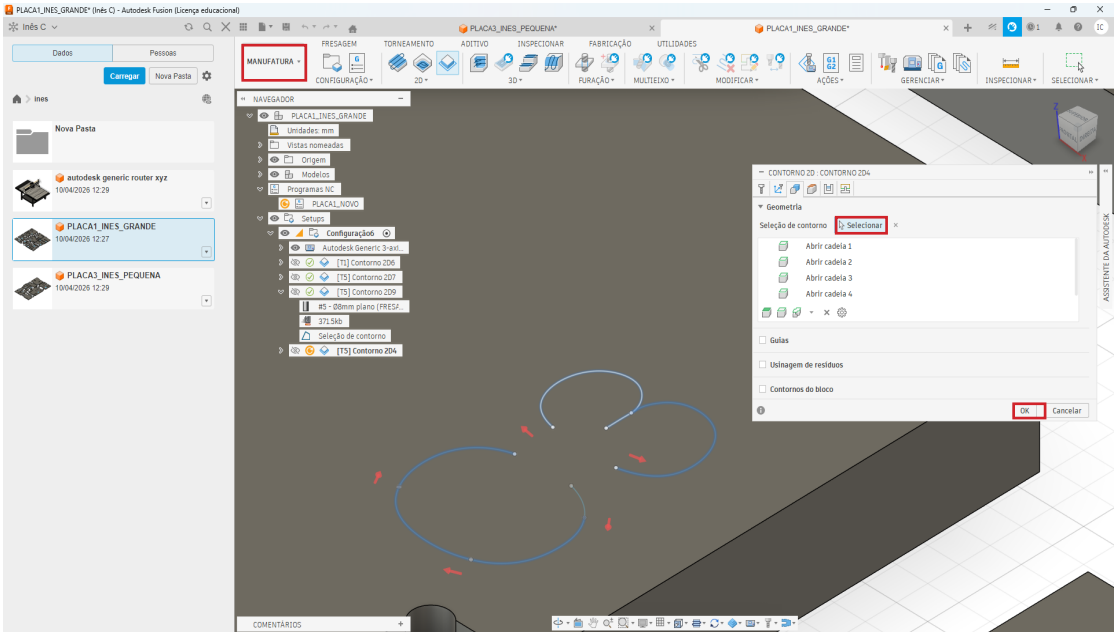


Fig.3.3.9. Seleção das linhas do texto e confirmação no comando “OK” para finalizar.

A etapa seguinte é fundamental para o processo de corte e fabrico das peças que constituem o sistema do módulo. Esta fase consiste na aplicação de dogbones nas peças a cortar. Os dogbones correspondem a pequenas aberturas realizadas nos cantos internos das peças, sendo necessários devido à geometria da ferramenta de corte. Uma vez que a fresa possui uma secção circular, não é possível executar cantos internos retos. A criação dos dogbones é realizada automaticamente no Autodesk Fusion 360 através de um plugin (Dogbone Add-in) específico. Para tal, seleciona-se o comando dogbone e indicam-se os cantos internos pretendidos, sendo as aberturas geradas automaticamente pelo software. Estas aberturas apresentam uma dimensão equivalente ao diâmetro da fresa utilizada. Neste caso, o processo de corte das peças foi realizado com uma fresa de 8mm.

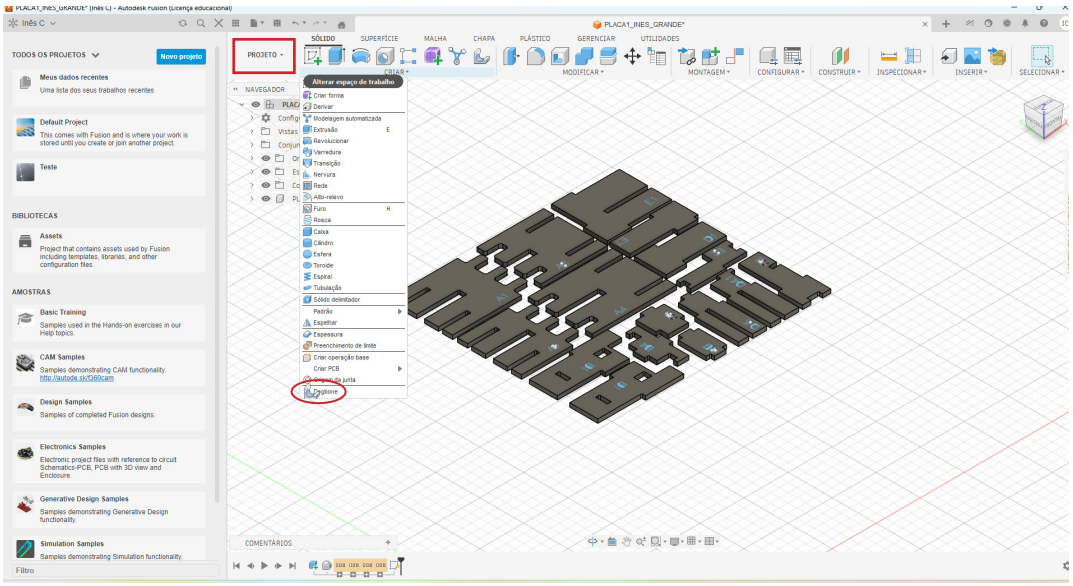


Fig.3.3.10. Seleção do comando "Dogbone".

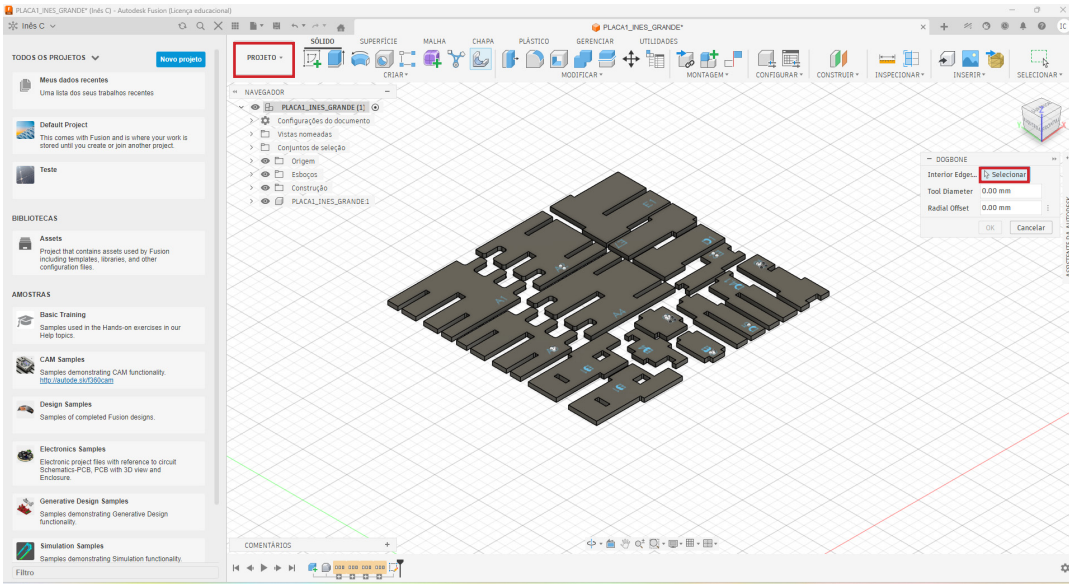


Fig.3.3.11. Seleção de todos os cantos com ângulos internos.

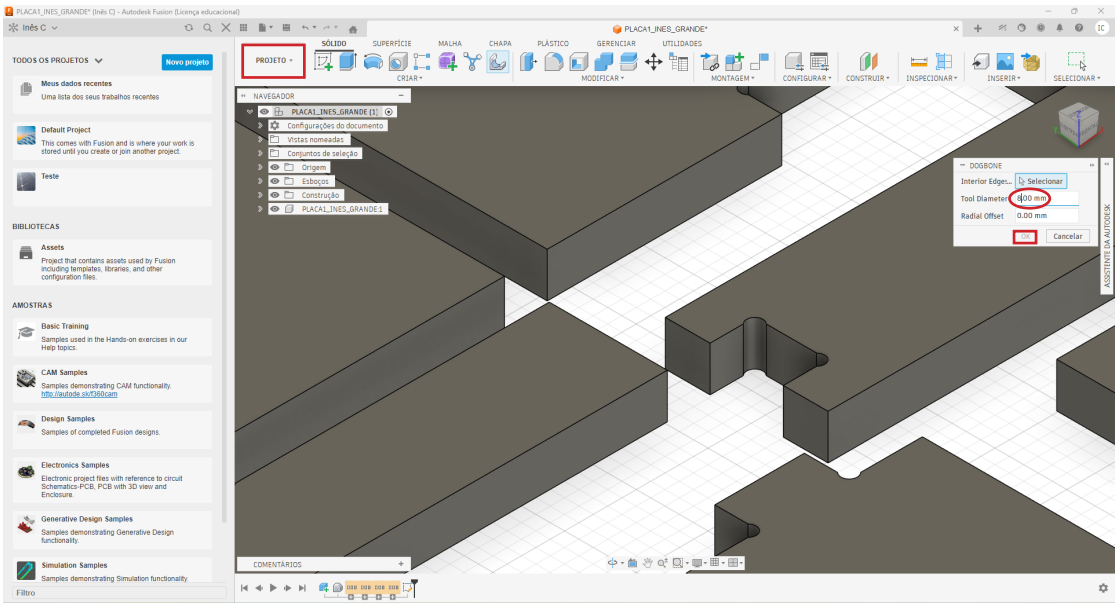


Fig.3.3.12. Inserir o diâmetro dos dogbones e confirmação no comando "OK" para finalizar.

Para definir os movimentos da fresa necessários à execução do corte das peças, acede-se ao ambiente de manufatura no fusion 360 e, na janela de fresagem 2D, seleciona-se a operação de contorno 2D. De seguida, procede-se à escolha da ferramenta de corte a utilizar, tendo, neste caso, sido utilizada uma fresa de 8mm de diâmetro. Posteriormente, seleciona-se a opção de posicionamento das guias por distância, permitindo ao software criar automaticamente essas guias. As guias são pequenas zonas que o programa deixa por cortar, mantendo a peça ligada ao material até ao final da operação. A sua utilização é fundamental para garantir que a peça se mantém fixa durante todo o processo de corte. Neste caso, as guias nos orifícios apresentam um espaçamento de 40mm entre si, enquanto as guias colocadas no contorno exterior apresentam um espaçamento de 200mm. Por último, define-se a profundidade de desbaste por passagem, ou seja, a quantidade de material removido pela fresa em cada camada até ao corte total da peça. Neste teste, a máquina CNC remove 3,3mm em cada passagem. Inicialmente, este processo foi aplicado aos orifícios das peças. É recomendável começar pelos cortes internos pois, caso o corte exterior seja realizado primeiro, a peça ficará mais solta, ficando apenas presa pelas guias, dificultando a execução dos cortes interiores com precisão.

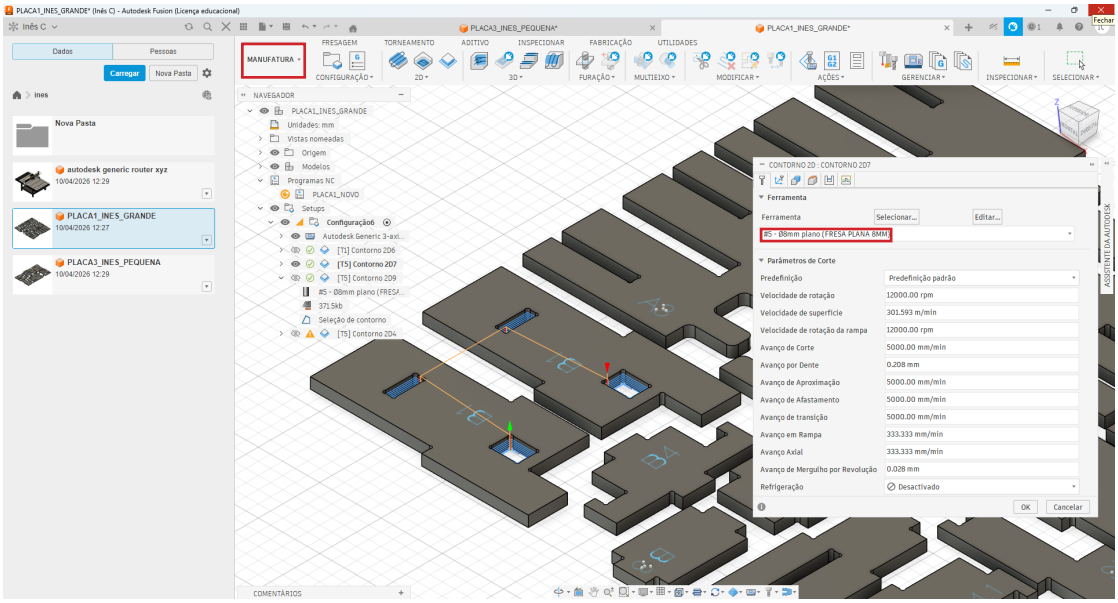


Fig.3.3.13. Selecionar, respetivamente menu de "Tornamento 2D", comando "Contorno 2D" e fresa de 8mm para o contornos dos orifícios das peças.

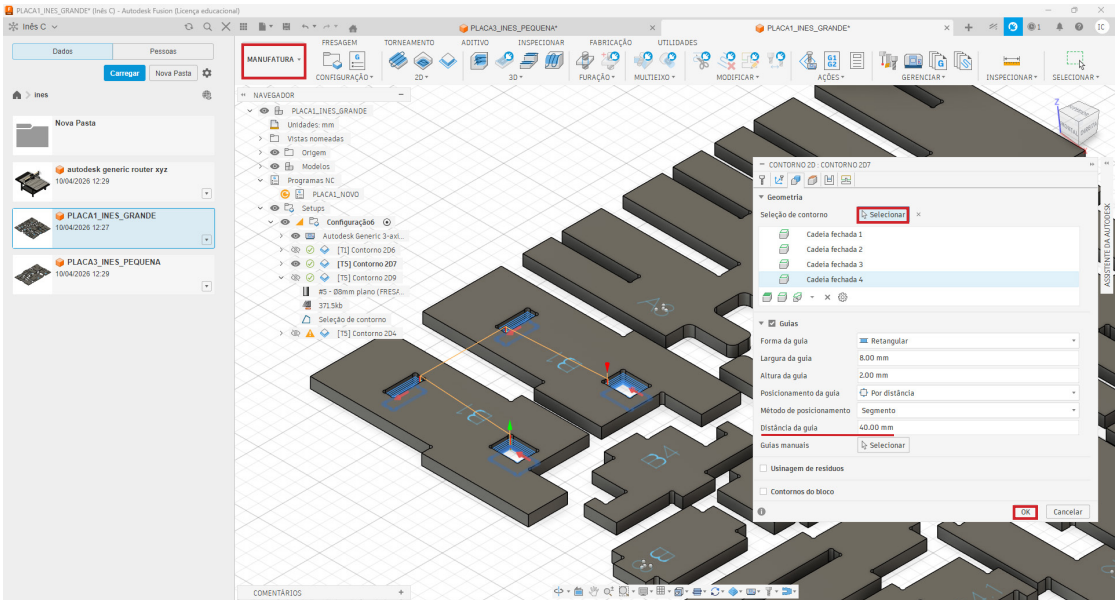


Fig.3.3.14. Seleção da geometria de contorno e definição das guias nos orificios das peças.

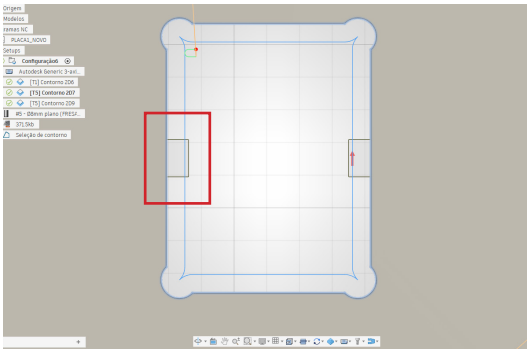


Fig.3.3.15. Guias nos orificios das peças.

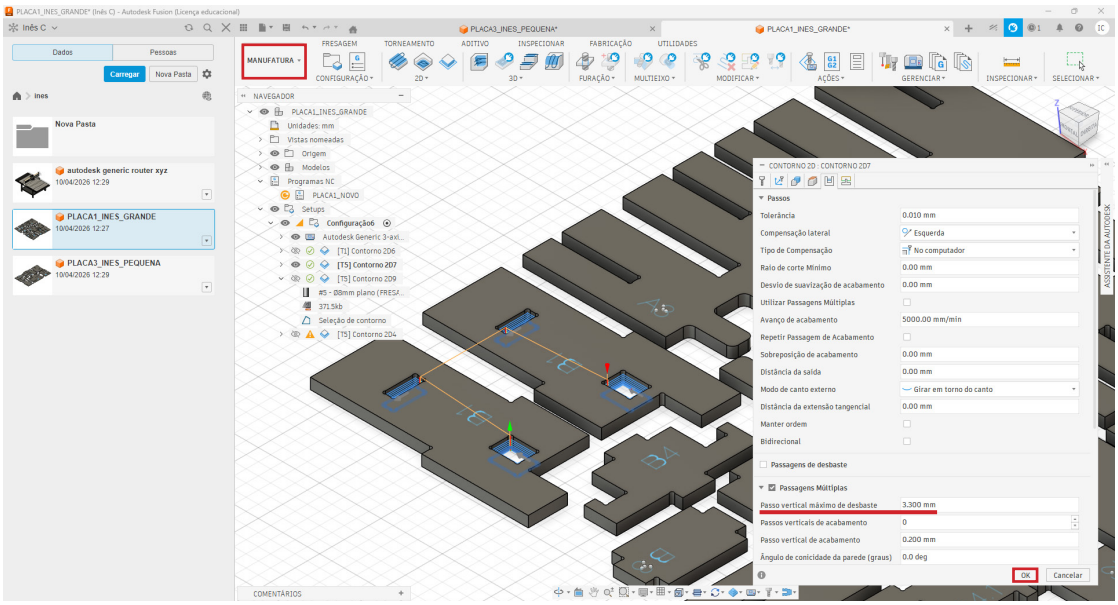


Fig.3.3.16. Definição da profundidade de corte por cada passagem no contorno dos orifícios das peças.

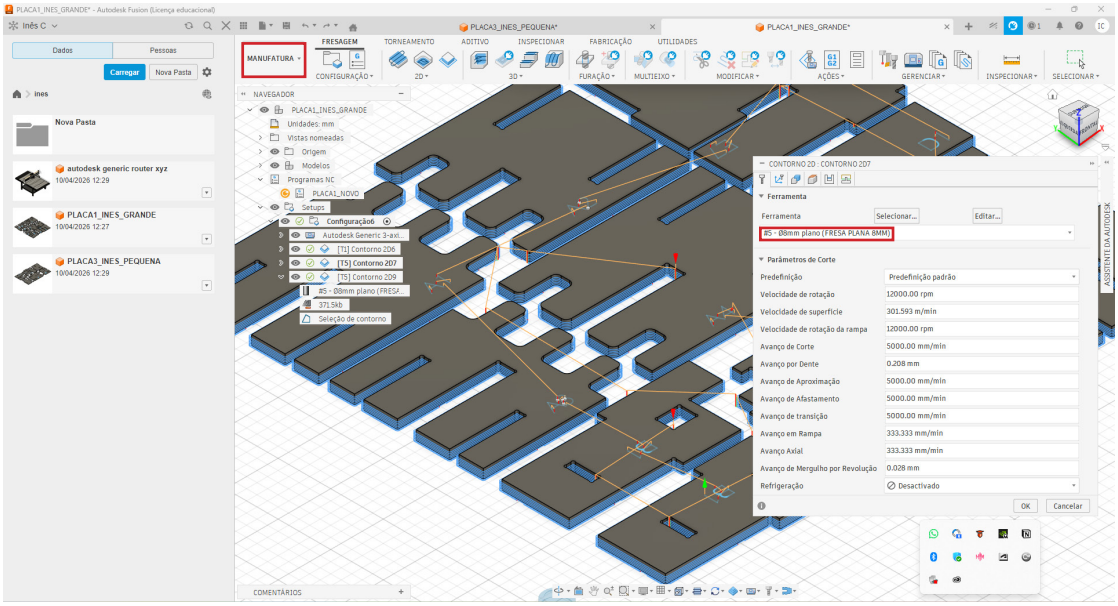


Fig.3.3.17. Selecionar, respetivamente o menu de "Tornamento 2D", comando de "Contorno 2D" e fresa de 8mm para o contorno exterior das peças.

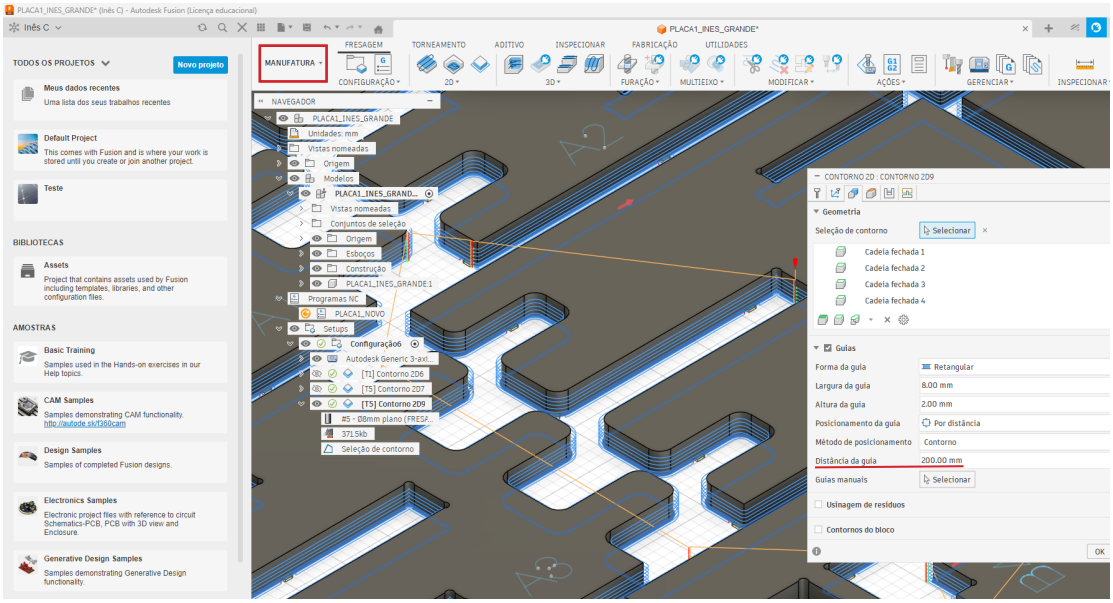


Fig.3.3.18. Definição das guias nos orificios das peças no contorno exterior das peças.

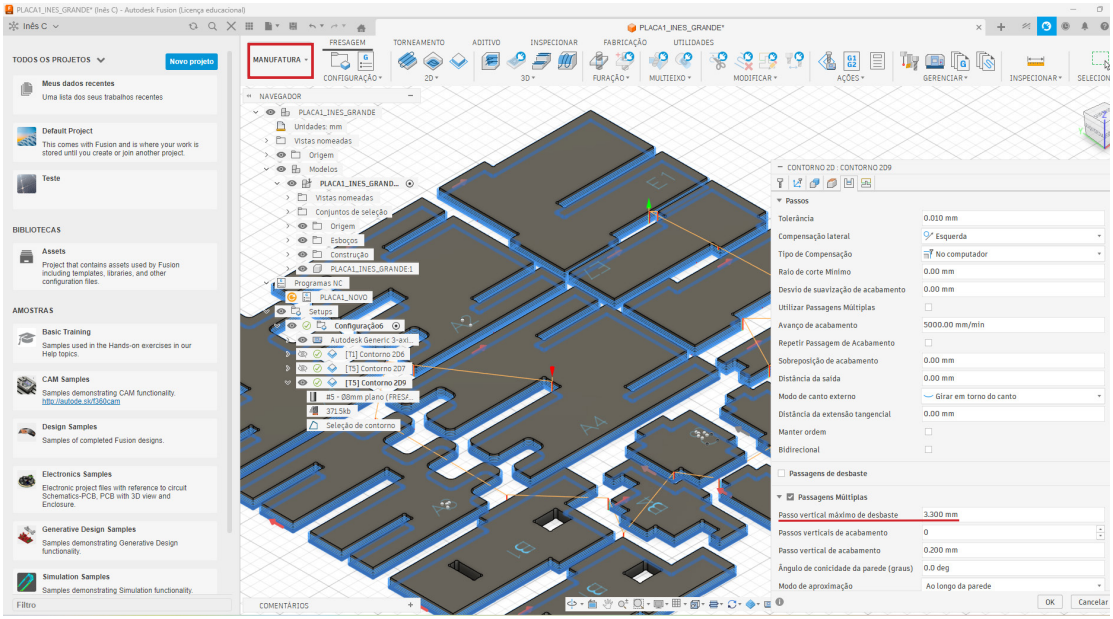


Fig.3.3.19. Definição da profundidade de corte por cada passagem no contorno exterior das peças.

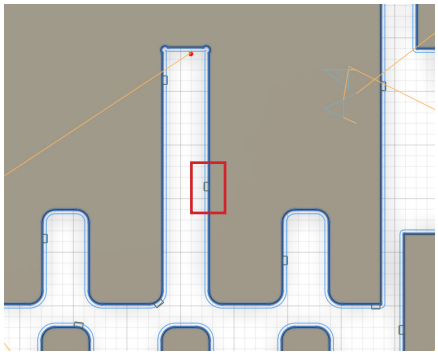


Fig.3.3.20. Guias no contorno exterior das peças.

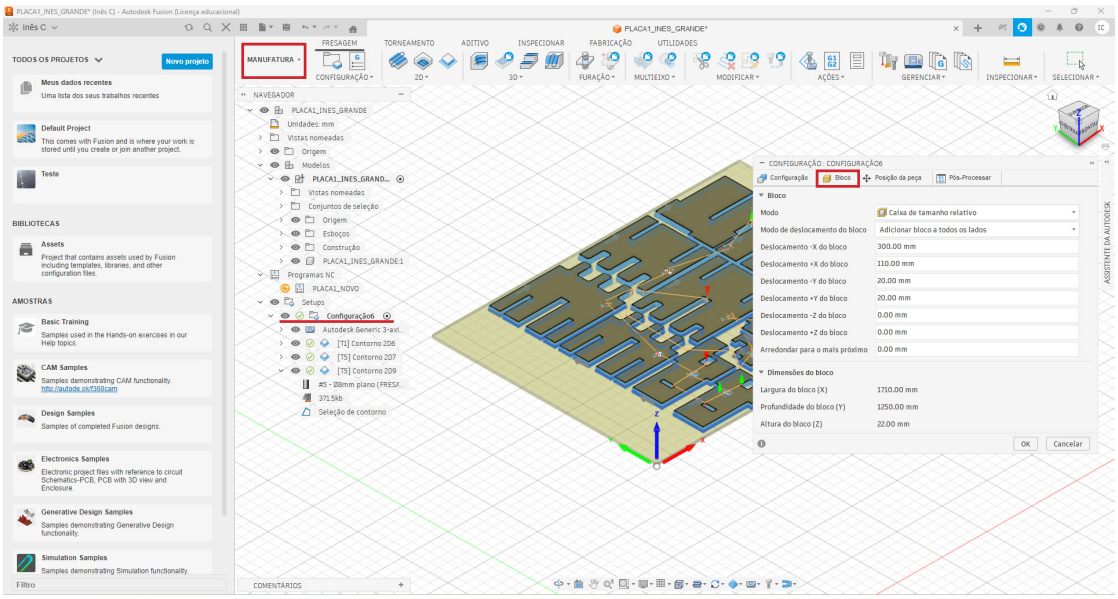


Fig.3.3.21. Definição das dimensões da placa, utilizando o menu das "Configurações", no parâmetro "Bloco", e ajustar as medidas em função da posição da placa relativamente às peças.

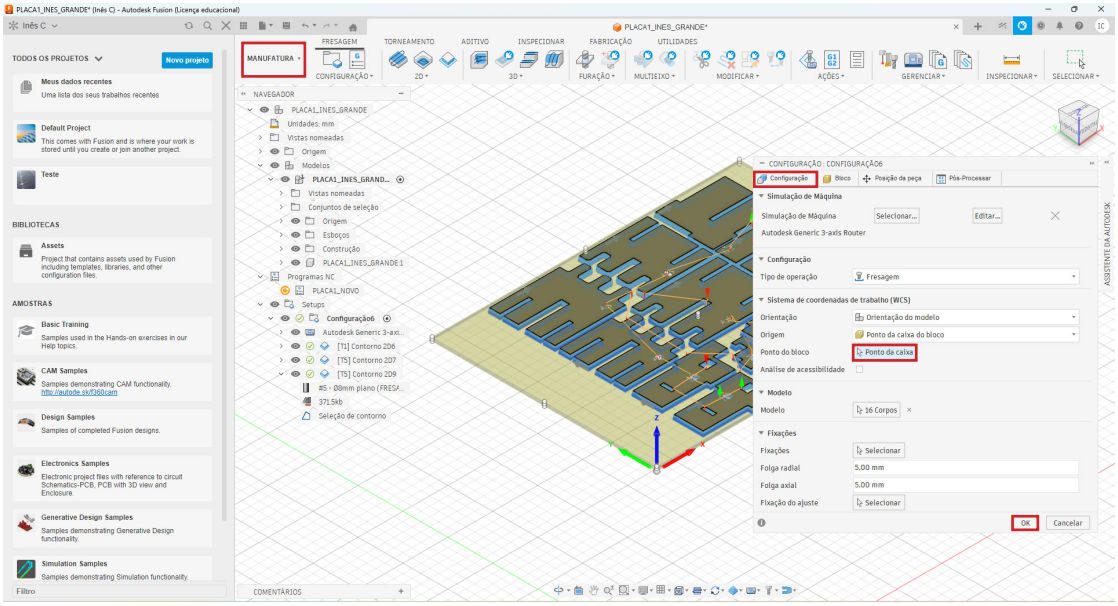


Fig.3.3.22. Configuração do ponto de Origem, através do menu "Configurações", parâmetro "Configuração" e selecionar "Ponto da caixa".

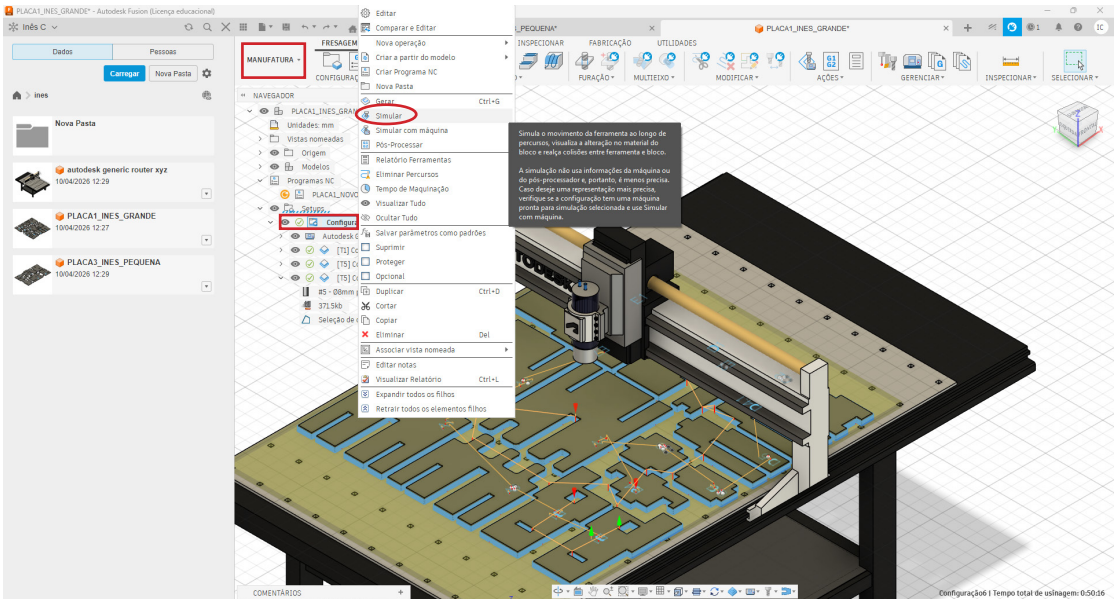


Fig.3.3.23. Simulação do corte das placas, através do menu “Configurações” e comando “Simular”.

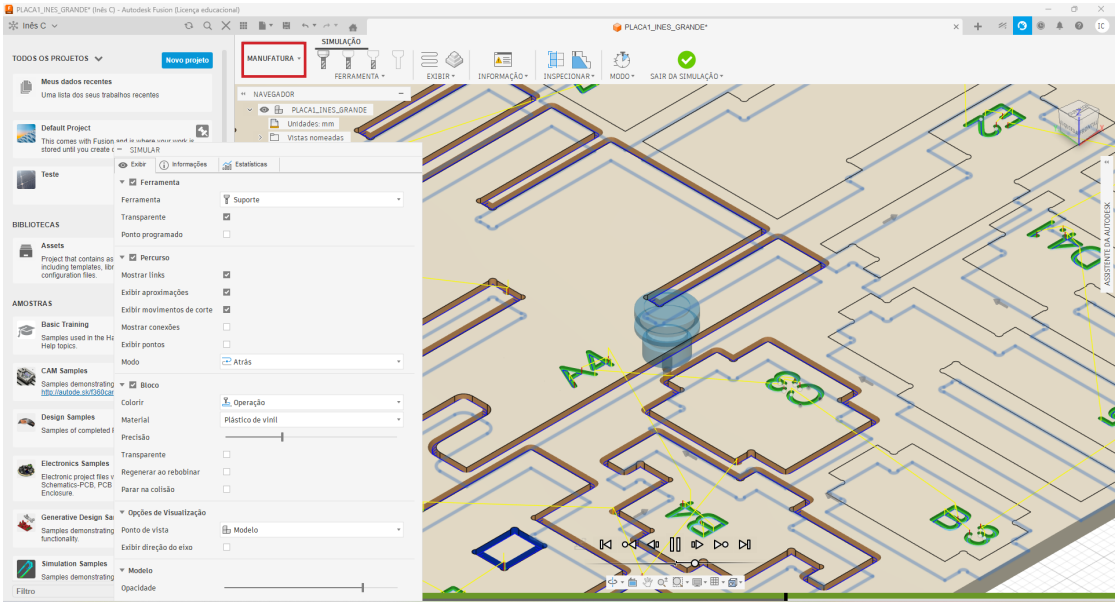


Fig.3.3.24. Visualização da simulação do corte das placas OSB no Fusion.

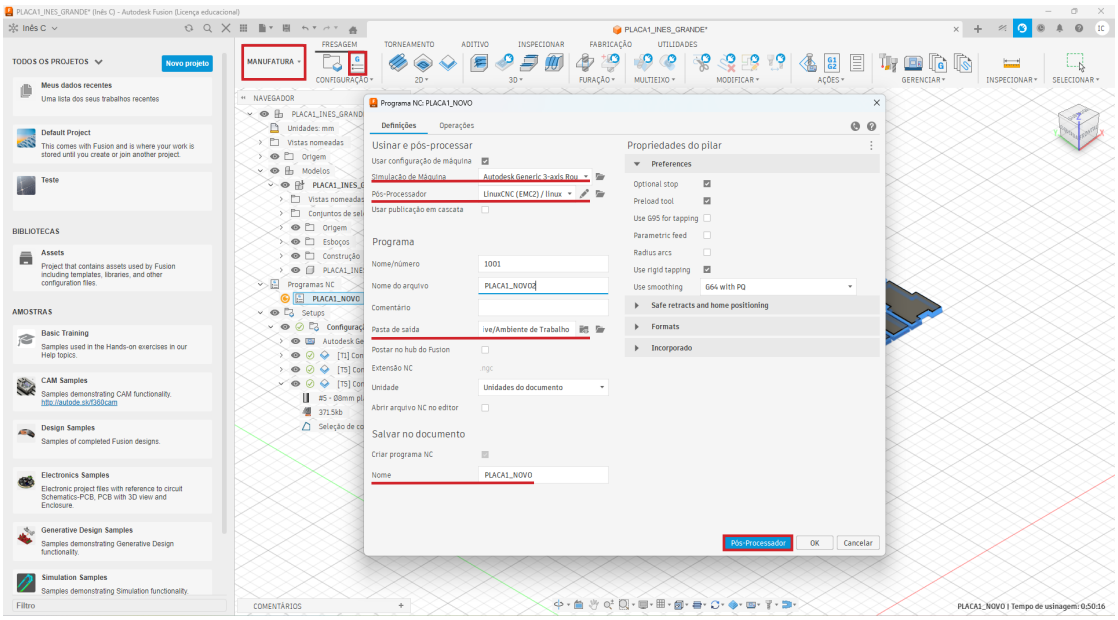


Fig.3.3.25. Processar o G-code: no menu principal de fresagem, selecionar "Programa NC", preencher os parâmetros necessários, clicar em "Pós-Processador" e, por fim, guardar o ficheiro NC.

Os procedimentos acima descritos foram realizados em cada placa de corte antes de serem cortadas na CNC. Após a geração dos códigos de cada placa, estes são transferidos para a máquina CNC, a qual os interpreta e inicia automaticamente o processo de fabrico.



Fig.3.3.26. Carregar o G-code para a fresadora CNC.

Processo de Corte e Montagem do Sistema

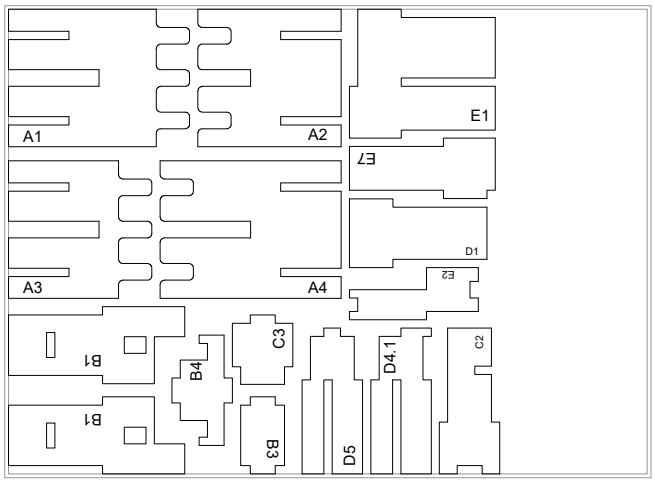


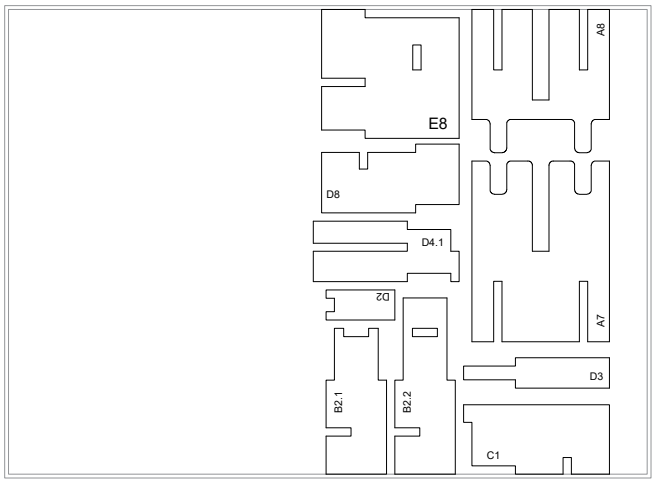
Fig.3.3.27. Processo de corte das peças nas placas OSB na fresadora CNC.

O corte da primeira placa não foi bem-sucedido, tendo a mesma deslizado sobre a mesa a meio do processo de corte, uma vez que apresentava reduzidas dimensões (1,25m de largura e 0,79m de comprimento) e não foram utilizados grampos de fixação na máquina. Ativou-se apenas o sistema de sucção por vácuo, o qual deveria garantir a fixação da peça à mesa de trabalho. No entanto, este método de fixação exige que a peça cubra uma área suficientemente extensa da superfície da mesa, de forma a evitar perdas de vácuo e a consequente instabilidade durante o processo de corte. Deste modo, houve a necessidade de reorganizar e distribuír as restantes peças pelas placas disponíveis. Contudo, foi necessário repetir o processo no fusion 360, uma vez que foi necessário gerar novos códigos de comando para a máquina CNC. Para evitar a recorrência deste problema, passou a ser utilizada fixação adicional através de grampos. Paralelamente, nas placas de maiores dimensões foram colocadas placas de madeira existentes no laboratório, com o objetivo de vedar as zonas de fuga de vácuo na superfície da máquina CNC, assegurando uma melhor aderência das peças e uma maior estabilidade durante o processo de corte.



Fig.3.3.28. Processo de corte da primeira placa de OSB.





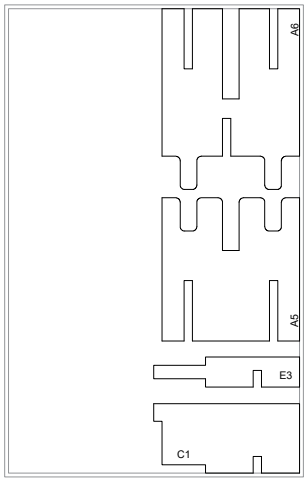


Fig.3.3.29. Reorganização das peças nas restantes placas de OSB.



Fig.3.3.30. Resultado do corte das placas de OSB com as peças do sistema construtivo.

Após o corte na fresadora CNC, todas as peças tiveram de ser separadas das placas de OSB com o auxílio de um formão. Esta ferramenta, utilizada em conjunto com um martelo, permitiu remover as guias, que constituíam o único elemento de união entre a placa e as peças já cortadas. Em seguida, todas as peças foram submetidas a um processo de lixagem, com o auxílio de uma lixa, de forma a garantir um melhor acabamento e encaixe entre todos os elementos.



Fig.3.3.31. Peças do sistema contrutivo após serem cortadas e lixadas.

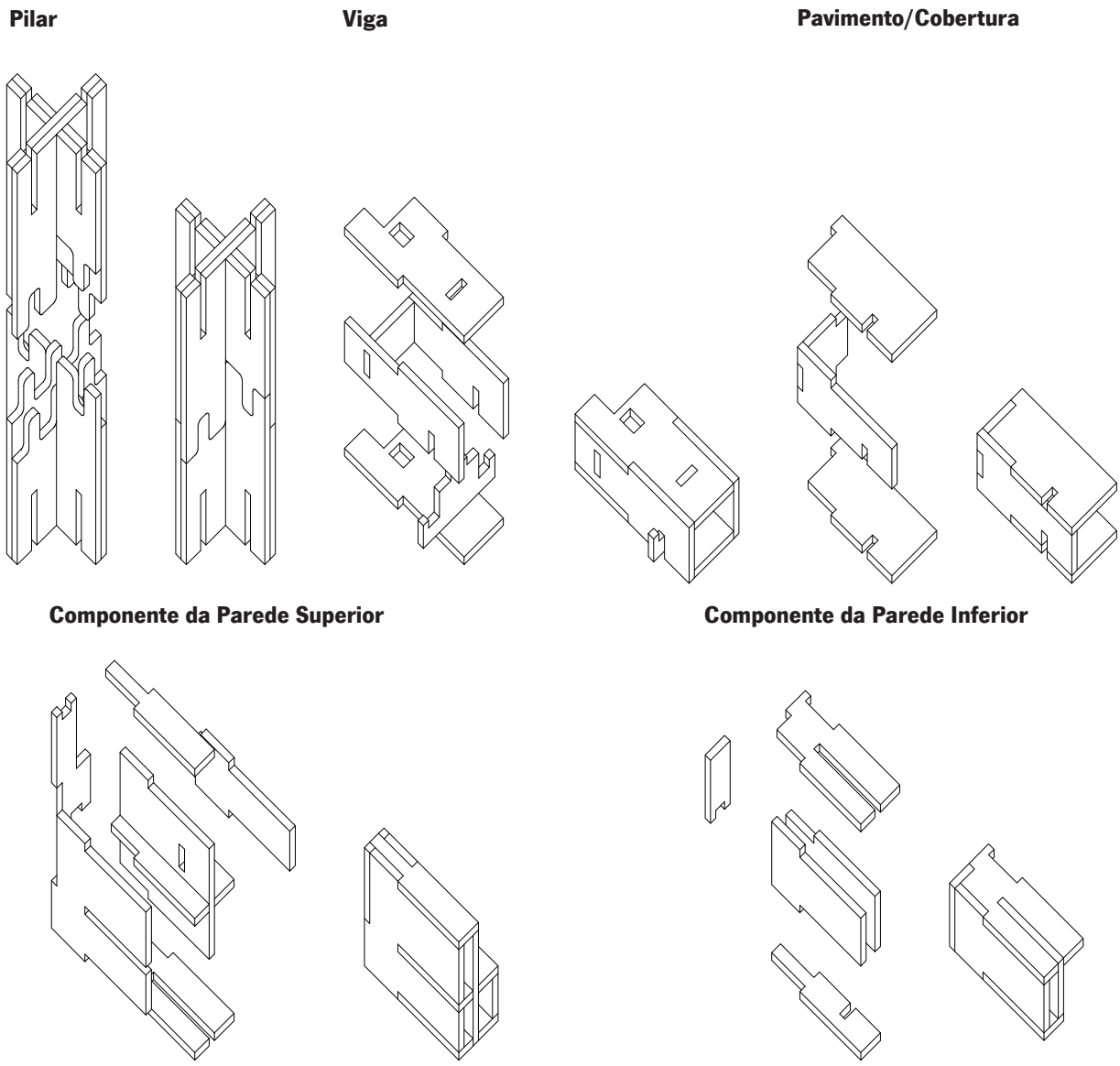


Fig.3.3.32. Documento de apoio para a montagem do sistema.



Fig.3.3.33. Montagem do teste finalizada, Vista de Frente



Fig.3.3.34. Processo de montagem do pilar concluído.



Fig.3.3.35. Processo de montagem da viga concluído.



Fig.3.3.36. Processo de montagem do pavimento/cobertura concluído.



Fig.3.3.37. Processo de montagem do componente da parede superior concluído.



Fig.3.3.38. Processo de montagem do componente da parede inferior concluído.



Fig.3.3.39. Montagem do teste finalizada, vista lateral 01.



Fig.3.3.40. Montagem do teste finalizada, vista lateral 02.

3.4. Considerações Finais

Com base na experiência prática desenvolvida, conclui-se que o sistema construtivo e os encaixes propostos apresentam um desempenho funcional adequado. O sistema revela-se viável do ponto de vista construtivo e de montagem, evidenciando potencial para a criação de espaços interiores flexíveis.

As características do sistema correspondem aos requisitos inicialmente definidos, nomeadamente no que respeita à sua modularidade e capacidade de repetição do sistema em direções ortogonais. A sua conceção assenta nos princípios do DFAD (design for assembly and disassembly), permitindo um processos de montagem e desmontagem simplificado. O sistema demonstra igualmente alinhamento com os princípios da economia circular, na medida que possibilita a reconfiguração e reutilização dos módulos, evitando soluções permanentes e irreversíveis. A utilização exclusiva de encaixes em elementos de madeira contribui para a simplificação do processo construtivo e para a redução da necessidade de mão de obra especializada. Ao nível do processo de fabrico, os recursos necessários são reduzidos, limitando-se ao acesso a uma fresadora CNC, formão, martelo de borracha e uma lixa. O tempo de produção revelou-se eficiente, demorando apenas duas horas para o corte das placas de OSB utilizadas no protótipo. A possibilidade de sobreposição entre as fases de fabrico e montagem constitui uma vantagem relevante em contexto de obra, prática também observada em alguns casos de estudo analisados no Capítulo 2. O grau de dificuldade do processo de montagem não foi possível de aferir de forma conclusiva, uma vez que não foram realizados testes com utilizadores sem conhecimento prévio do sistema. Ainda assim, a montagem integral foi executada por um único interveniente em aproximadamente vinte minutos, o que sugere um nível de complexidade reduzido.

Contudo, o sistema apresenta também algumas desvantagens. Na sua configuração atual, não permite a integração de paredes interiores, devido ao modo como a viga articula a parede exterior e o pavimento/cobertura, impedindo a fixação de elementos adicionais. Não obstante, esta limitação poderia ser ultrapassada caso se continuasse a explorar este sistema. Para além disso, verificou-se que a utilização de placas de OSB com 22 mm de espessura resulta em componentes pesados. Assim, recomenda-se, em trabalhos futuros, a utilização de placas OSB com 18 mm, de forma a otimizar o peso dos elementos.

Relativamente ao desempenho térmico e acústico, o sistema pode incorporar isolamento nos espaços internos dos elementos. Relativamente às instalações elétricas, a sua aplicação exterior surge como a solução mais compatível com o princípio de reversibilidade, podendo, em alternativa, ser integrada nos elementos através de intervenções controladas.

Em síntese, o sistema construtivo desenvolvido demonstra viabilidade funcional e construtiva, constituindo uma solução coerente no âmbito da construção modular desmontável.

4. APLICAÇÃO DO MÓDULO NA FÁBRICA DO TRIMCO



Fig.4.1.1. Fábrica do Trimco, Entrada Oeste.

A investigação pretende aplicar o módulo projetado num edifício pré-existente, a Fábrica do Trimco, para averiguar as características do módulo num caso de estudo real.

O edifício está implantado numa zona central da cidade de Guimarães, adjacente a vários edifícios emblemáticos da cidade, como o Teatro Jordão e o Palácio Vila Flor. Como consequência da sua localização, a Fábrica encontra-se perto de várias instituições de ensino, serviço, trabalho e habitação, estando simultaneamente a seis minutos a pé da estação de comboios e a quatro minutos a pé do Largo do Toural.

Guimarães sofreu, ao longo dos anos, grandes alterações ao seu tecido urbano devido ao desenvolvimento do setor industrial. Essas alterações ainda são visíveis atualmente na cidade, e muitos destes edifícios ainda se encontram abandonados. Tendo em conta os princípios da sustentabilidade e da reutilização, torna-se imperativo que numa cidade que esteja a crescer exponencialmente como Guimarães se pense em restaurar e aproveitar edifícios já existentes. Cada um destes edifícios faz parte da história e da narrativa da cidade, sendo importante preservar a sua identidade histórica e arquitetónica na malha urbana. A Fábrica do Trimco, além da sua localização e relevância patrimonial, apresenta áreas grandes favoráveis para a inserção do módulo na sua matriz arquitetónica.

A Fábrica do Trimco foi fundada em 1975, intitulada de (Trimco Equipamentos Frigoríficos, Lda), e encerrou no ano de 2009. A fábrica foi utilizada para vários fins industriais até ter sido abandonada. (Machado, 2025, pp. 92-93) A proposta arquitetónica pretende dar à cidade um novo espaço que possa ser adaptado e transformado de acordo com as necessidades da cidade. A reabilitação da estrutura existente, aliada à inserção de um módulo no interior da fábrica, concebido como um elemento flexível e transformador, assegura a sua utilização futura e a capacidade de resposta a diferentes programas.



Fig.4.1.2. Fábrica do Trimco Alçado Este.

4.1. Estado Atual da Fábrica do Trimco

O levantamento das plantas, alçados e cortes da fábrica do Trimco encontram-se representados, respetivamente, nas figuras 4.1.9 a 4.1.19.

A fábrica tem uma área total de implantação de aproximadamente 4670m^2 com 5400m^2 de espaço exterior, que apresentam vários tipos de pavimentos, incluindo calçada, alcatrão e terra batida.

Contudo, ao longo do tempo e devido à ausência de manutenção, a vegetação tem vindo a ocupar progressivamente os espaços exteriores. Em 2014, foram demolidos os pequenos edifícios adjacentes à fábrica, deixando marcas visuais e alterações topográficas no terreno existente.

A fábrica, por sua vez, apresenta um avançado estado de degradação resultante da falta de manutenção. Verifica-se um desgaste acentuado nas paredes, na cobertura, nas portas e nos vãos, encontrando-se o espaço bastante deteriorado. Ainda assim, considera-se que o edifício mantém a sua integridade estrutural, não apresentando fissuras nem armaduras expostas nos elementos estruturais, o que permite perspetivar a sua requalificação.

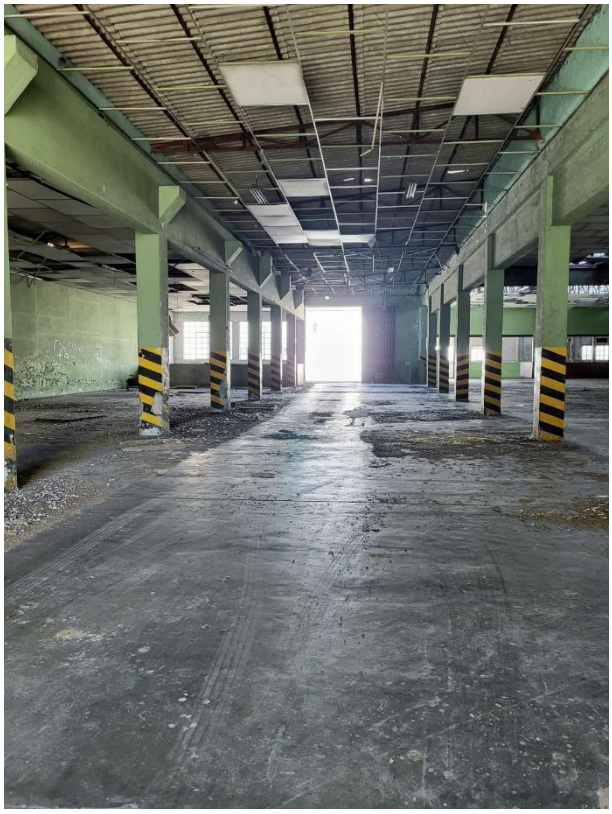
A estrutura de betão armado tem cerca de 51 anos (1975-2026) sendo que não excedeu a sua vida útil.[19] (Machado, 2025). A cobertura, orientada a norte, apresenta um desenho típico de um telhado industrial. A cobertura metálica, revestida com telhas de fibrocimento ondulado encontra-se bastante desgastada e não apresenta as condições necessárias. Esta cobertura é suportada por uma subestrutura metálica de ferro, que se apoia na malha estrutural de betão armado do piso superior. Além disso, a estrutura metálica sustenta igualmente um teto falso, cuja função original era controlar a iluminação natural no interior do espaço. Atualmente, encontra-se bastante corroída, sendo necessária a sua substituição. O interior do edifício apresenta uma planta livre com algumas paredes interiores pré-existentes não estruturais, dois acessos verticais, um no centro do edifício e outro numa das extremidades, sendo a malha estrutural da fábrica representada pelos pilares e vigas. Os vãos que compõem ritmadamente as fachadas do edifício são compostos por caixilharia de ferro e vidro simples, todas estas janelas estão deterioradas e partidas sendo necessário que sejam substituídas. Contudo, apesar do edifício estar há muito tempo abandonado, os elementos principais existentes podem vir a ser restaurados e substituídos de acordo com o desenho original da fábrica, de modo a conferir ao edifício uma segunda vida.

As imagens seguintes, Fig.4.1.4. a figura 4.1.8., ilustram o atual estado de degradação da fábrica (2026), evidenciando as condições em que se encontram os diversos elementos do edifício após um prolongado período de abandono total, desde 2009.

[19] Machado, D. G., Repensar o edificado: reabilitação da fábrica Trimco em Guimarães. Tese de Mestrado, pp. 128



Fig.4.1.4. Interior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.







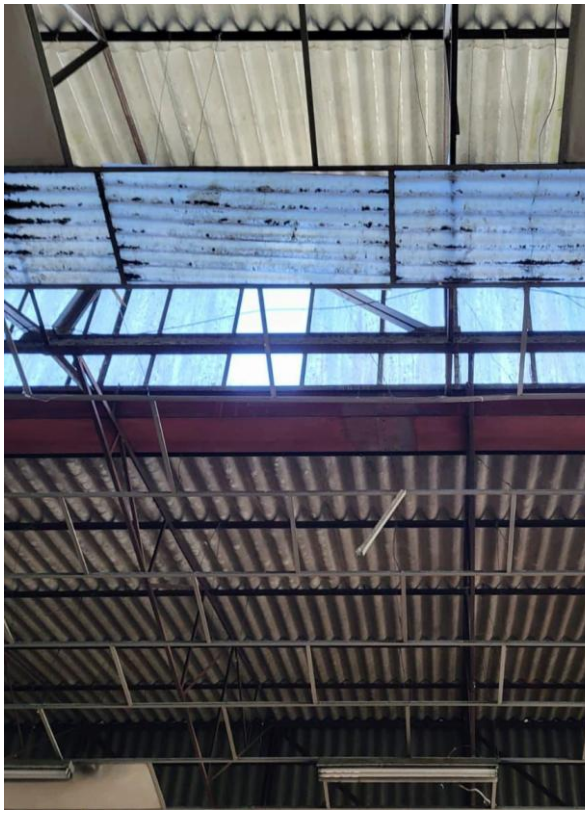


Fig.4.1.5. Interior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.
Fig.4.1.6. Exterior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.
Fig.4.1.7. Interior da Fábrica do Trimco em Abandono, 2026.
Fig.4.1.8. Cobertura Atual da Fábrica do Trimco, 2026.

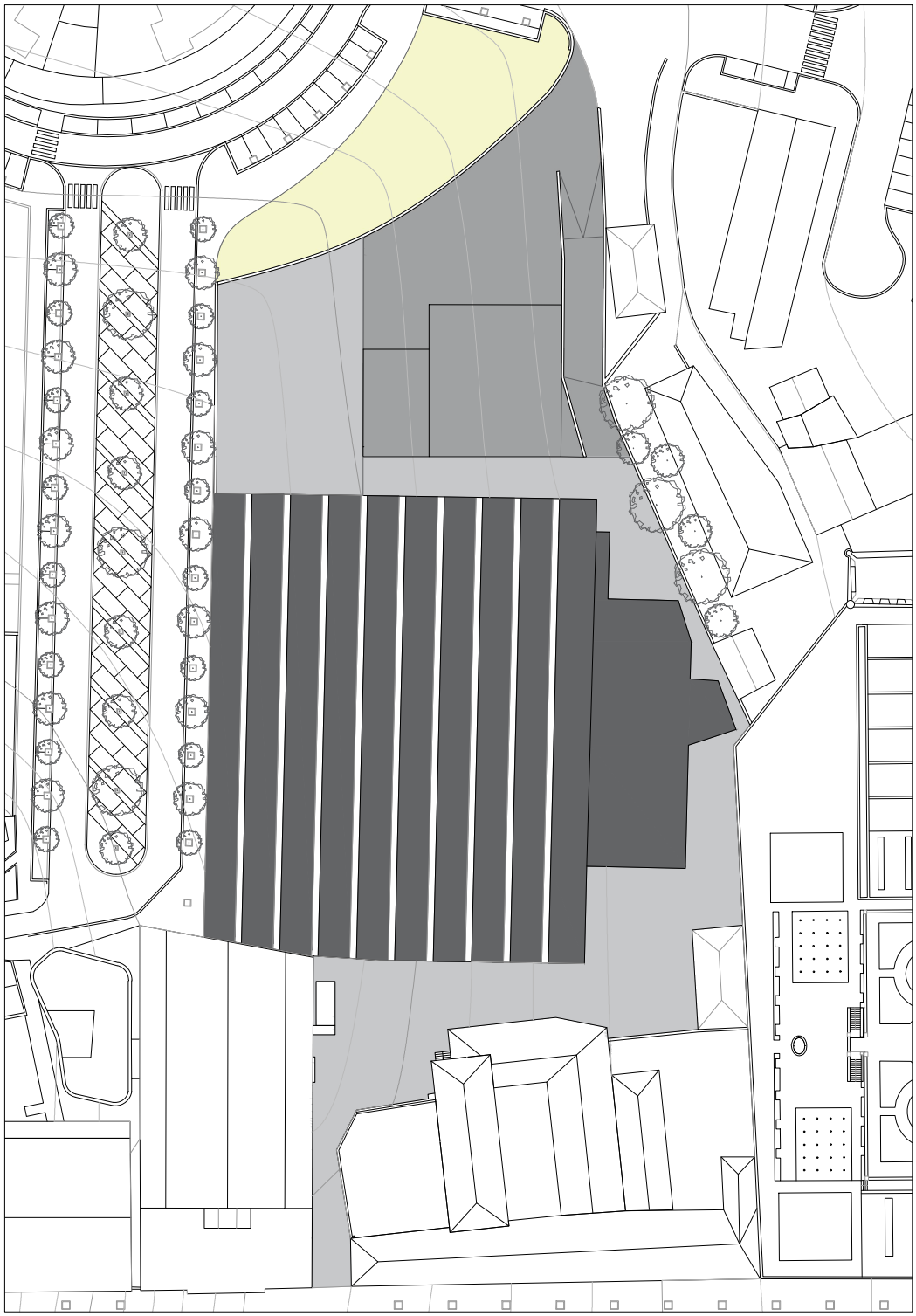


Fig.4.1.9. Levantamento da Fábrica do Trimco, Planta de Implantação, Escala 1/1000.

N

Calçada
Alcatrão
Terra Batida

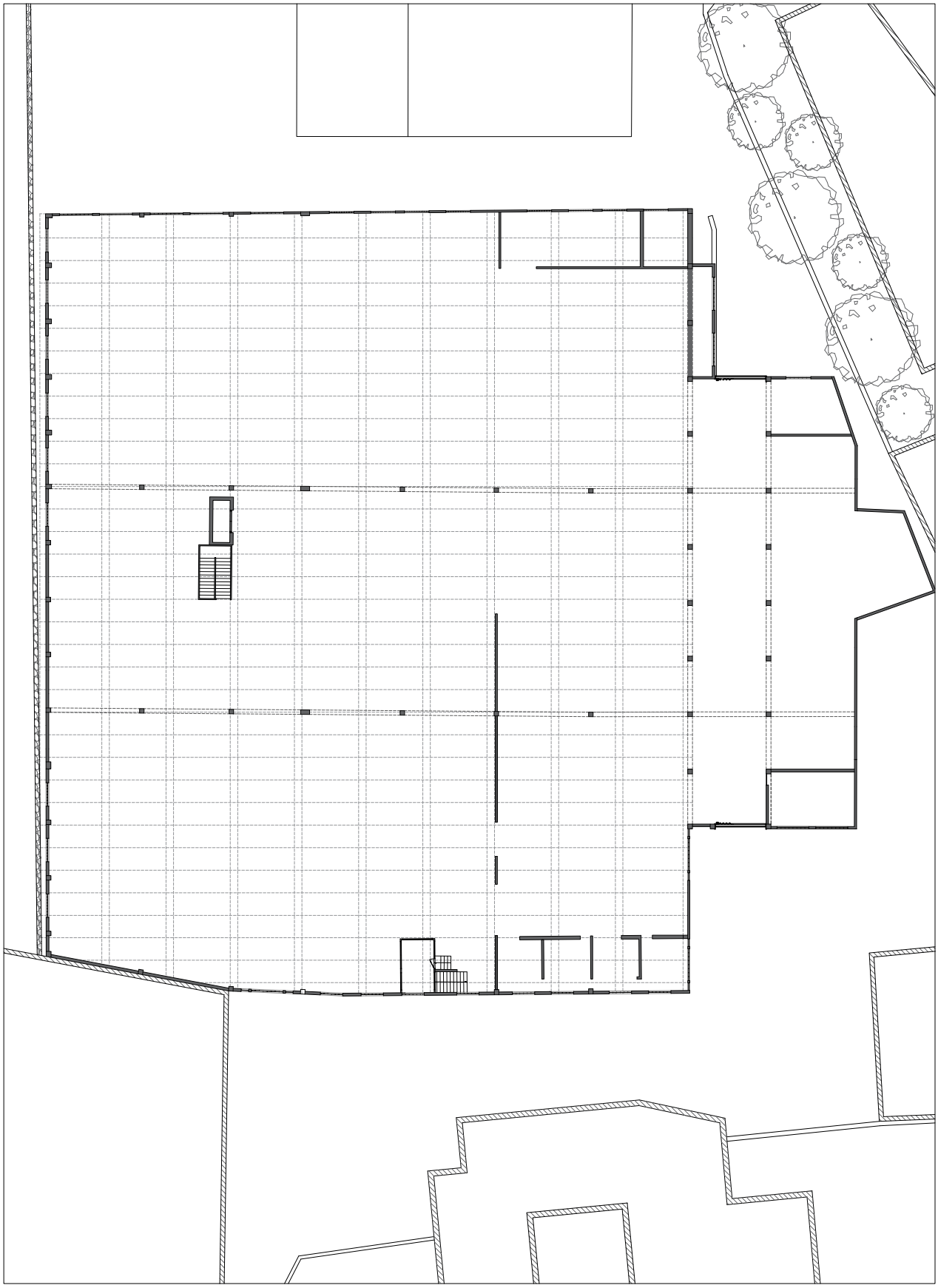


Fig.4.1.10. Levantamento da Fábrica do Trimco, Planta Piso 01, Escala 1/500.

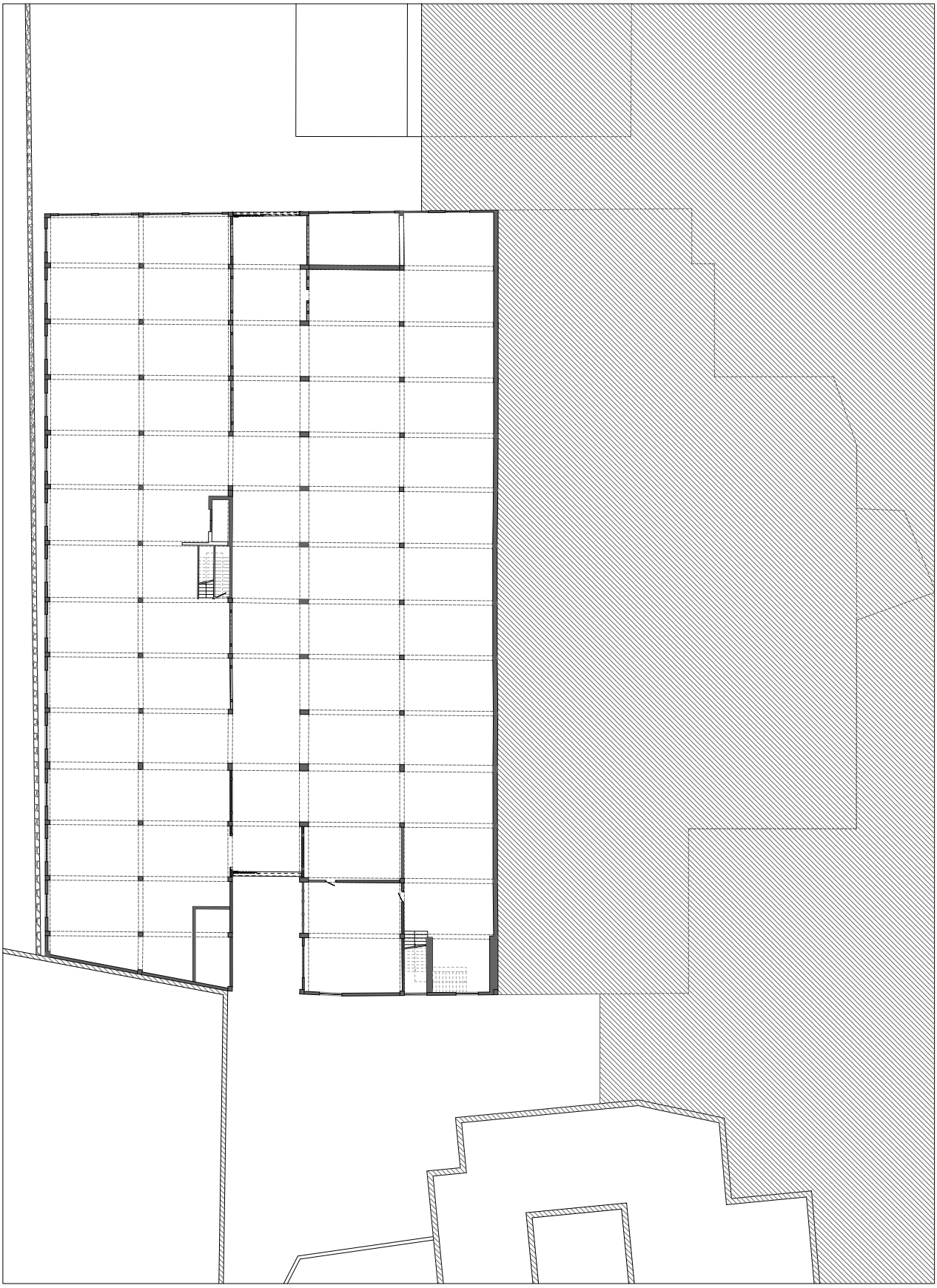


Fig.4.1.11. Levantamento da Fábrica do Trimco, Piso Térreo, Escala 1/500.

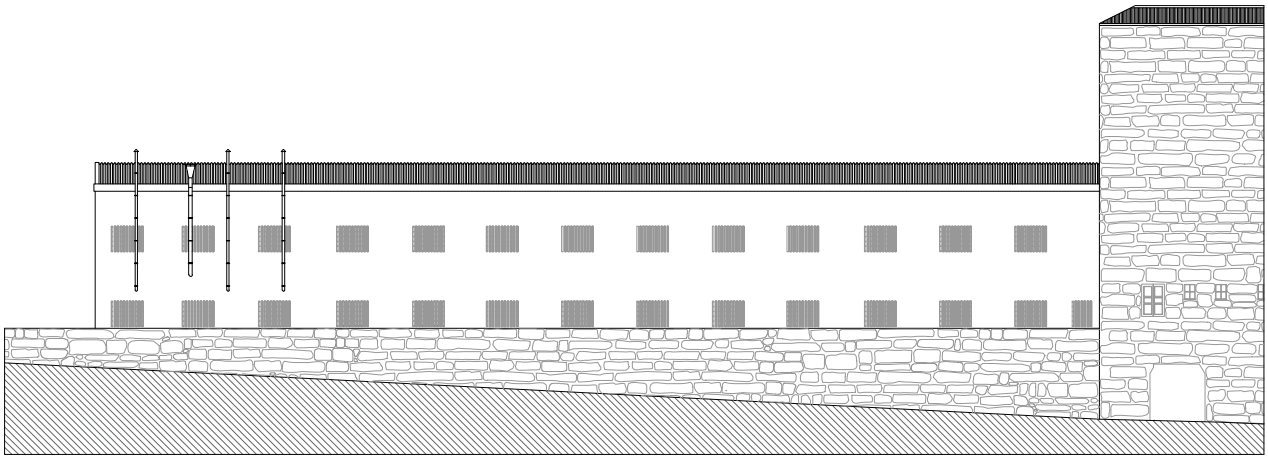


Fig.4.1.12. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Norte, Escala 1/500.

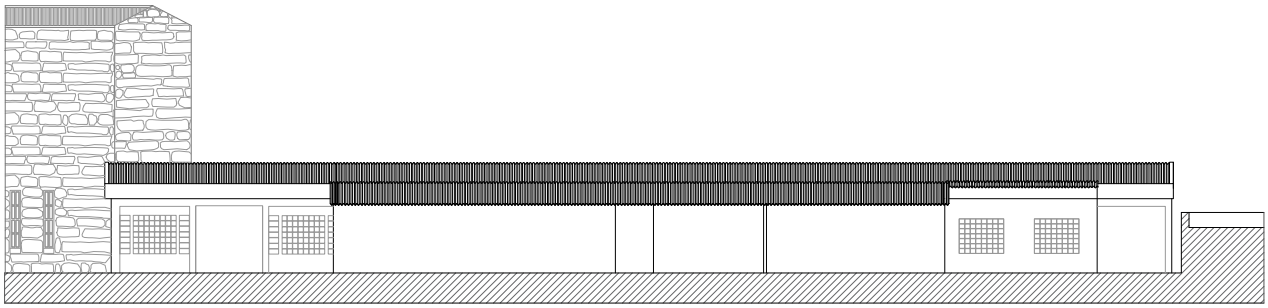


Fig.4.1.13. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Sul, Escala 1/500.

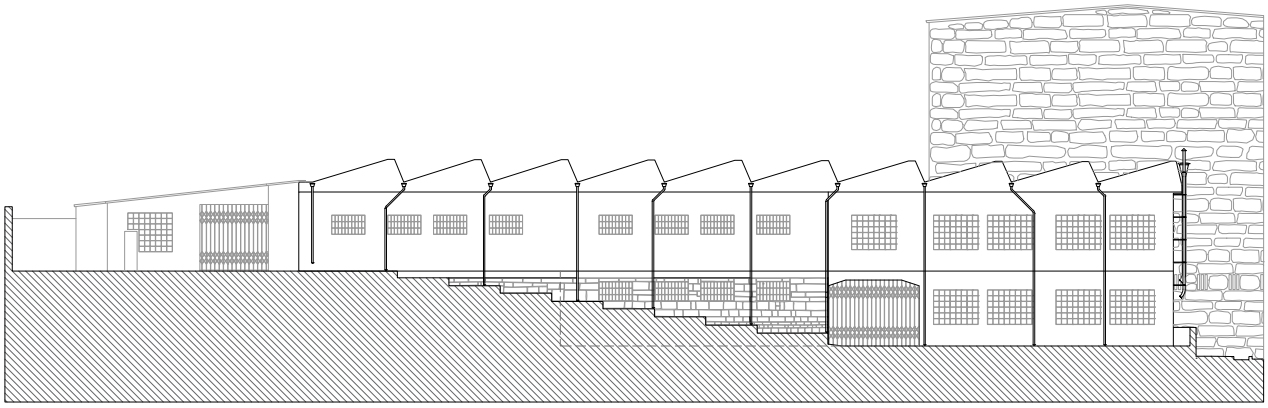


Fig.4.1.14. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Este, Escala 1/500.

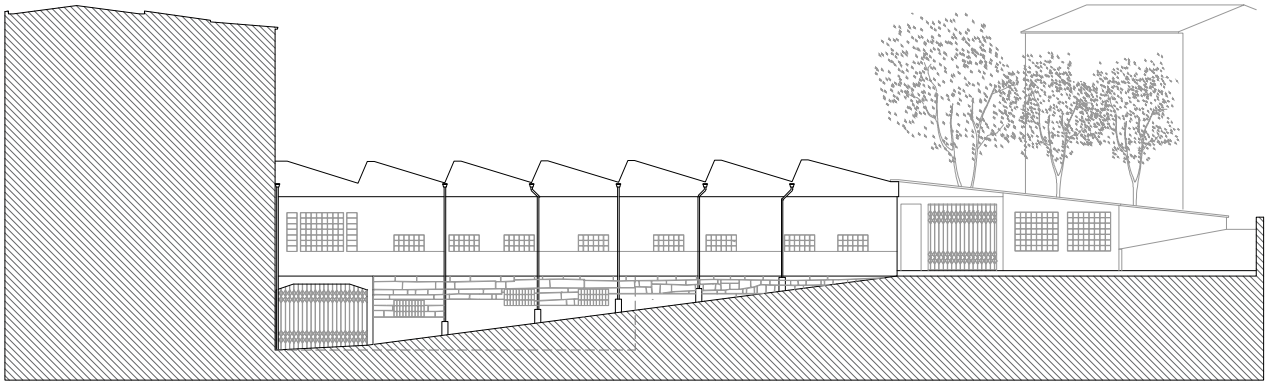


Fig.4.1.15. Levantamento da Fábrica do Trimco, Alçado Oeste, Escala 1/500.

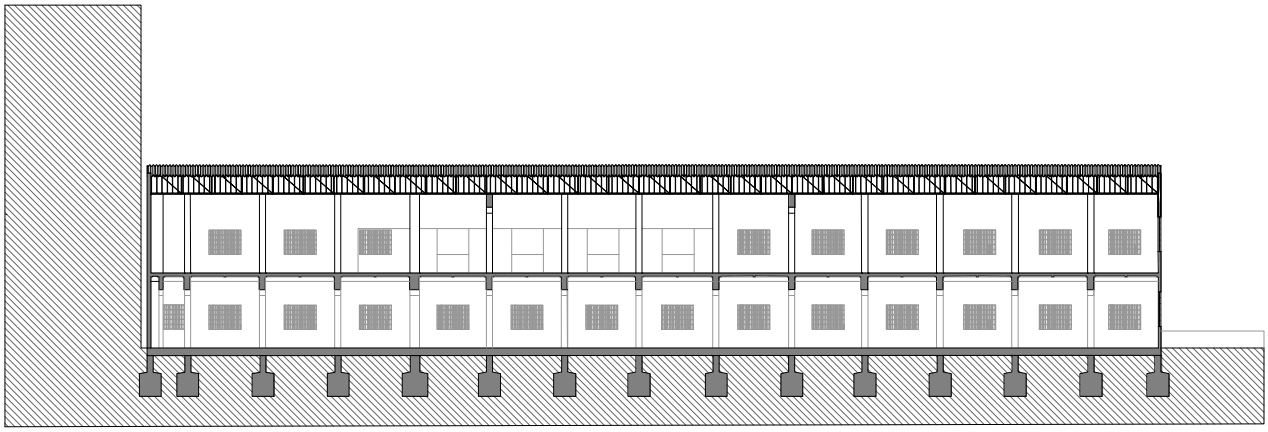


Fig.4.1.16. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte A, Escala 1/500.

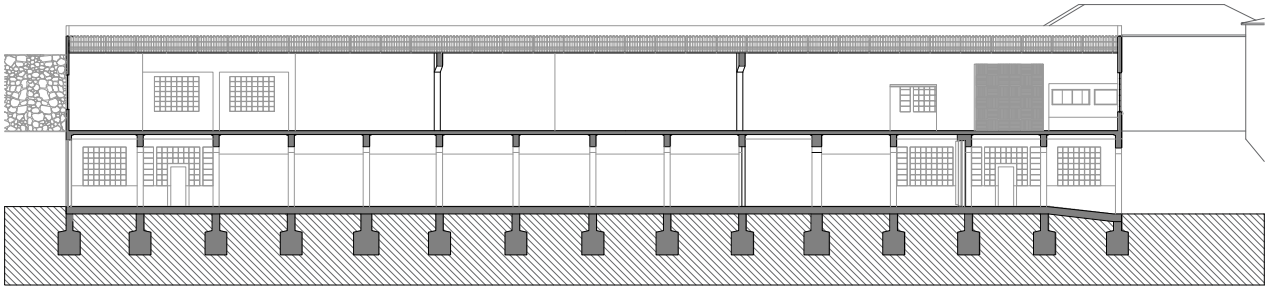


Fig.4.1.17. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte B, Escala 1/500.

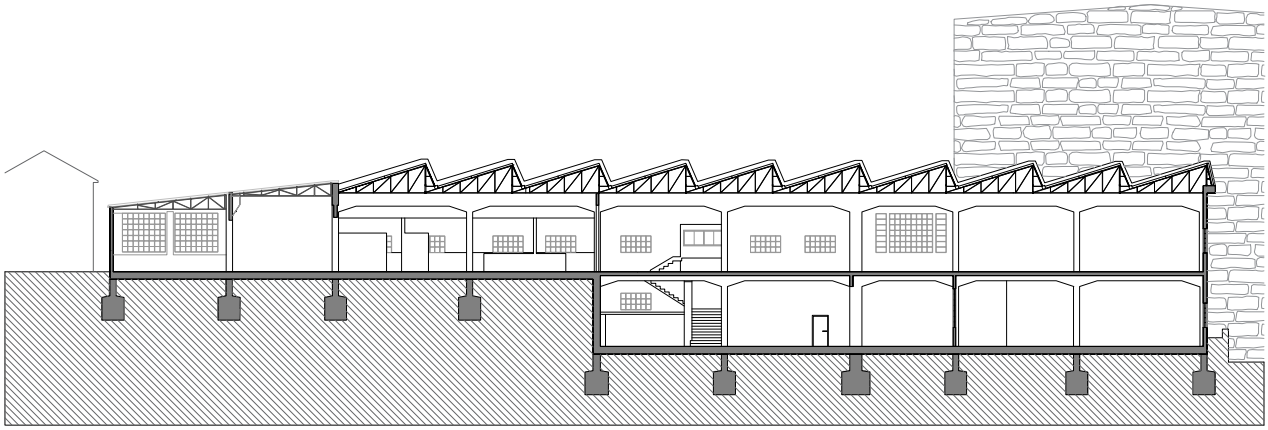


Fig.4.1.18. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte C, Escala 1/500.

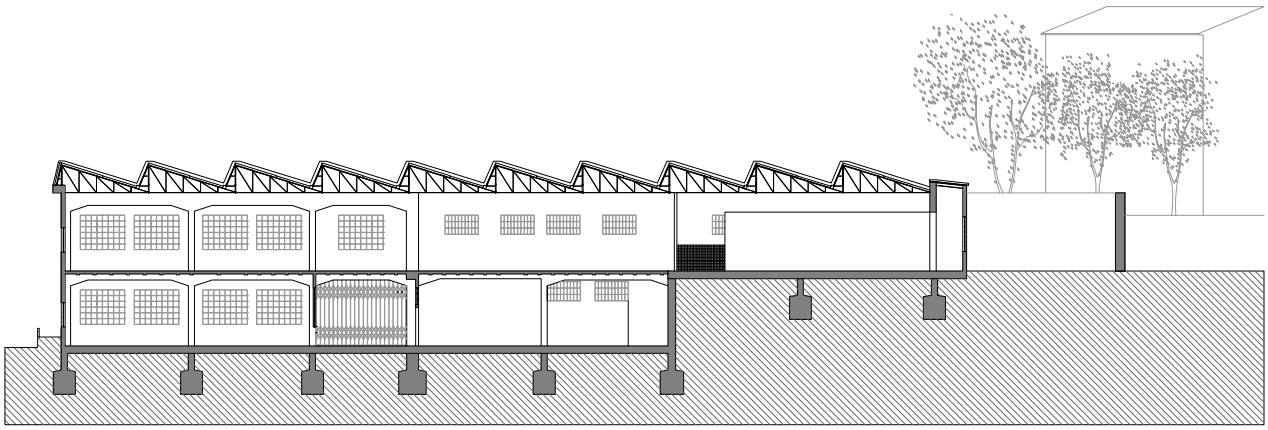


Fig.4.1.19. Levantamento da Fábrica do Trimco, Corte D, Escala 1/500.

4.2. Proposta de intervenção para a Fábrica do Trimco

Atualmente há neste local uma grande vertente académica, sustentada pela presença do Campus de Azurém, Campus de Couros e Teatro Jordão, estruturas vinculadas à Universidade do Minho. A implantação de novas estruturas académicas no extremo sul do centro de Guimarães transforma a área num vibrante núcleo universitário, contribuindo para o fortalecimento da dinâmica urbana.

Ainda assim, a descentralização de algumas infraestruturas de ensino relativamente ao Campus de Azurém gera novos desafios, para os quais esta área, caracterizada por uma malha urbana já densa e consolidada, carece atualmente de capacidade de resposta adequada. A rápida expansão da comunidade académica, que continua a estabelecer-se nesta zona, exige a disponibilização de um conjunto de infraestruturas e serviços essenciais para garantir a sua sustentabilidade.

A intenção principal é redesenhar um espaço que seja capaz de responder não apenas às necessidades atuais, mas também às exigências futuras. Pretende-se que a intervenção preserve a identidade histórica do edifício, estabelecendo simultaneamente uma ligação entre o passado, presente e o futuro.

A proposta arquitetónica consiste na inserção de um espaço de coworking na Fábrica do Trimco, de forma que o programa aproveite a flexibilidade dos módulos criados e explore a altura e amplitude do espaço existente. Pretende-se criar um ambiente dinâmico, capaz de se expandir, adaptar e reconfigurar através de elementos flexíveis que possam ser transferidos ou reorganizados em diferentes locais, de acordo com as necessidades dos utilizadores.

Este espaço destina-se essencialmente a servir os jovens da comunidade académica, investigadores, jovem empreendedores e pequenas empresas que necessitem de espaços de trabalho a baixo custo. A investigação pretende juntar, essencialmente, dois temas que se relacionam um com o outro, coworking e sistemas pré-fabricados. Os espaços co-work são ambientes de trabalho compartilhados por diversas pessoas, cujo objetivo principal é criar um ambiente profissional acessível e colaborativo. Proporcionar um espaço profissional flexível, onde as pessoas podem ter uma estrutura de trabalho sem os custos e compromissos de um escritório tradicional. Neste contexto, os espaços de coworking surgem como uma resposta aos desafios do trabalho contemporâneo, caracterizado pela necessidade de flexibilidade, inovação e interação social. A sua principal característica reside na capacidade de adaptação às necessidades dos utilizadores, exigindo igualmente que o próprio espaço apresente um elevado grau de adaptabilidade no seu desenho arquitetónico. Assim, propõe-se desenhar este espaço através de sistemas modulares previamente desenvolvidos, que permitem uma maior flexibilidade na organização e utilização do espaço interior.

Conclui-se que existe a necessidade de uma intervenção nesta área. A criação de um espaço de co-working direcionado para a comunidade poderá contribuir para dar suporte não apenas aos estudantes, mas também ao público em geral.

A proposta contempla a criação de espaços interiores de trabalho, instalações sanitárias, zonas técnicas, espaços de refeição e áreas de estar destinadas à permanência e convivência dos utilizadores.

Numa fase inicial, o edifício foi concebido como uma estrutura vazia, desprovida de módulos, com o objetivo de assegurar que a própria construção apresentasse uma organização funcional de base. Nesse sentido, essa organização foi previamente estruturada de modo a permitir que o edifício funcionasse como um suporte autónomo, independentemente do programa a ser posteriormente introduzido através dos módulos desenvolvidos no capítulo anterior.

Consequentemente, revelou-se necessário proceder a algumas intervenções ao nível estrutural, com o propósito de transformar o edifício numa base aberta e fluida, capaz de integrar módulos com diferentes funções.

Reconsiderando as dimensões do edifício e os seus acessos verticais, optou-se por ampliar os existentes e introduzir dois novos núcleos de circulação vertical. Um destes localiza-se na extremidade nordeste do edifício, enquanto o outro, de carácter central, foi concebido de forma a funcionar igualmente como anfiteatro. Em cada um dos acessos laterais foram integrados elevadores, com o objetivo de melhorar e facilitar a circulação entre os diferentes pisos.

A localização das instalações sanitárias tirou partido de espaços e paredes previamente existentes no piso superior. No piso inferior, estas foram implantadas sob o anfiteatro, permitindo a sua localização numa posição central. Paralelamente, algumas paredes existentes em ambos os pisos foram aproveitados para a criação de novos espaços fechados, atualmente destinados a salas de reunião ou áreas de arrumos.

Procedeu-se ainda à remoção de um acréscimo posterior à construção original da fábrica, localizado no alçado sul, por se considerar que este condicionava a circulação pedonal exterior e limitava a entrada de luz natural nessas zonas do edifício.

As janelas assinaladas a vermelho (figuras 4.2.1 a 4.2.10) correspondem a vãos adicionados ou morfologicamente alterados. Importa referir que as caixilharias existentes se encontram atualmente desatualizadas e degradadas, sendo necessária a sua substituição. As portas foram igualmente removidas e redesenhadas, com o objetivo de se integrarem de forma mais coerente na linguagem arquitetónica do edifício.

Por fim, diversos elementos tradicionais foram valorizados e integrados na proposta, reconhecendo o seu contributo para a expressão do carácter histórico do edifício. Destacam-se, entre outros, o desenho das janelas, as pingadeiras, as chaminés e a cobertura da fábrica. Ainda assim, estes elementos requerem intervenções de restauro ou substituição, de modo a garantir a sua preservação e adequada integração na proposta arquitetónica.



Fig.4.2.1. Vermelhos e Amarelos Piso 01, Escala 1/500.

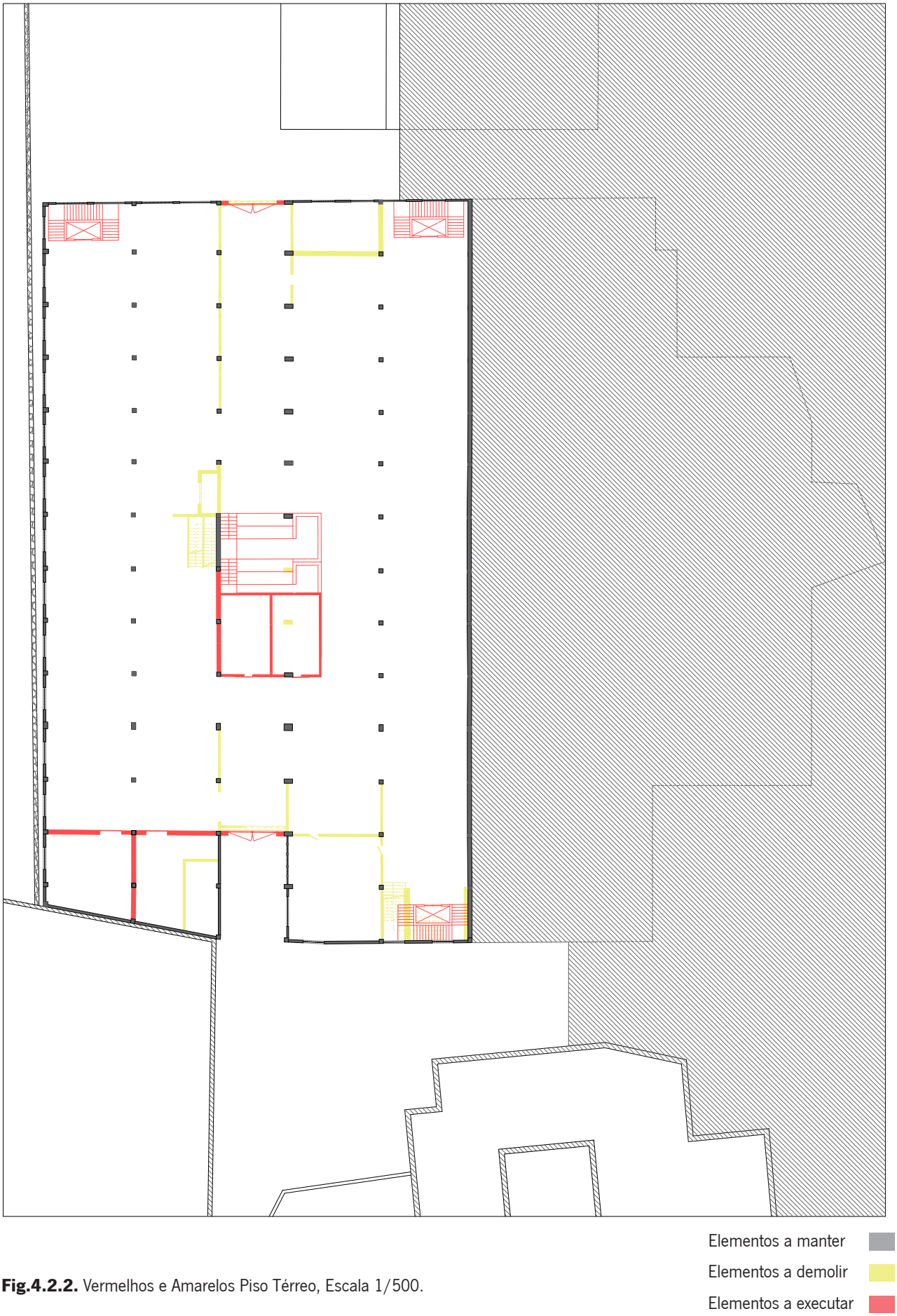


Fig.4.2.2. Vermelhos e Amarelos Piso Térreo, Escala 1/500.

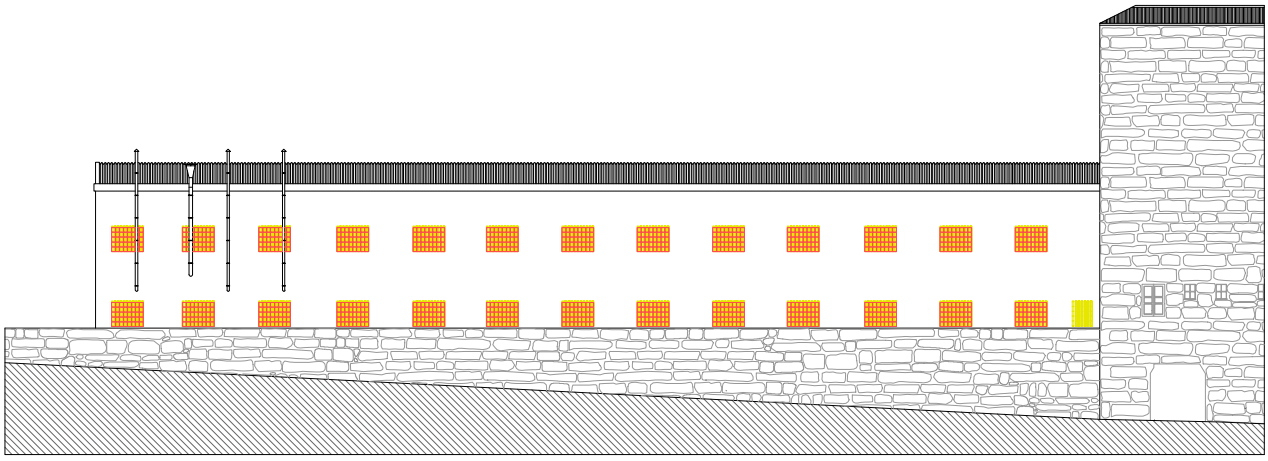


Fig.4.2.3. Vermelhos e Amarelos Alçado Norte, Escala 1/500.

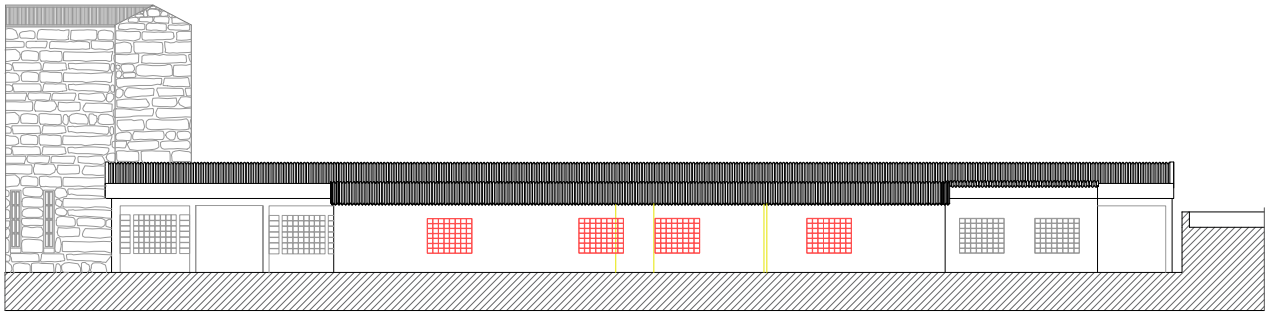


Fig.4.2.4. Vermelhos e Amarelos Alçado Sul, Escala 1/500.

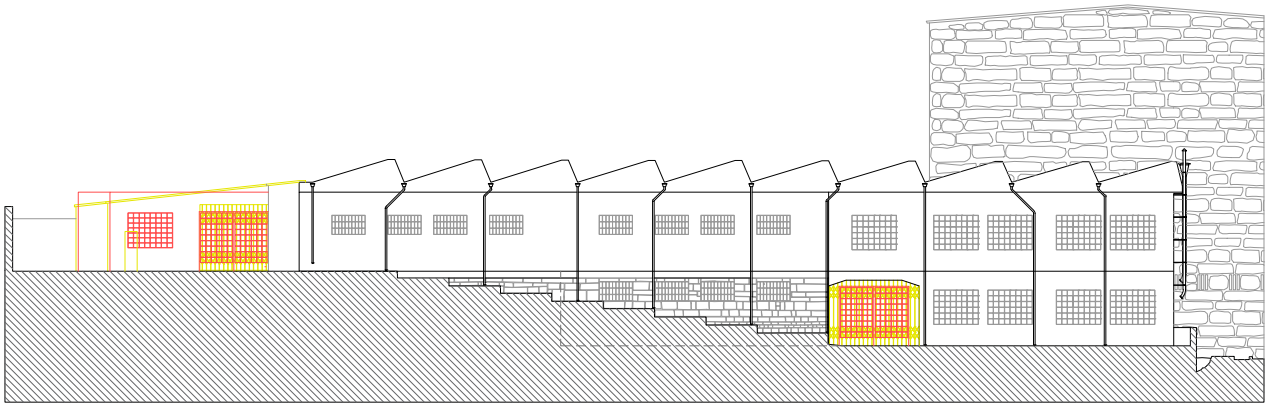


Fig.4.2.5. Vermelhos e Amarelos Alçado Este, Escala 1/500.

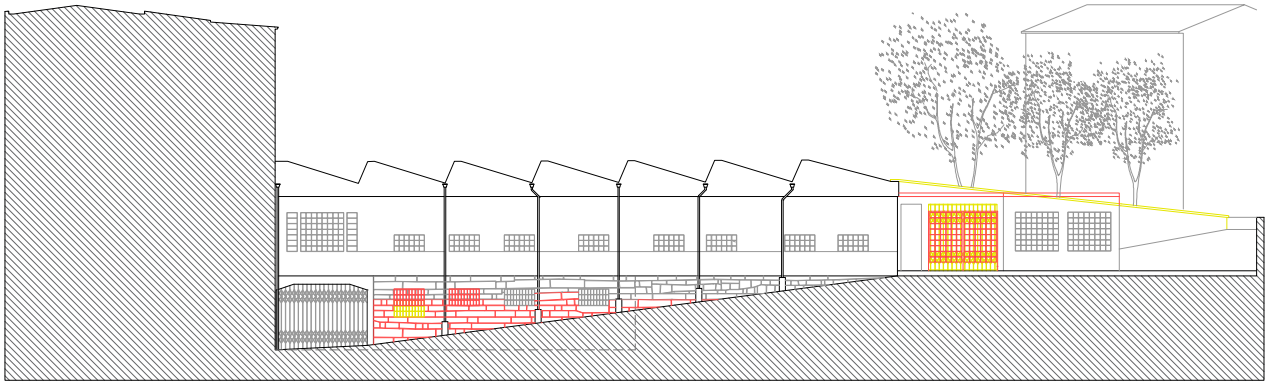


Fig.4.2.6. Vermelhos e Amarelos Alçado Oeste, Escala 1/500.

Elementos a manter Elementos a demolir Elementos a executar

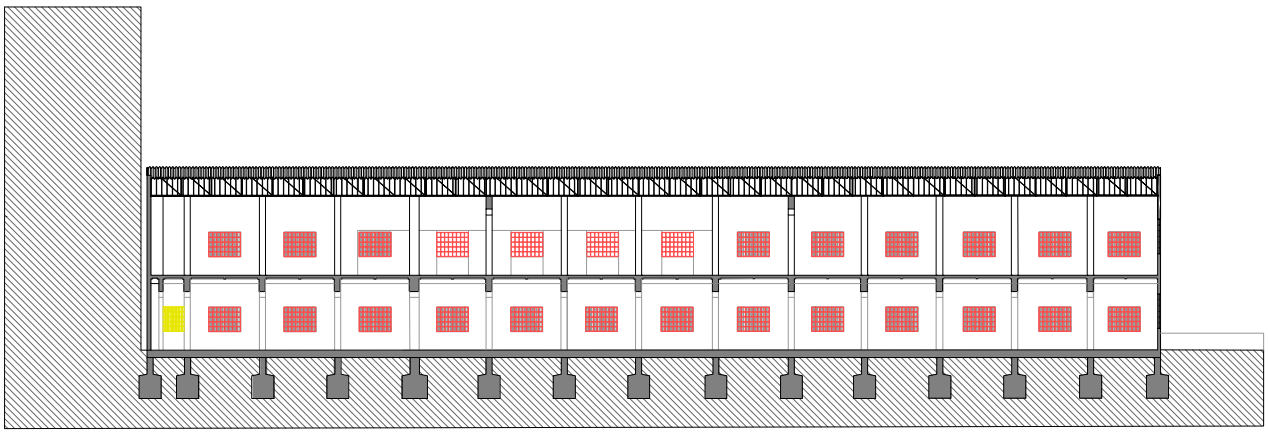


Fig.4.2.7. Vermelhos e Amarelos Corte A, Escala 1/500.

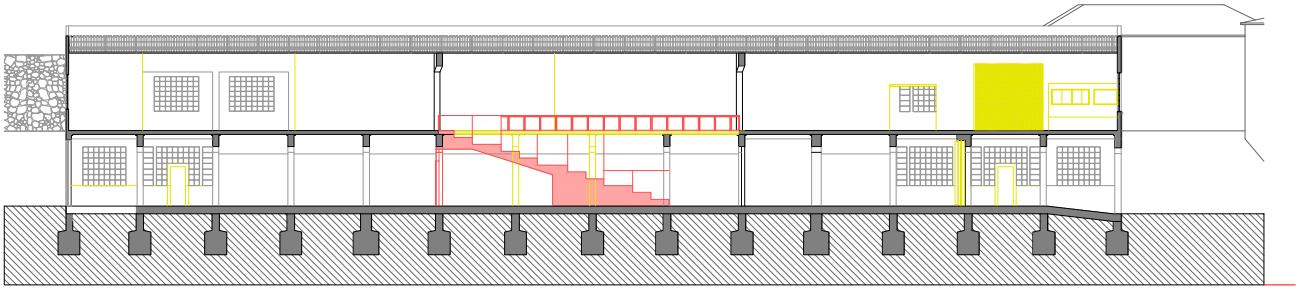


Fig.4.2.8. Vermelhos e Amarelos Corte B , Escala 1/500.

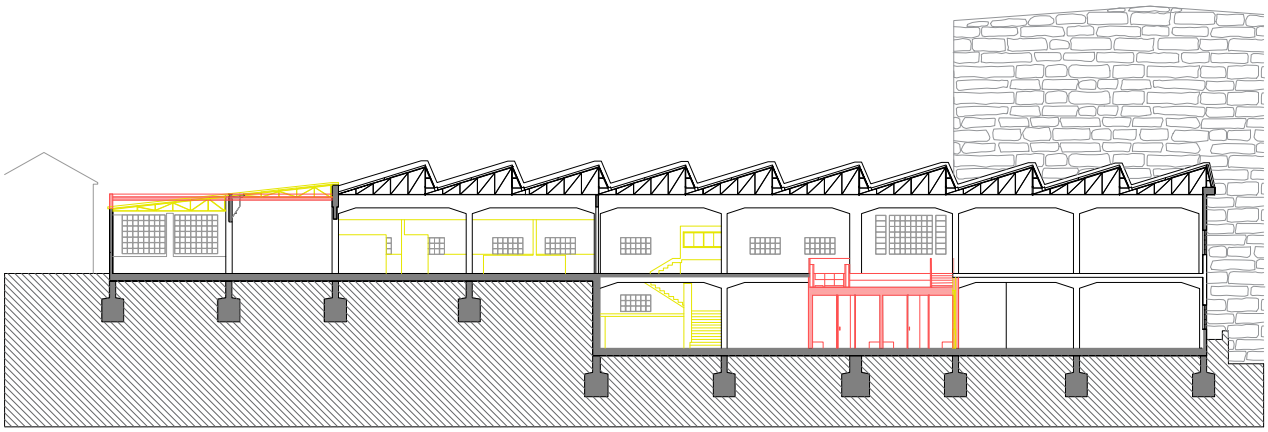


Fig.4.2.9. Vermelhos e Amarelos Corte C , Escala 1/500.

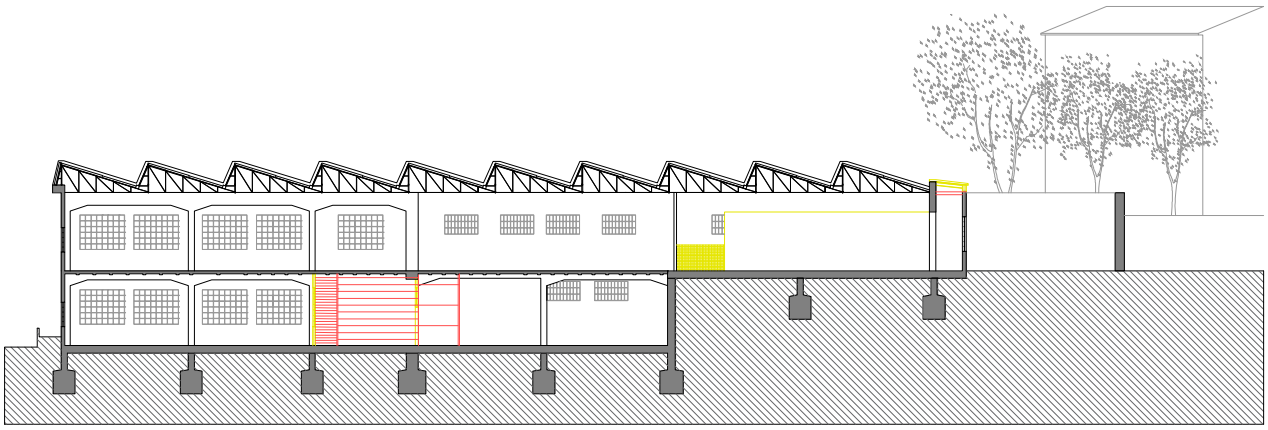


Fig.4.2.10. Vermelhos e Amarelos Corte D, Escala 1/500.

Elementos a manter Elementos a demolir Elementos a executar

4.3. Novo Programa da Fábrica do Trimco

O espaço de coworking foi concebido para acolher diferentes perfis de utilizadores, tirando partido dos dois pisos do edifício para organizar e diferenciar as suas principais funções. Desta forma, o piso térreo assume um caráter mais público e flexível, enquanto o piso superior se destina a uma utilização mais reservada, orientada para empresas.

O piso térreo foi pensado sobretudo para utilização individual. Neste nível, qualquer utilizador pode reservar uma mesa de trabalho, pequenas salas de trabalho ou uma das duas salas de reunião disponíveis. O piso apresenta duas entradas, no entanto, a entrada situada a este foi definida como principal, por ser a mais visível e por estabelecer uma relação mais direta com o espaço exterior e com a cidade. A partir deste ponto estabelece-se imediatamente uma ligação visual com o anfiteatro, que recebe iluminação zenital através das claraboias existentes na cobertura do edifício.

A zona de **entrada** foi concebida como um momento de receção e encontro entre utilizadores, integrando mobiliário modular de estar desenhado para promover o relaxamento e a interação informal. Este espaço articula-se diretamente com a **receção**, cuja organização foi desenvolvida através de módulos que estruturam um percurso progressivo, inicialmente mais aberto e exposto, tornando-se gradualmente mais resguardado à medida que se integram os postos de trabalho e as zonas de apoio destinadas aos funcionários do edifício.

Após a receção localizam-se as **salas de trabalho individuais ou de grupo**, concebidas como espaços mais reservados e privados. Seguidamente surge a zona de refeições, articulada com módulos que integram mobiliário base destinado ao aquecimento e preparação de refeições ligeiras por parte dos utilizadores.

Do lado oposto do anfiteatro, que funciona simultaneamente como elemento de encontro e núcleo de circulação vertical, desenvolve-se um espaço contínuo composto por vários **postos de trabalho individuais**. Neste contexto, os módulos desempenham um papel fundamental ao introduzirem maior conforto e privacidade aos utilizadores, apesar da natureza aberta do espaço. Paralelamente, contribuem para dinamizar o ambiente interior através da variação de aberturas e do posicionamento dos painéis que compõem as divisórias.

Na extremidade oeste localizam-se duas **salas de reunião** de maior dimensão. A sua implantação neste ponto da antiga fábrica permite libertar o espaço central e proporcionar maior flexibilidade para a organização dos módulos e para a dinâmica do espaço de trabalho. Entre a **zona de refeições** e o espaço contínuo de trabalho encontra-se ainda a segunda entrada do edifício. Apesar de estabelecer uma ligação direta à zona central da cidade, esta apresenta-se como um acesso mais discreto no respetivo

alçado urbano. Neste local foi criado um espaço de encontro mais informal, equipado com mesas de jogos, promovendo momentos de pausa e socialização entre os utilizadores.

A organização geral deste piso desenvolve-se em torno do anfiteatro, elemento estruturante do espaço. A área situada sob esta estrutura é aproveitada para a implantação das **instalações sanitárias** do piso.

O piso superior pode ser acedido tanto através dos núcleos de circulação vertical como por duas entradas que se encontram à mesma cota deste nível. Ao contrário do piso térreo, este nível foi concebido para uma utilização mais reservada, destinada exclusivamente a empresas. Nesse sentido, foram previstos espaços destinados a empresas de diferentes dimensões, pequenas, médias e grandes, **totalizando seis unidades empresariais.**

O conceito baseia-se na possibilidade de cada empresa configurar o seu espaço de acordo com as suas necessidades específicas. O sistema modular permite que os espaços possam ser alterados, ampliados, reduzidos ou reorganizados ao longo do tempo, garantindo uma elevada adaptabilidade sem compromissos espaciais permanentes.

As principais entradas deste piso convergem para um amplo espaço de estar, concebido como uma **zona de convívio informal** equipada com mesas de jogos. Este espaço assume um papel central na promoção da interação entre utilizadores e na criação de oportunidades de contacto profissional. Simultaneamente, funciona como elemento de articulação espacial, estabelecendo a transição entre a área de trabalho organizada através de módulos e as salas de reunião.

As salas de reunião não se encontram associadas a nenhuma empresa específica, podendo ser reservadas a qualquer momento por qualquer utilizador do espaço. Cada um dos polos empresariais foi organizado de modo a evidenciar a versatilidade do sistema modular, assegurando simultaneamente uma circulação clara e eficiente, complementada por vários espaços de estar distribuídos ao longo do piso. Neste nível, as **instalações sanitárias** localizam-se nas extremidades dos alçados este e oeste, tirando partido da existência de paredes pré-existentes. Não existem elementos físicos que estabeleçam uma separação rígida entre os dois pisos, permitindo que os utilizadores circulem livremente pelo interior do edifício. Ainda assim, a organização programática introduz uma distinção clara entre os utilizadores individuais e aqueles associados às empresas instaladas no espaço, contribuindo para estruturar e orientar os fluxos de circulação no interior da Fábrica do Trimco.

Em síntese, o novo programa organiza-se a partir de uma clara diferenciação entre os dois pisos do edifício, estabelecendo uma gradação entre espaços mais públicos e flexíveis e áreas de utilização mais reservada destinadas a empresas. Esta organização permite responder a diferentes perfis de utilizadores,

desde trabalhadores individuais até estruturas empresariais de maior dimensão. O sistema modular assume um papel central nesta estratégia, ao permitir uma elevada adaptabilidade dos espaços de trabalho. A possibilidade de reorganização, ampliação ou redução das áreas ocupadas pelas empresas garante que o edifício possa acompanhar a evolução das necessidades dos utilizadores ao longo do tempo.

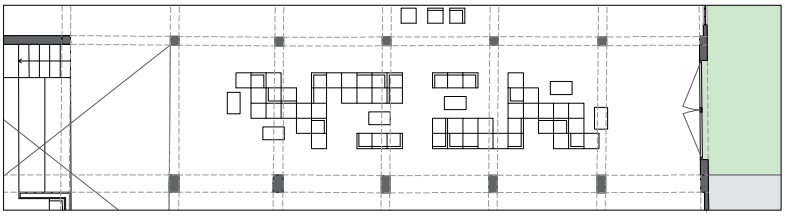


Fig. 4.3.1. Entrada Principal, Escala 1/350.

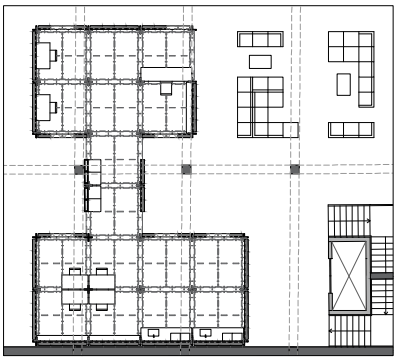


Fig. 4.3.2. Receção, Escala 1/350.

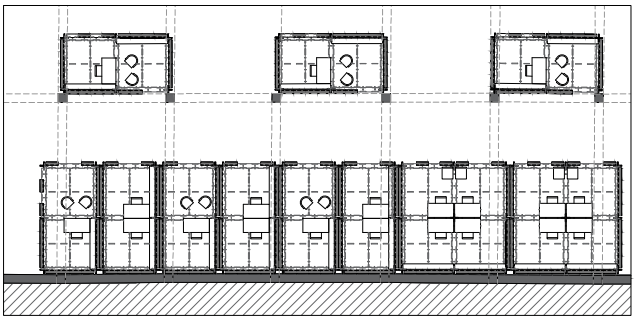


Fig. 4.3.3. Zonas de Trabalho Individuais ou em Grupo, Escala 1/350.

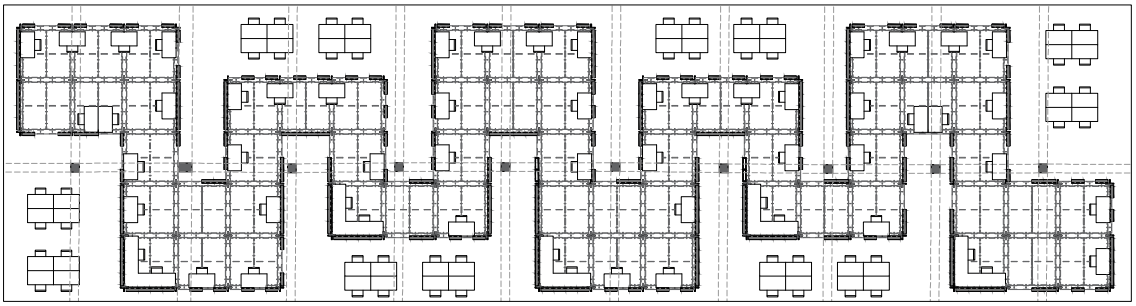


Fig. 4.3.4. Zonas de Trabalho Individuais, Escala 1/350.

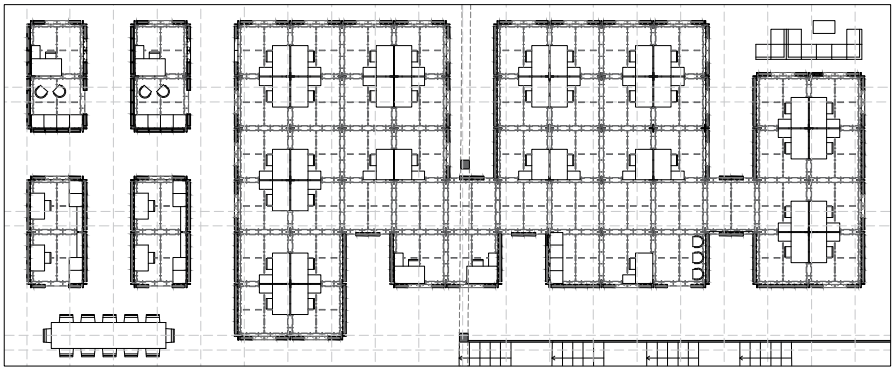
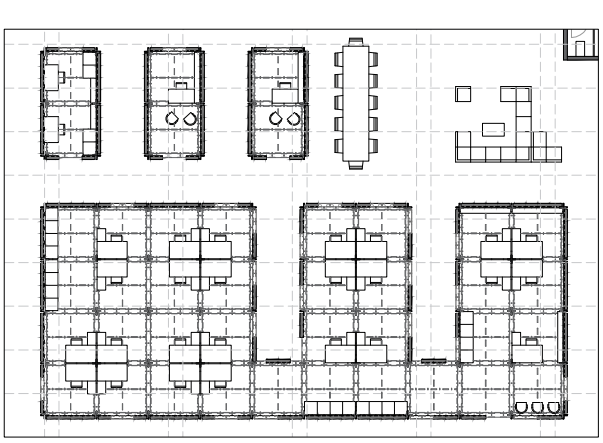


Fig. 4.3.5. Unidade Empresarial Grande, Escala 1/350.



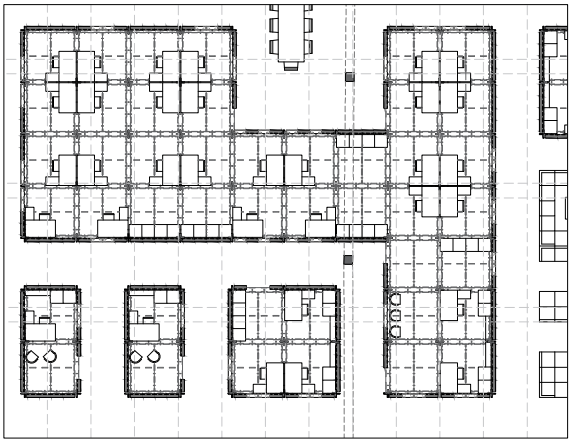
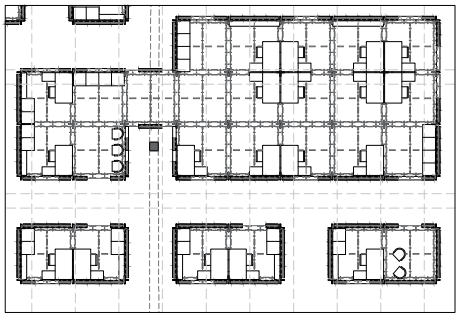
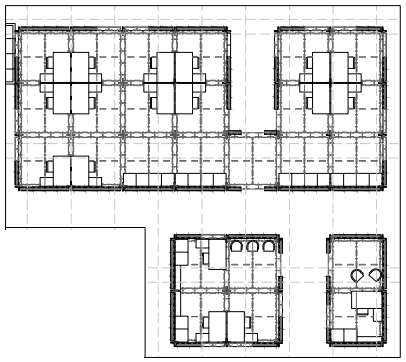


Fig. 4.3.6. Unidades Empresariais Médias, Escala 1/350.





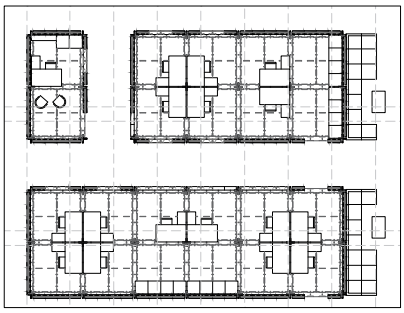


Fig. 4.3.7. Unidades Empresariais Pequenas, Escala 1/350.

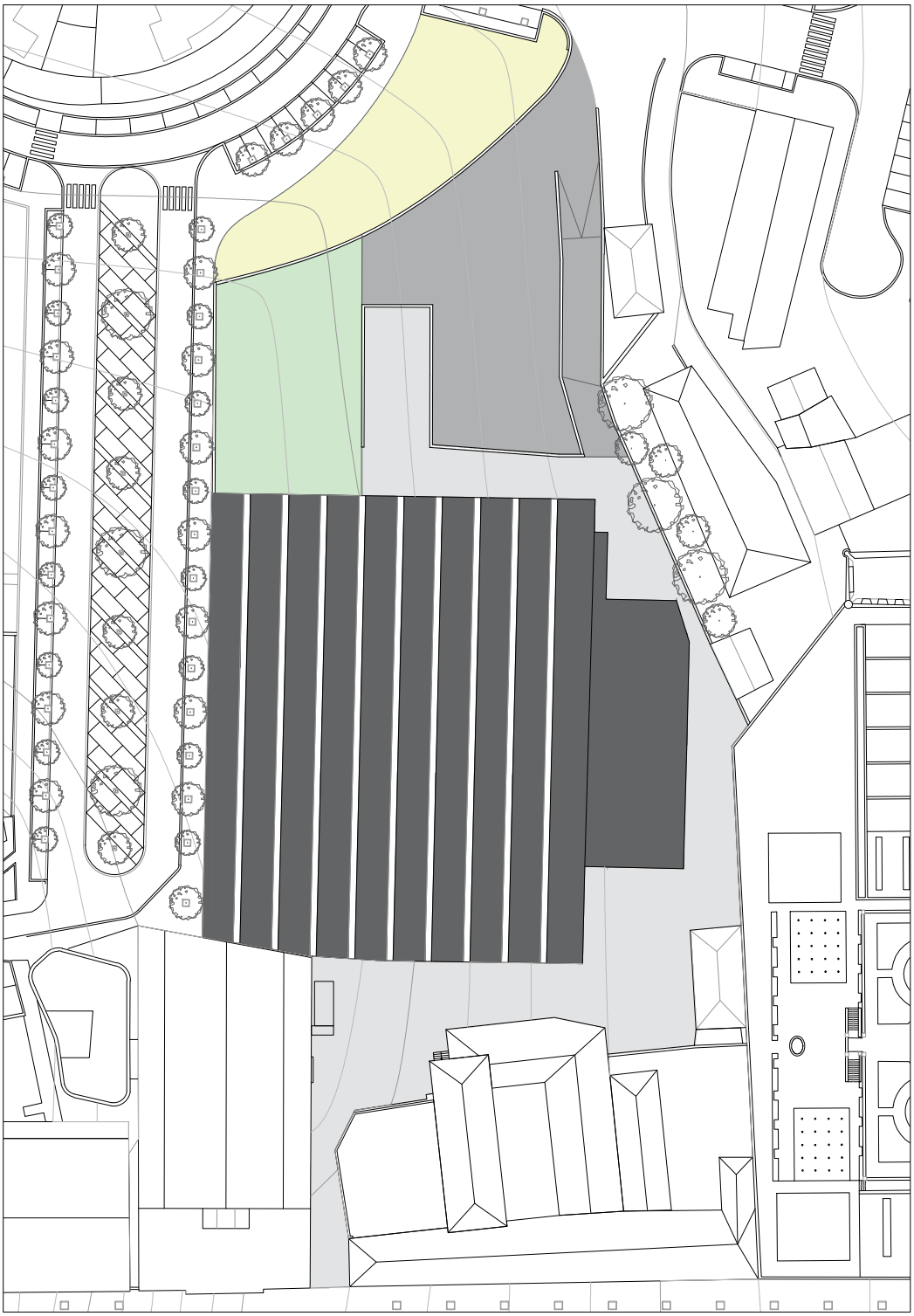


Fig.4.3.8. Levantamento da Fábrica do Trimco, Planta de Implantação, Escala 1/1000.

N

Calçada
Alcatrão
Terra Batida
Vegetação



Fig.4.3.9. Levantamento da Fábrica do Trimco, Planta Piso 01, Escala 1/500.



Fig.4.3.10. Levantamento da Fábrica do Trimco, Piso Térreo, Escala 1/500.

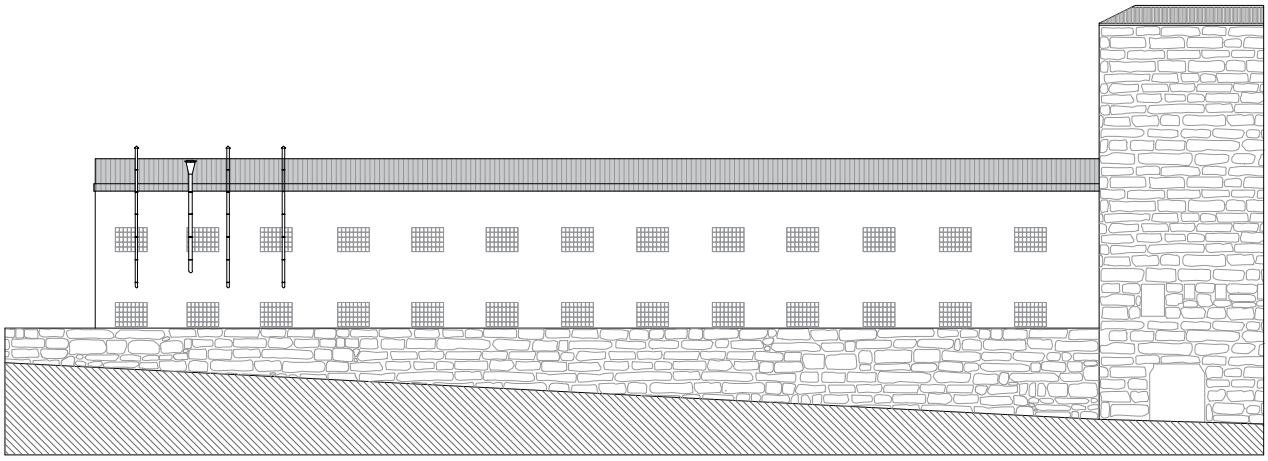


Fig.4.3.11. Fábrica do Trimco, Alçado Norte, Escala 1/500.



Fig.4.3.12. Fábrica do Trimco, Alçado Sul, Escala 1/500.



Fig.4.3.13. Fábrica do Trimco, Alçado Este, Escala 1/500.

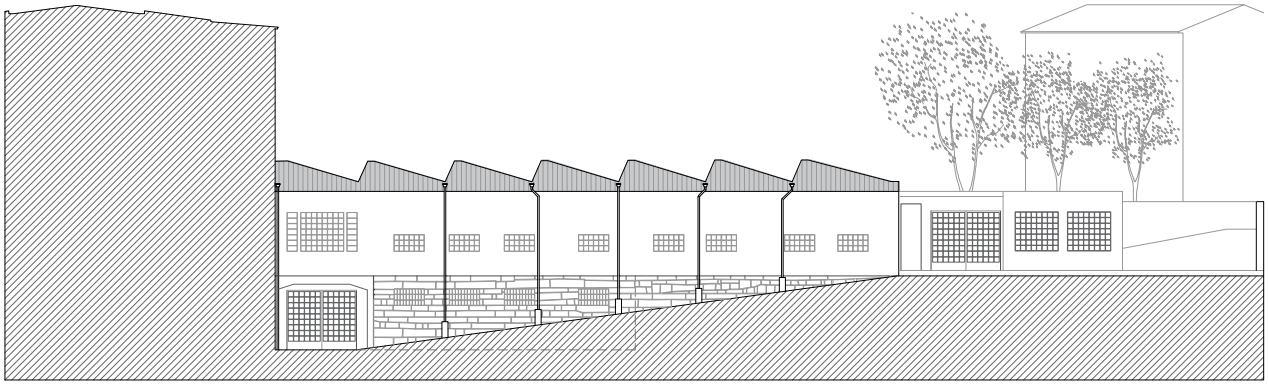


Fig.4.3.14. Fábrica do Trimco, Alçado Oeste, Escala 1/500.

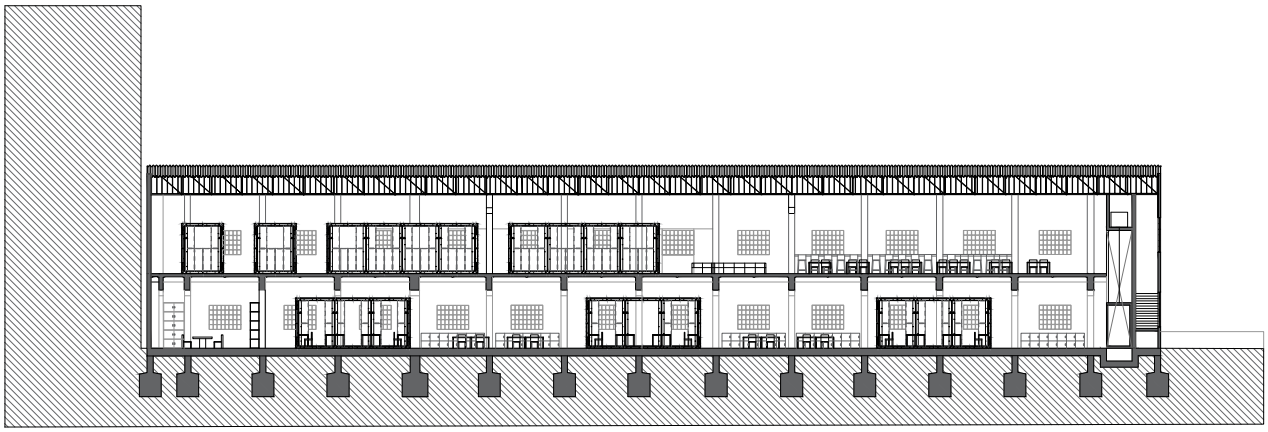


Fig.4.3.15. Fábrica do Trimco, Corte A, Escala 1/500.

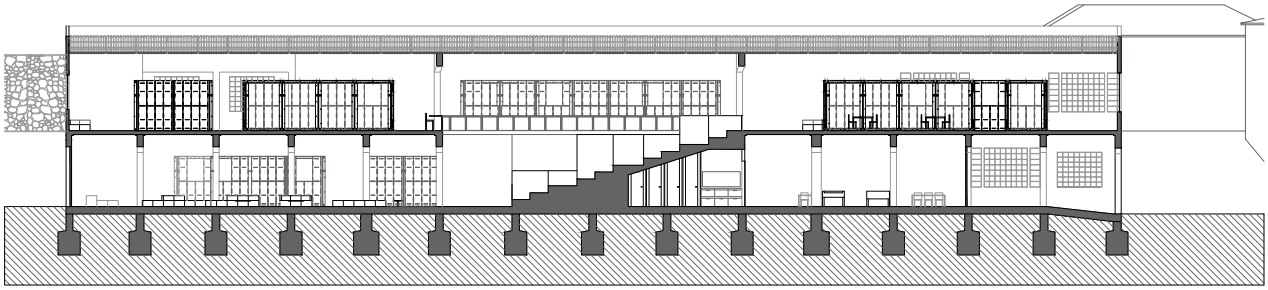


Fig.4.3.16. Fábrica do Trimco, Corte B, Escala 1/500.

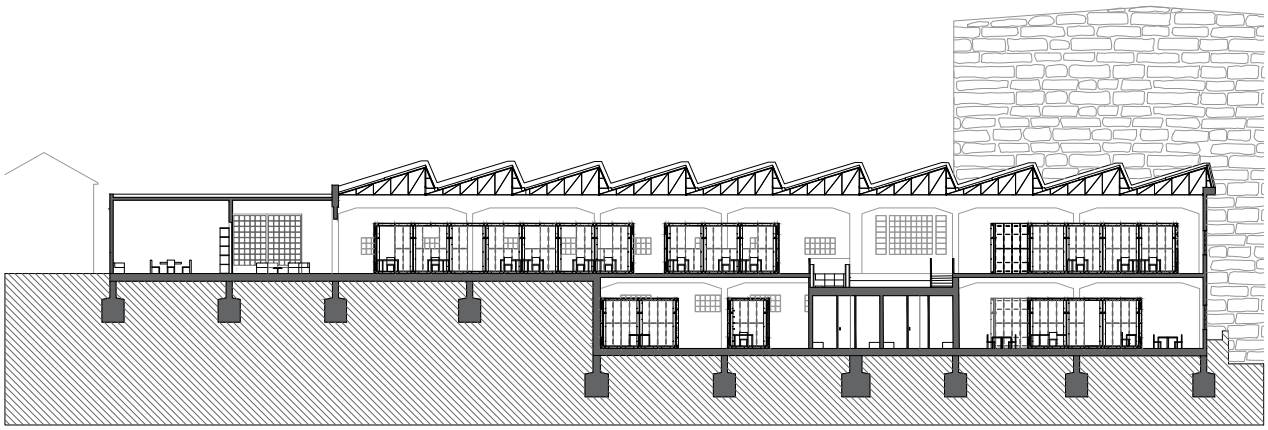


Fig.4.3.17. Fábrica do Trimco, Corte C, Escala 1/500.

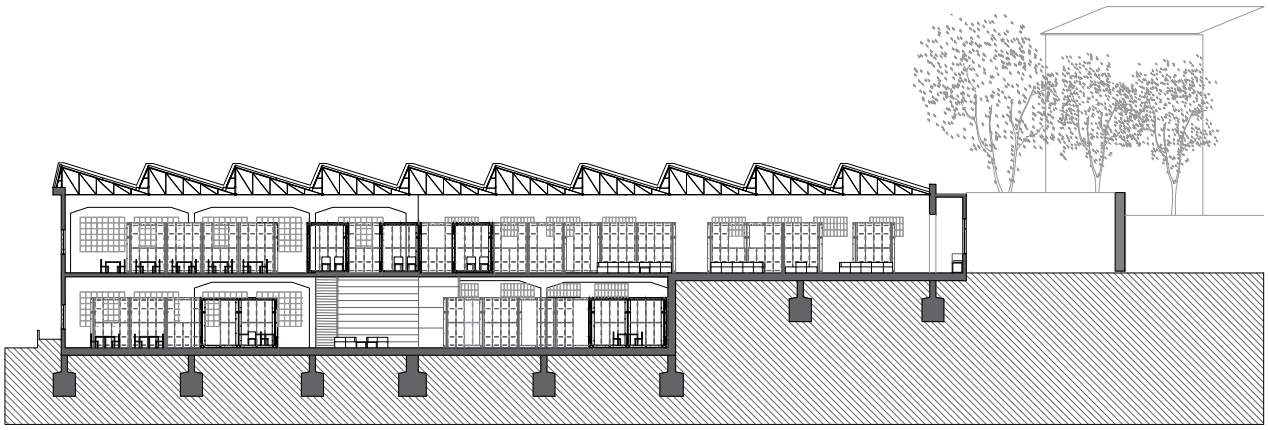


Fig.4.3.18. Fábrica do Trimco, Corte D, Escala 1/500.

CONCLUSÃO

O tema desenvolvido na presente investigação emerge de um interesse contínuo pela relação entre a conceção arquitetónica e a sua materialização construtiva, consolidado ao longo do percurso académico. Paralelamente, a crescente pressão económica no setor da construção evidencia a necessidade de os arquitetos assumirem um papel ativo na procura de soluções inovadoras que promovam uma prática mais responsável e sustentável. Neste sentido, a investigação assenta na conceção de um sistema capaz de gerar espaços altamente flexíveis e personalizáveis, nos quais o utilizador desempenha um papel ativo na sua configuração ao longo do tempo. Trata-se de uma abordagem que rompe com a ideia de espaço permanente e imutável, propondo, em alternativa, uma arquitetura adaptável, evolutiva e passível de transformação, em função das necessidades dos seus utilizadores. O projeto desenvolvido materializa esta visão ao colocar o utilizador no centro do processo arquitetónico, atribuindo-lhe controlo efetivo sobre a configuração e evolução do espaço. Ao permitir expandir, reduzir, reconfigurar e reutilizar os elementos ao longo do tempo, a proposta afasta-se da noção de arquitetura fixa, afirmando-se como um sistema aberto, dinâmico e em constante transformação. Neste contexto, o sistema construtivo baseia-se na modularidade e nos princípios de fácil montagem e desmontagem (DFAD), assumindo-se como fator determinante para a flexibilidade espacial. Adicionalmente, o sistema alinha-se com os princípios da economia circular, partindo da premissa de que os módulos podem ser configurados, deslocados e adaptados a diferentes contextos. Cada elemento é concebido com o objetivo de ser móvel e reutilizável, promovendo a sua transformação contínua. Por fim, a investigação articula-se com as novas tecnologias, explorando a fabricação subtrativa como método construtivo capaz de reduzir a distância entre a conceção e a execução, otimizando todo o processo. Mais do que um objeto construído, este projeto propõe um processo de arquitetura participada, no qual construir, organizar e transformar se tornam parte de uma experiência contínua. É neste reposicionamento do arquiteto, do utilizador e do próprio espaço que assenta o conceito do novo sistema.

Os casos de estudo selecionados foram escolhidos por constituírem conceitos e abordagens diferentes no desenvolvimento de sistemas construtivos modulares em madeira. O processo de análise da forma como estas empresas materializam os seus conceitos em sistemas construtivos reais, bem como o estudo do processo de construção e de encaixe dos seus componentes, revelou-se fundamental para o desenvolvimento do sistema construtivo que estrutura o módulo apresentado no Capítulo 3. A construção baseada em processos de fabricação subtrativa distingue-se significativamente da construção tradicional, na medida em que todos os elementos são produzidos a partir de uma máquina CNC, recorrendo a peças bidimensionais com espessura uniforme, posteriormente articuladas entre si através de sistemas de encaixe.

A presente investigação permitiu demonstrar que o sistema construtivo desenvolvido constitui uma resposta pertinente aos desafios contemporâneos da arquitetura, particularmente no que diz respeito à flexibilidade, sustentabilidade e adaptação ao longo do tempo. A sua aplicação na Fábrica do Trimco revelou não só a viabilidade técnica e construtiva da proposta, mas também o seu potencial enquanto instrumento de reativação de estruturas industriais devolutas, contribuindo para a regeneração urbana e para a valorização do património existente. Em Portugal, estes tipos de tecnologias ainda não estão amplamente incorporados, prevalecendo o recurso à construção tradicional. No entanto, considera-se que a presente investigação é relevante ao demonstrar como a construção baseada em tecnologias como a CNC pode começar a ser integrada no contexto português.

Contudo, apesar das suas potencialidades, o sistema apresenta limitações, como a impossibilidade atual de integração de paredes interiores e o peso excessivo de alguns componentes, porém conclui-se que o resultado foi satisfatório por alcançar todos os objetivos propostos e ter sido desenvolvido um sistema funcional.

Considera-se que a presente investigação é relevante para a comunidade académica, sobretudo pelo seu carácter experimental e prático, podendo ser uma base pertinente para investigações futuras.

Referências Bibliográficas

Publicações

- Andreso, D. L. da C. (2023). Habitabilidade em áreas mínimas: Um sistema modular de mobiliário retrátil como solução para conforto e adaptabilidade Tese de mestrado). Universidade do Minho. Disponível em: https://rep-dspace.uminho.pt/entities/publication/2b74c224-add1-4044-b594-9c7e71aa5916
- Barbosa, A. C. M. (2023). A Pré-fabricação como Método Construtivo para uma Arquitetura Circular. Tese de Mestrado, Universidade do Minho. Disponível em: https://repositorium.uminho.pt/entities/publication/bd8ed67b-8bef-4d16-ba2b-a49ec957e008
- Brand, S. (1994). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*.
- Canizares, G. (2024). Taming the rhinoceros: A brief history of a ubiquitous tool. Perspectives in Architecture and Urbanism, 1(2), Article 100020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950267524000241?utm_source=chatgpt.com
- Carvalho, J. A. N. (2018). Cerâmica 3D: Sistemas digitais para a personalização do desenho e fabrico de componentes arquitetónicos Tese de mestrado. Universidade do Minho. Disponível em: https://repositorium.uminho.pt/entities/publication/79fa4636-cc29-444a-9c8e-94e74c562067
- Herbert, G. (1984). The dream of the factory-made house: Walter Gropius and Konrad Wachsmann. The Massachusetts Institute of Technology Press.
- Machado, D. G. (2025). Repensar o edificado: reabilitação da fábrica Trimco em Guimarães. Tese de Mestrado. Universidade do Minho. Disponível em: https://repositorium.uminho.pt/entities/publication/9a14ad88-8a2f-499c-8bc7-31cd94fdf561
- Fonyat, M. de A. R. (2013). A Pré-fabricação e o Projeto de Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/80415
- Kolarevic, B. (2009). *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Taylor & Francis e-Library (Edição original publicada em 2003).
- Ryan E. Smith. (2010). *Prefab architecture*. John Wiley & Sons.
- Lab4U&Spaces (2022) Living lab of interactive urban space solutions – ATLAS for the design of future e-cities. Lab2PT.
- McDonough, W. & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things.*
- Noll. T. (2002). *The joint book: The complete guide to wood joinery*. Gary Allen Pty Ltd.
- Seike, K. (1977). The art of Japanese joinery. Weatherhill/Tankosha.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.
- Smith, R. E., & Quale, J. D. (e.d.). (2017). Offsite architecture: Constructing the future. Routledge.
- Sommer, J., & Jensen, K. G. (2016). *Building a circular future*. (3rd ed.).
- Staib, G. & Dörrhöfer, A. & Rosenthal, M. (2008). *Components and Systems: Modular Construction: Design, Structure, New Technologies.* Edition Detail.

Websites

- Autodesk. What is Autodesk Fusion? Publicado no website da autodesk. (Consultado em abril de 2026). Disponível em: https://www.autodesk.com/solutions/what-is-fusion-360

- Automated Architecture (AUAR). AUAR – Automated Architecture: a global automated construction ecosystem. (Consultado em setembro de 2025). Publicado no website da AUAR. Disponível em: https://auar.io/
- Barandy, K. (2021). AUAR's robotically assembled dwelling is at once beautiful and affordable. Publicado no website Designboom. (Consultado em setembro de 2025). Disponível em: https://www.designboom.com/architecture/automated-architecture-auar-robotically-assembled-dwelling-global-investment-summit-uk-10-19-2021/
- Claypool, M. (2024). Mollie Claypool shares how Automated Architecture is building a global, automated construction ecosystem for sustainable, affordable and beautiful homes at scale. Publicado no website Modern Home Buildings. (Consultado em setembro de 2025). Disponível em: https://modernhb.com/news/mollie-claypool-shares-how-automated-architecture-is-building-a-global-automated-construction-ecosystem-for-sustainable-affordable-and-beautiful-homes-at-scale/
- Dimensions. Wood joint: Butterfly. Publicado no website Dimensions. (Consultado em outubro de 2025). Disponível em: https://www.dimensions.com/element/wood-joint-butterfly
- EU, (2023). Economia circular: definição, importância e benefícios. Publicado no website do Parlamento Europeu. (Consultado em outubro de 2025). Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios
- Facit Homes. Building process. Publicado no website da Facit Homes. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/building-process
- Facit Homes. *Price*. Publicado no website da Facit Homes. Publicado no website da Facit Homes. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/price
- Facit Homes. Projects. Publicado no website da Facit Homes. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.facit-homes.com/projects
- ONU, (2025). Emissões do setor de construção param de aumentar pela primeira vez desde 2020. (Consultado em outubro de 2025). Publicado no website das Nações Unidas. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/291269-onu-emiss%C3%B5es-do-setor-de-constru%C3%A7%C3%A3o-param-de-aumentar-pela-primeira-vez-desde-2020
- Pintos, P. (2019, 29 de junho). Box House / Studio Bark. Publicado no website ArchDaily. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com/919381/box-house-studio-bark
- Shen, Y. (2018). Modular eco-housing pushing boundaries with cardboard. (Consultado em julho de 2025). Publicado no website ArchDaily. Disponível em: https://www.archdaily.com/889151/modular-eco-housing-pushing-boundaries-with-cardboard
- Silva, D. (s.d), Terceira Revolução Industrial: o que foi, resumo. (Consultado em outubro de 2025). Publicado no website História do Mundo. Disponivel em: https://www.historiadomundo.com.br/idade-contemporanea/terceira-revolucao-industrial.htm
- Snooks, R., & Jahn, G. (2024). AI case study: Interpreting designs for manufacturing and construction. Publicado no website ArchitectureAu. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://architectureau.com/articles/ai-case-study-interpreting-designs-for-manufacturing-and-construction/#img-0
- Souza, E. (2021). Building houses with giant blocks: U-Build and the future of self-construction. Publicado no website ArchDaily. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.archdaily.com/958331/building-houses-with-giant-blocks-u-build-and-the-future-of-self-construction

- U-Build. FAQs – Frequently asked questions: Plywood, build, make, design. Publicado no website da U-Build. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://u-build.org/faqs-frequently-asked-questions-plywood-build-make-design/
- University of the Built Environment. (2025). What is BIM (and how does it work)? (Consultado em outubro de 2025). Publicado no website da University of the Built Environment. Disponível em: https://www.ube.ac.uk/whats-happening/articles/building-information-modelling/
- WikiHouse. Architects. Publicado no website da Wikihouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/architects
- Wikkelhouse. Design. Publicado no website da Wikihouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://wikkelhouse.com/#design
- WikiHouse. What is WikiHouse? Publicado no website da Wikihouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/design/what-is-wikihouse
- WikiHouse. Skylark 250. Publicado no website da Wikihouse. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250

Videos

- FACIT Homes. (2025). Facit Builds | E5: Chassis Production & Assembly [Vídeo]. YouTube. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=mkPExiYkJJE
- FACIT Homes. (2025). What is a FACIT Home? [Vídeo]. YouTube. (Consultado em julho de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eovOvXHYSPM
- U-Build. (2023). U-Build hands-on: a flat-pack modular home you can assemble [Video]. YouTube. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dmeiZ90BKH8
- Zara, J. (2015). Free: Download a Construction Kit to Build Your Own “WikiHouse”. Architizer. (Consultado em agosto de 2025). Disponível em: https://architizer.com/blog/practice/materials/wikihouse-the-open-source-diy-home/

Plugin

- Tapnair. (n.d.). Dogbone add-in for Autodesk Fusion 360. (Consultado em abril de 2026). Disponível em: https://tapnair.github.io/Dogbone/

Anexos



Planta de Implantação, Escala 1/350

N

Legenda 01

- Calçada
- Alcatrão
- Vegetação
- Terra Batida

Entre Permanência e Transformação:
Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Universidade do Minho	MIARQ/5° ano
Planta de Implantação	Escala 1:350
Inês Castelar Silva	A95060
Folha 01	Julho 2026

Planta Piso 01, Escala 1/200

Legenda 02

1.Entrada
2.Receção
3.Espaço de Trabalho Individual
4.Espaço de Trabalho em Grupo
5.Instalações Sanitárias
6.Anfiteatro
7.Zona de Refeição
8. Salas de Reunião
9.Unidades Empresariais
10.Espaços de Convívio
11.Salas Técnicas
12.Arrumos

Legenda 01

- Calçada
- Alcatrão
- Vegetação
- Terra Batida

Entre Permanência e Transformação:
Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Universidade do Minho	MIARQ/5° ano
Planta Piso 01	Escala 1:200
Inês Castelar Silva	A95060
Folha 02	Julho 2026



Planta Piso Térreo, Escala 1/200

Legenda 02

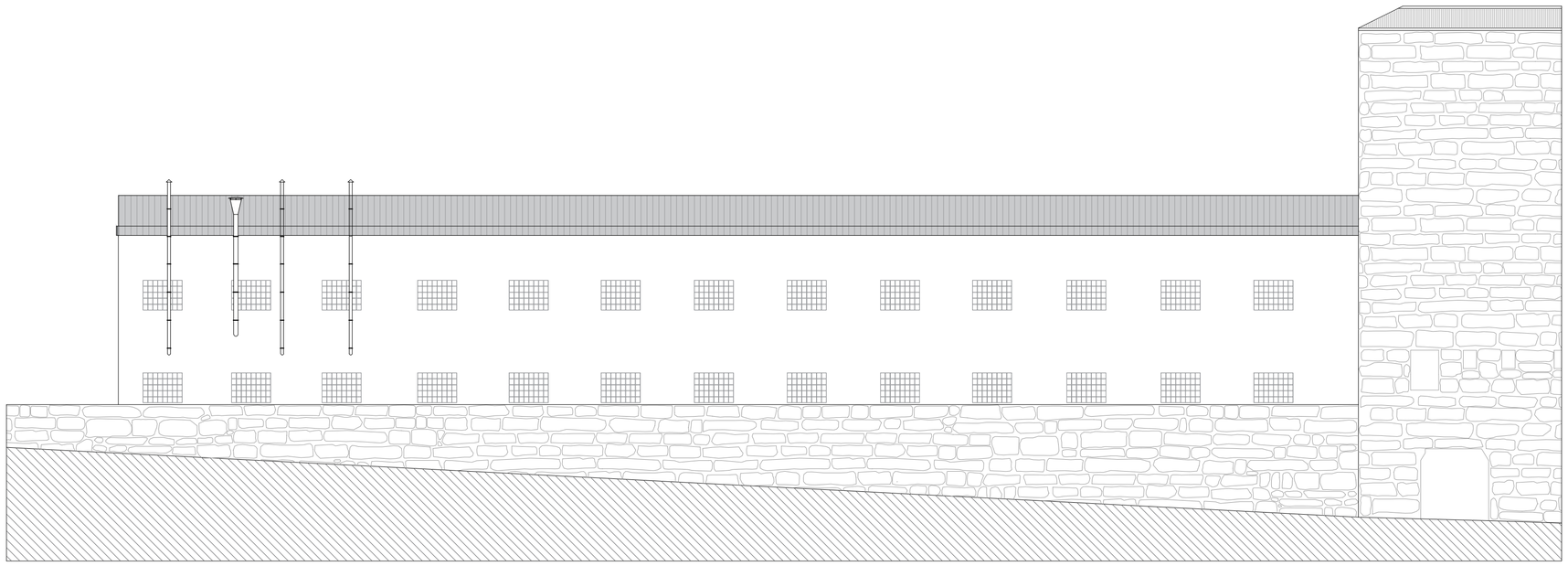
1.Entrada
2.Receção
3.Espaço de Trabalho Individual
4.Espaço de Trabalho em Grupo
5.Instalações Sanitárias
6.Anfiteatro
7.Zona de Refeição
8. Salas de Reunião
9.Unidades Empresariais
10.Espaços de Convívio
11.Salas Técnicas
12.Arrumos

Legenda 01

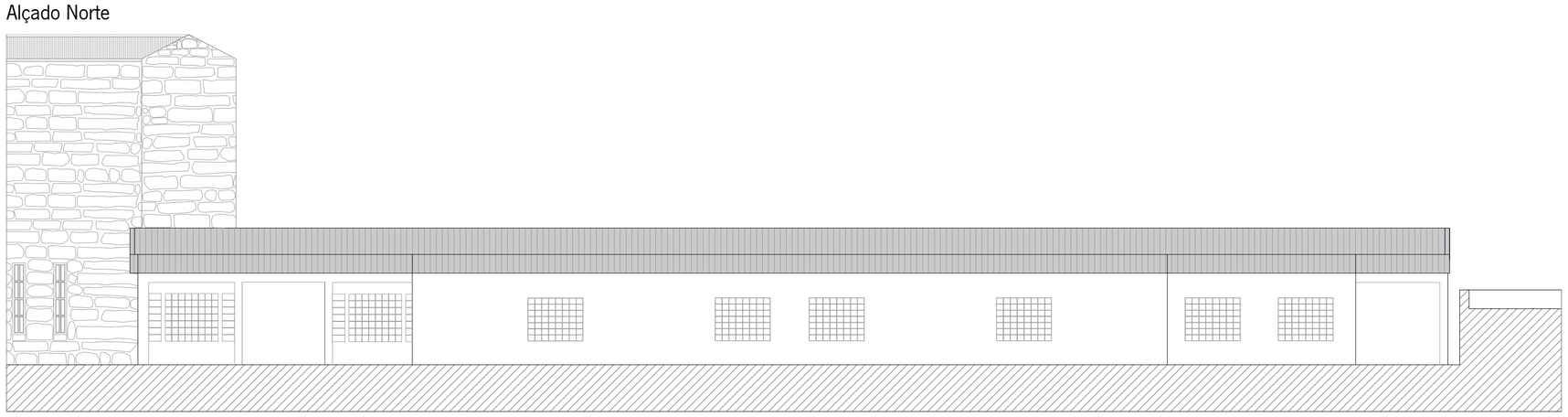
- Calçada
- Alcatrão
- Vegetação
- Terra Batida

Entre Permanência e Transformação:
Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Universidade do Minho	MIARQ/5° ano
Planta Piso Térreo	Escala 1:200
Inês Castelar Silva	A95060
Folha 03	Julho 2026



Alçado Norte



Alçado Sul



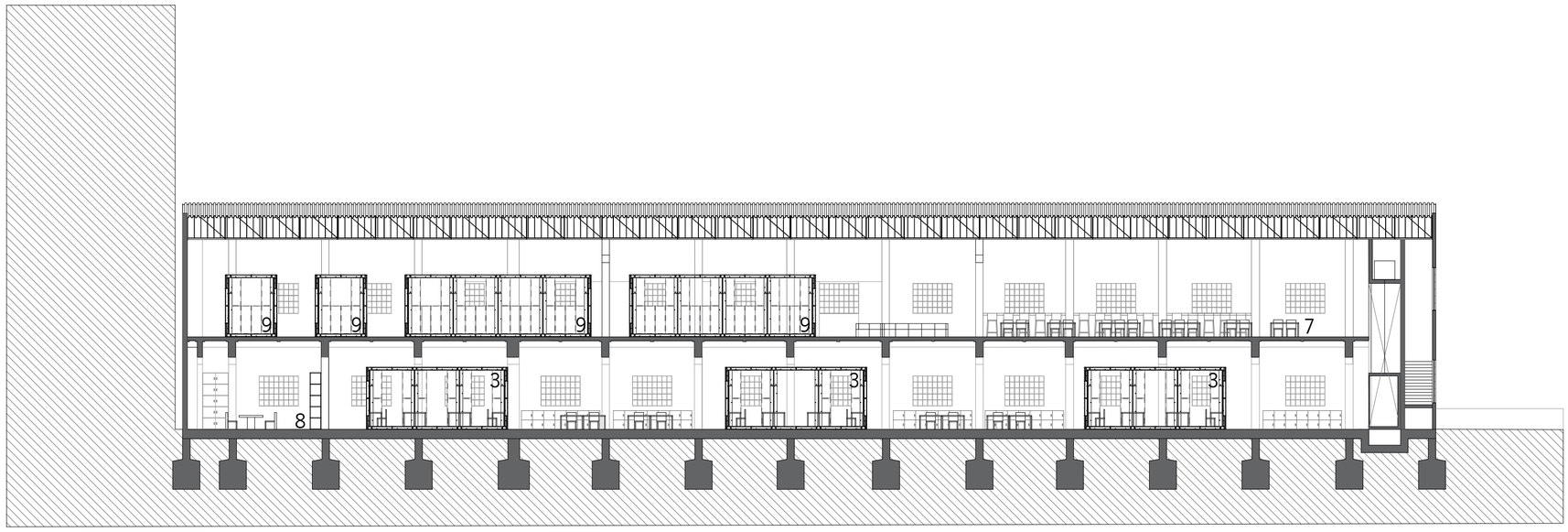
Alçado Este



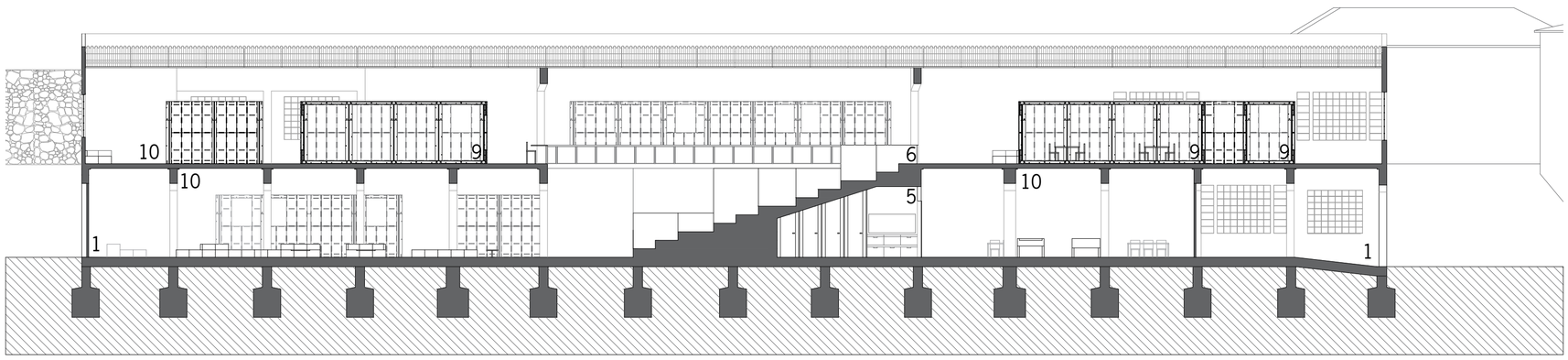
Alçado Oeste

Entre Permanência e Transformação:
Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

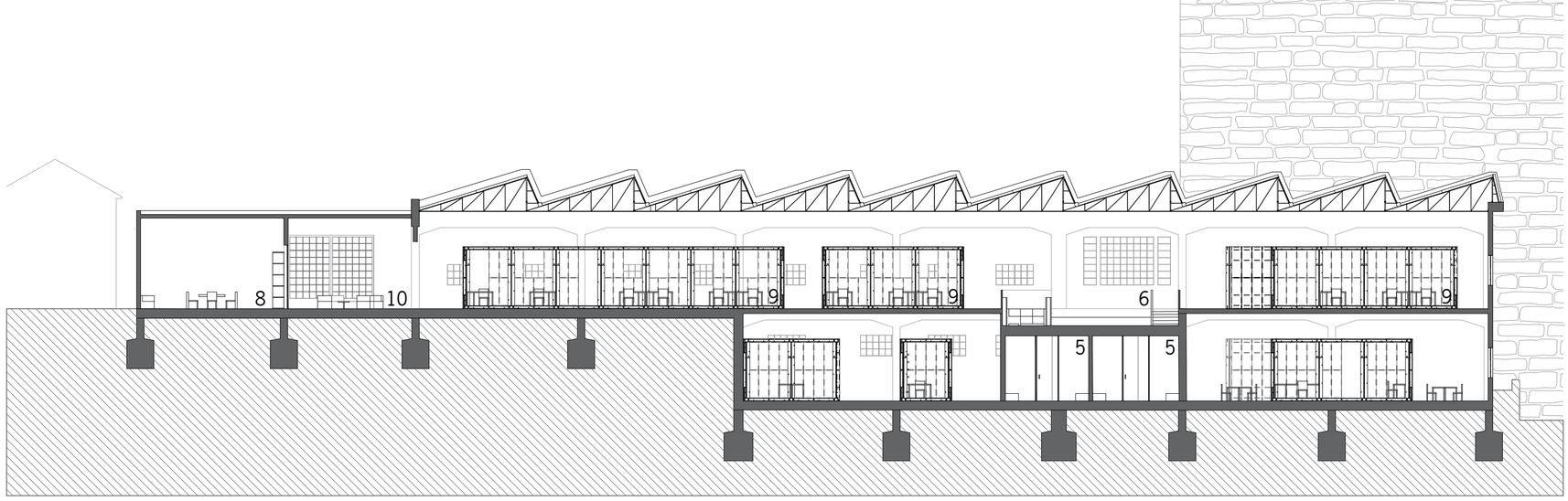
Universidade do Minho	MIARQ/5º ano
Alçados	Escala 1:200
Inês Castelar Silva	A95060
Folha 04	Julho 2026



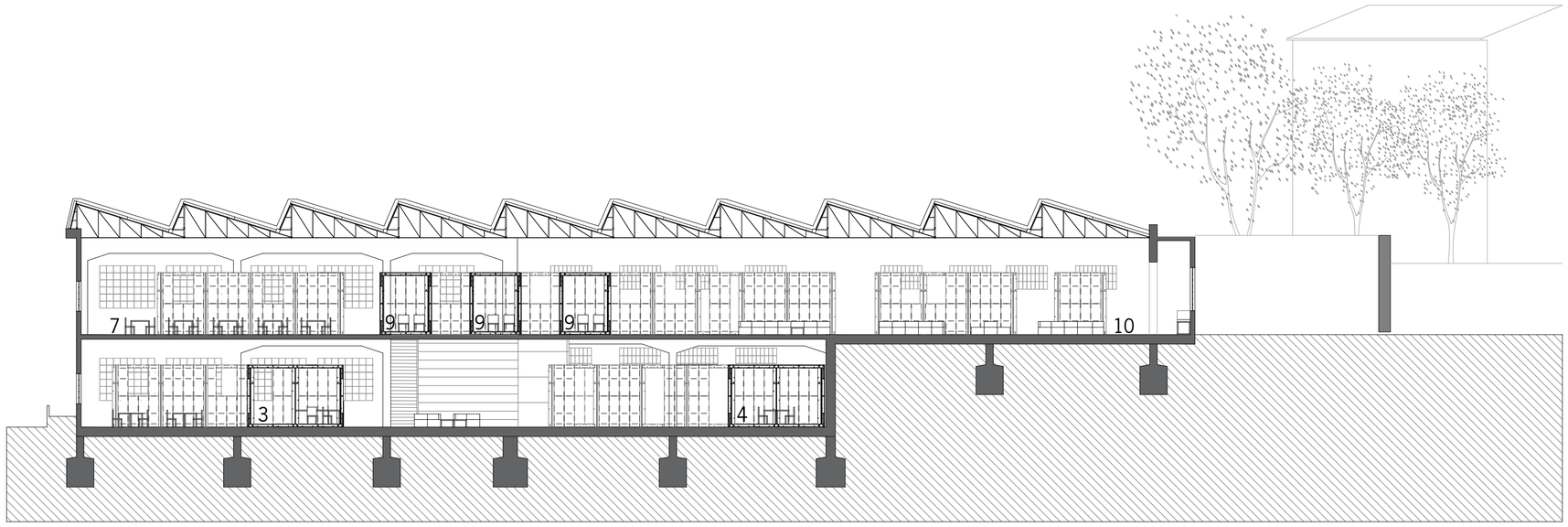
Corte A



Corte B



Corte C



Corte D

Legenda 02

1.Entrada
2.Receção
3.Espaço de Trabalho Individual
4.Espaço de Trabalho em Grupo
5.Instalações Sanitárias
6.Anfiteatro
7.Zona de Refeição
8. Salas de Reunião
9.Unidades Empresariais
10.Espaços de Convívio
11.Salas Técnicas
12.Arrumos

Entre Permanência e Transformação:
Sistemas Modulares em Madeira para Espaços Reversíveis

Universidade do Minho	MIARQ/5º ano
Cortes	Escala 1:200
Inês Castelar Silva	A95060
Folha 05	Julho 2026