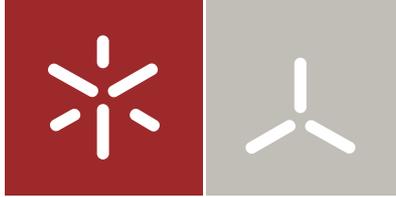


Universidade do Minho
Escola de Arquitectura, Arte e Design

Cláudio Meireis

Sistema pré-fabricado à base de madeira para
a reabilitação sustentável da envolvente dos
edifícios de betão armado
O caso do Bairro Social de Darque



Universidade do Minho
Escola de Arquitectura, Arte e Design

Cláudio Meireis

Sistema pré-fabricado à base de madeira para
a reabilitação sustentável da envolvente dos
edifícios de betão armado
O caso do Bairro Social de Darque

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Arquitectura
Área de Construção e Tecnologia

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Carlos Alberto Maia Domínguez
Professor Doutor Jorge Manuel Gonçalves Branco

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.



Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta investigação só foi possível com o apoio de pessoas e instituições que me foram acompanhando ao longo deste percurso. Neste sentido, serão mencionados aqueles a quem eu agradeço pela sua contribuição, de forma direta ou indireta, na realização deste trabalho. A sua disposição não se encontra por ordem de relevância.

À família e aos amigos pelo apoio e incentivo ao longo de todo o meu percurso académico.

À Joana pela sua constante preocupação e por me manter motivado durante este período.

Aos orientadores Professor Doutor Carlos Maia (EAAD) e Professor Doutor Jorge M. Branco (DECivil) pela dedicação e ajuda, fundamentais, no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana pela disponibilização de desenhos e peças escritas acerca do Bairro Social de Darque. Um especial agradecimento ao arquiteto Mário Garrido pela sua disponibilidade e pela procura incessante de informações nos arquivos.

Aos moradores do Bairro Social de Darque por me acolherem e permitirem o acesso às suas habitações, sem o qual não seria possível a elaboração desta dissertação.

A todos um sincero obrigado.

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.

RESUMO

Em Portugal, grande parte do parque edificado foi construído nas décadas de 70 e 80, sendo os edifícios dos anos 60 e 70 os que apresentam maior número de anomalias e menor qualidade de construção e, portanto, com pior desempenho energético devido à falta de legislação. A reabilitação destes edifícios permite corrigir e melhorar a sua eficiência energética e, com isso, promover um parque imobiliário mais sustentável.

Atualmente, a maioria das soluções aplicadas na reabilitação são de baixo custo e focam-se unicamente no aumento da eficiência energética das construções. Por isso, recorre-se ao sistema ETICS e substituição das caixilharias existentes, por outras com melhor desempenho térmico e de vedação.

Neste sentido, combinando a reabilitação da envolvente dos edifícios com o confinamento derivado da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2 e os problemas ambientais atuais, o objetivo desta investigação é desenvolver um sistema pré-fabricado à base de madeira, capaz de melhorar o desempenho energético e a segurança estrutural das construções, resolver as anomalias preexistentes baseado em princípios sustentáveis e incorporar valor espacial e de conforto.

Para isso, o Bairro Social de Darque, localizado em Viana do Castelo, foi escolhido como caso de estudo devido ao seu mau estado de conservação. Além disso, parte do complexo habitacional encontra-se num processo de reabilitação, em que está a ser aplicado o sistema ETICS, tornando possível comparar este sistema com a proposta desenvolvida nesta dissertação.

PALAVRAS-CHAVE:

Eficiência energética | Material natural | Resiliência estrutural | Transformação arquitetónica

ABSTRACT

In Portugal, a large part of the building stock was built in the 70's and 80's, being buildings dated from the 60's and 70's the ones with most anomalies and less quality of construction and, therefore, with the worst energy performance due to the lack of legislation. The renovation of those buildings makes it possible to correct and improve their energy efficiency and with that, to promote a more sustainable building stock.

Currently, most of the solutions applied in rehabilitation are low-cost and focus exclusively on increasing the energy efficiency of buildings. Thus, the ETICS system is used and the existing window frames are replaced by others with better thermal and sealing performance.

In this regard, combining renovation of the building's envelope with the confinement derived from the pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus and the current environmental problems, the goal of this investigation is to develop a wood-based prefabricated system, capable of improving the energy performance and structural safety of buildings, solving preexisting anomalies based on sustainable principles and incorporating spatial and comfort value.

To that end, the Bairro Social de Darque, located in Viana do Castelo, was chosen as case study due to its poor state of conservation. Moreover, part of the housing complex is undergoing a process of renovation, in which the ETICS system is being applied, making it possible to compare it with the proposal developed in this thesis.

KEYWORDS:

Energy efficiency | Natural material | Structural resilience | Architectural transformation

ÍNDICE

INTRODUÇÃO

Tema e Problemática	p. 5	p. 1
Objetivos	p. 7	
Organização	p. 9	

01 CONHECER

Estado da Arte	p. 13	p. 11
Caracterização das tipologias construtivas em Portugal		
Prática atual da reabilitação de edifícios em Portugal		
Reabilitação através de soluções de revestimentos pré-fabricados		
Reabilitação através de soluções de fachada dupla e exoesqueleto		
Reabilitação através de soluções à base de madeira		

02 CARACTERIZAR

Contexto	p. 33	p. 31
Tipos de materiais à base de madeira	p. 37	
Resistência ao fogo	p. 39	
Estrutura	p. 41	
Camadas da envolvente exterior	p. 43	
Ciclo de vida	p. 47	

03 CASO DE ESTUDO

Cronologia	p. 53	p. 51
Enquadramento	p. 55	
Sistema construtivo	p. 57	
Anomalias	p. 65	

04 INTERPRETAR

Cobertura	p. 71	p. 69
Galeria exterior	p. 73	
Áreas privadas	p. 75	
Áreas sociais	p. 77	
Incidência solar	p. 79	

05 FORMALIZAR

Proposta	p. 83	p. 81
Detalhes construtivos	p. 97	

CONCLUSÃO

Considerações finais	p. 107	p. 105
Referências	p. 111	

ABREVIATURAS

BIM (Building Information Modeling)
CLT (Cross-Laminated Timber) ou MLCC (Madeira Lamelada Colada Cruzada)
CMVC (Câmara Municipal de Viana do Castelo)
CP (Comboios de Portugal)
DGEMN (Direção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais)
DGSU (Direção-Geral dos Serviços de Urbanização)
ELPRE (Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios)
EN13 (Estrada Nacional 13)
EPS (Expanded Polystyrene insulation)
ETICS (External Thermal Insulation Composite System)
FFH (Fundo de Fomento da Habitação)
glulam ou MLC (Madeira Lamelada Colada)
IGAPHE (Instituto de Gestão e Alienação do Património Habitacional do Estado)
IHRU (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana)
INH (Instituto Nacional da Habitação)
ITICS (Internal Thermal Insulation Composite System)
LVL (Laminated veneer lumber)
MDF (Medium Density Fiberboard)
nZEB (Nearly Zero Energy Buildings)
ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável)
OSB (Oriented Strand Board)
PCM (Phase Change Materials)
RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios)
REFER (Rede Ferroviária Nacional)
RSA (Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes)
RSCCS (Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos)
SCE (Sistema de Certificação Energética dos Edifícios)
SIPA (Sistema de Informação para o Património Arquitetónico)
UE (União Europeia)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. “Perdas de calor pela envolvente” adaptado de <u>fonte: Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. p. 2</u>	p. 4
Figura 2. “Organização da dissertação”	p. 8
Figura 3. “Estrutura do Estado da Arte”	p. 10
Figura 4. “Evolução das tipologias construtivas em Portugal” adaptado de <u>fonte: FAGULHA, João. 2016</u>	p. 12
Figura 5. “Gráfico com a percentagem dos edifícios construídos Antes e Depois do RSA”	p. 14
Figura 6. “Instalação de janelas de alto desempenho e composição do sistema ETICS” <u>fonte: WWW<URL:https://wxfieldguide.com/mo/MOWxFG/WindowsDoors/WindowReplacement Specifications.htm> ; <URL:https://pasoroblesglass.com/retrofit-windows> ; SILVA, Pedro Manuel. 2013</u>	
Figura 7. “Injeção de isolamento térmico na cavidade de paredes duplas” <u>fonte: WWW<URL:https://nia-uk.org/understanding-insulation/cavity-wall-insulation/with-polyurethane-foam-pu-foam></u>	p. 16
Figura 8. “Isolamento térmico pelo interior” <u>fonte: WWW<URL:https://hornbach.de/shop/Multipor-Schleifbrett-400-x-180-mm/8473190/artikel.html></u>	
Figura 9. “Argamassa com melhor desempenho térmico” <u>fonte: WWW<URL:https://archiexpo.cn/prod/latelite-s-p-a/product-82422-1533768.html></u>	
Figura 10. “Elementos que compõem o sistema BRESAER” <u>fonte: WWW<URL:http://bresaer.eu/about</u>	p. 18
Figura 11. “Solução de fachada dupla adicionada externamente e conectada à estrutura de betão armado existente” <u>fonte: MANFREDI, Vincenzo. 2018</u>	p. 20
Figura 12. “Representação do sistema Pro-GET-onE” <u>fonte: FERRANTE, Annarita. 2018</u>	
Figura 13. “As cinco soluções morfo-tecnológicas” <u>fonte: BELLINI, Oscar. 2020</u>	p. 22
Figura 14. “Antes e Depois do projeto <i>Transformation de 530 logements</i> , Lacaton & Vassal” <u>fonte: LACATON & VASSAL. 2017</u>	p. 24
Figura 15. “Axonometria representativa dos espaços adicionados” <u>fonte: <i>Ibid</i></u>	
Figura 16. “Processo de instalação dos módulos BERTIM” <u>fonte: European Commission. 2019</u>	
Figura 17. “Elementos que compõem o sistema proposto por Margani” <u>fonte: MARGANI, Giuseppe. 2020</u>	p. 26
Figura 18. “Representação da estrutura de madeira do sistema Pro-GET-onE” <u>fonte: OTT, Stephan; KRECHEL, Marco. 2018</u>	p. 28
Figura 19. “Pertinência do Sistema Pré-fabricado Proposto”	
Figura 20. “Características do sistema pré-fabricado proposto”	p. 30
Figura 21. “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” <u>fonte: WWW<URL:https://ods.pt></u>	p. 32
Figura 22. “Principais produtos de madeira maciça e materiais à base de madeira” editado de <u>fonte: KAUFMANN, Hermann ; KRÖTSCH, Stefan ; WINTER, Stefan. 2018. p. 19</u>	p. 34 p. 36
Figura 23. “Representação do processo de carbonização de uma estrutura de madeira maciça”	p. 38
Figura 24. “Representação do encapsulamento de uma estrutura de madeira maciça”	
Figura 25. “Tipos de abordagens consoante a altura dos edifícios”	
Figura 26. “Tipos de pré-fabricação de elementos estruturais”	p. 40
Figura 27. “Combinação de vários elementos estruturais em madeira” adaptado de <u>fonte: KAUFMANN, Hermann ; KRÖTSCH, Stefan ; WINTER, Stefan. 2018. p. 40</u>	
Figura 28. “Axonometria representativa das camadas estruturais e funcionais da envolvente exterior Revestimento”	p. 42

Figura 29. “Axonometria representativa das camadas estruturais e funcionais da envolvente exterior habitável Envolvente habitável”	p. 44
Figura 30. “Processo fechado da produção de CLT”	p. 46
Figura 31. “Ciclo de vida da madeira”	
Figura 32. “Processos de Produção, Transformação, Conceção e Construção”	p. 48
Figura 33. “Fotografias do Bairro Social de Darque”	p. 50
Figura 34. “Cronologia”	p. 52
Figura 35. “Esquema representativo do contexto urbano”	p. 54
Figura 36. “Planta de localização dos lotes do Bairro Social de Darque”	
Figura 37. “Módulos que compõem o Bairro Social de Darque”	
Figura 38. “Axonometria representativa da malha estrutural do lote 4”	p. 56
Figura 39. “Desenhos originais da estrutura de betão armado” <u>fonte: Arquivo IHRU</u>	p. 57
Figura 40. “Tipologia T3”	p. 58
Figura 41. “Tipologia T2”	
Figura 42. “Tipologia T4”	
Figura 43. “Fissuração na platibanda”	
Figura 44. “Axonometria representativa do sistema construtivo”	p. 60
Figura 45. “Mapa de acabamentos do Bairro Social de Darque” <u>fonte: Arquivo IHRU</u>	p. 61
Figura 46. “Corte fachada do Módulo A - Atual”	p. 62
Figura 47. “Anomalias mais comuns no Bairro Social de Darque”	p. 64
Figura 48. “Alçado norte do lote 4”	p. 66
Figura 49. “Identificação das anomalias presentes no alçado norte do lote 4”	
Figura 50. “Principais fontes de ruído - EN13 e Linha Férrea”	p. 68
Figura 51. “Identificação das áreas estudadas”	
Figura 52. “Esquemas de possibilidades para a cobertura”	p. 70
Figura 53. “Esquemas de possibilidades para a galeria exterior”	p. 72
Figura 54. “Esquemas de possibilidades para as áreas privadas”	p. 74
Figura 55. “Esquemas de possibilidades para as áreas sociais”	p. 76
Figura 56. “Esquemas de incidência solar”	p. 78
Figura 57. “Sistema ETICS e Sistema Pré-fabricado Proposto”	p. 80
Figura 58. “Esquema de funcionamento ao longo do ano”	p. 82
Figura 59. “Fotografias da maquete”	p. 84
Figura 60. “Plantas do Módulo A, Sistema ETICS”	p. 88
Figura 61. “Plantas do Módulo A, Sistema proposto”	p. 89
Figura 62. “Planta do Módulo B, Sistema ETICS”	p. 90
Figura 63. “Planta do Módulo B, Sistema proposto”	p. 91
Figura 64. “Corte transversal do Módulo B, Sistema ETICS”	p. 92
Figura 65. “Corte transversal do Módulo B, Sistema proposto”	p. 93
Figura 66. “Corte transversal do Módulo A, Sistema ETICS”	p. 94
Figura 67. “Corte transversal do Módulo A, Sistema proposto”	p. 95
Figura 68. “Axonometria representativa das ligações entre elementos construtivos”	p. 96
Figura 69. “Corte fachada do Módulo B - Sistema ETICS e Sistema proposto”	p. 98
Figura 70. “Corte fachada do Módulo B - Sistema proposto”	p. 100
Figura 71. “Corte fachada do Módulo A - Sistema proposto”	p. 102

INTRODUÇÃO

«As a renewable material grown by the power of the sun, wood offers us a new way to think about our future.»
Michael Green, 2012

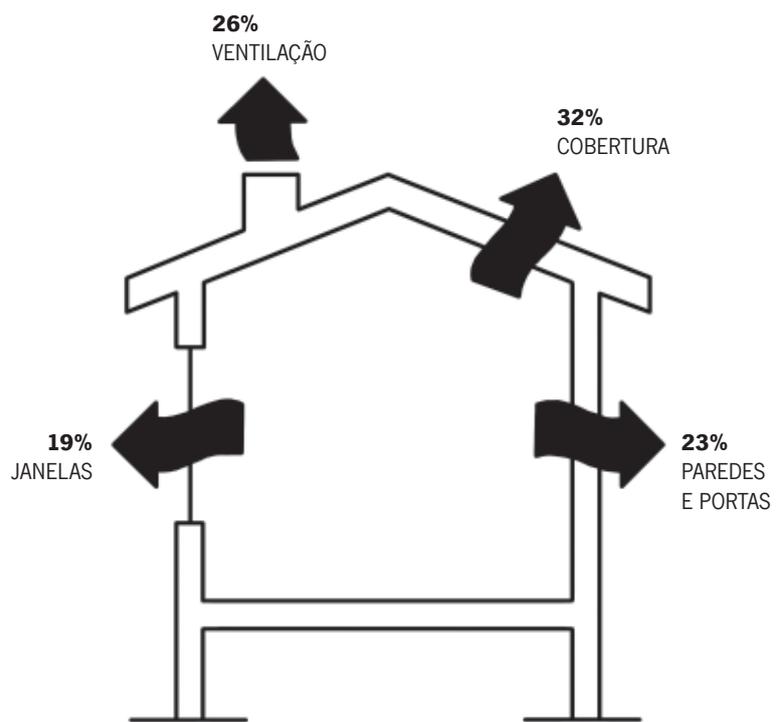


Figura 1. Perdas de calor pela envolvente

TEMA E PROBLEMÁTICA

O tema desta investigação centra-se na pré-fabricação de elementos à base de madeira para a reabilitação da envolvente dos edifícios existentes, em particular edifícios com estrutura em betão armado.

Em 1991, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, entra em vigor o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Esta foi a primeira regulamentação dedicada às questões do conforto térmico e ao consumo de energia, constituindo “um marco decisivo na melhoria da qualidade da construção em Portugal”¹. Com isto, os edifícios passaram a ter que seguir os requisitos previstos pelo regulamento. Importa referir que, os edifícios construídos antes deste período possuíam diversas patologias associadas à falta de legislação e à fraca qualidade de construção e presença de humidade.

Um dos fatores que prejudica o conforto e a qualidade de vida dos habitantes é a ausência de isolamento térmico nos edifícios. Para além de potenciar o aparecimento de patologias, também intensifica as perdas térmicas pela envolvente, reduzindo o conforto térmico e aumentando o consumo de energia.

Segundo o SCE, “uma habitação T3 com 136m² de área útil situada no último piso de um edifício multifamiliar”² apresenta perdas térmicas de 23% pelas paredes e portas, 32% pela cobertura, 19% pelas janelas e 26% pela ventilação. Isto é, grande parte das perdas térmicas é feita através da envolvente dos edifícios. Neste sentido, estas são as zonas onde se deve intervir e reabilitar, a fim de aumentar a eficiência energética e o conforto térmico dos edifícios.

A reabilitação dos edifícios é cada vez mais uma área importante, já que permite salvaguardar grande parte dos elementos construtivos e reduzir a quantidade de demolições, tornando-se mais sustentável. Ou seja, a redução do consumo de energia no fabrico e aplicação dos materiais construtivos permite diminuir as emissões de dióxido de carbono.

«Reabilitar um edifício é uma oportunidade única para alcançar níveis mais elevados de desempenho ambiental, e reduzir o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono necessárias para o seu funcionamento.»³

Segundo Appleton⁴, além das questões ambientais, existem também vantagens económicas na reabilitação quando comparada com a demolição e reconstrução dos edifícios antigos. Destaca-se a redução dos custos de demolição, custos com licenças e taxas e custos de estaleiro, a diminuição das perturbações do tráfego urbano e a redução das quantidades de novos materiais.

«Reabilitar significa, tanto quanto possível, o uso de materiais tradicionais, naturais (madeira, pedra, areia e cal), por oposição ao uso de materiais industriais artificiais como o cimento, o aço, o alumínio, o pvc e outros materiais poliméricos.»⁵

1 ACEPE - **O RCCTE** [Em linha]. Disponível em: WWW<URL:https://acepe.pt/o-rccte/>.

2 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios - **Isolamento de Coberturas**. [Lisboa?]: ADENE, 2016. ISBN 978-972-8646-41-7.

3 MUNARIM, Ulisses ; GHISI, Enedir - **Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 58 (2016), p. 235. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2015.12.334.

4 APPLETON, João - **A Sustentabilidade nos Projectos de Reabilitação de Edifícios**. Encontro Nacional de Engenharia Civil. (2011).

5 *Ibid.* p. 7.

Em Portugal, a solução de reabilitação mais comum caracteriza-se pela aplicação do sistema ETICS e a substituição das caixilharias existentes. Apesar de ser uma estratégia que melhora a eficiência energética a um baixo custo, esta não resolve grande parte dos problemas existentes nos edifícios, como problemas estruturais e problemas de organização interior, sendo necessário aplicar diversas técnicas de reabilitação para corrigir problemas distintos. Neste sentido, propomos um sistema de reabilitação completo capaz de melhorar a eficiência energética, a segurança estrutural e o espaço arquitetónico, através da aplicação de elementos pré-fabricados na envolvente exterior dos edifícios.

Em geral, “a pré-fabricação refere-se ao processo pelo qual os edifícios são planeados e produzidos inteiramente antes da sua instalação efetiva”⁶. Os elementos que estão a ser fabricados fora do local de construção, geralmente, apresentam dimensões normalizadas e padronizadas. Neste sentido, a pré-fabricação marca um afastamento dos processos de construção tradicionais *in situ*.

«Termos como “desmontável”, “modular” e “portátil” costumam ser frequentemente utilizados como “pré-fabricação”. Na verdade, há uma sobreposição considerável: se um edifício for fabricado antes da sua instalação no local, provavelmente terá a capacidade de ser movido, montado e desmontado à vontade.»⁷

6 OSAYIMWESE, Itohan - The Colonial Origins of Modernist Prefabrication. In HARRIS, Dianne, ed. - **Colonialism and Modern Architecture in Germany**. [S.l.] : University of Pittsburgh Press, 2017. ISBN 9780822945086. p. 187-188.

7 *Ibid.* p. 188.

OBJETIVOS

Com a presente investigação pretende-se desenvolver uma solução de reabilitação integrada com base em elementos pré-fabricados de madeira, capaz de melhorar o desempenho energético, a segurança estrutural, a atratividade de mercado e a sustentabilidade.

Para este efeito, é necessário ter em consideração algumas questões, tais como: Qual é o estado atual do parque imobiliário português? Será que as técnicas de reabilitação vigentes são adequadas às necessidades atuais das pessoas? Qual é o potencial construtivo e arquitetónico do sistema proposto e quais os resultados esperados? Qual é o potencial do uso de recursos locais (madeira)?

Assim, os principais objetivos que se pretendem atingir nesta investigação são os seguintes:

- > Compreender o estado atual do parque construído português, em especial as estruturas de betão armado pós-anos 60;
- > Desenvolver um sistema pré-fabricado completo, ecológico e sustentável. Neste sentido, a introdução de elementos à base de madeira contribui fortemente para a mitigação dos problemas ambientais atuais;
- > Explorar o potencial arquitetónico do sistema proposto, possibilitando obter diferentes configurações que melhorem as condições de habitação do edifício existente. Isto é, explorar a qualificação dos espaços interiores, de forma a incorporar ou complementar a habitação preexistente, com novas áreas, hábitos e usos;
- > Promover o uso dos recursos florestais locais.

Com estes objetivos será possível obter o conhecimento necessário para a aplicação do sistema pré-fabricado à base de madeira proposto, contribuindo para um sistema sustentável capaz de renovar a envolvente dos edifícios cuja estrutura é de betão armado.

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

DESENVOLVIMENTO

CONHECER

O QUE EXISTE

CARACTERIZAR

O SISTEMA PROPOSTO

CASO DE ESTUDO

BAIRRO SOCIAL DE DARQUE

INTERPRETAR

AS DIFERENTES SOLUÇÕES

FORMALIZAR

O PROJETO DE REABILITAÇÃO

CONCLUSÃO

CONCLUSÃO

Figura 2. Organização da dissertação

ORGANIZAÇÃO

A presente dissertação estrutura-se três partes: Introdução, Desenvolvimento e Conclusão, sendo que o Desenvolvimento se divide em cinco capítulos: Conhecer, Caracterizar, Caso de Estudo, Interpretar e Formalizar.

A primeira parte tem como objetivo conhecer a prática atual da reabilitação em Portugal, outras soluções existentes no mercado, e soluções de reabilitação que se assemelham ao sistema proposto nesta investigação. Desta maneira, pretende-se obter um panorama geral das técnicas de reabilitação e as suas características.

Após adquirir o conhecimento das várias técnicas existentes de reabilitação, será proposto um sistema pré-fabricado para a reabilitação da envolvente de edifícios de betão armado. Nesta segunda parte, será caracterizada e contextualizada a pertinência do sistema desenvolvido.

Na terceira parte, será apresentado o Caso de Estudo, em que será aplicado o sistema proposto. Para além da sua contextualização histórica e enquadramento, é importante realçar as necessidades formais e construtivas do edifício (anomalias, problemas estruturais) e as necessidades das pessoas (falta de espaço, ambiente de comunidade). Logo, o estudo das tipologias permitirá entender a sua organização interior e, posteriormente, propor soluções adequadas.

No quarto capítulo, serão propostas várias soluções para diferentes partes do edifício. Isto é, pretende-se estudar várias possibilidades que poderão ser utilizadas no projeto de intervenção. Além disso, é apresentado o nível de intervenção associado a cada solução.

Por fim, o quinto capítulo tem como objetivo desenvolver o projeto de reabilitação do Caso de Estudo. Além disso, pretende-se comparar esta intervenção (sistema pré-fabricado proposto) com intervenção que está a decorrer atualmente (sistema ETICS).

Esta divisão está associada ao método e organização do trabalho, ou seja, primeiramente, é feita uma análise ao que existe atualmente na área da reabilitação da envolvente dos edifícios. De seguida, são enunciadas as características do sistema proposto. Depois, é apresentado o Caso de Estudo onde será aplicado o sistema. Posteriormente, são estudadas algumas soluções de intervenção e hipóteses tipológicas. Finalmente, é aplicado todo o conhecimento adquirido numa proposta de reabilitação, permitindo ainda, aprofundar as soluções construtivas referidas anteriormente e comparar com outra técnica de reabilitação. Neste sentido, o conhecimento é formalizado numa proposta de reabilitação, através da caracterização e interpretação do sistema proposto e informação recolhida.

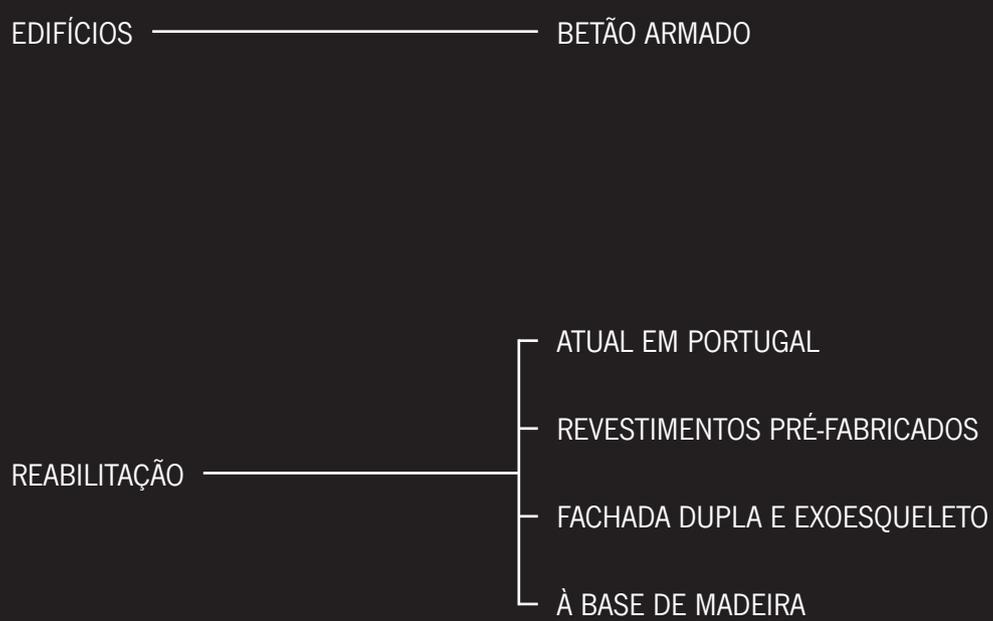


Figura 3. Estrutura do Estado da Arte

01
CONHECER



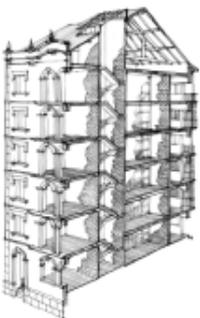
<1755

Antigos edifícios de alvenaria com construção tradicional



1755-1880

Edifícios em alvenaria com construção do tipo Pombalino



1880-1930

Edifícios em alvenaria com construções do tipo Gaioleiro



1930-1960

Edifícios de betão armado com paredes de enchimento em alvenaria



1960-2021

Edifícios de betão armado com paredes de enchimento em alvenaria ou edifícios em betão armado

Figura 4. Evolução das tipologias construtivas em Portugal

ESTADO DA ARTE

CARACTERIZAÇÃO DAS TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM PORTUGAL

De acordo com Sousa¹, existem cinco grupos principais de tipologias construtivas que compõem o parque construído português, nomeadamente, os antigos edifícios em alvenaria com construção tradicional (anterior a 1755), os edifícios em alvenaria com construção do tipo Pombalino (entre 1755 e 1880), os edifícios em alvenaria com construções do tipo Gaioleiro (entre 1880 e 1930), os edifícios de betão armado com paredes de enchimento em alvenaria (entre 1930 e 1960), e os edifícios de betão armado com paredes de enchimento em alvenaria ou apenas edifícios em betão armado (posterior a 1960).

Esta evolução dos sistemas construtivos que compõem os edifícios do parque imobiliário português resultou, principalmente, dos avanços tecnológicos, dos materiais locais e das práticas construtivas, das necessidades das pessoas, e da legislação existente. Segundo Fagulha², a legislação representa uma função importante no setor da construção, visto que está sempre em desenvolvimento devido às variações das “exigências dos modos de vida e do ambiente sócio-económico de cada época”.

O surgimento e experimentação do betão armado na construção, e, em 1918, o primeiro “Regulamento para o emprego do béton armado”, contribuíram substancialmente para a redução da utilização da madeira nos edifícios. Em 1930, foi publicado o Regulamento Geral da Construção Urbana que tinha como objetivo melhorar a qualidade e segurança estrutural dos edifícios. Neste Regulamento era aconselhado “o emprego de elementos de betão armado para garantir o travamento das alvenarias quando não é empregue a armação de madeira (gaiola)”³. Além disso, o artigo 59º referia que:

«Em todos os prédios de mais de 2 pisos, incluindo caves, cujos pavimentos não sejam em betão armado, devem ser construídas cintas com este material em todos os andares, entre o nível das vergas das janelas e o piso do pavimento imediatamente superior.»⁴

A evolução dos métodos construtivos associada à implementação do Estado Novo resultou no surgimento dos “edifícios de Placa”, caracterizados pelas lajes de betão assentes diretamente em paredes portantes em alvenaria de pedra e tijolo. Estas lajes eram de betão armado, e possuíam uma armadura em rede de aço a meio da espessura da laje. As paredes de compartimentação eram geralmente em alvenaria resistente de tijolo furado ou maciço. Ocasionalmente, eram colocadas vigas e pilares de betão armado em locais singulares. Porém, apesar de ser neste período, anos 30, que o betão armado começa a ser introduzido nos edifícios, é nas décadas seguintes que este material domina o setor da construção.

Em 1958, com a publicação do Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos (RSCCS) os edifícios passaram a ter uma estrutura em pórticos de betão armado, preenchidos com alvenaria de tijolo furado nas paredes exteriores e paredes de compartimentação, com pavimentos em laje maciça de betão armado, e com a estrutura da cobertura também em betão armado.

1 SOUSA, Maria Luísa - **Risco Sísmico em Portugal Continental**. Lisboa : Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 2006. Tese de Doutoramento.

2 FAGULHA, João, coord. - **Reabilitação e conservação do património arquitectónico**. Lisboa : Ordem dos Arquitectos Secção Regional Sul, 2016. ISBN 978-972-8897-49-9.

3 SOUSA, Maria Luísa; OLIVEIRA, Carlos; COSTA, Alfredo - Caracterização do parque habitacional de Portugal Continental para estudos de risco sísmico. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Lisboa. n.º 55 (2006), p. 35-50.

4 *Ibid.* p. 44.

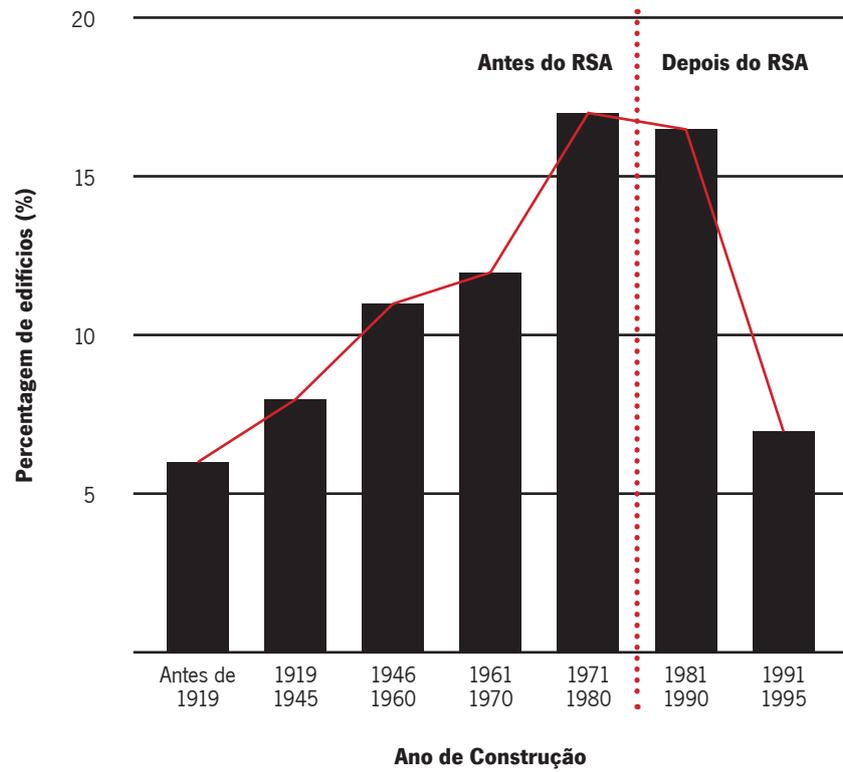


Figura 5. Gráfico com a porcentagem dos edifícios construídos Antes e Depois do RSA



Figura 6. Instalação de janelas de alto desempenho e composição do sistema ETICS

Embora estes edifícios não apresentassem uma resistência a sismos ideal, estes eram menos vulneráveis que os “edifícios de Placa” devido à sua estrutura com uma configuração monolítica.

Em 1983, a publicação do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) permitiu melhorar a qualidade e segurança dos edifícios, através da sua verificação e do aumento das exigências construtivas. Este regulamento foi importante no setor da construção, sendo possível dividir o parque edificado português em dois períodos: antes, e depois do RSA. Como as exigências construtivas aumentaram depois do Regulamento, o número de edifícios construídos reduziu significativamente. Por conseguinte, “a maior parte dos edifícios portugueses foram construídos antes da implementação do RSA”⁵.

De acordo com o Instituto Nacional de Estatística⁶, em 2019 o parque imobiliário português era composto por quase 3,6 milhões de edifícios e 5,9 milhões de habitações. Cerca de 63,1% do parque imobiliário foi construído nas décadas de 70 e 80, mas os edifícios de betão armado com paredes de enchimento em alvenaria datados dos anos 60 e 70 são os que apresentam mais anomalias e menor qualidade de construção e desempenho energético devido à falta de legislação. Neste sentido, estes são os edifícios que mais necessitam de uma intervenção, quer a nível estrutural, quer a nível energético.

PRÁTICA ATUAL DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL

Segundo Pérez-Lombard⁷, nos países desenvolvidos, o consumo de energia nos edifícios residenciais e comerciais está entre 20% e 40% do consumo total de energia, ultrapassando os setores da indústria e do transporte. Em Portugal, o elevado consumo de energia e as elevadas perdas de energia através da envolvente refletem-se na falta de legislação e requisitos térmicos e acústicos, aquando da construção dos edifícios dos anos 60 e 70. De acordo com Salvalai⁸ e Corrado⁹, a reabilitação energética de edifícios residenciais pode atingir grandes reduções no consumo de energia. Com a adição, por exemplo, de isolamento térmico pode levar a reduções nas necessidades de aquecimento em até 70%. Neste sentido, para reduzir o consumo de energia dos edifícios deve-se atuar principalmente na sua envolvente, onde existem mais perdas de energia.

Atualmente, a estratégia mais utilizada para reduzir o consumo de energia dos edifícios é através da melhoria ou substituição das caixilharias existentes (instalação de janelas de alto desempenho, com vidro duplo e sistema de vedação) e através da aplicação de isolamento térmico nas paredes e cobertura. A solução de isolamento térmico mais comum é o sistema ETICS, composto por “placas de isolamento térmico, geralmente EPS, com um reboco delgado armado com redes de fibra de vidro ou

5 FURTADO, André [et. al.] - **Geometric characterisation of Portuguese RC buildings with masonry infill walls**. European Journal of Environmental and Civil Engineering. Vol. 20, n.º 4 (2015), p. 399. DOI 10.1080/19648189.2015.1039660.

6 Instituto Nacional de Estatística - **Estatísticas da Construção e Habitação : 2019**. Lisboa : INE, 2020. Disponível em: WWW<URL:https://www.ine.pt/xurl/pub/443821545>. ISSN 0377-2225. ISBN 978-989-25-0541-1.

7 PÉREZ-LOMBARD, Luis ; ORTIZ, José ; POUT, Christine - **A review on buildings energy consumption information**. Energy and Buildings. Vol. 40, n.º 3 (2008), p. 394. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.

8 SALVALAI, Graziano; SESANA, Marta Maria, IANNACCONE, Giuliana - **Deep renovation of multi-storey multi-owner existing residential buildings: A pilot case study in Italy**. Energy and Buildings. Vol. 148 (2017). ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2017.05.011.

9 CORRADO, Vincenzo; BALLARINI, Ilaria - **Refurbishment trends of the residential building stock: Analysis of a regional pilot case in Italy**. Energy and Buildings. Vol. 132 (2016). ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.06.022.



Figura 7. Injecção de isolamento térmico na cavidade de paredes duplas



Figura 8. Isolamento térmico pelo interior



Figura 9. Argamassa com melhor desempenho térmico

rede sintética e um revestimento adequado como acabamento que pode ser pintado ou revestido de modo a transmitir uma aparência tradicional”¹⁰. Segundo Corrêa¹¹, este sistema é comumente utilizado devido à sua alta eficiência térmica, à correção de pontes térmicas e consequentemente a redução do risco de condensação, à preservação da inércia térmica uma vez que é colocado no exterior do edifício, ao baixo custo de investimento, à aplicação rápida e simples em fachadas com poucos ornamentos arquitetónicos, à comodidade dos ocupantes durante a execução, à área interna que permanece intacta e à proteção contra os agentes atmosféricos visto que funciona como uma barreira protetora. Porém, o sistema ETICS requer obras de manutenção periódicas, não permite a preservação estética de edifícios com valor arquitetónico ou patrimonial, a execução dos remates das esquinas pode ser complexa devido a condicionantes arquitetónicas, apresenta vulnerabilidade a esforços mecânicos (impactos), não possui grande resistência ao fogo devido à combustibilidade do isolamento EPS, a sua execução quando exposta às intempéries pode comprometer o desempenho térmico da solução, e não é adequado para fachadas com humidade ascensional por capilaridade ou fachadas muito porosas. Além disso, é comum o aparecimento de anomalias e problemas de durabilidade com o revestimento do sistema ETICS, normalmente resultantes de uma má aplicação e do subdimensionamento da espessura isolante. Algumas das patologias apresentadas nas reabilitações com revestimento ETICS são:

«Anomalias de rutura de materiais (fissuração orientada, fissuração não orientada, deterioração do revestimento, destacamento da camada de acabamento, perda parcial ou total de aderência), anomalias estéticas (eflorescência, marcas de escoamento, manchas de corrosão, graffiti, crescimento biológico e outras alterações de cor) e anomalias do plano (deficiência do plano, irregularidades da superfície, visibilidade de juntas entre as placas, empolamento da camada de acabamento e empolamento das placas de isolamento).»¹²

Corrêa¹³ também refere que para além do sistema ETICS, as soluções de “injecção de isolamento térmico na cavidade de paredes duplas”, “isolamento térmico pelo interior” e “argamassa com melhor desempenho térmico” também são utilizadas, porém em casos mais específicos. A injeção de isolamento térmico na cavidade das paredes duplas pode ser feita através da injeção de produtos de isolamento em granulado ou espuma (expandido no local). Esta solução é utilizada principalmente quando a fachada é composta por paredes duplas, e pretende-se preservar o aspeto interno e externo original das fachadas. Contudo, esta solução não protege a fachada das ações externas causadas por agentes atmosféricos, não elimina as pontes térmicas, a sua execução pode ter alguma complexidade dependendo das características da fachada, e a eficiência da sua aplicação depende das condições existentes na cavidade. A solução de isolamento térmico pelo interior pode ser feita através do sistema ITICS ou da contra-fachada de alvenaria de tijolo leve ou gesso cartonado. Esta solução pode ser aplicada quando a fachada é composta por uma parede única, e se pretende preservar o aspeto de edifícios antigos com valor arquitetónico ou

10 SILVA, Pedro Manuel - **Avaliação e caracterização de medidas de melhoria energética na reabilitação de edifícios numa perspetiva custo-benefício. Seleção e caracterização de medidas de melhoria da envolvente de edifícios**. Guimarães : Universidade do Minho, 2013. Dissertação de Mestrado.

11 CORRÊA, Diana Maria - **Thermal rehabilitation of the facades of old buildings**. Lisboa : Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 2016. Dissertação de Mestrado.

12 AMARO, Bárbara [et. al.] - **Inspection and diagnosis system of ETICS on walls**. Construction and Building Materials. Vol. 47 (2013), p. 1259. ISSN 0950-0618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.024.

13 CORRÊA, Diana Maria - **Thermal rehabilitation of the facades of old buildings**. Lisboa : Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 2016. Dissertação de Mestrado.

- 1 PV Film integrated onto the envelope components
- 2 Dynamic window with automated solar blinds
- 3 Multifunctional insulation panel + Nanocoating
- 4 Lightweight ventilated façade module
- 5 Solar thermal air component
- 6 BRESAER structure
- 7 Traditional insulation layer
- 8 Existing envelope

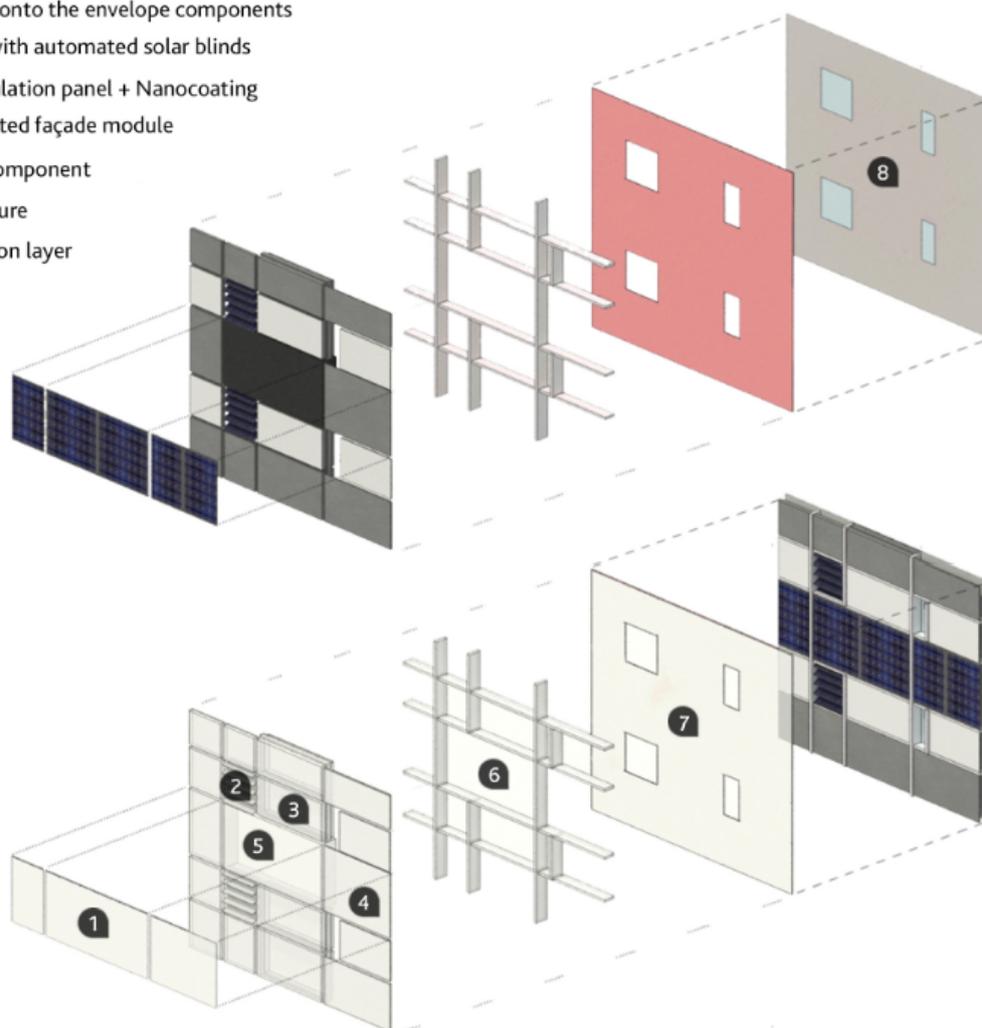


Figura 10. Elementos que compõem o sistema BRESAER

patrimonial. Porém, com esta solução existem algumas desvantagens, como a redução da área interna, os constrangimentos para os ocupantes durante a sua execução, a eliminação da inércia térmica da parede existente e a permanência das pontes térmicas. A solução de argamassa com melhor desempenho térmico pode ser aplicada no revestimento externo ou interno da fachada. Embora esta solução aumente as propriedades acústicas das fachadas, seja executada mais facilmente e seja permeável ao vapor de água; também apresenta menor eficiência térmica quando comparada com outras soluções.

REABILITAÇÃO ATRAVÉS DE SOLUÇÕES DE REVESTIMENTOS PRÉ-FABRICADOS

Como alternativa ao sistema ETICS, a aplicação de sistemas pré-fabricados na envolvente de edifícios existentes tem-se revelado um sucesso e foi demonstrado por alguns projectos, como o RetroKit e o BRESAER.

O sistema Retrokit¹⁴ é caracterizado pela sua multifuncionalidade, executada através de módulos pré-fabricados na fachada e na cobertura. Estes módulos integram soluções que lidam com aspetos de aquecimento, ventilação, arrefecimento e eletricidade, de forma flexível. O custo geral do seu ciclo de vida é reduzido devido à sua fácil instalação, à simples manutenção, uma vez que as tubagens localizadas nas fachadas são facilmente acessíveis pelo exterior, e devido à sua reciclagem. Visto que os módulos pré-fabricados são aplicados no exterior da fachada, é possível resolver as pontes térmicas, cantos e ligações. Além disso, este sistema melhora a estética, o conforto, o desempenho energético e o valor da propriedade do edifício existente.

O Projeto Europeu BRESAER¹⁵ desenvolveu um sistema de reabilitação pré-fabricado adaptável a diferentes zonas climáticas, através de tecnologias eficientes de energia que variam consoante a localização e tecnologias de controlo inteligentes. Este sistema é composto por um conjunto de elementos estruturais e tecnológicos que se colocam na envolvente dos edifícios, mais precisamente, na parte exterior da fachada e da cobertura, e podem ser adaptados às necessidades de cada edifício. Além da camada de isolamento e da estrutura de suporte, este sistema é composto por coletores solares térmicos de ar aquecido que podem ser colocados nas fachadas e coberturas, painéis de fachada ventilada com o exterior em betão leve, painéis multifuncionais de isolamento com suportes de betão leve, módulos de substituição de janelas capazes de regular o sombreamento e painéis fotovoltaicos que podem ser colocados na envolvente do edifício. “A combinação de soluções pré-fabricadas ativas e passivas permite reduzir a energia primária e as emissões de gases de efeito estufa, melhorando a qualidade ambiental interior”¹⁶.

Atualmente, as soluções passivas mais utilizadas passam pela introdução de dispositivos de proteção solar para as janelas, paredes de Trombe e a maximização da ventilação natural. Um exemplo de solução passiva, é o sistema de fachada ventilada E2VENT¹⁷ que, além de integrar isolamento térmico, também introduz PCM, que ao mudar de estado físico absorve ou libera calor, permitindo controlar passivamente a temperatura ambiente e reduzir 50% das necessidades de energia primária.

14 European Commission - **RetroKit - Toolboxes for systemic retrofitting** [Em linha]. Itália : [s.n.], 2017. Disponível em: [WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/314229/reporting>](https://cordis.europa.eu/project/id/314229/reporting).

15 CAPELUTO, Guedi - **Adaptability in envelope energy retrofits through addition of intelligence features**. Architectural Science Review. Vol. 62, n.º 3 (2019). DOI 10.1080/00038628.2019.1574707.

16 *Ibid.* p. 217.

17 DUGUÉ, Antoine [et. al.] - **E2VENT: An Energy Efficient Ventilated Façade Retrofitting System. Presentation of the Embedded LHTES System**. Procedia Environmental Sciences. Vol. 38 (2017). ISSN 1878-0296. DOI 10.1016/j.proenv.2017.03.093.

REABILITAÇÃO ATRAVÉS DE SOLUÇÕES DE FACHADA DUPLA E EXOESQUELETO

A solução de fachada dupla é geralmente composta por um envidraçado exterior, uma zona intermediária de amortecimento térmico e uma fachada interna. Segundo Lops¹⁸, com esta solução é possível reduzir o consumo de energia e aumentar o conforto térmico, através da reabilitação da envolvente do edifício e da combinação de diferentes tipologias e sistemas ajustáveis, como as condições climáticas, a ventilação e a profundidade. Além disso, com a adição de um sistema de sombreamento, dentro ou fora da fachada dupla e ajustável de acordo com os ângulos da luz solar, os problemas de ofuscamento podem ser evitados e a iluminação natural pode ser uniformemente distribuída no interior do edifício existente. O isolamento acústico também é garantido, uma vez que a fachada exterior funciona como uma barreira contra o ruído, impedindo a sua propagação. Neste sentido, a introdução de uma solução de fachada dupla para a reabilitação de edifícios existentes permite o aumento do conforto térmico, o controlo da luz natural e do encadeamento, o isolamento acústico, a mitigação de ruído e a estabilidade estrutural.

O sistema de exoesqueleto consiste em uma estrutura que suporta outros elementos. Este sistema é normalmente utilizado para suportar salas técnicas e sistemas mecânicos, porém, a sua adaptação à reabilitação da envolvente pode resultar na ampliação do espaço interno do edifício, criando uma maior flexibilidade e adaptabilidade às necessidades das pessoas, bem como melhorando a sua segurança estrutural e eficiência energética. A principal diferença entre a fachada dupla e o exoesqueleto é o seu suporte. A solução de exoesqueleto é suportada pelas suas fundações, enquanto que a solução de fachada dupla é suportada pela estrutura existente, não necessitando de fundações.

Em geral, na maioria dos edifícios existentes, “as paredes de enchimento não estruturais são uma das fontes mais dispersas em termos de perda de calor”¹⁹. Portanto, Manfredi e Masi²⁰ propõem uma solução de fachada dupla com uma nova estrutura porticada de betão armado, com paredes de enchimento não estrutural, adicionada externamente e conectada à estrutura de betão armado existente, para satisfazer os requisitos térmicos e sísmicos. Com esta solução foi possível contribuir para a capacidade de carga lateral em termos de resistência e rigidez, e reduzir o consumo de energia. Feroldi²¹ também propôs uma solução de fachada dupla que permite melhorar a qualidade ambiental interior e urbana, a eficiência energética e o desempenho estrutural, respeitando os princípios de impacto ambiental mínimo, o custo mínimo de reabilitação, com o menor prejuízo para os ocupantes. Esta solução foi concebida como um exoesqueleto: por um lado a estrutura confere aos edifícios existentes a resistência sísmica necessária e a sua instalação de junta-seca não requer fases de construção prolongadas, e por outro lado a solução exterior garante o mínimo impacto sobre os ocupantes durante a reabilitação do edifício e permite futuras alterações funcionais e formais. Além disso, a ampliação da estrutura do edifício existente permite a criação de novas áreas, como novos espaços habitacionais, varandas e estufas solares.

18 LOPS, Camilla - **Integrated solutions for the energy and seismic retrofit of existing buildings**. Barcelona : Universidade Politècnica da Catalunya, 2020. Tese de Doutoramento.

19 MANFREDI, Vincenzo; MASI, Angelo - **Seismic Strengthening and Energy Efficiency: Towards an Integrated Approach for the Rehabilitation of Existing RC Buildings**. Buildings. Vol. 8, n.º 3 (2018). DOI 10.3390/buildings8030036.

20 *Ibid.*

21 FEROLDI, Francesca [et. al.] - **Energy efficiency upgrading, architectural restyling and structural retrofit of modern buildings by means of “engineered” double skin façade**. Proceedings of the 2nd International Conference on Structures & Architecture (ICSA2013). (2013). DOI 10.1201/b15267-253.



Figura 12. Representação do sistema Pro-GET-onE

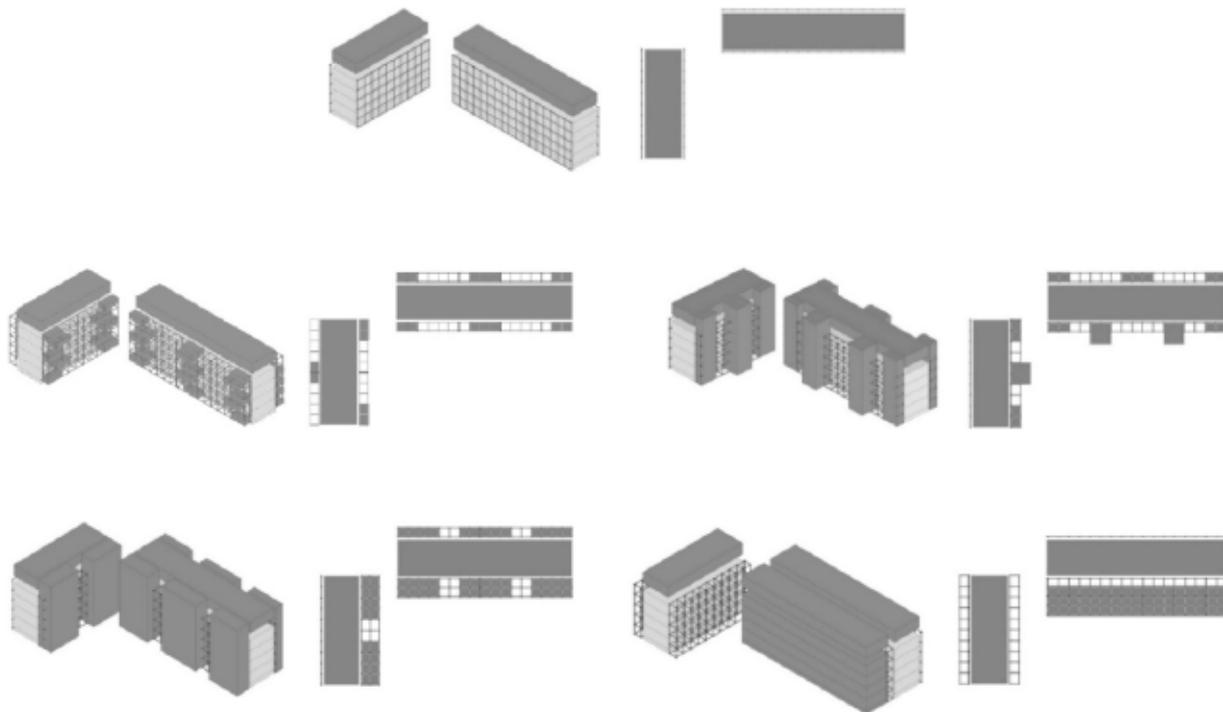


Figura 13. As cinco soluções morfo-tecnopológicas

As melhorias em termos de desempenho energético e segurança estrutural foram investigadas e comprovaram o elevado potencial da arquitetura expansível também numa análise de custo-benefício. O Projecto Europeu Pro-GET-onE²² tem como objetivo “combinar num mesmo sistema holístico e integrado baseado em componentes pré-montados os mais elevados desempenhos em termos de requisitos energéticos, segurança estrutural, sustentabilidade social e atratividade de mercado”.

Este sistema funciona como um exoesqueleto e é constituído por uma estrutura de aço, com duas colunas e uma viga para cada piso, com contraventamentos no sentido transversal, ligados às juntas pilar-viga do edifício existente. Além disso, o sistema Pro-GET-onE propõe a transformação da envolvente do edifício existente com estruturas de reforço externas que proporcionam zonas de amortecimento térmico eficientes e aumentam o seu volume. O desenvolvimento de tipologias flexíveis também foi considerado, através de diferentes soluções com diferentes combinações de fachadas e espaços habitáveis, como varandas, quartos extra e espaços solares. No entanto, as desvantagens que este sistema pode apresentar estão relacionadas com a redução da luz natural devido à profundidade da estrutura do sistema.

Marini²³ também propõe uma solução de exoesqueleto composta por sistemas de segurança estrutural, além de implementar dispositivos tecnológicos que possibilitem a melhoria da eficiência energética, e a qualidade do contexto arquitetónico e urbano.

A utilização do exoesqueleto permite obter várias soluções arquitetónicas, como as *Cinco soluções morfo-tecnológicas* propostas por Bellini²⁴, que consistem em cinco tipologias que podem ser adaptadas às necessidades das pessoas e do edifício; e as estratégias de intervenção no património residencial propostas por Scuderi²⁵, que consistem em conceitos de intervenção que podem ser adotados em função das ideias arquitetónicas e do grau de degradação dos edifícios.

O projeto arquitetónico *Transformation de 530 logements*²⁶, de Anne Lacaton e Jean Philippe Vassal, consiste na transformação de três edifícios de habitação social G, H e I. Neste projeto foi desenvolvido um exoesqueleto metálico com o objetivo de ampliar o espaço interior, e melhorar a eficiência energética e a qualidade do edifício. Com estes módulos pré-fabricados foi possível adicionar novas áreas, como jardins de inverno e varandas, e redesenhar as fachadas do edifício existente. A economia geral do projeto foi baseada na escolha de preservar o edifício existente sem efetuar intervenções importantes na estrutura, nas escadas de circulação vertical e nos pisos. Além disso, o projeto foi pensado de maneira a melhorar o desempenho global da envolvente do edifício, da reconfiguração das circulações verticais e dos corredores de acesso. As janelas e peitoris existentes foram retirados, e foram abertas as paredes

22 FERRANTE, Annarita [et. al.] - **A European Project for Safer and Energy Efficient Buildings: Pro-GET-onE (Proactive Synergy of integrated Efficient Technologies on Buildings' Envelopes)**. Sustainability. Vol. 10, n.º 3 (2018). DOI 10.3390/su10030812.

23 MARINI, Alessandra [et. al.] - **Combining seismic retrofit with energy refurbishment for the sustainable renovation of RC buildings: a proof of concept**. European Journal of Environmental and Civil Engineering. (2017). DOI 10.1080/19648189.2017.1363665.

24 BELLINI, Oscar E. - Adaptive Exoskeleton Systems: Remodelage for Social Housing on Piazzale Visconti (BG). In DELLA TORRE, Stefano [et. al.], eds. - **Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective**. Research for Development. Springer, Cham, 2020. ISBN 978-3-030-33256-3. DOI 10.1007/978-3-030-33256-3_34.

25 SCUDERI, Giuliana - **Adaptive Exoskeleton for the Integrated Retrofit of Social Housing Buildings**. Trento : Universidade de Trento, 2016. Tese de Doutoramento.

26 LACATON & VASSAL - **Transformation de 530 logements** [Em linha]. 2017. Disponível em: WWW<URL:https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.



Figura 14. Antes e Depois do projeto *Transformation de 530 logements*, Lacaton & Vassal

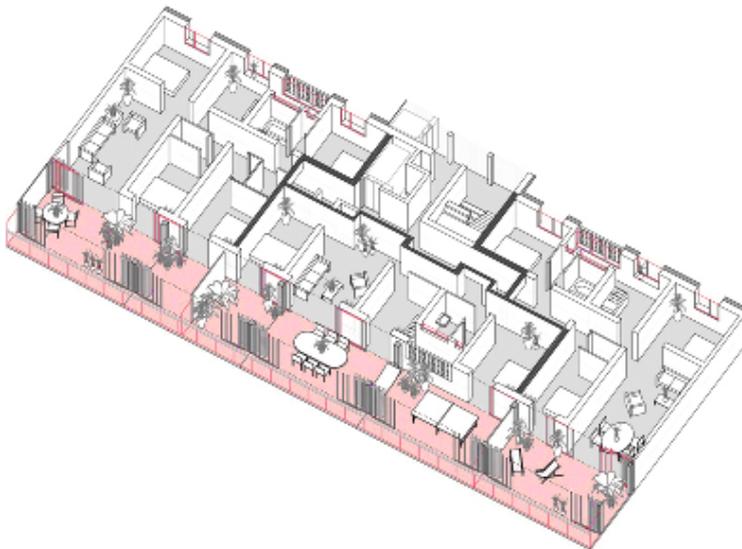


Figura 15. Axonometria representativa dos espaços adicionados

de betão, de forma a introduzir a cortina térmica interior e as portas de correr em caixilho de alumínio, de acesso aos espaços adicionados. Esta intervenção permitiu aumentar a área habitada, com a adição dos jardins de inverno e das varandas, e “melhorar o desempenho energético do edifício em 60%”²⁷. Embora o custo total do projeto tenha sido inferior ao custo estimado da demolição e reconstrução, este permaneceu relativamente alto.

O aumento volumétrico dos edifícios existentes é a principal limitação para os sistemas integrados baseados em exoesqueleto: na verdade, nem sempre é possível devido à falta de espaço perimetral disponível e às restrições legislativas. Este projeto, assim como outros sistemas mencionados anteriormente, atuam na envolvente exterior dos edifícios existentes, melhorando a sua eficiência energética, bem como evitando incomodar os habitantes.

A maioria dos sistemas propostos, como o Pro-GET-onE²⁸, MORE-CONNECT²⁹ e BERTIM³⁰, utilizam pequenos protótipos e maquetes para analisar o seu comportamento para, posteriormente, construir projetos piloto para analisar o seu desempenho e eficiência energética, bem como uma metodologia de avaliação técnico-económica para avaliar o ciclo de vida. A construção destes projetos piloto é feita em diferentes locais, como por exemplo, Grécia, Itália, França, Dinamarca e Estónia, para testar e avaliar o desempenho dos sistemas propostos em diferentes zonas climáticas e sísmicas. Além disso, a “utilização de modelos BIM permite obter um conhecimento mais claro da construção, e evitar erros de projeto e o aumento de custos durante o processo de construção”³¹. Com os projetos piloto é possível identificar e prever estratégias de intervenção, ou seja, em função da qualidade construtiva dos edifícios existentes, é possível desenvolver planos e cenários de intervenção adequados a cada edifício.

Staljanssens³² apresenta uma metodologia com diferentes cenários de intervenção e respetivos desempenhos, que podem ser utilizados em edifícios existentes com diferentes características e necessidades. Embora esta metodologia tenha sido desenvolvida para o sistema de painéis de betão proposto, esta pode ser adaptada a outros sistemas construtivos.

27 Renovate Europe - **Grand Parc Apartment Building, Bordeaux - France** [Em linha]. Disponível em: WWW<URL:https://www.renovate-europe.eu/reday/reday-2019/online-resources/grand-parc-france-e12>.

28 FERRANTE, Annarita [et. al.] - **A European Project for Safer and Energy Efficient Buildings: Pro-GET-onE (Proactive Synergy of inteGrated Efficient Technologies on Buildings' Envelopes)**. Sustainability. Vol. 10, n.º 3 (2018). DOI 10.3390/su10030812.

29 European Commission - **Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for MODular RETrofitting and CONNECTions** [Em linha]. Holanda : [s.n.], 2016. Disponível em: WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/633477/reporting>.

30 European Commission - **Building energy renovation through timber prefabricated modules** [Em linha]. Espanha : [s.n.], 2019. Disponível em: WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/636984/reporting>.

31 *Ibid.*

32 STALJANSSENS, Joni [et. al.] - **Façade Retrofit Strategies. Case Study of the Building Complex K12 of the University Hospital Ghent**. Energy Procedia. Vol. 78 (2015). ISSN 1876-6102. DOI 10.1016/j.egypro.2015.11.032.



Figura 16. Processo de instalação dos módulos BERTIM

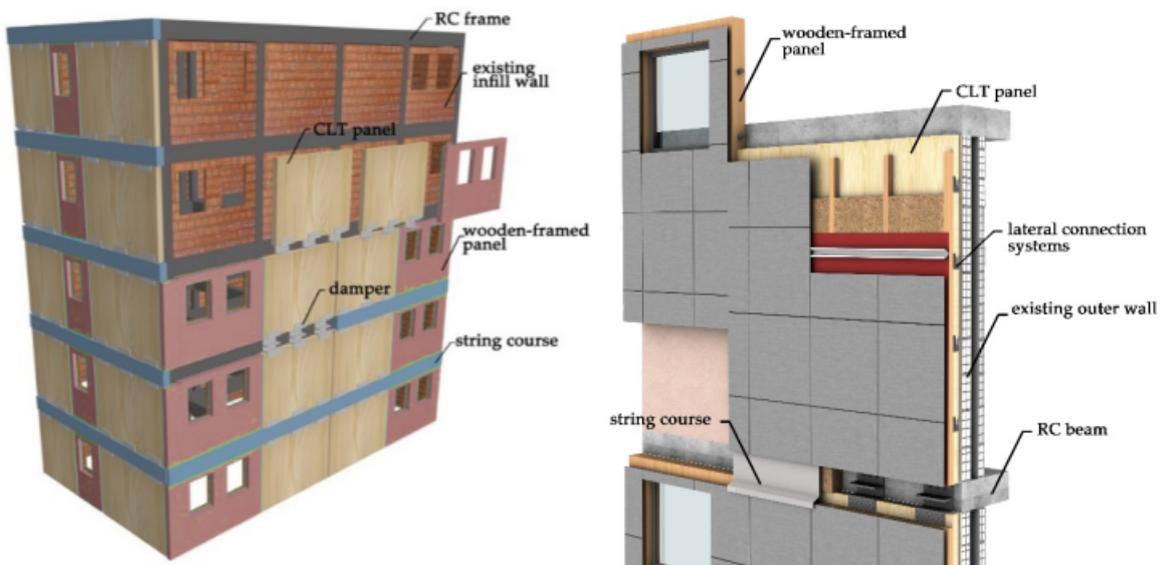


Figura 17. Elementos que compõem o sistema proposto por Margani

REABILITAÇÃO ATRAVÉS DE SOLUÇÕES À BASE DE MADEIRA

A utilização de elementos de madeira na reabilitação energética de edifícios existentes já foi explorada por alguns projetos e sistemas. As soluções de envolvente à base de madeira propostos pela empresa Rubner Holzbau³³ consistem em elementos pré-fabricados que funcionam como um sistema de revestimento das fachadas. Para além de melhorar o conforto térmico e acústico e a proteção contra o fogo, a pré-fabricação dos elementos de madeira permite a redução do tempo de construção, bem como a otimização de custos e a montagem rápida.

Os Projectos Europeus BERTIM e MORE-CONNECT são exemplos de sistemas que exploram a reabilitação de edifícios existentes através da aplicação de módulos pré-fabricados de madeira na fachada. O sistema BERTIM³⁴ é caracterizado pelo processo de reabilitação integrado baseado em “metodologias customizadas de produção em massa suportadas por modelos BIM”. Esta ferramenta permite a redução do tempo de intervenção e torna o processo de reabilitação mais eficiente, através da customização da produção em série, desde a recolha de dados, projeto, fabricação e instalação. O projeto MORE-CONNECT³⁵ é focado no desenvolvimento de soluções de reabilitação profunda com custo otimizado para edifícios nZEB. Para atingir este objetivo, a introdução de materiais naturais, como os elementos de madeira, representa um papel importante, visto que funciona como uma esponja de carbono devido à capacidade de armazenar dióxido de carbono, por ser um recurso natural e renovável, e por possuir baixa energia incorporada³⁶.

A utilização de painéis pré-fabricados permite não só reduzir as perdas de energia através da fachada, mas também facilita a manutenção dos edifícios. O projeto iNSPiRe³⁷ apresenta uma ideia de reabilitação mínima, desenvolvida através de “pacotes de reabilitação” que podem reduzir o consumo de energia primária de um edifício para ventilação, aquecimento/arrefecimento, água quente sanitária e iluminação. Para apoiar as tecnologias e sistemas mecânicos foi utilizada uma estrutura de madeira.

Estes são alguns exemplos da introdução de materiais à base de madeira para a reabilitação energética dos edifícios existentes. No entanto, a utilização de soluções de madeira maciça é uma opção a ser considerada, já que permite aumentar a eficiência energética, a segurança estrutural e a reabilitação arquitetónica dos edifícios existentes. Neste sentido, Margani³⁸ propôs uma solução inovadora de reabilitação energética, sísmica e arquitetónica para edifícios com estrutura de betão armado, com base na adição de painéis de CLT nas paredes exteriores, em combinação com painéis *wood frame*. Este sistema é baseado na ideia de “revestir edifícios existentes com estrutura em betão armado com

33 Rubner Holzbau - **Wood Culture 21: Construction Expertise for Architects, Designers and Building Owners** [Em linha]. [S.l.] : Rubner Ingenieurholzbau, 2016. Disponível em: WWW<URL:https://www.rubner.com/fileadmin/marken/holzbau/Infomaterial/ENG_161202_RH_Wood_Culture21_122016.pdf>.

34 European Commission - **Building energy renovation through timber prefabricated modules** [Em linha]. Espanha : [s.n.], 2019. Disponível em: WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/636984/reporting>.

35 European Commission - **Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for MODular RETrofitting and CONNECTIONs** [Em linha]. Holanda : [s.n.], 2016. Disponível em: WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/633477/reporting>.

36 **Energia incorporada** é a energia total utilizada no processo de construção de um edifício, desde a produção até ao transporte dos materiais.

37 OCHS, Fabian [et. al.] - **Prefabricated Timber Frame Façade with Integrated Active Components for Minimal Invasive Renovations**. Energy Procedia. Vol. 78 (2015). ISSN 1876-6102. DOI 10.1016/j.egypro.2015.11.115.

38 MARGANI, Giuseppe [et. al.] - **Energy, Seismic, and Architectural Renovation of RC Framed Buildings with Prefabricated Timber Panels**. Sustainability. Vol. 12, n.º 12 (2020). DOI 10.3390/su12124845.

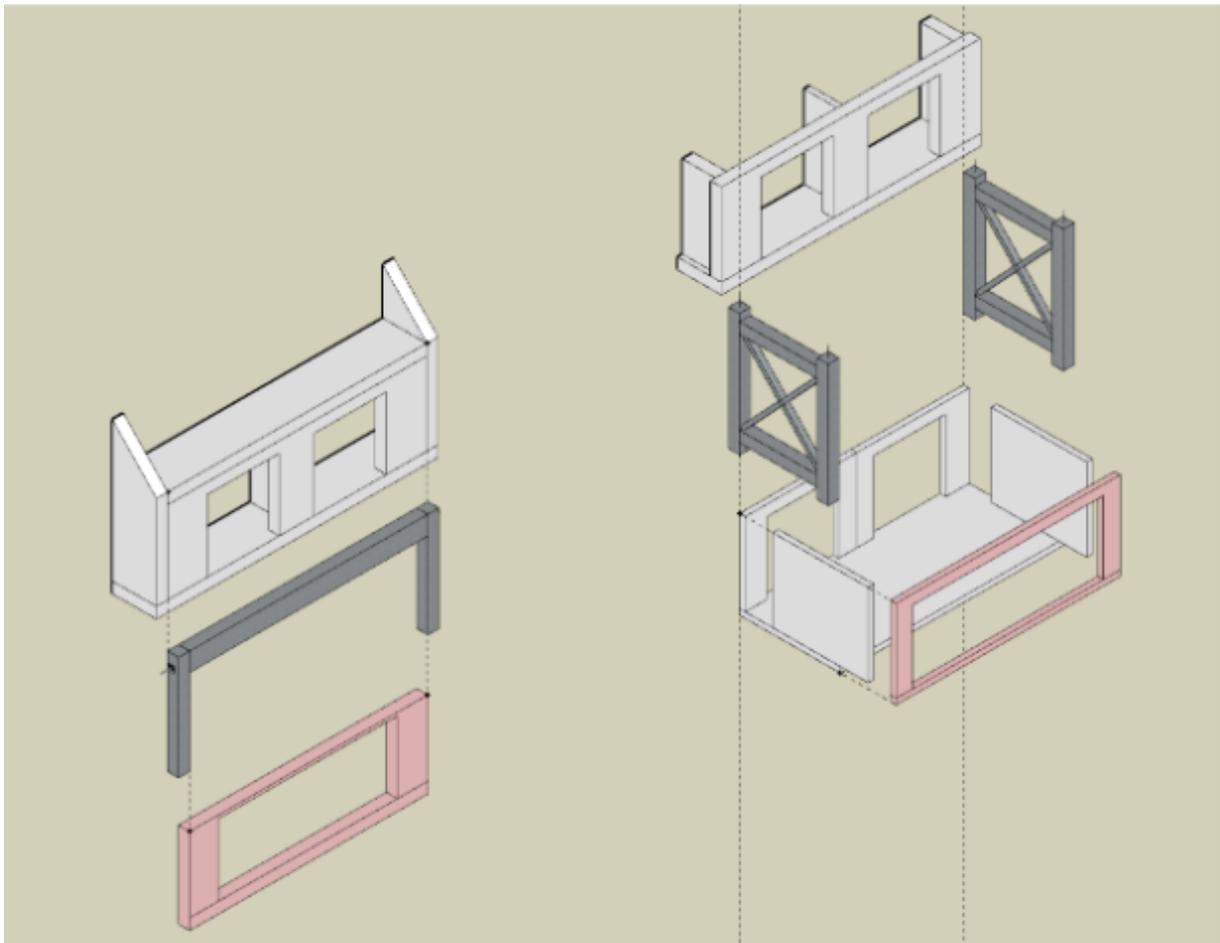


Figura 18. Representação da estrutura de madeira do sistema Pro-GET-onE

uma nova envolvente, composta por elementos pré-fabricados e customizáveis”. O CLT é um material com “alta resistência, rigidez e estabilidade dimensional”, logo, os painéis estruturais de CLT foram combinados com painéis não estruturais pré-montados, que poderiam incluir janelas de alto desempenho para substituir as existentes. Além disso, esta solução utiliza materiais de isolamento biológicos, como cânhamo, cortiça, fibra de madeira e fibra de celulose, e materiais de acabamento, como madeira, cerâmica, pedra, vidro, módulos fotovoltaicos, etc. O suporte dos painéis é feito através de perfis de aço ligados à estrutura de betão armado existente, permitindo uma instalação pelo exterior rápida e fácil, e adaptável aos edifícios com estrutura de betão armado mais comuns. Com esta solução é possível “reduzir o consumo global de energia em cerca de 60%”.

O Projecto Europeu Pro-GET-onE³⁹ propõe também um exoesqueleto com estrutura de madeira pós-tensionada e outros elementos de fachada pré-fabricados, que aumentam a eficiência energética e a segurança estrutural dos edifícios existentes. A construção e aplicação deste sistema pode ser dividida em duas partes: primeiramente, é construída a estrutura de madeira pós-tensionada e, por fim, os elementos de isolamento da fachada são fixados à estrutura.

O uso de CLT, sistemas à base de madeira ou exoesqueletos representa soluções que permitem melhorar os problemas ambientais atuais e eficiência energética, bem como permite responder aos requisitos atuais de reabilitação de instalação rápida, custo-benefício, uso de materiais com baixa emissões de carbono, e reversibilidade. No entanto, não existem muitos estudos e sistemas sobre reabilitações integradas à base de madeira, portanto, o potencial destas soluções deve ser mais investigado.

³⁹ OTT, Stephan; KRECHEL, Marco - **Construction principles of seismic and energy renovation systems for existing buildings**. Technologies Engineering Materials Architecture (TEMA). Vol. 4, n.º 3 (2018). ISSN 2421-4574. DOI 10.17410/tema.v4i3.205.

PROBLEMA

NECESSIDADES

SOLUÇÃO

PANDEMIA
SARS-CoV-2

NOVAS ÁREAS
PROGRAMÁTICAS
FLEXÍVEIS

TELETRABALHO

VIDEO
CONFERÊNCIA

ESPAÇOS
EXTERIORES

EXOSQUELETO

QUESTÕES
AMBIENTAIS

MATERIAIS NATURAIS,
RENOVÁVEIS E
ECOLÓGICOS

MADEIRA

Figura 19. Pertinência do Sistema Pré-fabricado Proposto

02

CARACTERIZAR

SISTEMA PRÉ-FABRICADO PROPOSTO

MATERIAIS

- > Pré-fabricação
- > À base de madeira
- > Sustentável
- > Natural
- > Renovável
- > Ecológico

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

- > Conforto térmico
- > Conforto acústico
- > Qualidade do ar interior
- > Zonas intermediárias de amortecimento térmico

ORGANIZAÇÃO INTERIOR

- > Novas áreas programáticas
- > Resposta ao confinamento provocado pelo vírus SARS-CoV-2
- > Adaptabilidade
- > Flexibilidade

SEGURANÇA ESTRUTURAL

- > Módulos fixos à estrutura de betão armado existente
- > Maior resistência e rigidez

ECONOMIA

- > Atratividade de mercado
- > Aumento do valor imobiliário
- > Diminuição no custo do ciclo de vida
- > Economia de energia

Figura 20. Características do sistema pré-fabricado proposto

CONTEXTO

Atualmente, o sistema ETICS é uma das soluções mais comuns de reabilitação, porém, embora melhore a eficiência energética das construções e seja simples aplicação, intervém unicamente na “pele” do edificado, não resolvendo outros problemas que possam existir. Em geral, a necessidade de grandes investimentos para a reabilitação dos edifícios existentes é também um dos grandes problemas atuais, juntamente com o impacto ambiental e as elevadas quantidades de resíduos de construção e demolição produzidos pelas técnicas convencionais. Os edifícios são “responsáveis por uma grande parte das emissões de dióxido de carbono na UE (36%), e o aquecimento e arrefecimento são responsáveis por 50% do consumo final de energia da UE”¹. Contudo, os sistemas pré-fabricados não só tornam possível reduzir o tempo de obra e o seu custo, como ainda:

«aumentam o seu desempenho ambiental, a segurança no estaleiro, proporcionando também um ambiente mais limpo com redução de desperdícios, o que concorre para um incremento da qualidade do produto final, uma vez que se eliminam em fábrica práticas abusivas que por vezes acontecem em obra.»²

O confinamento derivado da atual pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2 destacou a necessidade de incorporar novas funções e usos às habitações, e sobretudo demonstrou que o modelo habitacional existente assenta numa compartimentação estática e rígida, não comportando as novas necessidades espaciais e programáticas. O modelo de habitação pós-pandemia deve incorporar novas áreas programáticas flexíveis: para teletrabalho, videoconferência, espaços exteriores, entre outros. Neste sentido, as estratégias para a reabilitação de edifícios existentes devem atuar em três áreas distintas: eficiência energética, segurança estrutural e organização espacial. Isso pode ser obtido através do uso de uma fachada dupla ou de um exoesqueleto.

Com o desenvolvimento de novos materiais à base de madeira, como CLT e MLC, surgiram novas possibilidades para intervenções mais sustentáveis e soluções pré-fabricadas. Além de ser um material inovador para a reabilitação de edifícios existentes, também torna os sistemas à base de madeira mais eficientes e sustentáveis, devido à sua capacidade de armazenar dióxido de carbono, por ser um material natural e eficiente e, portanto, contribuir para uma melhor pegada ecológica dos edifícios. Além disso, a durabilidade natural, preservação e tratamento dos elementos maciços de madeira, e o “uso de materiais de revestimentos resistentes ao fogo são aspetos cruciais para prever e desenvolver planos de manutenção”³.

Um aspeto inovador do sistema proposto é que se entende a necessidade de resolver os problemas técnicos e físicos deste tipo de construção, mas também se entende que é através da intervenção na envolvente da construção que se pode responder de forma natural e eficiente aos problemas dos edifícios existentes, ampliação dos espaços interiores e necessidades das pessoas. Neste sentido, propõe-se o desenvolvimento de um sistema pré-fabricado sustentável à base de madeira, que permita resolver estes problemas de forma eficiente, planeada e coordenada.

1 POHORYLES, Daniel A. [et. al.] - **Energy performance of existing residential buildings in Europe: A novel approach combining energy with seismic retrofitting**. Energy and Buildings. Vol. 223 (2020). DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110024.

2 LOPES, Tânia; AMADO, Miguel P. - **Pré-fabricação aplicada ao contexto da reabilitação de edifícios**. 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono.

3 WIMMERS, Guido - **Wood: a construction material for tall buildings**. Nature Reviews Materials. Vol. 2, n.º 17051 (2017). DOI 10.1038/natrevmats.2017.51.



Figura 21. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

O sistema pré-fabricado proposto assemelha-se com algumas soluções de reabilitação referidas anteriormente, como o sistema proposto pelo Projecto Europeu Pro-GET-onE, porém diferencia-se pela sua composição (apenas elementos à base de madeira) e pela sua estrutura de suporte. Como a madeira é um material leve (relação resistência/peso), a sua utilização neste sistema possibilita a ausência de um exoesqueleto, sendo os módulos pré-fabricados suportados pela estrutura de betão armado do edifício existente. Assim, os módulos de madeira adicionados à envolvente habitável vão permitir intervenções mais rápidas e funcionais, vão evitar desocupar os habitantes durante o seu período de construção, e vão aumentar o espaço interior dos edifícios. Além disso, caso as paredes não estruturais estejam danificadas, existe a possibilidade de removê-las e criar um acesso aos espaços adicionados localizados na envolvente do edifício existente.

Esta envolvente natural habitável permite aumentar a luz natural nas divisões, e com a adição de volumes exteriores permite a criação de zonas intermediárias de amortecimento térmico e aumenta o volume do edifício. Os desafios desse sistema podem estar relacionados com as restrições legislativas e com a falta de espaço perimetral, uma vez que a adição de módulos pré-fabricados aumenta o volume do edifício e remove o espaço público exterior. A elaboração deste sistema contribui também para a concretização da Agenda 2030, através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. É importante para o ODS 9 devido à pré-fabricação e racionalização dos elementos construtivos, e consequentemente a valorização das indústrias locais. Além disso, contribui para o ODS 11, pois torna os edifícios mais sustentáveis, reduzindo o impacto ambiental negativo das cidades. A aplicação de elementos à base de madeira na construção do sistema permite aumentar a utilização da madeira local, e consequentemente, contribuir para o OSD 15, porque promove a implantação de uma gestão florestal sustentável, reduzindo o desflorestamento e protegendo a biodiversidade.



Figura 22. Principais produtos de madeira maciça e materiais à base de madeira

- | | |
|---|---|
| a. Madeira maciça | f. Painel de Aglomerado |
| b. Vigas I-joist | g. Painel de MDF - <i>Medium Density Fiberboard</i> |
| c. MLC - Madeira Lamelada Colada | h. Painel Tricapa |
| d. MLCC - Madeira Lamelada Colada Cruzada | i. Painel de madeira maciça |
| e. Painel de OSB - <i>Oriented Strand Board</i> | j. Painel de Contraplacado |

TIPOS DE MATERIAIS À BASE DE MADEIRA

Com os avanços tecnológicos surgiram novos produtos inovadores à base de madeira. Com estes materiais é possível explorar e desenvolver novos sistemas e soluções construtivas, desde estruturas a revestimentos à base de madeira. Alguns destes materiais são os seguintes:¹

MADEIRA MACIÇA |

A madeira maciça é obtida através do corte da árvore, aproveitando o máximo de material.

MADEIRA LAMELADA COLADA |

A MLC - Madeira Lamelada Colada - é obtida através da colagem de lamelas de madeira na horizontal. A MLC é adequada para estruturas de grandes dimensões e grandes vãos.

PAINEL DE OSB ||

Os painéis de OSB - *Oriented Strand Board* - são compostos por lâminas de madeira de resinosas, unidas por uma resina sintética.

PAINEL DE MDF |||

Os painéis de MDF - *Medium Density Fiberboard* - são feitos a partir da aglutinação das fibras de madeira de média densidade com resinas. A superfície dos painéis é lisa, compacta e homogênea.

PAINEL DE MADEIRA MACIÇA |

Os painéis de madeira maciça são compostos por camadas de madeira maciça coladas entre si.

VIGAS I-JOIST |

As vigas I-joist apresentam uma grande resistência em relação ao seu tamanho e peso.

MADEIRA LAMELADA COLADA CRUZADA |

O CLT ou MLCC - Madeira Lamelada Colada Cruzada - é formada por camadas de madeira coladas alternadamente (direção). O CLT caracteriza-se pela sua estabilidade dimensional e resistência.

PAINEL DE AGLOMERADO |||

Os painéis de aglomerado são constituídos por partículas de madeira aglutinadas com resinas. A superfície dos painéis é lisa e uniforme.

PAINEL TRICAPA |

Os painéis tricapa são constituídos por três camadas de madeira coladas com adesivo aplicado a quente. Estes painéis caracterizam-se pela sua estabilidade dimensional e resistência à flexão.

PAINEL DE CONTRAPLACADO ||

Os painéis de contraplacado são obtidos através da colagem de camadas de madeira desenrolada. Estes painéis caracterizam-se pela sua leveza e estabilidade dimensional.

Podem ser aplicados em: | Ambientes secos | Ambientes interiores húmidos | Resistentes ao fogo

¹ Descrição dos materiais in **Banema** [Em linha]. [Consult. 5 Dez. 2020]. Disponível em: <https://banema.pt/pt/produtos>.

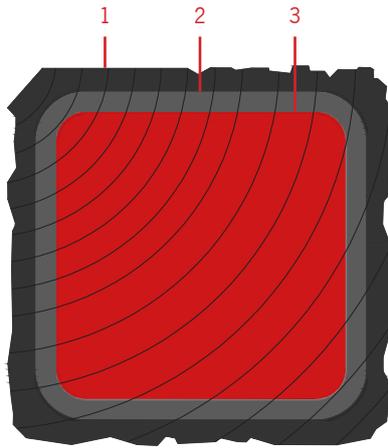


Figura 23. Representação do processo de carbonização de uma estrutura de madeira maciça

1. Camada de carvão (sem capacidade estrutural)
2. Zona de pirólise (sem capacidade estrutural)
3. Secção residual (capacidade estrutural mantida)

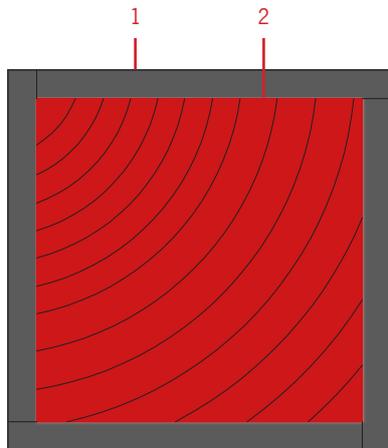
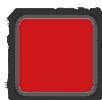


Figura 24. Representação do encapsulamento de uma estrutura de madeira maciça

1. Revestimento resistente ao fogo (e.g. painel de gesso cartonado)
2. Secção da madeira maciça

Carbonização



Encapsulamento

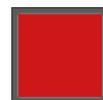


Figura 25. Tipos de abordagens consoante a altura dos edifícios

RESISTÊNCIA AO FOGO

Uma das propriedades da madeira é a sua combustibilidade. Este é um dos principais motivos pelo qual as pessoas, em geral, não se sentem seguras em edifícios com estruturas de madeira, nomeadamente edifícios em altura. Apesar da madeira ser um material combustível, existem duas abordagens distintas que permitem um desempenho suficiente em relação ao fogo de um sistema estrutural de madeira maciça: *charring* (carbonização) e *encapsulation* (encapsulamento).

A carbonização é uma abordagem em que a estrutura do sistema de madeira maciça pode ser exposta dentro do edifício, enquanto que o encapsulamento é uma abordagem em que o sistema é revestido com materiais resistentes ao fogo, como placas de gesso cartonado.

A carbonização é um processo em que, quando exposta ao fogo, a camada externa da madeira atinge o seu ponto de combustão. Nesta reação química, “o calor remove o hidrogénio e o oxigénio da madeira maciça, deixando uma camada de carvão, composta principalmente por carbono”. Esta camada exterior apresenta uma baixa condutibilidade, reduzindo a progressão do fogo. Para além da camada de carvão, também se forma uma zona de pirólise, onde existe a decomposição da madeira, derivado do aumento de temperatura da camada exterior. O núcleo interior da madeira mantém as suas propriedades mecânicas, e apenas é reduzido o seu teor de humidade.

«A longo prazo, à medida que os objetivos de sustentabilidade para projetos de construção aumentam, os sistemas com madeira maciça exposta ganharão impulso e reconhecimento como um sistema de construção “verde” e seguro; no curto prazo, acredita-se que os sistemas com madeira exposta serão usados em menor proporção.»¹

Segundo o livro *Manual of Multi-Storey Timber Construction*², “não é aconselhável utilizar revestimentos resistentes ao fogo ou impregnar a madeira com este tipo de substâncias”. Isto é, normalmente, não existe a necessidade de revestir a estrutura de madeira, para obter uma resistência ao fogo superior, uma vez que é possível utilizar “estruturas sólidas e robustas”. Outra desvantagem do encapsulamento é que os revestimentos afetam a reciclagem subsequente.

Geralmente, a técnica de encapsulamento da estrutura é utilizada para obter uma classificação de resistência ao fogo superior, contudo, a carbonização é uma abordagem cada vez mais aceite como forma de resistência ao fogo e segurança estrutural dos sistemas de madeira. Além disso, ao contrário do encapsulamento, a carbonização permite reduzir o peso e custo de construção, bem como expor a beleza natural da madeira.

O Caso de Estudo é um edifício residencial relativamente baixo (entre 3 e 4 pisos), logo não há a necessidade de revestir a estrutura de madeira do sistema. No entanto, em edifícios de maior dimensão (altura), o encapsulamento deverá ser tido em consideração, a fim de garantir a segurança da estrutura e das pessoas. Logo, quanto mais alto for o edifício a reabilitar, maior deverão ser as exigências de segurança, e conseqüentemente, o revestimento das suas estruturas.

¹ GREEN, Michael - **The Case For Tall Wood Buildings**. 2.ª ed. Vancouver : Blurb, 2018. ISBN 978-1-36-637741-8. p. 126.
² KAUFMANN, Hermann ; KRÖTSCH, Stefan ; WINTER, Stefan - **Manual of Multi-Storey Timber Construction**. Munich: Detail, 2018. ISBN 978-3-95553-395-3. p. 78.

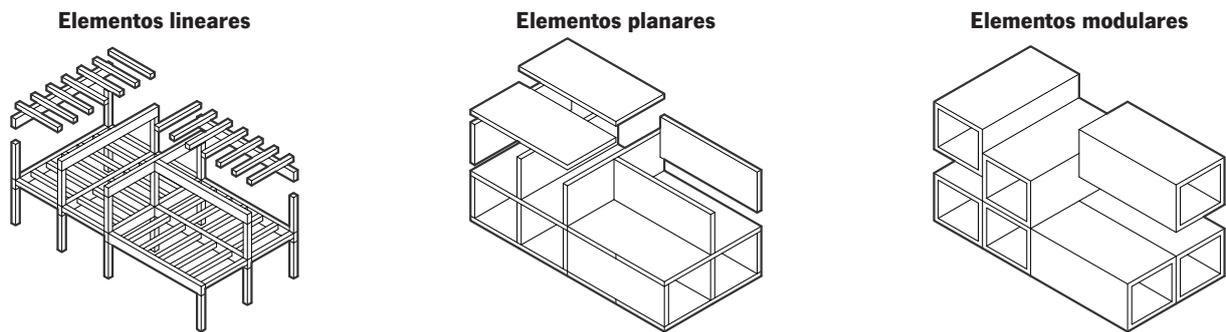


Figura 26. Tipos de pré-fabricação de elementos estruturais

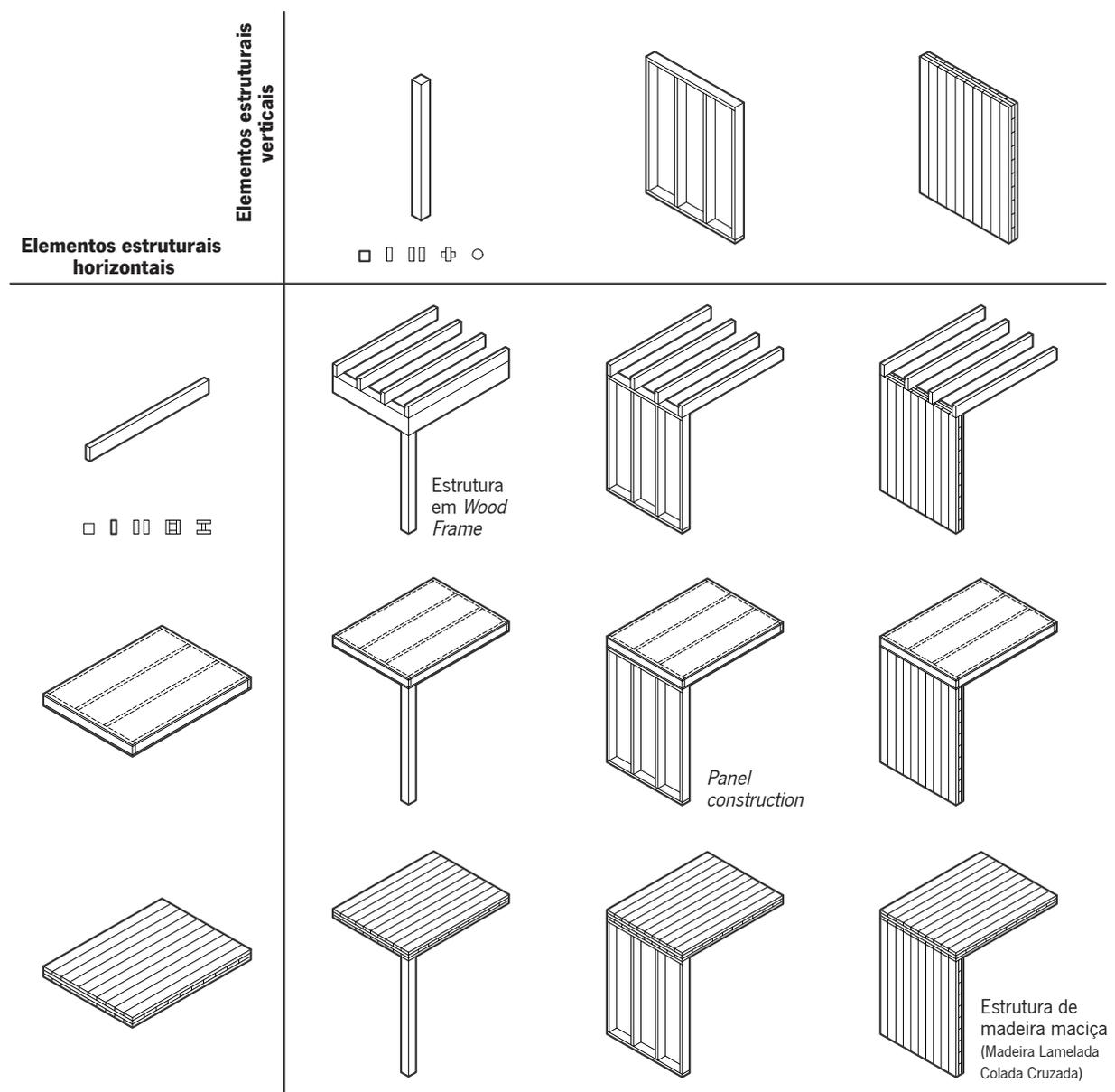


Figura 27. Combinação de vários elementos estruturais em madeira

ESTRUTURA

Os elementos estruturais pré-fabricados podem ser divididos em três tipos, designadamente, os elementos lineares, os elementos planares e os elementos modulares.

A pré-fabricação de elementos lineares, como pilares e vigas, é a mais simples. Este tipo de pré-fabricação é semelhante ao método de construção tradicional em madeira. A utilização de elementos lineares facilita o seu transporte para o local de construção, devido às suas dimensões e elevado grau de compactação.

A pré-fabricação de elementos planares, como paredes, tetos e coberturas, é a mais utilizada na construção de edifícios. Com este tipo de pré-fabricação, é necessário ter em atenção a malha estrutural do edifício, visto que as juntas entre os elementos podem ficar visíveis. Contudo, comparado com a pré-fabricação de elementos modulares, a utilização de elementos planares dá uma maior liberdade na conceção de um edifício, pois é possível construir qualquer módulo com elementos planares.

A pré-fabricação de elementos modulares pode ser utilizada para reduzir ao mínimo o tempo de montagem no local de construção, bem como prever e pré-fabricar as juntas entre divisões. Além disso, os módulos podem já conter móveis fixos e instalações técnicas, em que os tubos e cabos só necessitarão de ser conectados aquando da colocação do elemento modular no local de construção. No entanto, as dimensões de cada elemento modular estão condicionadas às dimensões do veículo de transporte, nomeadamente a sua largura.

Apesar de existirem três tipos de elementos estruturais pré-fabricados, estes podem ser combinados de modo que seja adequado a cada tipo de edifício e construção. Neste sentido, é possível conjugar elementos estruturais verticais com elementos estruturais horizontais, formando sistemas construtivos distintos e mais flexíveis.

Os elementos estruturais verticais e horizontais podem ser organizados em três tipos: lineares, como os pilares e as vigas de madeira maciça ou MLC, que podem apresentar diversos tipos de secção transversal; lineares e planos, que funcionam como estrutura linear, mas existe a progressão para um plano; e maciços, como os painéis maciços de CLT.

De todas as combinações possíveis entre elementos estruturais verticais e horizontais, destacam-se três soluções construtivas: estrutura em *Wood Frame*, composta por elementos lineares; *Panel construction*, composta por elementos lineares e planos; e estrutura de madeira maciça, composta por painéis de CLT.

O sistema pré-fabricado proposto será composto por elementos estruturais verticais lineares (pilares de MLC), de modo a permitir uma continuidade dos espaços. Uma vez que existem edifícios com a envolvente exterior irregular, geralmente provocada pelas varandas, a utilização de elementos estruturais horizontais maciços (laje de CLT) permitirá ajustar-se a qualquer construção, devido ao corte em fábrica da geometria do edifício existente.

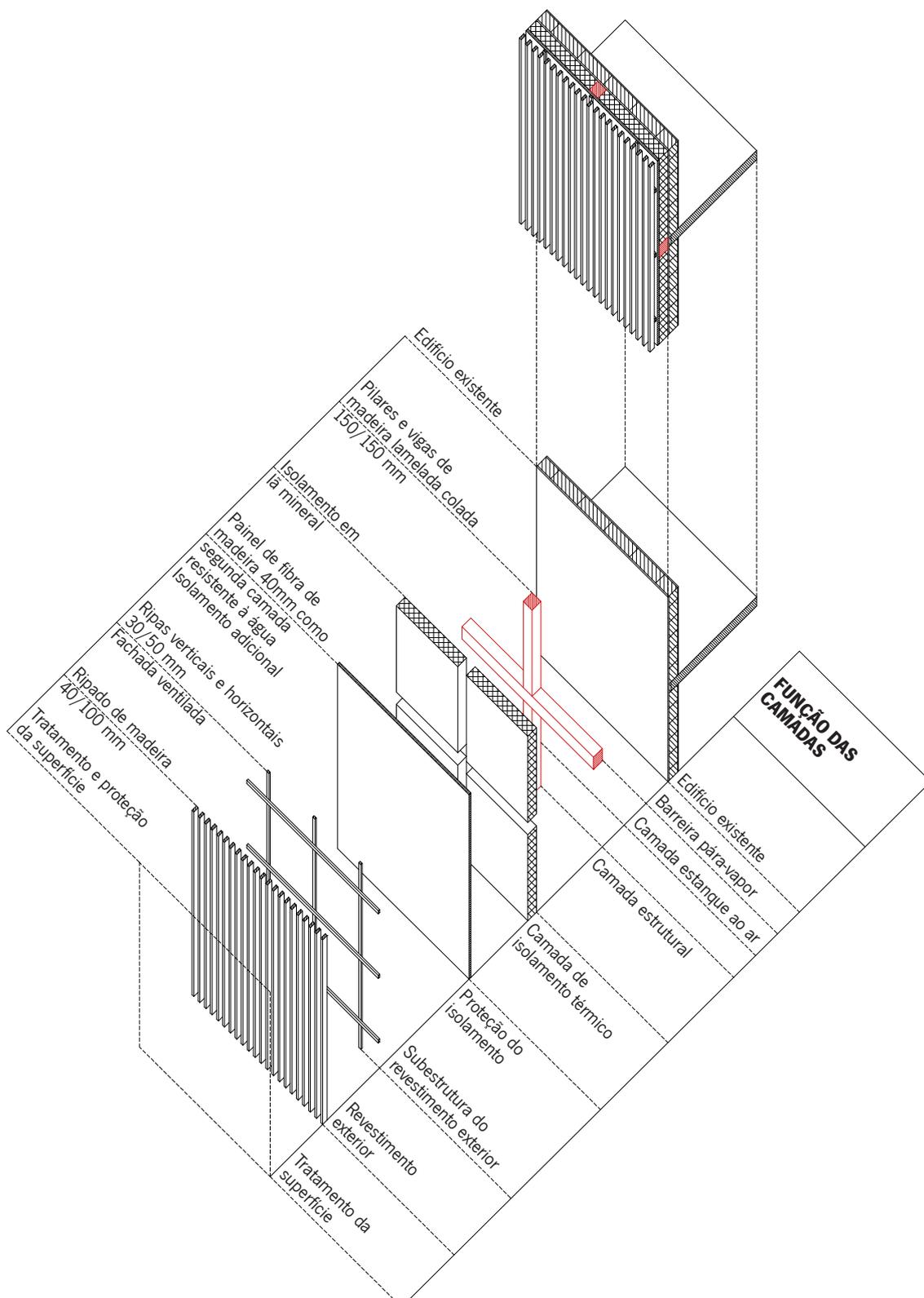


Figura 28. Axonometria representativa das camadas estruturais e funcionais da envolvente exterior | Revestimento

CAMADAS DA ENVOLVENTE EXTERIOR

Atualmente, com as preocupações da União Europeia em mitigar os impactos ambientais e reduzir o consumo energético dos edifícios, surgiram diversas regras legais para promover a renovação do parque construído. Em Portugal, foi criada a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios (ELPRE) com o objetivo de tornar os edifícios existentes em edifícios de desempenho energético muito elevado (nZEB) até 2050.

«Os impactos para o ambiente resultantes dos edifícios derivam principalmente da utilização de materiais que são extraídos da natureza, da sua transformação, e da sua demolição em fim de vida, e derivam ainda da energia necessária à manutenção das condições de conforto térmico e qualidade do ar no interior dos edifícios.»¹

Neste sentido, de modo a reduzir o impacto ambiental dos edifícios, cumprir os requisitos técnicos previstos pela legislação nacional, aumentar a durabilidade dos edifícios e o conforto dos habitantes, é necessário intervir na envolvente dos edifícios com materiais adequados. Assim sendo, a construção da envolvente dos edifícios deverá cumprir alguns requisitos, tais como:

- > Proteger os elementos estruturais das ações climáticas (vento, chuva, neve e radiação solar);
- > Isolar termicamente o edifício, a fim de garantir o conforto térmico dos ocupantes durante os períodos de inverno e de verão;
- > Garantir a estanquidade ao ar;
- > Proteger os elementos estruturais das condensações;
- > Salvar a segurança estrutural dos edifícios quando exposto ao fogo;
- > Reduzir o ruído e garantir o conforto acústico.

Para satisfazer estas exigências, o sistema construtivo deverá ser composto por diversas camadas que desempenham diferentes funções. Na figura 28, apenas estão representadas as camadas presentes nas fachadas, porém “as fachadas e telhados estão sujeitos a requisitos físicos e estruturais idênticos, embora vários requisitos funcionais exijam diferentes sequências de camadas e materiais nos elementos estruturais”². Algumas dessas funções são as seguintes:

- > Revestimento exterior, incluindo tratamento e proteção da superfície e subestrutura de suporte, caso necessário;
- > Camada resistente ao vento / segunda camada resistente à água;
- > Camada de isolamento térmico / acústico;
- > Camada estrutural;
- > Camada estanque ao ar;
- > Camada de barreira pára-vapor;
- > Espaço técnico para a instalação da rede elétrica e rede de águas, caso necessário;
- > Revestimento interior.

¹ Direção-Geral de Energia e Geologia - **Energias Renováveis e Sustentabilidade** [Em linha]. [Consult. 7 Out. 2021] Disponível em: WWW<URL: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/desempenho-energetico-de-edificios>>.

² KAUFMANN, Hermann ; KRÖTSCH, Stefan ; WINTER, Stefan - **Manual of Multi-Storey Timber Construction**. Munich: Detail, 2018. ISBN 978-3-95553-395-3. p. 92.

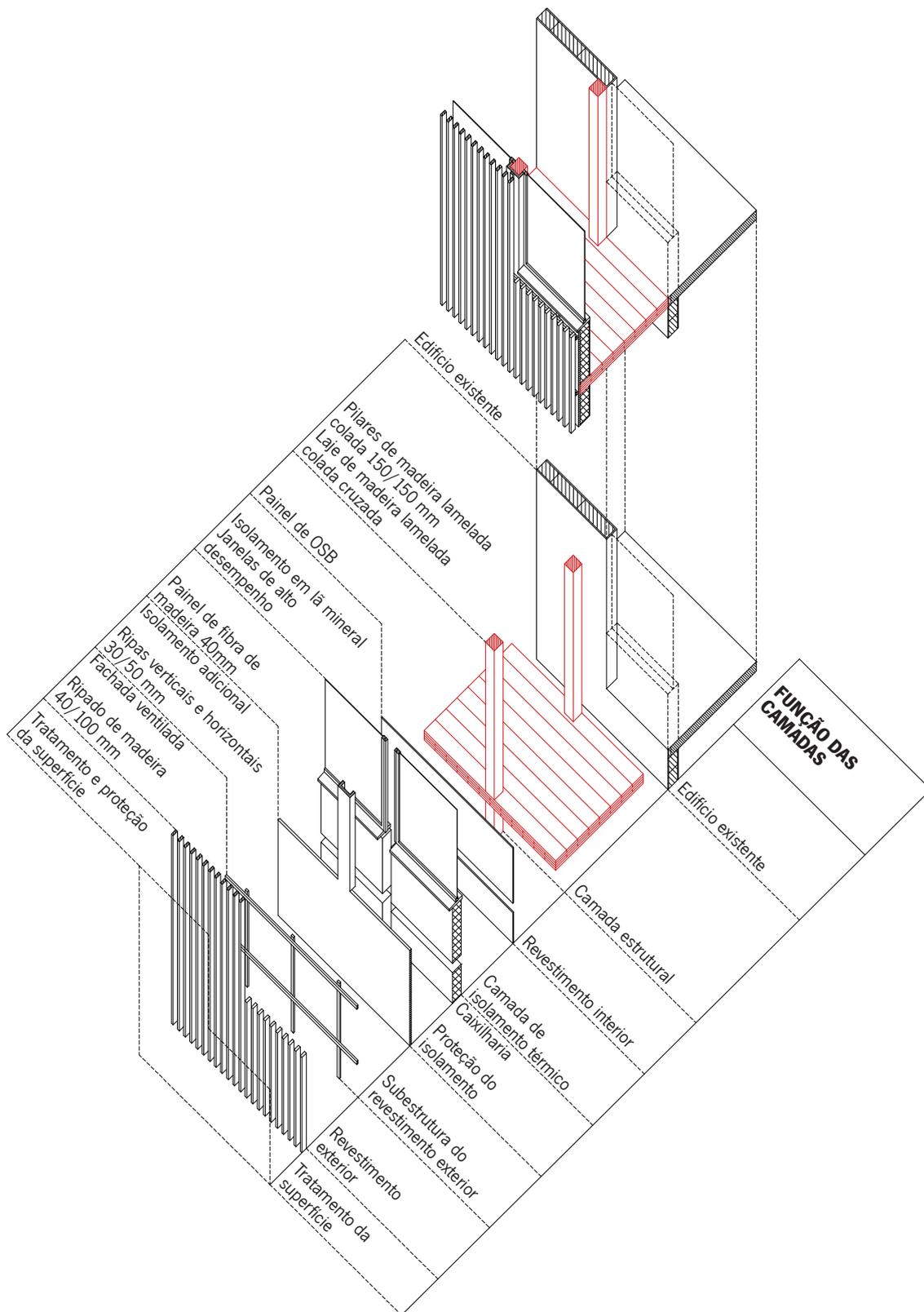


Figura 29. Axonometria representativa das camadas estruturais e funcionais da envolvente exterior habitável | Envolvente habitável

O sistema proposto consiste em duas soluções semelhantes. A solução de envolvente habitável tem como objetivo criar uma nova envolvente exterior, capaz de melhorar a eficiência energética e a segurança estrutural do edifício, corrigir as anomalias das construções, e incorporar novos espaços e novos usos no interior das habitações através das dinâmicas causadas pela flexibilidade destes espaços. A solução de revestimento tem como base a solução anterior, porém cria espaços habitáveis. Esta é utilizada quando não se pretende ampliar a envolvente exterior.

Na figura 29 estão representados em axonometria os componentes do sistema proposto através da decomposição dos elementos. Além da identificação das camadas e das suas funções, também é possível perceber a relação entre os diferentes elementos. Identificada a vermelho, a estrutura do sistema é composta por pilares de madeira lamelada colada e por uma laje de madeira lamelada colada cruzada, estando fixa à estrutura de betão armado existente.

Relativamente ao isolamento térmico, optou-se pela introdução de lã mineral, de modo a garantir uma maior segurança contra o fogo, um maior conforto térmico e acústico, e “respiração” das envoltentes devido à porosidade do isolamento. Como a madeira apresenta uma baixa condutividade térmica, o isolamento está colocado nos interstícios da camada estrutural. As pontes térmicas são minimizadas através da espessura do isolamento térmico e da colocação de um painel de fibra de madeira, que funciona como isolamento adicional.

O revestimento interior é feito através de painéis de OSB, e o revestimento exterior é composto por um ripado de madeira com um tratamento para a proteção da superfície. A escolha do ripado de madeira como revestimento exterior tem como base a sua versatilidade, uma vez que, dependendo do distanciamento entre os elementos verticais, estes garantem uma maior privacidade aos moradores e um maior controlo da luz solar. A subestrutura de madeira, com ripas verticais e horizontais, não só permite suportar o revestimento exterior, como também permite a criação de uma fachada ventilada.

Apesar de haver diversas funções que a envolvente dos edifícios deve cumprir, existem camadas que podem desempenhar várias funções ao mesmo tempo. Neste sentido, a estrutura funciona como camada estrutural e revestimento interior; o painel de OSB tem a função de revestimento interior, mas também desempenha a função de estanquidade ao ar através da colocação de fitas adesivas unilaterais, e de barreira pára-vapor; o painel de fibra de madeira é resistente à pressão e permeável ao vapor, e tem a função de isolamento adicional, de proteção dos componentes estruturais, e também de segunda camada resistente à água e ao vento.

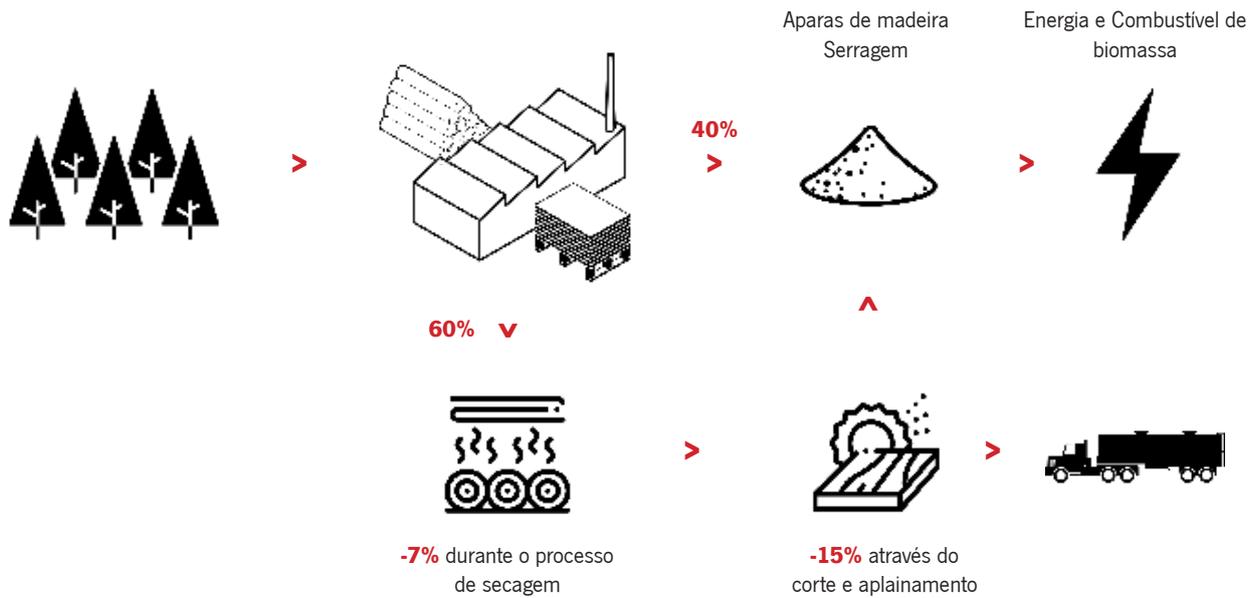


Figura 30. Processo fechado da produção de CLT

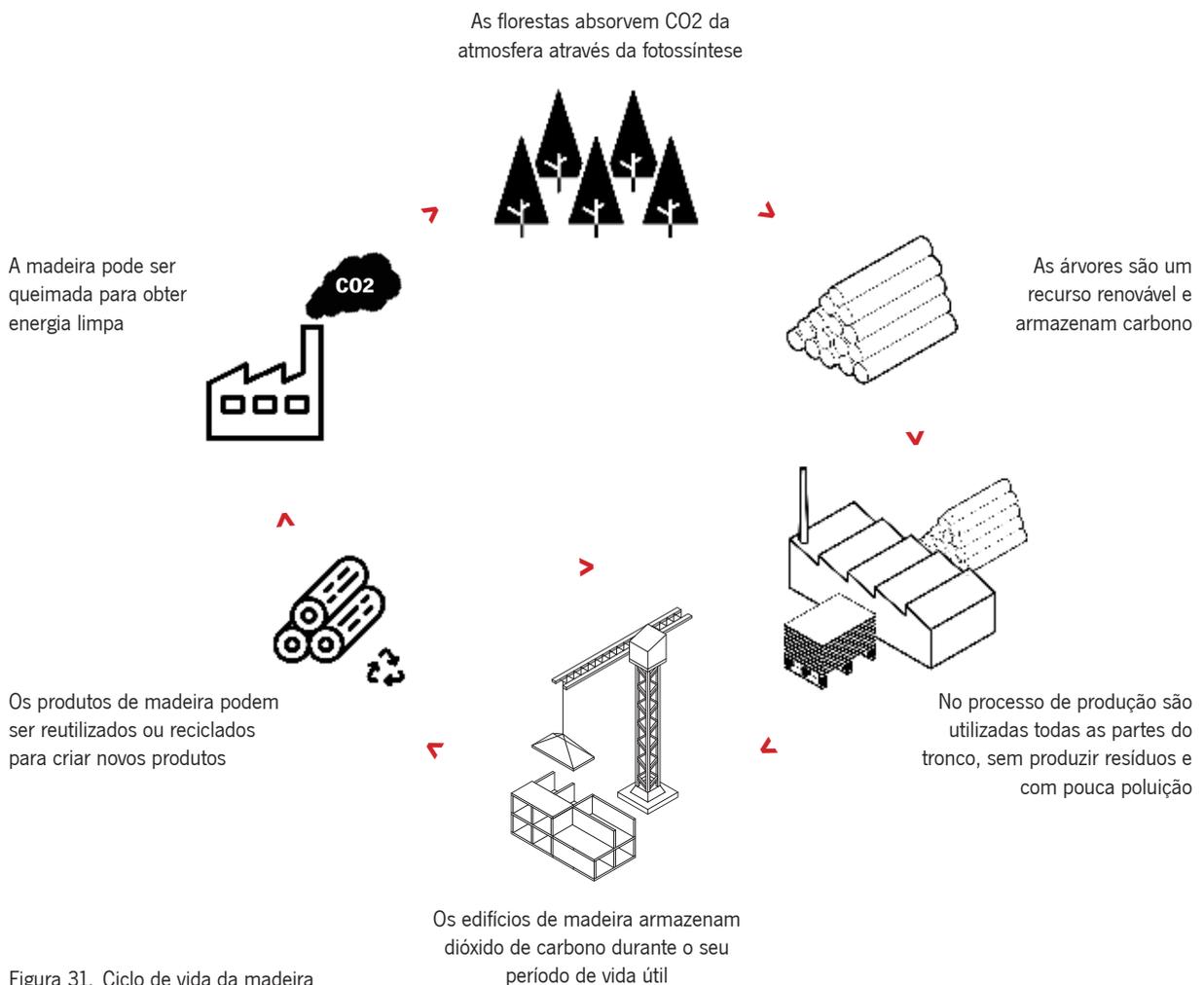


Figura 31. Ciclo de vida da madeira

CICLO DE VIDA

Atualmente, o setor da construção é responsável por grande parte do consumo dos recursos, bem como pelas emissões de gases de efeito de estufa.

«a construção de edifícios representa um consumo de cerca de 40% de toda a energia e materiais. Este setor também produz 36% de todos os gases de efeito de estufa e 33% de todos os resíduos.»¹

Com isto, para além de ser necessário projetar edifícios mais eficientes, também é necessário escolher materiais que contribuam para a mitigação destes problemas. Neste sentido, a reabilitação de edifícios existentes através da aplicação de materiais à base de madeira permite reduzir a emissão de dióxido de carbono do setor da construção.

«A quantidade de CO₂ na atmosfera pode ser reduzida de duas maneiras: reduzindo as emissões de CO₂ ou extraindo o CO₂ da atmosfera e armazenando o carbono. A madeira tem a capacidade única de contribuir para esses dois métodos de redução possíveis.»²

A produção da madeira apresenta um processo fechado, em que grande parte dos resíduos são reutilizados. Tendo como exemplo a produção de CLT³, cerca de 60% da madeira proveniente de florestas com uma gestão sustentável é transformada em CLT, e os restantes 40% resultam nas aparas de madeira e serragem. Durante o processo de secagem, corte e aplainamento, também são produzidos resíduos que, juntamente com os anteriores, permitem obter energia e combustível de biomassa.

Para além do ciclo fechado de reaproveitamento de material em fábrica, o ciclo de vida da madeira permite uma reutilização e reciclagem sustentável e ecológica. Como mostra na figura 31, as florestas absorvem o dióxido de carbono da atmosfera, isto é, são um recurso renovável capaz de armazenar o carbono. Durante o processo de produção, toda a madeira é utilizada, reduzindo a quantidade de resíduos, e a poluição resultante das indústrias. Depois do processo de construção e montagem do sistema pré-fabricado, este tem a capacidade de armazenar dióxido de carbono durante o seu período de vida útil. Já no seu fim de vida útil, os materiais podem ser reutilizados ou reciclados em novos edifícios ou novos produtos à base de madeira. Em último recurso, a madeira poderá ser queimada para obter energia limpa, que será absorvida pelas florestas, fechando o ciclo de vida da madeira.

O processo de conceção da reabilitação utilizando o sistema pré-fabricado proposto inicia-se com as necessidades do cliente e programas. A partir do desenvolvimento do projeto de arquitetura e engenharia, e aprovação do cliente, os componentes pré-fabricados são selecionados e modelados. Já na indústria da madeira, são fabricados todos os componentes do sistema, e pré-montados em fábrica. Por fim, são transportados para o local e inicia-se o processo de construção e montagem do sistema pré-fabricado.

¹ KAUFMANN, Hermann ; KRÖTSCH, Stefan ; WINTER, Stefan - **Manual of Multi-Storey Timber Construction**. Munich: Detail, 2018. ISBN 978-3-95553-395-3. p. 24.

² *Ibid.* p. 24.

³ Waugh Thistleton Architects - **100 Projects UK CLT**. Canada : Waugh Thistleton Architects, 2018. ISBN 978-1-99-940502-1

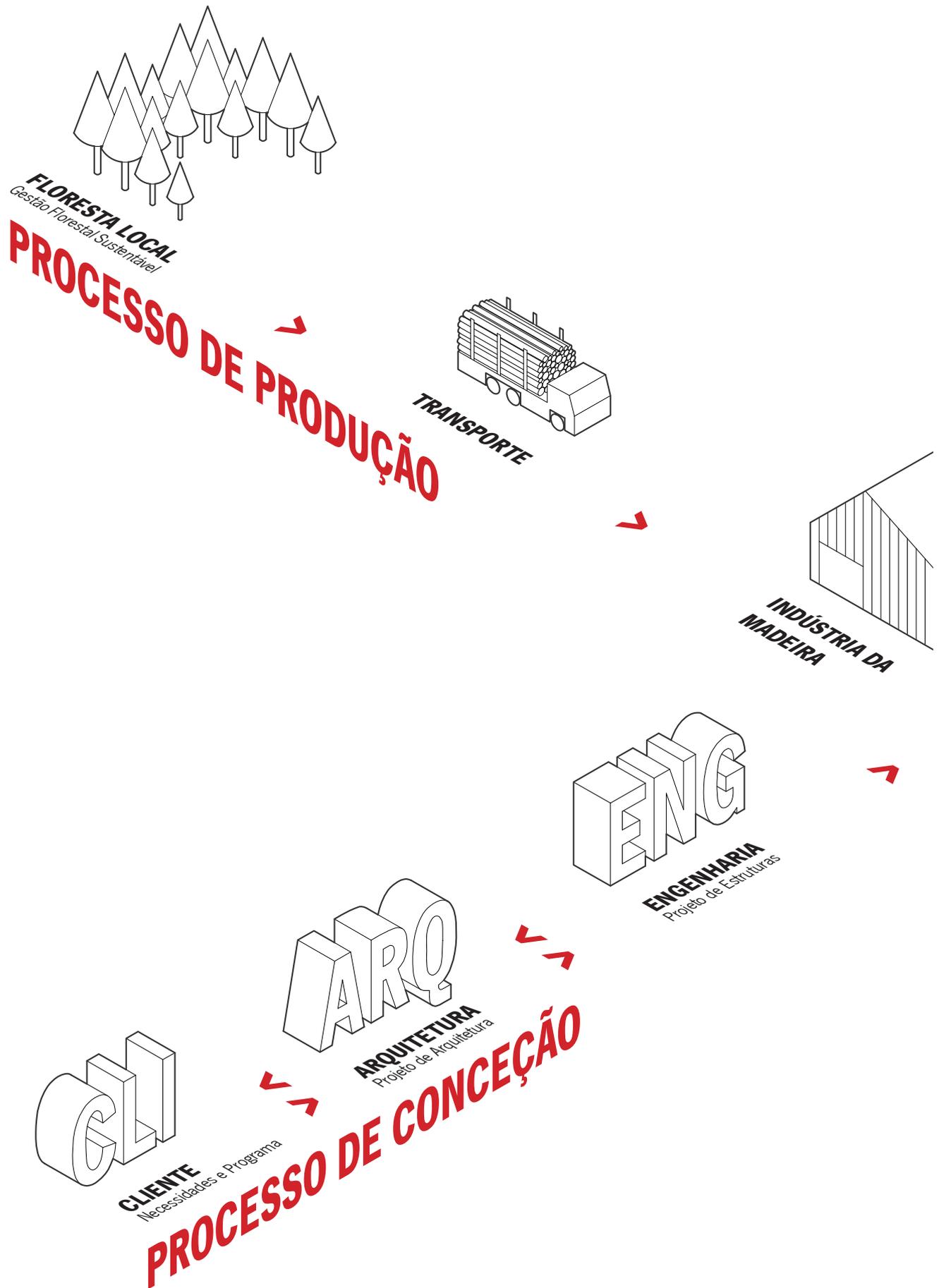


Figura 32. Processos de Produção, Transformação, Conceção e Construção

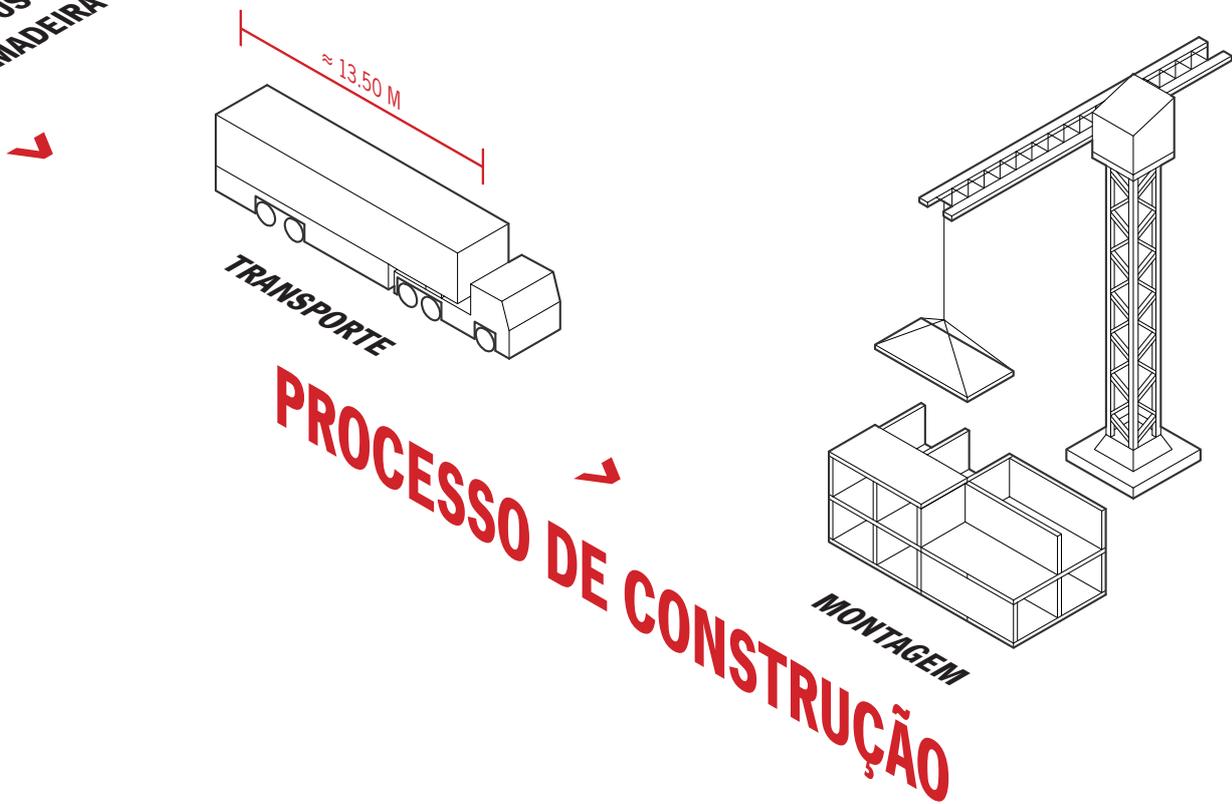
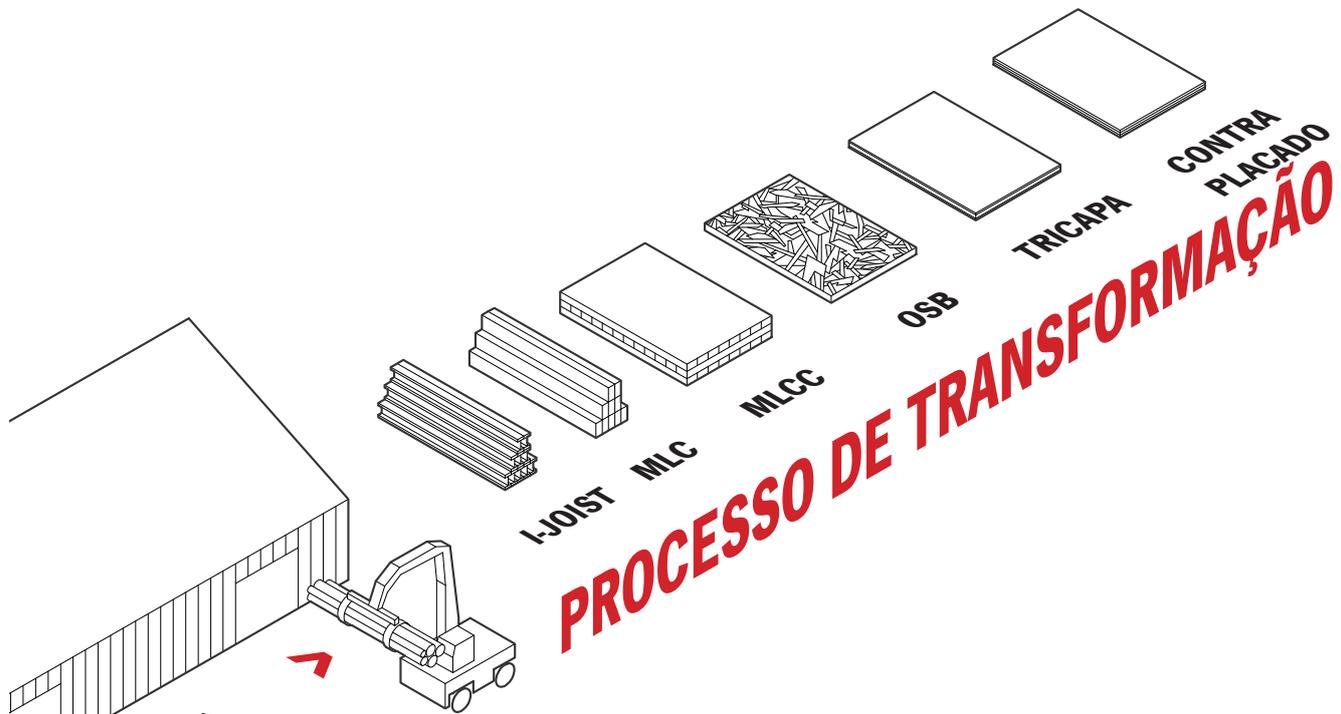




Figura 33. Fotografias do Bairro Social de Darque

03

CASO DE ESTUDO

1969

28 maio

Criação do Fundo de Fomento da Habitação (FFH)

1982

28 maio

Extinção do Fundo de Fomento da Habitação (FFH)

1987

26 fevereiro

Criação do Instituto de Gestão e Alienação do Património Habitacional do Estado (IGAPHE)

2002

agosto

Acordo entre a Câmara Municipal de Viana do Castelo (CMVC) e o IGAPHE

5 novembro

Fusão do IGAPHE com o Instituto Nacional da Habitação (INH)

2006

janeiro

Aprovação da construção de um apeadeiro na via férrea perto do Bairro

2007

julho

Criação do Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana (IRHU)

1983

Primeira fase de construção do Bairro Social de Darque

1991

Segunda fase de construção do Bairro Social de Darque

2004

agosto

Conclusão dos arranjos exteriores do Bairro e do projeto da nova sede da Junta de Freguesia de Darque

2007

Substituição da rede de distribuição de água e intervenção no Bairro

2010

outubro

Finalização das obras de requalificação da envolvente do Bairro

2019

17 dezembro

Início do projeto de reabilitação dos lotes 1 e 2

Figura 34. Cronologia

CRONOLOGIA

Na figura 34 está presente uma cronologia, que tem como objetivo contextualizar a história e intervenções no Bairro Social de Darque (lado direito) e identificar as várias instituições que contribuíram para a criação deste tipo de edifícios de habitação (lado esquerdo).

Segundo a página oficial do SIPA¹, no ano 1969, o Decreto-Lei n.º 49033 originou um organismo independente nos setores administrativo e financeiro, cujo objetivo era incutir o fomento de habitação social “na política de equipamento e integrar a política nacional de habitação com o planeamento urbano, contribuindo para a resolução do problema habitacional dos indivíduos não beneficiados pelas Caixas de Previdência ou outras instituições semelhantes”. Neste sentido, fica da responsabilidade do Fundo de Fomento da Habitação (FFH) as atribuições do Ministério das Obras Públicas em matéria de habitação, até então a cargo do Gabinete de Estudos de Habitação, ligado à Direção-Geral dos Serviços de Urbanização (DGSU) e à Direção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN).

Em 1982, o FFH é extinto por ordem do Decreto-Lei n.º 214/82, gerando um processo que se prolonga até 1987, ficando a Comissão Liquidatária do Fundo de Fomento da Habitação responsável pela gestão do património. Neste período, mais precisamente em 1983, é construído o Bairro Social de Darque. Em 1987, surge o Instituto de Gestão e Alienação do Património Habitacional do Estado (IGAPHE), que vem assumir o cargo do FFH. Já em 1991, é construída a segunda fase do Bairro, onde foram aproveitadas, para habitação, as zonas de semicave.

Mais tarde, em 2002, celebrou-se o acordo entre a Câmara Municipal de Viana do Castelo (CMVC) e o IGAPHE, a fim de recuperar o espaço público circundante. O IGAPHE, que na altura geria o Bairro, assumiu o pagamento das obras e a CMVC elaborou o plano de intervenção e promoveu a realização dos trabalhos. Depois das obras, estes espaços passaram a ser geridos pela autarquia que garantia a sua manutenção, prevendo o desenvolvimento de novas formas de circulação; um campo de jogos e a vedação da Linha Férrea (que não chegaram a ser executados). Além disso, foram introduzidas espécies arbóreas e construída uma praça central, que possibilita o desenvolvimento e criação de eventos para a comunidade, nomeadamente na época natalícia, onde é construída uma árvore de Natal composta por depósitos reciclados com cerca de 12 metros de altura, chamada “Vi-Luz”. Ainda nesta fase, o IGAPHE funde-se com o Instituto Nacional de Habitação (INH).

Em 2004, deu-se a conclusão dos arranjos exteriores do Bairro e do projeto da nova sede da Junta de Freguesia de Darque. Em 2006, de forma a potencializar a Linha Férrea, foi aprovada a construção de um apeadeiro perto do Bairro, promovida pela CMVC, CP, a REFER e o Instituto de Estradas, permitindo um acesso mais facilitado a outros locais. O ano de 2007 destacou-se pela criação do Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana (IHRU) que assumiu o cargo de proprietário do Bairro. Ainda neste ano, deu-se a “substituição da rede de distribuição de água; reparação da cobertura e limpeza de caleiras; substituição da coluna montante; substituição de canalizações; reparações diversas em fogos”.

O ano de 2010 foi marcado pela finalização das obras de requalificação da envolvente exterior do Bairro. Em 2019 iniciou-se o projeto de reabilitação dos lotes 1 e 2 do Bairro de Darque, promovido pelo IHRU.

¹ SIPA - **Bairro do Fomento em Darque / Bairro do IGAPHE em Darque** [Em linha]. [Consult. 15 Ago. 2021] Disponível em: [WWW<URL:https://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=29335>](https://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=29335).

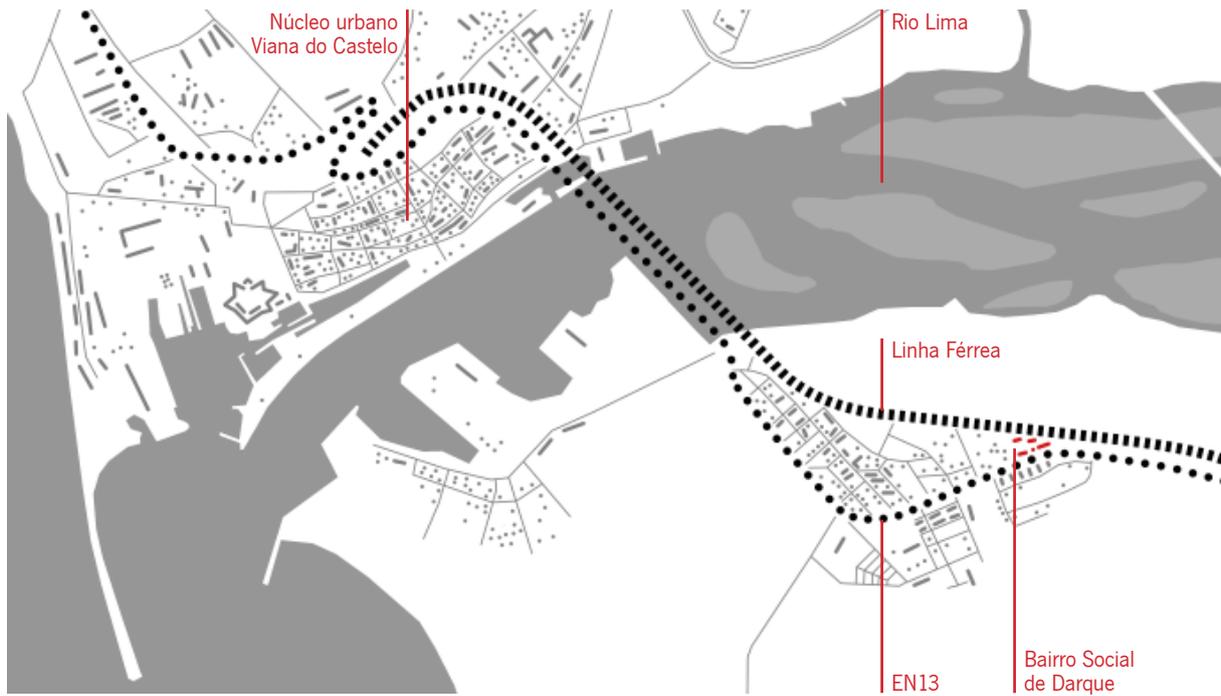


Figura 35. Esquema representativo do contexto urbano

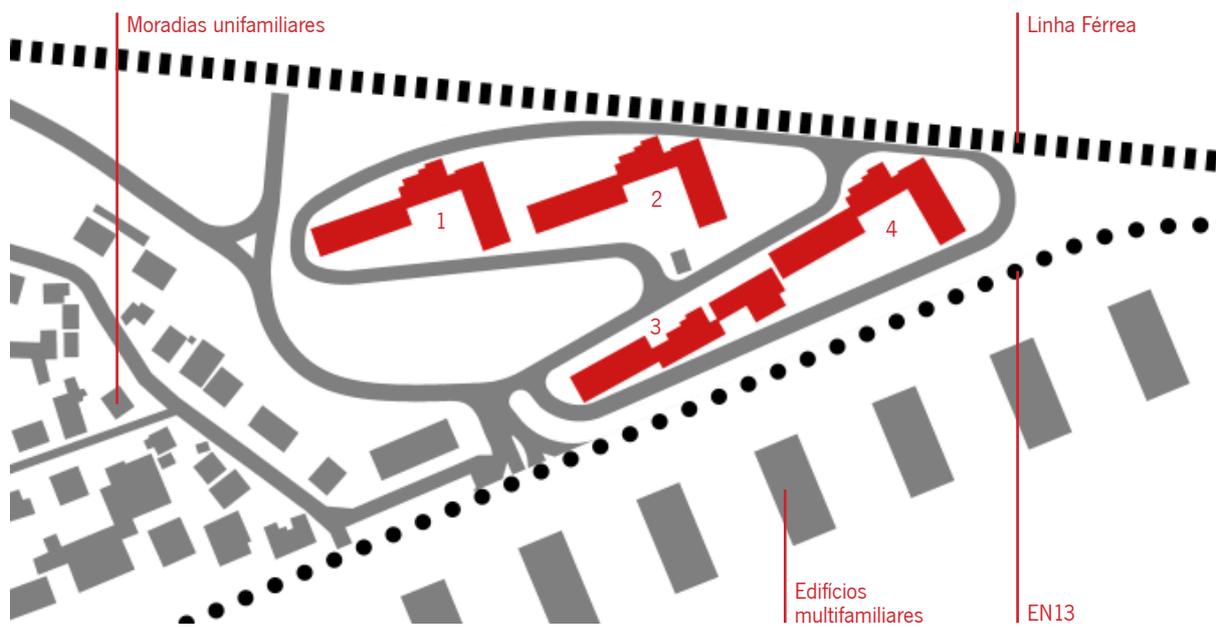


Figura 36. Planta de localização dos lotes do Bairro Social de Darque



Figura 37. Módulos que compõem o Bairro Social de Darque

ENQUADRAMENTO

Depois de desenhado o projeto do Bairro Social de Darque, foi aberto um concurso para a construção do mesmo. Este concurso tinha como objetivo escolher uma empresa de construção que realizasse a obra a um custo inferior. Geralmente, eram feitas alterações na estrutura do edifício, a fim de o tornar mais acessível financeiramente. Após esse concurso, a empresa de construção *Arnaldo de Oliveira, LDA* foi nomeada para a construção do Bairro.

O Bairro Social de Darque é um edifício residencial multifamiliar localizado na margem sul da foz do rio Lima, ou seja, na margem oposta ao núcleo urbano de Viana do Castelo. Este local caracteriza-se pela convergência de duas linhas estruturantes que definem a zona habitacional de Darque: a Estrada Nacional 13 e a Linha Férrea. Neste sentido, o conjunto habitacional é delimitado a sul e a este pela Estrada Nacional 13, e a norte pela Linha Férrea. Relativamente aos edifícios circundantes, a oeste encontram-se moradias unifamiliares com um traçado irregular e a sul encontram-se edifícios multifamiliares com um traçado regular.

Este complexo habitacional é composto por quatro lotes, criando dois alinhamentos: lotes 1 e 2, e lotes 3 e 4. Estes lotes foram obtidos através da conjugação de diferentes elementos, podendo ser organizados em três módulos distintos. O módulo A apresenta uma planta regular retangular com quatro pisos, que corresponde a dois duplexes. O acesso às tipologias é feito através de galerias exteriores, e os fogos desenvolvem-se entre o piso de acesso e o piso superior. A fachada a principal é composta no piso de acesso pela porta de entrada à tipologia e janelas horizontais com três folhas, e no piso superior apresenta janelas horizontais com três folhas, porém de menor dimensão. A fachada posterior é composta no piso inferior por varandas com guarda metálica, e no piso superior apresenta janelas verticais de uma folha.

O módulo B apresenta uma planta irregular com três pisos. A fachada principal é composta no centro por varandas com murete, no lado esquerdo por janelas horizontais de três folhas, e no lado direito por janelas horizontais de duas folhas. A fachada posterior é composta no piso intermédio por varandas com guarda metálica, e no piso superior e inferior por janelas verticais de uma folha.

O módulo C apresenta uma planta regular com um piso. Este módulo não habitacional apenas é utilizado no lote 4. Inicialmente, funcionava como um estabelecimento de ensino, porém, atualmente, tem inserida a Junta de Freguesia de Darque.

O remate dos três módulos com o solo é feito através de uma pequena reentrância em relação ao plano da fachada. Nos módulos A e B, grande parte das varandas encontram-se fechadas com marquises para o aproveitamento do espaço. Além disso, os lotes 1 e 2 apresentam semicaves utilizadas para habitação, com acesso pela fachada principal. Os lotes são compostos maioritariamente por tipologias T3, existindo também algumas tipologias T2 e T4, e por tipologias T0 nos fogos em semicave.

Este Bairro foi escolhido como Caso de Estudo desta investigação devido ao seu mau estado de conservação, especialmente nas fachadas voltadas a norte, e devido ao projeto de reabilitação dos lotes 1 e 2 que está a ser finalizado atualmente. Na reabilitação destes lotes está a ser aplicado o sistema ETICS, tornando possível comparar este sistema com a proposta desenvolvida nesta dissertação.

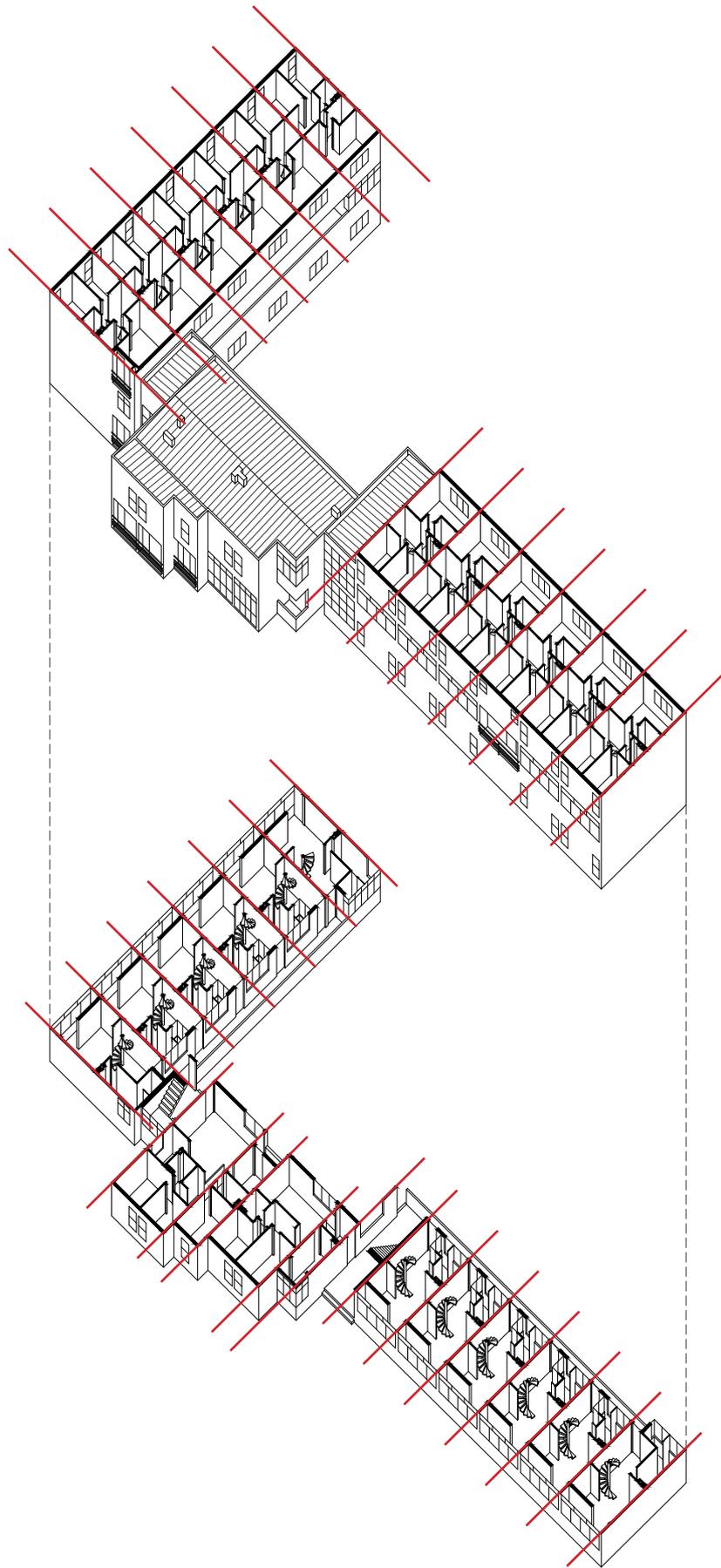


Figura 38. Axonometria representativa da malha estrutural do lote 4

SISTEMA CONSTRUTIVO

Tendo como base a observação no local e a análise dos desenhos técnicos fornecidos pelo IHRU, acredita-se que a estrutura que compõe os edifícios do Bairro Social de Darque seja constituída por pilares e vigas em betão armado, sendo as lajes e as paredes maciças.

Uma das características que se destaca neste edifício é a sua métrica. Desde a fachada é possível compreender a malha estrutural do edifício, bem como a distribuição das tipologias habitacionais. Na figura 38 estão representados os eixos estruturais do edifício, sendo que o módulo A é composto por uma malha estrutural com cerca de 4,9 metros, e a malha estrutural do módulo B varia entre os 6,10 e os 2,85 metros.

A cobertura do complexo habitacional é composta por chapas onduladas de fibrocimento. Estas estão fixas a uma subestrutura de madeira constituída por ripas assentes em muretes de alvenaria. Segundo os desenhos originais, as paredes maciças de betão armado prolongam-se até à cobertura, suportando a subestrutura de madeira e conferindo-lhe a inclinação necessária para o escoamento das águas pluviais.

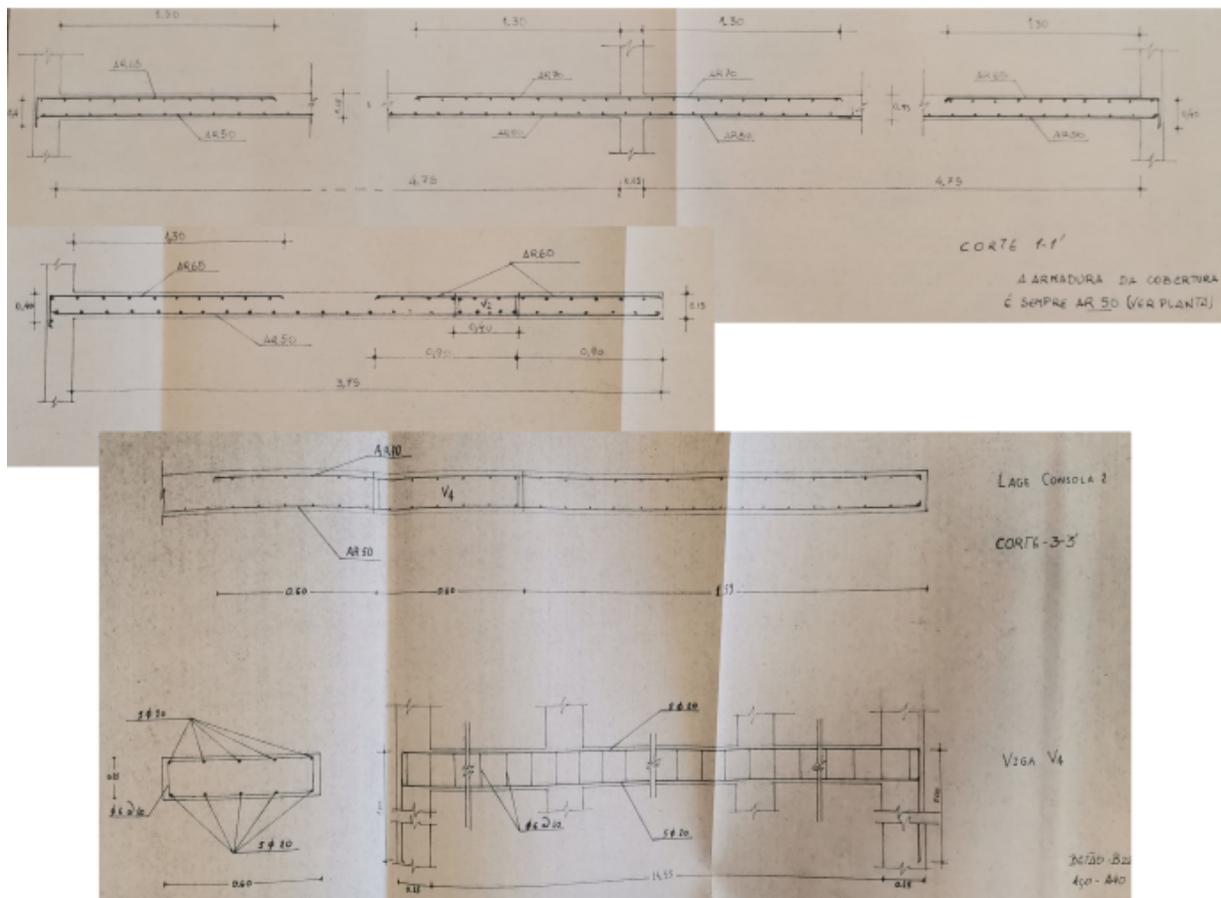


Figura 39. Desenhos originais da estrutura de betão armado

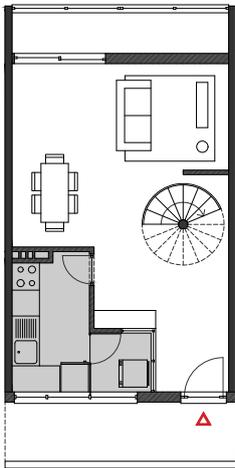
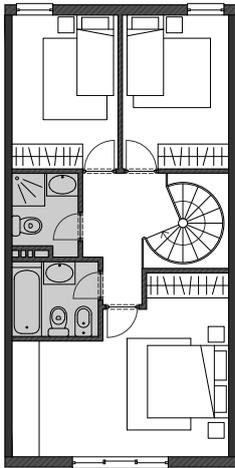


Figura 40. Tipologia T3

0 1 2 4m

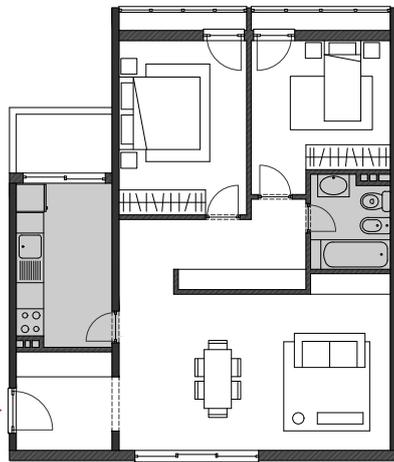


Figura 41. Tipologia T2

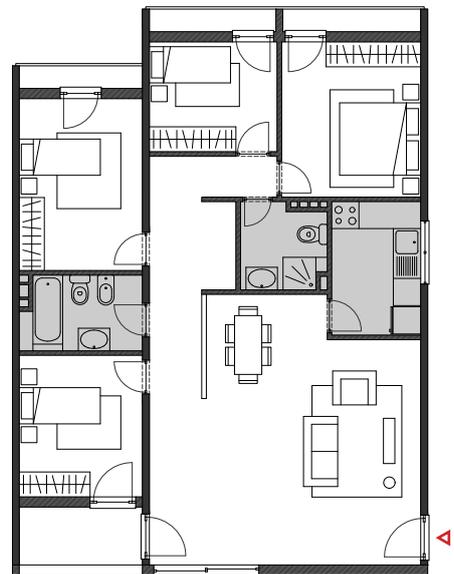


Figura 42. Tipologia T4

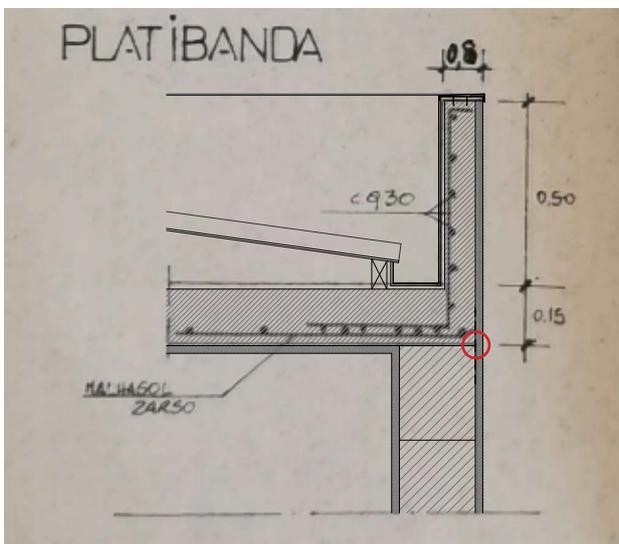


Figura 43. Fissuração na platibanda



Nas figuras 40, 41 e 42 estão representadas as tipologias habitacionais duplex T3, e tipologias T2 e T4, que compõem os módulos A e B, respetivamente. Destaca-se a distinção entre as paredes estruturais e as paredes de enchimento dos fogos, que se repetem ao longo do edifício. Além disso, é possível ver a organização interior das mesmas, como as zonas sociais - zona de estar e jantar - e as zonas mais privadas - quartos. Mais ainda, destacam-se com uma cor mais escura as áreas húmidas - instalações sanitárias e cozinhas.

Relativamente às paredes de enchimento, estas são construídas com blocos de betão celular autoclavado “Ytong”¹, rebocados e pintados com tinta plástica. Os blocos Ytong são obtidos através da mistura de vários elementos, designadamente, cimento Portland, areia sílica, pó de alumínio e água. Posteriormente, esta mistura é colocada em moldes com barras de reforço pré-colocadas, e cortada segundo as dimensões pretendidas. Além disso, é colocada num autoclave onde será endurecida.

O betão celular é composto por “milhões de microporos de ar fechados e homogeneamente distribuídos, podendo atingir até 80% do volume total”². Neste sentido, uma das suas características é a sua capacidade de isolar contra o frio e calor, permitindo a construção de paredes simples e maciças sem a necessidade de isolamento adicional. Por esse motivo, não existe qualquer tipo de isolamento térmico no Bairro Social de Darque. De referir que, a espessura dos blocos Ytong que compõem as paredes de enchimento não são adequadas às necessidades térmicas atuais. Para além das suas propriedades térmicas, as paredes de Ytong apresentam propriedade acústicas e um elevado grau de impermeabilidade, uma vez que os poros se encontram fechados e não se interconectam. Devido à sua natureza mineral, os blocos de betão celular são resistentes ao fogo, ou seja, “em caso de incêndio não estala, não explode e não gera qualquer emanção gasosa”³. Além disso, estes não emitem compostos orgânicos voláteis (COV), contribuindo para a qualidade do ar interior. Ainda, o betão celular é um material com elevada resistência à compressão, variando consoante a sua densidade. A sua homogeneidade, resultante da precisão geométrica dos blocos aquando da sua fabricação, aliada à sua rigidez e porosidade, permite que as paredes Ytong sejam capazes de suportar cargas elevadas, possibilitando a construção de edifícios com vários pisos. Destaca-se ainda a leveza dos blocos, que permite minimizar as cargas sísmicas.

Inicialmente, através de alguns dos desenhos originais que representavam a platibanda como não sendo em betão armado e devido à utilização de blocos de betão celular no restante do edifício, acreditava-se que a platibanda era constituída por blocos Ytong. Contudo, após se verificar os desenhos estruturais, estes representavam a platibanda como sendo construída em betão armado. Estes desenhos da estrutura, aliados à fissuração atual presente na platibanda, conclui-se que esta é construída em betão armado. A sua fissuração é causada pela diferença de materiais (betão armado e blocos Ytong), e está presente ao longo de todo o edifício. Atualmente, é possível ver marcas de intervenções que ocorreram para ocultar estas anomalias.

¹ **Ytong** é a designação dada aos blocos de betão celular autoclavado em Portugal. Além disso, corresponde à marca que fabrica este tipo de blocos. “É um material desenvolvido na Escandinávia, na década de 1920, e a sua designação resulta da junção de Yxhult, cidade onde se terá dado a descoberta deste material, com a palavra *betong*, termo sueco para betão”.

SIPA - **Bairro do Fomento em Darque / Bairro do IGAPHE em Darque** [Em linha]. [Consult. 15 Ago. 2021] Disponível em: WWW<URL:https://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=29335>.

² Características dos blocos Ytong [Em linha]. [Consult. 5 Out. 2021] Disponível em: WWW<URL: https://www.ytong.es/caracteristicas.php>.

³ *Ibid.*

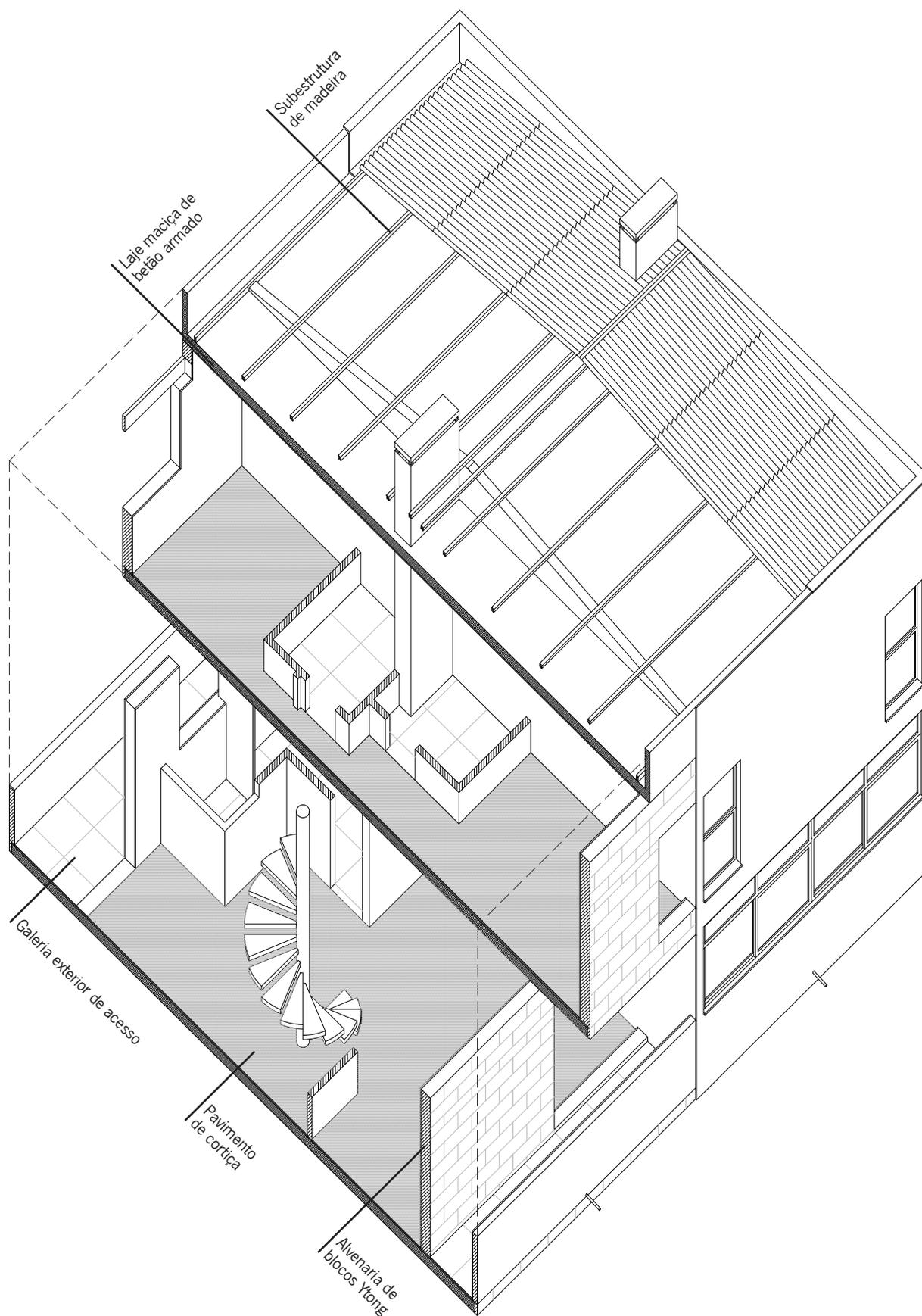


Figura 44. Axonometria representativa do sistema construtivo

A axonometria representada pela figura 44 tem como objetivo perceber o sistema construtivo do complexo habitacional e a relação entre a fachada e o interior. Além disso, optou-se por decompor a axonometria em três partes, de maneira a compreender a tectónica entre os elementos construtivos. Na primeira parte, está representado a totalidade do edifício; na segunda parte, foram removidas as chapas onduladas de fibrocimento, para mostrar a subestrutura de madeira; na terceira parte, foi removida uma porção do piso superior, a fim de evidenciar a organização dos espaços interiores e a relação com a galeria exterior.

O mapa de acabamentos mostra o tipo de revestimentos aplicados, bem como a sua localização ao longo do Bairro. Destaca-se a utilização de marmorite polida nos pavimentos e rodapés das zonas húmidas, galerias exteriores e varandas; a utilização de cortiça nas escadas interiores em caracol e nas salas comuns e quartos, sendo os rodapés em madeira; e a utilização de tinta plástica na fachada e no interior dos fogos, exceto nas zonas húmidas, onde é aplicado tinta vitrificante.

As caixas de escadas são constituídas por lajes de betão armado, e revestidas em marmorite polida. A falta de elevador em todos os lotes dificulta o acesso aos pisos superiores dos edifícios, principalmente para pessoas com mobilidade reduzida. Todas as guardas são metálicas em tubo de secção circular. As caixilharias são de ferro metalizado pintado a esmalte, com vidro simples, e a proteção solar exterior é feita através de estores em PVC. As portas são em favado de madeira. Por fim, nos passeios e nos lancis foram utilizados blocos de betão.

		MAPA DE ACABAMENTOS																				
LOCALIZAÇÃO DOS MATERIAIS		PAVIMENTOS				RODAPÉS		PAREDES EXT.		PAREDES INT.		TECTOS		PORTAS	CAIXILHARIA							
DEPENDÊNCIAS	REFERÊNCIAS	BETONILHA	BETONILHA ESQUARTELADA	MARMORITE POLIDA	CORTIÇA	MOSAICO TIPO "KLINKER"	BETONILHA	MARMORITE POLIDA	MADEIRA	MOSAICO TIPO "KLINKER"	TINTA PLÁSTICA	BETÃO APARENTE	TINTA PLÁSTICA	TINTA VITRIFICANTE	BARRAMENTO	TINTA PLÁSTICA	TINTA TEXTURADA	BETÃO APARENTE	BARRAMENTO	PINTURA A ESMALTE	FERRO METALIZADO PINTADO A ESMALTE	
		1	CIRCULAÇÕES																			
	GALERIAS			●			●			●						●						●
	RECREIO COBERTO	●									●						●					
	ESCADAS COMUNS			●							●											●
	ESCADAS INT. DO FOCOS				●								●					●				
2	HABITAÇÕES - CAVE									●												
	SALA COMUM - QUARTO					●				●			●				●			●		●
	SANITÁRIOS					●				●			●	●			●			●		●
	COZINHA					●				●			●	●			●			●		●
	VARANDA		●				●						●			●				●		●
	ZONA DE LAVAGEM		●				●						●			●				●		●
3	HABITAÇÕES - R/C e AND.									●												
	SALA - COMUM			●						●			●				●			●		●
	QUARTOS			●						●			●				●			●		●
	SANITÁRIOS			●						●			●	●			●			●		●
	COZINHA			●						●			●	●			●			●		●
	VARANDA		●				●						●			●				●		●
	ZONA DE LAVAGEM		●				●						●			●				●		●
4	BLOCO COMERCIAL	●									●											●

Figura 45. Mapa de acabamentos do Bairro Social de Darque

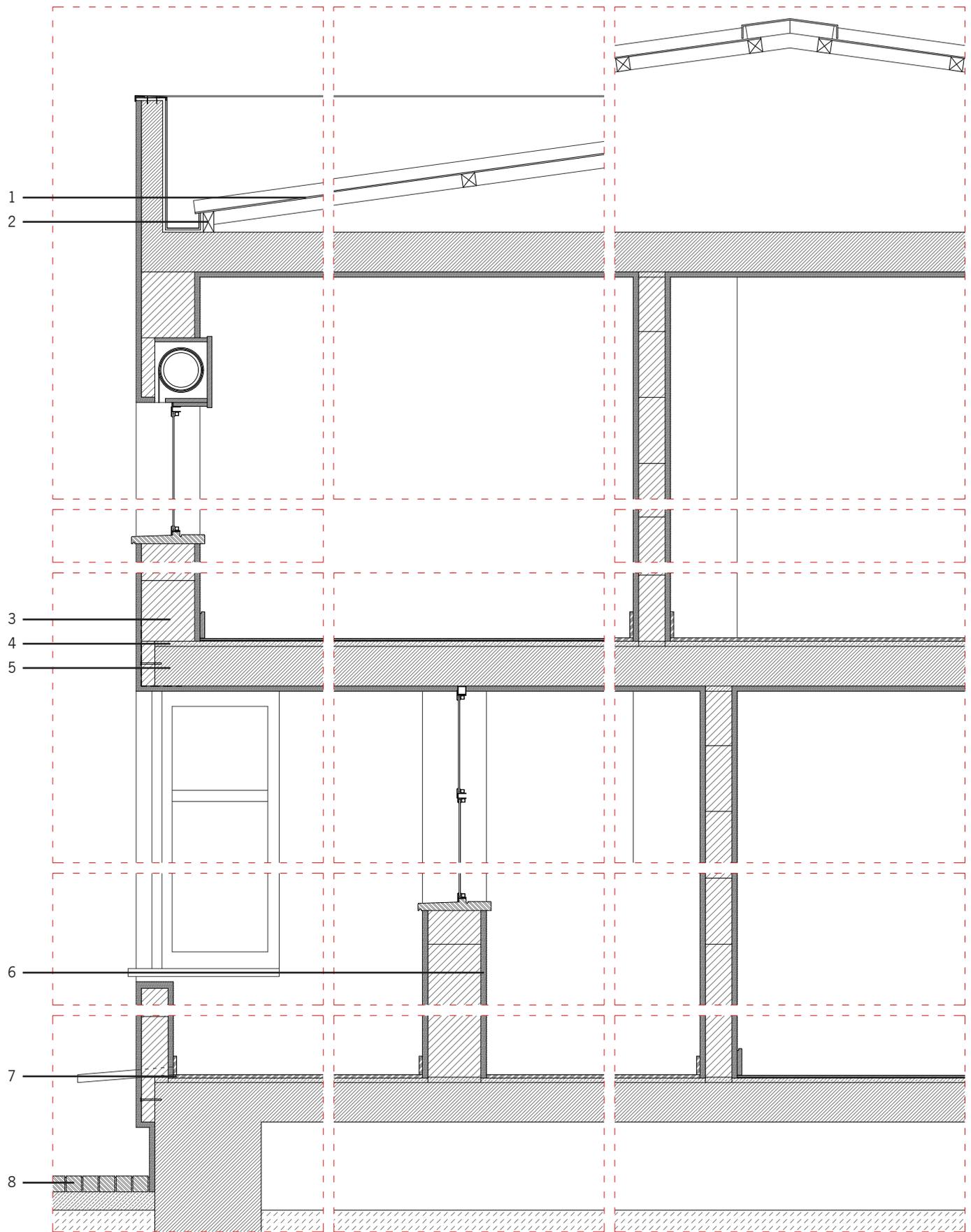
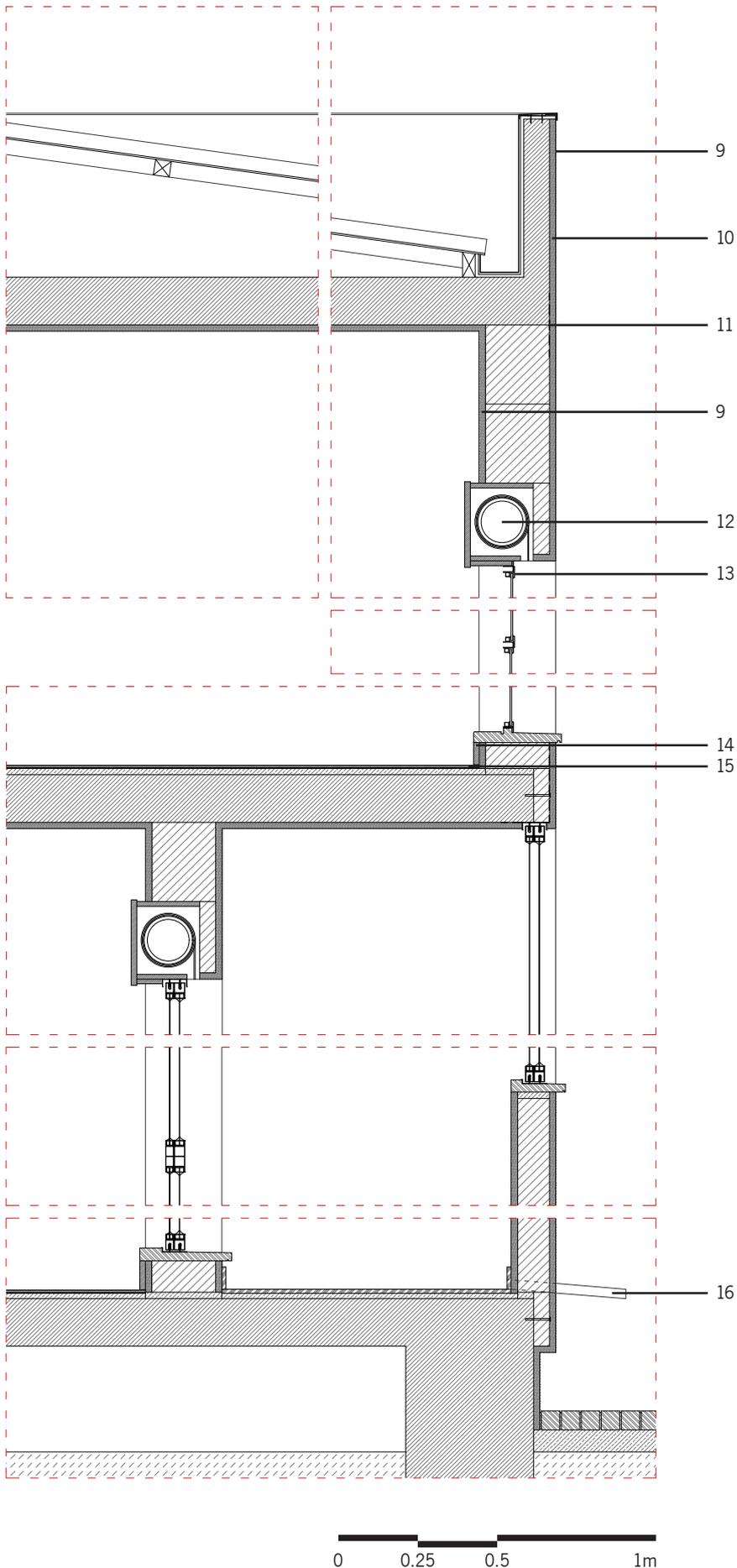


Figura 46. Corte fachada do Módulo A - Atual



LEGENDA:

1. Chapa ondulada de fibrocimento
2. Subestrutura de madeira
3. Blocos de betão celular autoclavado Ytong (600x250x200mm)
4. Camada de regularização
5. Laje maciça de betão armado
6. Tinta vitrificante
7. Marmorite polida
8. Blocos de betão
9. Tinta plástica
10. Reboco
11. Rede de reforço
12. Estores em PVC
13. Caixilharia de ferro metalizado pintado a esmalte
14. Rodapé de madeira
15. Pavimento de cortiça
16. Tubo de queda



Destacamento e fissuração grave do reboco



Destacamento da tinta



Microfissuração



Oxidação das grelhas de ventilação



Oxidação do rufo metálico | Escorrências



Corrosão da armadura



Fissuração nos cantos dos vãos



Bolores e Musgo | Destacamento da tinta



Manchas esverdeadas



Escorrências



Eflorescências



Manchas de sujeira e colônias biológicas

Figura 47. Anomalias mais comuns no Bairro Social de Darque

ANOMALIAS

As anomalias identificadas no Bairro de Darque derivam, essencialmente, da sua proximidade com a foz do rio Lima, da falta de isolamento térmico, do mau estado das caixilharias, e da qualidade dos produtos utilizados na execução das paredes simples. Além disso, as fachadas voltadas a norte representam as zonas mais degradadas, relativamente ao restante dos edifícios.

Como o sistema pré-fabricado proposto nesta investigação atua principalmente na envolvente exterior dos edifícios, fachadas e cobertura, será dado mais destaque às anomalias exteriores. As anomalias mencionadas foram identificadas através de uma análise visual, porém poder-se-ia recorrer a ensaios, laboratoriais e *in loco*, para uma análise mais detalhada do estado atual do Bairro.

Ao longo do edifício existem anomalias relacionadas com o revestimento exterior, como o destacamento da tinta, a microfissuração e a fissuração grave do reboco, que poderão ter sido causadas por diversos fatores, designadamente, a má qualidade do revestimento, as variações de temperatura e humidade e infiltrações. Estas anomalias são agravadas aquando da exposição à radiação solar.

Grande parte dos elementos metálicos, como as grelhas de ventilação, os rufos e as guardas metálicas, apresentam manchas de ferrugem causadas pela oxidação do metal, e intensificadas pela proximidade com o mar. Além disso, a ação natural das águas das chuvas resulta na escorrência de ferrugem pela fachada.

Em zonas pontuais, nomeadamente alguns pilares do Módulo 3, a armadura de ferro está exposta devido à deficiente espessura da camada de proteção e ao destacamento pontual do reboco, levando à sua rápida corrosão e degradação pela ação do clima e da proximidade com o mar. Como esta anomalia está associada à estrutura e segurança do edifício, deverá merecer maior atenção. Neste sentido, poderá ser feita a recolha de amostras para a análise da profundidade de carbonatação e do teor de cloretos e sulfatos no betão, a fim de avaliar a necessidade de uma alteração local ou generalizada, e posterior substituição das armaduras degradadas, aplicação de uma barreira estanque/anticorrosão das armaduras e reconstituição do betão.

As principais fissuras estão presentes nos cantos dos vãos, nas juntas de dilatação, e na fronteira entre elementos estruturais e paredes de enchimento (paredes construídas para fechar as varandas). Estas estão associadas às tensões de dilatação e contração entre diferentes elementos, como a estrutura em betão armado e as paredes de alvenaria

O aparecimento de bolores, musgo e manchas esverdeadas está associado a zonas onde existe bastante humidade, criando um ambiente propício ao aparecimento de atividade biológica. Além disso, a permanência de humidade e a fraca exposição solar, aliada à reduzida espessura do reboco e inexistência de isolamento térmico, causa o aparecimento de manchas de sujidade e de colónias biológicas.

As fachadas voltadas a norte são as que apresentam mais patologias, devido à reduzida exposição solar, por estarem mais expostas ao clima e ao ambiente marinho. Neste sentido, foi elaborada uma fotomontagem que permite perceber o estado atual da fachada norte do lote 4, bem como identificar das principais anomalias.

Módulo A

Módulo B



Figura 48. Alçado norte do lote 4



Figura 49. Identificação das anomalias presentes no alçado norte do lote 4

■ Eflorescências

■ Marcas de intervenções

Módulo A



0 1 2 4 8m



Manchas de sujidade e colónias biológicas Fissuras Escorrências

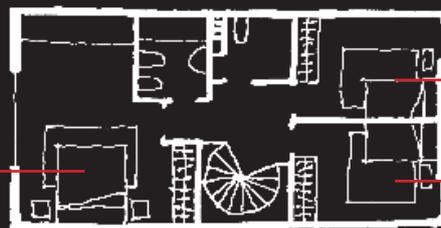
0 1 2 4 8m



Figura 50. Principais fontes de ruído - EN13 e Linha Férrea

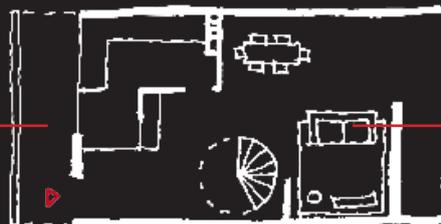


ÁREAS
PRIVADAS



ÁREAS
PRIVADAS

GALERIA
EXTERIOR



ÁREAS
SOCIAIS

Figura 51. Identificação das áreas estudadas

04 INTERPRETAR

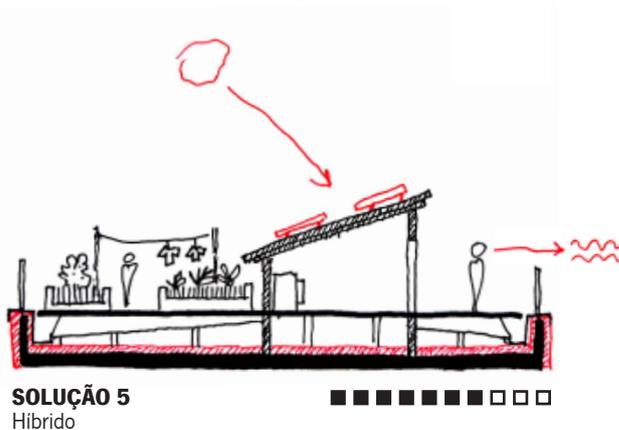
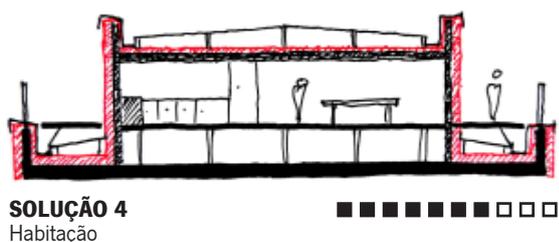
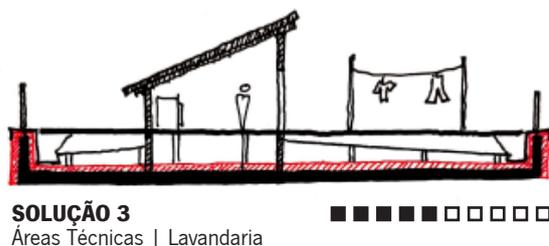
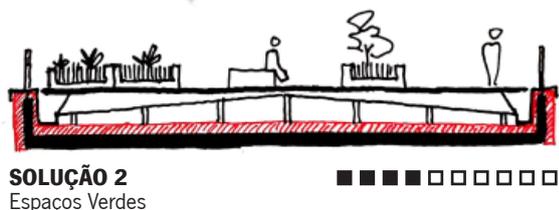
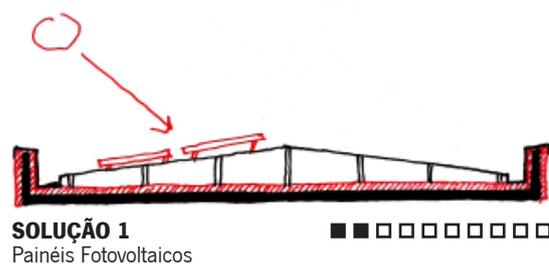
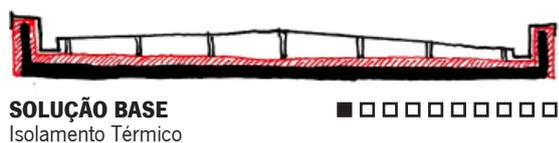


Figura 52. Esquemas de possibilidades para a cobertura

COBERTURA

Atualmente, a cobertura dos edifícios é inclinada, constituída por duas ou mais águas, em chapas de fibrocimento, inacessível e está embutida por platibanda. O escoamento das águas pluviais é feito através de caleiras periféricas longitudinais localizadas no coroamento das fachadas principal e posterior, e pelos tubos de queda à vista, fixos às fachadas.

A figura 52 mostra esquemas representativos do estado atual da cobertura, e de diversas possibilidades de soluções que poderão ser adotadas no edifício. A sua representação é feita através de cortes esquemáticos. Além disso, está indicado o nível de intervenção associado a cada solução.

De acordo com o SCE, em média, “as coberturas representam 30% das perdas de calor numa habitação”¹, logo é fundamental a introdução de isolamento térmico. Além disso, é imperativo a remoção da cobertura em chapa de fibrocimento e transporte para um vazadouro especializado, e a colocação de cobertura em zinco. Neste sentido, a solução base caracteriza-se pela colocação de isolamento térmico, a fim de garantir a o mínimo de conforto térmico e acústico, bem como o aumento da eficiência energética do edifício. Nesta solução, o nível de intervenção é baixo, e será a base para o desenvolvimento das restantes propostas.

A solução 1 caracteriza-se pela introdução de painéis fotovoltaicos, com o intuito de obter electricidade que poderá ser utilizada por todos os moradores; ou de coletores solares térmicos, para o aquecimento e para a água quente sanitária. Mais ainda, permite reduzir a fatura energética dos moradores, através de fontes renováveis (radiação solar). Esta solução deverá ser tida em consideração apenas como último recurso, ou seja, primeiramente, deve-se melhorar o edifício em todos os aspetos, como a eficiência energética, a segurança estrutural e a organização espacial. A solução 1 apresenta um nível de intervenção baixo.

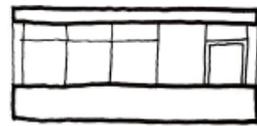
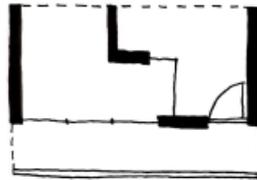
A solução 2 tem como proposta tornar a cobertura acessível com espaços verdes, que possa servir de convívio para as pessoas e aproveitar a sua localização (miradouro). Para que esta solução fosse mais versátil, optou-se pela utilização de módulos que servem para o cultivo de pequenas plantações, podendo ser removidos quando necessário. Nesta solução, o nível de intervenção é médio, pois será necessário fazer algumas alterações na cobertura para torná-la acessível.

Na solução 3, a cobertura também é acessível, porém esta é destinada a áreas técnicas ou lavandaria, onde as pessoas podem beneficiar da exposição solar. O nível de intervenção é médio.

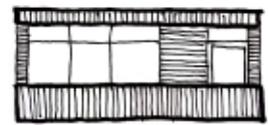
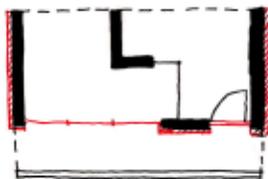
A solução 4 caracteriza-se pela introdução de tipologias habitacionais na cobertura. Esta solução tem algumas desvantagens, como a alteração da cércea do edifício e do elevado investimento necessário. Porém, esta proposta permite aumentar o número de fogos e a própria renda dessas tipologias permite amortecer o investimento inicial. O seu nível de intervenção é elevado.

A solução 5 tem como proposta tornar a cobertura numa zona híbrida. Neste sentido, poderão ser incorporados diversos espaços, como zonas verdes, miradouro, áreas técnicas, lavandaria, entre outros. Esta solução tem como objetivo tornar a cobertura num espaço de convívio, tirando partido da vista para o rio Lima, melhorando a qualidade de vida dos moradores e valorizando o ambiente de comunidade do Bairro. Nesta solução, o nível de intervenção é elevado.

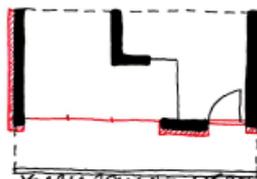
1 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios - **Isolamento de Coberturas**. [Lisboa?] : ADENE, 2016. ISBN 978-972-8646-41-7.



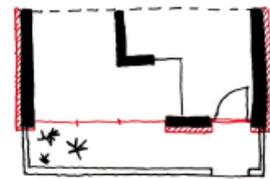
ESTADO ATUAL
 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □



SOLUÇÃO BASE
 Isolamento Térmico | Caixilharias
 ■ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □



SOLUÇÃO 1
 Vegetação
 ■ ■ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □



SOLUÇÃO 2
 Pátio
 ■ ■ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

Figura 53. Esquemas de possibilidades para a galeria exterior

GALERIA EXTERIOR

A figura 53 mostra esquemas representativos das possibilidades que podem ser adotadas nas galerias exteriores do Bairro. A sua representação é feita através de plantas esquemáticas e os seus respetivos alçados. Além disso, é indicado o nível de intervenção de cada proposta.

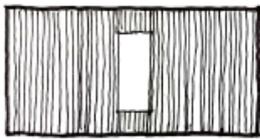
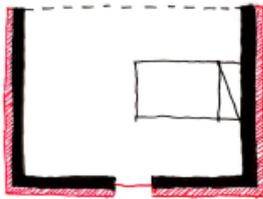
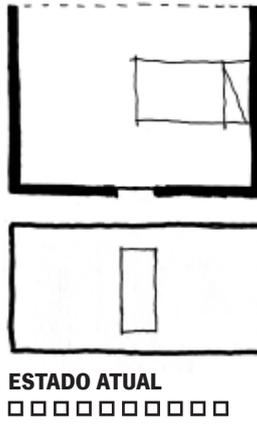
A solução base caracteriza-se pela introdução de isolamento térmico e substituição das caixilharias existentes, por outras mais eficientes. O seu nível de intervenção é baixo.

A solução 1 é caracterizada pela introdução de espécies vegetais. Durante a visita ao Bairro e ao interior de algumas habitações foi notória a presença de elementos de vegetação. Neste sentido, procura-se introduzir um espaço para a colocação destes elementos, e promover a plantação de espécies naturais. Além disso, a presença de vegetação nos edifícios tem diversas vantagens, tais como reduzir o ruído, melhorar a qualidade do ar, aumentar a biodiversidade, promover a biofilia, sombreamento natural das fachadas com incidência solar, entre outros. A solução 1 apresenta um nível de intervenção é médio.

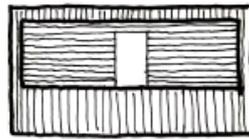
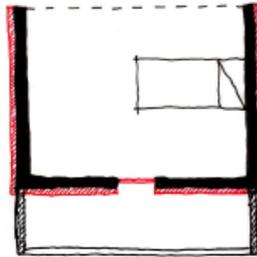
«As pessoas parecem se sentir melhor em um ambiente verde, isto está relacionado principalmente com a influência psicológica. Esse fenómeno tem o nome de biofilia e sugere que as pessoas se sintam melhor à volta do que está vivo.»¹

A solução 2 tem como objetivo a fechar a galeria exterior e criar pátios para cada habitação. Esta proposta só funciona nas galerias exteriores em contacto com o solo. A solução 2 para além permitir o acesso direto ao interior das habitações, também garante mais privacidade aos moradores. O seu nível de intervenção é baixo.

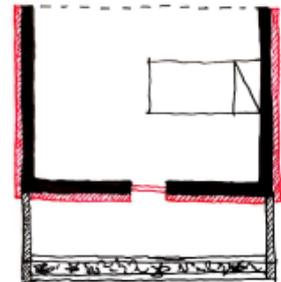
1 OTTELÉ, Marc - **The Green Building Envelope: Vertical Greening**. Holanda : SiecaRepro, 2011. ISBN 978-90-9026217-8. p. 45.



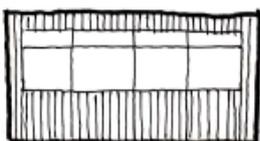
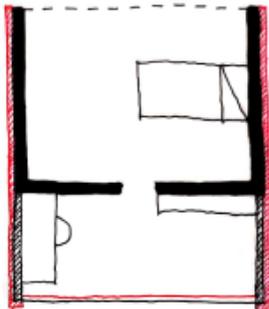
SOLUÇÃO BASE
 Isolamento Térmico | Caixilharias
 ■□□□□□□□□□



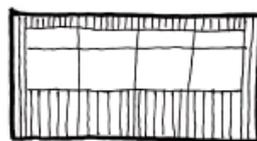
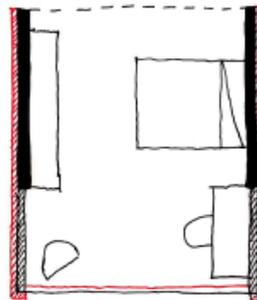
SOLUÇÃO 1
 Varanda
 ■■■□□□□□□□



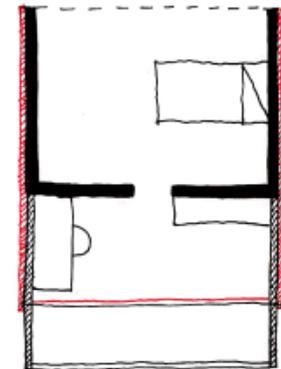
SOLUÇÃO 2
 Varanda | Vegetação
 ■■■■□□□□□□



SOLUÇÃO 3
 Escritório
 ■■■■■□□□□□



SOLUÇÃO 4
 Ampliação
 ■■■■■■□□□□



SOLUÇÃO 5
 Híbrido
 ■■■■■■■■□□

Figura 54. Esquemas de possibilidades para as áreas privadas

ÁREAS PRIVADAS

Assim como na proposta anterior, a solução base caracteriza-se pela introdução de isolamento térmico e substituição das caixilharias existentes, e apresenta um nível de intervenção baixo.

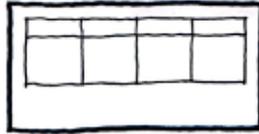
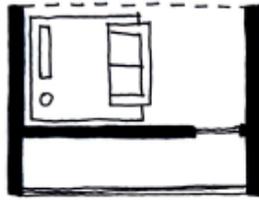
Como os quartos não possuem espaços exteriores, a solução 1 tem como proposta adicionar uma varanda. Este espaço permite proteger a fachada da radiação solar e das intempéries do clima, bem como permitir aos moradores o contacto com o ambiente exterior sem saírem das suas habitações. Além disso, caso haja a necessidade dos ocupantes ficarem em isolamento profilático, estes poderão usufruir das varandas. Esta solução apresenta um nível de intervenção baixo.

A solução 2 é semelhante à solução anterior, porém é adicionado um segundo elemento para a colocação de espécies vegetais. O seu nível de intervenção é médio.

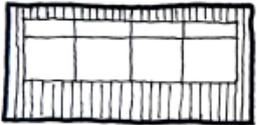
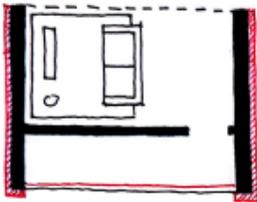
A solução 3 caracteriza-se pela introdução de um novo espaço. Esta nova área programática tem como objetivo ser versátil, e adaptar-se às necessidades dos ocupantes. Com o confinamento derivado da atual pandemia causada pelo vírus SARS-COV-2 surgiu a necessidade de incorporar novos espaços para teletrabalho, videoconferência, entre outros. Neste sentido, a introdução de uma nova área (escritório) poderá responder as estas necessidades atuais, e adaptar-se a outras situações futuras. Nesta solução, o nível de intervenção é médio.

A solução 4 tem como proposta ampliar o quarto. Esta proposta poderá ser importante, caso a área útil seja reduzida ou haja a necessidade de transformar um quarto de solteiro num quarto duplo ou de casal. Além disso, poderão ser incorporadas algumas áreas de trabalho ou de lazer. Esta solução apresenta um nível de intervenção médio.

A solução 5 caracteriza-se pela incorporação de vários espaços, nomeadamente a introdução de novas áreas programáticas (escritório) e de áreas exteriores (varanda). Esta solução tem como objetivo tornar os quartos em zonas mais versáteis, adaptadas às necessidades dos moradores. Isto é, tornar os quartos em espaços completos, com novas áreas programáticas flexíveis e espaços exteriores. O nível de intervenção desta solução é elevado.

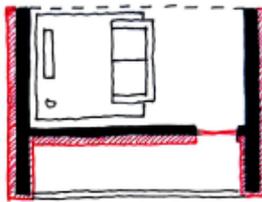


ESTADO ATUAL



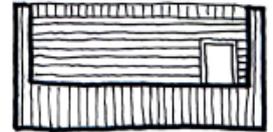
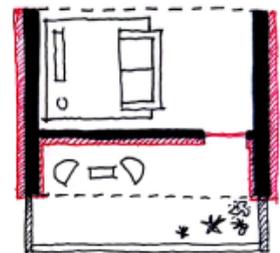
SOLUÇÃO BASE

Isolamento Térmico | Caixilhariás



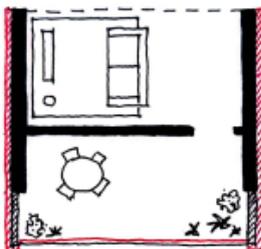
SOLUÇÃO 1

Varanda



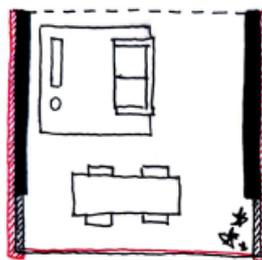
SOLUÇÃO 2

Espaço Exterior Semicoberto



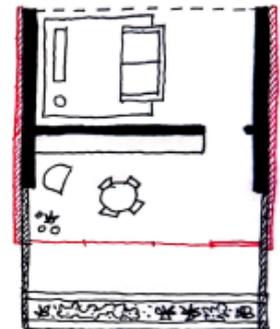
SOLUÇÃO 3

Jardim de Inverno



SOLUÇÃO 4

Ampliação



SOLUÇÃO 5

Híbrido



Figura 55. Esquemas de possibilidades para as áreas sociais

ÁREAS SOCIAIS

No projeto inicial do Bairro de Darque, grande parte das áreas sociais possuíam varandas, porém, atualmente, muitas destas foram encerradas com marquises. Durante a visita a algumas habitações, foi possível observar as diferentes apropriações deste novo espaço. Estas alterações permitiram transformar a varanda inicial em diferentes ambientes, como a criação de um pequeno jardim de inverno com vegetação, de um espaço para arrumos, de uma lavanderia, entre outros.

Na figura 55 estão representados vários esquemas de soluções que podem ser adotadas nas áreas sociais. Para isso, recorreu-se a plantas esquemáticas e aos seus respectivos alçados. Assim como nas propostas anteriores, é indicado o nível de intervenção de cada solução.

Mais uma vez, a solução base tem como objetivo garantir as condições mínimas de conforto, e estabelecer o princípio para o desenvolvimento de novas soluções. Assim, nesta solução propõe-se a introdução de isolamento térmico e substituição das caixilharias existentes. O seu nível de intervenção é baixo.

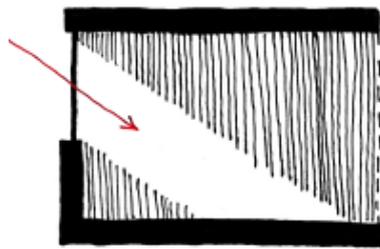
A solução 1 tem como proposta reintroduzir a varanda do projeto inicial. Apesar da proposta permitir criar um espaço exterior, também retira espaço útil às habitações. Neste sentido, esta solução não deverá ser adequada, uma vez que foram os próprios moradores que fecharam as varandas com marquises, devido à necessidade de espaço. Esta solução apresenta um nível de intervenção baixo.

A solução 2 caracteriza-se pela criação de um espaço exterior semicoberto. Os ocupantes poderão utilizar este espaço como uma zona de estar exterior, com vegetação. O facto desta área ser semicoberta, torna-a mais flexível, podendo ser utilizada parcialmente nos dias com precipitação. Nesta solução, o nível de intervenção é médio.

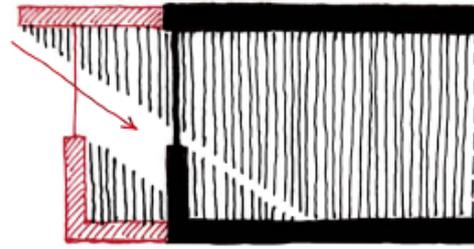
Como algumas varandas foram adaptadas a jardins de inverno pelos moradores, a solução 3 tem como objetivo reforçar este conceito, através da criação de um jardim de inverno com maiores dimensões. Além de permitir renovar o ar interior da habitação de forma natural, também possibilita a criação de uma nova área programática. O seu nível de intervenção é médio.

A solução 4 caracteriza-se pela ampliação da área social da habitação. Caso haja a necessidade de aumentar a área útil das zonas de estar, esta solução revela-se importante, visto que dá resposta à falta de espaço atual. Esta solução apresenta um nível de intervenção médio.

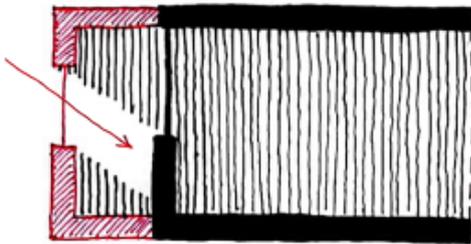
A solução 5 tem como proposta incorporar vários espaços, designadamente a introdução de um novo espaço de estar flexível, que poderá obter diferentes usos consoante a necessidade dos seus moradores, e de uma varanda exterior que integre elementos vegetativos. O nível de intervenção desta solução é elevado.



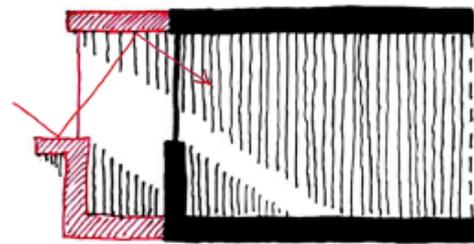
ESTADO ATUAL
Iluminação Natural de Referência



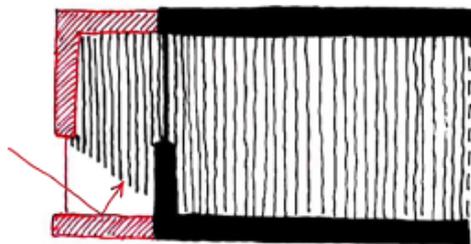
SOLUÇÃO 1
Pala Horizontal Exterior



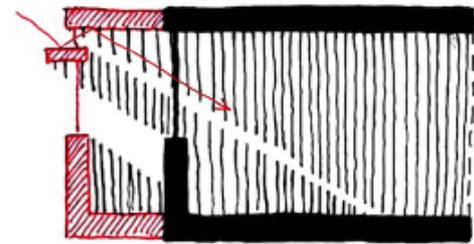
SOLUÇÃO 2
Padieira do Vão



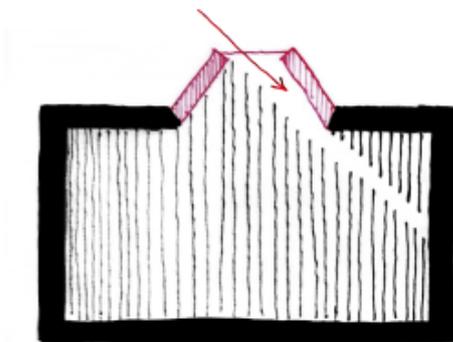
SOLUÇÃO 3
Peitoril Reflexivo



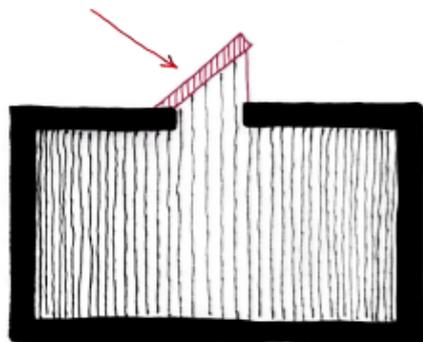
SOLUÇÃO 4
Bloqueio da Iluminação Natural



SOLUÇÃO 5
Prateleira de Luz



SOLUÇÃO 6
Claraboia - Luz direta



SOLUÇÃO 7
Claraboia - Luz indireta

Figura 56. Esquemas de incidência solar

INCIDÊNCIA SOLAR

A iluminação natural é essencial para a saúde e bem-estar das pessoas, proporcionando um ambiente visual agradável. Para além dos benefícios humanos, o sistema desenvolvido lida com dois problemas distintos: iluminação e incidência solar. A correta iluminação natural permite reduzir os consumos de energia das habitações, visto que não existe a necessidade de recorrer à iluminação artificial.

«A energia utilizada para a iluminação artificial dos edifícios corresponde à maior parte do uso de energia em edifícios (...). A maior utilização da iluminação natural levará à redução do uso de energia elétrica e auxiliará de forma significativa na batalha para solucionar a crise energética.»¹

Enquanto que, o controlo da incidência solar contribui para o aumento da eficiência energética, uma vez que é possível aquecer o interior do edifício no inverno e sombrear o interior no verão. As janelas localizadas nas paredes exteriores, para além de permitirem a iluminação natural dos edifícios, também estão associadas à ventilação dos espaços, e aos ganhos e perdas de calor. Neste sentido, é importante existir dispositivos de sombreamento para limitar o encadeamento e controlar a radiação solar excessiva. A dimensão dos vãos e a sua orientação na fachada deverá ser tida em consideração, uma vez que está associada aos ganhos e perdas de energia dos edifícios e ao tipo de dispositivos de sombreamento a adotar. Na figura 56 estão representadas diversas soluções de iluminação natural que servem como estratégias a adotar no tratamento das caixilharias e dos dispositivos de sombreamento. A sua representação foi feita através de cortes esquemáticos que evidenciam a incidência solar e o respetivo sombreamento.

Na solução 1, a colocação de palas horizontais exteriores permite bloquear a radiação solar no verão impedindo o sobreaquecimento do edifício, e permite a entrada dos raios solares no inverno aquecendo os espaços interiores. Este dispositivo horizontal poderá ser obtido através de varandas situadas no piso superior. A solução 1 é eficaz nas fachadas voltadas a sul, porém, nas fachadas orientadas a Este e Oeste poderá optar-se por palas verticais.

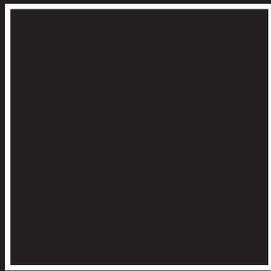
Enquanto que a solução 2 tem como objetivo restringir a incidência solar, através da redução do vão (padieira do vão), a solução 3 poderá ser relevante quando se pretende aumentar a profundidade de incidência solar no interior do edifício, contudo poderá provocar encadeamento aos seus ocupantes.

Na solução 4, o próprio espaço adicionado impede a entrada de radiação solar direta. Quando a iluminação natural não é relevante, poderá ser pertinente utilizar a envolvente exterior como parede de Trombe. Este tipo de estratégia permite aumentar a inércia térmica do edifício, aumentando a capacidade de armazenar calor, que será libertado para o interior do edifício. Esta solução só funciona nas fachadas voltadas a sul, e apenas deverá ser utilizada quando haja a necessidade de aquecimento. Na solução 5, a prateleira de luz, ou *ligh shelf*, permite refletir os raios solares, aumentando a profundidade de incidência e criando um ambiente com uma iluminação mais homogénea.

A introdução da claraboia permite iluminar e ventilar os espaços interiores do edifício. Dependendo da sua geometria, as claraboias possibilitam uma iluminação zenital direta (solução 6) ou uma iluminação indireta homogénea (solução 7). Estas soluções só poderão ser adotadas nos fogos localizados no último piso.

1 PHILLIPS, Derek - **Daylight: Natural Light in Architecture**. Oxford : Architectural Press, 2004. ISBN 0-7506-6323-5. p. xx-xxi.

SISTEMA ETICS



SISTEMA
PRÉ-FABRICADO
PROPOSTO

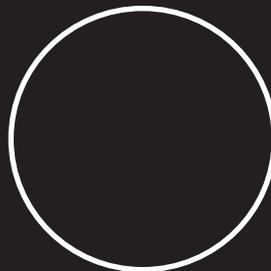
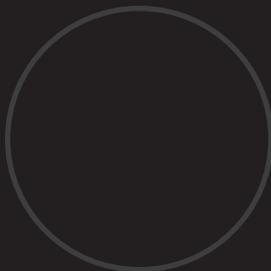


Figura 57. Sistema ETICS e Sistema Pré-fabricado Proposto

□ Necessidade dos Edifícios

○ Necessidade das Pessoas

05 FORMALIZAR

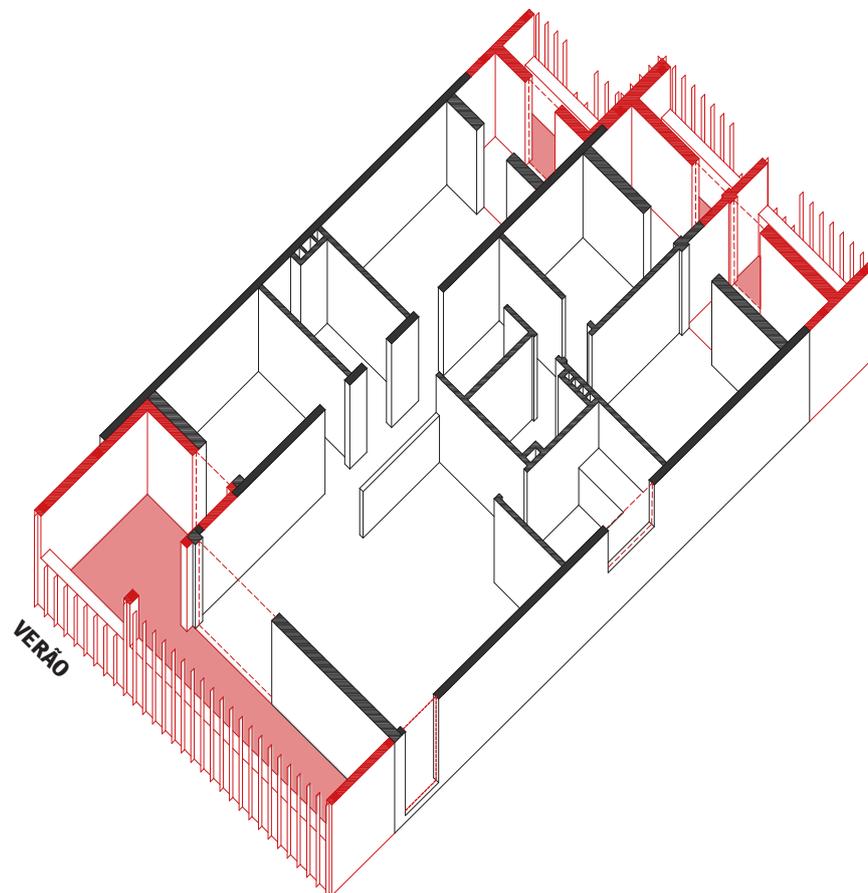
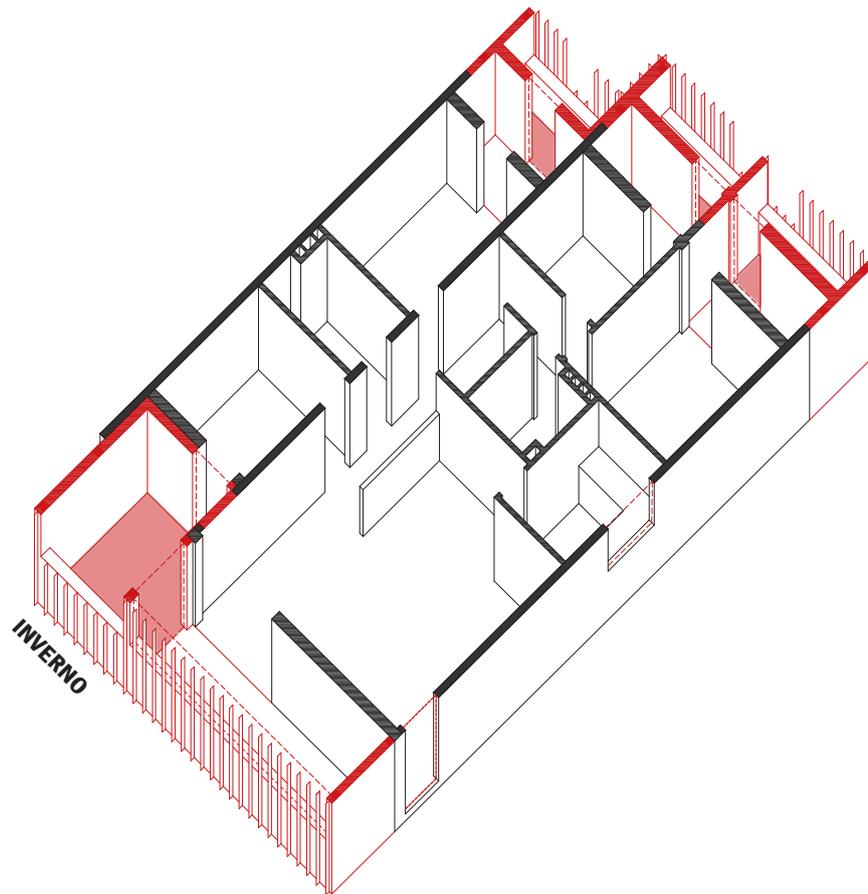


Figura 58. Esquema de funcionamento ao longo do ano

PROPOSTA

A proposta final visa melhorar a eficiência energética, a segurança estrutural e a organização espacial do lote 4 do Bairro Social de Darque. Para isso, interveio-se na parte exterior do edifício através da colocação de um exoesqueleto à base de madeira, tornando-a numa envolvente habitável.

Em termos energéticos, as características do sistema pré-fabricado proposto permitem aumentar a eficiência energética do edifício, através do isolamento térmico em toda a envolvente exterior e das janelas de alto desempenho, com vidro duplo.

A resiliência estrutural é garantida através da própria estrutura do sistema proposto que está fixa à estrutura de betão armado. Assim, permite a distribuição e redução das cargas laterais, e o aumento da capacidade estrutural.

Em relação à organização espacial, atuou-se em dois espaços distintos: espaços privados e espaços públicos. Os espaços interiores privados caracterizam-se pela sua versatilidade e capacidade de se adaptarem às necessidades dos ocupantes. Nos quartos foram criados espaços que podem funcionar como escritório para teletrabalho ou videoconferência, zona de leitura, ou até mesmo *closet* (conferindo mais espaço ao resto do quarto). Já nas áreas sociais, decidiu-se adicionar um jardim de inverno. Para além de poder ser utilizado para lazer, convívio e cultivo de espécies vegetais, também funciona como uma zona de amortecimento térmico.

É de destacar a cooperação entre o jardim de inverno e a varanda, ou seja, estes espaços podem obter configurações distintas ao longo do ano, de acordo com as necessidades funcionais e térmicas. Na figura 58 está apresentado um esquema de funcionamento de uma habitação durante o inverno e o verão, em que a mancha vermelha representa os espaços exteriores. No inverno, os vãos encontram-se encerrados, criando uma zona de amortecimento térmico e protegendo os espaços interiores das baixas temperaturas exteriores, enquanto que no verão, os vãos encontram-se abertos, de modo a aumentar a circulação do ar e evitar o sobreaquecimento do jardim de inverno. Com isto, é possível unir a varanda e o jardim de inverno, e criar um espaço exterior com maiores dimensões.

Sempre que possível optou-se pela colocação de espaços exteriores privados, visto que permite que os moradores possam usufruir do ar exterior sem ter que sair das suas habitações. Tais espaços encontram-se nas varandas presentes em todos os fogos e no pátio exterior existente no piso inferior dos módulos A. As varandas funcionam como uma extensão do espaço interior, onde é possível desenvolver várias atividades relacionadas com o lazer e descanso, ou até mesmo secar a roupa de modo natural. Além disso, permite ventilar o interior dos fogos melhorando a qualidade do ar interior, e tem uma função importante caso exista a necessidade dos moradores ficarem em isolamento profilático. No piso inferior das galerias de acesso exteriores, optou-se pela criação de um pátio de entrada a cada fogo, garantindo uma maior privacidade aos moradores. Este pátio coberto para além de permitir o acesso direto aos fogos, também funciona como espaço de transição entre o exterior e interior da habitação.

Os espaços públicos criados estão presentes nas galerias exteriores e na cobertura do módulo B. No piso superior, o objetivo foi tornar a galeria exterior num prolongamento do espaço urbano envolvente, através do alargamento da mesma e na colocação de espécies vegetais. Isto permite aos moradores e pessoas locais usufruírem dos espaços criados e possibilita a criação de um ambiente em comunidade.



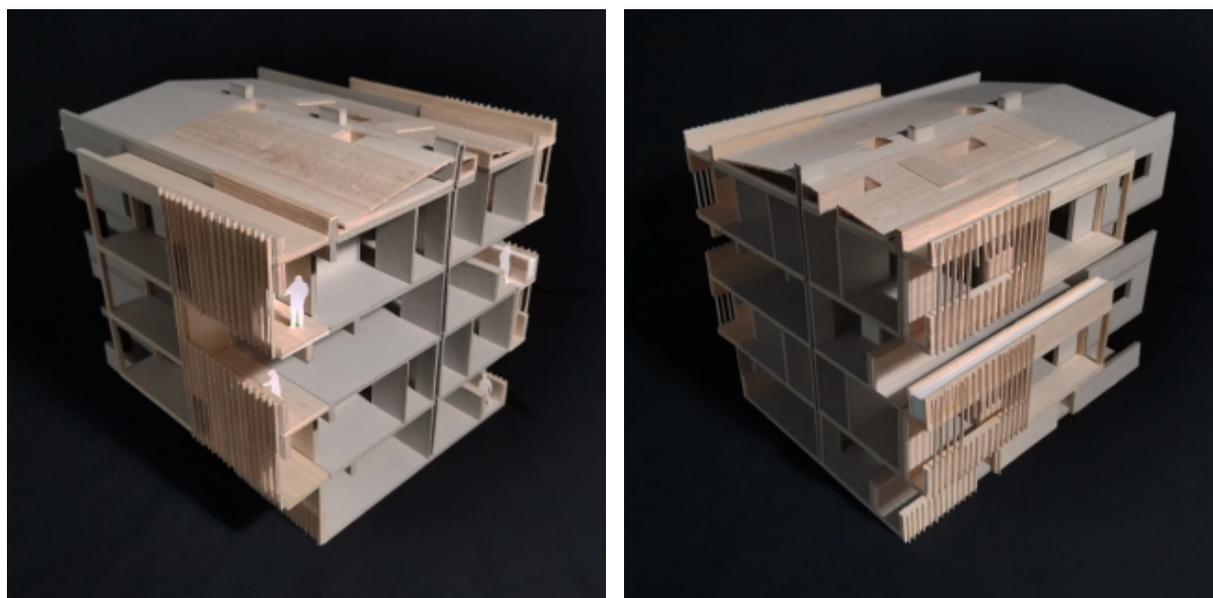
Figura 59. Fotografias da maquete

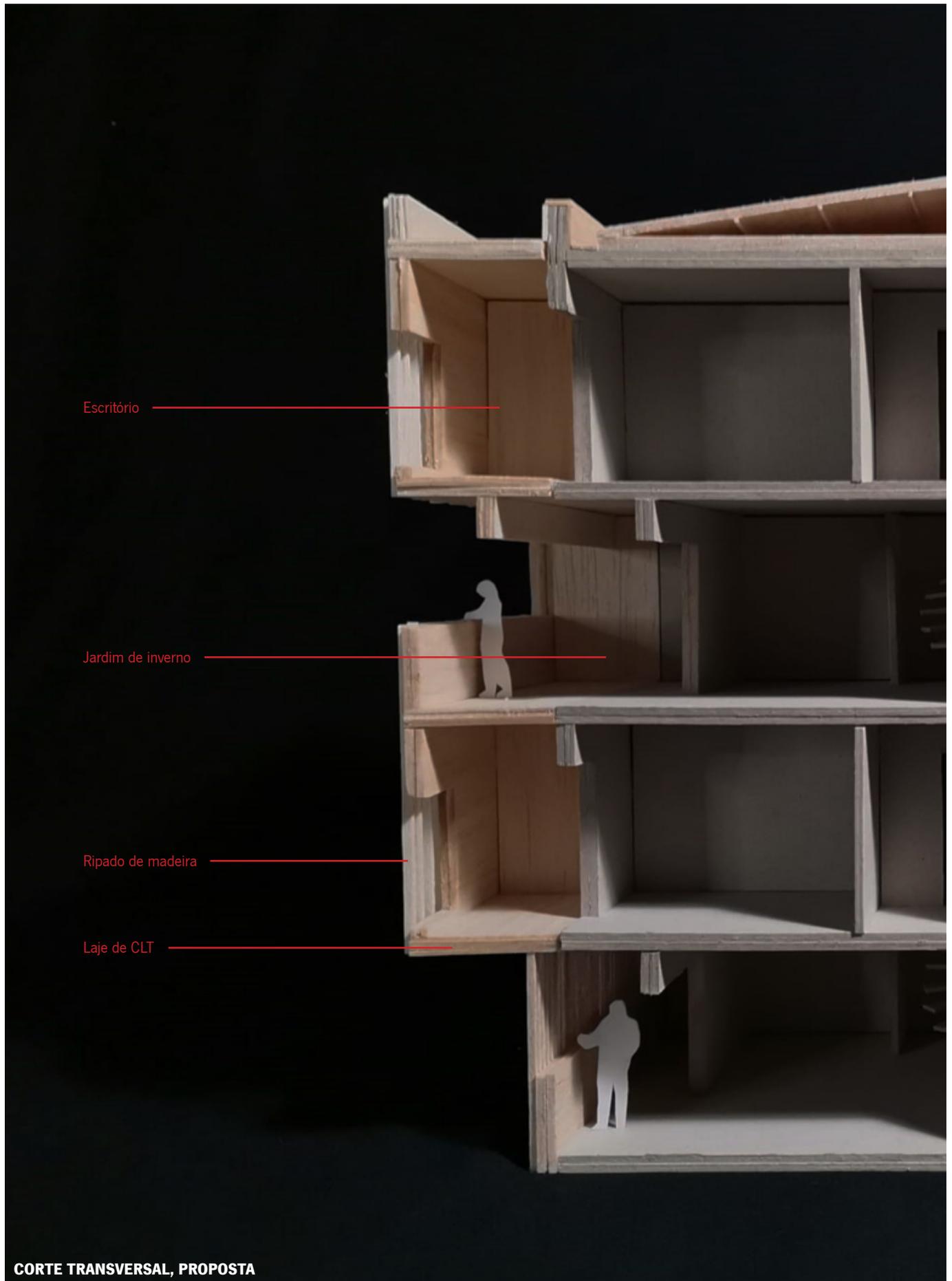
No módulo B, optou-se por tornar a cobertura acessível, de modo a reforçar o convívio entre as pessoas e aproveitar a sua localização para a criação de um miradouro para o rio Lima. Este espaço funciona como um jardim aberto, através da colocação de espaços verdes que servem para o cultivo de pequenas plantas. Além disso, a colocação de claraboias permite iluminar e ventilar os espaços interiores, como as instalações sanitárias e os acessos verticais (escadas em caracol). Ao contrário do módulo B, a cobertura do módulo A não é acessível, contudo optou-se pela introdução das claraboias e de painéis fotovoltaicos.

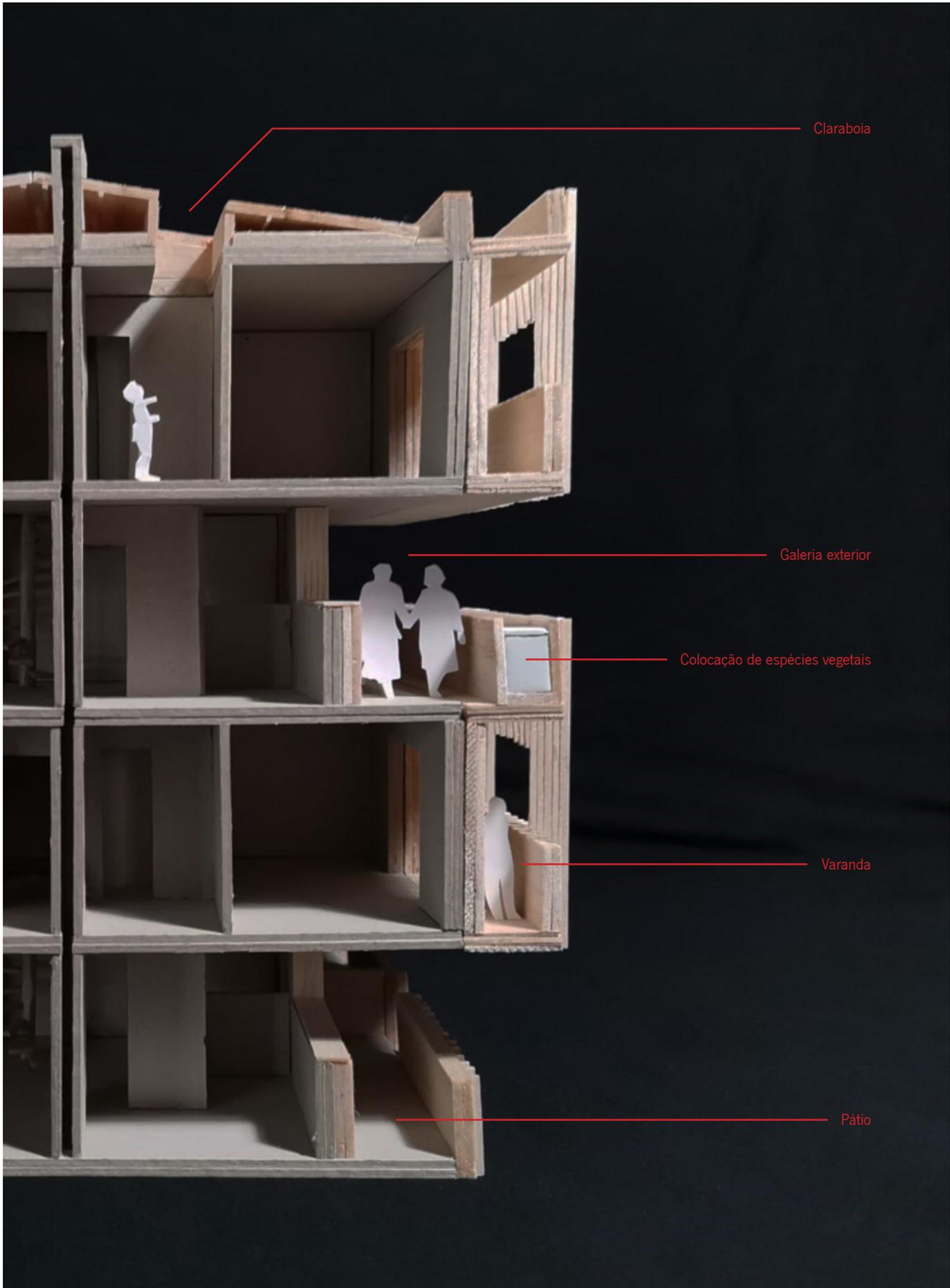
Relativamente à fachada, o ripado de madeira possui um distanciamento entre elementos verticais que vai variando de acordo com os espaços. No piso em contacto com o solo é utilizado um distanciamento menor, para que garanta maior privacidade aos moradores. Além disso, permite controlar a incidência de luz solar. Nos espaços exteriores, como varandas e galerias exteriores, o ripado de madeira é interrompido pontualmente, a fim de representar a geometria dos vãos originais mantendo as suas características projetuais. Com o passar do tempo, a vegetação localizada na cobertura e na galeria exterior poderá prolongar-se através do ripado de madeira, criando uma fachada verde.

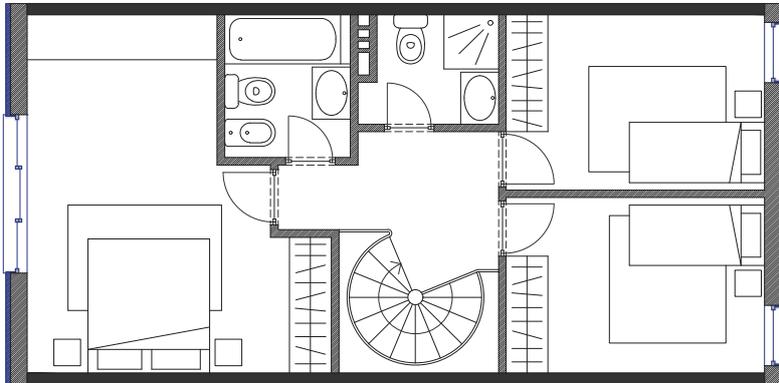
A figura 59 mostra a representação em maquete da proposta (secção do módulo A). A ideia desta maquete é representar três fases distintas: edifício atual, elementos estruturais da proposta e resultado final. Para além dos respetivos alçados, norte e sul, é também possível ver duas secções do edifício, a relação entre os diferentes espaços e a relação entre o interior e o exterior do edifício.

De seguida, será feita uma comparação entre os desenhos da intervenção que está a decorrer atualmente no lote 1 (sistema ETICS) e o projeto de reabilitação desenvolvido no lote 4 (sistema pré-fabricado proposto). Para além das diferentes soluções construtivas adotadas, é também possível comparar a organização interior das habitações e a sua relação interior-exterior.

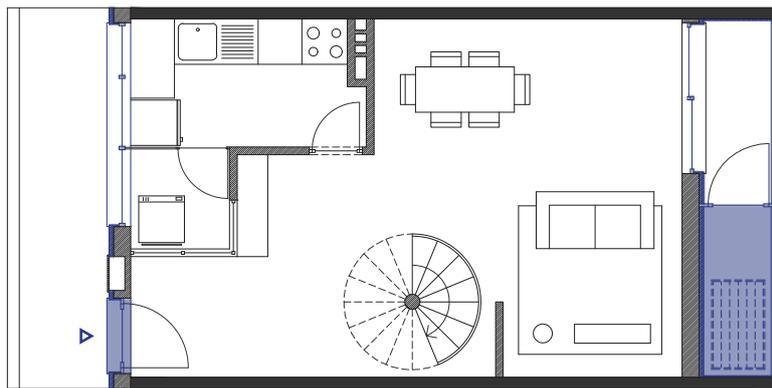




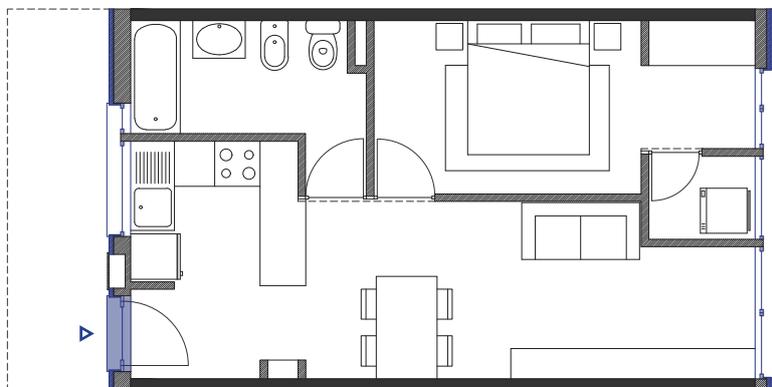




Planta do piso 1 e 3



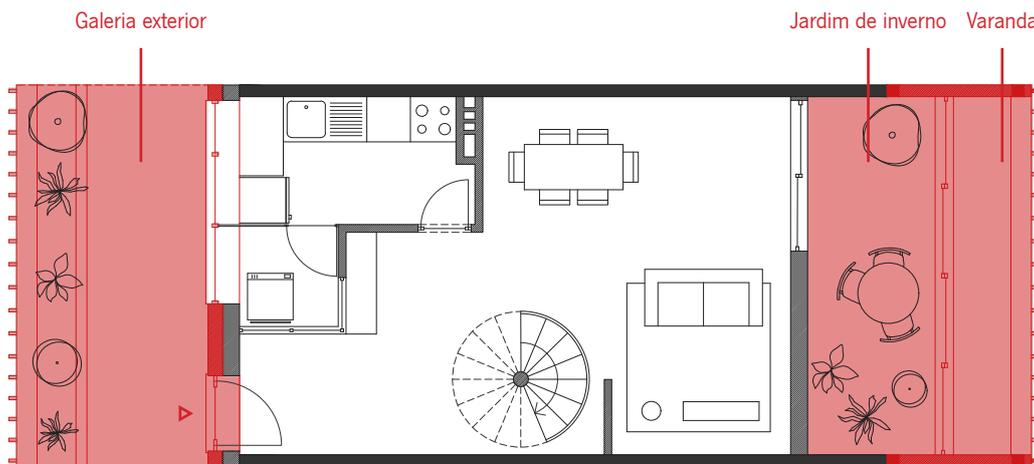
Planta do piso 0 e 2



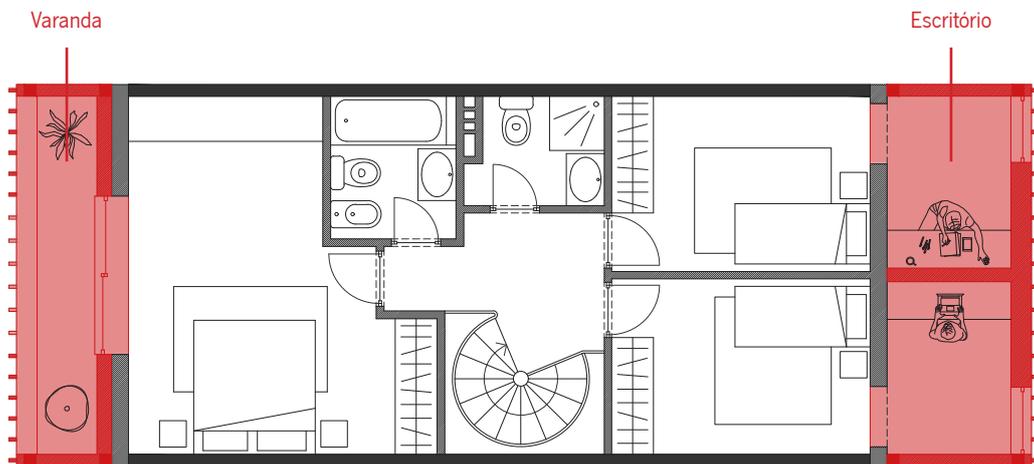
Planta do piso -1, semicave

Figura 60. Plantas do Módulo A, Sistema ETICS

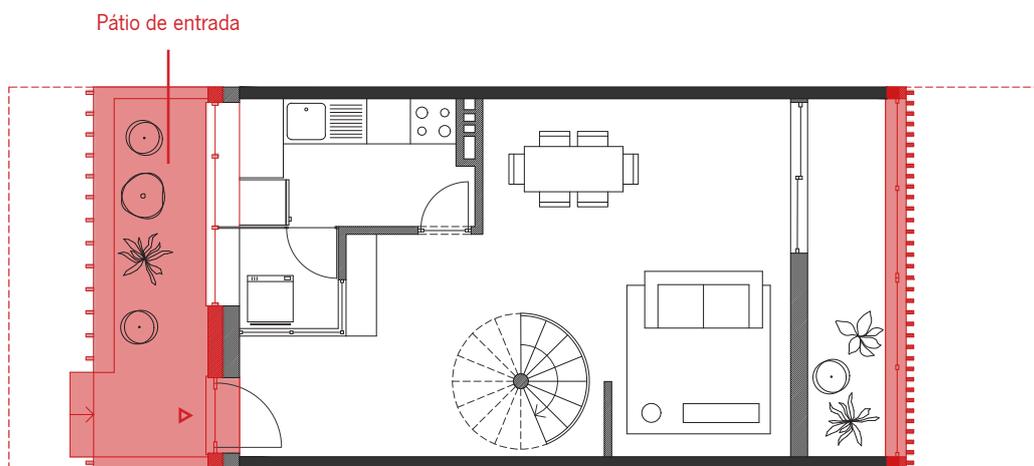




Planta do piso 2

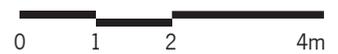


Planta do piso 1 e 3



Planta do piso 0

Figura 61. Plantas do Módulo A, Sistema proposto



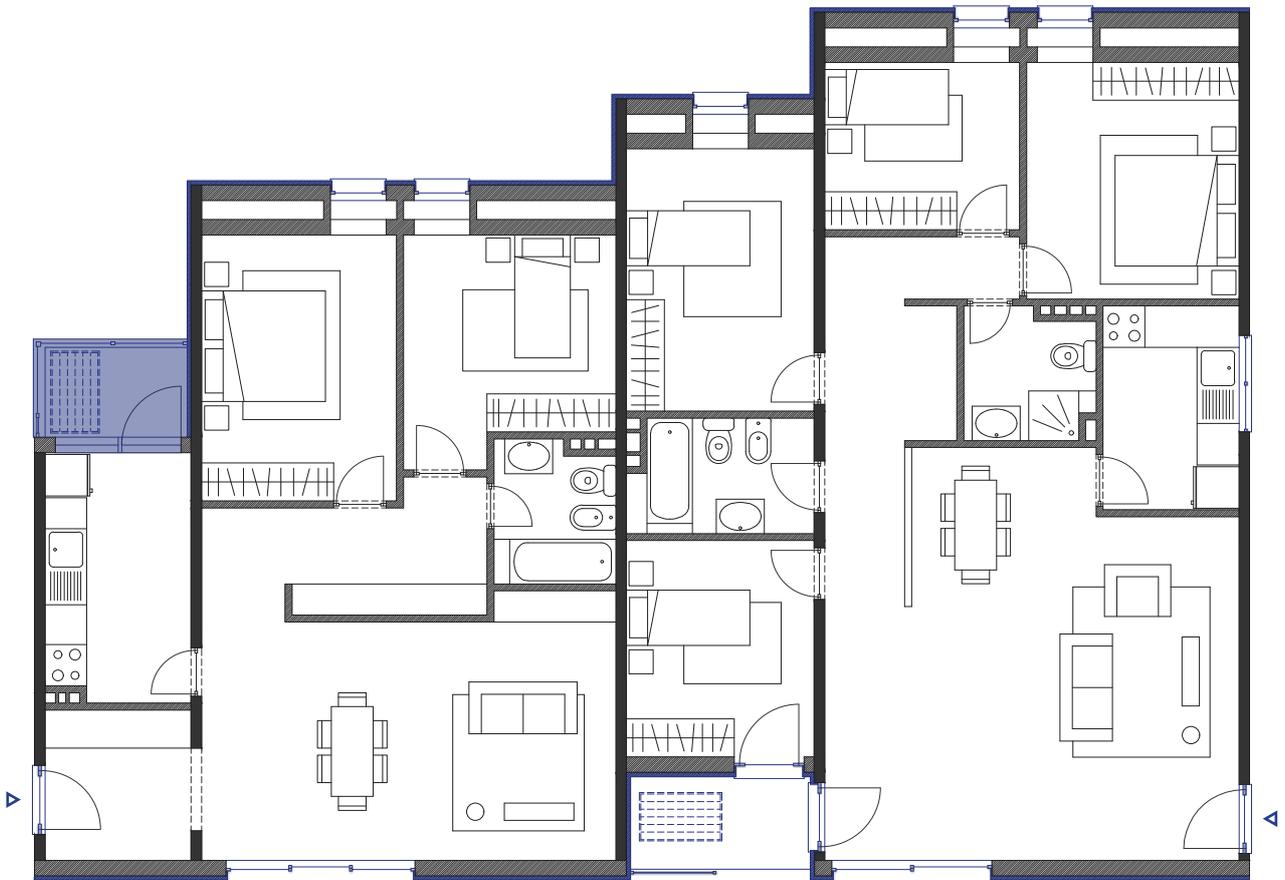


Figura 62. Planta do Módulo B, Sistema ETICS



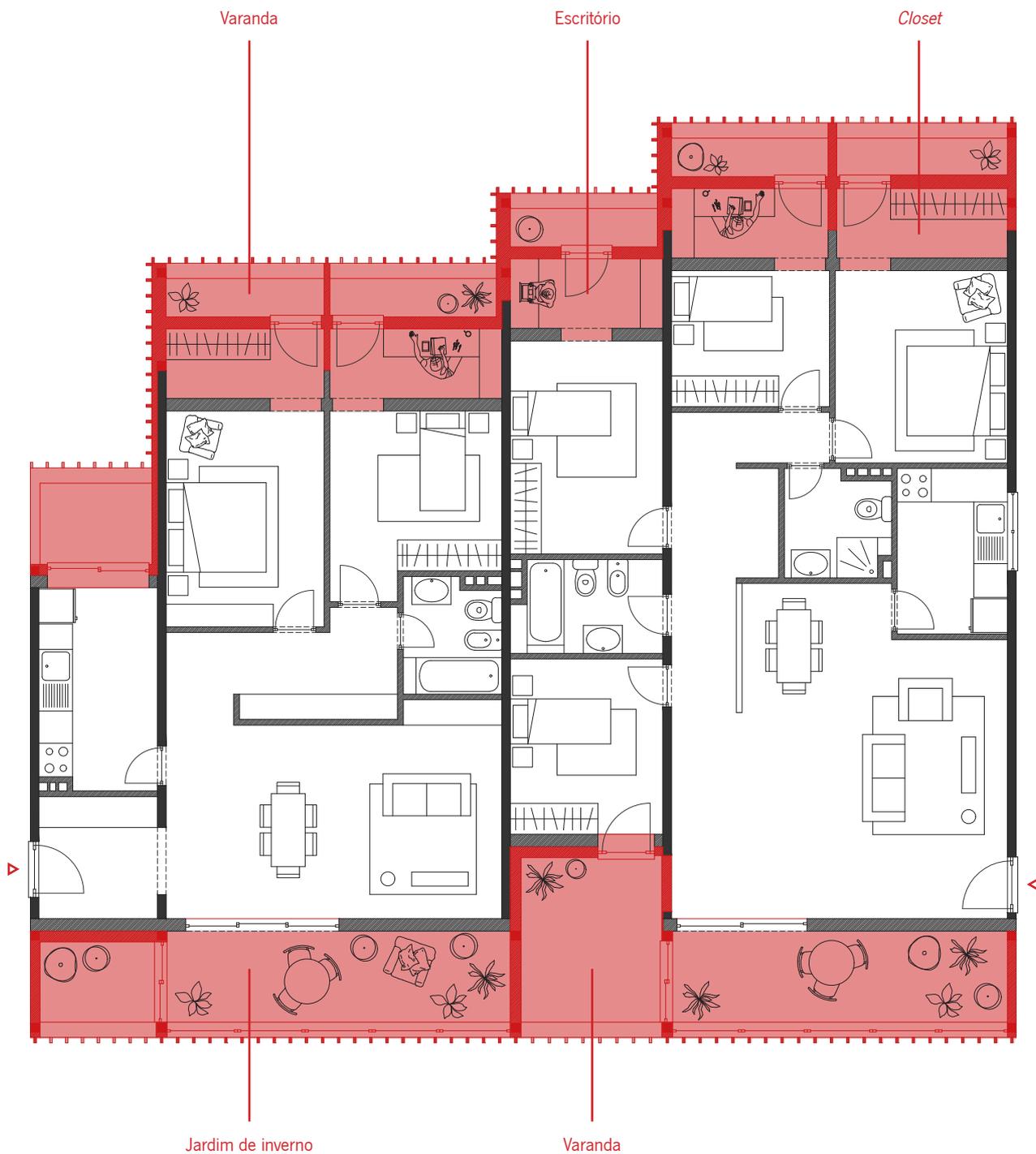


Figura 63. Planta do Módulo B, Sistema proposto

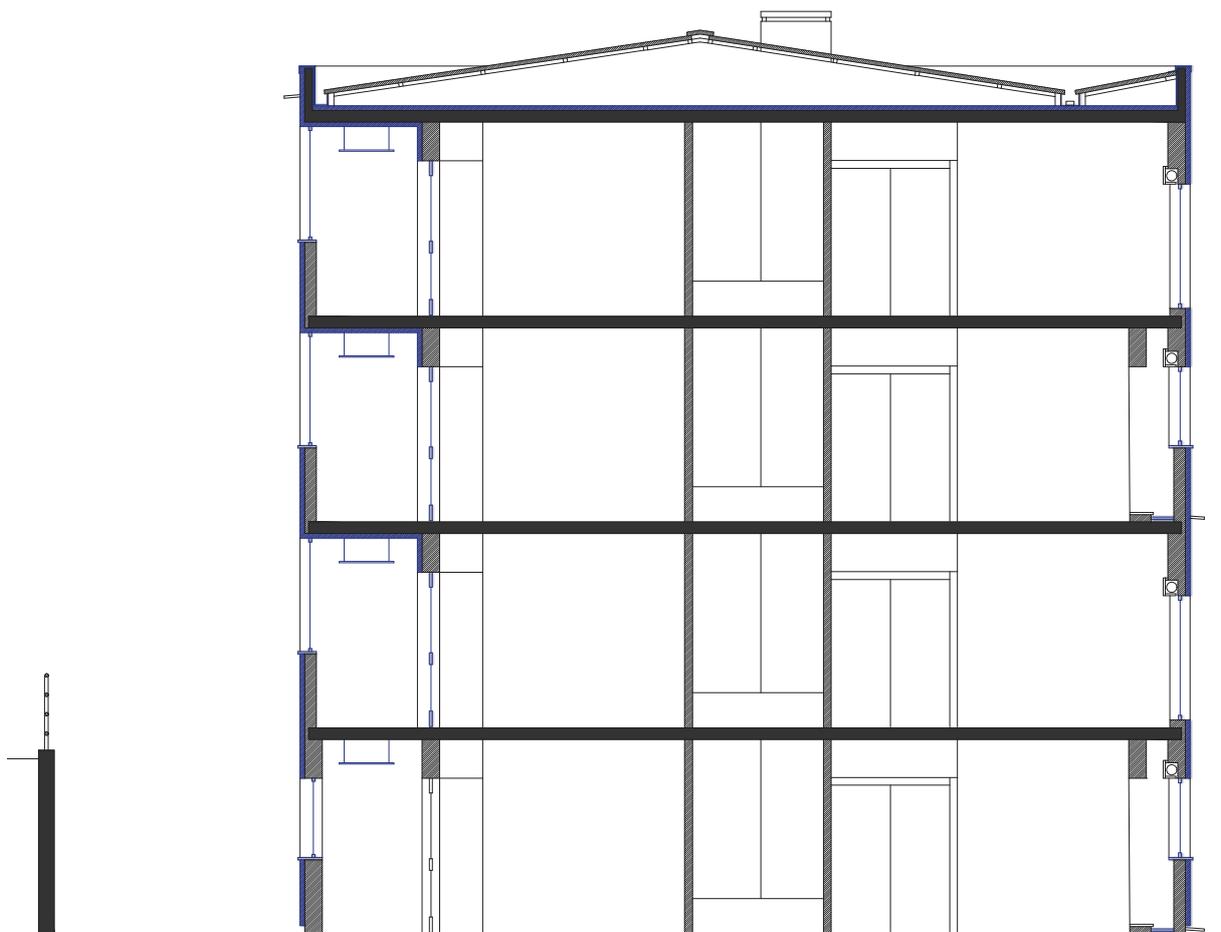


Figura 64. Corte transversal do Módulo B, Sistema ETICS



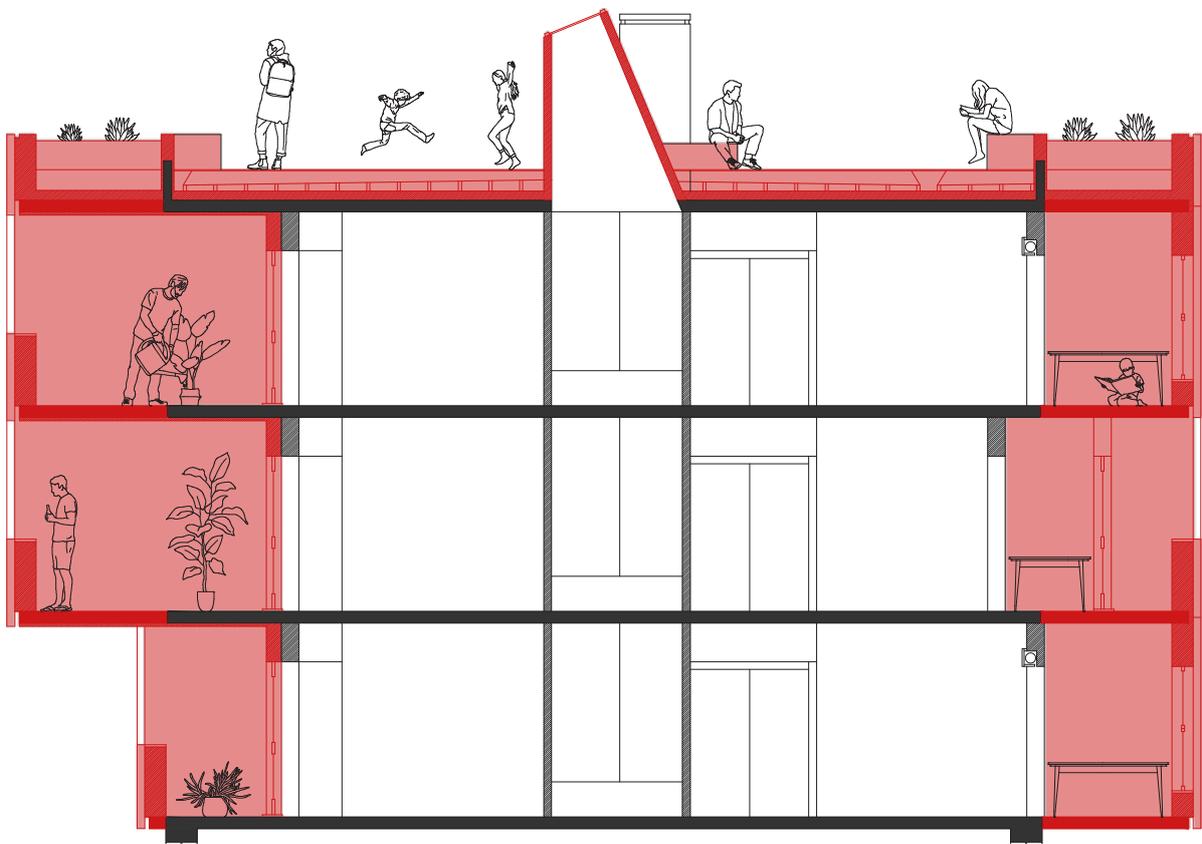
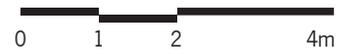


Figura 65. Corte transversal do Módulo B, Sistema proposto



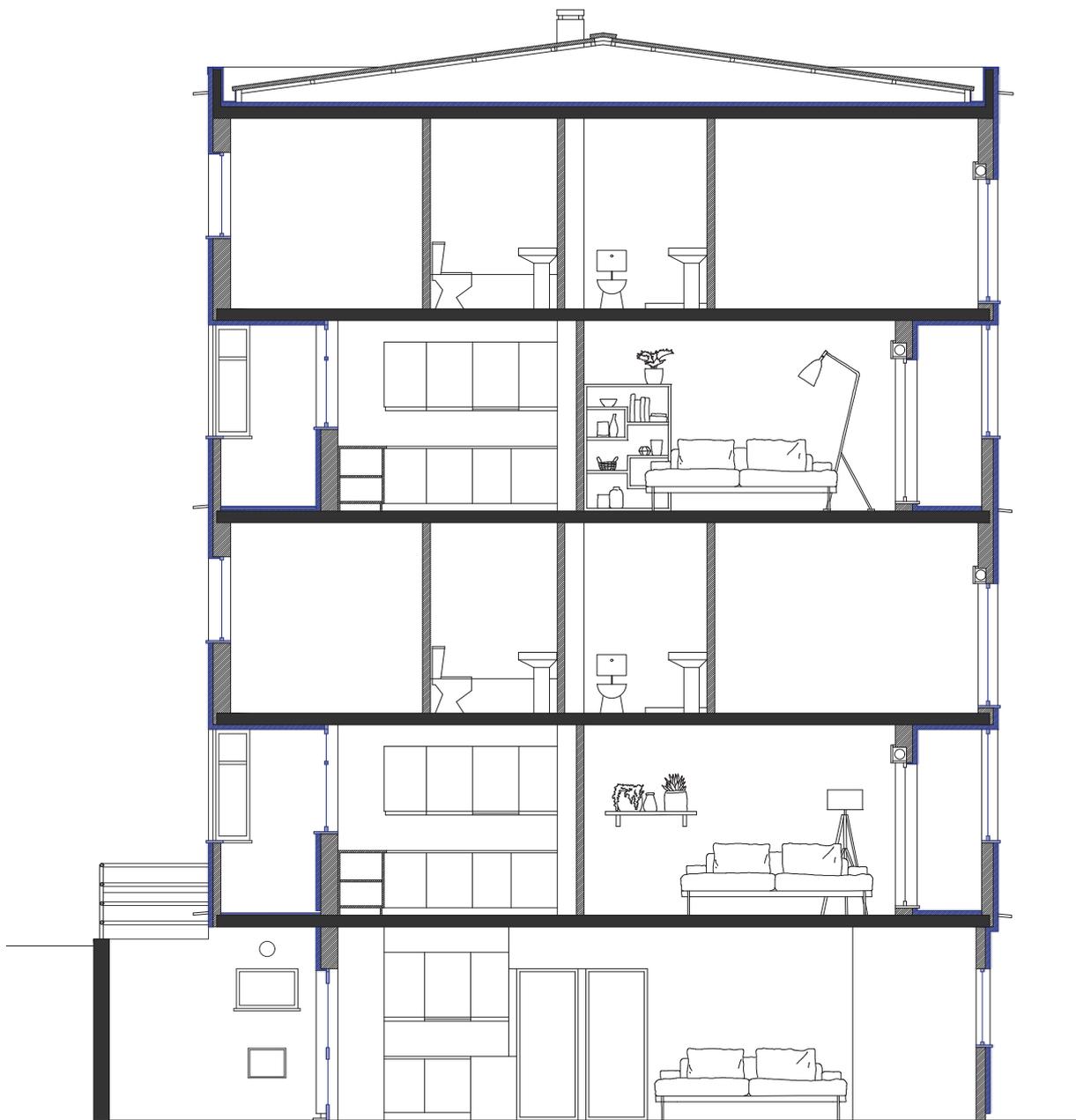


Figura 66. Corte transversal do Módulo A, Sistema ETICS

0 1 2 4m



Figura 67. Corte transversal do Módulo A, Sistema proposto

0 1 2 4m

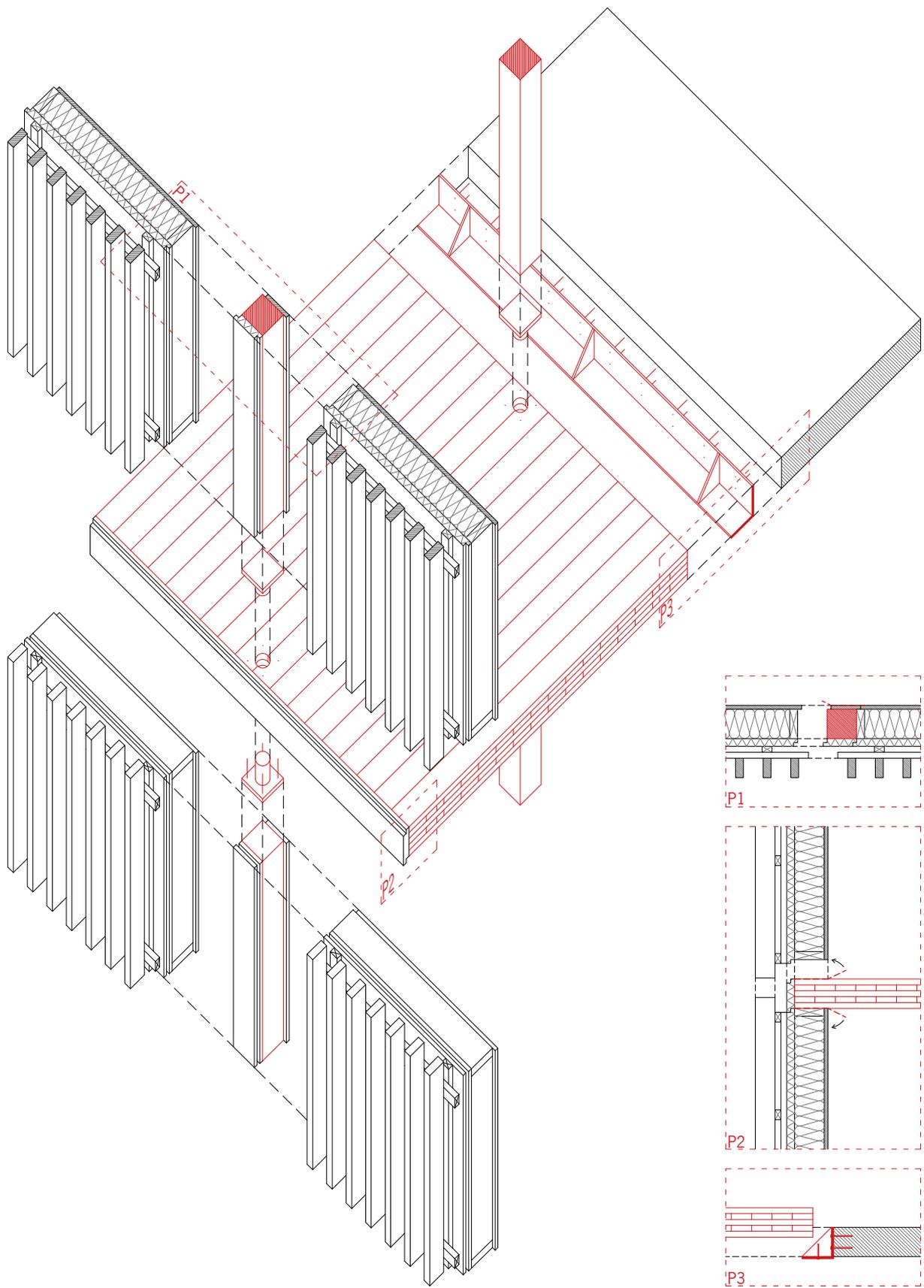


Figura 68. Axonometria representativa das ligações entre elementos construtivos

DETALHES CONSTRUTIVOS

A pré-fabricação dos elementos construtivos permite processos de construção e montagem mais rápidos e eficazes. Neste sentido, optou-se pela pré-fabricação da estrutura, isolamento e revestimento que, para além de aproveitar as vantagens deste tipo de construção, também permite reduzir o tempo e trabalho no local.

As dimensões dos elementos pré-fabricados estão associadas às dimensões máximas do meio de transporte, permitindo aumentar a eficácia do sistema, reduzir o custo e o número de juntas entre elementos que, conseqüentemente, reduz o aparecimento de erros durante a montagem. Além disso, “um grau de pré-fabricação elevado melhora a qualidade da construção em comparação com a montagem no local”¹.

Na figura 68, estão representadas as ligações entre os elementos construtivos. Estas conexões foram feitas através de encaixes e com o auxílio de elementos metálicos. O pormenor construtivo P1 representa, em planta, a ligação entre o pilar (estrutura) e os elementos planares de enchimento (isolamento térmico e revestimento). Esta ligação foi efetuada através do encaixe entre os elementos construtivos, isto é, a geometria das camadas que compõem cada painel permite fazer a união entre os elementos.

No pormenor construtivo P2 está representada, em corte, a ligação entre o a laje de CLT (estrutura) e os elementos planares de enchimento. Assim como no pormenor construtivo mencionado anteriormente, a geometria das camadas permite fazer o encaixe entre os diferentes elementos. Além disso, está representada a camada que permite garantir a estanquidade ao ar.

No pormenor construtivo P3, a ligação entre a laje de betão armado e a laje de CLT é feita através de um perfil metálico “L” aparafusado à laje existente. Ainda, este perfil é composto por um esquadro que tem com o objetivo de assegurar a estabilidade estrutural. Posteriormente, a laje de CLT é aparafusada ao perfil metálico.

O elemento metálico que faz a ligação entre o pilar e a laje de CLT consiste em secções circulares em aço fixadas a placas de aço, que estão conectadas à parte superior e inferior de cada pilar. A secção circular situada na parte inferior do pilar encaixa-se com a secção situada no topo da coluna do piso inferior. Por sua vez, a laje de CLT é fixa ao topo dos pilares e aparafusada às placas de aço através de quatro hastes roscadas.

O remate entre o pavimento existente e o pavimento adicionado é feito através de uma soleira de madeira que, para além de fazer a transição entre os espaços, também permite esconder algumas fissuras que possam aparecer após a montagem do sistema proposto.

De seguida, serão mostrados os cortes fachada em pormenor dos Módulos A e B, que permitem entender o remate entre o edifício atual e o sistema proposto. Além disso, num primeiro momento, será feita uma comparação entre a solução construtiva em ETICS e a solução proposta nesta investigação.

¹ KAUFMANN, Hermann ; KRÖTSCH, Stefan ; WINTER, Stefan - **Manual of Multi-Storey Timber Construction**. Munich: Detail, 2018. ISBN 978-3-95553-395-3. p. 107;109.

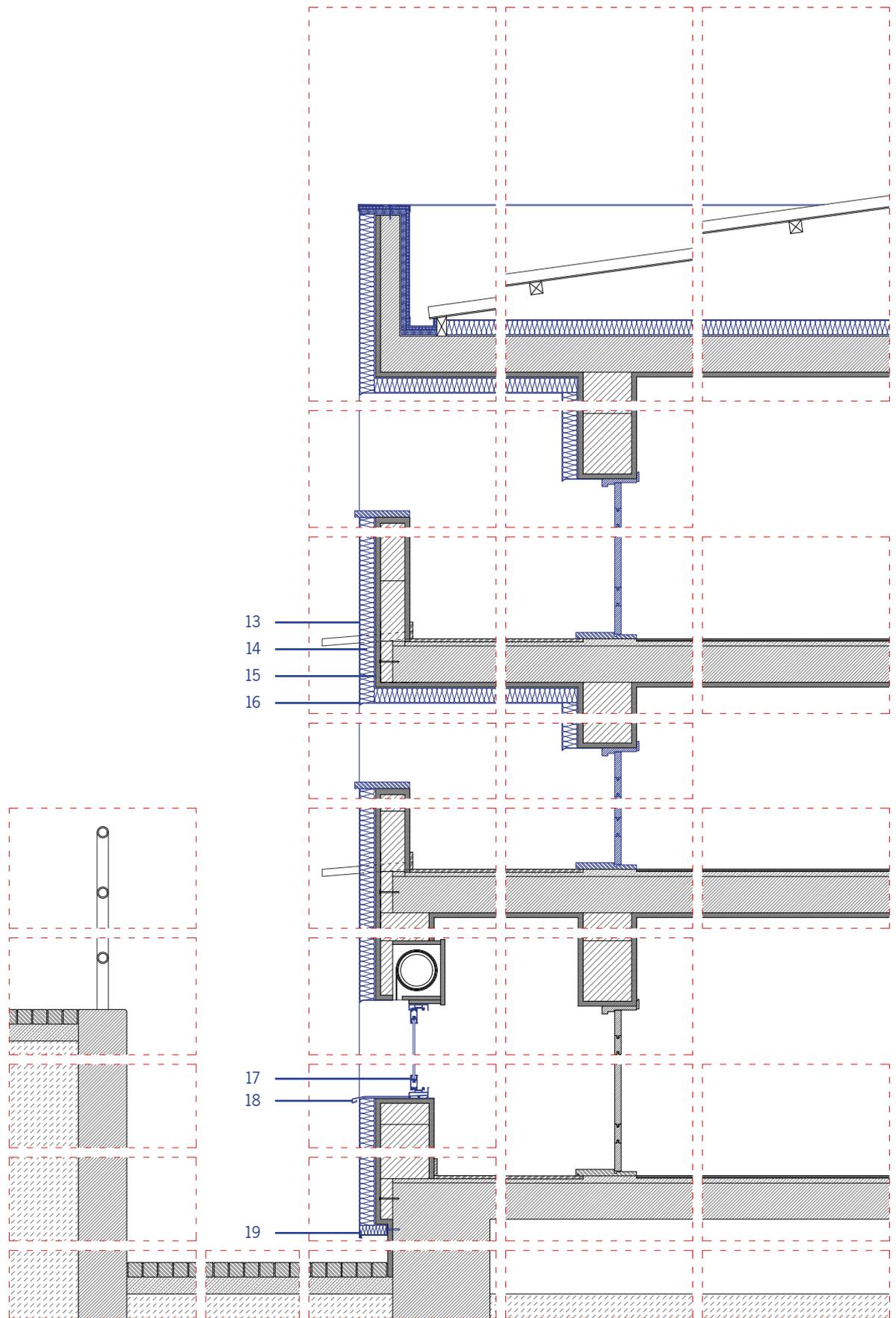
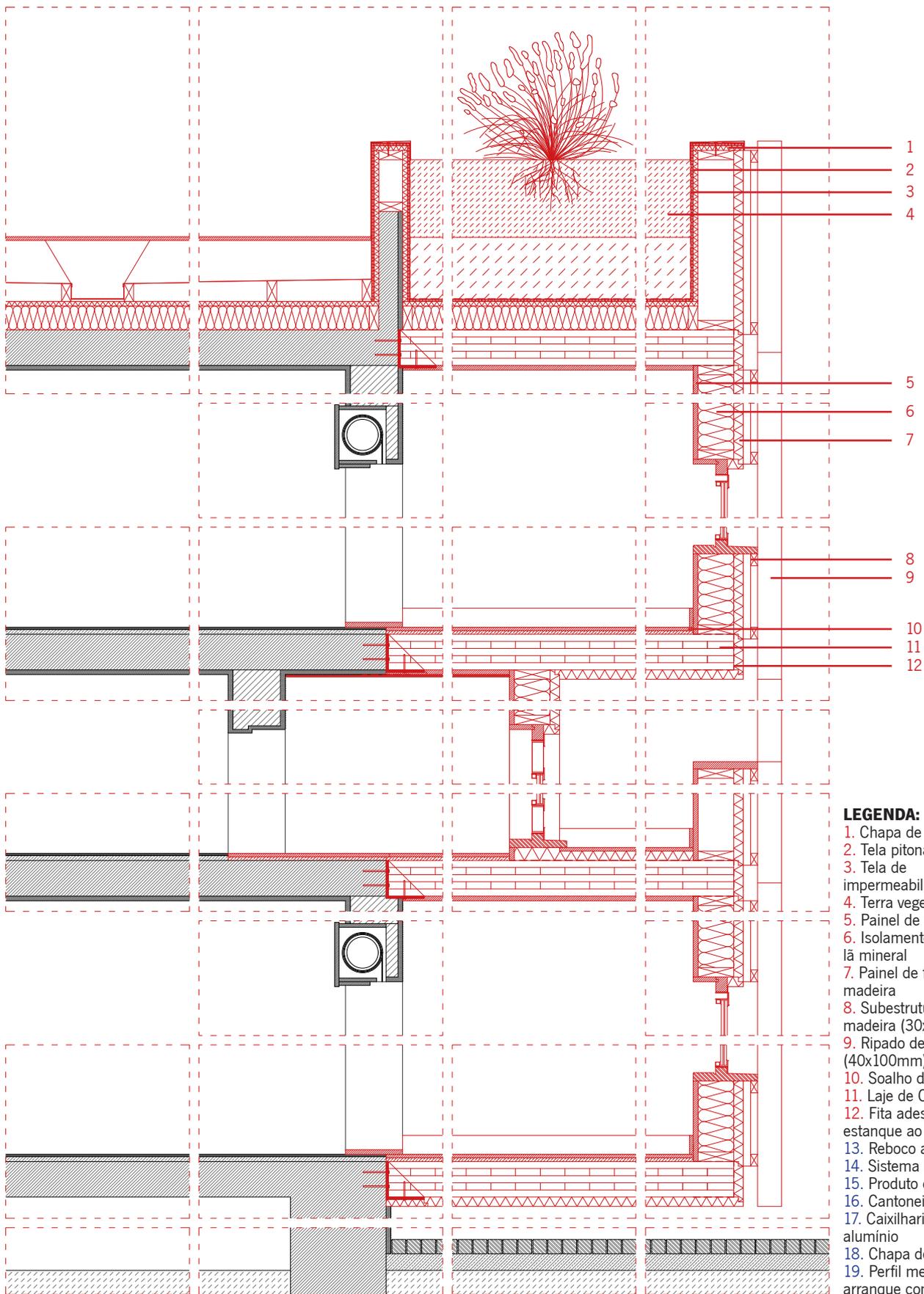


Figura 69. Corte fachada do Módulo B - Sistema ETICS e Sistema proposto



- LEGENDA:**
1. Chapa de zinco
 2. Tela pitonada
 3. Tela de impermeabilização
 4. Terra vegetal
 5. Pannel de OSB
 6. Isolamento térmico em lâ mineral
 7. Pannel de fibra de madeira
 8. Subestrutura de madeira (30x50mm)
 9. Ripado de madeira (40x100mm)
 10. Soalho de madeira
 11. Laje de CLT
 12. Fita adesiva unilateral estanque ao ar
 13. Reboco armado
 14. Sistema ETICS
 15. Produto de colagem
 16. Cantoneira de ângulo
 17. Caixilharia de alumínio
 18. Chapa de alumínio
 19. Perfil metálico de arranque com pingadeira



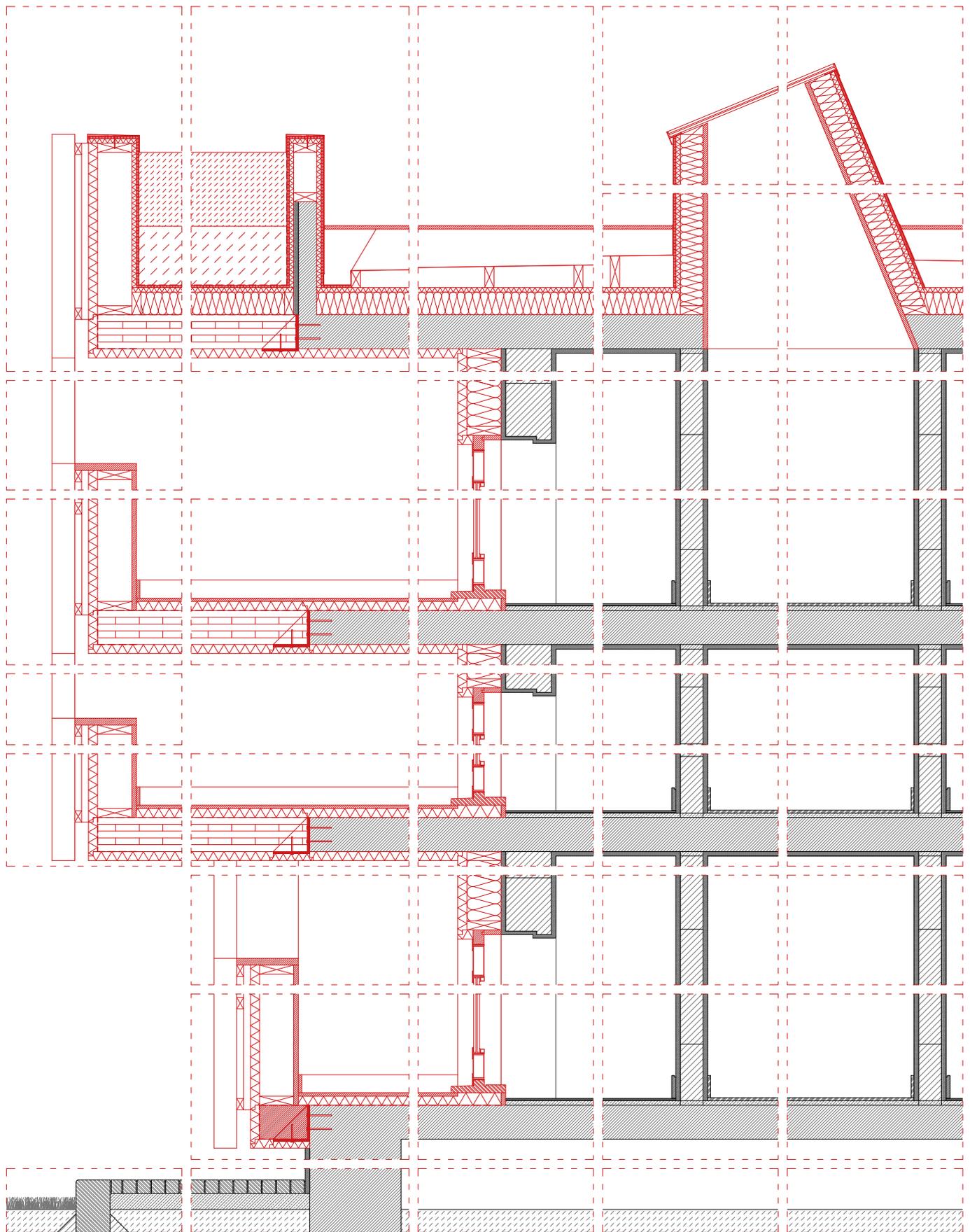
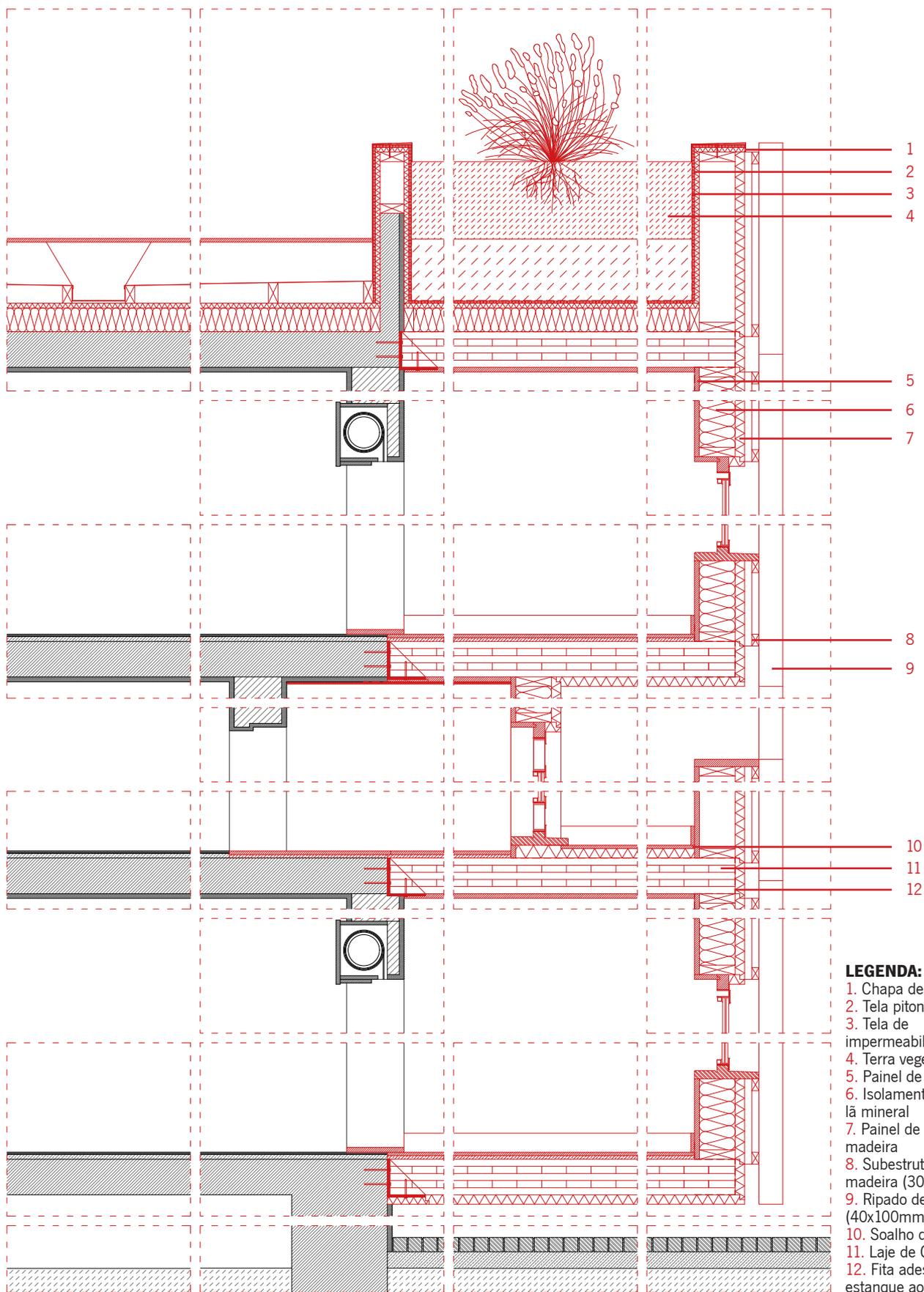


Figura 70. Corte fachada do Módulo B - Sistema proposto



LEGENDA:

1. Chapa de zinco
2. Tela pitonada
3. Tela de impermeabilização
4. Terra vegetal
5. Painel de OSB
6. Isolamento térmico em lã mineral
7. Painel de fibra de madeira
8. Subestrutura de madeira (30x50mm)
9. Ripado de madeira (40x100mm)
10. Soalho de madeira
11. Laje de CLT
12. Fita adesiva unilateral estanque ao ar

0 0.25 0.5 1m

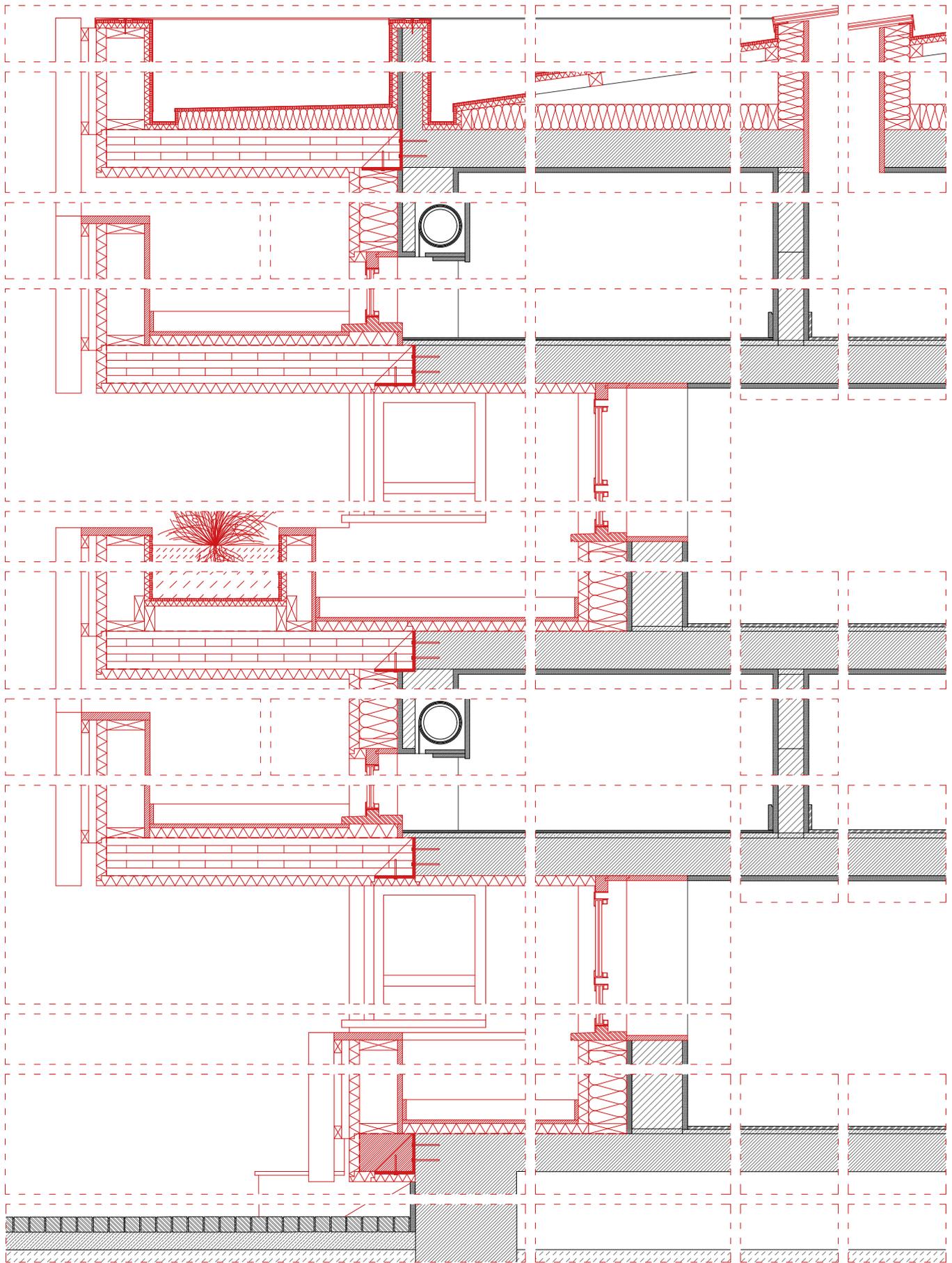
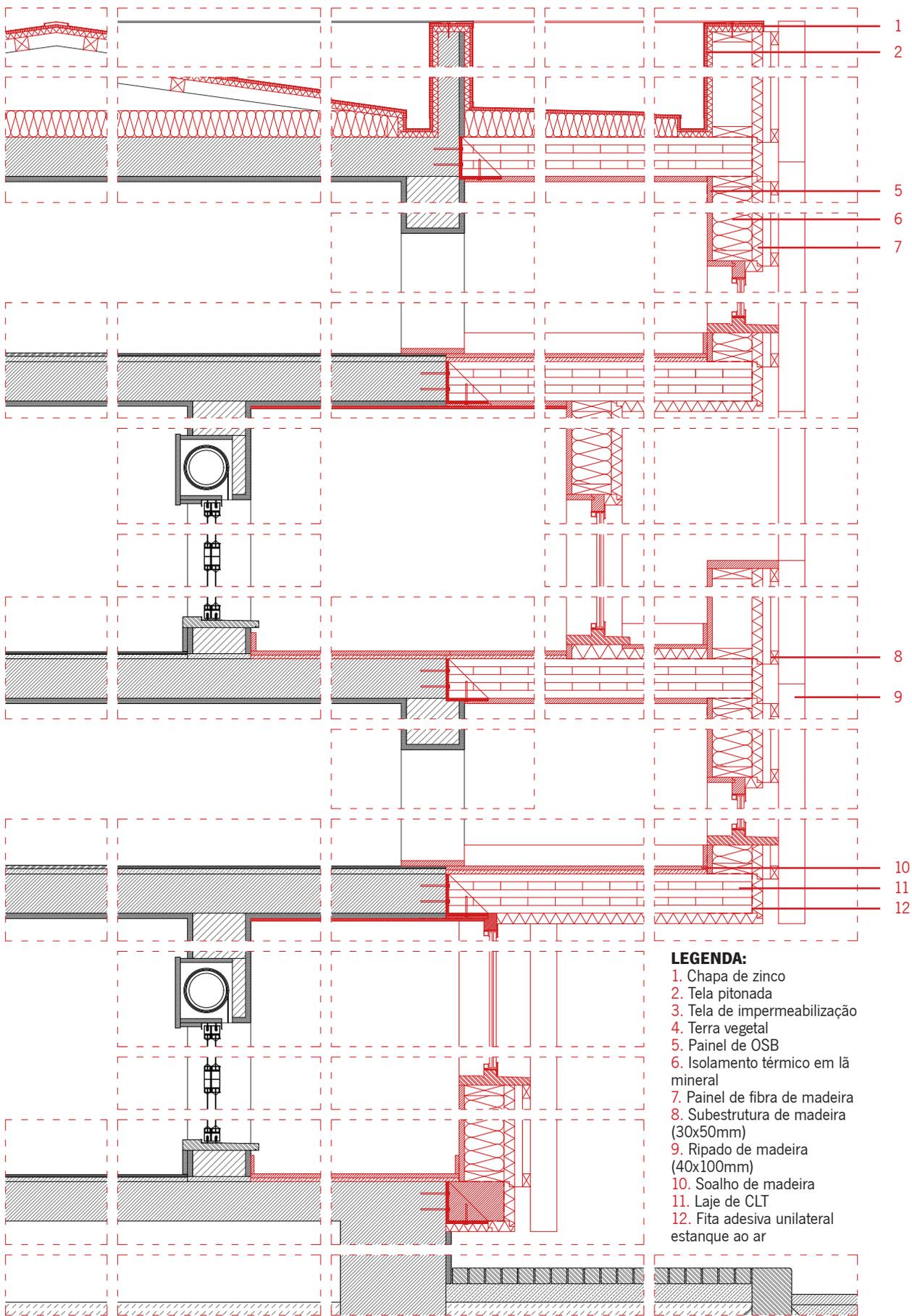


Figura 71. Corte fachada do Módulo A - Sistema proposto



LEGENDA:

1. Chapa de zinco
2. Tela pitonada
3. Tela de impermeabilização
4. Terra vegetal
5. Painel de OSB
6. Isolamento térmico em lâ mineral
7. Painel de fibra de madeira
8. Subestrutura de madeira (30x50mm)
9. Ripado de madeira (40x100mm)
10. Soalho de madeira
11. Laje de CLT
12. Fita adesiva unilateral estanque ao ar

0 0.25 0.5 1m

CONCLUSÃO

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o conhecimento adquirido sobre as técnicas construtivas utilizadas em Portugal (sistema ETICS, injeção de isolamento térmico na cavidade de paredes duplas, isolamento térmico pelo interior e argamassa com melhor desempenho térmico), aprendemos que as soluções utilizadas na reabilitação das envolventes pretendem resolver problemas relacionados com a eficiência térmica do edifício. Além disso, foi possível constatar que a solução mais utilizada na reabilitação de edifícios, em Portugal, é o sistema ETICS. Este sistema, apesar de melhorar a eficiência energética, não resolve todas as necessidades ou problemas das construções preexistentes, como por exemplo, a necessidade de incorporar novos usos ou complementar as necessidades funcionais do edifício.

A revisão da literatura acerca da reabilitação de edifícios através de sistemas pré-fabricados, fachada dupla e exoesqueleto foi importante para entender o que existe sobre este tema e perceber a pertinência do sistema desenvolvido neste trabalho. Neste sentido, não só entendemos a necessidade de resolver os problemas técnicos e físicos dos edifícios, mas também percebemos que é através da intervenção na envolvente da construção que podemos responder de forma natural e eficiente às necessidades de qualificar e ampliar os espaços interiores.

Este conhecimento, aliado aos problemas ambientais atuais e ao confinamento derivado da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2, resultou na criação do sistema pré-fabricado à base de madeira capaz de atuar em três áreas distintas: eficiência energética, segurança estrutural e organização espacial. Esta solução mostrou-se capaz de reabilitar a envolvente exterior de edifícios de betão armado, mais especificamente, o lote 4 do Bairro Social de Darque.

Em termos energéticos, esta solução permitiu aumentar o conforto térmico e acústico, através da colocação de isolamento na envolvente e da instalação de janelas eficientes, com vidro duplo e sistema de vedação; melhorar a qualidade do ar interior, com a adição de espaços exteriores (varandas) que permitem a ventilação do interior; e criar zonas intermediárias de amortecimento térmico (jardins de inverno), que permitem controlar a temperatura interior das habitações ao longo do ano.

Os elementos estruturais do sistema permitiram melhorar a segurança estrutural do edifício, uma vez que os módulos estão fixos à estrutura de betão armado existente, garantindo uma maior resistência e rigidez. Dependendo do edifício, caso não seja possível fixar os módulos à estrutura preexistente, é possível criar apoios no solo para garantir a sua segurança estrutural. Nesses casos, torna-se pertinente aumentar a cércea do edifício, por exemplo, com a introdução de mais um piso, visto que o aumento do número de fogos e a venda dessas novas áreas habitacionais permitirá amortecer o investimento inicial, ou até mesmo financiar a restante intervenção.

Inicialmente, o modelo habitacional do Bairro caracterizava-se pela compartimentação compacta e estática dos espaços e pela falta de áreas exteriores privadas. Porém, com a envolvente habitável foi possível complementar e qualificar os espaços interiores preexistentes, com a criação de novas áreas programáticas flexíveis capazes de se adaptarem às necessidades dos ocupantes, como espaços para teletrabalho, videoconferência e espaços exteriores. Para além de incorporar novas áreas nas habitações, também possibilitou a criação de uma nova dinâmica no quotidiano das pessoas, com o surgimento de novos hábitos e usos. Como a intervenção é feita pelo exterior permite que não haja a necessidade de desocupar os moradores.

O facto da envolvente habitável proporcionar espaços exteriores aos seus moradores, como as varandas e os pátios, não só permite aumentar o valor imobiliário dos edifícios, mas também permite potenciar a relação entre o interior e o exterior. Com isto, as habitações estendem-se para os jardins de inverno e varandas, proporcionando espaços privados amplos com vista privilegiada sobre a envolvente. A cobertura acessível dos edifícios permite que a relação com os espaços circundantes seja mais aberta e direta.

«A adição de jardins de inverno e varandas estendidos dão a oportunidade, para cada apartamento, de desfrutar de mais luz natural, mais fluidez de uso e mais vistas (...). Estas extensões ampliam o espaço de utilização da habitação e dão a oportunidade, como numa casa, de viver ao ar livre, estando em casa.»¹

A escolha dos materiais que compõe o sistema, como o CLT e MLC na estrutura, painéis de OSB como revestimento e painéis de fibra de madeira como isolamento adicional, deve-se ao facto destes materiais possuírem um elevado grau de pré-fabricação. Isto é, a normalização e padronização das dimensões destes elementos e a sua produção em fábrica permite reduzir o tempo de construção e montagem, e reduzir o custo total da obra e o custo do ciclo de vida. Além disso, como a composição destes materiais é à base de madeira, torna a solução desenvolvida, e consequentemente os edifícios, mais eficientes e sustentáveis, uma vez que a madeira caracteriza-se pela sua capacidade de armazenar dióxido de carbono, por ser um material natural, renovável e ecológico.

Neste trabalho, apesar de não se focar nos aspetos económicos, acredita-se que a intervenção na envolvente exterior, como o aumento da área interna das habitações, a criação de novas áreas programáticas e o redesenho das fachadas, permite aumentar o valor imobiliário do edifício, e por sua vez, a atratividade de mercado.

No capítulo “04 Interpretar”, as soluções exploradas para além de mostrarem as potencialidades do sistema e dos espaços que podem ser obtidos, também podem servir como princípio para a elaboração de novas propostas de reabilitação para outros edifícios. A indicação do grau de intervenção também permite ter uma noção da quantidade de trabalhos e custos associados a cada solução.

Assim como outras soluções construtivas, o sistema proposto apresenta alguns inconvenientes: a grande profundidade dos espaços adicionados, visto que poderá reduzir a entrada de luz natural no interior do edifício; a necessidade de um espaço perimetral razoável, para que seja possível executar o processo de reabilitação sem interferir nos edifícios circundantes, já que a envolvente habitável é adicionada à fachada exterior do edifício; a existência de restrições legislativas, uma vez que será aumentado o volume do edifício existente e poderá cobrir parte da via pública; e a inadequação do sistema aos edifícios antigos com valor arquitetónico ou patrimonial, na medida em que não é possível preservar o aspeto original dos mesmos.

¹ LACATON & VASSAL - **Transformation de 530 logements** [Em linha]. 2017. Disponível em: WWW<URL:https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Em Portugal, apesar de ainda haver algum receio sobre a utilização de elementos estruturais à base de madeira na construção ou reabilitação de edifícios em altura, acredita-se que com abordagens adequadas (carbonização e encapsulamento) é possível construir em altura de forma segura. Neste sentido, esta dissertação permite evidenciar as potencialidades da madeira e a sua segurança estrutural. Com isto, pretende-se promover a utilização deste recurso natural na construção e reabilitação dos edifícios e, conseqüentemente, promover a gestão sustentável das florestas.

No futuro, poderá ser explorada a ferramenta BIM no desenvolvimento do projeto, testar outras soluções construtivas à base de madeira que possam ser aplicados a outros climas e zonas sísmicas, e por fim, numa fase mais avançada, testar e validar a solução construtiva através de um projeto piloto.

Concluindo, a procura por soluções alternativas às técnicas de reabilitação utilizadas atualmente em Portugal, possibilitou o desenvolvimento de um sistema pré-fabricado à base de madeira para a reabilitação sustentável da envolvente dos edifícios de betão armado.

REFERÊNCIAS

LIVROS E CATÁLOGOS

- APPLETON, João - **A Sustentabilidade nos Projectos de Reabilitação de Edifícios**. Encontro Nacional de Engenharia Civil. (2011).
- FAGULHA, João, coord. - **Reabilitação e conservação do património arquitectónico**. Lisboa : Ordem dos Arquitectos Secção Regional Sul, 2016. ISBN 978-972-8897-49-9.
- GREEN, Michael - **The Case For Tall Wood Buildings**. 2.^a ed. Vancouver : Blurb, 2018. ISBN 978-1-36-637741-8.
- Instituto Nacional de Estatística - **Estatísticas da Construção e Habitação : 2019**. Lisboa : INE, 2020. Disponível em: WWW<URL:https://www.ine.pt/xurl/pub/443821545>. ISSN 0377-2225. ISBN 978-989-25-0541-1.
- KAUFMANN, Hermann ; KRÖTSCH, Stefan ; WINTER, Stefan - **Manual of Multi-Storey Timber Construction**. Munich: Detail, 2018. ISBN 978-3-95553-395-3.
- OTTELÉ, Marc - **The Green Building Envelope: Vertical Greening**. Holanda : SiecaRepro, 2011. ISBN 978-90-9026217-8.
- PHILLIPS, Derek - **Daylight: Natural Light in Architecture**. Oxford : Architectural Press, 2004. ISBN 0-7506-6323-5.
- Rubner Holzbau - **Wood Culture 21: Construction Expertise for Architects, Designers and Building Owners** [Em linha]. [S.l.] : Rubner Ingenieurholzbau, 2016. Disponível em: WWW<URL:https://www.rubner.com/fileadmin/marken/holzbau/Infomaterial/ENG_161202_RH_Wood_Culture21_122016.pdf>.
- Sistema de Certificação Energética dos Edifícios - **Isolamento de Coberturas**. [Lisboa?] : ADENE, 2016. ISBN 978-972-8646-41-7.
- SOUSA, Maria Luísa; OLIVEIRA, Carlos; COSTA, Alfredo - Caracterização do parque habitacional de Portugal Continental para estudos de risco sísmico. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Lisboa. n.º 55 (2006), p. 35-50.
- Waugh Thistleton Architects - **100 Projects UK CLT**. Canada : Waugh Thistleton Architects, 2018. ISBN 978-1-99-940502-1.

CAPÍTULOS DE LIVROS, ARTIGOS E PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

- AMARO, Bárbara [et. al.] - **Inspection and diagnosis system of ETICS on walls**. Construction and Building Materials. Vol. 47 (2013). ISSN 0950-0618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.024.
- BELLINI, Oscar E. - Adaptive Exoskeleton Systems: Remodelage for Social Housing on Piazzale Visconti (BG). In DELLA TORRE, Stefano [et. al.], eds. - **Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective**. Research for Development. Springer, Cham, 2020. ISBN 978-3-030-33256-3. DOI 10.1007/978-3-030-33256-3_34.
- CAPELUTO, Guedi - **Adaptability in envelope energy retrofits through addition of intelligence features**. Architectural Science Review. Vol. 62, n.º 3 (2019). DOI 10.1080/00038628.2019.1574707.
- CORRADO, Vincenzo; BALLARINI, Ilaria - **Refurbishment trends of the residential building stock: Analysis of a regional pilot case in Italy**. Energy and Buildings. Vol. 132 (2016). ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.06.022.
- DUGUÉ, Antoine [et. al.] - **E2VENT: An Energy Efficient Ventilated Façade Retrofitting System. Presentation of the Embedded LHTES System**. Procedia Environmental Sciences. Vol. 38 (2017). ISSN 1878-0296. DOI 10.1016/j.proenv.2017.03.093.

- FEROLDI, Francesca [et. al.] - **Energy efficiency upgrading, architectural restyling and structural retrofit of modern buildings by means of “engineered” double skin façade.** Proceedings of the 2nd International Conference on Structures & Architecture (ICSA2013). (2013). DOI 10.1201/b15267-253.
- FERRANTE, Annarita [et. al.] - **A European Project for Safer and Energy Efficient Buildings: Pro-GET-onE (Proactive Synergy of inteGrated Efficient Technologies on Buildings’ Envelopes).** Sustainability. Vol. 10, n.º 3 (2018). DOI 10.3390/su10030812.
- FURTADO, André [et. al.] - **Geometric characterisation of Portuguese RC buildings with masonry infill walls.** European Journal of Environmental and Civil Engineering. Vol. 20, n.º 4 (2015). DOI 10.1080/19648189.2015.1039660.
- LOPES, Tânia; AMADO, Miguel P. - **Pré-fabricação aplicada ao contexto da reabilitação de edifícios.** 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono.
- MANFREDI, Vicenzo; MASI, Angelo - **Seismic Strengthening and Energy Efficiency: Towards an Integrated Approach for the Rehabilitation of Existing RC Buildings.** Buildings. Vol. 8, n.º 3 (2018). DOI 10.3390/buildings8030036.
- MARGANI, Giuseppe [et. al.] - **Energy, Seismic, and Architectural Renovation of RC Framed Buildings with Prefabricated Timber Panels.** Sustainability. Vol. 12, n.º 12 (2020). DOI 10.3390/su12124845.
- MARINI, Alessandra [et. al.] - **Combining seismic retrofit with energy refurbishment for the sustainable renovation of RC buildings: a proof of concept.** European Journal of Environmental and Civil Engineering. (2017). DOI 10.1080/19648189.2017.1363665.
- MUNARIM, Ulisses; GHISI, EneDir - **Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 58 (2016). ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2015.12.334.
- OCHS, Fabian [et. al.] - **Prefabricated Timber Frame Façade with Integrated Active Components for Minimal Invasive Renovations.** Energy Procedia. Vol. 78 (2015). ISSN 1876-6102. DOI 10.1016/j.egypro.2015.11.115.
- OSAYIMWESE, Itohan - **The Colonial Origins of Modernist Prefabrication.** In HARRIS, Dianne, ed. - **Colonialism and Modern Architecture in Germany.** [S.l.] : University of Pittsburgh Press, 2017. ISBN 9780822945086.
- OTT, Stephan; KRECHEL, Marco - **Construction principles of seismic and energy renovation systems for existing buildings.** Technologies Engineering Materials Architecture (TEMA). Vol. 4, n.º 3 (2018). ISSN 2421-4574. DOI 10.17410/tema.v4i3.205.
- PÉREZ-LOMBARD, Luis ; ORTIZ, José ; POUT, Christine - **A review on buildings energy consumption information.** Energy and Buildings. Vol. 40, n.º 3 (2008). ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- POHORYLES, Daniel A. [et. al.] - **Energy performance of existing residential buildings in Europe: A novel approach combining energy with seismic retrofitting.** Energy and Buildings. Vol. 223 (2020). DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110024.
- SALVALAI, Graziano; SESANA, Marta Maria, IANNACONE, Giuliana - **Deep renovation of multi-storey multi-owner existing residential buildings: A pilot case study in Italy.** Energy and Buildings. Vol. 148 (2017). ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2017.05.011.
- STALJANSENS, Joni [et. al.] - **Façade Retrofit Strategies. Case Study of the Building Complex K12 of the University Hospital Ghent.** Energy Procedia. Vol. 78 (2015). ISSN 1876-6102.

DOI 10.1016/j.egypro.2015.11.032.

WIMMERS, Guido - **Wood: a construction material for tall buildings**. Nature Reviews Materials. Vol. 2, n.º 17051 (2017). DOI 10.1038/natrevmats.2017.51.

DISSERTAÇÕES E TESES

CORRÊA, Diana Maria - **Thermal rehabilitation of the facades of old buildings**. Lisboa : Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 2016. Dissertação de Mestrado.

LOPS, Camilla - **Integrated solutions for the energy and seismic retrofit of existing buildings**. Barcelona : Universidade Politécnica da Catalunha, 2020. Tese de Doutoramento.

SCUDERI, Giuliana - **Adaptive Exoskeleton for the Integrated Retrofit of Social Housing Buildings**. Trento : Universidade de Trento, 2016. Tese de Doutoramento.

SILVA, Pedro Manuel - **Avaliação e caracterização de medidas de melhoria energética na reabilitação de edifícios numa perspetiva custo-benefício. Seleção e caracterização de medidas de melhoria da envolvente de edifícios**. Guimarães : Universidade do Minho, 2013. Dissertação de Mestrado.

SOUSA, Maria Luísa - **Risco Sísmico em Portugal Continental**. Lisboa : Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 2006. Tese de Doutoramento.

SÍTIOS DA INTERNET

ACEPE - **O RCCTE** [Em linha]. Disponível em: WWW<URL:https://acepe.pt/o-rccte/>.

Banema - **Produtos** [Em linha]. [Consult. 5 Dez. 2020]. Disponível em: WWW<URL:https://banema.pt/pt/produtos>.

Direção-Geral de Energia e Geologia - **Energias Renováveis e Sustentabilidade** [Em linha]. [Consult. 7 Out. 2021] Disponível em: WWW<URL: https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/desempenho-energetico-de-edificios>.

European Commision - **Building energy renovation through timber prefabricated modules** [Em linha]. Espanha : [s.n.], 2019. Disponível em: WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/636984/reporting>.

European Commission - **Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for MODular RETrofitting and CONNECTions** [Em linha]. Holanda : [s.n.], 2016. Disponível em: WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/633477/reporting>.

European Commision - **RetroKit - Toolboxes for systemic retrofitting** [Em linha]. Itália : [s.n.], 2017. Disponível em: WWW<URL:https://cordis.europa.eu/project/id/314229/reporting>.

LACATON & VASSAL - **Transformation de 530 logements** [Em linha]. 2017. Disponível em: WWW<URL:https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>.

Renovate Europe - **Grand Parc Apartment Building, Bordeaux - France** [Em linha]. Disponível em: WWW<URL:https://www.renovate-europe.eu/reday/reday-2019/online-resources/grand-parc-france-e12>.

SIPA - **Bairro do Fomento em Darque / Bairro do IGAPHE em Darque** [Em linha]. [Consult. 15 Ago. 2021] Disponível em: WWW<URL:https://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=29335>.

Ytong - **Características** [Em linha]. [Consult. 5 Out. 2021] Disponível em: WWW<URL: https://www.ytong.es/caracteristicas.php>.